



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

**Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών
Πόρων**

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

Διπλωματική Εργασία

Οικονόμου Γιώργος

Σεπτέμβριος 2012

Συμβουλευτική Επιτροπή:

Καθηγητής Ζ. Αγιουτάνης (επιβλέπων)

Επικ. Καθηγητής Μ. Γαλετάκης

Δρ. Χρ. Ρούμπος

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.

Abstract

The evaluation of drill core data for the design of surface mining operations is always a challenging task. In this work, a number of drillholes related to the Lakkia deposit in northern Greece were evaluated and used for developing the geological and mining model for this deposit.

The rights of exploitation of the Lakkia lignite deposit belong to the Greek Public Power Corporation S.A. Evaluation of lignite deposits for exploitation either using the continuous method or the conventional truck and shovel method is a complex procedure since many geometrical factors, as well as quality factors need to be evaluated. In this work, the Carlson software package was used for the development of the initial data and two main geological models: one based on stratigraphy and one utilizing the concept of block modeling.

Finally, exploitable reserves were estimated using both methods.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο τη μελέτη και το σχεδιασμό της υπαίθριας εκμετάλλευσης του λιγνιτικού κοιτάσματος που βρίσκεται στην περιοχή της Λακκιάς. Τα δικαιώματα της εκμετάλλευσης του κοιτάσματος κατέχει η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε. η οποία έχει ήδη προγραμματίσει την άμεση έναρξη της εκμετάλλευσης του κοιτάσματος. Η μελέτη έγινε βάσει δεδομένων από δειγματοληπτικές γεωτρήσεις που είναι διαθέσιμες για την εν λόγω περιοχή.

Η αρχική μελέτη και ο λεπτομερής σχεδιασμός της εκμετάλλευσης είναι απαραίτητα για την οικονομική εκμετάλλευση του κοιτάσματος. Με βάση τα αποτελέσματα της μελέτης υπολογίζεται ο συνολικός όγκος των γεωλογικών αποθεμάτων, καθώς και των αποθεμάτων που μπορούν να θεωρηθούν εκμεταλλεύσιμα υπό ορισμένες οικονομικοτεχνικές προϋποθέσεις. Ο σχεδιασμός της εκμετάλλευσης επηρεάζεται άμεσα από το τοπογραφικό ανάγλυφο και τους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής.

Η εκπόνηση της μελέτης έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού πακέτου Carlson Software. Το λογισμικό πακέτο Carlson Software είναι ευρύτατα διαδεδομένο καθώς χρησιμοποιείται από πολλές μεταλλευτικές εταιρείες και κυβερνητικές υπηρεσίες. Στον τομέα των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων παρέχει όλα τα απαραίτητα εργαλεία ώστε να μπορεί ο μηχανικός να σχεδιάσει, να παρακολουθήσει τις μεταλλευτικές δραστηριότητες και να τροποποιήσει το σχεδιασμό και τις οικονομικοτεχνικές παραμέτρους της εκμετάλλευσης ώστε να προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες της αγοράς.

Με τη χρήση του παραπάνω λογισμικού έγινε η μοντελοποίηση της επιφάνειας του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής καθώς και η δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου του κοιτάσματος με τη μέθοδο του μοντέλου κυψελίδων. Στη συνέχεια έγινε σχεδιασμός της επιφανειακής εκμετάλλευσης με, ο υπολογισμός των γεωλογικών αποθεμάτων και ο σχολιασμός όλων των αποτελεσμάτων που προέκυψαν.

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της φοίτησής μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης, στο τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, και με σκοπό την ολοκλήρωση των προπτυχιακών σπουδών.

Σε αυτό το σημείο θέλω να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές, που με την μετάδοση των πολύτιμων γνώσεών τους υπήρξαν αρωγοί στην προσπάθειά μου να εκπληρώσω τους στόχους μου σε επίπεδο γνώσεων, αλλά και εκείνους που εκτός από καθηγητές ήταν πραγματικοί δάσκαλοι, και με την πολύτιμη συνεισφορά τους έγινα ενεργό μέλος της κοινωνίας, έτοιμο να προσφέρει και να λάβει από αυτήν.

Επιπρόσθετως θέλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα Καθηγητή, κύριο Ζαχαρία Αγιουτάντη, ο οποίος μου ανέθεσε την παρούσα εργασία, προσφέροντας μου αμέριστη βοήθεια, καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησής της. Οι πολύτιμες συμβουλές και διορθώσεις που μου προσέφερε, δεν συνέβαλαν μόνο στην καλύτερη διεκπεραίωση της εργασίας μου, αλλά αποτέλεσαν και προσωπικά εφόδια για το μέλλον.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κύριο Χρήστο Ρούμπο, Δρα Μεταλλειολόγο Μηχανικό και κύριο Μιχαήλ Γαλετάκη, Αναπληρωτή Καθηγητή, οι οποίοι δέχτηκαν να συμμετάσχουν στην εξεταστική επιτροπή, και να αξιολογήσουν την εργασία αυτή. Αξίζει να αναφερθεί πως ο κύριος Χρήστος Ρούμπος αποτέλεσε τον συνδετικό κρίκο μεταξύ του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων και της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού, ώστε να μας παρέχει όλα τα απαραίτητα δεδομένα για την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Μεταλλειολόγο Μηχανικό, κύριο Στέλιο Μαυριγιαννάκη για τις συμβουλές και τη βοήθειά του σε όλα τα τεχνικά προβλήματα καθώς επίσης και τη Μηχανικό Ορυκτών Πόρων, κυρία Φωτεινή Σταθογιάννη για τα σχόλια και τις διορθώσεις της πάνω στο κείμενο.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τους φίλους μου, την κοπέλα μου, τους συμφοιτητές μου και όλους όσοι μου στάθηκαν όλα αυτά τα χρόνια, της φοιτητικής μου ζωής. Σας ευχαριστώ όλους για την υπομονή και την επιμονή σας να γίνω καλύτερος άνθρωπος.

Γιώργος Οικονόμου

Αφιερωμένο στον αγαπημένο μου παππού,

Κωνσταντίνο Νίκα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	8
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	19
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	19
1.1 Η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε. (Δ.Ε.Η. Α.Ε.)	19
1.1.1 Ιστορία της εταιρίας Δ.Ε.Η. Α.Ε.....	19
1.1.2 Η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε. σήμερα.....	20
1.2 Λιγνιτικά κοιτάσματα	22
1.2.1 Γένεση των λιγνιτών	22
1.2.2 Λιγνίτες στον ελλαδικό χώρο	24
1.3 Χρήσεις του λιγνίτη στην Ελλάδα.....	25
1.4 Η οικονομική σημασία των κοιτασμάτων λιγνίτη στην Ελλάδα.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	30
ΥΠΑΙΘΡΙΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ.....	30
2.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την εκμεταλλευσιμότητα	30
2.2 Βασικοί ορισμοί στον σχεδιασμό υπαίθριας εκμετάλλευσης	31
2.3 Κατηγορίες αποθεμάτων στα λιγνιτικά κοιτάσματα.....	34
2.3.1 Εκμεταλλεύσιμα λιγνιτικά κοιτάσματα	35
2.4 Καθορισμός μεθόδου εκμετάλλευσης – ετήσιος ρυθμός εκσκαφής υλικών.....	37
2.4.1 Βασικές κατηγορίες παραμέτρων σχεδιασμού	37
2.5 Μέθοδοι εκμετάλλευσης λιγνιτικών κοιτασμάτων ως προς τον εξοπλισμό.....	45
2.5.1 Καθορισμός των μέσων μεταφοράς	46
2.5.2 Οι δύο κυριότερες μέθοδοι εκμετάλλευσης ως προς τον εξοπλισμό.....	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	51
ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΙΑ ΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ.....	51
3.1 Γεωστατιστικές μέθοδοι.....	51

3.1.1	Μέθοδος βέλτιστης παρεμβολής (kriging)	52
3.1.2	Παρεμβολή με απόδοση βαρών σε σημειακά δεδομένα στον πλησιέστερο γείτονα (inverse distance weighting)	53
3.2	Συμβατικές ή γεωμετρικές μέθοδοι	55
3.2.1	Μέθοδος Δικτύου Τριγώνων	55
3.2.2	Μέθοδος βαθμωτής παρεμβολής (discrete)	56
3.3	Μέθοδος κυψελίδων (block model).....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....		60
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ CARLSON SOFTWARE ΓΙΑ ΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΩΝ ΛΙΓΝΙΤΗ.....		60
4.1	Πεδίο Λακκιάς	60
4.1.1	Γεωλογία πεδίου Λακκιάς.....	61
4.2	Επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων	63
4.2.1	Καθορισμός των γεωλογικών στρωμάτων	63
4.2.2	Εισαγωγή του αρχείου .dat στο λογισμικό Carlson	68
4.2.3	Χαρακτηρισμός των γεωλογικών στρωμάτων	73
4.2.4	Δημιουργία ρηγμάτων (faults)	77
4.3	Δημιουργία μοντέλου κυψελίδων	80
4.4	Σχεδιασμός επιφάνειας του πεδίου και ο συνδυασμός του με το μοντέλο κυψελίδων	92
4.4.1	Δημιουργία ισοϋψών και τρισδιάστατη απεικόνιση της επιφάνειας.....	93
4.4.2	Δημιουργία μοντέλου ως αποτέλεσμα συνδυασμού του μοντέλου κυψελίδων με την επιφάνεια.	104
4.5	Δημιουργία τομών ως αποτέλεσμα του μοντέλου κυψελίδων	111
4.5.1	Δημιουργία αναλυτικότερων τομών	117
4.6	Σχεδιασμός των ορίων του πεδίου και των βαθμίδων προσπέλασης.....	120
4.6.1	Επιλογή των ορίων του κοιτάσματος με 3d polyline	120
4.6.2	Προσπέλαση του κοιτάσματος με δημιουργία βαθμίδων	125
4.7	Υπολογισμός αποθεμάτων	140
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....		151
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....		151
5.1	Συμπεράσματα	151
5.2	Προτάσεις	152

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	154
--------------------------	------------

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ

Εικόνες

Εικόνα 1.1 Αναλυτικός Χάρτης Σταθμών (http://www.dei.gr).....	22
Εικόνα 1.2 Λιγνίτης από την περιοχή της Πτολεμαΐδας (http://www.geo.auth.gr/106/1elements/lignite.htm).	24
Εικόνα 1.3 Χάρτης με τα κυριότερα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα λιγνίτη που βρίσκονται στον Ελλαδικό χώρο (http://www.dei.gr).....	25
Εικόνα 1.4 Κύριες λιγνιτοπαραγωγικές ευρωπαϊκές χώρες (Στατιστικά στοιχεία ΛΚΔΜ).	Error! Bookmark not defined.
Εικόνα 1.5 Συμμετοχή του λιγνίτη στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στον ευρωπαϊκό χώρο (Στατιστικά στοιχεία ΛΚΔΜ).	Error! Bookmark not defined.
Εικόνα 2.1 Γεωμετρικά στοιχεία βαθμίδας (Μενεγάκη, 2010).	32
Εικόνα 2.2 Υπολογισμός κλίσης πρηνούς εκμετάλλευσης (Μενεγάκη, 2010).	33
Εικόνα 2.3 Κάτοψη τελικής μορφής ορίων εκμετάλλευσης με μεταβλητή κλίση πρηνών. (Μενεγάκη, 2010).....	34
Εικόνα 2.18 Σχηματική απεικόνιση αξιολογήσιμης γεώτρησης (Καραμαλίκης, 2004).	36
Εικόνα 2.19 Η διάταξη των υπερκειμένων [Υ] και ενδιαμέσων [Ε] στείρων στη Λιγνιτοφόρα στιβάδα [Λ] που εδώ αποτελείται από 2 στρώματα λιγνίτη.....	37
Εικόνα 2.4 Μειούμενη σχέση εκμετάλλευσης (Μενεγάκη, 2010).	42
Εικόνα 2.5 Αυξανόμενη σχέση εκμετάλλευσης (Μενεγάκη, 2010).	42
Εικόνα 2.6 Σταθερή σχέση εκμετάλλευσης (Μενεγάκη, 2010).	43
Εικόνα 2.7 Εκμετάλλευση σε διαδοχικές φάσεις (Μενεγάκη, 2010).	43
Εικόνα 2.17 Μέθοδος ασυνεχούς εξόρυξης ή Αμερικάνικη μέθοδος	50
Εικόνα 3.1 Υπολογισμός αποθεμάτων με τη μέθοδο των τριγώνων (Μενεγάκη, 2010)	56

Εικόνα 3.3 Η κατανομή των δύο στρωμάτων στο ενδιάμεσο των δύο γεωτρήσεων υπολογισμένη με τη μέθοδο discrete (Μπατάλας, 2011).	57
Εικόνα 3.4 Μοντέλο μπλοκ σε τρισδιάστατη ορθογώνια απεικόνιση (Καπαγερίδης, 2010).	58
Εικόνα 4.1 Πακέτο Carlson Software	60
Εικόνα 4.2 Τοπογραφικός χάρτης πεδίου Λακκιάς	61
Εικόνα 4.3 Πεδίο Λακκιάς (http://www.google.com/)	63
Εικόνα 4.4 Αρχείο μορφής .dat στο Notepad	Error! Bookmark not defined.
Εικόνα 4.5α Απεικόνιση της γεώτρησης Lak22 εκτυπωμένη από την εφαρμογή Notepad	65
Εικόνα 4.5β Απεικόνιση των δύο πρώτων γραμμών της γεώτρησης Lak22 εκτυπωμένη από την εφαρμογή Notepad.	65
Εικόνα 4.6 Οι γραμμές με κόκκινο χρώμα δείχνουν τον ορίζοντα Νεριτίνα.	68
Εικόνα 4.7 Μενού Drillhole και η επιλογή Define Drillhole.	68
Εικόνα 4.8 Δημιουργία αρχείου .ch.	68
Εικόνα 4.9 Οι επιλογές στο μενού Define Drillhole.	69
Εικόνα 4.10 Το μενού Drillhole και η επιλογή Drillhole Import.	70
Εικόνα 4.11 Η επιλογή του Other Specific Formats.	70
Εικόνα 4.12 Επιλογή του format Greece Power.	71
Εικόνα 4.13 Επιλογή του αρχείου .dat	71
Εικόνα 4.14 Οι γεωτρήσεις στην επιφάνεια εργασίας του προγράμματος.	72
Εικόνα 4.15 Η επιλογή Drillhole Text Formatter.	73
Εικόνα 4.16 Παράθυρο επιλογής παραμέτρων ονομάτων γεωτρήσεων.	73
Εικόνα 4.17 Ονόματα γεωτρήσεων.	73
Εικόνα 4.18 Επιλογή προεπισκόπησης γεωτρητικών δεδομένων.	74
Εικόνα 4.19 Προεπισκόπηση γεωτρητικών δεδομένων.	75
Εικόνα 4.20 Warning σε περίπτωση λάθους παραμέτρων στα bedname	76
Εικόνα 4.21 Καρτέλα Drillhole Data Sheet με τα bedname.	77

Εικόνα 4.22 Χάρτης ρηγμάτων σε αρχείο AutoCad.....	78
Εικόνα 4.23 Επιλογή Faults και έπειτα το Draw Fault Line	79
Εικόνα 4.24 Επιλογή του Edit Fault Line.....	79
Εικόνα 4.25 παράθυρο του Edit Fault Line.....	80
Εικόνα 4.26 Δημιουργία μοντέλου κυψελίδων.	81
Εικόνα 4.27 Επιλογή στοιχείου για το οποίο θα δημιουργηθεί το μοντέλο κυψελίδων.	82
Εικόνα 4.28 Επιλογή όλων των σχηματισμών.....	82
Εικόνα 4.29 Επιλογή ορίων για τα οποία θα δημιουργηθεί το μοντέλο κυψελίδων.	83
Εικόνα 4.30 Καθορισμός μεγέθους των κυψελίδων.	83
Εικόνα 4.31 Αποθήκευση αρχείου δημιουργίας μοντέλου κυψελίδων.....	83
Εικόνα 4.32 Δημιουργία αρχείου .grf.....	84
Εικόνα 4.33 Αποθήκευση του αρχείου .grf.	84
Εικόνα 4.34 Δημιουργία αρχείου .pre.....	84
Εικόνα 4.35 Δημιουργία αρχείου μορφής .pre	85
Εικόνα 4.36 Επιλογή παραμέτρων.....	85
Εικόνα 4.37 Επιλογή αρχείου καθορισμού παραμέτρων.	86
Εικόνα 4.38 Καρτέλα με τις παραμέτρους.	86
Εικόνα 4.39 Block Model 3D Viewer.....	87
Εικόνα 4.40 Άνοιγμα Block Model.....	87
Εικόνα 4.41 Άνοιγμα αρχείου παραμέτρων των περιεκτικότητων.	88
Εικόνα 4.42 Καρτέλα προεπισκόπησης παραμέτρων.	88
Εικόνα 4.43 Τρισδιάστατη απεικόνιση μοντέλου κυψελίδων.....	89
Εικόνα 4.44 Τρισδιάστατη απεικόνιση μοντέλου κυψελίδων με ευδιάκριτα τα ρήγματα.	90
Εικόνα 4.45 Τρισδιάστατη απεικόνιση μοντέλου κυψελίδων μόνο για τον λιγνίτη.....	91
Εικόνα 4.46 Η επιλογή Contour from Grid File	93

Εικόνα 4.47 Παράθυρο επιλογής χαρακτηριστικών.	94
Εικόνα 4.48 Απεικόνιση των ισοϋψών των κολλάρων των γεωτρήσεων.	95
Εικόνα 4.49 Επιλογή προγράμματος Civil.	95
Εικόνα 4.50 Επιλογή τριγωνοποίησης των ισοϋψών.	96
Εικόνα 4.51 Καρτέλα ρυθμίσεων τριγωνοποίησης των ισοϋψών.	96
Εικόνα 4.52 Αποθήκευση αρχείου επιφάνειας της μορφής .tin.	97
Εικόνα 4.53 Επιλογή όλων των ισοϋψών.	97
Εικόνα 4.54 Δημιουργία ισοϋψών του προγράμματος Carlson.	98
Εικόνα 4.55 Επιλογή «σχεδίαση επιφάνειας με τη μέθοδο της τριγωνοποίησης».	99
Εικόνα 4.56 Επιλογή και άνοιγμα αρχείου επιφάνειας της μορφής .tin.	99
Εικόνα 4.57 Ρυθμίσεις για τη σχεδίαση επιφάνειας με τη μέθοδο της τριγωνοποίησης.	99
Εικόνα 4.58 Χάρτης επιφάνειας μετά τη διαδικασία της τριγωνοποίησης.	100
Εικόνα 4.59 Επιλογή δημιουργίας αρχείου της μορφής .grd.	100
Εικόνα 4.60 Καρτέλα ρυθμίσεων για τη δημιουργία επιφάνειας της μορφής .grd.	101
Εικόνα 4.61 Επιλογή «προεπισκόπηση τρισδιάστατης επιφάνειας».	102
Εικόνα 4.62 Επιλογή επιφάνειας .tin.	102
Εικόνα 4.63 Προεπισκόπηση επιφάνειας με την επιλογή Surface Smoothing μαζί με την καρτέλα ρυθμίσεων απεικόνισης.	103
Εικόνα 4.64 Προεπισκόπηση επιφάνειας με την επιλογή Surface Smoothing.	104
Εικόνα 4.65 Επιλογή «σχεδίαση του μοντέλου μπλοκ».	105
Εικόνα 4.66 Επιλογή του αρχείου της μορφής .blk.	105
Εικόνα 4.67 Επιλογή του αρχείου της μορφής .grf.	106
Εικόνα 4.68 Καρτέλα σχεδίασης του μοντέλου κυψελίδων.	106
Εικόνα 4.69 Επιλογή αρχείου επιφάνειας το οποίο είναι σε μορφή .grd.	107
Εικόνα 4.70 Επιλογή παραθύρου τρισδιάστατης προεπισκόπησης.	107
Εικόνα 4.71 Μοντέλο κυψελίδων προσαρμοσμένο στην επιφάνεια του τοπογραφικού ανάγλυφου και προεπισκόπηση της επιφάνειας του ανάγλυφου.	108

Εικόνα 4.72 Απεικόνιση μόνο της επιφάνειας και του λιγνιτικού κοιτάσματος.....	109
Εικόνα 4.74 Κάτοψη τομών των γεωτρήσεων.	112
Εικόνα 4.75 Επιλογή επισήμανσης των γραμμών (Polylines) για τη δημιουργία τομών.	113
Εικόνα 4.76 Επιλογή δημιουργίας τομών.	114
Εικόνα 4.77 Καρτέλα ρυθμίσεων για τη δημιουργία τομών (Fence Diagram Settings).	115
Εικόνα 4.78 Απεικόνιση των οριζόντιων τομών 1 και 2 και των κάθετων τομών 7 και 8 με σειρά από πάνω προς τα κάτω αντίστοιχα.	116
Εικόνα 4.79 Απεικόνιση κάθετης τομής 9 και οριζόντιων τομών 3,4 και 5 με σειρά από πάνω προς τα κάτω αντίστοιχα.	116
Εικόνα 4.80 Οριζόντια τομή fence 1.	117
Εικόνα 4.81 Οριζόντια τομή fence 2.	117
Εικόνα 4.82 Οριζόντια τομή fence 3.	117
Εικόνα 4.83 Οριζόντια τομή fence 4.	118
Εικόνα 4.84 Οριζόντια τομή fence 5.	118
Εικόνα 4.85 Οριζόντια τομή fence 6.	118
Εικόνα 4.86 Κάθετες τομές fence 7 και fence 8.	118
Εικόνα 4.87 Κάθετες τομές fence 9 και fence 10.....	118
Εικόνα 4.88 Κάθετη τομή fence 11.	119
Εικόνα 4.89 Οριζόντια τομή fence 3 με την εντολή zoom.....	119
Εικόνα 4.90 Κάθετη τομή fence 9 την εντολή zoom.	119
Εικόνα 4.91 Επικόλληση των ορίων του κοιτάσματος από το λογισμικό AutoCad στο λογισμικό Carlson.....	121
Εικόνα 4.92 Δημιουργία των ορίων του κοιτάσματος με 3d polyline	122
Εικόνα 4.93 Το αποτέλεσμα μετά την εφαρμογή της επιλογής trim.....	123
Εικόνα 4.94 Δημιουργία των εκτεταμένων ορίων του κοιτάσματος με 3d polyline	124
Εικόνα 4.95 Το αποτέλεσμα μετά την εφαρμογή της επιλογής trim	

.....	125
Εικόνα 4.96 Επιλογή προγράμματος Surface Mining.	126
Εικόνα 4.97 Επιλογή καθορισμού σχεδίασης βαθμίδων (Define Fill/Cut Design).	127
Εικόνα 4.98 Καρτέλα ρυθμίσεων για τη σχεδίαση βαθμίδων.	127
Εικόνα 4.99 Καρτέλα ρυθμίσεων για την επιλογή ορίου εκμετάλλευσης.	128
Εικόνα 4.100 Επιλογή της 3d polyline.....	128
Εικόνα 4.101 Καρτέλα ρυθμίσεων για την επιλογή ορίου εκμετάλλευσης μετά την επιλογή της 3d polyline.	129
Εικόνα 4.102 Καθορισμός διαστάσεων βαθμίδων.	130
Εικόνα 4.103 Επιλογή διαδικασίας σχεδίασης βαθμίδων.	131
Εικόνα 4.104 Σχεδιασμός βαθμίδων ύψους 10 m και πλάτους 20 m σε κάτοψη.	131
Εικόνα 4.105 Απεικόνιση μετά την επιλογή η επιλογή Triangulate & Contour.	132
Εικόνα 4.106 Απεικόνιση μετά την επιλογή Draw Surface.....	132
Εικόνα 4.107 Επιφάνεια με σχεδιασμένες βαθμίδες ύψους 10 m και πλάτους 20 m. .	133
Εικόνα 4.108 Απεικόνιση των βαθμίδων.....	133
Εικόνα 4.109 Επιφάνεια με σχεδιασμένες βαθμίδες σε συνδυασμό με το μοντέλο κυψελίδων.	134
Εικόνα 4.110 Επιφάνεια με σχεδιασμένες βαθμίδες σε συνδυασμό με το μοντέλο κυψελίδων και ενεργοποιημένο μόνο το Layer του λιγνίτη.....	135
Εικόνα 4.111 Σχεδιασμός βαθμίδων ύψους 10 m και πλάτους 20 m σε κάτοψη μετά την επέκταση.	136
Εικόνα 4.112 Επιφάνεια με σχεδιασμένες βαθμίδες ύψους 10 m και πλάτους 20 m μετά την επέκταση.	136
Εικόνα 4.113 Επιφάνεια με σχεδιασμένες βαθμίδες σε συνδυασμό με το μοντέλο κυψελίδων μετά την επέκταση.	137
Εικόνα 4.114 Επιφάνεια με σχεδιασμένες βαθμίδες σε συνδυασμό με το μοντέλο κυψελίδων με εμφανή τον λιγνίτη που λαμβάνει χώρο στην βορειοδυτική πλευρά όπου και έγινε η επέκταση.	138
Εικόνα 4.115 Κάτοψη του βορειοανατολικού τμήματος του ορυχείου.	139
Εικόνα 4.116 Επιφάνεια με σχεδιασμένες βαθμίδες ύψους 10 m και πλάτους 20 m μετά την επέκταση και την εξομάλυνση του γεωγραφικού ανάγλυφου.	140

Εικόνα 4.117 Επιλογή εντολής για τον υπολογισμό αποθεμάτων.	141
Εικόνα 4.118 Ρυθμίσεις για τον υπολογισμό των αποθεμάτων σύμφωνα με τη μέθοδο Triangulation.	142
Εικόνα 4.119 Επιλογή αρχείου της μορφής .grd	142
Εικόνα 4.120 Επιλογή των ορίων του κοιτάσματος.	143
Εικόνα 4.121 Ρυθμίσεις για εξαγωγή της αναφοράς υπολογισμού αποθεμάτων.	144
Εικόνα 4.122 Αναφορά υπολογισμού αποθεμάτων με την μέθοδο Triangulation.	144
Εικόνα 4.123 Ρυθμίσεις για τον υπολογισμό των αποθεμάτων σύμφωνα με την μέθοδο Inverse Distance.	145
Εικόνα 4.124 Αναφορά υπολογισμού αποθεμάτων με την μέθοδο Inverse Distance.	145
Εικόνα 4.125 Ρυθμίσεις για τον υπολογισμό των αποθεμάτων σύμφωνα με την μέθοδο Kriging.	146
Εικόνα 4.126 Ρυθμίσεις για τον υπολογισμό των αποθεμάτων σύμφωνα με τη μέθοδο Kriging Gaussian.	147
Εικόνα 4.127 Αναφορά υπολογισμού αποθεμάτων με την μέθοδο Kriging Gaussian.	147
Εικόνα 4.128 Ρυθμίσεις για τον υπολογισμό των αποθεμάτων σύμφωνα με τη μέθοδο μοντέλου κυψελίδων.	148
Εικόνα 4.129 Αναφορά υπολογισμού αποθεμάτων με τη μέθοδο μοντέλου κυψελίδων.	148

Πίνακες

Πίνακας 1.1 Γενικό ισοζύγιο ενέργειας (1983-1988) (Στατιστικά στοιχεία ΛΚΔΜ).	26
Πίνακας 2.1 Ασφαλείς γωνίες πρηνών βαθμίδων διαφόρων πετρωμάτων (Μενεγάκη, 2010).	33
Πίνακας 4.1 Κωδικοποιημένα πετρογραφικά χαρακτηριστικά δειγμάτων γεωτρήσεων.	65
Πίνακας 4.2 Συγκεντρωτικά, τα αποτελέσματα των γεωλογικών αποθεμάτων.	149

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

1.1 Η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε. (Δ.Ε.Η. Α.Ε.)

Η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε. είναι εταιρία παραγωγής και προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Έχει στην ιδιοκτησία της το εθνικό σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και τα δίκτυα διανομής. Η Δ.Ε.Η. Α.Ε. διαθέτει πολύ μεγάλη υποδομή σε εγκαταστάσεις ορυχείων λιγνίτη, παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

1.1.1 Ιστορία της εταιρίας Δ.Ε.Η. Α.Ε.

Τον Αύγουστο του 1950 ιδρύεται η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού με σκοπό να λειτουργεί για το δημόσιο συμφέρον, εφαρμόζοντας μια εθνική ενεργειακή πολιτική, η οποία μέσα από την εντατική εκμετάλλευση των πόρων που βρίσκονται εντός του Ελλαδικού χώρου, να καθιστά το ηλεκτρικό ρεύμα κτήμα και δικαίωμα του κάθε Έλληνα πολίτη, στην φθηνότερη δυνατή τιμή. Αμέσως μετά την ίδρυσή της, η Δ.Ε.Η. Α.Ε. στρέφεται προς την αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας ενώ ξεκινά και η ενοποίηση των δικτύων 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 δημιουργούσε. Παράλληλα, η Επιχείρηση ξεκίνησε την αξιοποίηση της δύναμης των υδάτων με την κατασκευή υδροηλεκτρικών σταθμών στα μεγάλα ποτάμια της χώρας.

Σημαντικές στιγμές, άξιες αναφοράς, κατά την πορεία της εταιρίας μέχρι σήμερα (<http://www.dei.gr>):

- **1950** Ίδρυση της δημόσιας επιχείρησης ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η. Α.Ε.).
- **1951** Η Δ.Ε.Η. Α.Ε. ανέλαβε την υπόγεια εκμετάλλευση των Ορυχείων στο Αλιβέρι, κατορθώνοντας να αυξήσει την παραγωγή σε 750 χιλιάδες τόνους το χρόνο και να τροφοδοτήσει μονάδες συνολικής ισχύος 230 MW. (Στις αρχές της δεκαετίας του 1980 σταμάτησε η λειτουργία του λιγνιτωρυχείου Αλιβερίου.).
- **1956** Αποφασίστηκε η εξαγορά όλων των ιδιωτικών και δημοτικών επιχειρήσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να υπάρχει ένας ενιαίος φορέας διαχείρισης. (Με τον καιρό, η Δ.Ε.Η. Α.Ε. εξαγόρασε όλες αυτές τις επιχειρήσεις και ενέταξε το προσωπικό τους στις τάξεις της.).

- **1957** Η Δ.Ε.Η. Α.Ε. άρχισε την εκμετάλλευση του κοιτάσματος της Πτολεμαΐδας.
- **1959** Το 90% των μετοχών της ΛΙΠΤΟΛ, εταιρία που συστάθηκε το 1955 και είχε ως αντικείμενο την εκμετάλλευση του λιγνίτη και τη χρησιμοποίησή του για την παραγωγή μπρικετών, αζωτούχων λιπασμάτων, ημικώκ και ηλεκτρικής ενέργειας, περιήλθαν στη Δ.Ε.Η. Α.Ε..
- **1969** Ξεκίνησε η εκμετάλλευση του λιγνίτη από το λιγνιτικό κοιτάσμα της Μεγαλόπολης. Το γεγονός αυτό ήταν μία ιδιαίτερη περίπτωση σε παγκόσμιο επίπεδο, επειδή για πρώτη φορά τόσο φτωχός λιγνίτης εξορύσσεται και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το λιγνιτωρυχείο Μεγαλόπολης ξεκίνησε με μία ετήσια παραγωγή 1 εκ. τόνων και έφθασε το 2006 στους 13,5 εκ. τόνους.
- **1975** Συγχώνευση της εταιρίας ΛΙΠΤΟΛ στη Δ.Ε.Η. Α.Ε.. Το αποτέλεσμα ήταν η παραγωγή λιγνίτη από 1,3 εκ. τόνους που ήταν το 1959 να αυξηθεί το 1975 σε 11,7 εκ. τόνους, το 1985 σε 27,3 εκ. τόνους και το 2006 σε 49 εκ. τόνους.
- **1982** Εκμετάλλευση του λιγνίτη από το λιγνιτικό κοιτάσμα της περιοχής Αναργύρων, κοντά στο Αμύνταιο .
- **1982** Κατασκευή του 1^{ου} Φωτοβολταϊκού (Κύθνος 100 kW).
Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η Δ.Ε.Η. Α.Ε. είναι η πρώτη εταιρία στην Ελλάδα που από το 1982 δραστηριοποιήθηκε στον τομέα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Μέχρι σήμερα μετράει στο δυναμικό της 23 αιολικά πάρκα, 15 μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς και 6 φωτοβολταϊκούς σταθμούς, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 144,7 MW, η Δ.Ε.Η. Ανανεώσιμες έχει τοποθετηθεί δυναμικά στον ελληνικό χώρο των ΑΠΕ, κατέχοντας ήδη σχεδόν το 10% της αγοράς.
- **1983** Ολοκλήρωση της κατασκευής του 1^{ου} Αιολικού Πάρκου της Ευρώπης (Κύθνος 100 kW).
- **1988** Κατασκευή του 1^{ου} γεωθερμικού σταθμού στη Μήλο (2 MW).
- **1997** Το εργατικό της δυναμικό ανέρχεται στις 35000. Παρουσιάζει ετήσια έσοδα που φτάνουν τα 820 δις δρχ. και κέρδη που αγγίζουν τα 80 δις δρχ. .
- **1998** Ίδρυση της Δ.Ε.Η. Ανανεώσιμες.
- **2001** 12/12/2001 Εισαγωγή της Δ.Ε.Η. Α.Ε. στα Χρηματιστήρια Αξιών, Αθηνών και Λονδίνου, 51 χρόνια μετά την ίδρυσή της.

1.1.2 Η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε. σήμερα

Η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε. είναι σήμερα η μεγαλύτερη εταιρία παραγωγής και προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, με περισσότερους από 7,5 εκατομμύρια πελάτες. Έχει στην ιδιοκτησία της το Εθνικό Σύστημα Μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και τα δίκτυα διανομής. Η Δ.Ε.Η. Α.Ε. διαθέτει πολύ μεγάλη υποδομή σε εγκαταστάσεις ορυχείων λιγνίτη, παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, είναι μια

από τις μεγαλύτερες βιομηχανικές επιχειρήσεις ως προς τα πάγια ενεργητικά της στοιχεία, ενώ κατέχει ηγετική θέση ως εταιρία κοινής ωφέλειας στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα

Σήμερα έχει στην διάθεση της 34 μεγάλους θερμικούς και υδροηλεκτρικούς σταθμούς, 3 αιολικά πάρκα καθώς και 61 αυτόνομους σταθμούς στην Κρήτη και στη Ρόδο καθώς και σε περιοχές άλλων νησιών της Ελλάδας (39 θερμικοί σταθμοί, 2 υδροηλεκτρικοί σταθμοί, 15 αιολικά πάρκα και 5 φωτοβολταϊκοί σταθμοί) οι οποίοι συνιστούν το βιομηχανικό κολοσσό της Δ.Ε.Η. Α.Ε. που αποτελεί την ενεργειακή βάση κάθε οικονομικής δραστηριότητας στην Ελλάδα (Εικόνα 1.1).

Η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων παραγωγής της Δ.Ε.Η. Α.Ε. το 2009 ανήλθε σε 12.800 MW, καλύπτοντας το 84% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος της χώρας. Κατά τη διάρκεια του 2010 η Επιχείρηση παρήγαγε περίπου το 85% από τις 53,5 TWh ηλεκτρικής ενέργειας που παρήχθησαν στην Ελλάδα και διήλθαν από τα δίκτυα μεταφοράς. Ο κύκλος εργασιών του Ομίλου ΔΕΗ κατά το 2010 ανήλθε σε 5.811 εκατ. ευρώ και μετά από την καταβολή φόρων σημείωσε κέρδη 557 εκατ. ευρώ. Στα τέλη του 2010, οι εργαζόμενοι της Δ.Ε.Η. Α.Ε. ήταν περισσότεροι από 21.800.

Τα τελευταία χρόνια η Επιχείρηση, πέραν της δημιουργίας νέων θερμικών (λιγνιτικών, πετρελαϊκών, φυσικού αερίου) και υδροηλεκτρικών σταθμών, στρέφεται και προς την αξιοποίηση των εναλλακτικών μορφών ενέργειας (άνεμος, ήλιος, γεωθερμία). Μέσω της "Δ.Ε.Η. Ανανεώσιμες", 100% θυγατρικής εταιρίας της Δ.Ε.Η. Α.Ε., με εγκατεστημένη ισχύ 123 MW, και με χαρτοφυλάκιο έργων υπό ανάπτυξη ισχύος 150W καθώς και ένα σημαντικό αριθμό νέων έργων, ο Όμιλος της Δ.Ε.Η. στοχεύει να κατακτήσει την ηγετική θέση στο χώρο των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην Ελλάδα μέσω της ανάπτυξης έργων ισχύος άνω των 1.000 MW και με συνολικές επενδύσεις ύψους άνω των 2 δις ευρώ συνολικά έως το 2015.

Τέλος είναι σημαντικό και άξιο αναφοράς το γεγονός ότι η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε. έχει σήμερα συμμετοχή σε άλλες εταιρίες και πιο αναλυτικά συμμετέχει με ποσοστό 100% στις εταιρίες Δ.Ε.Η. Ανανεώσιμες Α.Ε. (όπως έχει ήδη αναφερθεί και παραπάνω) αλλά και στις εταιρίες Δ.Ε.Η. Ρόδος Α.Ε., Δ.Ε.Η. Τηλεπικοινωνίες Α.Ε (από τις 15/09/2011 μετονομάστηκε κατά τον νόμο σε ΑΔΜΗΕ Α.Ε.) και PPC FINANCE PLC. Επιπρόσθετα συμμετέχει με ποσοστό 50%, 49% και 11,45% αντίστοιχα στις εταιρίες SENCAP Α.Ε., ΔΕΣΜΗΕ Α.Ε., ΛΑΡΚΟ Γ.Μ.Μ.Α.Ε. (<http://www.dei.gr>).



Εικόνα 1.1 Αναλυτικός Χάρτης Σταθμών (<http://www.dei.gr>).

1.2 Λιγνιτικά κοιτάσματα

Με τον όρο κοιτάσμα (desposit) χαρακτηρίζεται κάθε συγκέντρωση ή παραγένεση ορυκτών, εμπλουτισμένη σε χρήσιμα συστατικά, ώστε να είναι συμφέρουσα η εκμετάλλευσή τους. Οι λιγνίτες ανήκουν στα στερεά ορυκτά καύσιμα με τη γενική ονομασία γαιάνθρακες και τα κοιτάσματά τους ανήκουν στην κατηγορία κοιτασμάτων που ονομάζονται κοιτάσματα ενεργειακών πρώτων υλών (Χρηστίδης, 2005).

1.2.1 Γένεση των λιγνιτών

Όπως αναφέρεται παραπάνω οι λιγνίτες ανήκουν στα στερεά ορυκτά καύσιμα με τη γενική ονομασία γαιάνθρακες. Οι γαιάνθρακες δημιουργήθηκαν μέσω μιας σειράς διεργασιών, όπου φυτικά υπολείμματα υπέστησαν ενανθράκωση. Μέσω αυτής της διαδικασίας επιτυγχάνεται ο εμπλουτισμός των φυτικών υπολειμμάτων σε άνθρακα. Η ενανθράκωση εξαρτάται από παράγοντες όπως η πίεση, η θερμοκρασία και ο γεωλογικός χρόνος (Δεληγιαννίδου, 2006).

Η ενανθράκωση αποτελείται από στάδια που το κάθε ένα, ανάλογα με τον γεωλογικό χρόνο που συντελέστηκε καθώς και τους άλλους παράγοντες που τα επηρεάζουν, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός διαφορετικού

σχηματισμού του γαιάνθρακα. Αρχικό στάδιο ενανθράκωσης θεωρείται η τύρφη, ενώ τελικό στάδιο θεωρείται ο ανθρακίτης. Οι κυριότερες μορφές γαιανθράκων, κατατασσόμενοι από τους παλαιότερους προς τους νεότερους, ως προς το σχηματισμό, είναι:

- **Ανθρακίτης:** περιέχει 92-96% καθαρό άνθρακα. Είναι σκληρός και λείος και έχει μαύρο χρώμα. Κατά την καύση του δεν αφήνει μεγάλες ποσότητες υπολειμμάτων και χρησιμοποιείται κυρίως σε μεταλλουργικές εργασίες αλλά και ως καύσιμο σε ατμομηχανές και ατμοτουρμπίνες.
- **Λιθάνθρακας:** περιέχει 80-92% καθαρό άνθρακα. Είναι μαύρος ή σκούρο καφέ, σκληρός και γυαλιστερός, χρησιμοποιείται κυρίως αρχικά για την παραγωγή φωταερίου με ξηρή απόσταξη και το υπόλειμμά του, που ονομάζεται κωκ, χρησιμοποιείται στη μεταλλουργία του σιδήρου και ως καύσιμο.
- **Λιγνίτης:** περιέχει 50-65% καθαρό άνθρακα. Έχει σκούρο καφέ χρώμα, δεν είναι γυαλιστερός και αφήνει σημαντικό υπόλειμμα κατά την καύση του. Χρησιμοποιείται στον μεγαλύτερο βαθμό του ως καύσιμο σε εργοστάσια παραγωγής ενέργειας.
- **Τύρφη:** περιέχει κάτω από 50% καθαρό άνθρακα. Έχει καφετί χρώμα και η υφή του ξύλου είναι έντονα αποτυπωμένη επάνω της. Δεν χρησιμοποιείται ως καύσιμο, αλλά ως συστατικό εμπλουτισμού καλλιεργήσιμων εδαφών. (κοιτάσματα τύρφης στην Ελλάδα έχουν ανακαλυφθεί στην Καβάλα).

Η μετάβαση από το ένα στάδιο στο άλλο, με την πάροδο του χρόνου, έχει ως συνέπεια την μετάβαση σε ένα νέο σχηματισμό. Έτσι με την πωσ προαναφέρθηκε η μετάβαση από την μορφή της τύρφης σε ανθρακίτη, απαιτεί μια σειρά φυσικοχημικών μεταβολών στα χαρακτηριστικά των γαιανθράκων.

Χαρακτηριστικές μεταβολές που συντελούν στο να επιτευχθεί αυτή η μετάβαση είναι:

- Η μείωση της περιεκτικότητας σε οξυγόνο και υδρογόνο.
- Η αύξηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα.
- Η αύξηση του ποσοστού των ατόμων του άνθρακα που είναι συνδεδεμένα σε αρωματικούς δακτυλίους.
- Η μείωση των πτητικών συστατικών.

Συνοψίζοντας καθίσταται σαφές ότι οι λιγνίτες σχηματίζονται κατά τα πρώτα στάδια της ενανθράκωσης και βρίσκονται ένα στάδιο μετά την τύρφη. Επιπρόσθετα έχει υπολογιστεί πως για τον σχηματισμό ενός στρώματος λιγνίτη που έχει πάχος 1 m απαιτείται ένα χρονικό διάστημα που κυμαίνεται από 1000 έως 4000 χρόνια. Τα χαρακτηριστικά του ποικίλουν ανάλογα την ποιότητα, τον γεωλογικό χρόνο και τις συνθήκες κάτω από τις οποίες σχηματίστηκε. Έτσι μπορεί να είναι συμπαγείς, σκληροί ή εύθρυπτοι (μαλακοί) και το χρώμα τους να είναι από καφέ σκούρο-μαύρο έως ανοιχτό καφέ. Στην φυσική τους κατάσταση

το ποσοστό υγρασίας τους είναι μεγάλο και μπορεί να φθάσει μέχρι και τιμές ανώτερες του 60%. Τέλος, κατά την καύση του ο λιγνίτης παράγει θερμότητα, η οποία ονομάζεται θερμογόνος δύναμη και μετριέται σε θερμίδες ενώ κατάλοιπο της καύσης αυτής είναι η παραγωγή τέφρας (στάχτη) (Δεληγιαννίδου , 2006).



Εικόνα 1.2 Λιγνίτης από την περιοχή της Πτολεμαΐδας
(<http://www.geo.auth.gr/106/1elements/lignite.htm>.)

1.2.2 Λιγνίτες στον ελλαδικό χώρο

Τα συνολικά γεωλογικά αποθέματα λιγνίτη στην Ελλάδα τα οποία θεωρούνται βεβαιωμένα ανέρχονται σε περίπου 5 δις τόνους. Τα κοιτάσματα αυτά δεν περιορίζονται σε ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό τόπο αλλά παρουσιάζουν αξιοσημείωτη γεωγραφική εξάπλωση στον Ελληνικό χώρο.

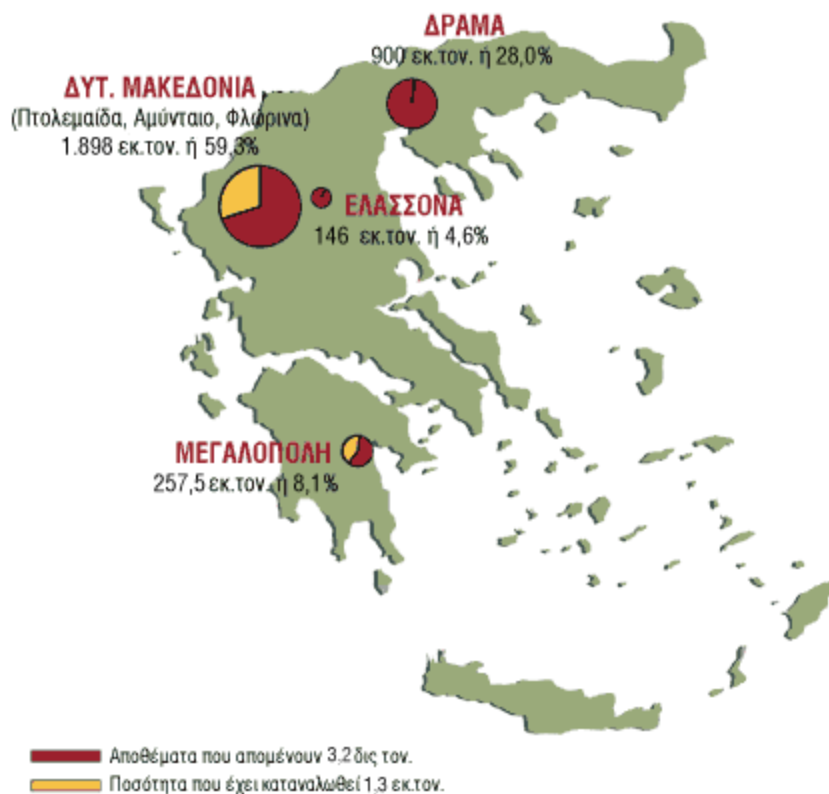
Οι κατάλληλες συνθήκες για τον σχηματισμό των Ελληνικών λιγνιτικών κοιτασμάτων έλαβαν χώρα και χρόνο από τις αρχές του Καινοζωικού αιώνα μέχρι και τους πρόσφατους γεωλογικούς χρόνους ενώ η κυριότερη φάση της λιγνιτογένεσης συμπίπτει με την Νεοτριτογενή και την Τεταρτογενή γεωλογική περίοδο. Τα σημαντικότερα κοιτάσματα λιγνίτη αναπτύχθηκαν στις αβαθείς λίμνες και τα έλη κλειστών ενδοηπειρωτικών λεκανών (<http://www.dei.gr>).

Με τα σημερινά τεχνικό-οικονομικά δεδομένα, τα οποία έχουν προκύψει από μελέτες που έχει εκπονήσει η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε., τα κοιτάσματα που είναι κατάλληλα για ενεργειακή εκμετάλλευση, ανέρχονται σε περίπου 3,2 δις τόνους και σε αντιστοιχία με το πετρέλαιο ισοδυναμούν με 450 εκ. τόνους πετρελαίου.

Τα κυριότερα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα λιγνίτη βρίσκονται στις παρακάτω περιοχές και σε σειρά φθίνουσα ως προς τα αποθέματα λιγνίτη :

- Στην περιοχή της Πτολεμαΐδας, Αμυνταίου και Φλώρινας με υπολογισμένο απόθεμα 1,898 δις τόνους.
- Στην περιοχή της Δράμας με υπολογισμένο απόθεμα 900 εκ. τόνους.
- Στην περιοχή της Μεγαλόπολης με υπολογισμένο απόθεμα περίπου 257,5 εκ. τόνους.
- Στην περιοχή της Ελασσόνας με υπολογισμένο απόθεμα 146 εκ. τόνους.

Με βάση αυτά τα συνολικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη αλλά και συνυπολογίζοντας και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι τα αποθέματα αυτά επαρκούν για περισσότερο από 45 χρόνια. Μέχρι σήμερα οι εξορυχθείσες ποσότητες λιγνίτη φτάνουν περίπου στο 29% των συνολικών αποθεμάτων (<http://www.dei.gr>).



Εικόνα 1.3 Χάρτης με τα κυριότερα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα λιγνίτη που βρίσκονται στον Ελλαδικό χώρο (<http://www.dei.gr>).

1.3 Χρήσεις του λιγνίτη στην Ελλάδα

Σε συντριπτικό ποσοστό, σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη χρήση, ο λιγνίτης χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και αυτό δεν ισχύει μόνο στην Ελλάδα αλλά και σε παγκόσμια κλίμακα. Το 30% περίπου της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης στην Ελλάδα βασίζεται στη χρήση λιγνίτη. Η συμμετοχή όλων των ενεργειακών πηγών στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας φαίνεται στον Πίνακα 1.1. Ένα πολύ μικρό ποσοστό (0,50%) διατίθεται για παραγωγή μπρικήπας και ξηρού λιγνίτη, τα οποία με τη σειρά τους χρησιμοποιούνται για οικιακή και βιοτεχνική χρήση. Όπως προαναφέρθηκε, το σύνολο σχεδόν της παραγωγής λιγνίτη χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Εντούτοις, με μικρότερα ποσοστά συμμετέχουν και άλλες πηγές ενέργειας, για παράδειγμα ο άνθρακας, το υγραέριο και τα αέρια καύσιμα και η υδροηλεκτρική και αιολική ενέργεια. Το ποσοστό του λιγνίτη που διατίθεται για το συγκεκριμένο σκοπό ακολουθεί κάθε χρόνο ανοδική πορεία.

Η χρήση του λιγνίτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εκμεταλλεύεται μόνο το ένα τρίτο περίπου της περιεχόμενης θερμικής ενέργειας. Τα δύο τρίτα που απομένουν αποβάλλονται στην ατμόσφαιρα με τη μορφή θερμικών αποβλήτων. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο γίνονται πολυετείς έρευνες που έχουν ως αντικείμενο την επίτευξη όσο το δυνατόν μεγαλύτερου βαθμού απόδοσης γίνεται. Στις μέρες μας έχει επιτευχθεί βαθμός απόδοσης σε ποσοστό πάνω από 40% ενώ σε περιπτώσεις όπου υπάρχει συνδυασμός κύκλων αναμένεται σε σύντομο χρονικό διάστημα να επιτευχθούν βαθμοί απόδοσης ακόμη και πάνω από 50% (Δεληγιαννίδου , 2006).

Πίνακας 1.1 Γενικό ισοζύγιο ενέργειας (1983-1998) (Στατιστικά στοιχεία ΛΚΔΜ).

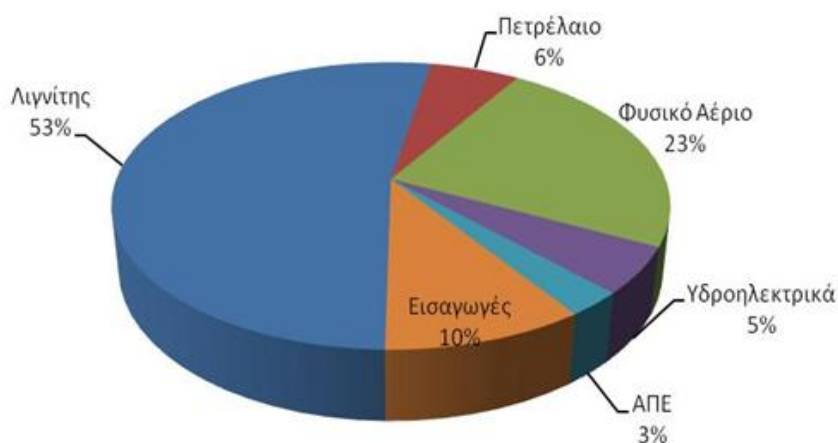
Έτος	Λιγνίτης		Εισαγόμενος άνθρακας		Υγρά καύσιμα		Αέρια καύσιμα		Υδρο-ηλεκτρική ενέργεια		Ανανεώσιμες πηγές		Σύνολο 1000 ΤΙΠ
	1000 ΤΙΠ*	%	1000 ΤΙΠ*	%	1000 ΤΙΠ*	%	1000 ΤΙΠ*	%	1000 ΤΙΠ*	%	1000 ΤΙΠ*	%	
1983	4.095	24,48	823	4,92	10.644	63,64	70	0,42	1.094	6,54	-	-	16.726
1984	4.110	23,43	1.146	6,53	10.790	61,52	77	0,44	1.416	8,07	-	-	17.539
1985	4.894	27,10	1.189	6,58	10.978	63,64	72	0,40	927	5,13	-	-	18.060
1986	5.040	28,22	1.159	6,49	10.354	61,52	99	0,55	1.205	6,75	-	-	17.857
1987	5.764	30,78	1.035	5,53	10.862	60,79	113	0,60	951	5,08	-	-	18.725
1988	6.462	32,59	966	4,87	11.536	57,98	135	0,68	732	3,69	-	-	19.831
1989	7.118	32,77	861	3,96	12.936	58,01	136	0,63	668	3,08	-	-	21.719
1990	7.140	32,66	926	4,24	12.937	59,17	139	0,64	721	3,30	-	-	21.863
1991	6.752	30,40	1.015	4,57	13.300	59,87	139	0,63	1.008	4,54	-	-	22.214
1992	6.854	30,41	1.252	5,55	13.528	60,02	127	0,56	779	3,46	-	-	22.540
1993	7.148	31,95	956	4,27	13.315	59,51	93	0,42	862	3,85	-	-	22.374
1994	7.489	32,44	947	4,10	13.789	59,73	47	0,20	815	3,53	-	-	23.087
1995	7.421	31,58	970	4,13	13.897	59,14	44	0,19	1.167	4,97	-	-	23.499
1996	6.995	28,02	974	3,90	14.880	59,60	54	0,22	1.412	5,66	650	2,60	24.965
1997	7.701	29,15	865	3,27	15.054	56,99	186	0,70	1.583	5,99	1.027	3,89	26.416
1998	8.098	29,30	833	3,01	15.497	56,07	813	2,94	1.372	4,96	1.027	3,72	27.640

*ΤΙΠ = Τόννοι Ισοδύναμου Πετρελαίου

■ Λιγνίτης	58,3 %	(Στοιχεία ΔΕΣΜΗΕ 2008)		
■ Πετρέλαιο	6,8 %			
■ Φυσ. αέριο	26,0 %			
■ Υδρο/ηλεκτρ.	5,8 %	ΣΥΝΟΛΟ	51.257.496 MWh	
■ ΑΠΕ	3,1 % (985 MW)			

Εικόνα 1.4 Στοιχεία ΔΕΣΜΗΕ 2008

Μερίδια καυσίμων στην τελική κατανάλωση ηλεκτρισμού



Εικόνα 1.5 Μερίδια καυρίμων στην τελική κατανάλωση ηλεκτρισμού για το 2010
(Στατιστικά στοιχεία ΛΚΔΜ)

1.4 Η οικονομική σημασία των κοιτασμάτων λιγνίτη στην Ελλάδα

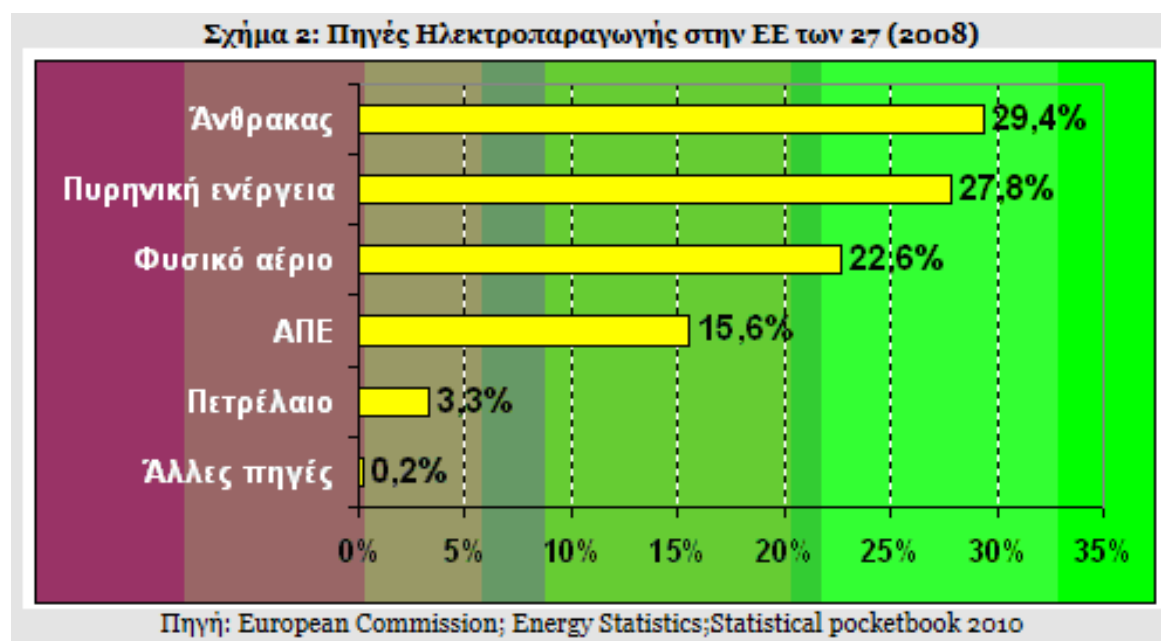
Από όλα τα ορυκτά καύσιμα, οι γαιάνθρακες διαθέτουν παγκοσμίως τα μεγαλύτερα αποθέματα, τα οποία επαρκούν για εκατοντάδες χρόνια. Είναι χαρακτηριστικό, πως η παραγωγή λιγνίτη στον ευρωπαϊκό χώρο κατά το έτος 2000 ήταν 542×10^6 τόνοι. Οι κύριες λιγνιτοπαραγωγικές χώρες εντοπίζονται στην Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη και είναι: η Γερμανία, η Πολωνία, η Τουρκία, η Ελλάδα, η Δημοκρατία της Τσεχίας, η Ομοσπονδιακή Δημοκρατία της Γιουγκοσλαβίας, η Βουλγαρία, η Ρουμανία, η Ουγγαρία και η Ισπανία (Εικόνα 1.4). Το ποσοστό με το οποίο συμμετέχει ο λιγνίτης στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα την κατατάσσει στη δεύτερη θέση ανάμεσα στις κύριες λιγνιτοπαραγωγικές χώρες μαζί με την Τσεχία με ποσοστό συμμετοχής 69% ενώ ακολουθεί η Γιουγκοσλαβία με ποσοστό 66% (Εικόνα 1.5).

Ο λιγνίτης που εξορύσσεται από τις διάφορες χώρες συνήθως δεν εξάγεται αλλά αντίθετα χρησιμοποιείται από τις ίδιες. Η χρησιμοποίησή αυτή γίνεται κοντά στα σημεία όπου βρίσκονται τα αποθέματά του. Κυρίως, κατά 90%, χρησιμοποιείται σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση με τα ορυχεία εξόρυξής του. Αυτό συμβαίνει γιατί ο λιγνίτης έχει χαμηλή θερμαντική ικανότητα που σημαίνει ότι είναι ανποικονομική η μεταφορά του σε μεγάλες αποστάσεις. Σε χώρες όπου η παραγωγή του λιγνίτη είναι πολύ μεγάλη, το ποσοστό συμμετοχής του λιγνίτη στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι σημαντικό. Έτσι, όπως προαναφέρθηκε, στην Ελλάδα το 69% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας το έτος 2000 προήλθε από το λιγνίτη. Το ποσοστό εξαγωγής του εξορυσσόμενου λιγνίτη είναι πολύ μικρό, μόλις το 1%

εξάγεται παγκοσμίως. Αντίθετα το ποσοστό αυτό για το πετρέλαιο φτάνει το 57%, για το φυσικό αέριο το 20% και για τον άνθρακα το 13%.

Η αξιοποίηση του λιγνίτη έχει συμβάλλει τα μέγιστα στην ενεργειακή ανάπτυξη της χώρας μας, που σημαίνει ότι έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην οικονομική της ανάπτυξη τα τελευταία 40 χρόνια. Με τον τρόπο αυτό στηρίζει το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η Δ.Ε.Η. Α.Ε. διαθέτει συνολικά 21 λιγνιτικές μονάδες οι οποίες αποτελούν το 50% περίπου της συνολικά εγκατεστημένης ισχύος στην Ελλάδα. Το έτος 2000 η ηλεκτρική ενέργεια από την αξιοποίηση του λιγνίτη ανήλθε στο 70,6% της ενέργειας που συνολικά παράγεται στη χώρα. Με τη συμμετοχή αυτή επιτεύχθηκε εξοικονόμηση στο εισαγόμενο πετρέλαιο, αξίας 250 δις δρχ. περίπου. Το υπόλοιπο 29,4% της παραγόμενης ενέργειας προήλθε από κάποιες άλλες πηγές και συγκεκριμένα από τα υδροηλεκτρικά έργα, το φυσικό αέριο και από το πετρέλαιο. Η υδροηλεκτρική ενέργεια κάλυψε το 11,6% των ενεργειακών αναγκών της Ελλάδος, παρόλο που η εγκατεστημένη ισχύς των διασυνδεδεμένων δικτύων της Δ.Ε.Η. Α.Ε. φτάνει τα 2524 MW. Αυτό σημαίνει ότι η υδροηλεκτρική ενέργεια θα έπρεπε να καλύπτει το 29% των ενεργειακών αναγκών της Ελλάδος. Το πετρέλαιο κάλυψε το 8,8% των ενεργειακών αναγκών και το φυσικό αέριο το 9,0% (Παπανικολάου, 2006).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Υπαίθρια Εκμετάλλευση

Η εκμεταλλευσιμότητα ή όχι ενός κοιτάσματος λιγνίτη ή γαιάνθρακα γενικότερα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες: τεχνικούς, οικονομικούς, γεωλογικούς. Έτσι, άλλες προδιαγραφές αξιολόγησης εφαρμόζονται στην περίπτωση που το κοιτάσμα προορίζεται προς αξιοποίηση με τεχνικές υπόγειας εκμετάλλευσης και άλλες όταν το κοιτάσμα προορίζεται προς εκμετάλλευση με τεχνικές υπαίθριας εξόρυξης. Αν και οι εκμεταλλεύσεις λιγνίτη στη χώρα μας κατά το παρελθόν ήταν κυρίως υπόγειες, στις μέρες μας, στο σύνολο των λιγνιτικών κοιτασμάτων πραγματοποιείται υπαίθρια εκμετάλλευση. Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθούν βασικές αρχές, ορισμοί, παράγοντες και μέθοδοι των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων.

2.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την εκμεταλλευσιμότητα

Η εκμεταλλευσιμότητα ενός κοιτάσματος είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων, όπως (Μενεγάκη, 2010):

- Της περιεκτικότητάς του σε χρήσιμα συστατικά: η περιεκτικότητα μετρούμενη σε ποσοστό επί τοις εκατό ή ppm πρέπει να υπερβαίνει το κατώτερο όριο εκμεταλλευσιμότητας (cut-off grade), ένα όριο που τίθεται, κυρίως από τεχνολογικούς και οικονομικούς περιορισμούς.
- Των αποθεμάτων του: τα αποθέματα, ανάλογα με το βαθμό βεβαιότητας διακρίνονται σε βέβαια, πιθανά και δυνατά. Βέβαια χαρακτηρίζονται τα αποθέματα που έχουν εξακριβωθεί με βάση συστηματική δειγματοληψία, εκτεταμένη γεωτρητική έρευνα και γεωφυσικές, γεωχημικές διασκοπήσεις. Σε περίπτωση όπου η παραπάνω έρευνα δεν είναι πλήρως εμπεριστατωμένη, τότε τα αποθέματα χαρακτηρίζονται ως πιθανά. Τέλος λαμβάνοντας υπόψη τη γεωμετρία του κοιτάσματος, την πιθανή έκτασή του και τους στρωματογραφικούς, τεκτονικούς παράγοντες υπολογίζονται τα δυνατά αποθέματα.
- Του τρόπου εμφάνισης του μεταλλεύματος: ο ιστός, τα σύνδρομα ορυκτά και τα υποπροϊόντα παίζουν σημαντικό ρόλο.
- Της δυνατότητας απόληψής του: γεωγραφική θέση, γεωμορφολογικές, υδρολογικές συνθήκες της περιοχής, εγγύτητα σε κατοικημένη περιοχή, χώροι με ιστορικό, αρχαιολογικό ενδιαφέρον κ.λπ.

- Του τρόπου εξόρυξης: υπαίθρια ή υπόγεια εκμετάλλευση.
- Της ανάγκης για έργα υποδομής: οδικά, κτιριακά έργα κ.λπ.
- Του κόστους μεταφοράς του μεταλλεύματος: οδική, σιδηροδρομική μεταφορά, μεταφορά με πλοία.
- Της τιμής του μεταλλεύματος: η διακύμανση της τιμής του μετάλλου είναι δυνατόν να επιτρέψει την εκμετάλλευση φτωχών κοιτασμάτων ή κοιτασμάτων με μεγάλο κόστος εξόρυξης και αντίστοιχα να οδηγήσει σε κλείσιμο μεταλλείων, με μεγαλύτερο κόστος.
- Του επιπέδου της τεχνολογίας: αφορά τόσο σε θέματα εξόρυξης και εμπλουτισμού όσο και σε θέματα αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τις εργασίες της εξόρυξης.
- Της γενικότερης πολιτικής κατάστασης: δικτατορίες, πόλεμοι κ.λπ.
- Της επέμβασης των cartel: διαμόρφωση των τιμών των προϊόντων.

Με βάση τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι είναι δυνατό μια συγκέντρωση, υπό προϋποθέσεις, να αποτελέσει κοιτάσμα σε μια περιοχή και εμφάνιση σε μια άλλη. Αντίστοιχα ένα κοιτάσμα, το οποίο θεωρείται σήμερα ασύμφορο προς εκμετάλλευση, στο μέλλον μπορεί να καταστεί εκμεταλλεύσιμο. Η δυναμική αυτή κατάσταση είναι παρούσα σε όλη τη διάρκεια ζωής ενός μεταλλείου, τα όρια του κοιτάσματος συρρικνώνονται ή διευρύνονται με κάθε αλλαγή στο κόστος παραγωγής, την τιμή πώλησης ή τη διαθεσιμότητα νέων ερευνητικών στοιχείων. Ο σχεδιασμός μιας εκμετάλλευσης αποτελεί, επομένως μια δυναμική διαδικασία η οποία ξεκινάει κατά τη φάση της μεταλλευτικής έρευνας και τερματίζει με το πέρας των εργασιών (Μενεγάκη, 2010).

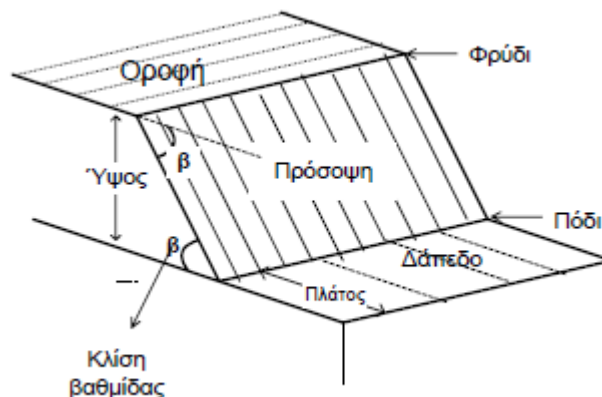
2.2 Βασικοί ορισμοί στον σχεδιασμό υπαίθριας εκμετάλλευσης

1. Άγονα (υπερκείμενα και ενδιάμεσα): Το χωρίς οικονομική σημασία πέτρωμα που περιβάλλει το κοιτάσμα. Άγονα χαρακτηρίζονται και τα χαμηλής ποιότητας τμήματα του κοιτάσματος των οποίων η επεξεργασία μετά την εξόρυξη είναι ασύμφορη. Υπερκείμενα χαρακτηρίζονται τα άγονα που υπέρκεινται του κοιτάσματος και πρέπει να απομακρυνθούν για να πραγματοποιηθεί η εκμετάλλευση.
2. Αποκάλυψη: Η εξόρυξη και απομάκρυνση των αγόνων από το μέτωπο. Η φάση της εργασίας αυτής, η οποία πραγματοποιείται πριν από την έναρξη της παραγωγής του ορυκτού ή του μεταλλεύματος, ονομάζεται αρχική αποκάλυψη.

3. Σχέση αποκάλυψης: Ορίζεται ως ο αριθμός των μονάδων όγκου ή βάρους αγόνων που πρέπει να απομακρυνθούν για να αποκαλυφθεί μία μονάδα χρήσιμου προϊόντος και δίνεται από τη σχέση:

$$\Sigma\Lambda = \frac{\text{Άγωνα (m}^3\text{)}}{\text{Χρήσιμο συστατικό (ton ή m}^3\text{)}}$$

4. Κλίση πρανούς: Η γωνία ενός πρανούς με το οριζόντιο επίπεδο
5. Γωνία φυσικού πρανούς: Η μέγιστη κλίση υπό την οποία σωρός χαλαρού ή θραυσμένου υλικού βρίσκεται σε ισορροπία.
6. Βαθμίδα: Είναι η συνήθης μορφή ενός μετώπου παραγωγής. Αποτελείται από δύο ελεύθερες επιφάνειες: μία οριζόντια και μία κατακόρυφη ή κεκλιμένη με μεγάλη κλίση. Κάθε βαθμίδα αποτελεί μονάδα παραγωγής και χαρακτηρίζεται με βάση την κλίση, το πλάτος, το ύψος, το φρύδι και το πόδι (Εικόνα 2.1). Το μήκος και η κατεύθυνση προς την οποία αναπτύσσεται η βαθμίδα εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος, τη μορφολογία της περιοχής και το βάθος. Οι βαθμίδες χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:
- Ανοικτές βαθμίδες: Αναπτύσσονται όταν η εκμετάλλευση πραγματοποιείται στην πλαγιά ενός λόφου.
 - Κλειστές βαθμίδες: Αναπτύσσονται σε βάθος δημιουργώντας μια χοανοειδή εκσκαφή.



Εικόνα 2.1 Γεωμετρικά στοιχεία βαθμίδας (Μενεγάκη, 2010).

7. Κλίση πρανούς εκμετάλλευσης: Η κλίση που έχουν τα πρανή της εκμετάλλευσης προς το οριζόντιο επίπεδο οποιαδήποτε στιγμή κατά τη διάρκεια της εκμετάλλευσης. Μέγιστη, τελική ή οριακή κλίση είναι η κλίση στην οποία μπορεί να φθάσει με ασφάλεια η εκμετάλλευση κατά την

τελική φάση. Η κλίση πρανούς εκμετάλλευσης εξαρτάται από το είδος του πετρώματος (Πίνακας 2.1).

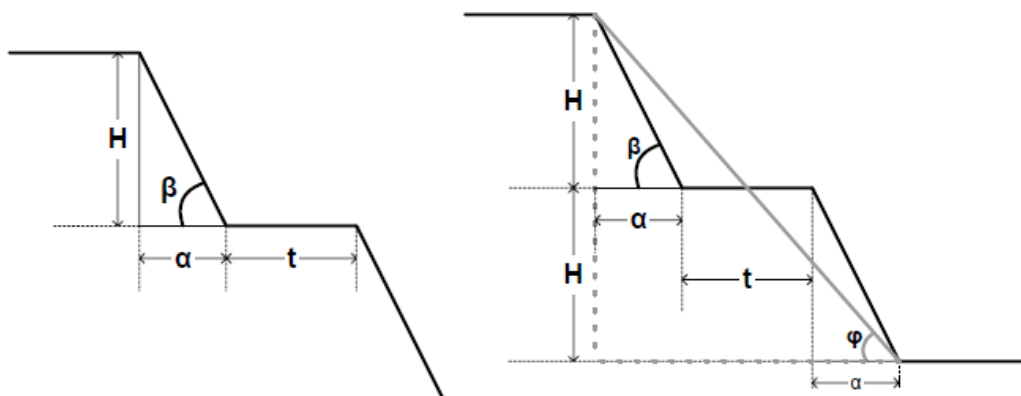
Πίνακας 2.1 Ασφαλείς γωνίες πρανών βαθμίδων διαφόρων πετρωμάτων (Μενεγάκη, 2010).

Είδος πετρώματος	Γωνία (μοίρες)
Μαλακή άργιλος	25 - 35
Συνεκτική άργιλος	30 - 40
Σκληρή αργιλούχος μάργα, ψαμμίτης, ασβεστόλιθος	40 - 45
Σκληρός ψαμμίτης, σκληρός ασβεστόλιθος, δολομίτης, εξαλλοιωμένα εκρηξιγενή πετρώματα	40 - 50
Πολύ σκληρός ψαμμίτης, ασβεστόλιθος, δολομίτης, μεταμορφωμένα και εκρηξιγενή πετρώματα	50 - 65
Χαλαζίτες και πολύ σκληρά εκρηξιγενή πετρώματα	60 - 70

Ο υπολογισμός κλίσης πρανούς:

Έστω ότι υπάρχει ένα πρανές αποτελούμενο από 2 βαθμίδες. Για κλίση βαθμίδας β , ύψος βαθμίδας H και πλάτος βαθμίδας t (Εικόνα 2.2) η κλίση του πρανούς υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\tan \varphi = \frac{2H}{t + 2\alpha} \Leftrightarrow \varphi = \tan^{-1} \frac{2H}{t + 2\alpha}, \text{ όπου: } \alpha = \frac{H}{\tan \beta}$$

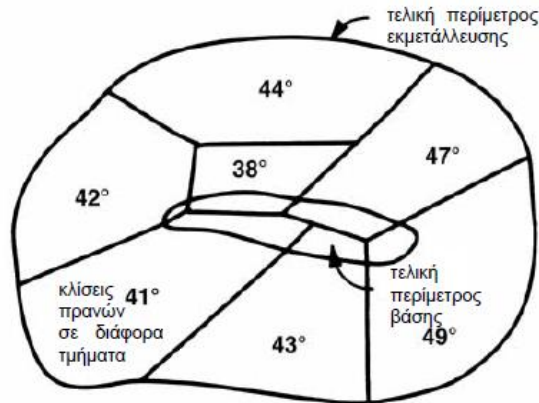


Εικόνα 2.2 Υπολογισμός κλίσης πρανούς εκμετάλλευσης (Μενεγάκη, 2010).

8. Τελική περίμετρος εκμετάλλευσης: Η μέγιστη οριζόντια ανάπτυξη της εκμετάλλευσης στην επιφάνεια του εδάφους (Εικόνα 2.3).
9. Τελική περίμετρος βάσης: Η μέγιστη οριζόντια ανάπτυξη στο βαθύτερο σημείο της εκμετάλλευσης (Εικόνα 2.3).

10. Εσωτερική και εξωτερική απόθεση: Ο χώρος στον οποίο θα αποτεθούν τα άγονα υλικά της εξόρυξης. Όταν η απόθεση πραγματοποιείται εντός της τελικής περιμέτρου της εκμετάλλευσης ονομάζεται εσωτερική, ενώ όταν πραγματοποιείται εκτός, εξωτερική.

(Μενεγάκη, 2010)



Εικόνα 2.3 Κάτοψη τελικής μορφής ορίων εκμετάλλευσης με μεταβλητή κλίση πρηνών. (Μενεγάκη, 2010).

2.3 Κατηγορίες αποθεμάτων στα λιγνιτικά κοιτάσματα

Καταρχάς υπάρχει ο διαχωρισμός σε δύο κατηγορίες κοιτασμάτων οι οποίες είναι:

- Τα γεωλογικά αποθέματα
- Απολήψιμα αποθέματα

Σαν γεωλογικό απόθεμα, στην περίπτωση λιγνιτικών αποθέσεων, εννοείται η ποσότητα του λιγνίτη η οποία έχει διαπιστωθεί στη λιγνιτοφόρα στοιβάδα της λεκάνης. Για τον υπολογισμό του γεωλογικού αποθέματος λαμβάνονται υπόψη όλα τα στρώματα του λιγνίτη.

Απολήψιμο απόθεμα ορίζεται η ποσότητα του λιγνίτη η οποία είναι δυνατόν να εξορυχτεί με οικονομικούς όρους. Για τον υπολογισμό του απολήψιμου αποθέματος λαμβάνονται υπόψη μόνο εκείνα τα στρώματα του λιγνίτη που πληρούν ορισμένες προϋποθέσεις πάχους (συνήθως με πάχος >20cm και με τέφρα <55%).

Μέχρι σήμερα δεν έχει καθορισθεί μία ενιαία ταξινόμηση, έτσι κάθε κράτος εφαρμόζει διαφορετικές προδιαγραφές για τον καθορισμό των αποθεμάτων του. Οι κυριότερες από τις γνωστές κατηγοριοποιήσεις αποθεμάτων παρατίθενται παρακάτω.

Σύμφωνα με το Γραφείο Μεταλλείων των Η.Π.Α. (Bureau of Mines) και το Γεωλογικό Ινστιτούτο των Η.Π.Α. (USGS), τα κοιτάσματα ταξινομούνται ως εξής :

α) **Βέβαια αποθέματα (measured ore)**. Πρόκειται για αποθέματα που έχουν προσδιορισθεί με πυκνό δίκτυο γεωτρήσεων και επίσης πυκνό δίκτυο σημείων παρατήρησης. Το πυκνό δίκτυο της δειγματοληψίας επιτρέπει τον επαρκή προσδιορισμό όλων των παραμέτρων του κοιτάσματος. Τα σφάλματα υπολογισμού είναι πολύ μικρά.

β) **Πιθανά αποθέματα (Indicated ore)**. Πρόκειται για αποθέματα που έχουν προσδιορισθεί με αραιό δίκτυο γεωτρήσεων. Το αραιό δίκτυο των γεωτρήσεων δεν επιτρέπει την ακριβή περιχάραξη του κοιτάσματος, τα σφάλματα υπολογισμού είναι μεγαλύτερα από την προηγούμενη κατηγορία.

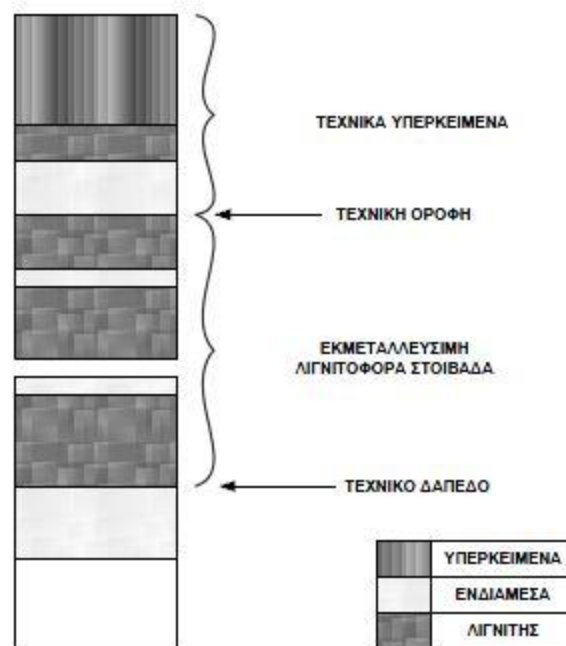
γ) **Δυνατά αποθέματα (Inferred ore)**. Ο προσδιορισμός τους βασίζεται μόνο σε γεωλογικά κριτήρια. Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει όριο ανεκτού σφάλματος, αλλά όριο ανοχής της δεδομένης γεωλογικής εκτίμησης.

2.3.1 Εκμεταλλεύσιμα λιγνιτικά κοιτάσματα

Η ιδιομορφία των λιγνιτικών κοιτασμάτων, δηλαδή η εναλλαγή των λιγνιτικών στρωμάτων ποικίλου πάχους με στρώματα στείρων υλικών, σε συνδυασμό με τους περιορισμούς που επιβάλλονται από τη μέθοδο εκμετάλλευσης που πρόκειται να εφαρμοστεί, οδήγησε στην θέσπιση και εφαρμογή συγκεκριμένων κανόνων αξιολόγησης των λιγνιτικών κοιτασμάτων κατά το αρχικό στάδιο της κοιτασματολογικής μελέτης, που βασίζονται κυρίως στα στοιχεία που προκύπτουν από την γεωτρητική έρευνα (Εικόνα 2.18). Στην αξιολόγηση χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι όροι (Γαλετάκης, 1996):

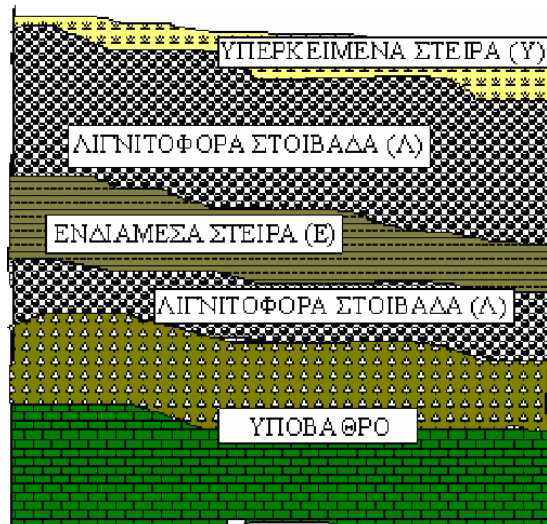
- Φυσικός λιγνίτης. Εννοείται ο γεωλογικός λιγνίτης, όπως αναγνωρίζεται μακροσκοπικά από τους πυρήνες των γεωτρήσεων και στα μέτωπα εκσκαφής των ορυχείων.
- Τεχνικά απολήψιμος λιγνίτης. Εννοείται ο λιγνίτης που προκύπτει μετά από ενοποίηση διακεκριμένων λιγνιτικών στρωμάτων με ενδιάμεσες στείρες ή ανθρακομιγείς ενστρώσεις, προκειμένου να διαμορφωθούν τα προς εξόρυξη μέτωπα, λαμβάνοντας υπ' όψη τη μέθοδο εκμετάλλευσης και την τεχνολογία εξόρυξης.
- Τεχνική οροφή. Λαμβάνεται η επιφάνεια που βρίσκεται ορισμένα εκατοστά (περίπου 10 cm) κάτω από το πρώτο απολήψιμο στρώμα λιγνίτη.

- Τεχνικά υπερκείμενα. Τα στείρα υλικά ή μη απολήψιμα λιγνιτικά στρώματα που βρίσκονται πάνω από την τεχνική οροφή.
- Τεχνικό δάπεδο. Η επιφάνεια που βρίσκεται ορισμένα εκατοστά (περίπου 10 cm) ψηλότερα από το τελευταίο απολήψιμο λιγνιτικό στρώμα.
- Εκμεταλλεύσιμη λιγνιτοφόρα στιβάδα. Ο όγκος που βρίσκεται μεταξύ τεχνικής οροφής και δαπέδου.



Εικόνα 2.4 Σχηματική απεικόνιση αξιολογήσιμης γεώτρησης (Καραμαλίκης,2004).

Σύμφωνα με τις σημερινές οικονομοτεχνικές συνθήκες, ένα τμήμα της λιγνιτικής εμφάνισης κρίνεται σαν οικονομικά εκμεταλλεύσιμη (κοίτασμα) με υπαίθρια εξόρυξη, εάν για το τμήμα αυτό η γραμμική σχέση άγονων υλικών (δηλαδή υπερκείμενων (Υ) και ενδιάμεσων (Ε) στειρών προς απολήψιμο λιγνίτη (Λ) σε μέτρα, $[(Y+E)/\Lambda]$, φθάνει μέχρι 15:1 (Εικόνα 2.19). Έτσι, αν ο λόγος είναι μεγαλύτερος σε τμήμα ή στο σύνολο εμφάνισης, ο λιγνίτης δεν εξορύσσεται με τις σημερινές τεχνικό-οικονομικές συνθήκες. Η σχέση εκμεταλλευσιμότητας αυτή, είναι δυνατό στο εγγύς μέλλον να υποστεί αυξομειώσεις που έχουν σαν αποτέλεσμα συνήθως τη διεύρυνση του τμήματος εκείνου της λιγνιτικής εμφάνισης που μπορεί να είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμο. Αυτό εξηγείται εάν ληφθεί υπόψη ότι η τιμή των υγρών καυσίμων είναι στενά συνδεδεμένη με την αξία των στερεών καυσίμων.



Εικόνα 2.5 Η διάταξη των υπερκειμένων [Υ] και ενδιάμεσων [Ε] στειρών στη Λιγνιτοφόρα στιβάδα [Λ] που εδώ αποτελείται από 2 στρώματα λιγνίτη.

2.4 Καθορισμός μεθόδου εκμετάλλευσης – ετήσιος ρυθμός εκσκαφής υλικών

Κατά τον καθορισμό της μεθόδου εκμετάλλευσης σ' ένα λιγνιτωρυχείο θα πρέπει να προσδιοριστεί αν η ανάπτυξη του ορυχείου θα ακολουθήσει παράλληλη ή περιστροφική λειτουργία ή αν ένας συνδυασμός αυτών οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα.

Ο τρόπος λειτουργίας επηρεάζεται άμεσα από το σχήμα του πεδίου, το διαθέσιμο σύστημα μεταφοράς και από τις επικρατούσες τεκτονικές συνθήκες. Περιοχές με ρήγματα απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή και μελέτη.

Από τεχνικής άποψης η περιστροφική λειτουργία με σταθερό σημείο περιστροφής μέχρι εξόφλησης του κοιτάσματος θεωρείται η καλύτερη τεχνική. Μεταξύ των άλλων πλεονεκτημάτων, η μέθοδος αυτή απλοποιεί σε μεγάλο βαθμό το αποστραγγιστικό πρόβλημα, την προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας και τον τρόπο κατανομής (διάταξη) των μεταφορικών ταινιών. Επίσης, εξασφαλίζει μια σταθερή για όλη τη ζωή του ορυχείου, έξοδο, δρόμους εξόδου και κεντρική θέση των συνεργείων, του διοικητηρίου και των υπηρεσιών προμήθειας υλικών.

Η έρευνα αγοράς για την απαιτούμενη ετήσια παραγωγή καθορίζει την ετήσια διακίνηση υλικών με βάση την υφιστάμενη σχέση αποκάλυψης. Γνωρίζοντας τα ανωτέρω είναι εύκολο να προσδιοριστεί ο απαιτούμενος χρόνος για την εξόφληση του κοιτάσματος.

2.4.1 Βασικές κατηγορίες παραμέτρων σχεδιασμού

Οι παράμετροι που επιδρούν στο σχεδιασμό μιας εκμετάλλευσης μπορούν να

διακριθούν στις ακόλουθες γενικές κατηγορίες:

- Φυσικές παράμετροι
- Οικονομικές παράμετροι
- Περιβαλλοντικές παράμετροι
- Τεχνολογικές παράμετροι

2.4.1.1 Φυσικές παράμετροι

Τα γεωλογικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά ενός κοιτάσματος, τα οποία έχουν επίπτωση στην οικονομικότητα και κατ' επέκταση στο σχεδιασμό μιας εκμετάλλευσης είναι:

Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής: Τα χαρακτηριστικά αυτά επιδρούν αφενός στην ευστάθεια των πρηνών και αφετέρου στο συνολικό κόστος της εκμετάλλευσης, λόγω των αυξημένων δαπανών που απαιτούνται για την άντληση των υδάτων στην περίπτωση της εισροής νερών στην εκμετάλλευση.

Τεκτονική της περιοχής (ρήγματα, συστήματα κατακλάσεων κ.λπ.): Επηρεάζει την αντοχή και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων, καθώς και την ευστάθεια των πρηνών. Επιδρά, επομένως, άμεσα στα χαρακτηριστικά της εκμετάλλευσης (μέθοδος εκμετάλλευσης, γωνία πρηνών, κ.λπ.). Ιδιαίτερη σημασία έχει η τεκτονική στην περίπτωση των εκμεταλλεύσεων μαρμάρων, καθώς καθορίζει το μέγεθος των καθαρών όγκων που μπορούν να παραχθούν.

Τοπογραφία της περιοχής: Το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής επιδρά στη σχέση αποκάλυψης του κοιτάσματος αλλά και στη γεωμετρία της εκμετάλλευσης επηρεάζοντας άμεσα το βαθμό στον οποίο η εκμετάλλευση είναι ορατή από την ευρύτερη περιοχή.

Γεωμετρία κοιτάσματος: Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τη μέθοδο και κατ' επέκταση την οικονομικότητα της εκμετάλλευσης είναι:

- Το σχήμα και η μορφή του κοιτάσματος (φλεβοειδές, στρωματοειδές, κλπ.)
- Η κλίση του κοιτάσματος
- Το πάχος των υπερκειμένων
- Το τελικό βάθος του κοιτάσματος
- Η γεωμετρία του κοιτάσματος σε συνδυασμό με τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά καθορίζει επίσης τα απολήψιμα αποθέματα.

Μηχανικά χαρακτηριστικά κοιτάσματος και περιβαλλόντων πετρωμάτων: Επηρεάζουν την επιλογή της μεθόδου εκμετάλλευσης, την μέγιστη επιτρεπόμενη κλίση των πρηνών ενώ έχουν σημασία και για το κόστος όρυξης διατρημάτων και την κατανάλωση των εκρηκτικών υλών.

Γεωγραφική θέση κοιτάσματος: Η γεωγραφική θέση του κοιτάσματος επηρεάζει άμεσα το κόστος μεταφοράς του υλικού. Καθορίζει, επίσης, τα έργα υποδομής που απαιτούνται στην περιοχή (οδικό δίκτυο, δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, κ.λπ.). Η γεωγραφική θέση συνδέεται άμεσα με τις επιπτώσεις της εκμετάλλευσης στην ευρύτερη περιοχή. Η γειτνίαση μιας εκμετάλλευσης με αστικά κέντρα μπορεί να οδηγήσει σε έντονες κοινωνικές αντιδράσεις (περίπτωση λατομείων αδρανών υλικών) με αποτέλεσμα ακόμη και των τερματισμό των εργασιών της εκμετάλλευσης. Σε άλλες περιπτώσεις (π.χ. λιγνίτες) μπορεί να απαιτείται η μετεγκατάσταση οικισμών, η οποία και θα πρέπει να προβλεφθεί κατά τη φάση του σχεδιασμού της εκμετάλλευσης, καθώς αυξάνει το κόστος και επηρεάζει την πορεία των εργασιών της εκμετάλλευσης.

Κλίμα της περιοχής: Οι κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν σε μια περιοχή μπορεί να επηρεάσουν την περίοδο λειτουργίας της εκμετάλλευσης κατά τη διάρκεια του έτους και το είδος του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί. Επίσης μπορεί να απαιτηθούν διαφοροποιήσεις στο σχεδιασμό της εκμετάλλευσης (π.χ. διαπλάτυνση οδών προσπέλασης σε συνθήκες παγετού για την ασφαλή και απρόσκοπτη κίνηση των οχημάτων) (Μπατάλας, 2011).

2.4.1.2 Οικονομικές παράμετροι

Οι οικονομικές παράμετροι που επιδρούν στο σχεδιασμό μιας εκμετάλλευσης είναι υψίστης σημασίας για το σχεδιασμό της εκμετάλλευσης και τη βιώσιμη ανάπτυξη του λατομείου. Σε αυτή την ενότητα εξηγούνται αναλυτικά κάποιοι όροι οικονομικής σημασίας για την εκμετάλλευση.

2.4.1.2.1 Οικονομική ή οριακή ή μέγιστη σχέση αποκάλυψης

Η οικονομική σχέση αποκάλυψης προσδιορίζει το «νεκρό σημείο» της δραστηριότητας, το σημείο δηλαδή εκείνο όπου το κόστος της επιφανειακής εκμετάλλευσης ισούται με τα έσοδα της επιχείρησης, με αποτέλεσμα η επιχείρηση να καλύπτει τα έξοδά της χωρίς να πραγματοποιεί ούτε κέρδος ούτε ζημιά. Στην περίπτωση επιλογής μεταξύ επιφανειακής και υπόγειας εκμετάλλευσης η οικονομική σχέση αποκάλυψης αναφέρεται στη στιγμιαία εκείνη σχέση όπου το κόστος της επιφανειακής εξισώνεται με το κόστος της υπόγειας εκμετάλλευσης. Η οικονομική σχέση αποκάλυψης προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$R_E = \frac{A - B}{C}$$

Όπου:

A: Έσοδα / τόνο χρήσιμου συστατικού

B: Κόστος εξόρυξης και επεξεργασίας / τόνο χρήσιμου συστατικού

C: Κόστος αποκάλυψης / τόνο αγόνων

Σε αρκετές περιπτώσεις η οικονομική σχέση αποκάλυψης αναφέρεται στο ελάχιστο αποδεκτό κέρδος για την επιχείρηση αντί για το νεκρό σημείο, οπότε η προηγούμενη σχέση διαμορφώνεται ως εξής (Μπατάλας 2011):

$$R_E = \frac{A - (B + D)}{C}$$

Όπου:

A: Έσοδα / τόνο χρήσιμου συστατικού

B: Κόστος εξόρυξης και επεξεργασίας / τόνο χρήσιμου συστατικού

C: Κόστος αποκάλυψης / τόνο αγόνων

D: Ελάχιστο κέρδος / τόνο χρήσιμου συστατικού

2.4.1.2.2 Οριακή περιεκτικότητα

Η οριακή περιεκτικότητα ορίζεται ως η ελάχιστη περιεκτικότητα του κοιτάσματος σε χρήσιμο συστατικό, για την οποία υπό δεδομένες συνθήκες (κόστος εκμετάλλευσης και επεξεργασίας, τιμή πώλησης του υλικού) η εκμετάλλευση του κοιτάσματος είναι οικονομικά συμφέρουσα. Εκφράζει, δηλαδή, την περιεκτικότητα ανά τόνο μεταλλεύματος στην οποία εξισώνονται τα κόστη εκμετάλλευσης, επεξεργασίας και διάθεσης του τελικού προϊόντος με τα έσοδα από την πώληση αυτού. Όταν η περιεκτικότητα σε χρήσιμο συστατικό είναι μικρότερη από την οριακή περιεκτικότητα τότε το υλικό χαρακτηρίζεται ως άγονο, ενώ όταν είναι μεγαλύτερη, ως μέταλλευμα (Μπατάλας, 2011)

2.4.1.2.3 Επίδραση τρόπου αποκάλυψης στο σχεδιασμό εκμετάλλευσης

Υπάρχουν τέσσερις βασικές μέθοδοι συνδυασμού αποκάλυψης και παραγωγής, οι οποίες χαρακτηρίζονται από τη σχέση του λόγου αποκάλυψης με το χρόνο:

1. Μειούμενη σχέση εκμετάλλευσης

2. Αυξανόμενη σχέση εκμετάλλευσης
3. Σταθερή σχέση εκμετάλλευσης
4. Εκμετάλλευση σε διαδοχικές φάσεις

Μειούμενη σχέση εκμετάλλευσης: Στην περίπτωση αυτή διακινείται όλη η ποσότητα των αγόνων από τη βαθμίδα εκμετάλλευσης μέχρι τα τελικά όρια του ορυχείου (Εικόνα 2.4). Η μέθοδος πλεονεκτεί έναντι των υπολοίπων στα εξής σημεία: προσφέρει το μέγιστο δυνατό χώρο εργασίας, υπάρχει άμεση πρόσβαση στο μέταλλευμα της επόμενης βαθμίδας, το σύνολο του εξοπλισμού απασχολείται στο ίδιο επίπεδο, η μόλυνση του μεταλλεύματος από το εξορυσσόμενο με εκρηκτικά στείρο από υψηλότερες βαθμίδες περιορίζεται στο ελάχιστο και η απαίτηση μηχανικού εξοπλισμού προς το τέλος της παραγωγικής ζωής της εκμετάλλευσης είναι μικρή. Αντίθετα, η συγκεκριμένη μέθοδος εμφανίζει τους χειρότερους οικονομικούς δείκτες, αφού η ανάγκη για διάθεση κεφαλαίων εγκατάστασης και χρήσης μηχανικού εξοπλισμού είναι μεγάλη από τα πρώτα στάδια ανάπτυξης της εκμετάλλευσης.

Αυξανόμενη σχέση εκμετάλλευσης: Με τη συγκεκριμένη μέθοδο εξορύσσεται μόνο η ακριβώς αναγκαία ποσότητα αγόνων που απαιτείται για την αποκάλυψη της προγραμματισμένης ποσότητας μεταλλεύματος (Εικόνα 2.5). Παρουσιάζει τους καλύτερους οικονομικούς δείκτες, αλλά προκαλεί συνωστισμό, αφού η εκμετάλλευση αναπτύσσεται ταυτόχρονα σε πολλές διαδοχικές βαθμίδες.

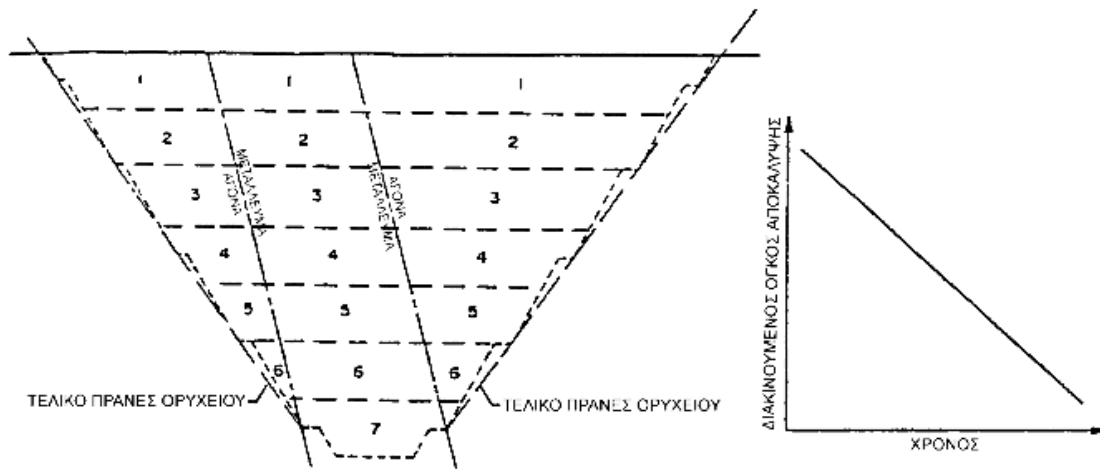
Σταθερή σχέση εκμετάλλευσης: Οι απαιτήσεις σε εξοπλισμό και έμψυχο δυναμικό είναι θεωρητικά σταθερές (Εικόνα 2.6). Γενικά η μέθοδος εμπεριέχει κάποια από τα μειονεκτήματα αλλά και από τα πλεονεκτήματα των δύο προηγούμενων μεθόδων.

Εκμετάλλευση σε διαδοχικές φάσεις: Η μέθοδος εμφανίζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

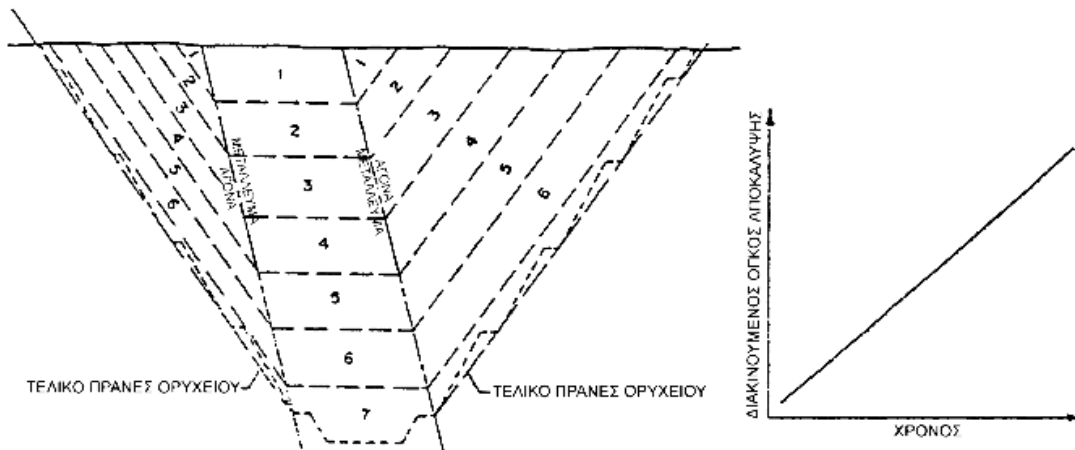
- Παρουσιάζει σημαντικές χρηματικές εισροές κατά την αρχική περίοδο της εκμετάλλευσης.
- Ο μηχανικός εξοπλισμός και το εργατικό προσωπικό μπορούν σε μικρό χρονικό διάστημα να αποκτήσουν τη μέγιστη παραγωγική δυναμικότητα.
- Μπορεί να πραγματοποιηθεί ταυτόχρονα εκμετάλλευση σε απομακρυσμένες περιοχές φόρτωσης μεταλλεύματος και αποκάλυψης, παρέχοντας ευελιξία.
- Δεν απαιτείται η ταυτόχρονη λειτουργία πολλών μετώπων για την επίτευξη της επιθυμητής παραγωγής.

- Σε μεγάλης εξάπλωσης κοιτάσματα υπάρχει επαρκής χώρος που εξασφαλίζει ιδανικές συνθήκες λειτουργίας του μηχανικού εξοπλισμού.

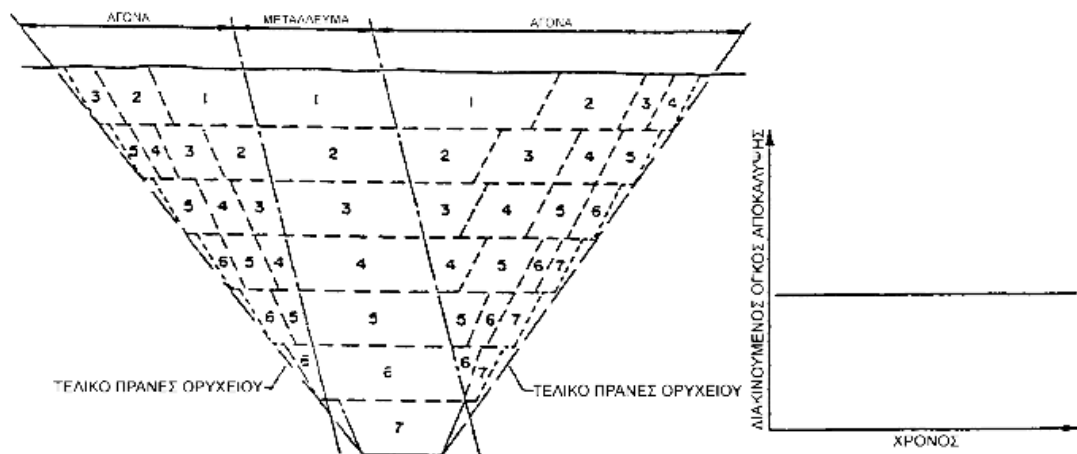
Στην Εικόνα 2.7 παρουσιάζεται ένα κοίτασμα συγκλινικού τύπου, το οποίο έχει σαφώς διαχωρισμένα μεταξύ τους πετρώματα βάσης και οροφής και η εκμετάλλευσή του μπορεί να πραγματοποιηθεί επιτυχώς σε διαδοχικές φάσεις. Η ύπαρξη βαθμίδας ασφαλείας πλάτους τουλάχιστον 30 m στο δάπεδο της πρώτης φάσης λειτουργίας επιτρέπει τον καθαρισμό των πεσμένων όγκων από τις εργασίες αποκάλυψης της δεύτερης φάσης, παρέχοντας ικανοποιητική προστασία έναντι της ανάμιξής τους με το μετάλλευμα της δεύτερης παραγωγικής φάσης (Μενεγάκη, 2010).



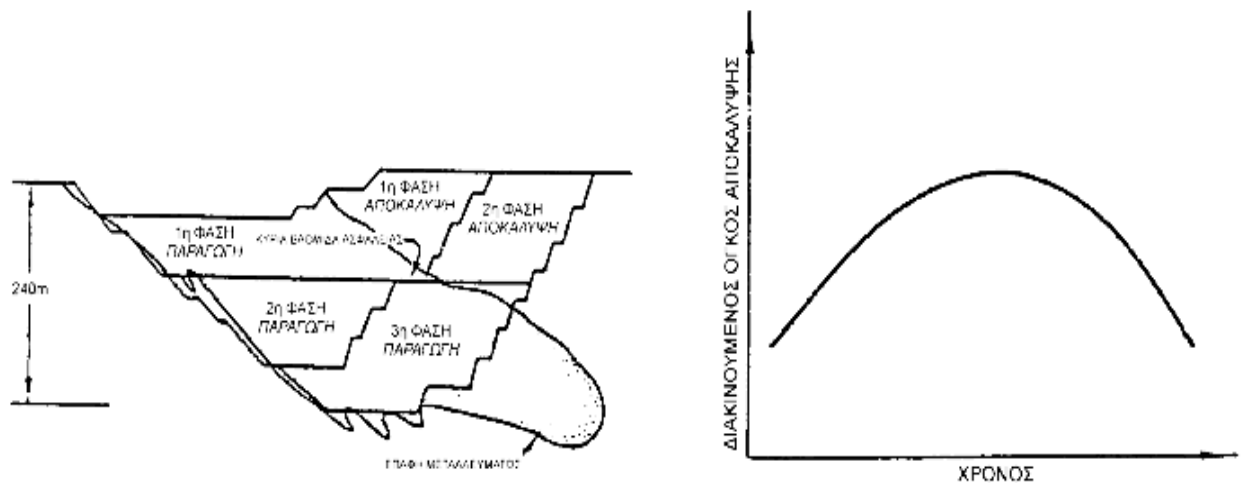
Εικόνα 2.6 Μειούμενη σχέση εκμετάλλευσης (Μενεγάκη, 2010).



Εικόνα 2.7 Αυξανόμενη σχέση εκμετάλλευσης (Μενεγάκη, 2010).



Εικόνα 2.8 Σταθερή σχέση εκμετάλλευσης (Μενεγάκη, 2010).



Εικόνα 2.9 Εκμετάλλευση σε διαδοχικές φάσεις (Μενεγάκη, 2010).

2.4.1.3 Περιβαλλοντικές παράμετροι

Ο σχεδιασμός μιας εκμετάλλευσης θα πρέπει υπό το πρίσμα της περιβαλλοντικής προστασίας να επιδιώκει τρία πράγματα:

- Την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (τοπίο, αέρας, έδαφος, νερά, χλωρίδα, πανίδα).
- Την ελαχιστοποίηση της όχλησης.
- Την διαμόρφωση ενός αποτελεσματικού σχεδίου αποκατάστασης (αιφορία, συμβατότητα με περιβάλλουσες χρήσεις γης, κ.λπ.).

2.4.1.3.1 Ασφαλής σχεδιασμός εναπομένοντος (εξοφλημένου) ορυχείου

Το μέγεθος του εναπομένοντος μετά το πέρας της εκμετάλλευσης του ορυχείου προσδιορίζεται από τα παρακάτω παίρνοντας ως παράδειγμα μια υπαίθρια εκμετάλλευση λιγνίτη: χωρητικότητα εναπομένοντος ορυχείου = ποσότητα λιγνίτη που έχει εξαχθεί + υλικό της εξωτερικής απόθεσης – η ποσότητα της τέφρας που έχει αποτεθεί στην εσωτερική απόθεση – το επίπληγμα του υλικού της εσωτερικής απόθεσης.

Το εξοφλημένο ορυχείο, που πιθανόν να έχει χωρητικότητα αρκετών δισ. m³, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως χώρος εξωτερικής απόθεσης για μεταγενέστερες μεταλλευτικές δραστηριότητες. Σε πολλές περιπτώσεις που γεμίζει με νερό χρησιμοποιείται ως υδατοδεξαμενή για τον έλεγχο από πλημμύρες ή για την υδροδότηση κατοικημένων περιοχών και βιομηχανιών.

Αν αποφασιστεί η πλήρωση με νερό του εξοφλημένου ορυχείου, θα πρέπει τα πρανή να έχουν τέτοια κλίση, ώστε να αποφευχθεί ολίσθησή τους κατά τη φάση της πλήρωσης. Επίσης επιβάλλεται η λήψη μέτρων για την προστασία των πρανών από αιολική ή άλλου είδους διάβρωση.

2.4.1.3.2 Επανακαλλιέργεια του πεδίου μετά το πέρας των εργασιών

Η μελέτη σχεδιασμού μιας επιφανειακής εκμετάλλευσης θα πρέπει να αντιμετωπίζει το πρόβλημα της επανακαλλιέργειας για οικολογικούς και μόνο λόγους, ανεξάρτητα αν υπάρχει και νομική υποχρέωση εκ μέρους της πολιτείας. Οι απαιτήσεις σε φυτική γη για το χώρο των αποθέσεων ανισταθμίζεται απ την παραγωγή του υλικού αυτού στη βαθμίδα των υπερκειμένων. Ενδιάμεση απόθεση του εδάφους θα πρέπει να αποφεύγεται όσο είναι δυνατόν.

Η σημασία της εμπεριστατωμένης σχεδίασης μιας υπαίθριας εκμετάλλευσης δεν είναι ανάγκη να τονιστεί. Είναι φανερό ότι ένα λάθος στη φάση αυτή θα επηρεάσει άμεσα την όλη ανάπτυξη του ορυχείου με απρόβλεπτες συνέπειες στο κόστος παραγωγής. Συχνά σε μικρές και μεσαίου μεγέθους υπαίθριες εκμεταλλεύσεις παραβλέπεται η ανάγκη σύνταξης μιας λεπτομερούς μελέτης. Το ριψοκίνδυνο σ' αυτές τις περιπτώσεις είναι να οδηγηθεί κανείς σε υπερβολικό κόστος. Πάντως μη πλήρης σχεδιασμός συναντιέται συχνά σε μηχανοποιημένες υπαίθριες εκμεταλλεύσεις ανεξάρτητα αν πρόκειται για ορυχείο αδρανών υλικών με μια ημερήσια παραγωγή 1000 τόνους ή λιγνιτωρυχεία με ημερήσια παραγωγή 60000 τόνους.

2.4.1.4 Τεχνολογικές παράμετροι

Οι τεχνολογικές εξελίξεις τόσο σε επίπεδο εξοπλισμού όσο και σε επίπεδο εργαλείων σχεδιασμού προσφέρουν σήμερα πολλές δυνατότητες για την βέλπστη αξιοποίηση των κοιτασμάτων. Η επιλογή κατάλληλου τύπου μηχανημάτων για την εξόρυξη αλλά και την επεξεργασία είναι κρίσιμης σημασίας για την απρόσκοπτη λειτουργία της επιχείρησης, καθώς μπορεί να επηρεάσει σημαντικά το τελικό οικονομικό αποτέλεσμα. Τα σύγχρονα εργαλεία σχεδιασμού, τέλος, παρέχουν τη δυνατότητα διαμόρφωσης πολλών

εναλλακτικών σεναρίων που μπορούν να ελεγχθούν άμεσα ως προς την αποτελεσματικότητά τους σε οικονομικό επίπεδο αλλά και σε επίπεδο περιβαλλοντικής προστασίας (Μενεγάκη, 2010).

2.4.1.5 Νομοθετικές απαιτήσεις

Στον Κώδικα Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών (Κ.Μ.Λ.Ε.) (Υπουργική Απόφαση Αριθ. 2223 ΦΕΚ122714/06/11) αναφέρονται μεταξύ άλλων και οι απαιτήσεις για τη διαμόρφωση των βαθμίδων της εκμετάλλευσης, η οποία εκτός από την ασφάλεια των εργασιών στοχεύει στον περιορισμό των επιπτώσεων στο τοπίο. Πιο συγκεκριμένα στον ΚΜΛΕ αναφέρεται μεταξύ άλλων ότι τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των βαθμίδων πρέπει να είναι τέτοια ώστε να δημιουργείται η μικρότερη δυνατή αισθητική αλλοίωση του τοπίου και να διασφαλίζεται η αποκατάστασή του κατά στάδια και στο σύνολο. Επίσης, επισημαίνεται ότι η χωροθέτηση της επέμβασης (θέση και προσανατολισμός) πρέπει να πραγματοποιείται με τρόπο ώστε να προκαλείται η μικρότερη δυνατή αισθητική αλλοίωση του τοπίου και σε περίπτωση που η επιλογή θέσης δεν μπορεί να δώσει ικανοποιητικό αποτέλεσμα, πρέπει να γίνεται προσπάθεια τεχνητής απόκρυψης της επέμβασης. Τέλος, αναφέρεται ότι η τελική μορφή της αποκατάστασης πρέπει να εναρμονίζεται με το ευρύτερο περιβάλλον και στις περιπτώσεις δημοσίων ή δημοτικών ή κοινοτικών εκτάσεων να προβλέπεται η κάλυψη των τοπικών αναγκών για ειδικές χρήσεις γης, σύμφωνα με τις υποδείξεις της Νομαρχίας και της Τοπικής Αυτοδιοίκησης (Μπατάλας, 2011).

2.5 Μέθοδοι εκμετάλλευσης λιγνιτικών κοιτασμάτων ως προς τον εξοπλισμό

Το μέγεθος των εκσκαφών καθορίζεται από το πρόγραμμα παραγωγής και ανάπτυξης και επιπρόσθετα λαμβάνοντας υπόψη το απαιτούμενο ή επιτρεπόμενο ύψος εκσκαφής, τα χαρακτηριστικά των στρωμάτων και πολλούς άλλους, ειδικούς κάθε φορά παράγοντες.

Κατά την επιλογή του εξοπλισμού εκσκαφής δεν πρέπει να ξεχνά κανείς ότι είναι σκόπιμο να χρησιμοποιηθεί ένας τύπος μηχανήματος για το σύνολο του πεδίου (standardization of equipment).

Για υπαίθριες εκμεταλλεύσεις σε μη συμπαγή πετρώματα που χρησιμοποιούν τη μέθοδο συνεχούς λειτουργίας, όπως συμβαίνει στη Γερμανία, υπάρχουν βασικά δύο τύποι εκσκαφών:

- Οι καδοφόροι εκσκαφείς
- Οι εκσκαφείς με καδοάλυσο

Με την πάροδο του χρόνου, οι καδοφόροι εκσκαφείς σε συνδυασμό με το σύστημα των μεταφορικών ταινιών έχουν σημειώσει σημαντικό προβάδισμα σε βάρος άλλων συστημάτων

Οι διαστάσεις και το βάρος αυτών των εκσκαφών σημειώνουν ολοένα και νέο ρεκόρ. Οι καδοφόροι εκσκαφείς θεωρείται πως αντικατέστησαν τους εκσκαφείς με καδοάλυσο.

Από τους πρώτους βρίσκονται σε λειτουργία περισσότεροι από 450.

Η χρησιμοποίηση των εκσκαφών με καδοάλυσο στηρίζεται σε ορισμένα πλεονεκτήματά τους, που τα σπουδαιότερα συνοψίζονται παρακάτω:

- Σταθερή κατασκευή
- Μεγάλος χρόνος πραγματικής λειτουργίας που συνεπάγεται ικανοποιητική τιμή στο συντελεστή λειτουργικότητας.
- Ανύψωση του υλικού κατά την εκσκαφή με μέτωπα που βρίσκονται κάτω από το επίπεδο στήριξης του εκσκαφέα. Η δυνατότητα αυτή έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση χρημάτων για έξοδα μεταφοράς είτε με ταινία είτε με συρμό.
- Ανάμιξη του υλικού κατά τη φάση της εκσκαφής του.
- Μη χρησιμοποίηση μεταφορικής ταινίας στο όλο συγκρότημα του εκσκαφέα.
- Αποστράγγιση των λιγνιτικών στρωμάτων κατά μήκος της επιφάνειας του μετώπου μιας και η εκσκαφή διενεργείται κατά συνεχή τρόπο για μεγάλο χρονικό διάστημα αφαιρώντας σε κάθε διαδρομή λεπτές και ισοπαχείς πλάκες.

2.5.1 Καθορισμός των μέσων μεταφοράς

Το σύστημα μεταφοράς αποτελεί το σημαντικότερο συντελεστή κόστους. Σε εκμεταλλεύσεις μεγάλου βάθους και μεγέθους συμβάλλει αποφασιστικά τόσο στο κόστος κεφαλαίου όσο και στο κόστος παραγωγής.

Η επιφάνεια που καλείται να καλύψει το σύστημα μεταφοράς διακρίνεται σε δύο κατηγορίες:

1. Η άμεση περιοχή του ορυχείου όπου το σύστημα μεταφοράς παρακολουθεί την ανάπτυξη του ορυχείου.
2. Η ευρύτερη περιοχή του ορυχείου που ορίζεται από τα όρια της εκμετάλλευσης μέχρι τους κύριους καταναλωτές ή τον κύριο σταθμό

φόρτωσης. Αυτές οι εκτάσεις είναι συνήθως οριζόντιες ή σε μικρή κλίση και μπορεί να καλύψουν μεγάλες αποστάσεις.

Απαρхайωμένα θεωρούνται εκείνα τα σχέδια των εκμεταλλεύσεων που κατά τη μελέτη δεν πάρθηκε υπόψη το σύστημα μεταφοράς με ταινιόδρομους. Από την εφαρμογή τους κατά τα τελευταία 10 έως 15 χρόνια αποκαλύφθηκαν τα ακόλουθα μειονεκτήματα:

- Μεγάλες επενδύσεις που συχνά αντιστοιχούν στο 50% των συνολικών κεφαλαίων για εξοπλισμό.
- Μεγάλη κατανάλωση ενέργειας, που κατά ένα μεγάλο μέρος οφείλεται σε λειτουργία των ταινιόδρομων χωρίς φορτίο ή με πλήρες φορτίο.
- Ακινητοποίηση ολόκληρου του κλάδου του ταινιόδρομου και των μεγάλων εκσκαφών, όταν σημειωθεί βλάβη σε κάποιο σημείο της ταινίας.
- Υπάρχει κάποια αδράνεια του συστήματος στις αλλαγές ποιότητας των προϊόντων προς μεταφορά.

Τα παραπάνω μειονεκτήματα θα πρέπει να εξεταστούν και να διερευνηθούν προσεκτικά κατά τη σχεδίαση της εκμετάλλευσης. Είναι αξιοσημείωτο να τονιστεί ότι στις διάφορες δημοσιεύσεις πάνω στο θέμα των ταινιόδρομων σπάνια υπάρχει μνεία για τα σοβαρά τους μειονεκτήματα.

Η επιλογή του κατάλληλου μέσου μεταφοράς βασίζεται στα εξής κριτήρια:

1. Σε αβαθείς εκμεταλλεύσεις μέχρι 50 m βάθος, η μεταφορά με τραίνα θεωρείται πλεονεκτικότερη σε σύγκριση με ταινιόδρομους ή βαρείας κατασκευής αυτοκίνητα, είτε πρόκειται για μη συνεκτικά υλικά είτε για σκληρούς σχηματισμούς πετρωμάτων.
2. Σε εκμεταλλεύσεις με μεγάλο βάθος διακρίνονται τρεις περιπτώσεις:
 - Για τη μεταφορά μη συνεκτικών πετρωμάτων από το μέτωπο μέχρι την επιφάνεια του εδάφους προσφέρεται το σύστημα των ταινιόδρομων, ενώ από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι του τελικού προορισμού ο σιδηροδρομικός τρόπος είναι καλύτερος εφόσον πρόκειται για οριζόντιες αποστάσεις ανεξάρτητα από το μήκος τους.
 - Για σκληρά πετρώματα με μεγάλη ετήσια παραγωγή ισχύουν τα εξής: Στα προσεχή χρόνια το εξορυγμένο υλικό θα μεταφέρεται με βαρείας κατασκευής αυτοκίνητα σε ενδιάμεσο σταθμό που βρίσκεται στο δάπεδο της ίδιας τομής. Μετά από πρωτογενή θραύση θα παραλαμβάνεται με σύστημα ταινιόδρομων μέχρι την επιφάνεια του εδάφους και εφόσον απαιτείται περεταίρω μεταφορά θα χρησιμοποιείται η μέθοδος των συρμών για μεγάλες και οριζόντιες

αποστάσεις. Μετά την ανάπτυξη φορητών θραυστήρων με δυναμικότητα περίπου 6000 τόνους / ώρα προβλέπεται η κατάργηση των βαρέας κατασκευής αυτοκινήτων και η υιοθέτηση αποκλειστικά ταινιόδρομων.

3. Για σκληρά πετρώματα με μικρή ετήσια παραγωγή μέχρι το πολύ $10 \times 10^6 \text{ m}^3$ χρησιμοποιείται σπαστήρας στο μέτωπο και στη συνέχεια μεταφορικές ταινίες ή βαγόνια.

2.5.2 Οι δύο κυριότερες μέθοδοι εκμετάλλευσης ως προς τον εξοπλισμό

Δύο είναι οι μέθοδοι εκμετάλλευσης που παρατηρούνται στα μεγάλα λιγνιτωρυχεία ανά τον κόσμο:

- Η μέθοδος της συνεχούς εκμετάλλευσης ή Γερμανική μέθοδος.
- Η μέθοδος της ασυνεχούς εκμετάλλευσης ή Αμερικάνικη μέθοδος.

2.5.2.1 Η Γερμανική μέθοδος εκμετάλλευσης

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 καδοτροχή ή καδοάλυσο, η μεταφορά με ταινιόδρομους ή τραίνα και η απόθεση των αγόνων με αποθέτες ή ταινιογέφυρες.

Η εξέλιξη της μεθόδου έχει οδηγήσει σε επικράτηση των καδοφόρων εκσκαφών, των ταινιόδρομων και των αποθετών, σαν χρήση εξοπλισμού συνεχούς εκσκαφής, μεταφοράς και απόθεσης, ολόένα και μεγαλύτερου μεγέθους.

Εφόσον επιτρέπει το κοίτασμα, είναι δυνατή η απευθείας εκσκαφή και απόθεση των στείρων, χρησιμοποιώντας ταινιογέφυρες ή και αποθέτες μεγάλου αναπτύγματος. Μερικές φορές μπορεί να αποφευχθεί διάταξη ταινιόδρομων που κυκλώνει την εξοφληθείσα περιοχή οδηγώντας τα στείρα υλικά από το χώρο εκσκαφής στην απόθεση και τότε βρίσκουν πεδίο εφαρμογής οι ταινιογέφυρες μεταφοράς των στείρων.

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 (Καβουρίδης, 1992).



Εικόνα 2.10 Μέθοδος της συνεχούς εξόρυξης ή Γερμανική μέθοδος.

2.5.2.2 Ασυνεχής μέθοδος εκμετάλλευσης

Η μέθοδος της ασυνεχούς εξόρυξης για την εκμετάλλευση κοιτασμάτων γαιανθράκων εφαρμόστηκε κατ' αρχήν στις Η.Π.Α. και αργότερα στη Σοβιετική Ένωση. Χρησιμοποιείται για σκληρούς σχηματισμούς και παρουσιάζει μεγάλη ευελιξία. Διαφέρει από την συνεχή (γερμανική) μέθοδο ως προς τον χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό εξόρυξης: χρησιμοποιούνται εκσκαφείς μετωπικού (shovels) ή συρόμενου κάδου (draglines). Εφόσον το επιτρέπει η συνεκτικότητα των πετρωμάτων, η εξόρυξη γίνεται απευθείας με τα προαναφερθέντα μηχανήματα, διαφορετικά προηγείται προχαλάρωση ή εξόρυξη με χρήση εκρηκτικών υλών.

Ο εκσκαφέας συρόμενου κάδου μπορεί να συνδυάσει λειτουργία εκσκαφής και απευθείας απόθεσης του υλικού, εάν ο χώρος απόθεσης βρίσκεται εντός της ακτίνας λειτουργίας του μηχανήματος. Η εξόρυξη και φόρτωση σκληρών σχηματισμών με μορφή μεγάλων κομματιών γίνεται με εκσκαφείς μετωπικού κάδου.

Για τα ίδια μεγέθη καδοφόρου εκσκαφέα και εκσκαφέα συρόμενου ή μετωπικού κάδου (εξετάζοντας το βάρος των μηχανημάτων) ο καδοφόρος εκσκαφέας είναι μηχανήμα μεγαλύτερης παραγωγικής ικανότητας. Η μεταφορά και η απόθεση γίνεται με ελαστικοφόρα χωματουργικά αυτοκίνητα οπίσθιας εκκένωσης ή εκκένωσης από των πυθμένα. Μερικές φορές, για ενδιάμεσες αποστάσεις

μεταφοράς, εφόσον η συνεκτικότητα των πετρωμάτων το επιτρέπει, χρησιμοποιείται ως βασικός εξοπλισμός εκσκαφής – μεταφοράς - απόθεσης ο τροχοφόρος αποξεστήρας (Scraper) (Καβουρίδης, 1992).



Εικόνα 2.11 Μέθοδος ασυνεχούς εκμετάλλευσης ή Αμερικάνικη μέθοδος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Μέθοδοι για τη Μοντελοποίηση και τον Υπολογισμό Αποθεμάτων

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στις γεωστατιστικές και γεωμετρικές μεθόδους οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν από το λογισμικό πακέτο Carlson ώστε να επιτευχθεί ο σχεδιασμός της υπαίθριας εκμετάλλευσης και να γίνουν όλοι οι υπολογισμοί οι οποίοι ήταν απαραίτητοι για την ολοκλήρωση αυτού.

Για τον ακριβή υπολογισμό των αποθεμάτων απαραίτητη είναι η πρόβλεψη των φυσικών χαρακτηριστικών ενός κοιτάσματος μέσω της συλλογής δεδομένων καθώς και η ανάλυσή τους και η μοντελοποίηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών, του σχήματος και της περιεκτικότητας του κοιτάσματος.

Στην παρούσα εργασία τα φυσικά χαρακτηριστικά προκύπτουν από δεδομένα, και την ανάλυση, των δειγμάτων που προέρχονται από φυσικά δείγματα από γεωτρήσεις δειγματοληψίας οι οποίες έχουν λάβει χώρο στο πεδίο της Λακκιάς, και με σκοπό την διερεύνηση του κατά πόσο η εκμετάλλευση του κοιτάσματος λιγνίτη στο εν λόγω πεδίο είναι συμφέρουσα ή μη.

Εν συνεχεία προκειμένου να αναπτυχθεί ένα μοντέλο του κοιτάσματος και να υπολογιστούν τα αποθέματα, πρέπει να γίνει απαραίτητως ανάλυση και σύνθεση των παραπάνω δεδομένων, γεγονός που στην συγκεκριμένη εργασία πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό Carlson.

Οι μέθοδοι υπολογισμού των αποθεμάτων αλλά και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την μοντελοποίηση της επιφάνειας του πεδίου διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες.

1. Γεωστατιστικές μέθοδοι
 - Μέθοδος βέλτιστης παρεμβολής (kriging)
 - Παρεμβολή με απόδοση βαρών σε σημειακά δεδομένα στον πλησιέστερο γείτονα (inverse distance weighting)
2. Συμβατικές ή γεωμετρικές μέθοδοι
 - Μέθοδος βαθμωτής παρεμβολής (discrete)
 - Μέθοδος δικτύου τριγώνων

3.1 Γεωστατιστικές μέθοδοι

Οι γεωστατιστικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της εργασίας όπως προαναφέρθηκε, και θα αναλυθεί και στο επόμενο κεφάλαιο

(Κεφάλαιο 4) είναι δύο, η Kriging και η Inverse distance weighting, και χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των γεωλογικών αποθεμάτων.

Στις γεωστατιστικές μεθόδους χρησιμοποιούνται στατιστικές και μαθηματικές τεχνικές για τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις σημειακές μετρήσεις. Πρόκειται για μεθόδους διαχείρισης δεδομένων που αναπαριστούν ένα πεδίο, που περιλαμβάνει τιμές ενός φαινομένου.

Για τις μεταλλευτικές επιχειρήσεις, αποτελεί στρατηγικό παράγοντα η διαρκής ενημέρωση των κοιτασματολογικών μοντέλων με τη χρήση γεωστατιστικών μοντέλων τόσο κατά τη φάση των ερευνητικών εργασιών, όσο και καθ' όλη τη διάρκεια της εκμετάλλευσης.

Το πλεονέκτημα των γεωστατιστικών μεθόδων, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μεθόδους, είναι ότι ποσοτικοποιούν κι ελαχιστοποιούν το σφάλμα εκτίμησης σε άγνωστα σημεία εκτός του δείγματος των σημειακών μετρήσεων.

3.1.1 Μέθοδος βέλτιστης παρεμβολής (kriging)

Η μέθοδος kriging είναι η πιο διαδεδομένη γεωστατιστική μέθοδος που εφαρμόζεται στα περισσότερα λογισμικά GIS (Geographic Information Systems) όπως αυτό που χρησιμοποιήθηκε και περιγράφεται στο Κεφάλαιο 4. Στην παρούσα εργασία η μέθοδος βέλτιστης παρεμβολής χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των γεωλογικών αποθεμάτων.

Κατά τη διάρκεια της έρευνας, πριν από την εξόρυξη, παρατηρούνται πολλές φορές μεγάλες χωρικές μεταβολές των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων του κοιτάσματος που οφείλονται στη γεωλογική και τεκτονική ιστορία της. Η ετερογένεια του κοιτάσματος συνήθως δεν λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό, με εξαίρεση περιπτώσεις έντονων τοπικών μεταβολών που οφείλονται στην ύπαρξη μεγάλων πτυχώσεων, ρηγμάτων και στις αλλαγές γεωλογικών σχηματισμών. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με τοπικές εκτιμήσεις οι οποίες επιτυγχάνονται με την χρήση της μεθόδου kriging. Ο τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος, διαφέρει ριζικά από τον υπολογισμό μιας μέσης τιμής της μεταβλητής σε κάποιες περιοχές του συνόλου της βραχομάζας, όπως συμβαίνει συνήθως στην πράξη, καθώς σύμφωνα με την μέθοδο kriging, το σύνολο της βραχομάζας χωρίζεται σε μικρότερα ογκοτεμάχια (blocks), συνήθως σχήματος ορθογωνίου πρίσματος, των οποίων το μέγεθος ποικίλει ανάλογα με την απαιτούμενη ακρίβεια, τον αριθμό των δεδομένων και των αποτελεσμάτων της ανάλυσης ημί-βαριογράμματος.

Η εκτίμηση των μεταβλητών ενός ογκοτεμαχίου, γίνεται δίνοντας σταθμικούς συντελεστές (weights) στις τιμές των αντίστοιχων μεταβλητών στα δείγματα που ανήκουν στην περιοχή γύρω από το ογκοτεμάχιο. Οι συντελεστές αυτοί υπολογίζονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε η διακύμανση της μεταβλητής εντός κάθε block να ελαχιστοποιείται. Οι συντελεστές αυτοί εξαρτώνται άμεσα από τις γεωστατιστικές παραμέτρους (C_0 , C , a) του ημί-βαριογράμματος, καθώς και

από τη σχετική θέση των δειγμάτων με το εκτιμώμενο block στο περιοχή. Η ελαχιστοποιημένη διακύμανση ονομάζεται «διασπορά kriging» (kriging variance) (Σαράτσης, 2004).

Στις μέρες μας έχουν αναπτυχθεί διάφορες παραλλαγές της τεχνικής Kriging οι οποίες είναι :

- Απλό (simple) kriging
- Κανονικό (ordinary) kriging
- Kriging χώρου (block)
- Ενδεικτικό (indicator) kriging
- Γενικευμένο (universal) kriging

Βασική προϋπόθεση για να εφαρμοστεί η μέθοδος kriging είναι το μοντέλο που πρόκειται να προσαρμοστεί στο πειραματικό βαριόγραμμα, να χαρακτηρίζει τη χωρική κατανομή της ζητούμενης ποσότητας. Υπάρχουν πολλοί τρόποι να ελεγχθεί η ορθότητα της παραπάνω παραδοχής. Τις περισσότερες φορές, γίνονται έλεγχοι συγκρίνοντας τις πραγματικές τιμές των δειγμάτων με τις εκτιμημένες τιμές τους από τις παραμέτρους του μοντέλου του βαριογράμματος σε σχέση με τα δεδομένα των γύρω δειγμάτων, χρησιμοποιώντας την μέθοδο kriging. Οι παράμετροι του βαριογράμματος διορθώνονται μέχρι το μοντέλο να ανταποκρίνεται ικανοποιητικά στην πραγματικότητα, δηλαδή να δίνει αμερόληπτες εκτιμήσεις των τιμών των δειγμάτων και τα πραγματικά σφάλματα εκτίμησης να συμφωνούν με τα θεωρητικά προβλεπόμενα σφάλματα από το kriging. Η εκτίμηση σημειακών τιμών με τον τρόπο αυτό, είναι μια αρκετά δύσκολη και χρονοβόρος διαδικασία. Οι εκτιμήσεις των τιμών που προκύπτουν, έχουν πολύ χαμηλότερα σφάλματα εκτίμησης από τις σημειακές εκτιμήσεις που έγιναν κατά τον έλεγχο της αξιοπιστίας του μοντέλου του βαριογράμματος.

3.1.2 Παρεμβολή με απόδοση βαρών σε σημειακά δεδομένα στον πλησιέστερο γείτονα (inverse distance weighting)

Η μέθοδος IDW είναι μία από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μεθόδους ακριβούς παρεμβολής, η οποία βασίζεται στην υπόθεση ότι η επιφάνεια παρεμβολής επηρεάζεται περισσότερο από τα πιο κοντινά σημεία στα οποία υπάρχουν μετρήσεις παρά από τα πιο απομακρυσμένα. Η επιφάνεια παρεμβολής προκύπτει ως ένας σταθμισμένος μέσος όρος των διάσπαρτων σημείων με μετρημένες τιμές, το βάρος (η επίδραση) των οποίων ελαττώνεται καθώς αυξάνει η απόσταση. Η αντίστροφη αναλογία μπορεί να είναι γραμμική ή εκθετική (δύναμη του δύο) έτσι ώστε να παρέχει μια αντίστροφη τετραγωνική σχέση. Όπως και η μέθοδος βέλτιστης παρεμβολής, και αυτή η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των γεωλογικών αποθεμάτων.

Η διαδικασία εφαρμογής της μεθόδου IDW αποτελείται από τα εξής βήματα:

- Ορισμός της τοπικής περιοχής εκτίμησης (περιοχής πλησιέστερου γείτονα)

- Εύρεση του αριθμού των σημείων των οποίων οι τιμές θα πρέπει να ληφθούν υπόψη για την εκτίμηση
- Επιλογή των παραπάνω σημείων από το σύνολο των σημείων της περιοχής της μελέτης
- Επιλογή της μαθηματικής συνάρτησης που αντιπροσωπεύει τη διαφοροποίηση της τιμής του χαρακτηριστικού, δηλαδή τη διαδικασία εκτίμησης

Μία γενική μαθηματική έκφραση περιγραφής της μεθόδου IDW είναι:

$$\hat{Z}(s_o) = \sum_{i=1}^n w_i Z(s_i) \text{ όπου:}$$

$Z(s_o)$ είναι η τιμή του σημείου παρεμβολής που εκτιμάται από τη μέθοδο, n είναι ο αριθμός των μετρημένων σημείων του δείγματος που χρησιμοποιούνται ως πλησιέστεροι γείτονες για την παρεμβολή, w_i είναι το βάρος που πρέπει να αποδοθεί σε κάθε σημείο του δείγματος που χρησιμοποιείται, τυπικά το βάρος είναι αντιστρόφως ανάλογο προς την απόσταση από το σημείο του δείγματος στο σημείο προς εκτίμηση. Το $Z(s_i)$ είναι το μετρούμενο σημείο του δείγματος από όπου υπολογίζεται η απόσταση από το σημείο παρεμβολής s_i .

Η μαθηματική συνάρτηση που προσδιορίζει τα βάρη είναι η παρακάτω:

$$w_i = \frac{\frac{1}{d_i^p}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \quad \text{με} \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

όπου: d_i είναι η απόσταση του σημείου της παρεμβολής από το κάθε σημείο με μετρημένη τιμή όπου χρειάζεται στη παρεμβολή και p εκθετική παράμετρος.

Όπως προκύπτει από την παραπάνω μαθηματική σχέση, το βάρος κάθε σημείου είναι αντιστρόφως ανάλογο της απόστασής του από το σημείο παρεμβολής υψωμένης σε μια παράμετρο p .

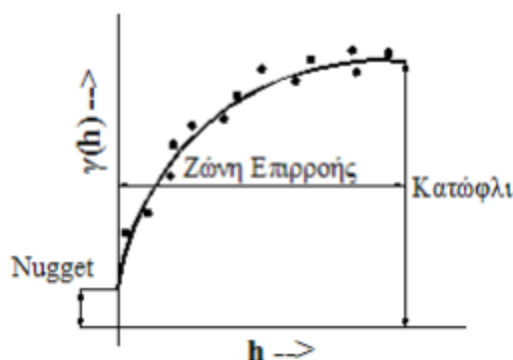
Ως αποτέλεσμα, όσο αυξάνεται η απόσταση το βάρος μειώνεται σημαντικά. Η παράμετρος p καθορίζει το ρυθμό με το οποίο μειώνεται το βάρος.

Για $p=0$ δεν υπάρχει μείωση του βάρους με την απόσταση και επομένως η τιμή του κάθε σημείου παρεμβολής υπολογίζεται ως μέσος όρος όλων των τιμών των μετρημένων σημείων. Όσο αυξάνεται η παράμετρος p μειώνεται ραγδαία η επίδραση των πιο απομακρυσμένων σημείων. Για $0 < p < 1$ οι εκτιμώμενες τιμές έχουν εξομαλυσμένες κορυφές ενώ για $p > 1$ οι κορυφές αυτές γίνονται πιο αιχμηρές (Μπατάλας, 2011).

3.2 Συμβατικές ή γεωμετρικές μέθοδοι

Η ονομασία της μεθόδου προκύπτει από το γεωμετρικό πρότυπο που χρησιμοποιείται για την κατανομή των περιεκτικοτήτων.

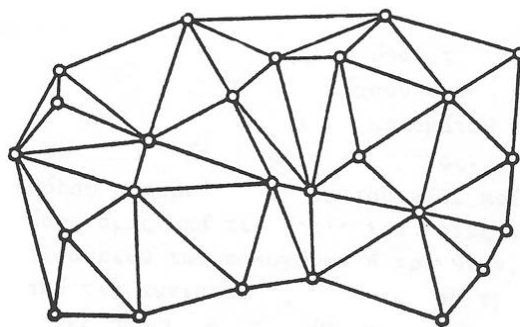
Το μειονέκτημα των γεωμετρικών μεθόδων είναι ότι δεν παρέχουν την ακρίβεια των στατιστικών μεθόδων, εκτός από την περίπτωση που η κατανομή σε ωφέλιμα συστατικά εντός του κοιτάσματος είναι ομοιόμορφη. Επίσης οι γεωμετρικές μέθοδοι υπολογισμού δεν προσφέρουν χρήσιμες πληροφορίες συναφείς με τον υπολογισμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών του κοιτάσματος. Γι' αυτόν το λόγο δεν χρησιμοποιούνται τόσο όσο οι γεωστατιστικές μέθοδοι όσον αφορά τον προσδιορισμό της ποιότητας του κοιτάσματος και τον προσδιορισμό των ποσοτικών χαρακτηριστικών του (Τσουτρέλης, 1990).



Εικόνα 3.1 Διάγραμμα γεωστατιστικής μεθόδου

3.2.1 Μέθοδος Δικτύου Τριγώνων

Η συγκεκριμένη μέθοδος υπολογισμού αποθεμάτων είναι μία παραλλαγή της μεθόδου πολυγώνων. Για την αναπαράσταση των επιφανειών, εφαρμόζεται ο τριγωνισμός στα σημειακά δείγματα με αποτέλεσμα να δημιουργείται δίκτυο ακανόνιστων τριγώνων.



Εικόνα 3.2 Υπολογισμός αποθεμάτων με τη μέθοδο των τριγώνων (Μενεγάκη, 2010)

Κάθε πλευρά τριγώνου θεωρείται ότι έχει ομοιόμορφες χωρικές ιδιότητες, δηλαδή η τιμή του χαρακτηριστικού μεταξύ των δύο κορυφών της πλευράς μεταβάλλεται με έναν καθορισμένο και σταθερό τρόπο. Ένα σύνολο σημείων μπορεί να «τριγωνοποιηθεί» συνδέοντας κάθε σημείο με όλα τα γειτονικά που είναι πλησιέστερα σε αυτό, με ευθύγραμμα τμήματα που δεν τέμνονται μεταξύ τους. Οι τριγωνικές επιφάνειες που προκύπτουν θεωρούνται επίπεδες γι' αυτό αποτελούν ένα πλήρως ορισμένο και συνεχές μοντέλο της επιφάνειας.

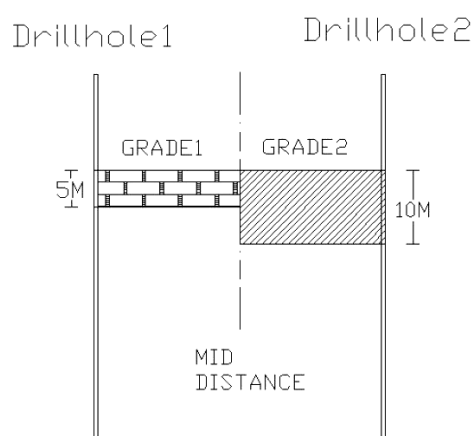
Τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα της μεθόδου δικτύου τριγώνων ότι έχουν τη δυνατότητα να συμπεριλάβουν τις πρωτογενείς παρατηρήσεις κι ότι η πυκνότητα της δειγματοληψίας προσαρμόζεται στην αρχική πηγή δεδομένων. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως για τη δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους (digital terrain models) μιας και είναι χρήσιμη μέθοδος όταν οι θέσεις των μετρούμενων σημείων της δειγματοληψίας είναι τυχαίες και ακανόνιστες όπως συμβαίνει με τα σημεία υψομέτρων μιας επιφάνειας.

Χαρακτηριστικό της μεθόδου δικτύου τριγώνων είναι το γεγονός ότι δεν απαιτεί την εισαγωγή παραμέτρων όπως άλλες μέθοδοι. Δεν χρησιμοποιεί την τεχνική του πλησιέστερου γείτονα με βάρος, με αποτέλεσμα να μην προκύπτουν στατιστικά μεγέθη για την παραγόμενη επιφάνεια. Όμως εφαρμόζεται στην παρούσα εργασία μιας και αποτελεί μία μέθοδο παρεμβολής η οποία χρησιμοποιείται ευρέως για τη δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους σε πάρα πολλά λογισμικά πακέτα.

3.2.2 Μέθοδος βαθμωτής παρεμβολής (discrete)

Η μέθοδος βαθμωτής παρεμβολής χρησιμοποιείται στο λογισμικό πακέτο Carlson Software για τη δημιουργία του μοντέλου των κυψελίδων (block model). Για την εκτίμηση των αποθεμάτων και τη δημιουργία του μοντέλου χρησιμοποιεί το πάχος κάθε στρώματος ή το πάχος της γεωτρητικής στήλης κάθε περιεκτικότητας που ανήκει στον ίδιο βαθμό μεταλλοφορίας και επεκτείνει το πάχος του κάθε στρώματος μέχρι το μέσο της απόστασης από τις κοντινές γεωτρήσεις (Μπατάλας, 2011).

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 3.3) φαίνονται τα πάχη των δύο στρωμάτων με διαφορετικούς βαθμούς μεταλλοφορίας και η κατανομή των δύο στρωμάτων στο ενδιάμεσο των δύο γεωτρήσεων.



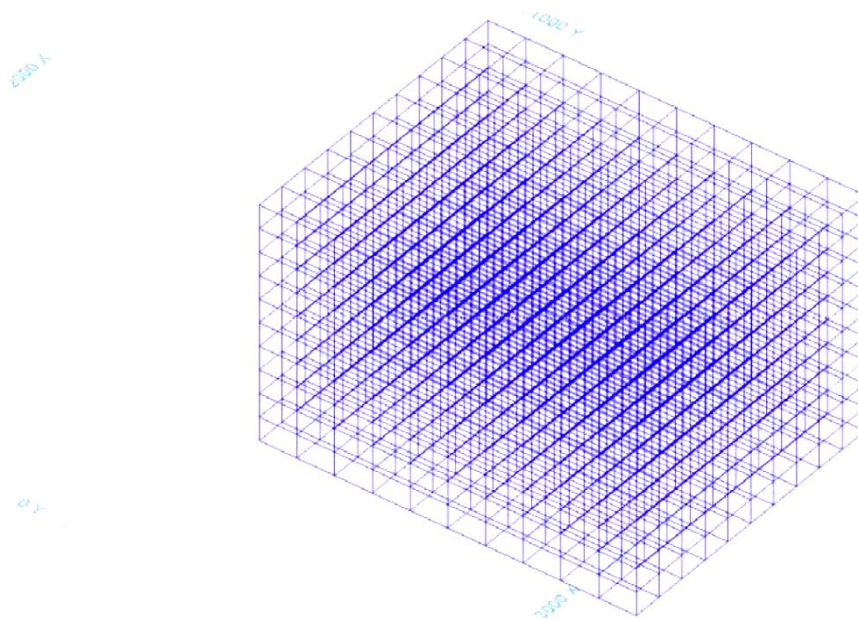
Εικόνα 3.3 Η κατανομή των δύο στρωμάτων στο ενδιάμεσο των δύο γεωτρήσεων υπολογισμένη με τη μέθοδο discrete (Μπατάλας, 2011).

3.3 Μέθοδος κυψελίδων (block model)

Τα μοντέλα κυψελίδων χρησιμοποιούνται ευρέως για την εκτίμηση αποθεμάτων και γενικά στον σχεδιασμό της εκμετάλλευσης, ιδιαίτερα στα μεταλλοφόρα κοιτάσματα. Η ευρεία χρήση των block model οφείλεται στην ευκολία με την οποία αποθηκεύονται οι πληροφορίες σε αυτά καθώς επίσης και στην ευκολία διαχείρισής τους στους υπολογιστές.

Για παράδειγμα, τα χαρακτηριστικά ενός σημείου σε ένα δοσμένο μπλοκ μπορούν εύκολα να ανακτηθούν, καθώς και οι υπολογισμοί μεταξύ διαφόρων αποθεματικών παραμέτρων γίνονται πολύ εύκολα.

Η συνέχεια και η εγκυρότητα του μοντέλου είναι πολύ εύκολο να ελεγχθεί για την αποφυγή προβλημάτων, όπως κενά διαστήματα ή αντιφάσεις εντός του μοντέλου (Μπαρλιακός, 2011).



Εικόνα 3.4 Μοντέλο μπλοκ σε τρισδιάστατη ορθογώνια απεικόνιση (Καπαγερίδης, 2010).

Τα βασικά βήματα στη δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου κοιτάσματος είναι:

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

Υπάρχουν πολλοί τύποι block model:

- **Κανονικό**
Ο εξεταζόμενος όγκος διαιρείται σε μια τρισδιάστατη μήτρα από όμοια ορθογώνια μπλοκ τα οποία λαμβάνουν έναν ξεχωριστό γεωλογικό κωδικό.
- **Στρωματογραφικό**
Ο εξεταζόμενος όγκος διαιρείται σε ένα κανονικό ορθογώνιο πλέγμα σε κάτοψη, και σε κάθε γεωλογική μονάδα δίνεται ένα μπλοκ ύψους ίσου με το πάχος της.
- **Μεταβλητό**
Παρόμοιο με το κανονικό, με τη διαφορά ότι κάθε μπλοκ μπορεί να διαιρεθεί σε υπό-μπλοκ όπου είναι απαραίτητο για να αποδοθεί τοπικά περισσότερη λεπτομέρεια.
- **Αναλογικό**

Ίδια δομή με το κανονικό μοντέλο, αλλά κάθε μπλοκ μπορεί να λάβει περισσότερους από ένα γεωλογικούς κωδικούς ανάλογα με το ποσοστό του μπλοκ που καταλαμβάνει.

Τα μοντέλα αυτά επιτρέπουν την ταυτόχρονη αποθήκευση στην ίδια δομή γεωλογικών πληροφοριών, εκτιμήσεων περιεκτικότητας, καθώς και πληροφοριών που αφορούν την ίδια την εκμετάλλευση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Λογισμικό Πακέτο Carlson Software για τη Σχεδίαση Επιφανειακών Εκμεταλλεύσεων Λιγνίτη

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στην επεξεργασία των δεδομένων με το πακέτο λογισμικού Carlson καθώς επίσης και στη μεθοδολογία που πρέπει να ακολουθηθεί για το σχεδιασμό του ορυχείου και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Το λογισμικό πακέτο Carlson περιλαμβάνει διάφορα προγράμματα για μοντελοποίηση τα οποία βασίζονται πάνω στο σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCad ή το IntelliCAD το οποίο παρέχεται δωρεάν. 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 πραγματικότητας. Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν από το πακέτο λογισμικού Carlson για την εκπόνηση της εργασίας είναι τα Geology, Civil, Surface Mining.

Η παροχή των δεδομένων έγινε από την Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε. και αφορούν τη περιοχή της Λακκιάς. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν 78 δειγματοληπτικές γεωτρήσεις καθώς και δύο αρχεία AutoCad τα οποία παρείχαν πληροφορίες για τα όρια του πεδίου της Λακκιάς και τα ρήγματα που εμφανίζονται στο εν λόγω πεδίο.

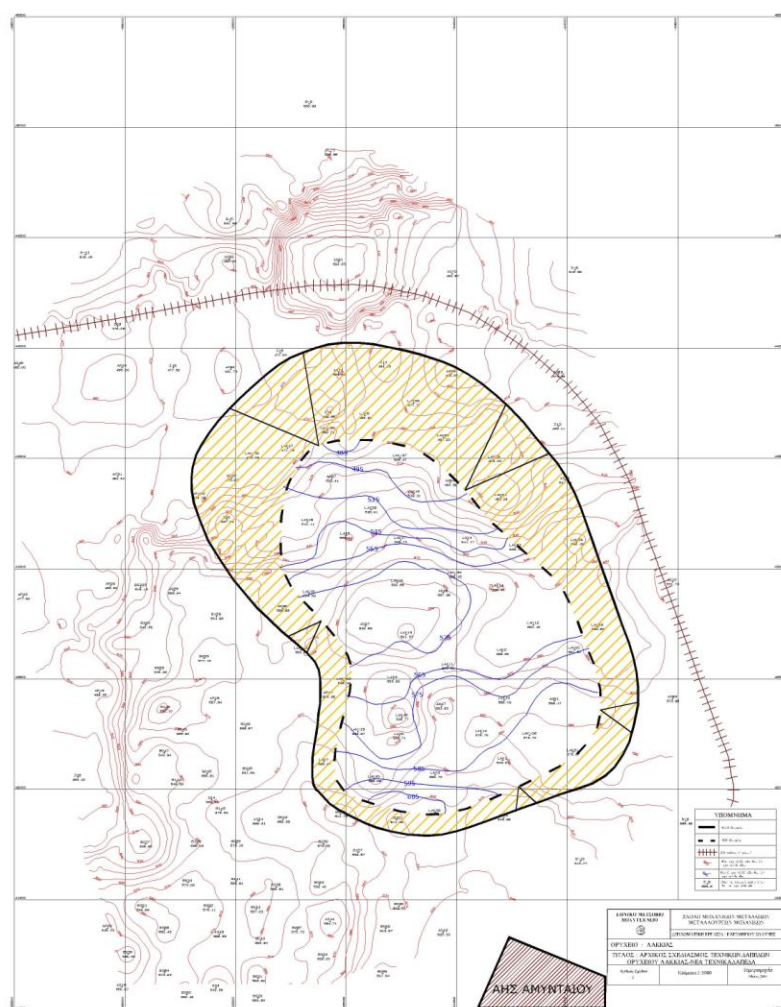


Εικόνα 4.1 Πακέτο Carlson Software

4.1 Πεδίο Λακκιάς

Η περιοχή της Λακκιάς βρίσκεται στα όρια των Νομών Φλώρινας και Κοζάνης. Το κοίτασμα του λιγνιτικού πεδίου Λακκιάς βρίσκεται μέσα στη λιγνιτοφόρα λεκάνη Αμυνταίου – Αναργύρων, στο βορειοανατολικό άκρο του κυρίως κοιτάσματος Αμυνταίου και οριοθετείται με τον παλαιό εθνικό δρόμο Πτολεμαΐδας - Αμυνταίου. Ορίζεται από βόρεια και ανατολικά από τα χωριά Λακκιά και Φιλώτα και τη σιδηροδρομική γραμμή Αμυνταίου - Πτολεμαΐδας και

Η μορφολογία της ευρύτερης περιοχής είναι σχετικά ομαλή με υψόμετρα κυμαινόμενα μεταξύ +660 m και +595 m. Στο βορειοανατολικό άκρο βρίσκεται η λίμνη Πετρών, βόρεια της οποίας αναπτύσσεται ο ασβεστολιθικός όγκος του Βορρά (υψόμετρο +1998 m). Στο βορειοδυτικό άκρο βρίσκεται το βουνό Φλάμπουρο (Βέρνο) που φτάνει τα 2128 m, ενώ προς το νοτιοανατολικό είναι τα υψίπεδα Κουρί - Μπορντώ (Ελευθερίου, 2009).



4.1.1 Γεωλογία πεδίου Λακκιάς

Με βάση την γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής αλλά και τις διάφορες γεωτρητικές έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στο πεδίο Λακκιάς η λιθοστρωματογραφική διάρθρωση στο ομώνυμο ορυχείο είναι η ακόλουθη, από τους νεότερους στους παλαιότερους:

- **Υπερκείμενη σειρά**

Μέσα στα υπερκείμενα ταυ λιγνίτη στρώματα διακρίνονται, από κάτω προς τα πάνω, οι ακόλουθες ενότητες :

1. Λιμναία πλειοκαινικά ιζήματα που αποτελούνται από αμμούχους και ασβεστούχους αργίλους, από λεπτόκοκκες άμμους και από μάργες με χρώμα τεφρό έως τεφροπράσινο. Στην περιοχή της Λακκιάς το πάχος της σειράς μειώνεται αισθητά.
2. Ποταμοχειμάρριες τεταρτογενείς αποθέσεις (Σχηματισμός Προαστίου) που συνίστανται από ένα σύστημα ποταμοχειμάρριων αποθέσεων που αποτελούνται από εναλλαγές χαλαρών κροκαλοπαγών και άμμων με ερυθρά άργιλο. Στην περιοχή της Λακκιάς η σειρά αυτή συναντάται πάνω ακριβώς από τα στρώματα λιγνίτη.
3. Ποταμιολιμνιαίες τεταρτογενείς αποθέσεις (σχηματισμός Περδίκκα). Οι σχηματισμοί Περδίκκα αποτελούνται από ενστρώσεις λεπτόκοκκης άμμου σε εναλλαγές με αμμούχους αργίλους και μάργες, ως και από φακοειδείς ενστρώσεις ψαμμιτών και χαλαρών κροκαλοπαγών.

- **Λιγνιτοφόρος σειρά**

Αποτελείται από στρώματα λιγνίτη και ενδιάμεσες στρώσεις στείρου υλικού, οι οποίες συνίστανται κυρίως από αμμούχους ή ανθρακομιγείς αργίλους και μάργες (σχηματισμός Πτολεμαΐδας).

- **Υποκείμενη σειρά**

Περιλαμβάνει τα νεογενή ιζήματα, που υπόκεινται αμέσως ταυ βαθύτερου λιγνιτικού στρώματος. Το ανώτερο στρώμα της υποκείμενης σειράς είναι αργιλικό. Το σύνολο αυτό των αργιλικών αλλά και των μαργαϊκών στρωμάτων δημιουργεί ένα στεγανό στρώμα που εμποδίζει την είσοδο του νερού από τα κατώτερα υποκείμενα υδροφόρα στρώματα προς τον πυθμένα του ορυχείου. Κάτω από τους σχηματισμούς της αργίλου και της μάργας συναντάται μία σειρά από λεπτόκοκκους έως και χονδρόκοκκους αργιλούχους άμμους με φακοειδείς παρεμβολές αμμούχων αργίλων και χρώμα τεφροπράσινο έως πράσινο. Στη συνέχεια συναντάται μια κιτρινέρυθρη σειρά που συνίσταται κυρίως από άμμους και χονδρόκοκκο υλικό. Ενδιάμεσα παρεμβάλλονται στρώματα χαλαρών κροκαλοπαγών με κροκάλες σχιστολιθικών πετρωμάτων. Στο κατώτερο τμήμα έχουν αποτεθεί λιμναίες μάργες, ιλύες και άργιλοι, που καλύπτουν το κρυσταλλικό υπόβαθρο (Ελευθερίου, 2009).



Εικόνα 4.3 Πεδίο Λακκίας (<http://www.google.com/>).

4.2 Επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων

Τα δεδομένα όπως προαναφέρθηκε περιλαμβάνουν 78 δειγματοληπτικές γεωτρήσεις οι οποίες ήταν σε αρχείο μορφής .dat. Το αρχείο .dat περιέχει πληροφορίες όπως τα ονόματα των γεωτρήσεων, τις συντεταγμένες X, Y, Z, τα απόλυτα υψόμετρα των γεωτρήσεων σε m, τα πετρώματα τα οποία βρίσκονται εντός κάθε γεώτρησης καθώς και το πάχος που καταλαμβάνουν, την ημερομηνία που ξεκίνησε η κάθε γεώτρηση και την ημερομηνία που έλαβε τέλος, ενώ για κάθε λιγνιτικό στρώμα το οποίο εντοπίστηκε περιέχει πληροφορίες για την υγρασία και την τέφρα επί ξηρού σε ποσοστά επί τοις εκατό (%) καθώς και την θερμογόνο δύναμη σε kcal.

Για την επισκόπηση των παραπάνω στοιχείων, τα οποία διατίθενται σε αρχείο .dat, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εφαρμογή Notepad του λειτουργικού Windows (Εικόνα 4.4) ή η εφαρμογή Excel του πακέτου Microsoft Office.

4.2.1 Καθορισμός των γεωλογικών στρωμάτων

Για την χρήση του λογισμικού Carlson είναι απαραίτητος ο καθορισμός των γεωλογικών στρωμάτων. Ο καθορισμός των γεωλογικών στρωμάτων ουσιαστικά αναφέρεται σε μια διαδικασία ομαδοποίησης των δεδομένων των γεωτρήσεων με τρόπο τέτοιο που κάθε ομάδα να περιλαμβάνει σχηματισμούς που έχουν κοινές ιδιότητες, βρίσκονται στο ίδιο βάθος, σε σχέση με τα απόλυτα υψόμετρα, και χαρακτηρίζονται από το ίδιο πάχος.

Στην περίπτωση του λιγνιτικού κοιτάσματος η ομαδοποίηση αυτή έγινε με σκοπό τον καθορισμό των υπερκείμενων στρωμάτων, των λιγνιτικών στρωμάτων καθώς και των ενδιάμεσων στρωμάτων. Για να γίνει αυτή η διαδικασία ελήφθησαν υπόψη: ο χαρακτηρισμός των πετρωμάτων και ο τρόπος με τον οποίο αυτά εναλλάσσονται, το πάχος και το βάθος που ήδη έχουν αναφερθεί, και για τα λιγνιτικά στρώματα, η εναλλαγή των ενδιάμεσων

στρωμάτων αλλά κυρίως το πάχος τους, το βάθος τους από το απόλυτο υψόμετρο και η αντίστοιχη θερμογόνος δύναμη.

Το πρώτο βήμα για την υλοποίηση αυτής της διαδικασίας ήταν το άνοιγμα του αρχείου .dat, με μια από τις δύο εφαρμογές που αναφέρθηκαν προηγούμενα στην ενότητα 4.1, και εν συνεχεία η εκτύπωση της κάθε γεώτρησης ώστε να μπορεί να γίνει εύκολα η σύγκριση αλλά και η ομαδοποίηση των γεωλογικών στρωμάτων ανάμεσα στις γεωτρήσεις. Ενδεικτικά στην Εικόνα 4.5α απεικονίζεται η γεώτρηση με όνομα Lak22. Η κωδικοποίηση των δεδομένων που περιλαμβάνει κάθε γεώτρηση έχει ως εξής: Οι δύο πρώτες γραμμές είναι πληροφοριακές για τη γεώτρηση, από δεξιά προς τα αριστερά, αναγράφεται: ο κωδικός της γεώτρησης, το όνομά της, καθώς και οι συντεταγμένες X,Y,Z (Εικόνα 4.5β). Οι επόμενες γραμμές αποτυπώνουν την δειγματοληψία σε βάθος. Αρχικά φαίνεται το βάθος στο οποίο ξεκινάει η εμφάνιση ενός σχηματισμού (σε cm), καθώς το βάθος στο οποίο σταματάει η εμφάνιση του σχηματισμού, ενώ ακολουθούν τα κωδικοποιημένα πετρογραφικά χαρακτηριστικά (Πίνακας 4.1), ενώ όπου υπάρχει λιγνίτης αναγράφονται και η υγρασία και η τέφρα επί ξηρού σε ποσοστά επί τις εκατό (%) καθώς και η θερμογόνος δύναμη σε kcal. Στο πάνω μέρος του φύλλου αναγράφονται: το όνομα της γεώτρησης καθώς και το απόλυτο υψόμετρο στο οποίο έλαβε χώρο. Το πάχος, το βάθος και το απόλυτο υψόμετρο έχουν μονάδα μέτρησης το εκατοστό.


```

238642732      LAK22      290906011106
23864273  0  100 AL O/RR
23864273  100 500 AL O/GS9R
23864273  500 700 SN T D 5
23864273  700 900 SN T D 7
23864273  900 1260 AL O/RR K
23864273  1260 1390 SN O-GM
23864273  1390 3120 KC D Z AZ
23864273  3120 3900 AL O/GS D
23864273  3900 4400 SI T/GS V
23864273  4400 4800 AL T/GS
23864273  4800 5570 KC D AZ
23864273  5570 5940 MR T C
23864273  5940 5970 CO C 53.139.91355
23864273  5970 6300 MR T V
23864273  6300 6400 MR T C V
23864273  6400 6500 CO C 51.246.91203
23864273  6500 6600 CO C 50.847.91226
23864273  6600 6800 MR9T-TN C V
23864273  6800 6900 CO C 54.937.31336
23864273  6900 6980 CO C 59.421.31587
23864273  6980 7040 MR T/Y V N
23864273  7040 7100 CO C 57.530.21469
23864273  7100 7130 MR T
23864273  7130 7200 CO C 55.334.41392
23864273  7200 7300 CO C 55.838.91314
23864273  7300 7470 CO C 57.726.21551
23864273  7470 7570 AL9T-TH
23864273  7570 7600 AL9T-T V
23864273  7600 7700 SN C
23864273  7700 7820 CO C 53.333.71545
23864273  7820 7860 AL9T-TS K
23864273  7860 9150 AL T/GS Q D
23864273  9150 9230 AL9T
23864273  9230 9300 CO Q D C 46.744.51503
23864273  9300 9960 AL T-GQ KD

```

Εικόνα 4.5α Απεικόνιση της γεώτρησης Lak22 εκτυπωμένη από την εφαρμογή Notepad

```

238642731 -23867 42732 643.56 LAK22
238642732      LAK22      290906011106

```

Εικόνα 4.5β Απεικόνιση των δύο πρώτων γραμμών της γεώτρησης Lak22 εκτυπωμένη από την εφαρμογή Notepad.

Κατά την διαδικασία σύγκρισης και ομαδοποίησης πολύ σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και η ύπαρξη ή μη ρηγμάτων στην περιοχή, τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τον γεωλογικό χαρακτηρισμό των στρωμάτων. Είναι πιθανό κάποιο γεωλογικό στρώμα να βυθίζεται αρκετά μέτρα λόγω αυτού του γεωλογικού φαινομένου με αποτέλεσμα να εμφανίζονται σχηματισμοί με παρόμοιες ιδιότητες και πάχος, αλλά σε διαφορετικά βάθη ακόμα και σε πολύ κοντινές γεωτρήσεις. Επιπρόσθετα, εκτός των ρηγμάτων, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η τυχόν υπάρχουσα κλίση του κοιτάσματος καθώς και αυτή θα οδηγούσε σε μια σταδιακή, σε αυτήν την περίπτωση, βύθιση των γεωλογικών στρωμάτων.

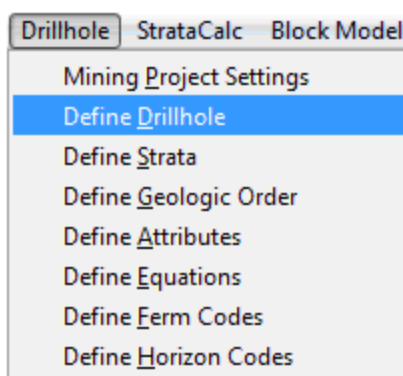
Πίνακας 4.1 Κωδικοποιημένα πετρογραφικά χαρακτηριστικά δειγμάτων γεωτρήσεων.

Είδος πετρώματος	Δευτερεύουσα σύσταση	Ιστός	Προσμίξεις	Κοκκομετρία
SO-Φυτική γη	T-Αργιλούχο	P-Πλαστικό	A-Απολιθώματα	1-Λίαν λεπτόκοκκο
AL-Αργίλος	S-Αμμούχο	B-Λατυπιοποιημένο	M-Μαλάκια	3-Λεπτόκοκκο
SN-Άμμος	K-Ασβεστούχο	L-Φυλλώδες	G-Γαστερόποδα	4-Λεπτόκοκκο-Μεσόκοκκο
MR-Μάρμα	U-Ιλιούχο	F-Εύθραστο	P-Ελασματοβράγχια	5-Μεσόκοκκο
CO-Λιγνίτης	H-Χουμώδες	E-Γαιώδες	O-Οστρακώδη	6-Χονδρόκοκκο
CP-Τύρφη	R-Ψηφοδομαγές	O-Συμπαγές	E-Operculum	7-Ανδρόκοκκο
SI-Ιλύς	G-Χαλικομαγές	T-Λεπτοστρωμα/δές	D-Θραύσματα	9-Λίαν Ανδρόκοκκο
SL-Ιλιόλιθοι	M-Μαρμαρυγιούχο	S-Στρωματώδες	L-Φύλλα	
LO-Πηλός	C-Ανθρακούχο	H-Σκληρό	T-Καρπιοί-Σπόροι	Χρώμα
KC-Κροκαλοπαγές	A-Κερατολιθικό	R-Πορώδες	R-Ρίζες	
BC-Λατυπιοπαγές	X-Χαλαζιακό	I-Ταινιώδες	V-Φυτικά λείψανα	B-Μπλε
SO-Ψαμμίτης	B-Σχιστολιθικό	N-Άσπρωτο	B-Οστά	I-Μπεζ
GC-Ψηφιοδοπαγές	V-Ηφαιστειακό	M-Μαλακό	C-Συγκρίματα	O-Καστανό
LI-Ασβεστόλιθος	P-Πλουτωνιακό	G-Κερματισμένο	K-Ασβεστ. Συγκρίμ.	T-Τεφρό
LI-Λιμναία Κρητίς	W-Μαγματικό Βασικό	D-Σπιφρό	S-Προϊόντα Καύσης Γαιάνθρακα	G-Πράσινο
AG-Αργ. Γκυττία	O-Μαγματικό Όξινο	K-Κρυσταλλικό	Y-Σιδηροπυρίτης	Y-Κίτρινο
LG-Ασβ. Γκυττία	D-Πολύμεικτο	X-Χυλώδες	F-Οξειδ. Σιδήρου	W-Λευκό
LK-Ασβ. Ιλύς	E-Γνευσιακό	A-Ασύνδετο	W-Βιβιανίτης	R-Κόκκινο
PA-Παλαιοέδαφος	F-Χαρακτηριστική	Z-Χαλαρό	U-Fusinite	V-Βιολετί
TB-Τροχμάλες	I-Τελική	Y-Ημισκληρα	N-Νερίτινα	M-Μαύρο
TC-Τραχυαλοπαγές	L-Κροκάλες		Z-Ξυλώδη Τεμάχια	
DA-Γη Διατομών	N-Λεπτές Σκληρές Ενστρώσεις	Ποσότητα	J-Οξειδία MN	Ένταση Χρώματος
MA-Μαργ. Ασβεστ.	Z-Εν/σεις Ψαμμίτη		Διακύμανση	1-Ανοιχτό
SH-Σχιστόλιθος	Q-Εν/σεις Πηλίτη	1-Πολύ λίγο		5-Έντονο
SB-Αποθέσεις	J-Εν/σεις Μάρμας	3-Λίγο	- έως	9-Σκούρο
LS-Απώλεια		5-Μέτρια	/ -μαζί	
		7-Πολύ		
		9-Πάρα πολύ		

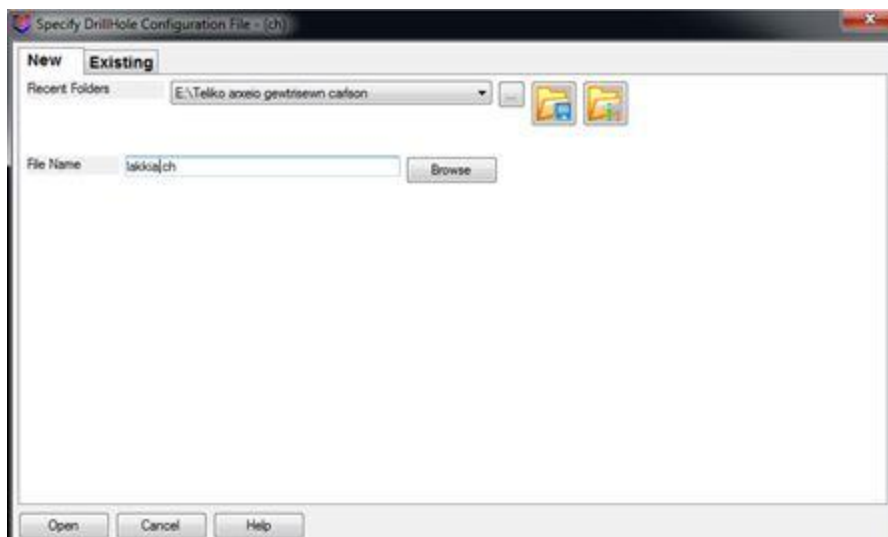
Εικόνα 4.6 Οι γραμμές με κόκκινο χρώμα δείχνουν τον ορίζοντα Νερίτινα.

4.2.2 Εισαγωγή του αρχείου .dat στο λογισμικό Carlson

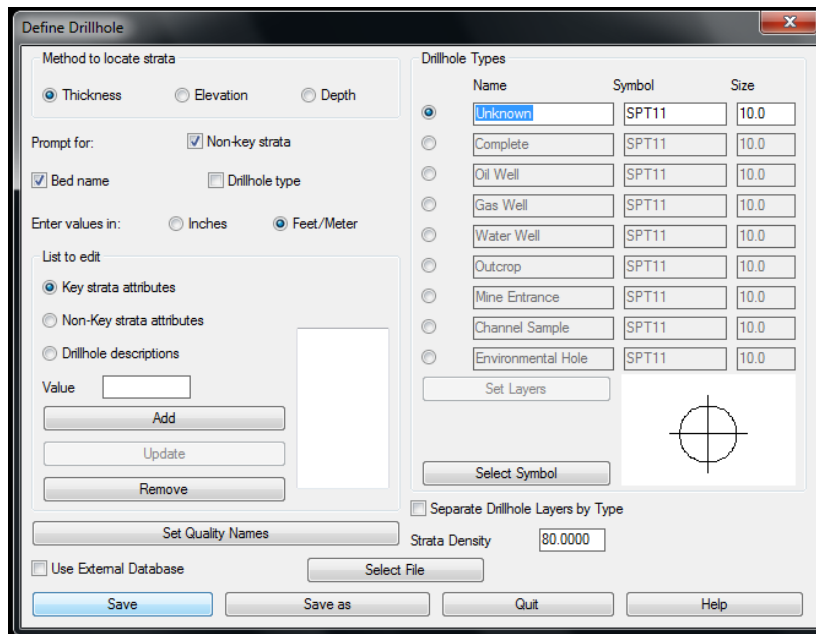
Μετά την εκκίνηση του προγράμματος, στην επιφάνεια εργασίας του, επιλέγεται το μενού Drillhole και στη συνέχεια Define Drillhole από την γραμμή εντολών του AutoCad (Εικόνα 4.7). Έπειτα επιλέγεται το όνομα για το αρχείο .ch που πρόκειται να δημιουργήσει το πρόγραμμα και είναι απαραίτητο για την σωστή παραμετροποίηση του μοντέλου των γεωτρήσεων κάθε φορά που καλείται στο περιβάλλον Carlson (Εικόνα 4.8). Στο παράθυρο που εμφανίζεται (Εικόνα 4.9) επιλέγεται η μέθοδος που θα αναγνωρίζονται τα στρώματα καθώς και το χρώμα και σχήμα με το οποίο θα απεικονίζονται οι γεωτρήσεις στο περιβάλλον του AutoCad και επιλέγεται save.



Εικόνα 4.7 Μενού Drillhole και η επιλογή Define Drillhole.

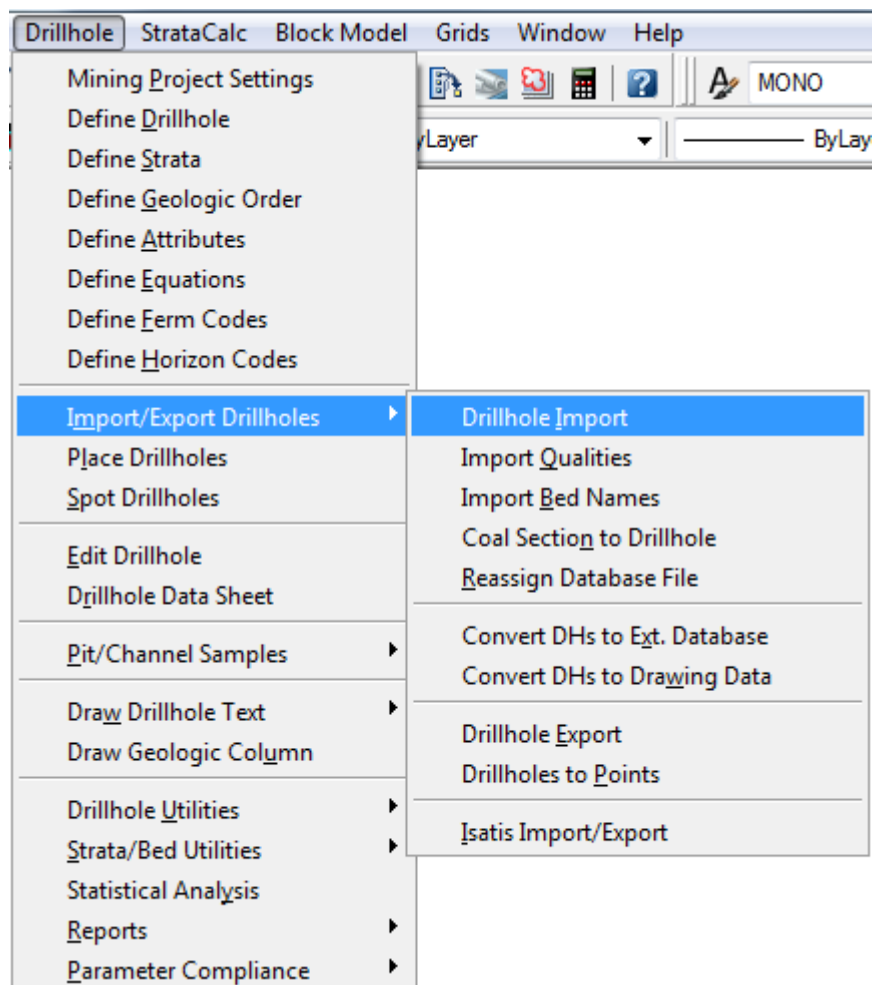


Εικόνα 4.8 Δημιουργία αρχείου .ch

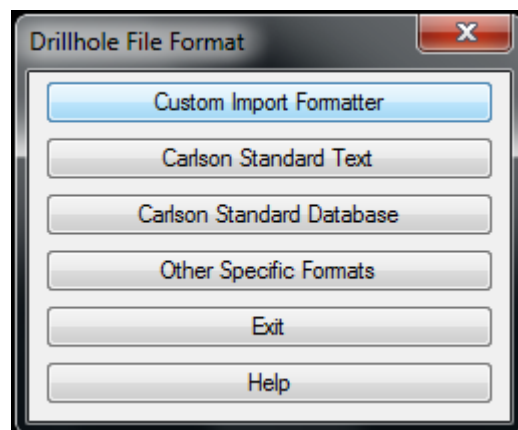


Εικόνα 4.9 Οι επιλογές στο μενού Define Drillhole.

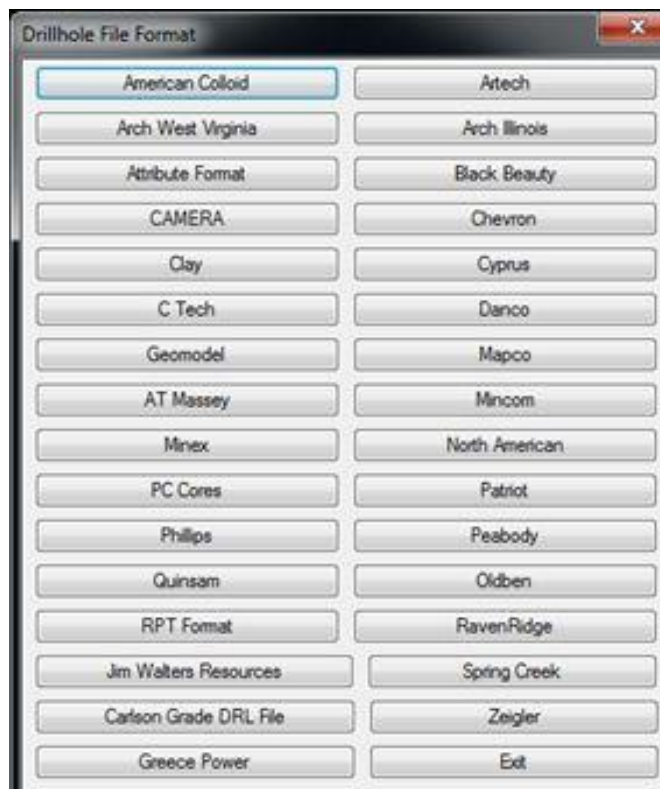
Εν συνεχεία για να εισαχθούν τα δεδομένα των γεωτρήσεων επιλέγεται Drillhole και έπειτα από την επιλογή Import/Export Drillholes επιλέγεται Drillhole Import (Εικόνα 4.10) στο παράθυρο όπου εμφανίζεται, επιλέγεται Other Specific Formats (Εικόνα 4.11) και στο παράθυρο που ανοίγει επιλέγεται το Greece Power (Εικόνα 4.12). Έπειτα επιλέγεται ο φάκελος στον οποίο έχει αποθηκευτεί το αρχείο .dat και επιλέγεται το αρχείο με τις γεωτρήσεις (geo_lak.dat) (Εικόνα 4.13).



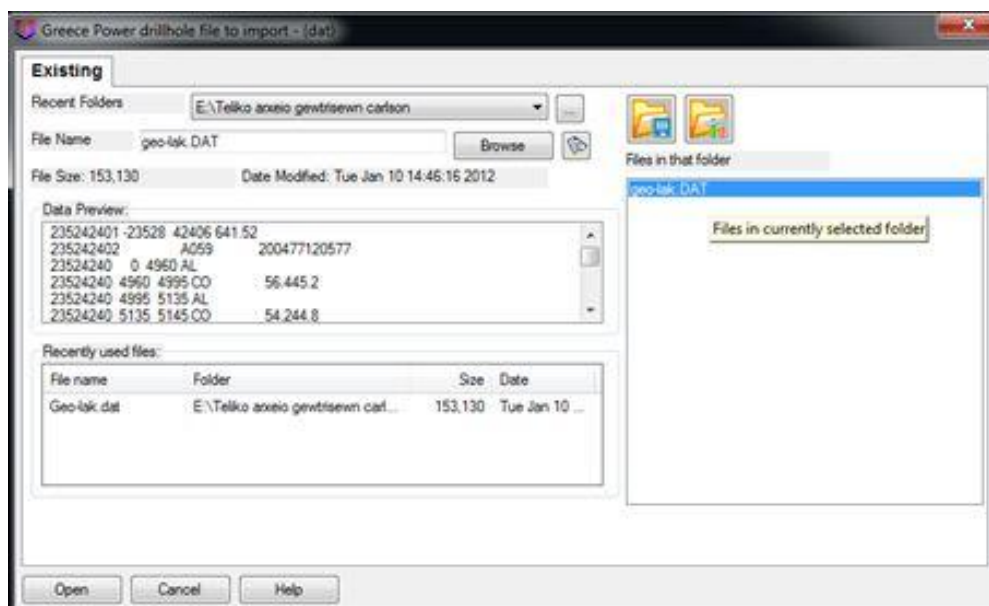
Εικόνα 4.10 Το μενού Drillhole και η επιλογή Drillhole Import.



Εικόνα 4.11 Η επιλογή του Other Specific Formats.

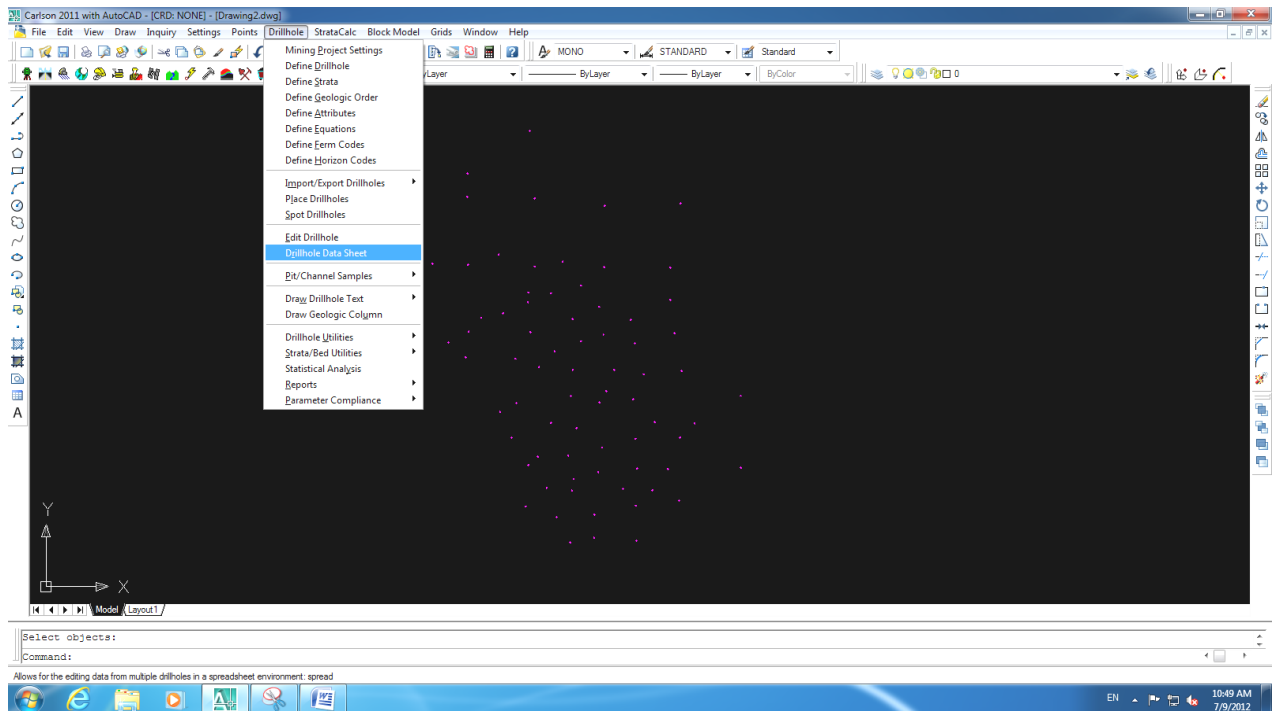


Εικόνα 4.12 Επιλογή του format Greece Power.



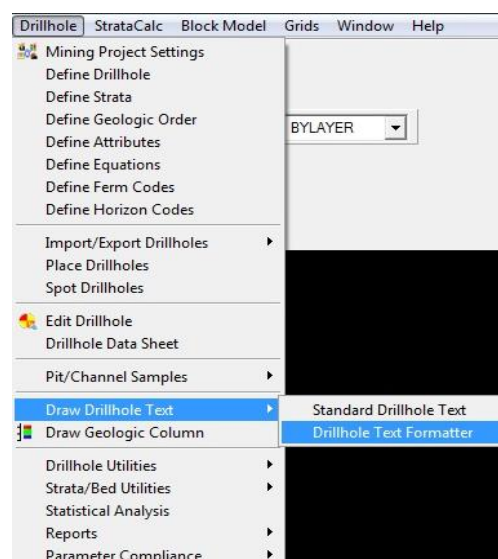
Εικόνα 4.13 Επιλογή του αρχείου .dat

Εν συνεχεία οι γεωτρήσεις θα εμφανιστούν στην επιφάνεια εργασίας του προγράμματος (Εικόνα 4.14).

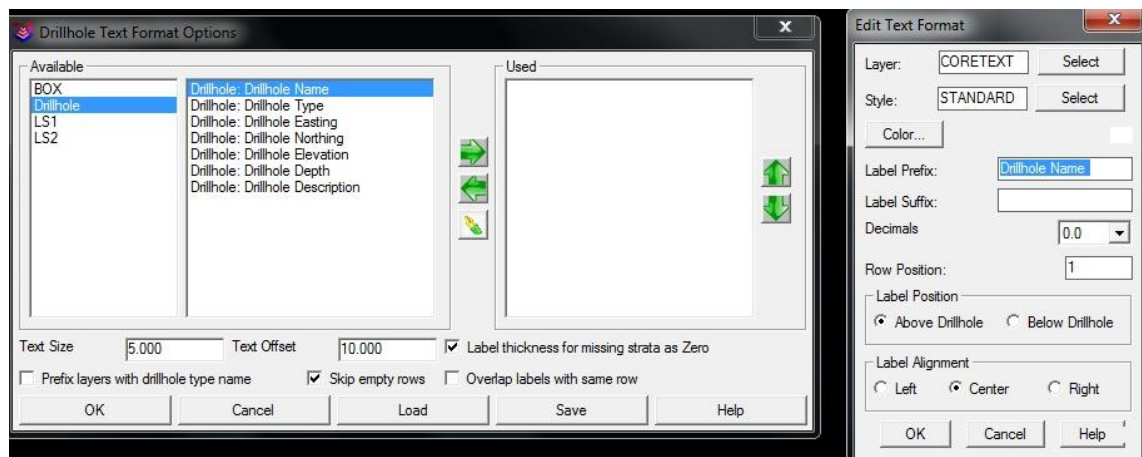


Εικόνα 4.14 Οι γεωτρήσεις στην επιφάνεια εργασίας του προγράμματος.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 4.15 οι γεωτρήσεις εμφανίζονται με τη μορφή σταυρονήματος. Για μεγαλύτερη διευκόλυνση στην επεξεργασία των γεωτρήσεων υπάρχει η δυνατότητα εμφάνισης του ονόματος καθεμιάς. Επιλέγοντας από την γραμμή εντολών Drillhole, στη συνέχεια Draw Drillhole Text και τέλος Text Formatter (Εικόνα 4.16) το πρόγραμμα ζητά να επιλεχθούν οι γεωτρήσεις στις οποίες θα εμφανίζεται το όνομα. Στη συνέχεια εμφανίζεται το παράθυρο (Εικόνα 4.17) στο οποίο επιλέγεται το μέγεθος του κειμένου καθώς και ο τρόπος που θα εμφανίζεται το κάθε όνομα. Πατώντας OK εμφανίζονται τα ονόματα των γεωτρήσεων (Εικόνα 4.18).



Εικόνα 4.15 Η επιλογή Drillhole Text Formatter.



Εικόνα 4.16 Παράθυρο επιλογής παραμέτρων ονομάτων γεωτρήσεων

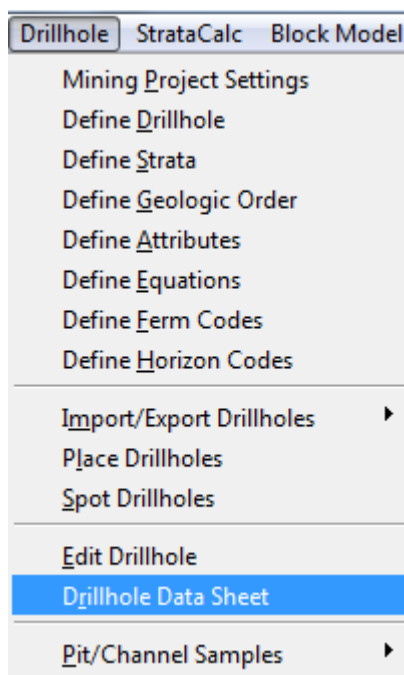


Εικόνα 4.17 Ονόματα γεωτρήσεων

4.2.3 Χαρακτηρισμός των γεωλογικών στρωμάτων

Μετά την εισαγωγή των δεδομένων των γεωτρήσεων, ο χρήστης δύναται να επεξεργαστεί τα δεδομένα αυτά είτε συμπληρώνοντας ελλιπή στοιχεία, είτε διορθώνοντας άλλα. Αυτό καθίσταται δυνατό με το επόμενο βήμα που είναι η επιλογή από το μενού Drillhole, η επιλογή Drillhole Data Sheet (Εικόνα 4.18). Έπειτα ανοίγει το παράθυρο Drillhole Data Sheet το οποίο περιέχει τη βάση δεδομένων των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων εκτός από τον χαρακτηρισμό των γεωλογικών στρωμάτων (πεδίο bednames), ο οποίος

παραμένει κενός. Μέσω αυτής της επιλογής μπορεί να γίνει οποιαδήποτε αλλαγή στη βάση δεδομένων των γεωτρήσεων. Οι αλλαγές αποθηκεύονται στο αρχείο DWG με το κλείσιμο του παραθύρου. Πολύ σημαντικό και άξιο αναφοράς είναι πως τα βάθη των γεωτρήσεων έχουν εισαχθεί με μονάδα μέτρησης το cm. Για να πραγματοποιηθούν οι μετέπειτα υπολογισμοί όμως ο χρήστης πρέπει να μετατρέψει τα cm σε m, πράμα το οποίο στην παρούσα εργασία έγινε χειροκίνητα. (Εικόνα 4.19).



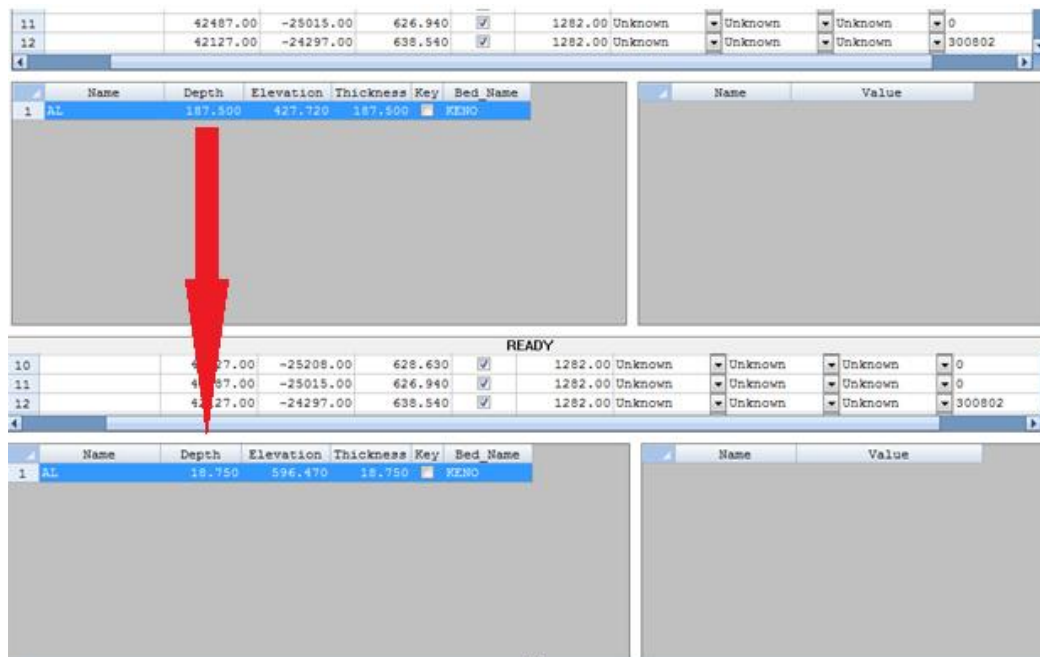
Εικόνα 4.18 Επιλογή προεπισκόπησης γεωτρητικών δεδομένων.

Drillhole Data Sheet											
File Edit Search Display Options											
	Description	Northing	Easting	Elevation	Process	Density	Type	XY Quality	Z Quality	StartDate	EndDate
1		43336.00	-24698.00	631.040	<input checked="" type="checkbox"/>	80.00	Unknown	Unknown	Unknown	40	.61188
2		42495.00	-24793.00	626.200	<input checked="" type="checkbox"/>	80.00	Unknown	Unknown	Unknown	44	.8 870
3		42936.00	-23529.00	646.710	<input checked="" type="checkbox"/>	80.00	Unknown	Unknown	Unknown	0	0
4		41857.00	-24777.00	639.280	<input checked="" type="checkbox"/>	80.00	Unknown	Unknown	Unknown	210475	270575
5		42735.00	-24918.00	632.360	<input checked="" type="checkbox"/>	80.00	Unknown	Unknown	Unknown	170975	290975
6		42816.00	-25291.00	625.580	<input checked="" type="checkbox"/>	80.00	Unknown	Unknown	Unknown	190776	310776
7		41869.00	-24292.00	638.830	<input checked="" type="checkbox"/>	80.00	Unknown	Unknown	Unknown	190477	100577
8		42373.00	-24573.00	636.610	<input checked="" type="checkbox"/>	80.00	Unknown	Unknown	Unknown	140876	280876
9		42886.00	-24564.00	640.240	<input checked="" type="checkbox"/>	80.00	Unknown	Unknown	Unknown	20876	130876
10		43918.00	-26516.00	611.930	<input checked="" type="checkbox"/>	80.00	Unknown	Unknown	Unknown	250677	260777
11		42396.00	-24062.00	643.690	<input checked="" type="checkbox"/>	80.00	Unknown	Unknown	Unknown	300876	170976
12		43385.00	-24533.00	634.700	<input checked="" type="checkbox"/>	80.00	Unknown	Unknown	Unknown	130577	140677

	Name	Depth	Elevation	Thick.,ft	Key	Bed Name
1	AL	30.000	401.040	30.000	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	AL	230.000	401.040	200.000	<input type="checkbox"/>	
3	AL	380.000	251.040	150.000	<input type="checkbox"/>	
4	AL	600.000	31.040	220.000	<input type="checkbox"/>	
5	AL	720.000	-88.960	120.000	<input type="checkbox"/>	
6	SN	940.000	-308.960	220.000	<input type="checkbox"/>	
7	KC	2070.000	-1438.960	1130.000	<input type="checkbox"/>	
8	SN	2620.000	-1988.960	550.000	<input type="checkbox"/>	
9	AL	2720.000	-2088.960	100.000	<input type="checkbox"/>	
10	AL	2830.000	-2198.960	110.000	<input type="checkbox"/>	
11	SN	3310.000	-2678.960	480.000	<input type="checkbox"/>	
12	AL	3640.000	-3008.960	330.000	<input type="checkbox"/>	

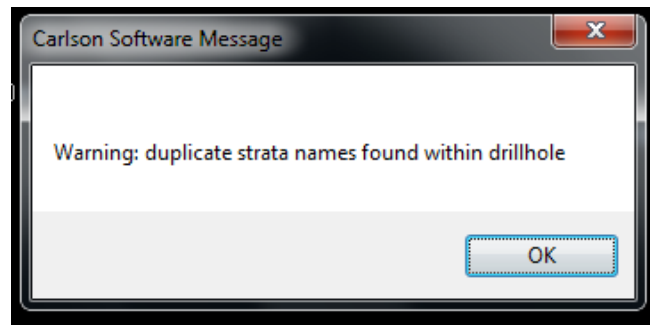
Name	Value

READY



Εικόνα 4.19 Προεπισκόπηση γεωτρητικών δεδομένων και μετατροπή απο cm σε m.

Η ευελιξία που παρέχει η επιλογή Drillhole Data Sheet μέσω της οποίας μπορεί ο χρήστης να έχει πρόσβαση στα δεδομένα, αλλά και το γεγονός ότι κάθε αλλαγή ή διόρθωση των μετρήσεων γίνεται αποδεκτή καθώς αποθηκεύονται και ανανεώνονται οι μετρήσεις με το κλείσιμο του παράθυρου, δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει στην στήλη bedname τα ονόματα, σύμφωνα με τον καθορισμό των γεωλογικών στρωμάτων που έχει ήδη πράξει με τον τρόπο που αναλύθηκε παραπάνω στην ενότητα 4.1.1. Με αυτόν τον τρόπο στην καρτέλα Drillhole Data Sheet και κάνοντας αριστερό κλικ πάνω στην στήλη bedname δίνεται το επιθυμητό όνομα, σε αντιστοίχιση φυσικά των γεωλογικών στρωμάτων που έχουν παρατηρηθεί και καταγραφεί στο χαρτί από τον χρήστη. Προσοχή, το πρόγραμμα καθώς δέχεται τα bedname τα οποία του παρέχονται δημιουργεί ένα εσωτερικό αρχείο στο οποίο αποθηκεύει την αλληλουχία των στρωμάτων. Για αυτόν τον λόγο τα στρώματα τα οποία καθορίζουμε εντός του λογισμικού πρέπει, άνωθεν και εκατέρωθεν να έχουν πάντα τα ίδια στρώματα σε όλες τις γεωτρήσεις. Σε αντίθετη περίπτωση στις μετέπειτα διαδικασίες που θα προβεί ο χρήστης το πρόγραμμα θα του εμφανίσει ένα παράθυρο με την ένδειξη Warning (Εικόνα 4.20) και δεν θα μπορεί να συνεχίσει την επεξεργασία αν δεν προβεί σε διορθώσεις.



Εικόνα 4.20 Warning σε περίπτωση λάθους παραμέτρων στα bedname.

Κατά τον τρόπο εκείνο που περιγράφεται παραπάνω, στην παρούσα διπλωματική εργασία ονομάστηκαν τα 22 στρώματα λιγνίτη, που εντοπίστηκαν στο πεδίο της Λακκιάς, κατά την διαδικασία του κεφαλαίου 4.1.1, σαν bedname LIG1,LIG2...έως LIG22. Τα υπερκείμενα στρώματα ονομάστηκαν ανάλογα με το ποιο ήταν το πρώτο λιγνιτικό στρώμα το οποίο συνάντησαν. Για παράδειγμα αν το υπερκείμενο στρώμα συναντούσε πρώτο το στρώμα του λιγνίτη με όνομα LIG1 τότε το στρώμα θα έπαιρνε το όνομα YPER1, αν όμως το υπερκείμενο στρώμα συναντούσε πρώτο το στρώμα του λιγνίτη με όνομα LIG5 τότε το στρώμα θα έπαιρνε το όνομα YPER5 και αυτό γιατί δεν γίνεται, όπως προαναφέρθηκε, το στρώμα με bedname YPER1 να το διαδέχεται ταυτόχρονα και το στρώμα με όνομα LIG1 και το στρώμα με όνομα LIG5. Με την ίδια λογική δόθηκαν και τα bedname των ενδιαμέσων τα οποία πήραν το όνομά τους από τα στρώματα λιγνίτη που βρίσκονται άνωθεν και εκατέρωθεν του στρώματος. Για παράδειγμα το ενδιάμεσο στρώμα που βρίσκεται ανάμεσα στα στρώματα λιγνίτη με ονόματα LIG1 και LIG2 θα είναι END12, υποδεικνύοντας ότι βρίσκεται ενδιάμεσα του πρώτου και δεύτερου λιγνιτικού στρώματος. Αντίστοιχα θα ονομαζόταν END38 αν το ενδιάμεσο στρώμα ήταν μεταξύ τρίτου και όγδοου λιγνιτικού στρώματος (Εικόνα 4.21).

Description	Northing	Easting	Elevation	Process	Density	Type	XY Quality	Z Quality	StartDate	EndDate
1	43886.00	-25038.00	615.220	<input checked="" type="checkbox"/>	1282.00	Unknown	Unknown	Unknown	250777	181177
2	44883.00	-25074.00	693.910	<input checked="" type="checkbox"/>	1282.00	Unknown	Unknown	Unknown	0	0
3	42240.00	-24175.00	699.640	<input checked="" type="checkbox"/>	1282.00	Unknown	Unknown	Unknown	0	0
4	42969.00	-24513.00	640.070	<input checked="" type="checkbox"/>	1282.00	Unknown	Unknown	Unknown	0	0
5	43327.00	-25671.00	609.080	<input checked="" type="checkbox"/>	1282.00	Unknown	Unknown	Unknown	0	0
6	43509.00	-25429.00	610.200	<input checked="" type="checkbox"/>	1282.00	Unknown	Unknown	Unknown	0	0
7	42258.00	-24950.00	626.690	<input checked="" type="checkbox"/>	1282.00	Unknown	Unknown	Unknown	0	0
8	43499.00	-24761.00	625.800	<input checked="" type="checkbox"/>	1282.00	Unknown	Unknown	Unknown	0	0
9	43624.00	-25088.00	615.700	<input checked="" type="checkbox"/>	1282.00	Unknown	Unknown	Unknown	0	0
10	42627.00	-25208.00	628.630	<input checked="" type="checkbox"/>	1282.00	Unknown	Unknown	Unknown	0	0
11	42487.00	-25015.00	626.940	<input checked="" type="checkbox"/>	1282.00	Unknown	Unknown	Unknown	0	0
12	42127.00	-24297.00	638.540	<input checked="" type="checkbox"/>	1282.00	Unknown	Unknown	Unknown	300802	110902

Name	Depth	Elevation	Thickness	Key	Bed Name
1 AL	3.300	636.340	3.300	<input checked="" type="checkbox"/> YPER	
2 AL	10.200	629.440	6.900	<input type="checkbox"/> YPER	
3 KC	21.000	615.640	10.800	<input type="checkbox"/> YPER	
4 SN	25.800	613.840	4.800	<input type="checkbox"/> YPER	
5 SN	30.300	609.340	4.500	<input type="checkbox"/> YPER	
6 AL	37.400	602.240	7.100	<input type="checkbox"/> YPER	
7 MR	42.100	597.540	4.700	<input type="checkbox"/> YPER	
8 CO	43.000	596.640	.900	<input checked="" type="checkbox"/> LIG1	
9 CO	44.000	595.640	1.000	<input checked="" type="checkbox"/> LIG1	
10 CO	44.700	594.940	.700	<input checked="" type="checkbox"/> LIG1	
11 MR	47.200	592.440	2.500	<input type="checkbox"/> END12	
12 CO	48.000	591.640	.800	<input checked="" type="checkbox"/> LIG2	

Name	Value
1 NOIST	0.000
2 CO2	0.000
3 ASH	0.000
4 BTU	0.000

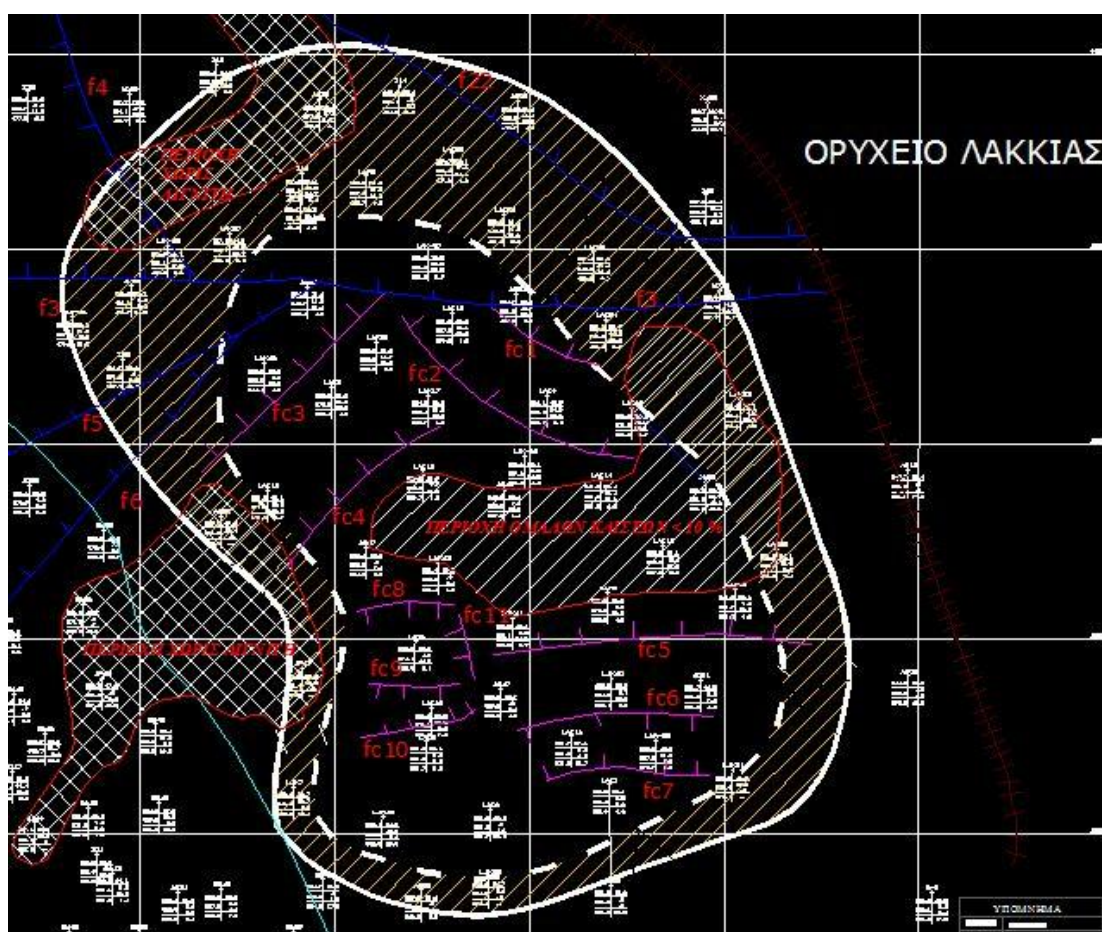
Εικόνα 4.21 Καρτέλα Drillhole Data Sheet με τα bedname.

4.2.4 Δημιουργία ρηγμάτων (faults)

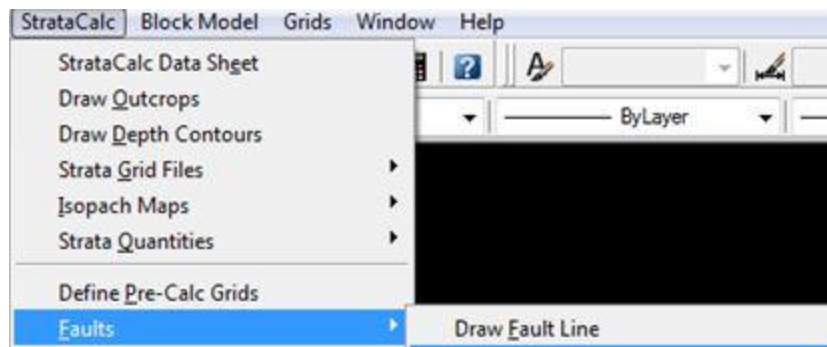
Όπως έχει προαναφερθεί, τα ρήγματα ενός πεδίου είναι σημαντικά για τον καθορισμό των γεωλογικών στρωμάτων, όμως είναι εξίσου σημαντικά και για τον σχεδιασμό μίας υπαίθριας εκμετάλλευσης, σε όλα τα επίπεδα, καθώς διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στις μετέπειτα διαδικασίες του σχεδιασμού αλλά και σε πραγματικό χρόνο κατά την εκμετάλλευση. Άρα καθίσταται κατανοητό πως πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Για την παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε αρχείο AutoCad στο οποίο περιέχονται τα χαρτογραφημένα ρήγματα της περιοχής έτσι όπως έχουν προσδιοριστεί από το Ι.Γ.Μ.Ε. για λογαριασμό της Δ.Ε.Η. (Εικόνα 4.22). Από το αρχείο αυτό σχεδιάστηκαν δύο βασικά ρήγματα τα οποία εκτείνονται εντός του πεδίου και κατόπιν επαλήθευσης και από τις τιμές στα βάθη των στρωμάτων των γεωτρήσεων προσδιορίστηκε μέχρι ποιο βάθος εκτείνονται. Επιπρόσθετα, συνδυάζοντας τον χάρτη σε αρχείο AutoCad ο οποίος απεικονίζει το πεδίο ενδιαφέροντος και τα ρήγματα, με το αρχείο Carlson που απεικονίζει τις γεωτρήσεις, έγινε ο όσο το δυνατόν ακριβέστερος σχεδιασμός των ρηγμάτων ως προς τον προσανατολισμό τους. Κατ' αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκαν μέσω του λογισμικού τα δύο ρήγματα τα οποία είχαν άλμα (Shift) 8 m και 10 m αντίστοιχα. Επιπρόσθετα ο χρήστης μπορεί μέσω του λογισμικού, και τη διαδικασία δημιουργίας του μοντέλου κυψελίδων που περιγράφεται παρακάτω στην ενότητα 4.2, να διακρίνει και ρήγματα τα οποία δεν έχει σχεδιάσει αλλά μπορεί να τα διακρίνει μέσω της τρισδιάστατης απεικόνισης του μοντέλου κυψελίδων.

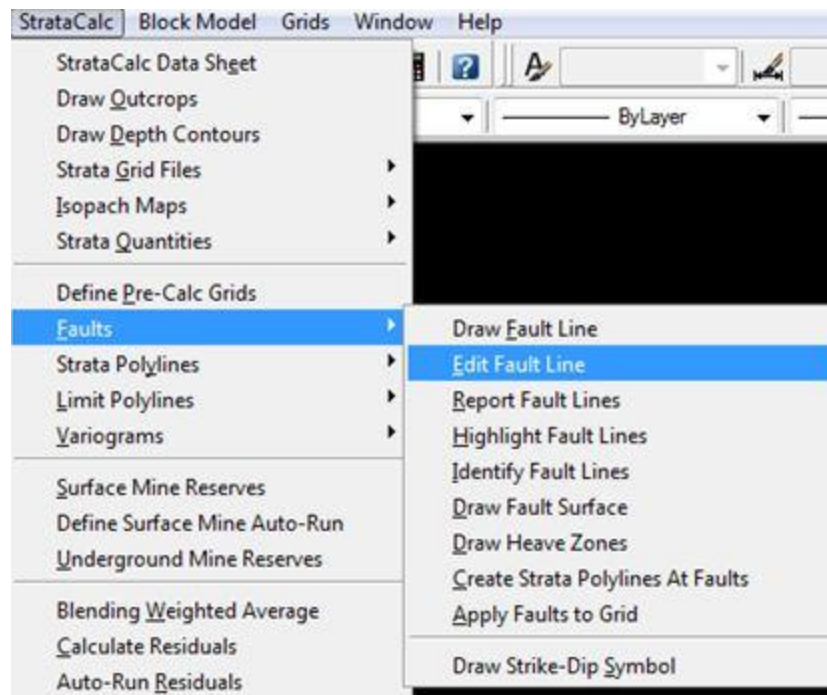
Για την δημιουργία των ρηγμάτων επιλέγεται από την καρτέλα StrataCalc η επιλογή Faults και έπειτα το Draw Fault Line (Εικόνα 4.23). Σε αυτό το σημείο ο χρήστης πρέπει να σχεδιάσει στο πεδίο τα ρήγματα με polyline γεγονός το οποίο έγινε στην παρούσα εργασία αντιγράφοντας τις polyline από το αρχείο AutoCad που περιείχε τα χαρτογραφημένα ρήγματα από το Ι.Γ.Μ.Ε. Εν συνεχεία επιλέγεται από την καρτέλα StrataCalc η επιλογή Faults και έπειτα το Edit Fault Line (Εικόνα 4.24). Στο παράθυρο που ανοίγει ο χρήστης πρέπει να δώσει τις ακριβείς συντεταγμένες που προσδιορίζουν τα ρήγματα, το βάθος από το οποίο ξεκινάει το ρήγμα να βυθίζεται τα γεωλογικά στρώματα και σε ποιο βάθος τα μετατοπίζει καθώς και τις μοίρες του ρήγματος ως προς τον άξονα Z (Εικόνα 4.25).



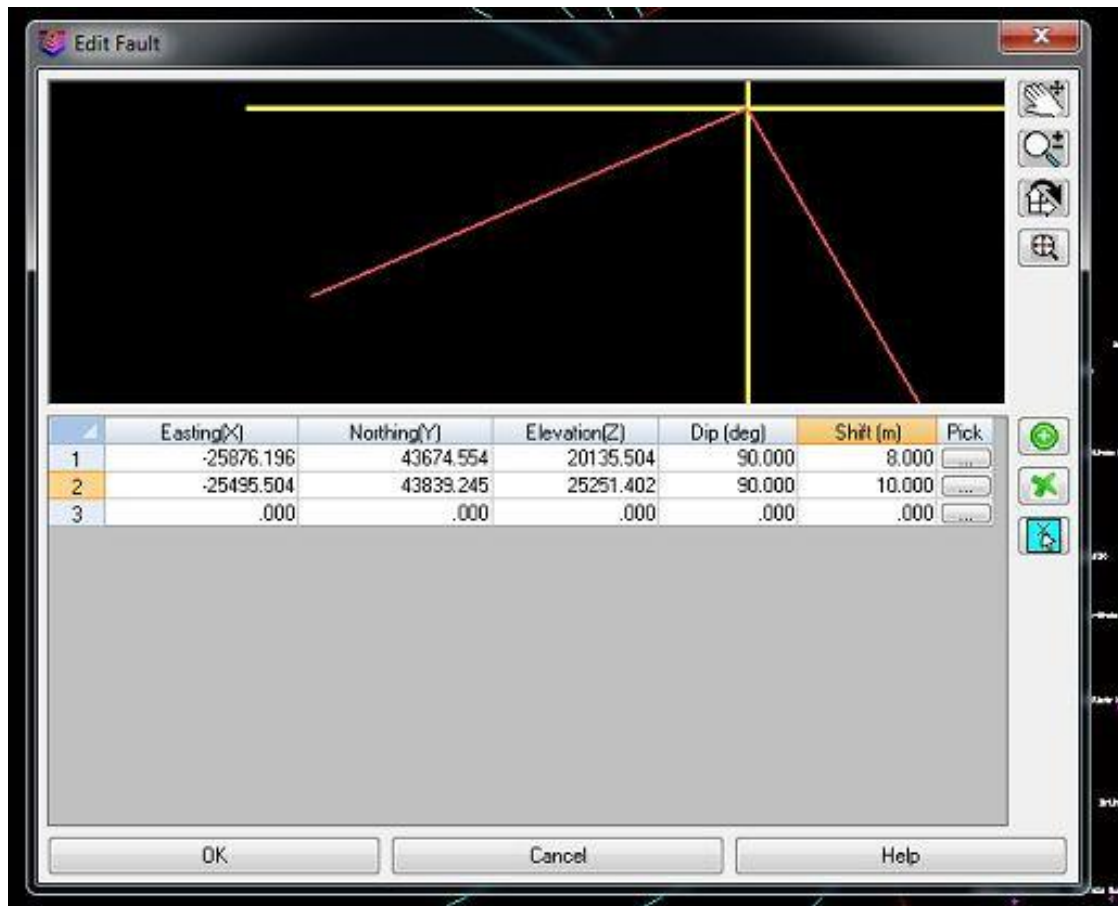
Εικόνα 4.22 Χάρτης ρηγμάτων σε αρχείο AutoCad.



Εικόνα 4.23 Επιλογή Faults και έπειτα το Draw Fault Line



Εικόνα 4.24 Επιλογή του Edit Fault Line.



Εικόνα 4.25 παράθυρο του Edit Fault Line.

4.3 Δημιουργία μοντέλου κυψελίδων

Για να δημιουργηθεί ένα μοντέλο κυψελίδων είναι απαραίτητο να έχουν εισαχθεί τα δεδομένα των γεωτρήσεων.

Από την καρτέλα Block Model διαλέγεται η επιλογή Make Block Model (Εικόνα 4.26). Επιλέγονται με το δείκτη οι γεωτρήσεις που θα ληφθούν υπόψη για τη διαδικασία. Εμφανίζεται ένα παράθυρο στο οποίο επιλέγεται είτε ένα γεωλογικό στρώμα για το οποίο θα δημιουργηθεί το μοντέλο κυψελίδων είτε η δημιουργία του μοντέλου βάσει όλων των στρωμάτων. Σε αυτήν την περίπτωση επιλέγεται η εντολή Model By Strata Names. Με την μέθοδο Model By Strata Names δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού των αποθεμάτων ανά στρώμα αλλά και συνολικά, ενώ στην άλλη περίπτωση λαμβάνονται μεμονωμένα αποτελέσματα για κάθε στρώμα (Εικόνα 4.27). Στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγονται όλοι οι σχηματισμοί που είναι καταγεγραμμένοι εντός των γεωτρήσεων (Εικόνα 4.28). Ζητείται να οριστεί το πεδίο δημιουργίας του μοντέλου κυψελίδων είτε μέσω του κέρσορα, επιλέγοντας ένα σημείο κάτω δεξιά μέχρι ένα σημείο πάνω αριστερά,

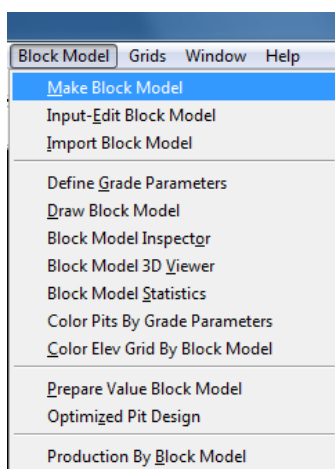
είτε με τη βοήθεια μιας κλειστής polyline. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ορίζεται με τον κέρσορα (Εικόνα 4.29).

Στο παράθυρο που ανοίγει (Εικόνα 4.30) ορίζονται οι διαστάσεις του μοντέλου κυψελίδων καθώς και η γεωστατιστική μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία του. Στη συγκεκριμένη περίπτωση οι επιθυμητές διαστάσεις του μπλοκ στους άξονες $\Delta X = \Delta Y = \Delta Z = 25$. Για αυτό το λόγο έχει μαρκαριστεί η επιλογή Dimensions of a Cell και στα πεδία X: και Y: έχει οριστεί ο αριθμός 25. Ο αριθμός των κάθετων διαιρέσεων (Number of Vertical Divisions) έχει οριστεί ως 10.

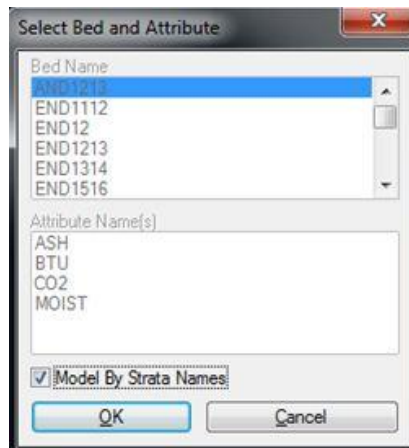
Η γεωστατιστική μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η μέθοδος Discrete.

Η μέθοδος Discrete, ή μέθοδος βαθμωτής παρεμβολής, για τη δημιουργία του μοντέλου χρησιμοποιεί το πάχος κάθε στρώματος, ή το πάχος της γεωτρητικής στήλης, κάθε περιεκτικότητας που ανήκει στον ίδιο βαθμό μεταλλοφορίας και επεκτείνει το πάχος του κάθε στρώματος μέχρι το μέσο της απόστασης από τις κοντινές γεωτρήσεις.

Όταν ολοκληρωθεί η συμπλήρωση των παραμέτρων, η αποθήκευση του αρχείου γίνεται με τη μορφή .blk (Εικόνα 4.31).



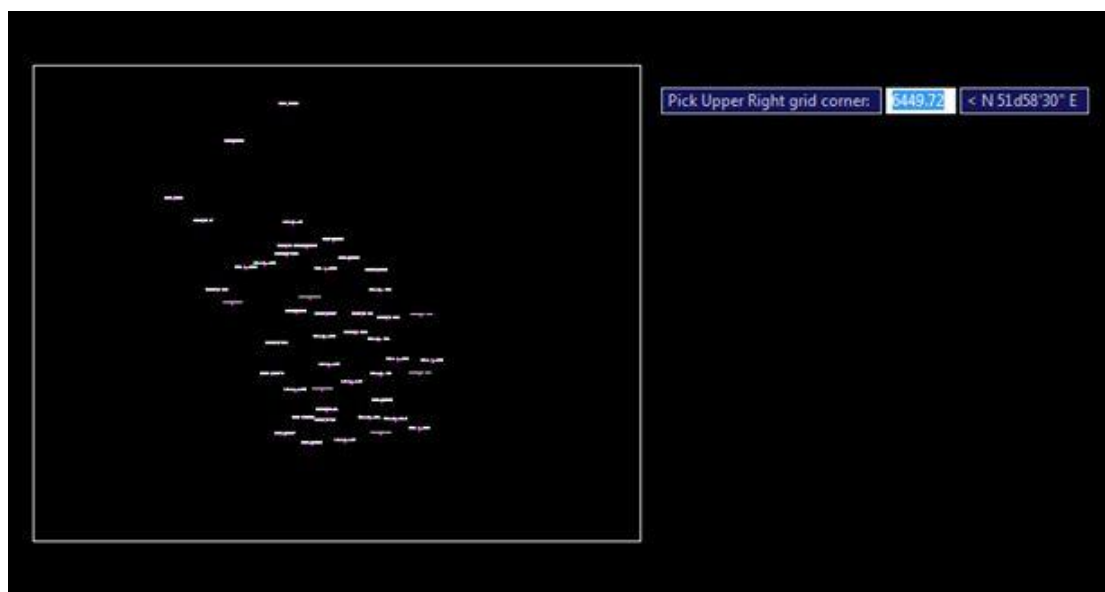
Εικόνα 4.26 Δημιουργία μοντέλου κυψελίδων.



Εικόνα 4.27 Επιλογή στοιχείου για το οποίο θα δημιουργηθεί το μοντέλο κυψελίδων.



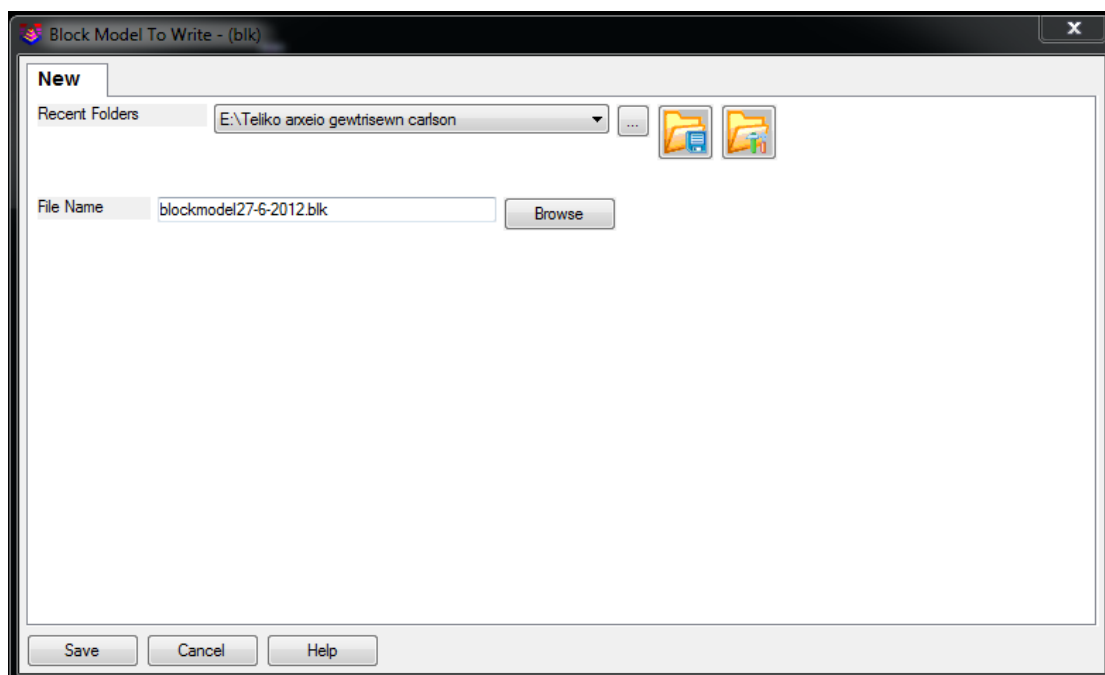
Εικόνα 4.28 Επιλογή όλων των σχηματισμών.



Εικόνα 4.29 Επιλογή ορίων για τα οποία θα δημιουργηθεί το μοντέλο κυψελίδων.



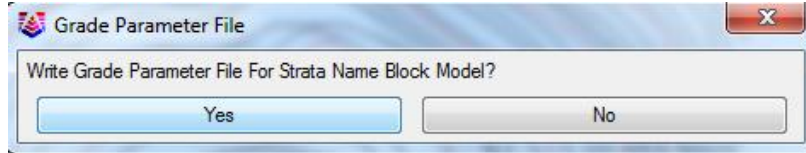
Εικόνα 4.30 Καθορισμός μεγέθους των κυψελίδων.



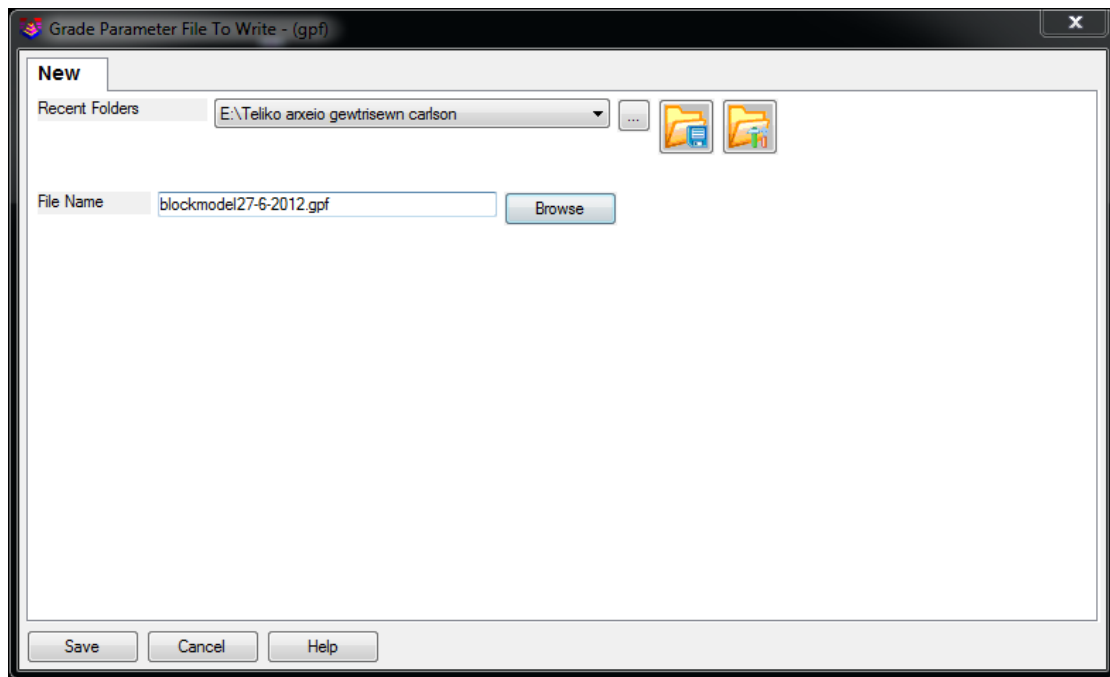
Εικόνα 4.31 Αποθήκευση αρχείου δημιουργίας μοντέλου κυψελίδων.

Εν συνεχεία 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 4.32). Ζητείται να δοθεί ένα όνομα και να αποθηκευτεί το αρχείο της μορφής .grf (Εικόνα 4.33). Στη συνέχεια γίνεται ερώτηση για τη δημιουργία ενός αρχείου της μορφής .pre στο οποίο δημιουργούνται και ορίζονται αρχεία Grids για το τοπογραφικό ανάγλυφο

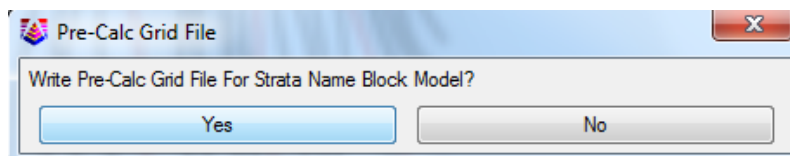
(top grid file), το δάπεδο (bottom grid file) καθώς και για τα ενδιάμεσα στρώματα (Εικόνα 4.34). Έπειτα ζητείται ένα όνομα για την αποθήκευση του αρχείου .pre (Εικόνα 4.35). Η δημιουργία αυτού του αρχείου είναι απαραίτητη για τον μετέπειτα υπολογισμό των αποθεμάτων σύμφωνα με τις παραμέτρους που έχει χρησιμοποιήσει το λογισμικό για την δημιουργία του μοντέλου κυψελίδων.



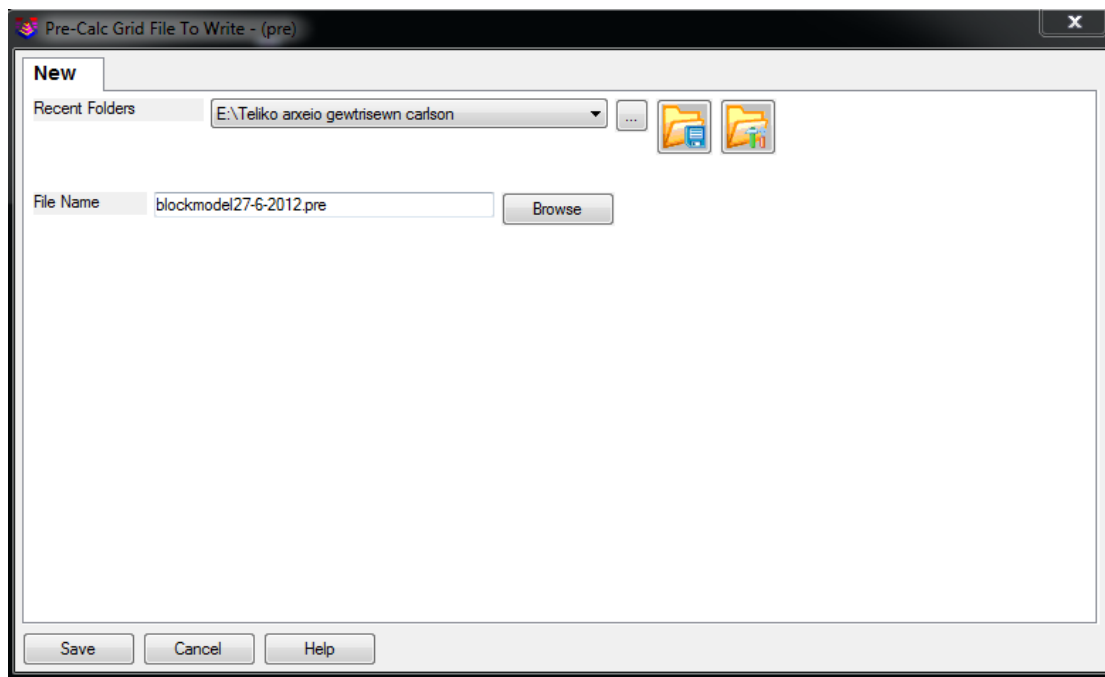
Εικόνα 4.32 Δημιουργία αρχείου .gpf.



Εικόνα 4.33 Αποθήκευση του αρχείου .gpf.

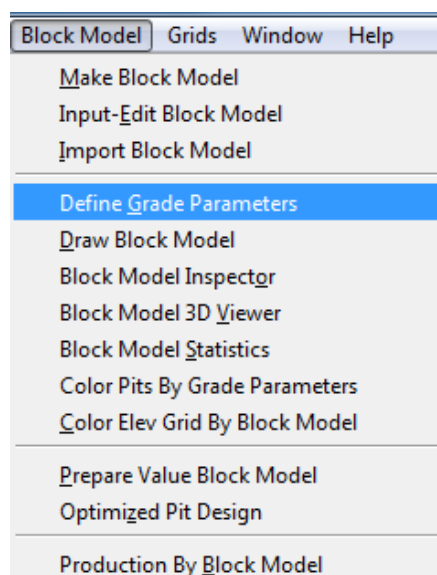


Εικόνα 4.34 Δημιουργία αρχείου .pre.

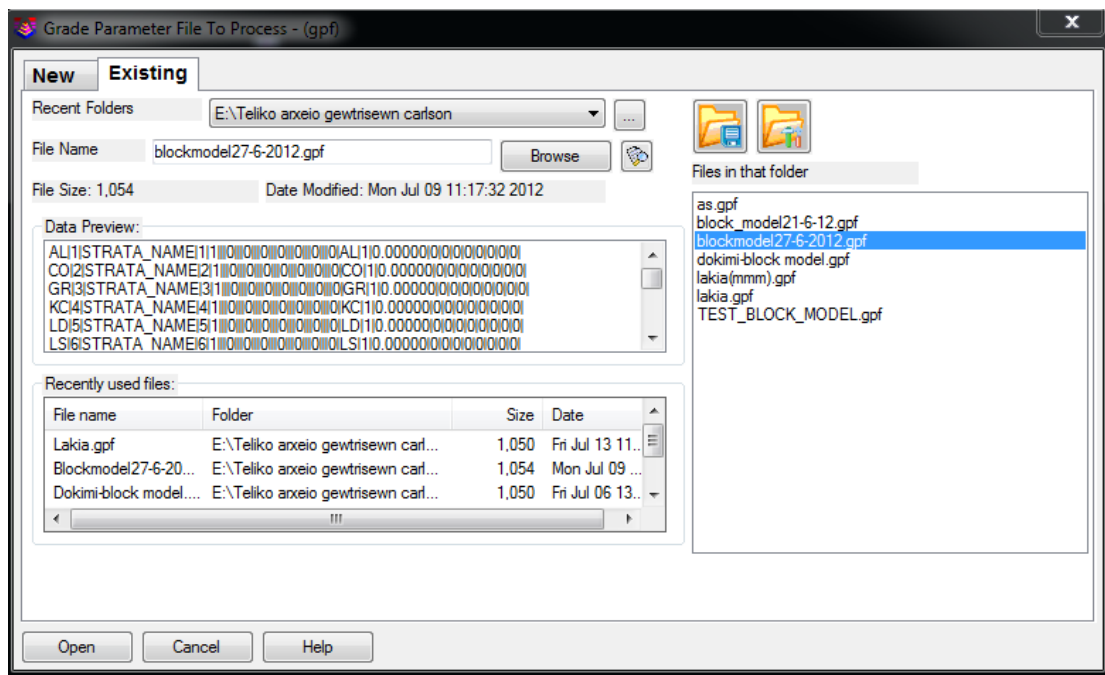


Εικόνα 4.35 Δημιουργία αρχείου μορφής .pre

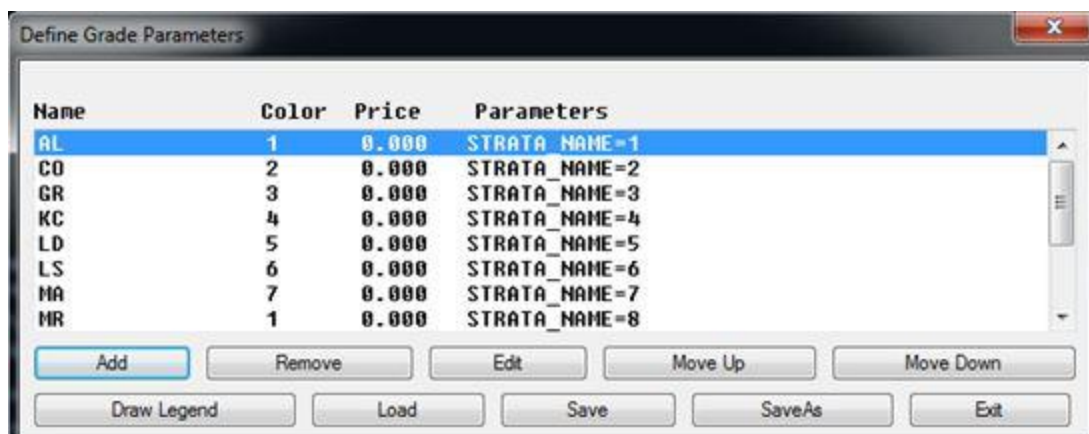
Επόμενο βήμα για τη δημιουργία του μοντέλου κυψελίδων είναι ο καθορισμός των παραμέτρων για τους διάφορους σχηματισμούς που λαμβάνουν χώρο στο πεδίο της Λακκιάς. Για να οριστούν οι παράμετροι επιλέγεται από την καρτέλα Block Model η επιλογή Define Grade Parameters (Εικόνα 4.36). Επιλέγεται το όνομα του αρχείου που έχει ήδη δημιουργηθεί κατά την διαδικασία που προαναφέρθηκε και είναι της μορφής .grf (Εικόνα 4.37). Στο παράθυρο που εμφανίζεται ορίζονται με διαφορετικά χρώματα οι διαφορετικοί σχηματισμοί όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.38.



Εικόνα 4.36 Επιλογή παραμέτρων.



Εικόνα 4.37 Επιλογή αρχείου καθορισμού παραμέτρων.



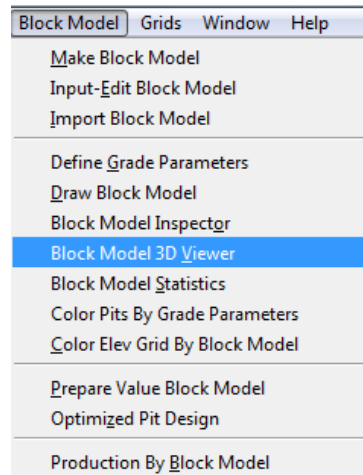
Εικόνα 4.38 Καρτέλα με τις παραμέτρους.

Τα παρακάτω είναι τα χρώματα τα οποία δόθηκαν στους σχηματισμούς και αντιστοιχούν, από αριστερά προς τα δεξιά, σε: AL, CO, GR, KC, LD, LS, MA, MR, SD, SI, SN και SO.

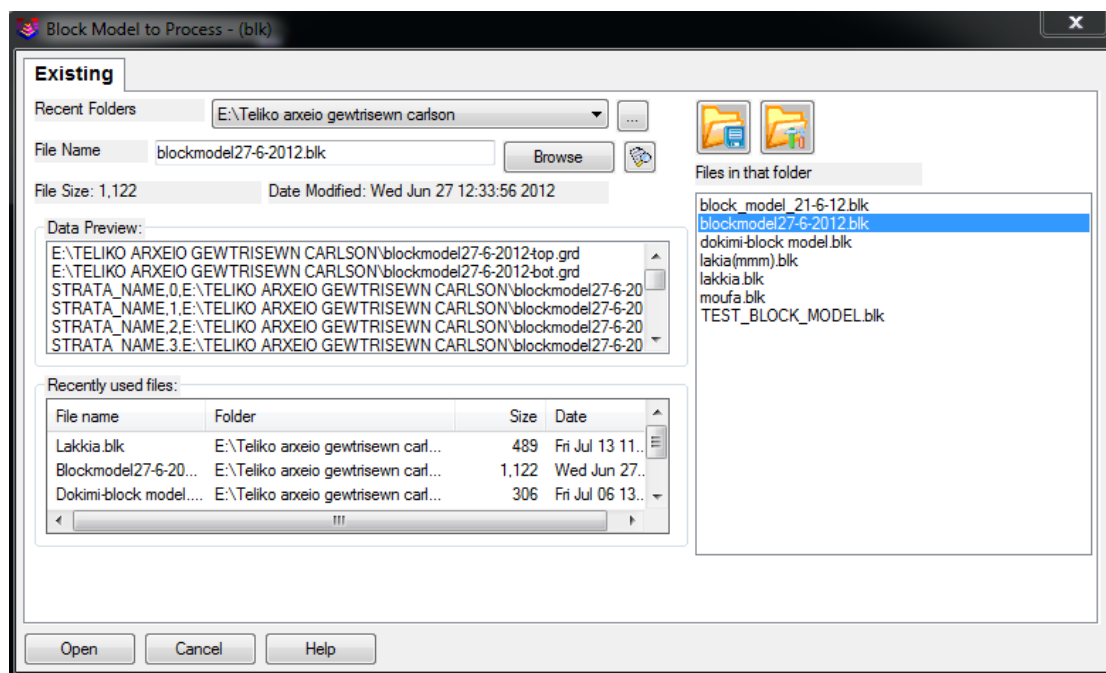


Για να γίνει η τρισδιάστατη απεικόνιση του μοντέλου που έχει δημιουργηθεί επιλέγεται από τη καρτέλα Block Model η επιλογή Block Model 3D Viewer (Εικόνα 4.39). Επιλέγεται το αρχείο του μοντέλου που έχει δημιουργηθεί και είναι της μορφής .blk (Εικόνα 4.40) καθώς και το αρχείο με τους καθορισμούς των παραμέτρων που είναι της μορφής .gpf (Εικόνα 4.41). Στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγεται η εντολή OK (Εικόνα 4.42). Έπειτα επιλέγεται με το

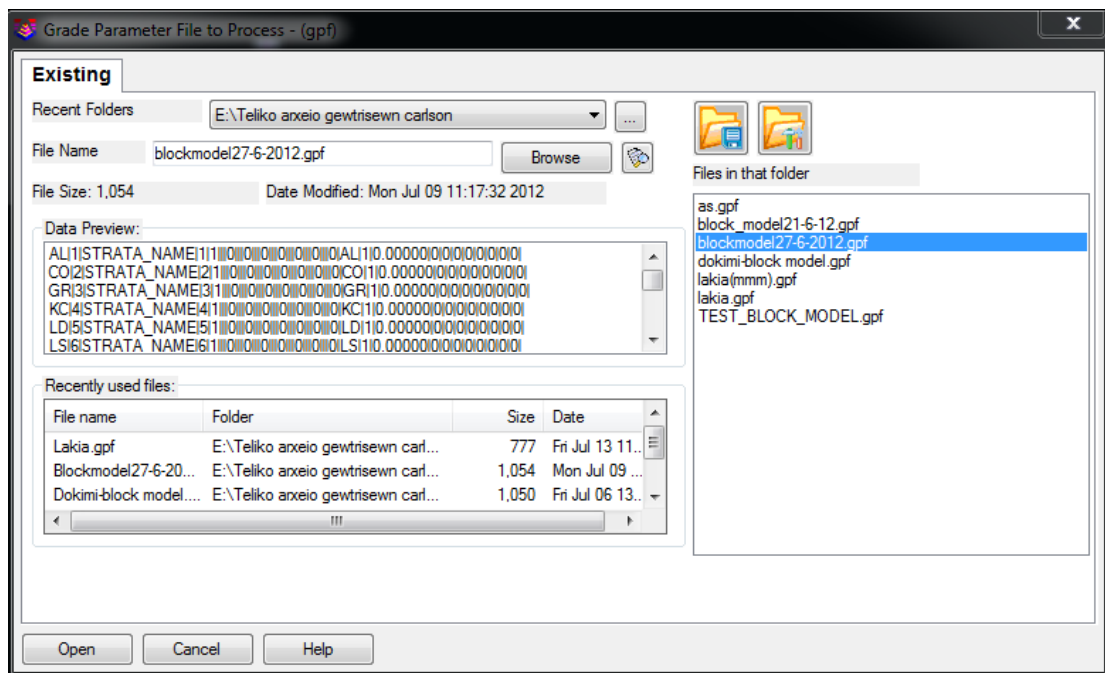
κέρσρα η περιοχή για την οποία θα δημιουργηθεί το μοντέλο κυψελίδων. Πατώντας ENTER θα εμφανιστεί στην οθόνη το παράθυρο 3D Viewer με το τρισδιάστατο μοντέλο το οποίο έχει δημιουργηθεί, αφού πρώτα το λογισμικό φορτώσει όλες τις απαραίτητες παραμέτρους που χρειάζεται και έχουν καθοριστεί με τα άνωθεν βήματα (Εικόνα 4.39).



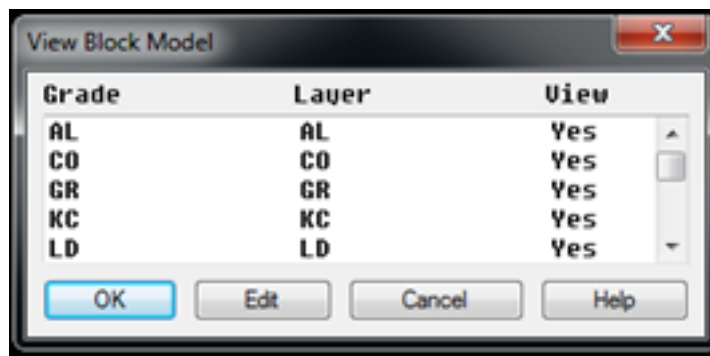
Εικόνα 4.39 Block Model 3D Viewer.



Εικόνα 4.40 Άνοιγμα Block Model.

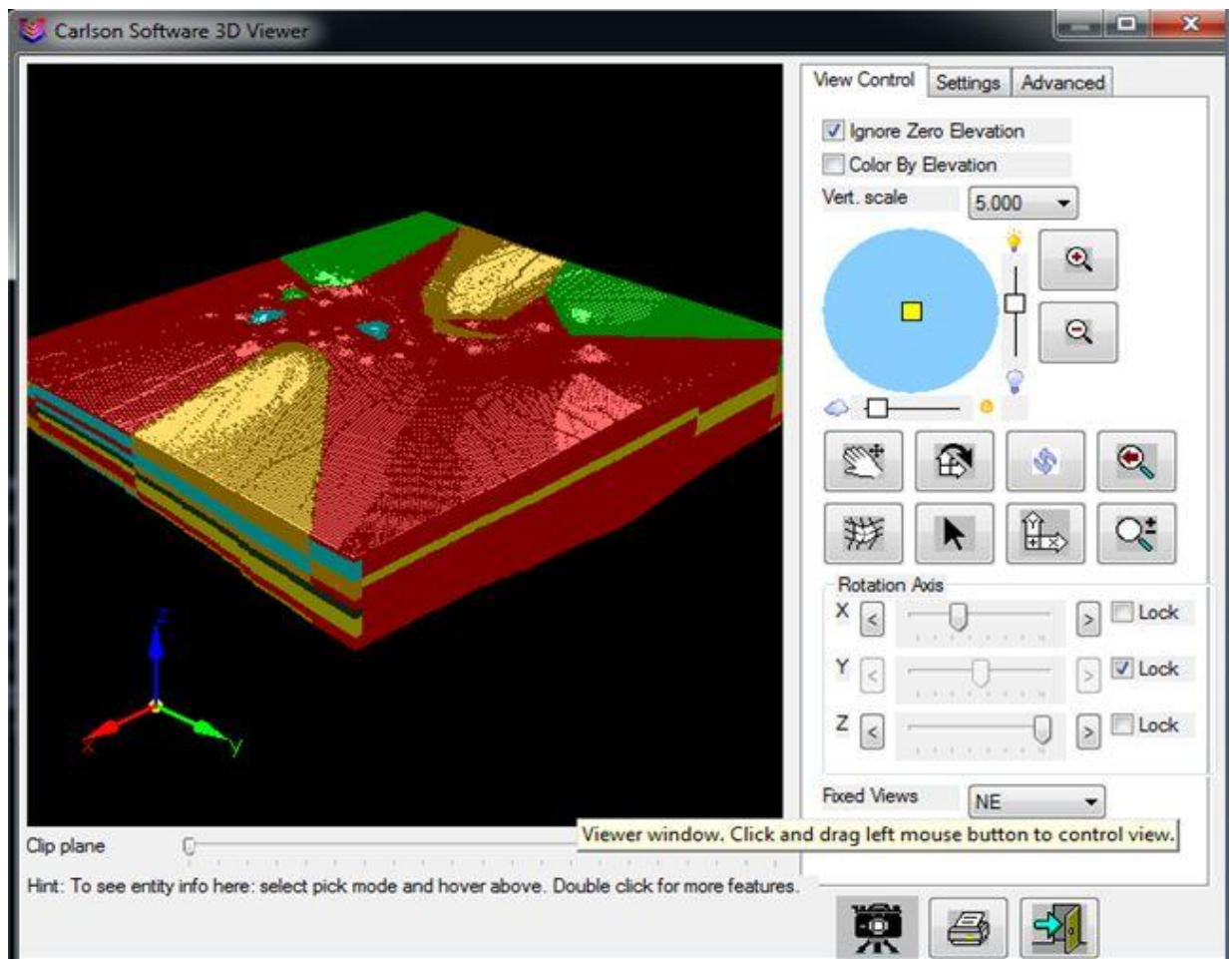


Εικόνα 4.41 Άνοιγμα αρχείου παραμέτρων των περιεκτικότητων.



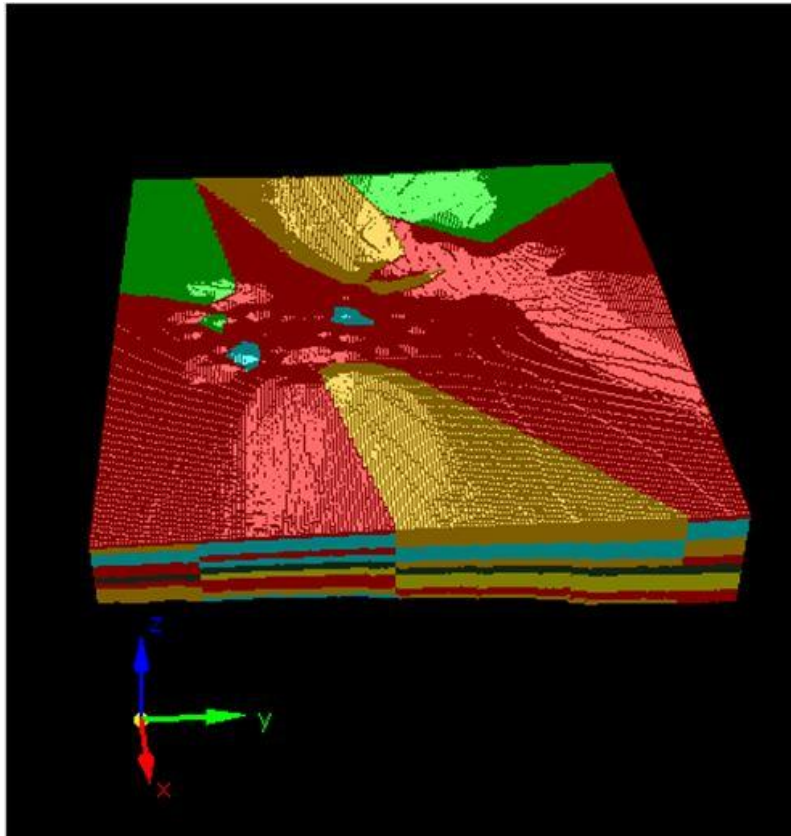
Εικόνα 4.42 Καρτέλα προεπισκόπησης παραμέτρων.

Στο παρακάτω μοντέλο (Εικόνα 4.43, 4.44, 4.45) φαίνονται με διαφορετικά χρώματα και όπως ορίστηκαν από την επιλογή Define Grade Parameters και το αρχείο μορφής .gpf οι διαφορετικοί σχηματισμοί του πεδίου. Με κίτρινο χρώμα εμφανίζεται ο λιγνίτης (CO). Η επιφάνεια που φαίνεται παρακάτω είναι η επιφάνεια του πεδίου Λακκιάς καθώς η Δ.Ε.Η. δεν έχει προχωρήσει σε αποκάλυψη του εν λόγω κοιτάσματος.



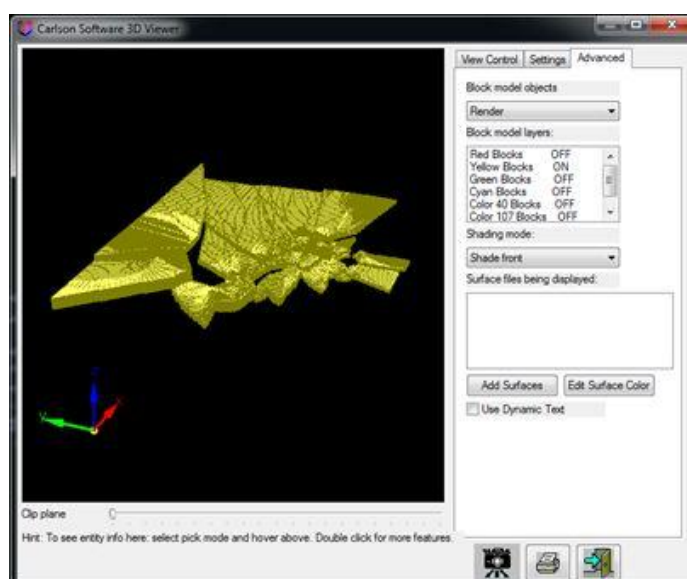
Εικόνα 4.43 Τρισδιάστατη απεικόνιση μοντέλου κυψελίδων.

Στην εικόνα 4.44 διακρίνονται και τα ρήγματα τα οποία σχεδιάστηκαν και δημιουργήθηκαν όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 4.1.4.



Εικόνα 4.44 Τρισδιάστατη απεικόνιση μοντέλου κυψελίδων με ευδιάκριτα τα ρήγματα.

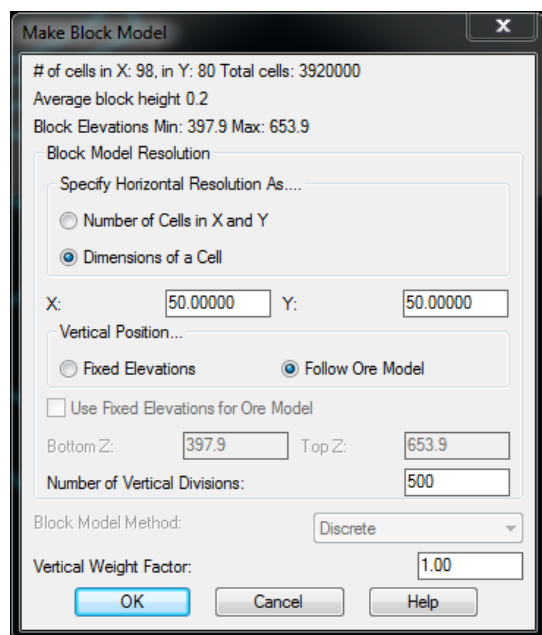
Από την καρτέλα Advanced στο παράθυρο Block Model layers επιλέγεται να κλείσουν η χρωματισμοί που αντιστοιχούν στους σχηματισμούς που δεν εντοπίστηκε ενδιαφέρον και με αυτόν τον τρόπο φαίνεται στο μοντέλο η κατάσταση των αποθεμάτων λιγνίτη (CO) όπως είναι στη σημερινή τους μορφή (Εικόνα 4.45).



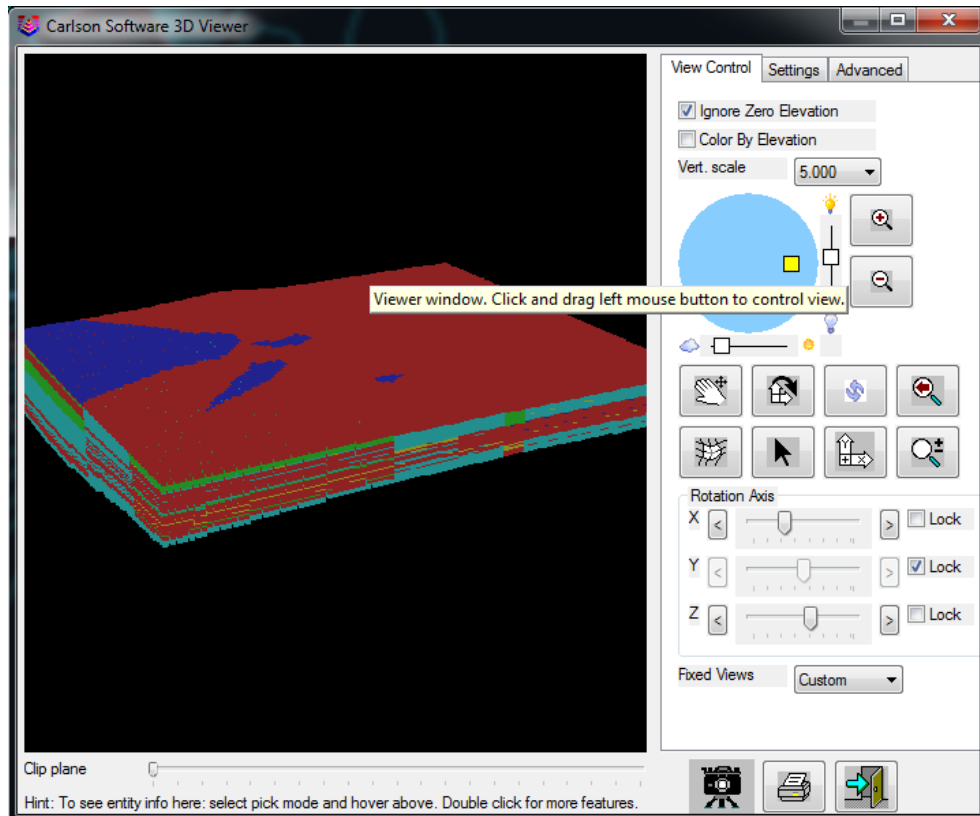
Εικόνα 4.45 Τρισδιάστατη απεικόνιση μοντέλου κυψελίδων μόνο για τον λιγνίτη.

4.3.1 Δημιουργία μοντέλου κυψελίδων μεγάλης ανάλυσης ως προς τον άξονα Z

Κατά την παραπάνω διαδικασία δημιουργείται ένα μοντέλο κυψελίδων στο οποίο ο χρήστης προσπαθεί να επιτύχει ακρίβεια προς όλους τους άξονες X, Ψ, Z. Κατά αυτόν τον τρόπο ορίζονται όσο το δυνατόν μικρές διαστάσεις στις κυψελίδες του μοντέλου με αποτέλεσμα να η παραπάνω διαδικασία να χαρακτηρίζεται χρονοβόρος, αφού ο υπολογιστής χρειάζεται αρκετές ώρες ώστε να εξάγει τα ζητούμενα αποτελέσματα. Όμως λόγω της μορφής του κοιτάσματος το οποίο εξετάζεται στην παρούσα εργασία, το οποίο είναι ένα πολυστρωματικό κοίτασμα λιγνίτη, μπορεί κάποιος να αντιληφθεί πως ο χρήστης κατά την παρούσα μελέτη επικεντρώνει το ενδιαφέρον του στην οριζόντια εξάπλωση του κοιτάσματος και κατά συνέπεια στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων ως προς τον άξονα Z. Έτσι κρίθηκε χρηστικό να γίνει η δημιουργία ακόμα ενός μοντέλου κυψελίδων που αυτή τη φορά θα απαιτεί μεγάλη ακρίβεια στην κατακόρυφη ανάλυση αλλά μικρότερη ως προς τις άλλες δύο διαστάσεις X, Ψ. Το παραπάνω γεγονός έγινε με σκοπό να γίνει η σύγκριση των αποτελεσμάτων που θα λάβουμε από τα τρία μοντέλα κυψελίδων σε συνάρτηση και με τον χρόνο που έκανε ο υπολογιστής να εξάγει τα εν λόγω αποτελέσματα. Έτσι έγινε η δημιουργία ενός μοντέλου κυψελίδων με τις ακόλουθες διαστάσεις: X=50, Ψ=50 και Z=0,2. Όλες οι επιλογές και οι εντολές που δόθηκαν ήταν ίδιες με την παραπάνω ενότητα με μόνη διαφορά τις διαστάσεις των κυψελίδων. Το αποτέλεσμα της απεικόνισης φαίνεται στην Εικόνα 4.47.



Εικόνα 4.46 Καθορισμός μεγέθους των κυψελίδων.



Εικόνα 4.47 Τρισδιάστατη απεικόνιση μοντέλου κυψελίδων

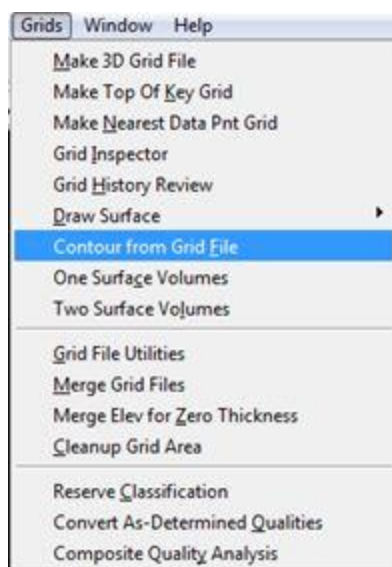
4.4 Σχεδιασμός επιφάνειας του πεδίου και ο συνδυασμός του με το μοντέλο κυψελίδων

Ο σχεδιασμός του τοπογραφικού ανάγλυφου του πεδίου Λακκιάς βασίστηκε στις συντεταγμένες των γεωτρήσεων X, Ψ, Z, και ουσιαστικά οι ισοϋψείς δημιουργήθηκαν από τα απόλυτα υψόμετρα των κολλάρων των γεωτρήσεων. Έτσι επιτυγχάνεται μια προσομοίωση της πραγματικής επιφάνειας του πεδίου με ικανοποιητική ακρίβεια ιδιαίτερα για περιοχές μεγάλης έκτασης. Ως απόρροια των παραπάνω γίνεται κατανοητό πως όσο πιο πυκνές είναι οι γεωτρήσεις, στο πεδίο ενδιαφέροντος, τόσο αυξάνει η αξιοπιστία των υπολογιζόμενων μεγεθών. Επιπρόσθετα το λογισμικό δίνει στον χρήστη την δυνατότητα της εισαγωγής

τοπογραφικού χάρτη με ισοϋψείς, αφού προβεί πρώτα στην ψηφιοποίησή του με κάποιο λογισμικό όπως το AutoCad, ώστε να έχει καλύτερα αποτελέσματα.

4.4.1 Δημιουργία ισοϋψών και τρισδιάστατη απεικόνιση της επιφάνειας

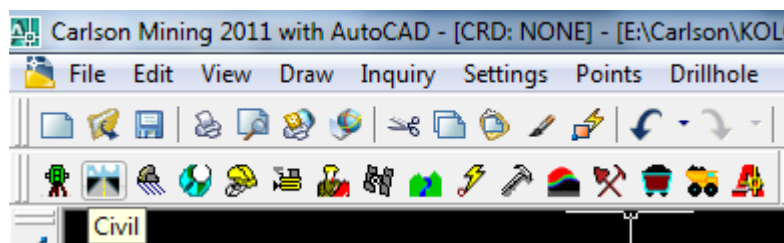
Η δημιουργία ισοϋψών, όπως προαναφέρθηκε, είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά των γεωτρήσεων που έχουν εισαχθεί στο λογισμικό πακέτο Carlson. Για να επιτευχθεί η απεικόνιση των ισοϋψών ο χρήστης πρέπει να μεταβεί στην καρτέλα Grids και να κάνει την επιλογή Contour from Grid File (Εικόνα 4.46). Στο παράθυρο το οποίο ανοίγει δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει τα χαρακτηριστικά με τα οποία θα εμφανιστούν οι ισοϋψείς στην επιφάνεια εργασίας του λογισμικού. Τα βασικά χαρακτηριστικά είναι το χρώμα, το πάχος αλλά κυρίως ο καθορισμός της υψομετρικής διαφοράς ανάμεσα στις ισοϋψείς (Εικόνα 4.47). Εν συνεχεία, αφού πρώτα ο χρήστης επιλέξει το Grid File από το οποίο θα κάνει την διαδικασία Contour το λογισμικό, εμφανίζεται το αποτέλεσμα της Εικόνας 4.48.



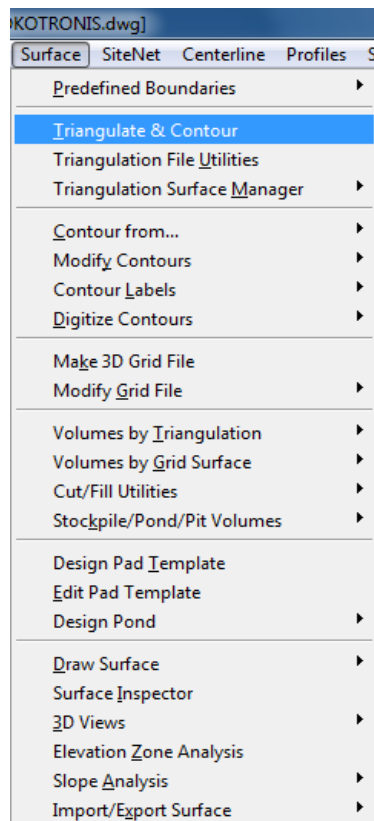
Εικόνα 4.46 Η επιλογή Contour from Grid File

Εικόνα 4.48 Απεικόνιση των ισοϋψών των κολλάρων των γεωτρήσεων.

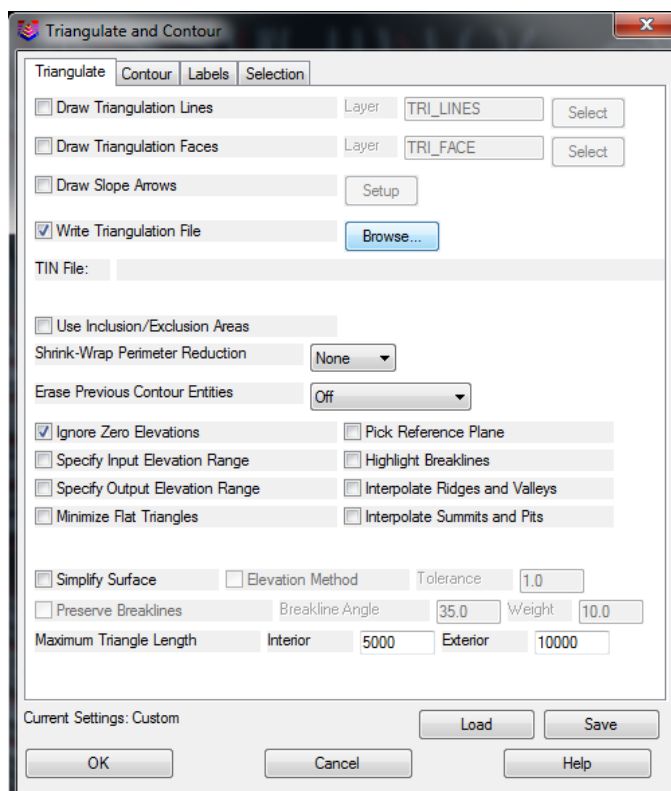
Το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου απεικόνισης της επιφάνειας του πεδίου. Για τη δημιουργία της επιφάνειας χρησιμοποιείται το πρόγραμμα Civil (Εικόνα 4.49) από το πακέτο λογισμικού Carlson και επιλέγεται από την καρτέλα Surface η επιλογή Triangulate & Contour (Εικόνα 4.50). Στο παράθυρο που εμφανίζεται (Εικόνα 4.51) μαρκάρεται η επιλογή Write Triangulation File και από την επιλογή Browse επιλέγεται το όνομα του αρχείου που θα δημιουργηθεί το οποίο θα είναι της μορφής .tin (Εικόνα 4.52). Έπειτα επιλέγονται όλες οι polylines (Εικόνα 4.53) οι οποίες δημιουργήθηκαν με την διαδικασία Contour from Grid File και πατώντας το πλήκτρο ENTER δημιουργούνται οι ισοϋψείς καμπύλες όπως αναγνωρίζονται από το πρόγραμμα (Εικόνα 4.54). Φυσικά αν χρειάζεται να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια, χρειάζονται διορθώσεις από τον χρήστη, όσον αφορά τις polylines, καθώς το πρόγραμμα δημιουργεί και εσφαλμένες ισοϋψείς όπως προκύπτουν από τις αντίστοιχες γεωστατιστικές μεθόδους που χρησιμοποιεί για την δημιουργία τόσο του Grid File όσο και κατά την διάρκεια του Triangulate & Contour.



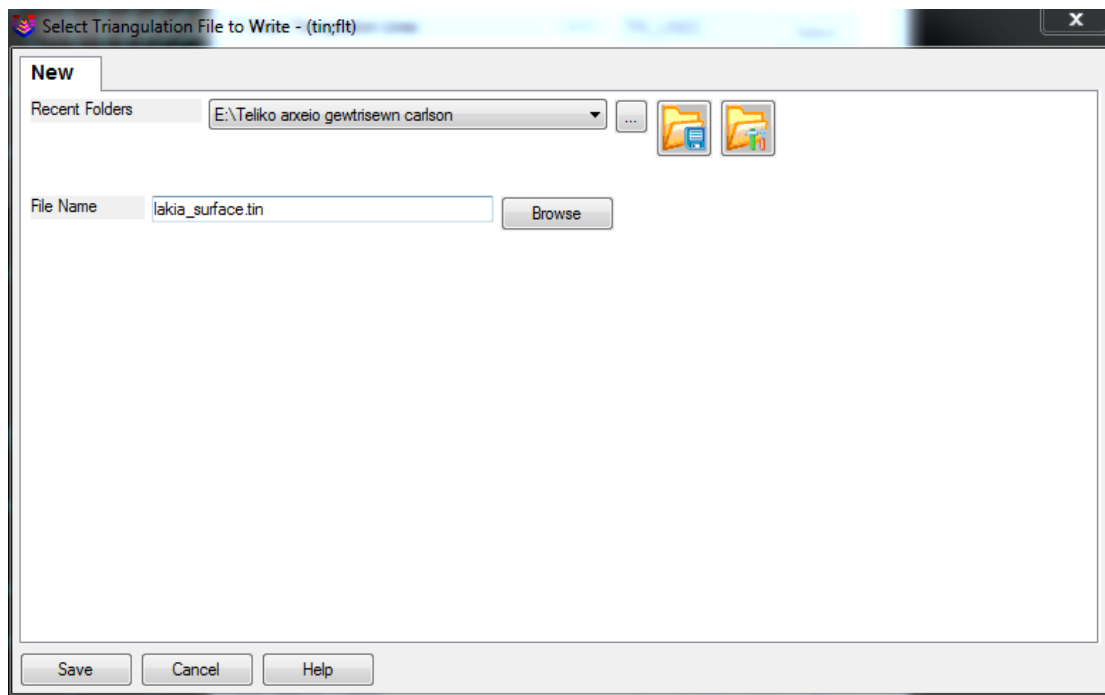
Εικόνα 4.49 Επιλογή προγράμματος Civil.



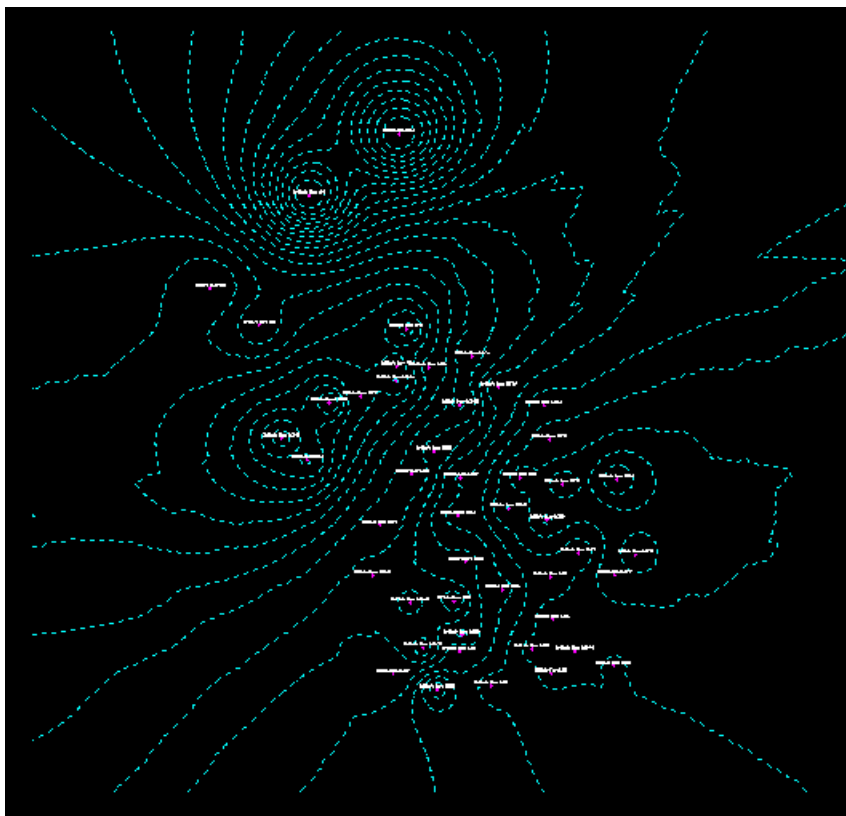
Εικόνα 4.50 Επιλογή τριγωνοποίησης των ισοϋψών.



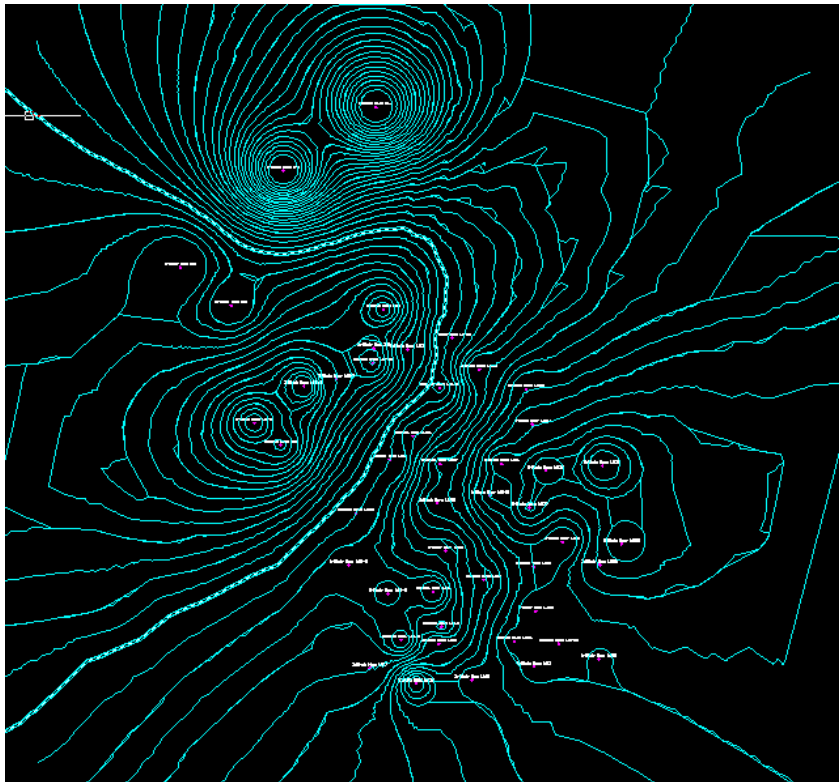
Εικόνα 4.51 Καρτέλα ρυθμίσεων τριγωνοποίησης των ισοϋψών.



Εικόνα 4.52 Αποθήκευση αρχείου επιφάνειας της μορφής .tin.

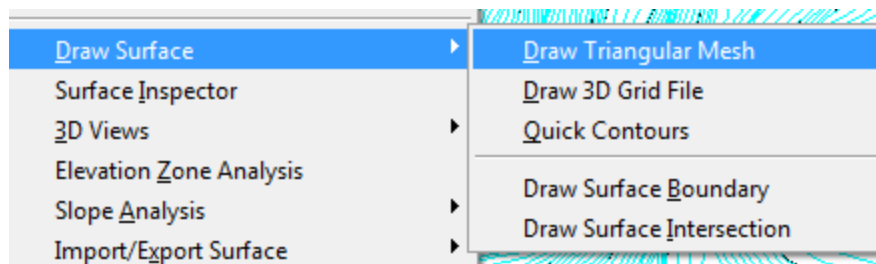


Εικόνα 4.53 Επιλογή όλων των ισοϋψών.

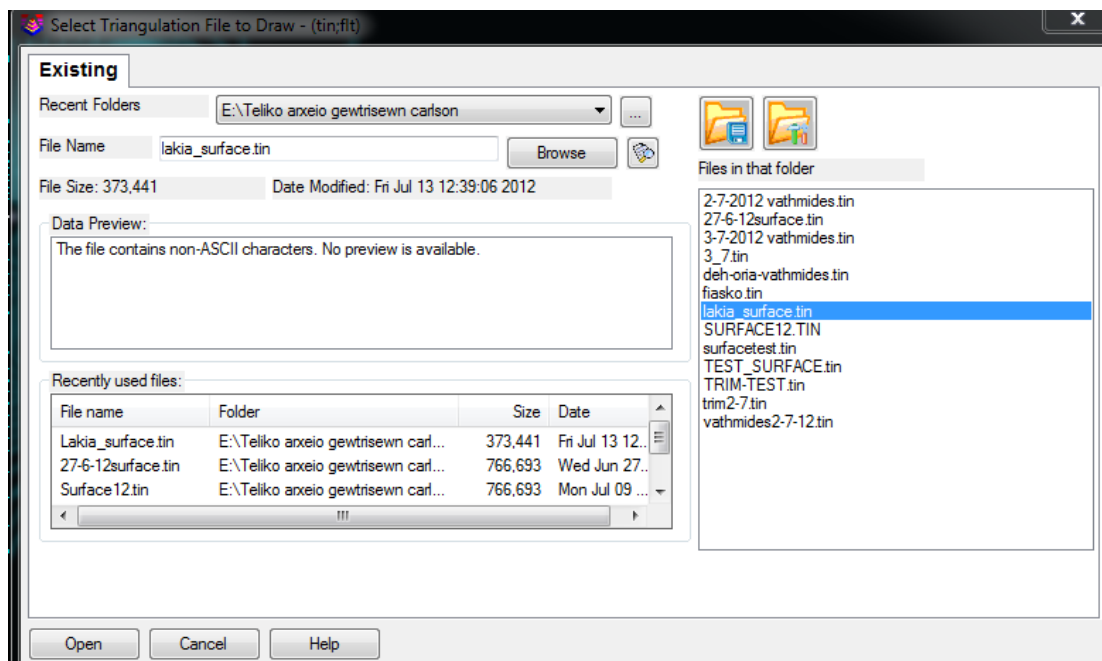


Εικόνα 4.54 Δημιουργία ισοϋψών του προγράμματος Carlson.

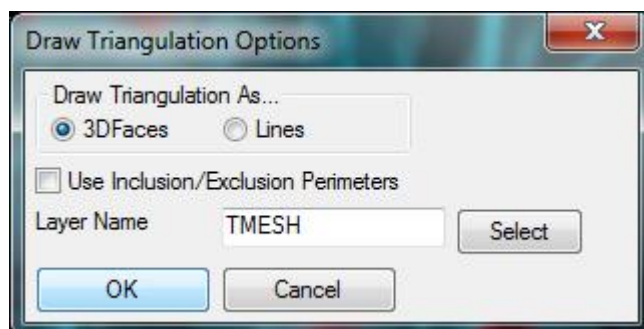
Το τελικό στάδιο της απεικόνισης θα γίνει με τη μέθοδο της τριγωνοποίησης (Triangulation). από την καρτέλα Surface, στην επιλογή Draw Surface, εκτελείται η εντολή Draw Triangular Mesh (Εικόνα 4.55) και επιλέγεται το αρχείο με μορφή .tin που έχει ήδη δημιουργηθεί με τις άνωθεν διαδικασίες. Έπειτα επιλέγεται η εντολή Open (Εικόνα 4.56). Στο παράθυρο που ανοίγει μαρκάρεται η εντολή 3DFaces και επιλέγεται η εντολή OK (Εικόνα 4.57). Εκτελώντας την παραπάνω διαδικασία γίνεται η δημιουργία της επιφάνειας με τη μέθοδο της τριγωνοποίησης της οποίας το αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 4.58. Για την καλύτερη λειτουργία ως προς τη χρήση της επιφάνειας είναι αναγκαία η δημιουργία της επιφάνειας σε αρχείο μορφής .grd. Για να δημιουργηθεί η επιφάνεια σε αρχείο μορφής .grd επιλέγεται από την καρτέλα Surface η επιλογή Make 3D Grid File (Εικόνα 4.59) και ζητείται να δοθεί ένα όνομα για να αποθηκευτεί το αρχείο σε μορφή .grd. Έπειτα εμφανίζεται ένα παράθυρο για να οριστούν κάποιες ρυθμίσεις για τη δημιουργία της επιφάνειας (Εικόνα 4.60). Επιλέγεται η μέθοδος της τριγωνοποίησης (Triangulation) και ορίζεται το μέγεθος των κελιών Dimension of cells $X=Y=25$ όπως είχε επιλεγεί και στο μοντέλο κυψελίδων. Επιλέγεται η εντολή OK και έπειτα ζητείται να δοθεί η περιοχή δημιουργίας της επιφάνειας και να επιλεχθούν όλα τα στοιχεία της επιφάνειας (polylines) που έχουν δημιουργηθεί κατά την διαδικασία τριγωνοποίησης των ισοϋψών.



Εικόνα 4.55 Επιλογή «σχεδίαση επιφάνειας με τη μέθοδο της τριγωνοποίησης».



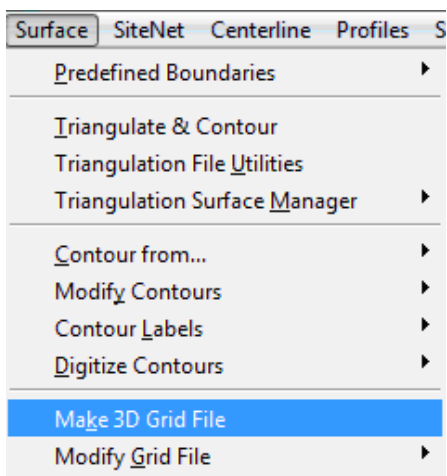
Εικόνα 4.56 Επιλογή και άνοιγμα αρχείου επιφάνειας της μορφής .tin.



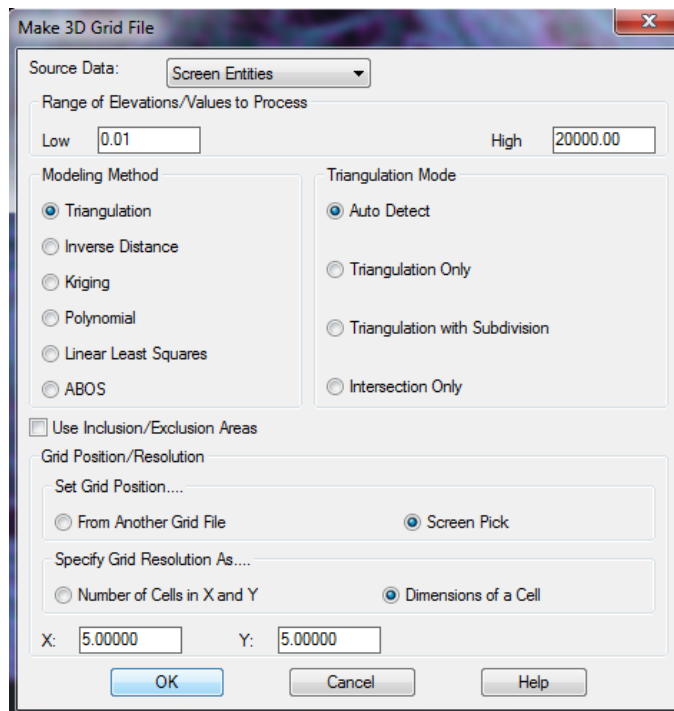
Εικόνα 4.57 Ρυθμίσεις για τη σχεδίαση επιφάνειας με τη μέθοδο της τριγωνοποίησης.



Εικόνα 4.58 Χάρτης επιφάνειας μετά τη διαδικασία της τριγωνοποίησης.

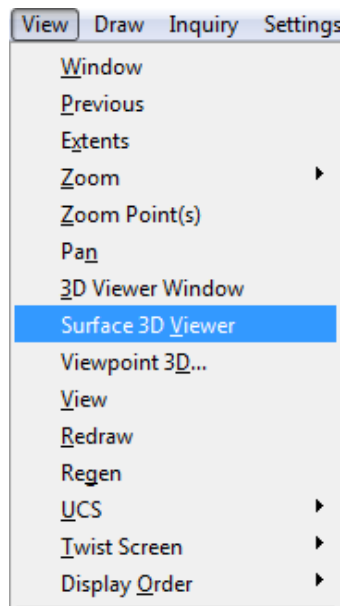


Εικόνα 4.59 Επιλογή δημιουργίας αρχείου της μορφής .grd.

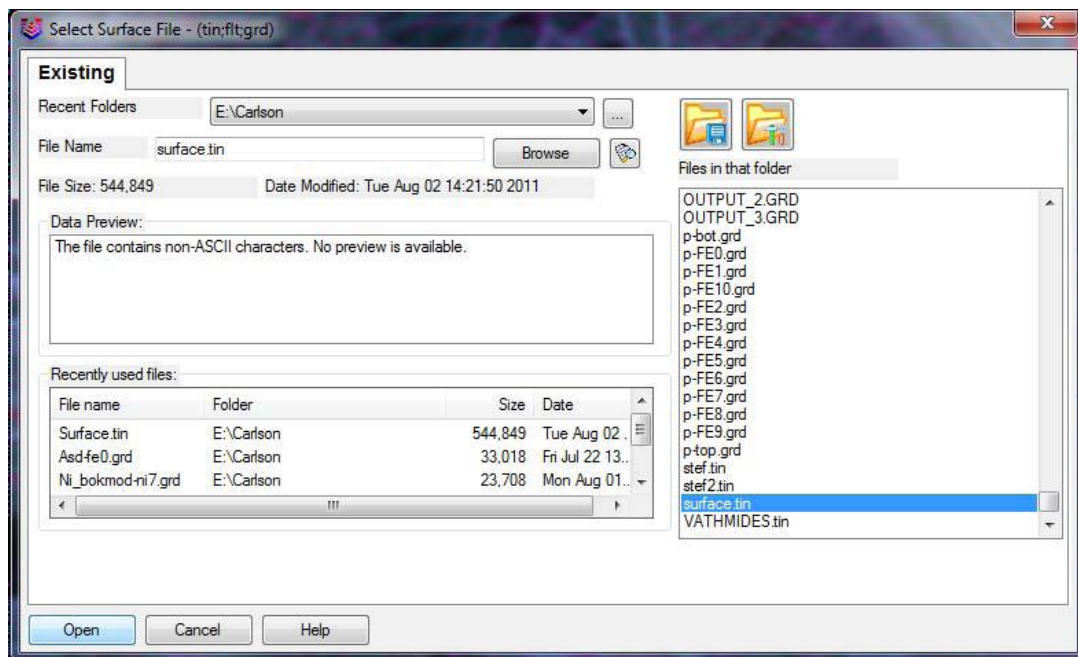


Εικόνα 4.60 Καρτέλα ρυθμίσεων για τη δημιουργία επιφάνειας της μορφής .grd.

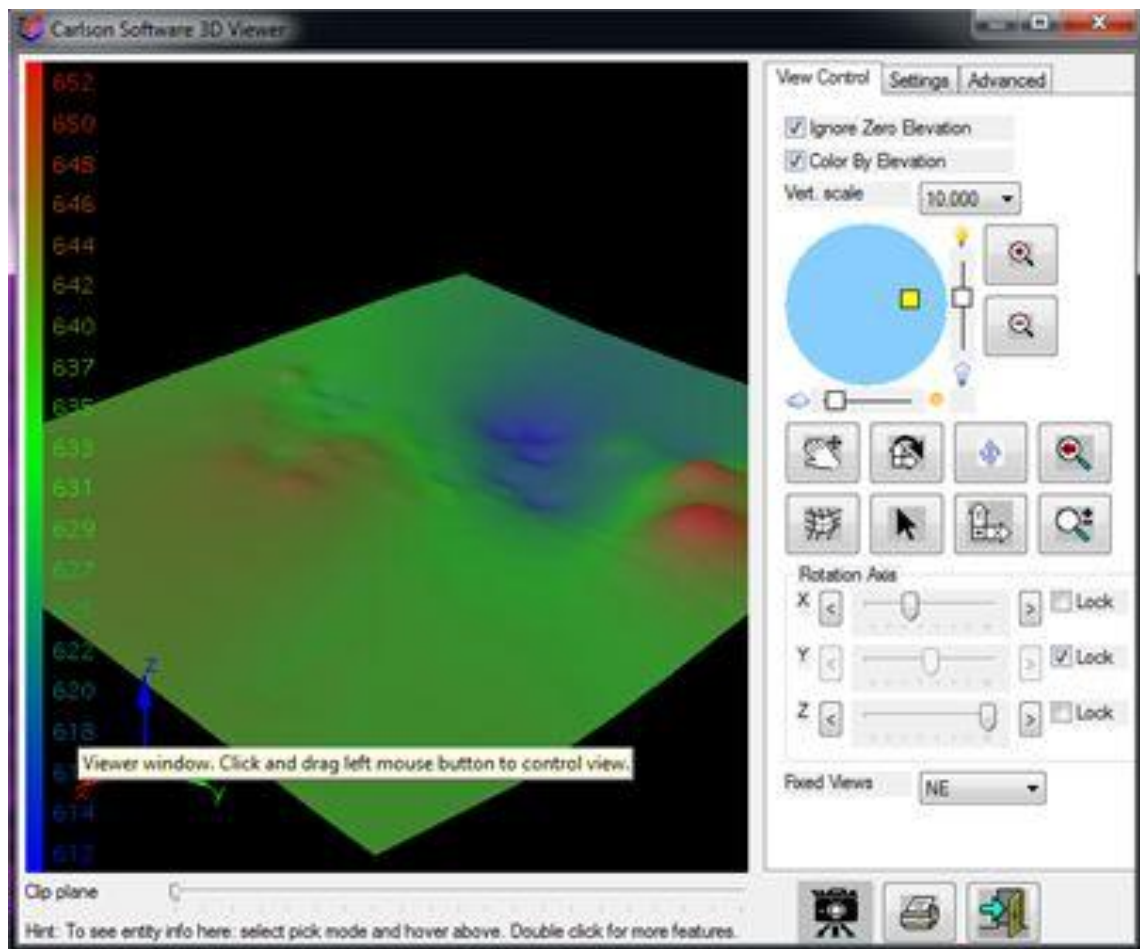
Για την τρισδιάστατη απεικόνιση της επιφάνειας που έχει δημιουργηθεί επιλέγεται από τη καρτέλα View η εντολή Surface 3D Viewer (Εικόνα 4.61), επιλέγεται το αρχείο που έχει δημιουργηθεί και είναι της μορφής .tin ή .grd καθώς και τα δύο αποδίδουν το ίδιο αποτέλεσμα (Εικόνα 4.62). Με αυτή τη διαδικασία εμφανίζεται σε τρισδιάστατη απεικόνιση το ανάγλυφο της επιφάνειας του πεδίου της Λακκιάς (Εικόνες 4.63, 464). από τις επιλογές στο δεξί πλαίσιο μαρκάρεται η επιλογή Apply Surface Smoothing έτσι ώστε να εξομαλυνθούν οι γωνίες των επιφανειών που έχουν δημιουργηθεί από τη μέθοδο της τριγωνοποίησης. Οι χρωματισμοί της επιφάνειας, εμφανίζονται βάσει του υψομετρικού ανάγλυφου.



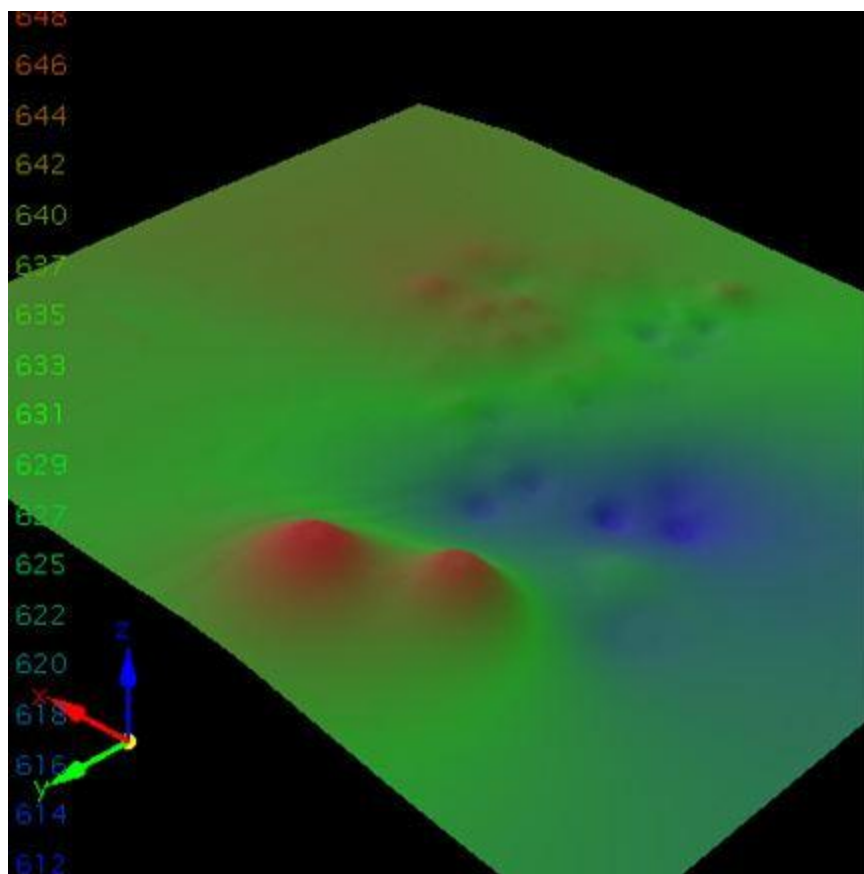
Εικόνα 4.61 Επιλογή «προεπισκόπηση τρισδιάστατης επιφάνειας».



Εικόνα 4.62 Επιλογή επιφάνειας .tin.



Εικόνα 4.63 Προεπισκόπηση επιφάνειας με την επιλογή Surface Smoothing μαζί με την καρτέλα ρυθμίσεων απεικόνισης.

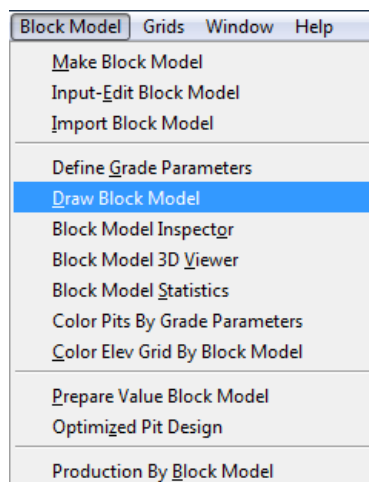


Εικόνα 4.64 Προεπισκόπηση επιφάνειας με την επιλογή Surface Smoothing.

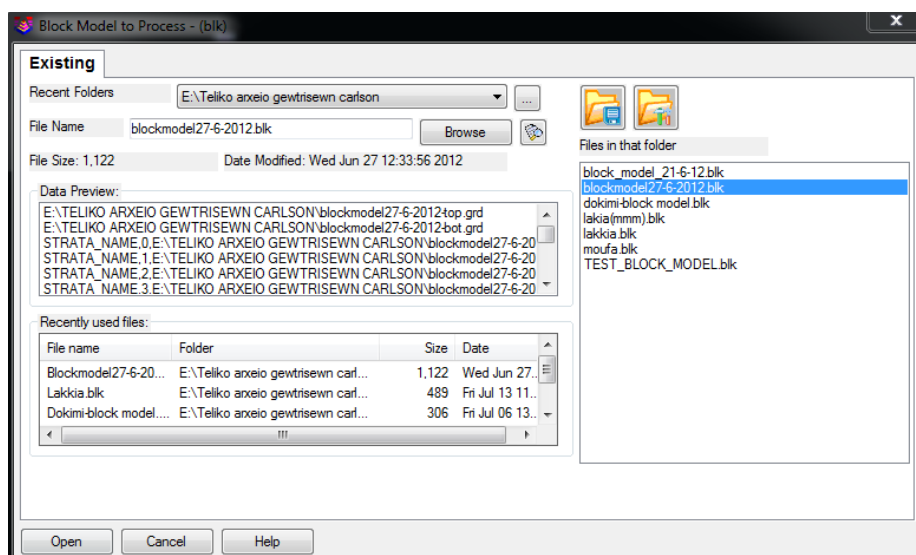
4.4.2 Δημιουργία μοντέλου ως αποτέλεσμα συνδυασμού του μοντέλου κυψελίδων με την επιφάνεια.

Ο συνδυασμός της επιφάνειας του ανάγλυφου της περιοχής με το μοντέλο κυψελίδων γίνεται για να οριοθετηθεί η επιφάνεια του μοντέλου κυψελίδων και να εξομαλυνθούν τα σφάλματα τα οποία υπάρχουν μεταξύ των υψομέτρων των γεωτρητικών δεδομένων από τα οποία προέκυψε η τρισδιάστατη απεικόνιση της επιφάνειας του πεδίου.

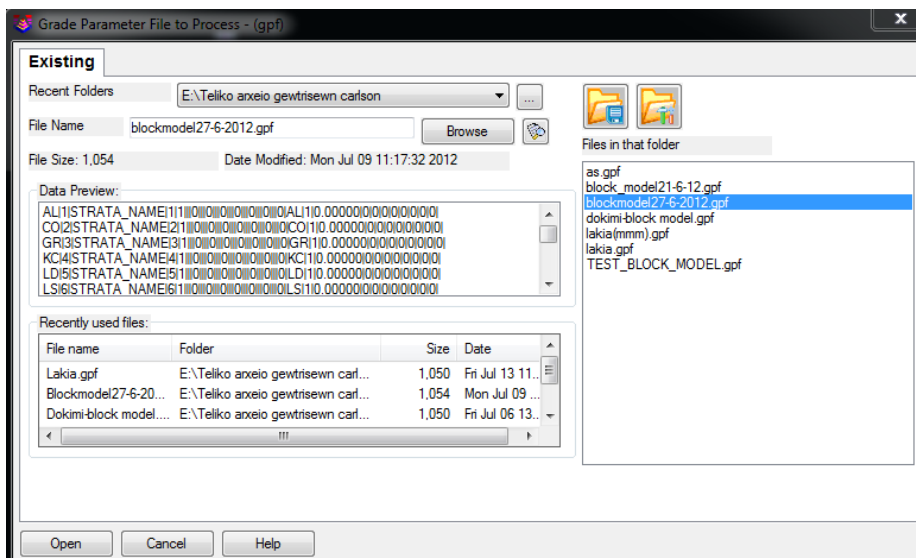
Για την προσαρμογή του μοντέλου κυψελίδων με την επιφάνεια χρησιμοποιήθηκε η εντολή Draw Block Model της καρτέλας Block Model (Εικόνα 4.65) και εν συνεχεία επιλέγονται τα αρχεία της μορφής .blk και .grf που έχουν δημιουργηθεί με την διαδικασία που περιγράφεται στην ενότητα 4.2 (Εικόνα 4.66 και 4.67). Στο παράθυρο που εμφανίζεται, μαρκάρεται η επιλογή Use Top Surface Limit Grid και επιλέγεται η εντολή Draw (Εικόνα 4.68). Ζητείται από το χρήστη να καθοριστούν τα όρια για τα οποία θα σχεδιαστεί το μοντέλο κυψελίδων ή επιλέγεται Enter για να ληφθούν υπόψη τα ήδη προεπιλεγμένα όρια.



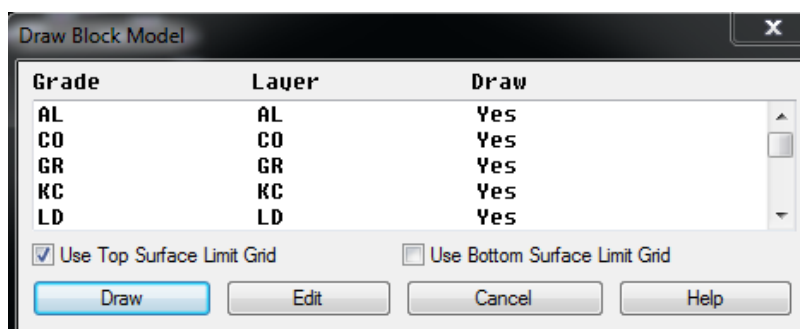
Εικόνα 4.65 Επιλογή «σχεδίαση του μοντέλου μπλοκ».



Εικόνα 4.66 Επιλογή του αρχείου της μορφής .blk.

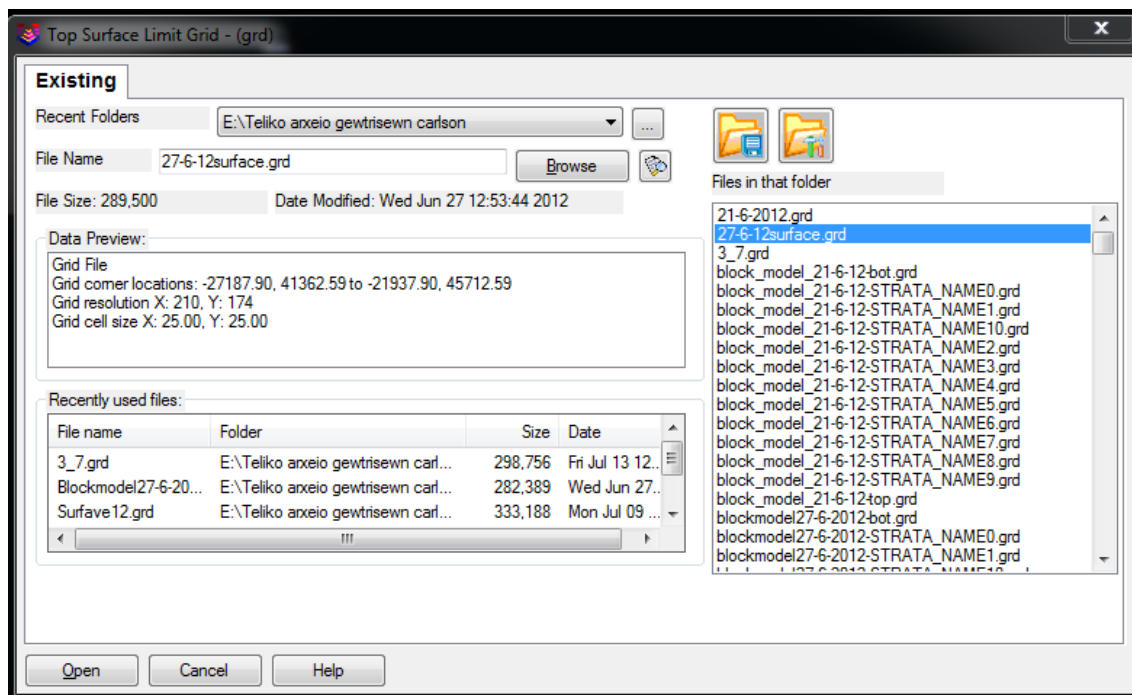


Εικόνα 4.67 Επιλογή του αρχείου της μορφής .gpf

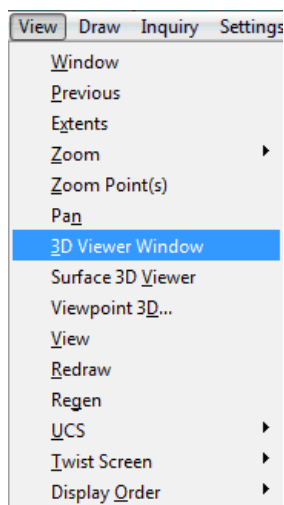


Εικόνα 4.68 Καρτέλα σχεδίασης του μοντέλου κυψελίδων.

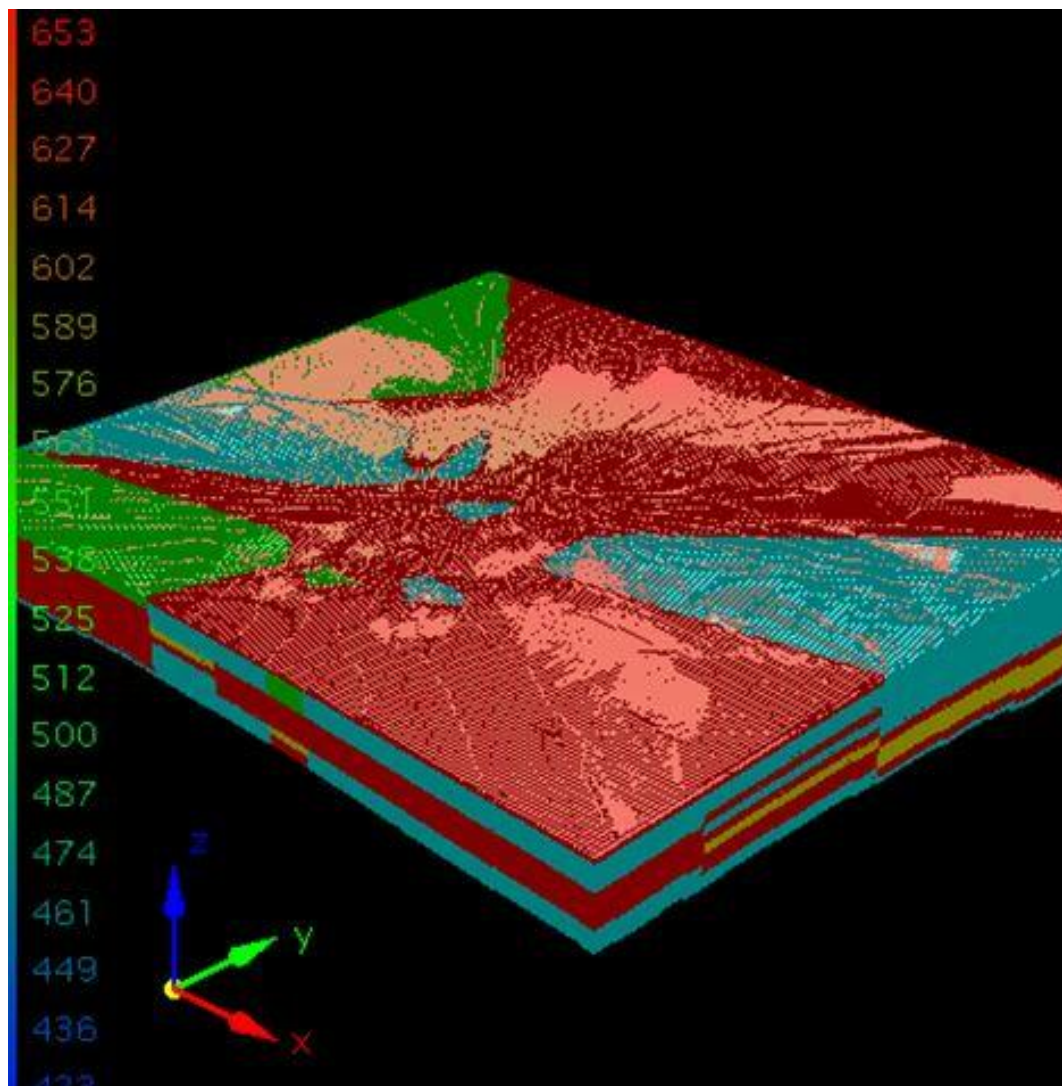
Στο παράθυρο που εμφανίζεται (Εικόνα 4.69) επιλέγεται η επιφάνεια grid η οποία θα χρησιμοποιηθεί ως τοπογραφικό ανάγλυφο και η οποία ουσιαστικά είναι εκείνη που δημιουργήθηκε στην ενότητα 4.3.1. Επιλέγοντας την εντολή Open σχεδιάζεται σε κάτοψη το μοντέλο κυψελίδων σύμφωνα με τις ρυθμίσεις που έχουν δοθεί. Για την τρισδιάστατη απεικόνιση του μοντέλου που έχει δημιουργηθεί επιλέγεται η εντολή 3D Viewer Window της καρτέλας View (Εικόνα 4.70) και επιλέγονται όλα τα στοιχεία τα οποία έχουν σχεδιαστεί στην επιφάνεια εργασίας του προγράμματος. Στο παράθυρο που εμφανίζεται απεικονίζεται το μοντέλο κυψελίδων προσαρμοσμένο στην επιφάνεια που έχει δημιουργηθεί. Για να εμφανιστεί παράλληλα η επιφάνεια του τοπογραφικού ανάγλυφου επιλέγεται από τη καρτέλα Advanced η εντολή add surface και επιλέγεται το αρχείο μορφής .tin της επιφάνειας. Τέλος, επιλέγεται Open και δημιουργείται το αποτέλεσμα της Εικόνας 4.71 και κλείνοντας τα layer που αντιστοιχούν στους σχηματισμούς δίχως ενδιαφέρον, απεικονίζεται μόνο η επιφάνεια και το λιγνιτικό κοίτασμα (Εικόνα 4.72).



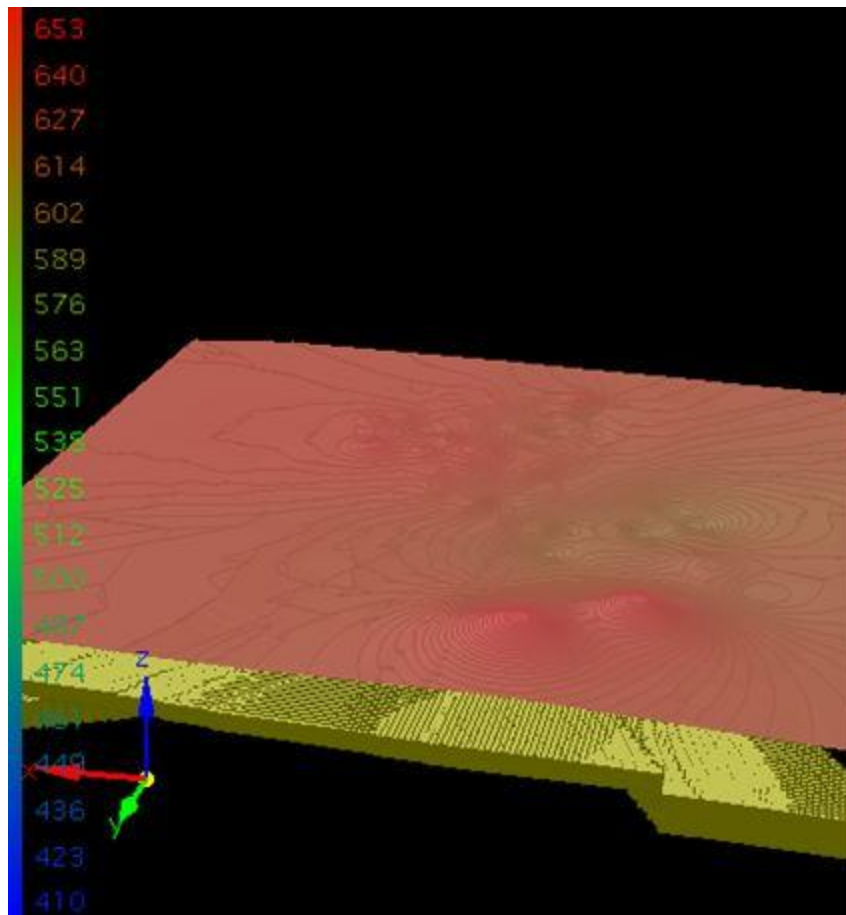
Εικόνα 4.69 Επιλογή αρχείου επιφάνειας το οποίο είναι σε μορφή .grd.



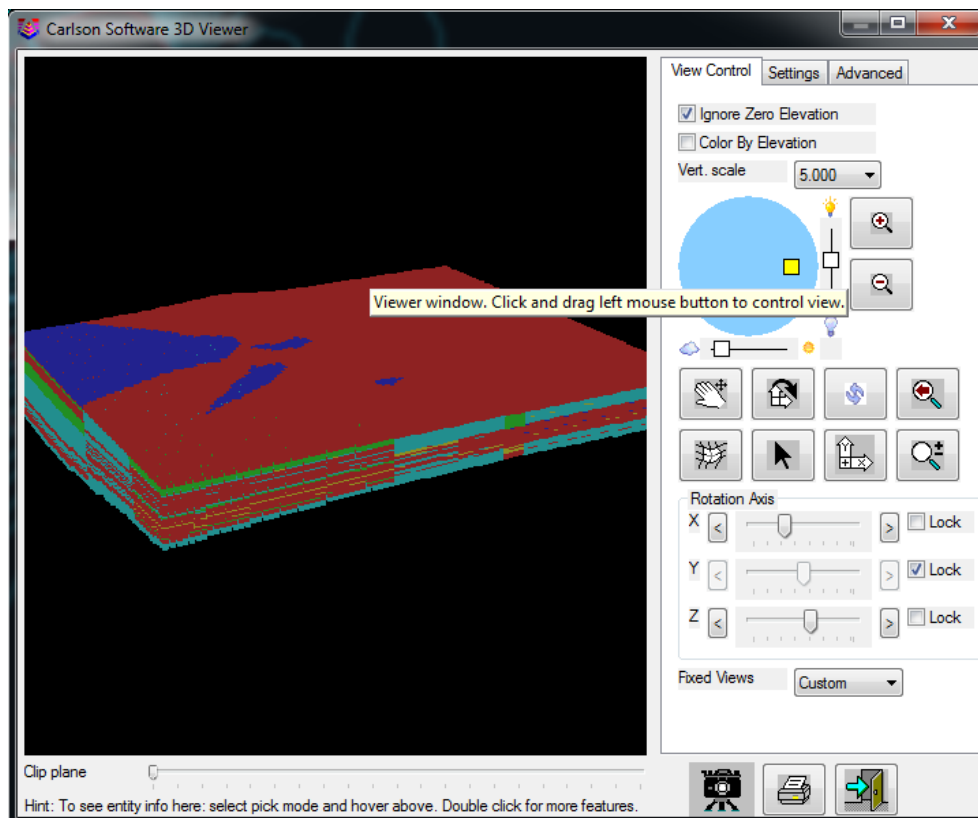
Εικόνα 4.70 Επιλογή παραθύρου τρισδιάστατης προεπισκόπησης.



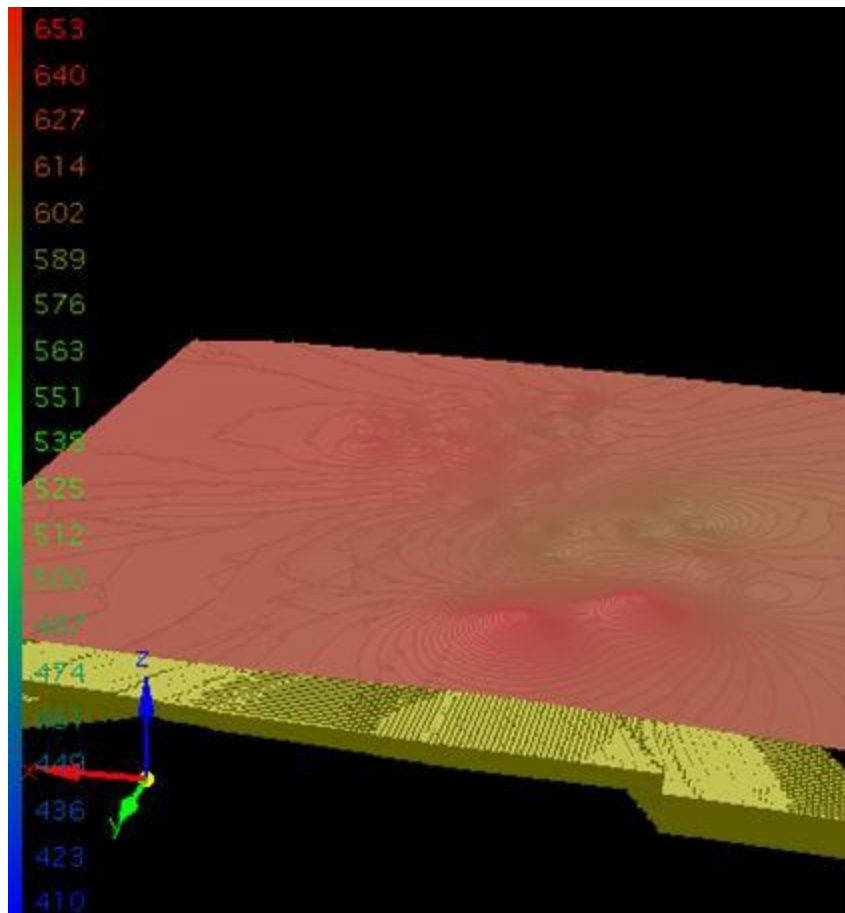
Εικόνα 4.71 Μοντέλο κυψελίδων προσαρμοσμένο στην επιφάνεια του τοπογραφικού ανάγλυφου και προεπισκόπηση της επιφάνειας του ανάγλυφου.



Εικόνα 4.72 Απεικόνιση μόνο της επιφάνειας και του λιγνιτικού κοιτάσματος.



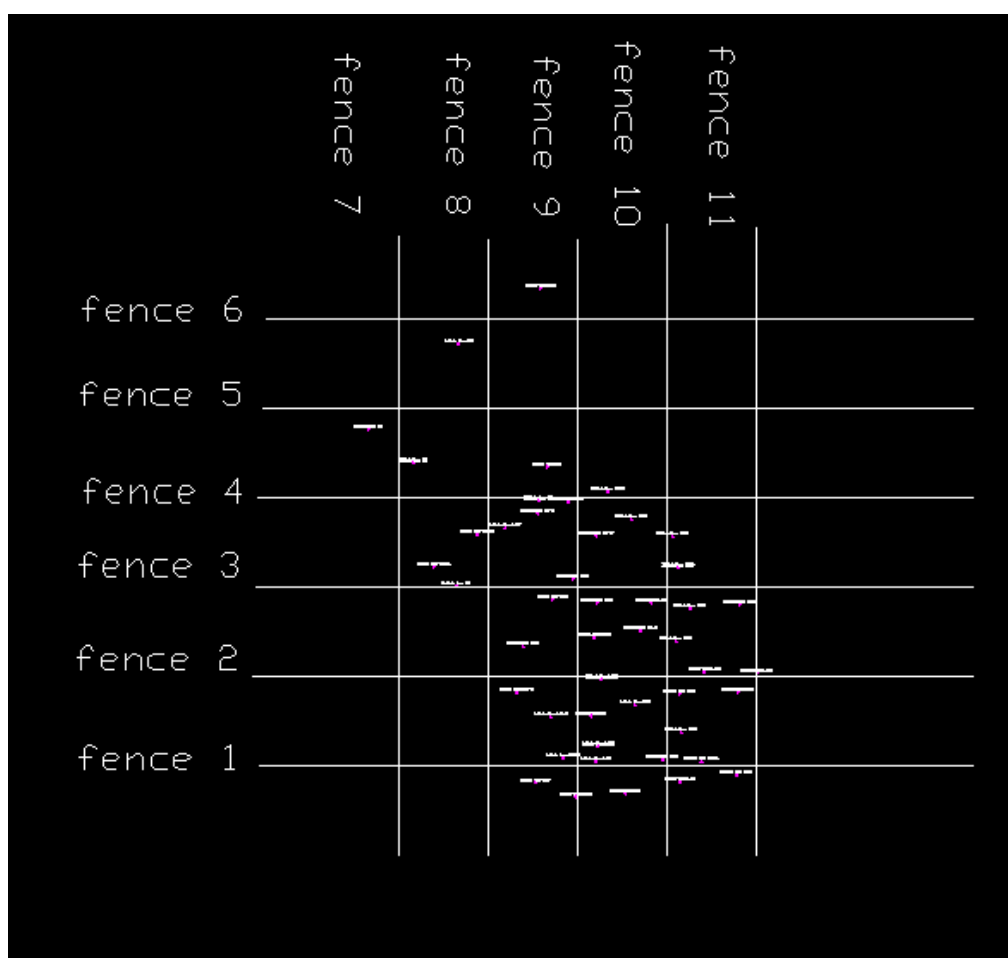
Εικόνα 3.73 Μοντέλο κυψελίδων προσαρμοσμένο στην επιφάνεια του τοπογραφικού ανάγλυφου και προεπισκόπηση της επιφάνειας του ανάγλυφου.



4.5 Δημιουργία τομών ως αποτέλεσμα του μοντέλου κυψελίδων

Η δημιουργία των τομών γίνεται για την καλύτερη κατανόηση του κοιτάσματος από το μηχανικό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό αποθεμάτων συγκεκριμένων περιοχών καθώς επίσης και για σχεδιασμό έργων προσπέλασης του κοιτάσματος. Επιπρόσθετα οι τομές είναι απαραίτητες κατά την εκμετάλλευση των πολυστρωματικών λιγνιτικών κοιτασμάτων, που η εξόρυξη πρέπει να είναι επιλεκτική και εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, όπως το πάχος των λιγνιτικών στρωμάτων και το πάχος των ενδιάμεσων στρωμάτων. Απαραίτητη προϋπόθεση για να γίνει το παραπάνω είναι η όσο το δυνατόν καλύτερη ανάλυση κατά την δημιουργία του μοντέλου κυψελίδων και κατ'επέκταση η δημιουργία όσο το δυνατόν μικρότερων κυψελίδων ως προς τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά. Λόγω του όγκου των δεδομένων, στην παρούσα διπλωματική εργασία, όπως έχει προαναφερθεί και στην ενότητα 4.3, τα κελιά που δημιουργήθηκαν είχαν διαστάσεις 25x25x25m. Η ανάλυση αυτή δεν αποδίδει τα ενδιάμεσα στρώματα, αλλά αποδίδει ευδιάκριτα τον λιγνιτικό ορίζοντα. Το πρόβλημα αυτό δεν πηγάζει μόνο από τον όγκο των δεδομένων, αλλά αποδίδεται κυρίως στην δυναμικότητα του ηλεκτρονικού υπολογιστή, στον οποίο εκτελέστηκε η παρούσα προσομοίωση.

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, θα μπορούσε να είναι και ένωση δύο ή παραπάνω γεωτρήσεων ή να ακολουθεί τις ισοϋψείς του τοπογραφικού ανάγλυφου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκαν έξι τομές παράλληλες προς τον άξονα Χ που απέχουν 500 m μεταξύ τους, αριθμούνται με αύξοντα αριθμό από κάτω προς τα πάνω και ονομάζονται Fence 1, Fence 2, Fence 3, Fence 4, Fence 5 Fence 6 και πέντε τομές παράλληλες προς τον άξονα Ψ που απέχουν μεταξύ τους περίπου 500 m με ονομασία αύξοντα αριθμού από δεξιά προς τα αριστερά Fence 7, Fence 8, Fence 9, Fence 10, Fence 11 όπως ακριβώς φαίνεται στη κάτοψη της Εικόνας 4.74.

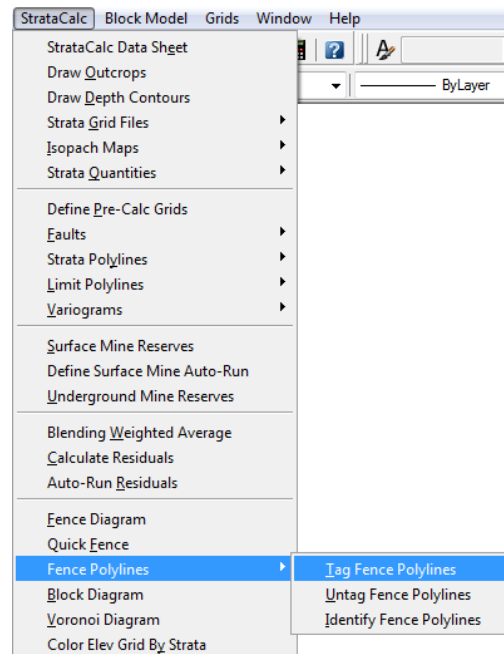


Εικόνα 4.74 Κάτοψη τομών των γεωτρήσεων.

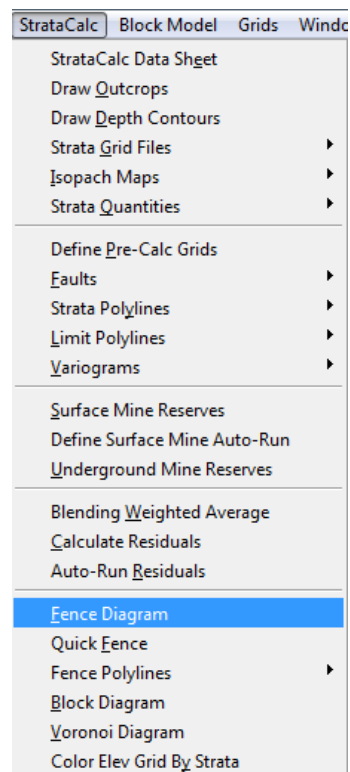
Μετά τον σχεδιασμό των polylines επιλέγεται από τη καρτέλα StrataCalc από την επιλογή Fence Polylines η εντολή Tag Fence Polylines (Εικόνα 4.75). Σε αυτό το στάδιο επιλέγονται από το χρήστη οι polylines με τη σειρά που έχει ήδη προαναφερθεί έτσι ώστε να καθοριστούν με την παραπάνω ονομασία.

Για να σχεδιαστούν οι τομές επιλέγεται η εντολή Fence Diagram της καρτέλας StrataCalc (Εικόνα 4.76), επιλέγονται οι Polylines για τις οποίες θα γίνουν οι

τομές και επιλέγεται Enter. Στο παράθυρο που εμφανίζεται γίνονται οι ρυθμίσεις των τομών. Υπογραμμίζονται οι επιλογές όπως ακριβώς φαίνεται στην Εικόνα 4.77 (για να δημιουργηθούν τομές σύμφωνα με το μοντέλο κυψελίδων) και επιλέγεται η εντολή OK. Ζητείται να επιλεγεί το αρχείο του μοντέλου κυψελίδων (.blk) καθώς και το αρχείο με τις παραμέτρους των σχηματισμών που είναι σε μορφή .grf. Με τον κέρσορα ζητείται να επιλεγεί το κάτω αριστερό σημείο στο οποίο θα σχεδιαστούν αναδυόμενα οι τομές προς τα πάνω. Οι τομές που δημιουργήθηκαν βάσει του μοντέλου κυψελίδων φαίνονται στις παρακάτω εικόνες: Εικόνα 4.78, Εικόνα 4.79 Με κίτρινο χρώμα εμφανίζεται ο λιγνίτης.



Εικόνα 4.75 Επιλογή επισήμανσης των γραμμών (Polylines) για τη δημιουργία τομών.



Εικόνα 4.76 Επιλογή δημιουργίας τομών.

Fence Diagram Settings

Draw fence diagram ...
☐ In real world coordinates ☒ On 2-D grid ☒ Ignore Zero Elevations

Fence extraction method ...
☐ Grids from Drillholes ☒ Pre-Calculated Grids ☐ Intersection

☒ Process Multiple Named Fence Polylines Vertical Spacer Between Diagrams 10.0
☐ Prompt for Additional Surface to Draw
☐ Use Specific Strata Definitions None Set

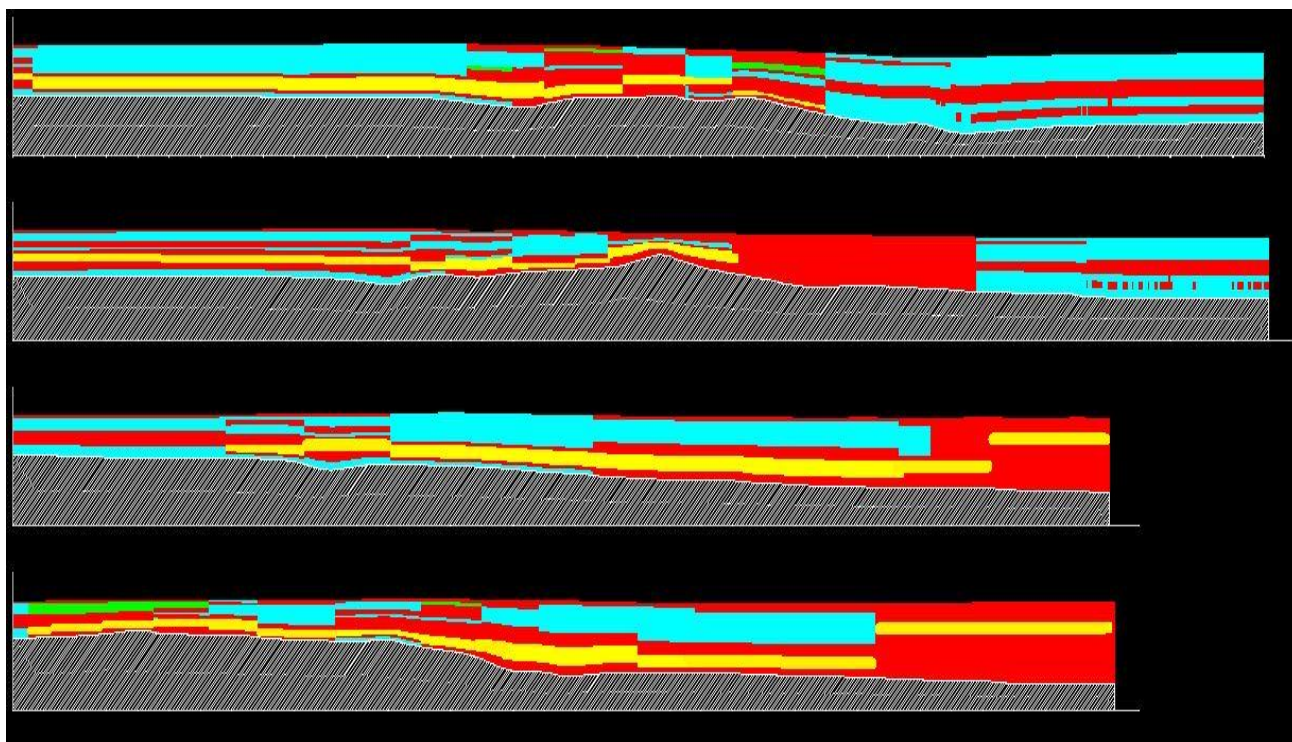
Horizontal Scale 100 Vertical Scale 100
 Horiz. Axis Grid Interval 100 Vert. Axis Grid Interval 100
 Horiz. Axis Text Interval 100 Vert. Axis Text Interval 100
 Starting Station 0.00 Axis Text Size Scaler 0.10
☒ Grid Ticks Only ☐ Draw Plan View Plan Vertical Scale 100.00
☐ Station By Another Reference Centerline ☐ Draw Surface Polyline
☐ Draw Key Strata Only ☐ Label Northing-Easting
☐ Label Pit Lines with Tick Mark Max Drillhole Offset From Line 5000.0
☐ Draw Legend Legend Size 25.0 ☐ Auto Scale Hatch Pattern
☐ Draw Geologic Columns Max Offset 100.0 Settings
☐ Draw Faults Buffer Offset 10.0
☒ Hatch Fence Pattern ANSI31 Select Pattern Scaler 1.00 ☐ Rotate
☐ Hatch Key Strata Only ☐ Hatch By Strata Attribute Bottom Hatch Scaler 0.50
 Draw Strata Polyines As ...
☒ Closed Polylines ☐ Single Polylines ☒ Clip Intersecting Strata
☒ Hatch By Block Model

OK Cancel Layer Settings Load Save Help

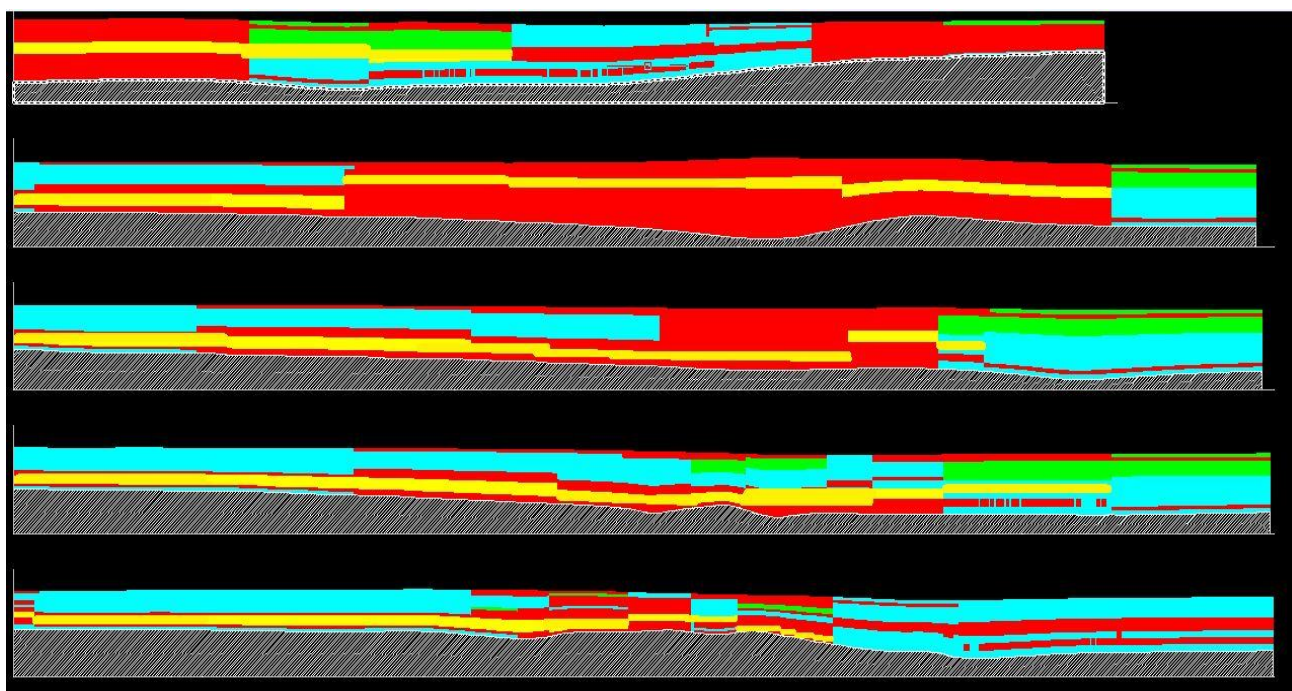
Εικόνα 4.77 Καρτέλα ρυθμίσεων για τη δημιουργία τομών (Fence Diagram Settings).

Τα παρακάτω είναι τα χρώματα τα οποία δόθηκαν στους σχηματισμούς και αντιστοιχούν, από αριστερά προς τα δεξιά, σε: AL, CO, GR, KC, LD, LS, MA, MR, SD, SI, SN και SO.





Εικόνα 4.78 Απεικόνιση των οριζόντιων τομών 1 και 2 και των κάθετων τομών 7 και 8 με σειρά από πάνω προς τα κάτω αντίστοιχα.



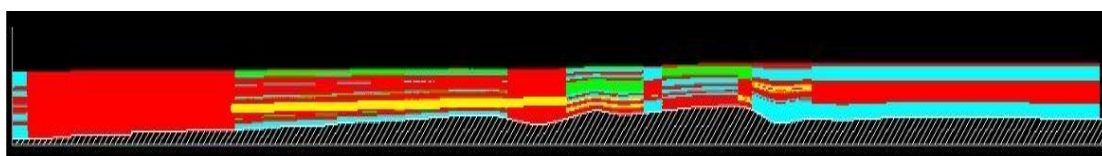
Εικόνα 4.79 Απεικόνιση κάθετης τομής 9 και οριζόντιων τομών 3,4 και 5 με σειρά από πάνω προς τα κάτω αντίστοιχα.

4.5.1 Δημιουργία αναλυτικότερων τομών

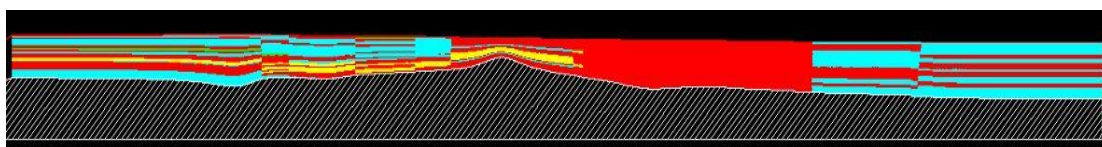
Στην ενότητα 4.5 αναλύεται διεξοδικά η διαδικασία που αποτελεί την λογική αλληλουχία του μοντέλου κυψελίδων και της εντολής Fence diagram, καθώς το δεύτερο αποτελεί αποτέλεσμα του πρώτου. Όμως, όπως έχει προαναφερθεί, η απεικόνιση των ενδιάμεσων στρωμάτων καθώς και ακριβέστερη απεικόνιση των τομών αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για τον μηχανικό. Έτσι ακολουθήθηκε μία διαδικασία κατά την οποία δημιουργείται ένα μοντέλο κυψελίδων με σημαντικά μικρότερων διαστάσεων κυψελίδες το οποίο όμως καθίσταται αδύνατον να απεικονιστεί τρισδιάστατα, με τα μέσα που εκπονήθηκε η παρούσα εργασία.

Το πρώτο στάδιο ήταν η δημιουργία του μοντέλου κυψελίδων ακολουθώντας ακριβώς την διαδικασία που αναλύθηκε στην ενότητα 4.3, μόνο που πλέον στο παράθυρο στο οποίο καθορίζονται οι διαστάσεις ο χρήστης δίνει μικρότερες διαστάσεις στις κυψελίδες. Για την ακρίβεια στην συγκεκριμένη εργασία δόθηκαν οι διαστάσεις 2x2 m δηλαδή 12,5 φορές μικρότερες κυψελίδες από το αρχικό μοντέλο. Με αυτόν τον τρόπο ο χρήστης έχει δημιουργήσει τα αρχεία της μορφής .pre και .grf τα οποία χρειάζεται ώστε να εκτελέσει την εντολή fence diagram και κατ' επέκταση να δημιουργήσει ακριβέστερες τομές.

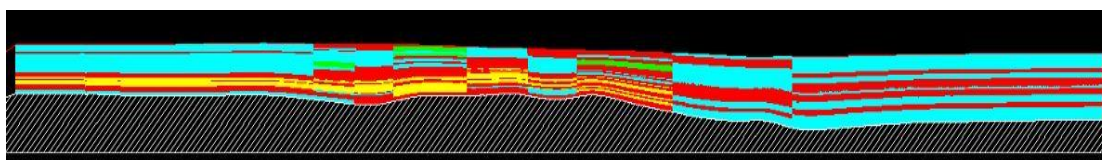
Το δεύτερο στάδιο ήταν να δημιουργηθούν οι τομές ακολουθώντας ακριβώς την ίδια διαδικασία που αναλύεται στην ενότητα 4.5, μόνο που αυτή τη φορά ο χρήστης θα δώσει στο λογισμικό τα νέα αρχεία .grf και .pre που θα έχει δημιουργήσει κατά τον τρόπο εκείνο που αναλύεται στην παραπάνω παράγραφο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στις Εικόνες 4.80 έως 4.88.



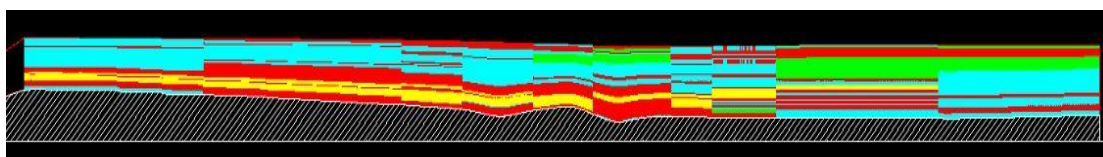
Εικόνα 4.80 Οριζόντια τομή fence 1.



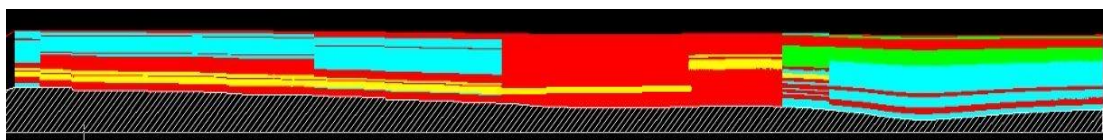
Εικόνα 4.81 Οριζόντια τομή fence 2.



Εικόνα 4.82 Οριζόντια τομή fence 3.



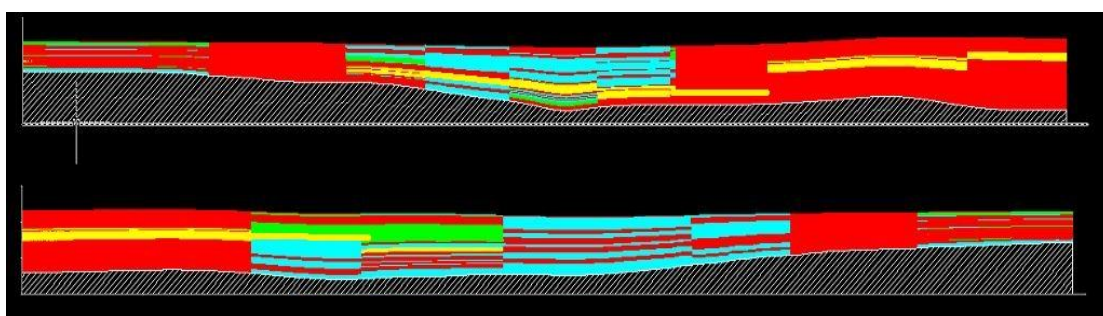
Εικόνα 4.83 Οριζόντια τομή fence 4.



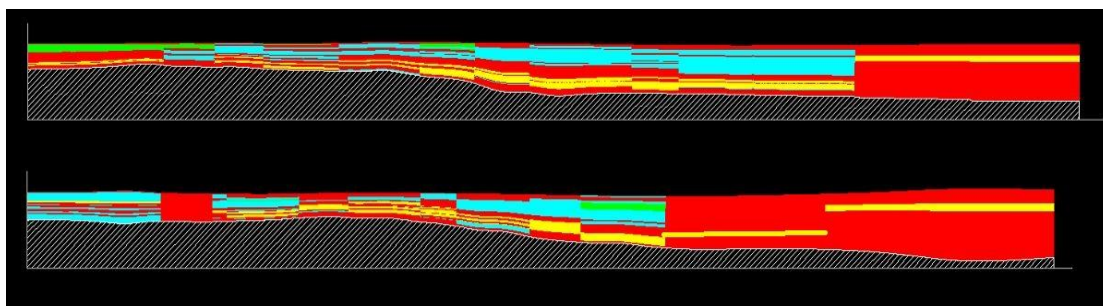
Εικόνα 4.84 Οριζόντια τομή fence 5.



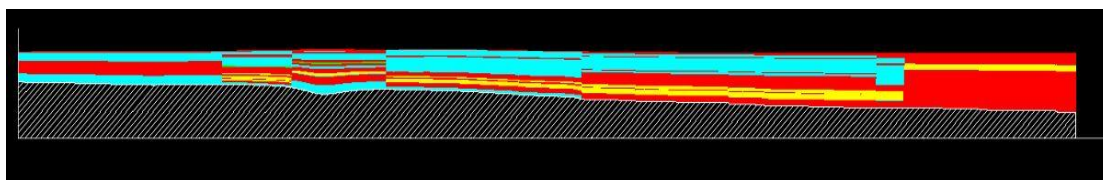
Εικόνα 4.85 Οριζόντια τομή fence 6.



Εικόνα 4.86 Κάθετες τομές fence 7 και fence 8.

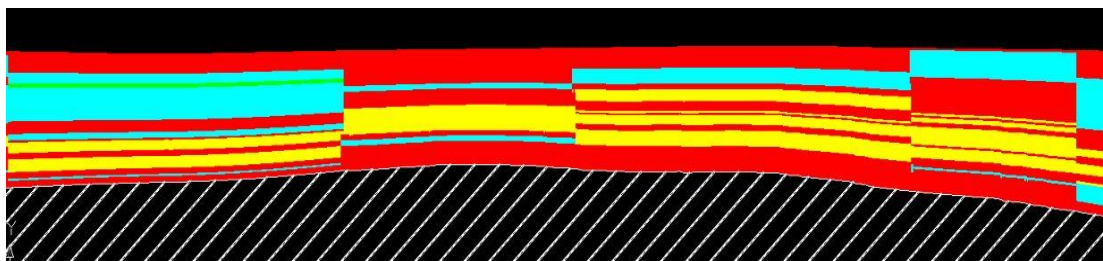


Εικόνα 4.87 Κάθετες τομές fence 9 και fence 10.

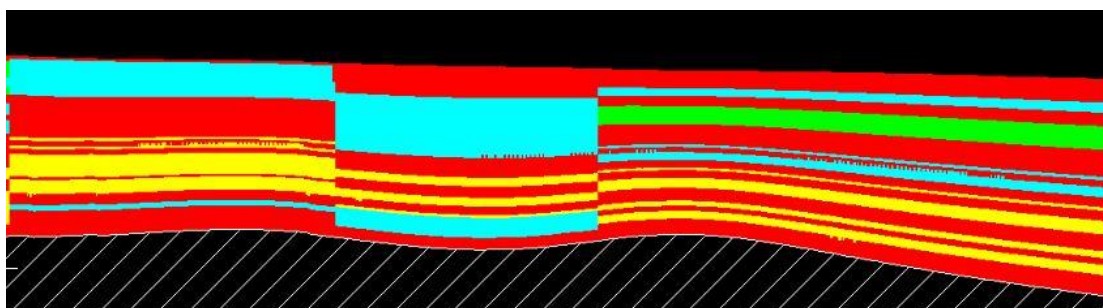


Εικόνα 4.88 Κάθετη τομή fence 11.

Στις παραπάνω εικόνες, και λόγω του μεγάλου μεγέθους των τομών, καθίσταται δύσκολο να εστιάσει ο αναγνώστης στα ενδιάμεσα στρώματα, και κατ' επέκταση τις διαφορές που έχουν οι εν λόγω τομές με εκείνες που δημιουργήθηκαν αρχικά. Γι αυτόν το λόγο στις δύο παρακάτω εικόνες με την εντολή zoom του λογισμικού AutoCad εστιάζονται μία κάθετη και μία οριζόντια τομή ώστε να μπορεί να γίνει σαφής η ακριβέστερη απεικόνιση των τομών που δημιουργήθηκαν με αυτόν τον τρόπο συγκριτικά με τις αρχικές τομές (Εικόνες 4.89 και 4.90).



Εικόνα 4.89 Οριζόντια τομή fence 3 με την εντολή zoom.



Εικόνα 4.90 Κάθετη τομή fence 9 την εντολή zoom.

Στις παραπάνω εικόνες φαίνεται ξεκάθαρα ο διαχωρισμός και η εναλλαγή των λιγνιτικών και ενδιάμεσων στρωμάτων. Έπειτα γίνεται σαφές πως όσο το δυνατόν μικρότερο είναι το μέγεθος των κυψελίδων στο μοντέλο κυψελίδων το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία των τομών τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια θα έχουν αυτές κατά την απεικόνισή τους.

4.6 Σχεδιασμός των ορίων του πεδίου και των βαθμίδων προσπέλασης

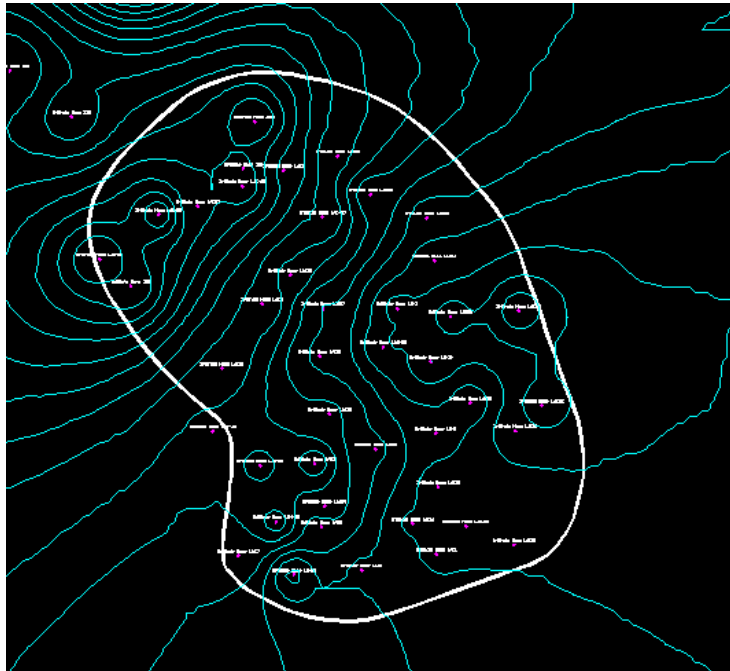
Για τον σχεδιασμό μίας υπαίθριας εκμετάλλευσης είναι πολύ σημαντικό να καθοριστούν και να σχεδιαστούν τα όρια του πεδίου στο οποίο θα λάβει χώρο η εκμετάλλευση. Με τον τρόπο αυτό ο χρήστης θα καθορίσει την περιοχή ενδιαφέροντος, και θα λάβει μια πλήρη άποψη του τρόπου που εκτείνονται τα όρια σύμφωνα με τις ισουΨείς που έχουν σχεδιαστεί κατά την διαδικασία που περιγράφεται στην ενότητα 4.3.1. Επιπρόσθετα είναι απαραίτητη διαδικασία για τον υπολογισμό των αποθεμάτων καθώς και για τον σχεδιασμό των βαθμίδων και την τρισδιάστατη απεικόνιση αυτών. Τέλος διαδραματίζουν και πολύ σημαντικό ρόλο για τον σχεδιασμό των έργων προσπέλασης και μεταφοράς ενώ μέσω του συνδυασμού όλων των προαναφερθέντων ο μηχανικός μπορεί να προβεί σε διορθώσεις του σχεδιασμού για την επίτευξη καλύτερης λειτουργικότητάς της και να προβλέψει τυχόντα προβλήματα που θα προκύψουν κατά την διαδικασία της εκμετάλλευσης λόγω της γεωγραφίας του πεδίου. Άξιο αναφοράς είναι πως τα όρια του πεδίου της Λακκιάς έχουν καθοριστεί και σχεδιαστεί σύμφωνα με πολλά κριτήρια, αλλά ένα από τα πιο καθοριστικά κριτήρια είναι η μη επέκταση των ορίων του σε σημείο τέτοιο ώστε να επηρεάζουν την σιδηροδρομική γραμμή της εταιρίας Ο.Σ.Ε. οι οποίες βρίσκονται περίπου 250 m από το πεδίο. Παρ' όλα αυτά υπάρχει σχέδιο επέκτασης αυτών των ορίων από το βόρειο τμήμα του πεδίου και με κατεύθυνση προς τον Βορρά, αν τελικά βρεθεί συμβιβαστική λύση ώστε και η Δ.Ε.Η. να επεκτείνει τα όρια του πεδίου αλλά και ο Ο.Σ.Ε. να μπορεί να εκτελεί δρομολόγια στην εν λόγω περιοχή, πιθανότατα με την μεταφορά των σιδηροδρομικών γραμμών σε μεγαλύτερη απόσταση από την σημερινή.

4.6.1 Επιλογή των ορίων του κοιτάσματος με 3d polyline

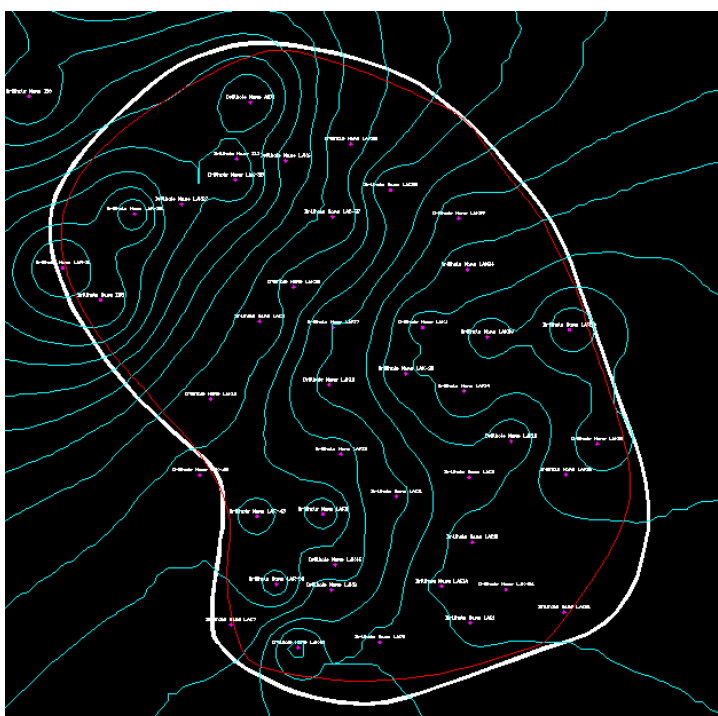
Στον τοπογραφικό χάρτη της περιοχής που δημιουργήθηκε με την διαδικασία που περιγράφεται στην ενότητα 4.3.1 εμφανίζονται οι γεωτρήσεις σε κάτοψη. Επιλέγεται το εργαλείο του AutoCad 3d polyline και δημιουργείται μία περίμετρος γύρω από τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις σύμφωνα με τα όρια που δόθηκαν από την Δ.Ε.Η. Α.Ε., ως πρωτογενή δεδομένα, σε χάρτη που βρισκόταν σε αρχείο που ο χρήστης μπορούσε να επεξεργαστεί μέσω του λογισμικού AutoCad.

Κατά την εκτέλεση της συγκεκριμένης διαδικασίας επιλέχτηκε η εντολή Copy ώστε να επιτευχθεί η αντιγραφή της polyline με τα όρια του κοιτάσματος από το λογισμικό AutoCad στην επιφάνεια εργασίας του λογισμικού Carlson στην οποία δουλεύει ο χρήστης (Εικόνα 4.91). Έπειτα έγινε η περιχάραξη των ορίων με 3d polyline ακολουθώντας την αντιγραφείσα polyline (Εικόνα 4.92), και μετά το πέρας της δημιουργίας της 3d polyline διαγράφηκε από την επιφάνεια εργασίας του λογισμικού η polyline, καθώς πλέον δεν έχει κάποια χρηστική αξία. Κατά τη δημιουργία της 3d polyline λαμβάνονται υπόψη τα υψόμετρα από τις ισουΨείς καμπύλες. Στην τομή της 3d polyline με τις ισουΨείς καμπύλες ορίζεται κάθε

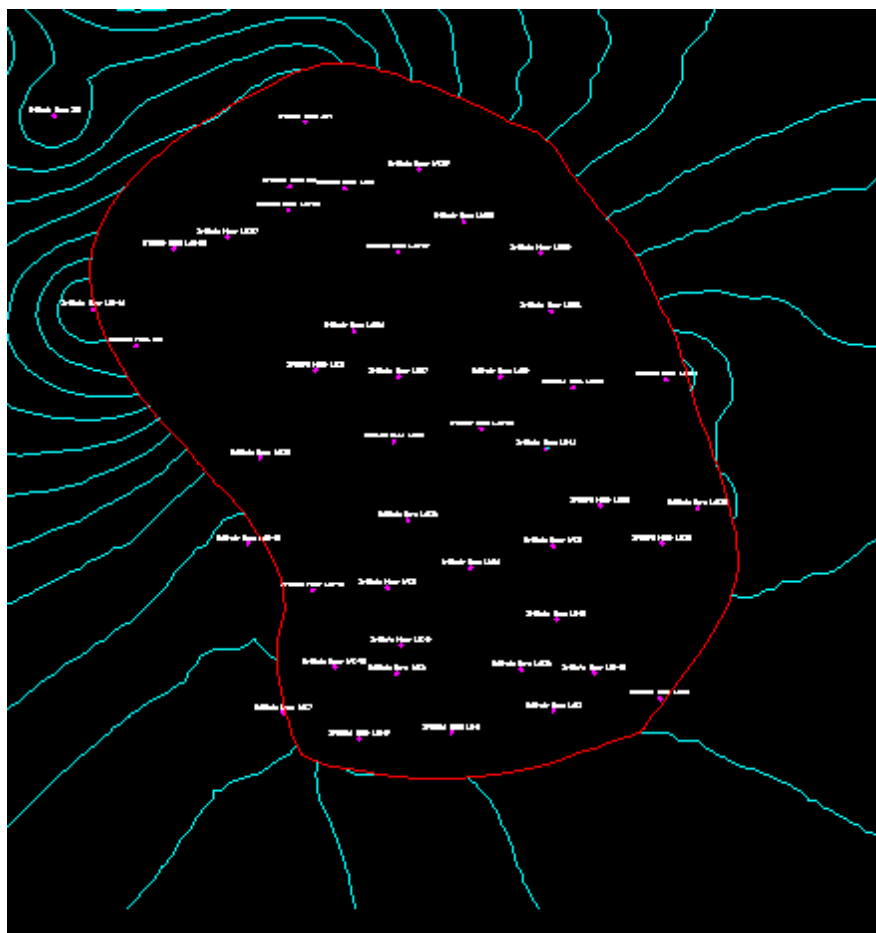
φορά το υψόμετρο της τρισδιάστατης καμπύλης που δημιουργείται. Αφού ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία ο χρήστης πρέπει μέσω της καρτέλας Properties του AutoCad να βεβαιωθεί πως η 3d polyline που δημιούργησε είναι κλειστή (Closed) πράγμα απαραίτητο για τις μετέπειτα διαδικασίες, ενώ επιπρόσθετα μέσω αυτής της καρτέλας μπορεί να προβεί και σε άλλες αλλαγές των ιδιοτήτων της 3d polyline όπως για παράδειγμα το πάχος της γραμμής που σχεδιάστηκε αλλά χωρίς να έχουν κάποια αναγκαία εφαρμογή. Με την εντολή trim του AutoCad κόβονται όλες οι ισοϋψείς εσωτερικά της τρισδιάστατης καμπύλης και με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται το αποτέλεσμα της Εικόνας 4.93.



Εικόνα 4.91 Επικόλληση των ορίων του κοιτάσματος από το λογισμικό AutoCad στο λογισμικό Carlson

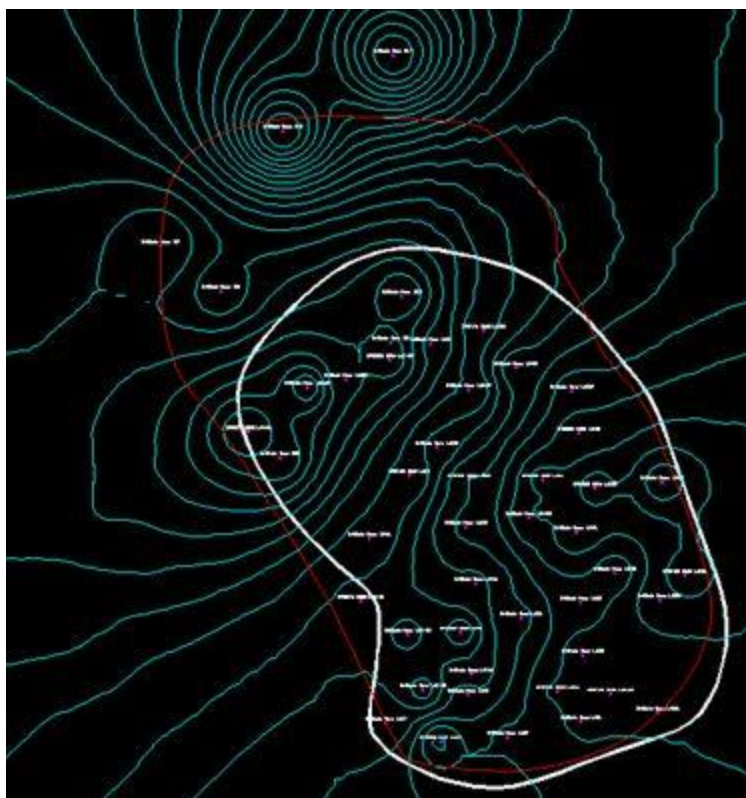


Εικόνα 4.92 Δημιουργία των ορίων του κοιτάσματος με 3d polyline

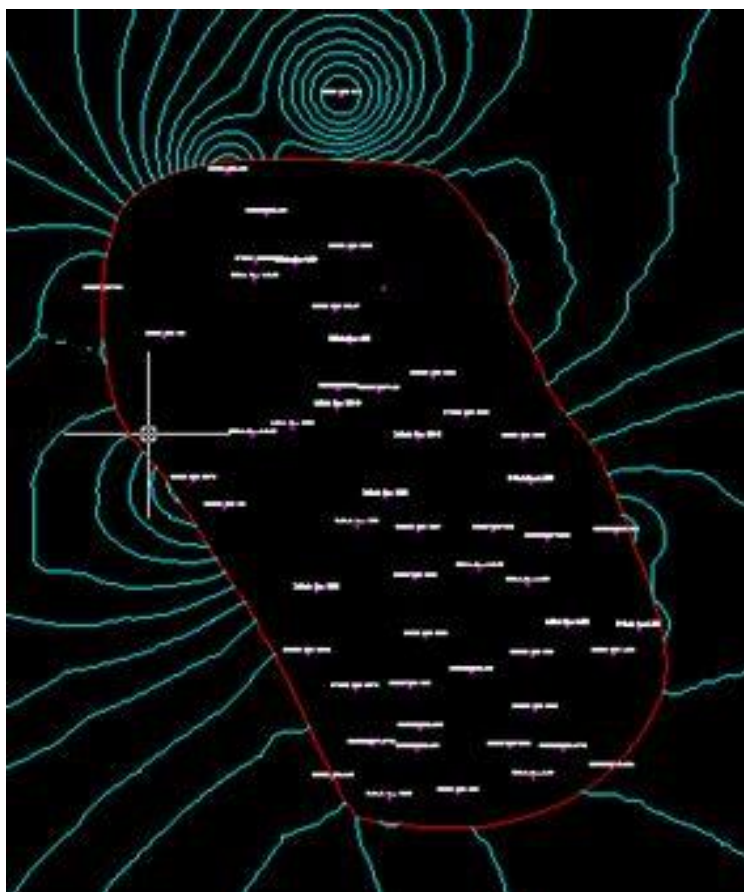


Εικόνα 4.93 Το αποτέλεσμα μετά την εφαρμογή της επιλογής trim

Οι παραπάνω εικόνες απεικονίζουν, όπως προαναφέρθηκε, τα όρια τα οποία έχει καθορίσει η Δ.Ε.Η. η οποία παρείχε τα πρωτογενή δεδομένα για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας, και τα όρια αυτά έχουν ισχύ με τα σημερινά δεδομένα. Αν τα δεδομένα αλλάξουν και οι κοινωνικοί και οικονομικοί παράγοντες το επιτέπουν, τα όρια θα αλλάξουν και θα γίνει πιθανότατα μια επέκταση του βορείου τμήματος του πεδίου και με κατεύθυνση προς τον Βορρά. Για αυτό το λόγο σχεδιάστηκε και μία ενδεικτική εικόνα που θα αποκτήσει το πεδίο στην περίπτωση επέκτασης. Ο σχεδιασμός επιτεύχθηκε ακολουθώντας τα βήματα που αναφέρονται άνωθεν, και με μόνη διαφορά την επέκταση της 3d polyline που δημιουργήθηκε, ως προς τον άξονα Y και ακολουθώντας τις ίδιες διαστάσεις ως προς τον άξονα X, όπου φυσικά ήταν εφικτό λόγω της διάταξης των ισουψών στην επιφάνεια εργασίας του προγράμματος (Εικόνα 4.94). Η επέκταση που σχεδιάστηκε επιμηκύνει τα όρια του ορυχείου ως προς τον άξονα Y έως και 1200 m και με τελική κατεύθυνση βορειοδυτική καθώς βορειοανατολικά και σε απόσταση 1400 m συναντάται ο οικισμός της Λακκιάς. Το αποτέλεσμα που προέκυψε φαίνεται στην Εικόνα 4.95.



Εικόνα 4.94 Δημιουργία των εκτεταμένων ορίων του κοιτάσματος με 3d polyline



Εικόνα 4.95 Το αποτέλεσμα μετά την εφαρμογή της επιλογής trim

Αναφορικά με τις δύο άνωθεν εικόνες, που απεικονίζουν τα όρια ενδεχόμενης επέκτασης, διακρίνεται μια αριθμητική διαφορά των απεικονιζόμενων γεωτρήσεων. Αυτό συμβαίνει γιατί οι γεωτρήσεις που βρίσκονται εντός πεδίου ή πολύ κοντά στο πεδίο ανήκουν σε άλλο Layer από τις απομακρυσμένες από αυτό γεγονός που μπορεί να ορίσει ο χρήστης μέσω της γραμμής εντολών του λογισμικού AutoCad. Στην πρώτη εικόνα (Εικόνα 4.94) το Layer των απομακρυσμένων γεωτρήσεων είναι απενεργοποιημένο ενώ στη δεύτερη (Εικόνα 4.95) όλα τα Layer είναι ενεργοποιημένα. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως η ενεργοποίηση ή μη των Layer παίζει ρόλο μόνο ως προς την απεικόνιση και όχι ως προς κάποιον υπολογισμό, στην άνωθεν διαδικασία.

4.6.2 Προσπέλαση του κοιτάσματος με δημιουργία βαθμίδων

Η προσπέλαση του κοιτάσματος και ο σχεδιασμός των βαθμίδων μέσω των οποίων θα επιτευχθεί αυτή, είναι αποτέλεσμα το οποίο προκύπτει βάσει πολλών παραγόντων. Ένας από τους πιο σημαντικούς είναι ο εξοπλισμός ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί και κατ' επέκταση ποια μέθοδος εκμετάλλευσης ως προς αυτόν. Στο συγκεκριμένο κοιτάσμα έχει αποφασιστεί η χρήση μη συνεχούς λειτουργίας ή Αμερικάνικη μέθοδος η οποία χρησιμοποιεί συμβατικές μεθόδους εξόρυξης. Ενώ μετά το πέρας του έτους 2014 είναι πολύ πιθανό να λειτουργήσει

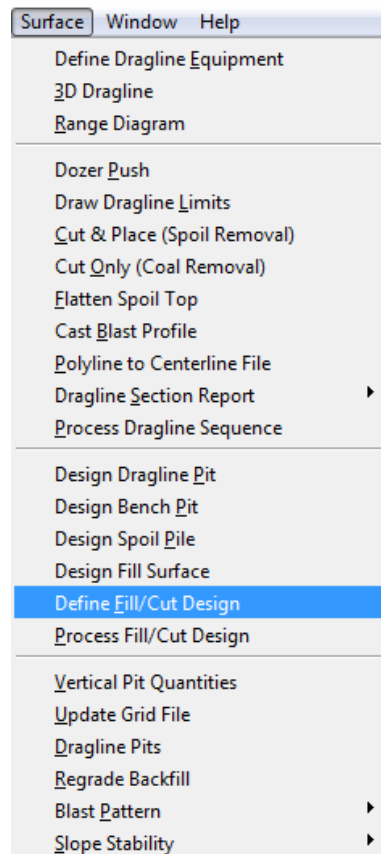
παράλληλα και η συνεχής μέθοδος ή Γερμανική μέθοδος, καθώς μετά την εξόφληση του ορυχείου του Αμυνταίου θα υπάρχει ο διαθέσιμος εξοπλισμός ώστε να λάβει χώρα κάτι τέτοιο.

Σύμφωνα λοιπόν με τις συμβατικές μεθόδους επιλέχτηκε η δημιουργία βαθμίδων ύψους 10 m και πλάτους 20 m, ενώ το βάθος του ορυχείου να κυμαίνεται περίπου στα 60 m, δηλαδή το πάτωμα του ορυχείου να φτάσει περίπου μέχρι τα 510 m σε απόλυτο υψόμετρο.

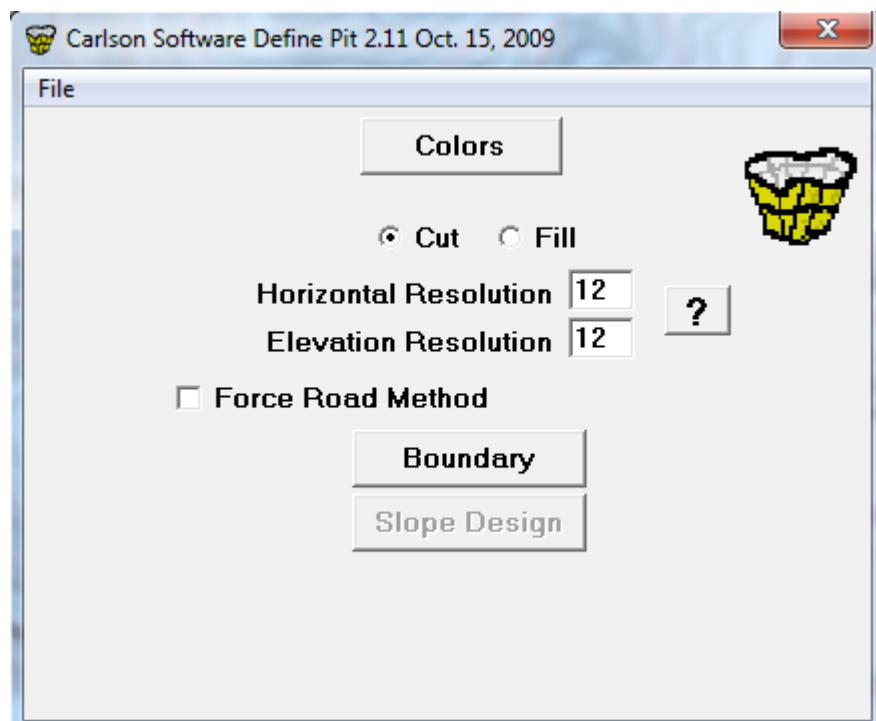
Για να γίνει ο σχεδιασμός μέσω του λογισμικού Carlson επιλέγεται το πρόγραμμα Surface Mining (Εικόνα 4.96) και από την καρτέλα Surface επιλέγεται η εντολή Define Fill/Cut Design (Εικόνα 4.97). Στο παράθυρο που εμφανίζεται μαρκάρεται η επιλογή Cut, επιλέγονται οι ρυθμίσεις σύμφωνα με τη Εικόνα 4.98, όμως κατά το τελικό στάδιο του σχεδιασμού το λογισμικό μπορεί να ζητήσει νέα δεδομένα ως προς την ανάλυση ανάλογα το μοντέλο που θα προκύπτει βάση και των μετέπειτα επιλογών, και επιλέγεται η εντολή Boundary. Στο παράθυρο που εμφανίζεται (Εικόνα 4.99) επιλέγεται του κουμπί Select in AutoCad και επιλέγεται η 3d polyline που έχει δημιουργηθεί στην ενότητα 4.5.1 (Εικόνα 4.100 και 4.101). Μετά το πέρας της διαδικασίας επιλέγεται το πλήκτρο Process and Continue.



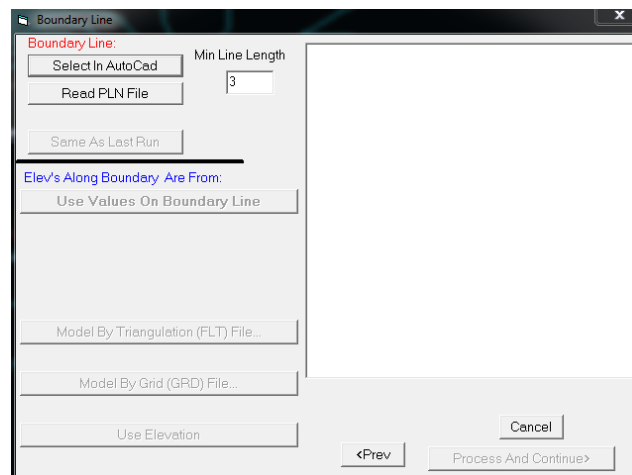
Εικόνα 4.96 Επιλογή προγράμματος Surface Mining.



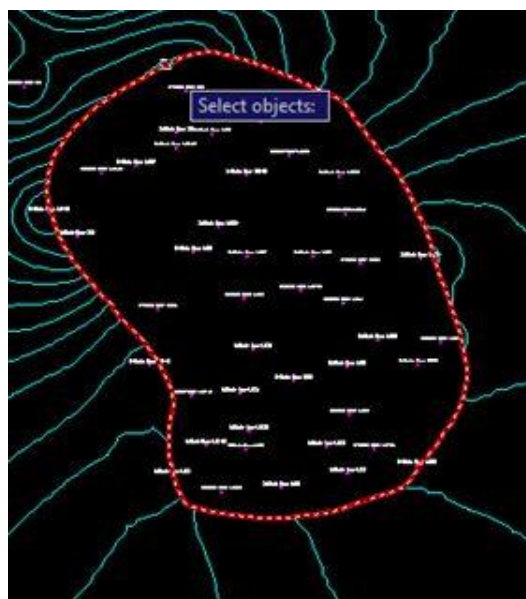
Εικόνα 4.97 Επιλογή καθορισμού σχεδίασης βαθμίδων (Define Fill/Cut Design).



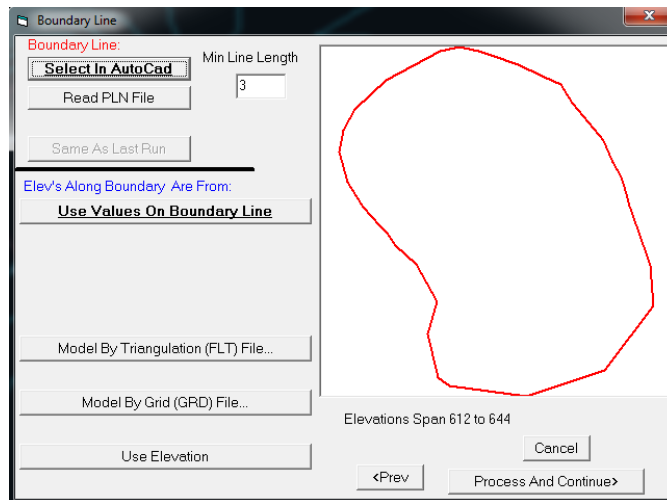
Εικόνα 4.98 Καρτέλα ρυθμίσεων για τη σχεδίαση βαθμίδων.



Εικόνα 4.99 Καρτέλα ρυθμίσεων για την επιλογή ορίου εκμετάλλευσης.

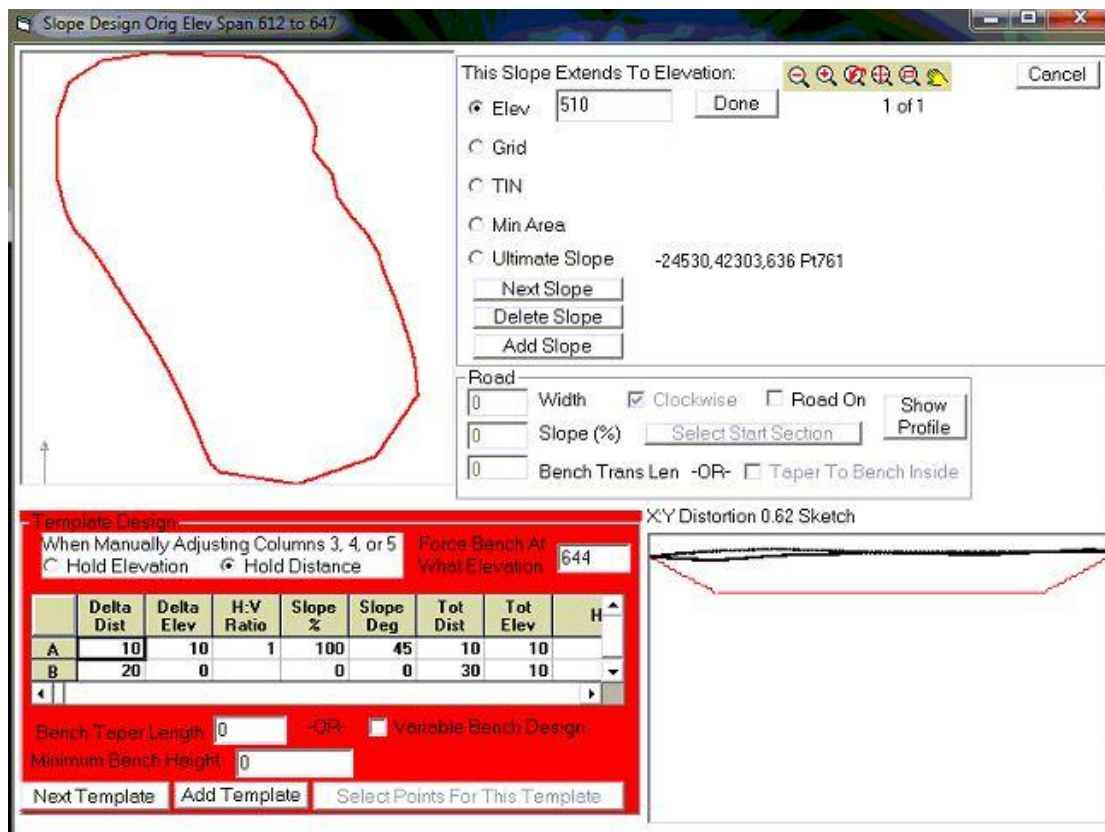


Εικόνα 4.100 Επιλογή της 3d polyline.



Εικόνα 4.101 Καρτέλα ρυθμίσεων για την επιλογή ορίου εκμετάλλευσης μετά την επιλογή της 3d polyline.

Στο παράθυρο που εμφανίζεται (Εικόνα 4.102) επιλέγεται η εντολή Elen και δίνεται το απόλυτο υψόμετρο στο οποίο θα τερματιστεί η διαδικασία Cut. Από τον πίνακα Template Design καθορίζονται το πλάτος της βαθμίδας, το ύψος της βαθμίδας καθώς και η συνολική κλίση του πρανούς. Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν βαθμίδες πλάτους 20 m και ύψους 10 m ενώ η συνολική κλίση πρανούς επιλέχτηκε να είναι 45 μοίρες. Με την ολοκλήρωση των ρυθμίσεων επιλέγεται το πλήκτρο Done.

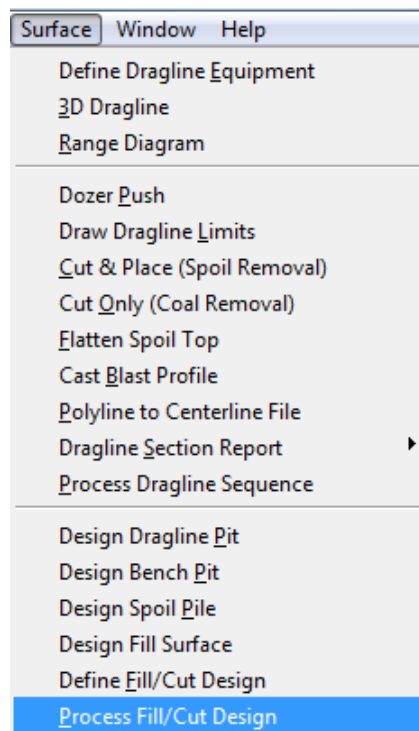


Εικόνα 4.102 Καθορισμός διαστάσεων βαθμίδων.

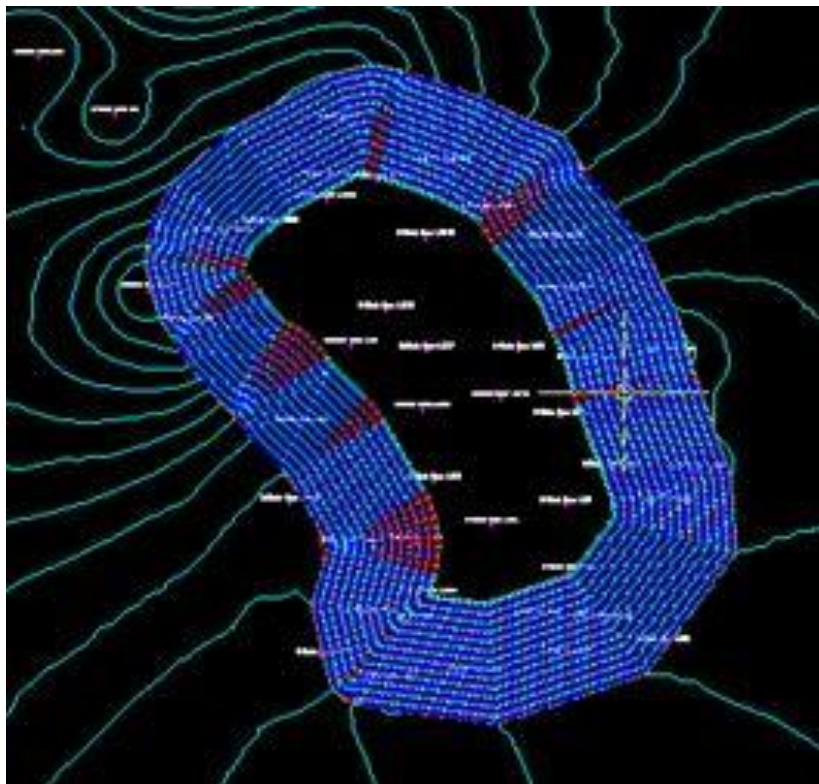
Για την ολοκλήρωση του σχεδιασμού των βαθμίδων επιλέγεται η εντολή Process Fill/Cut Design από τη καρτέλα Surface (Εικόνα 4.103). Με αυτό το τρόπο σχεδιάζονται οι βαθμίδες που φαίνονται σε κάτοψη στη Εικόνα 4.104. Οι βαθμίδες που δημιουργήθηκαν είναι κλειστού τύπου και για την ανάπτυξη τους έχουν υιοθετηθεί οι γραμμές του φυσικού ανάγλυφου όπως αυτό δημιουργήθηκε στην ενότητα 4.3.1.

Ακολουθώντας τη διαδικασία της δημιουργίας επιφάνειας και τρισδιάστατης προεπισκόπησης που έχει περιγραφεί αναλυτικά στην ενότητα 4.3.1 δημιουργείται το μοντέλο που απεικονίζει την επιφάνεια του πεδίου με την μορφή που έχει αποκτήσει αυτό μετά το πέρας του σχεδιασμού των βαθμίδων. Στις Εικόνες 4.105 και 4.106 απεικονίζονται τα αποτελέσματα από κάθε βήμα, που έχει περιγραφεί άνωθεν στην ενότητα 4.3.1., μέχρι την ολοκλήρωση της προεπισκόπησης που φαίνεται στις Εικόνες 4.107 και 4.108.

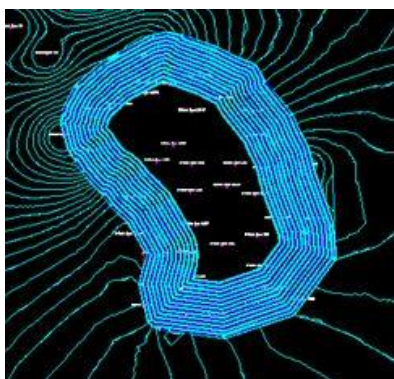
Εν συνεχεία ακολουθώντας τις οδηγίες της ενότητας 4.3.2 για συνδυασμό της επιφάνειας με το μοντέλο κυψελίδων του κοιτάσματος δημιουργείται το μοντέλο που απεικονίζεται στις Εικόνες 4.109 και 4.110.



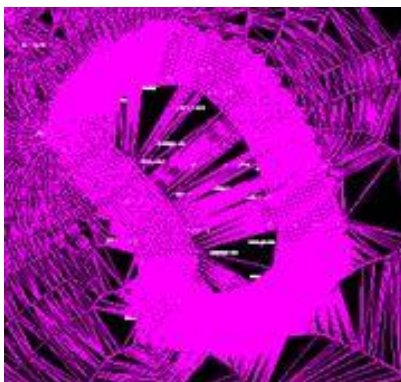
Εικόνα 4.103 Επιλογή διαδικασίας σχεδίασης βαθμίδων.



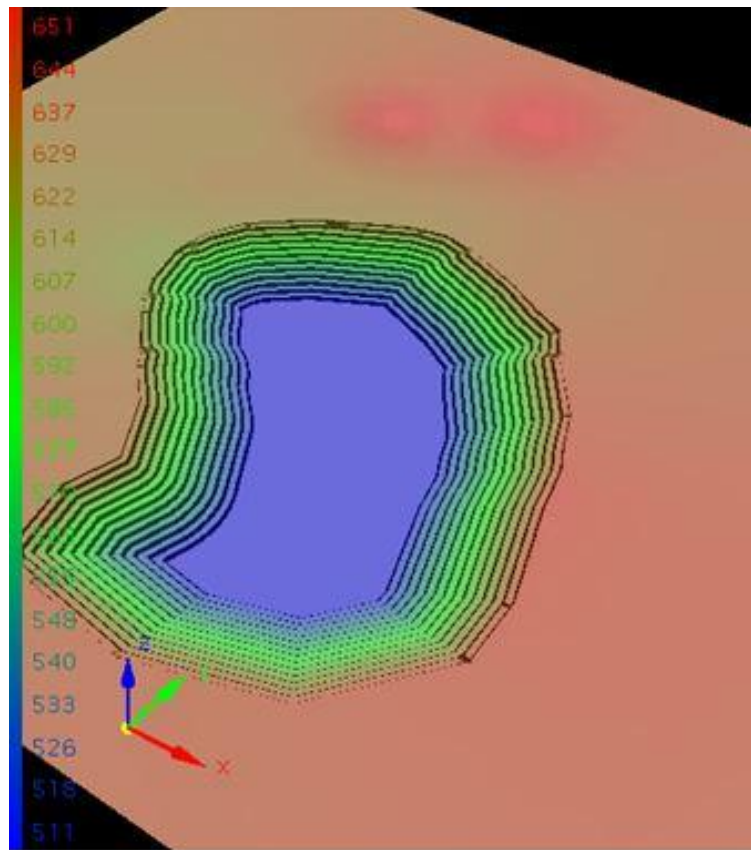
Εικόνα 4.104 Σχεδιασμός βαθμίδων ύψους 10 m και πλάτους 20 m σε κάτοψη.



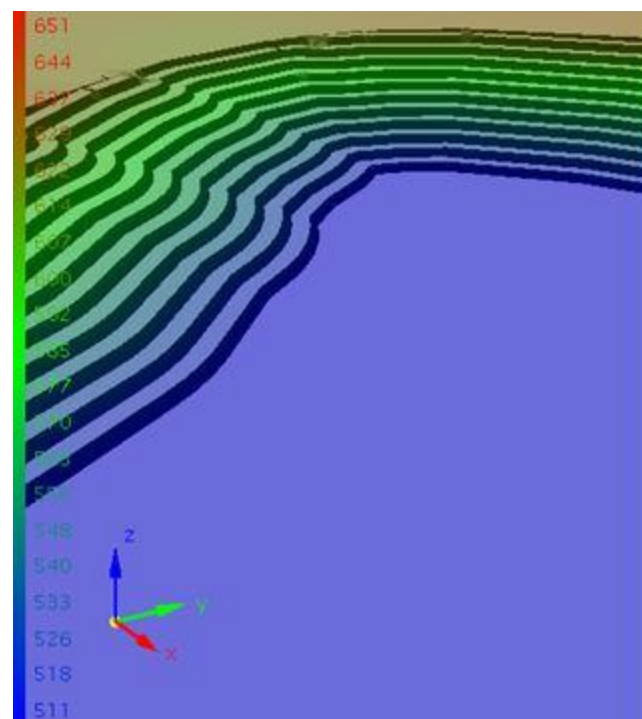
Εικόνα 4.105 Απεικόνιση μετά την επιλογή η επιλογή Triangulate & Contour.



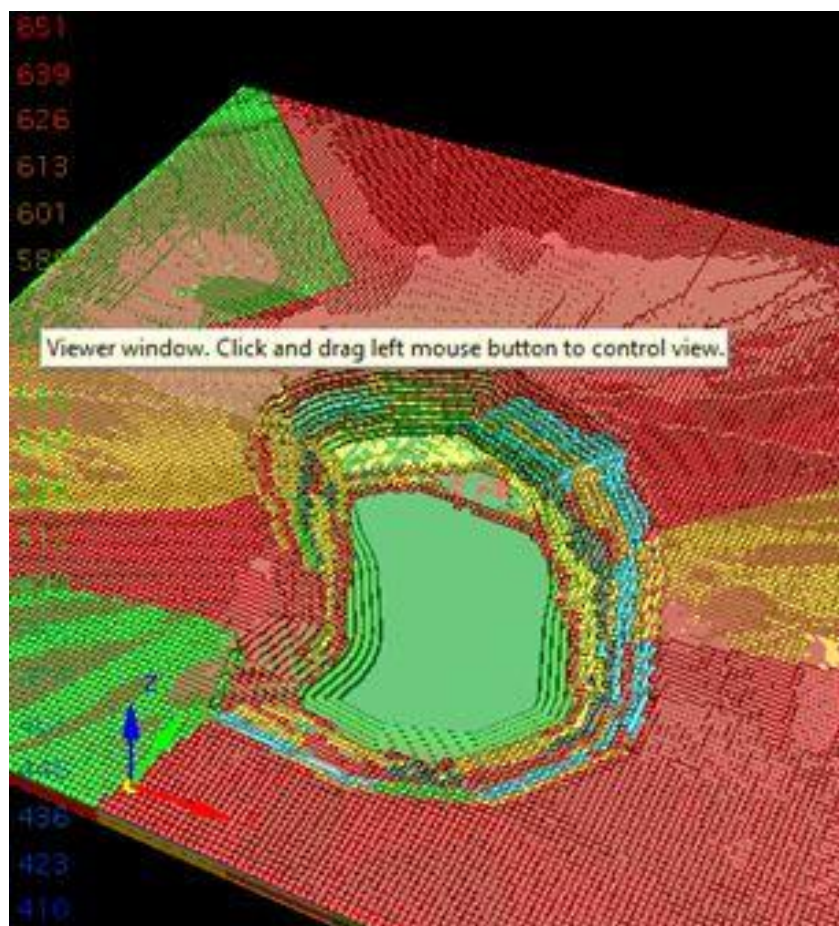
Εικόνα 4.106 Απεικόνιση μετά την επιλογή Draw Surface.



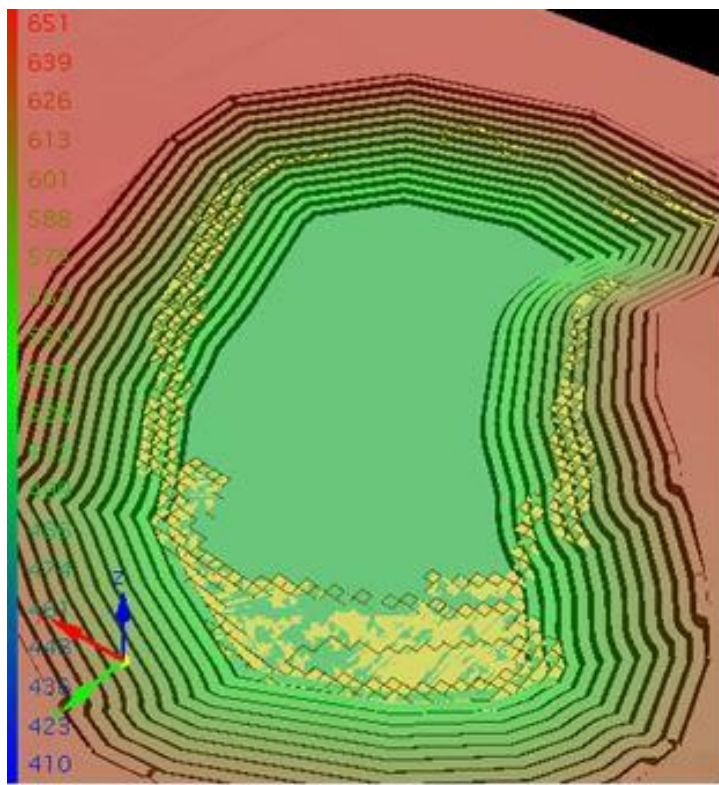
Εικόνα 4.107 Επιφάνεια με σχεδιασμένες βαθμίδες ύψους 10 m και πλάτους 20 m.



Εικόνα 4.108 Απεικόνιση των βαθμίδων.

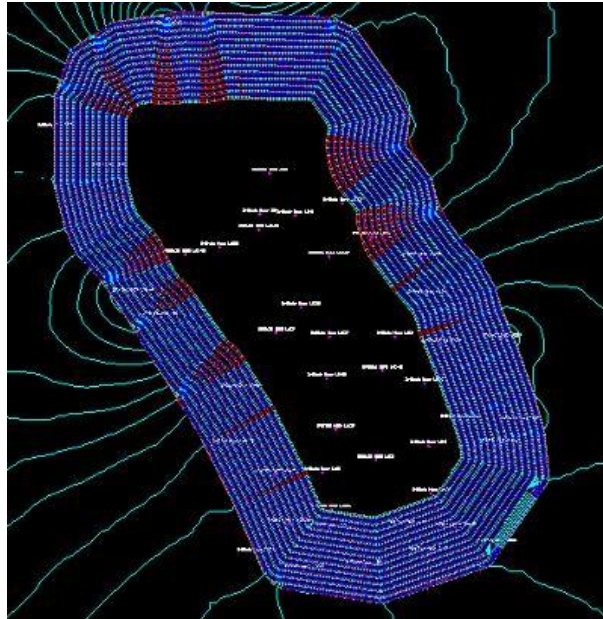


Εικόνα 4.109 Επιφάνεια με σχεδιασμένες βαθμίδες σε συνδυασμό με το μοντέλο κυψελίδων.

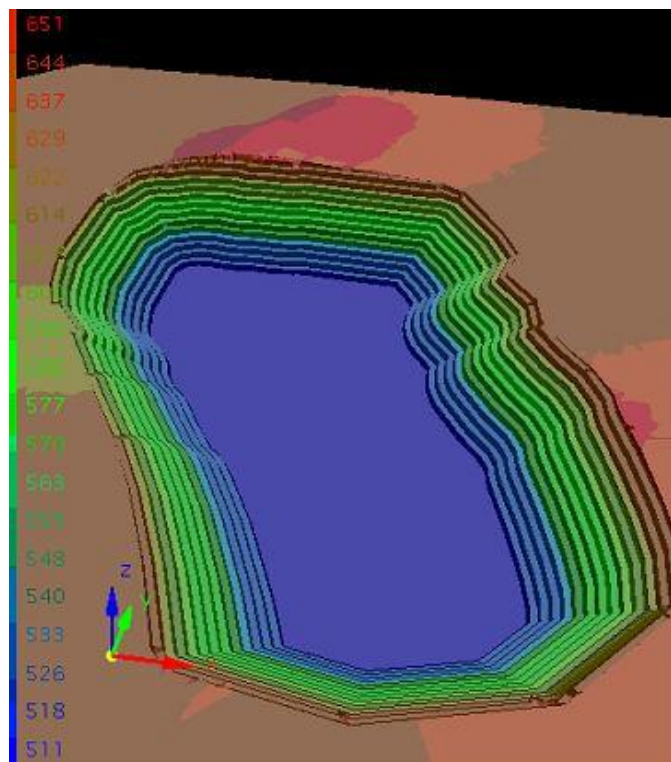


Εικόνα 4.110 Επιφάνεια με σχεδιασμένες βαθμίδες σε συνδυασμό με το μοντέλο κυψελίδων και ενεργοποιημένο μόνο το Layer του λιγνίτη.

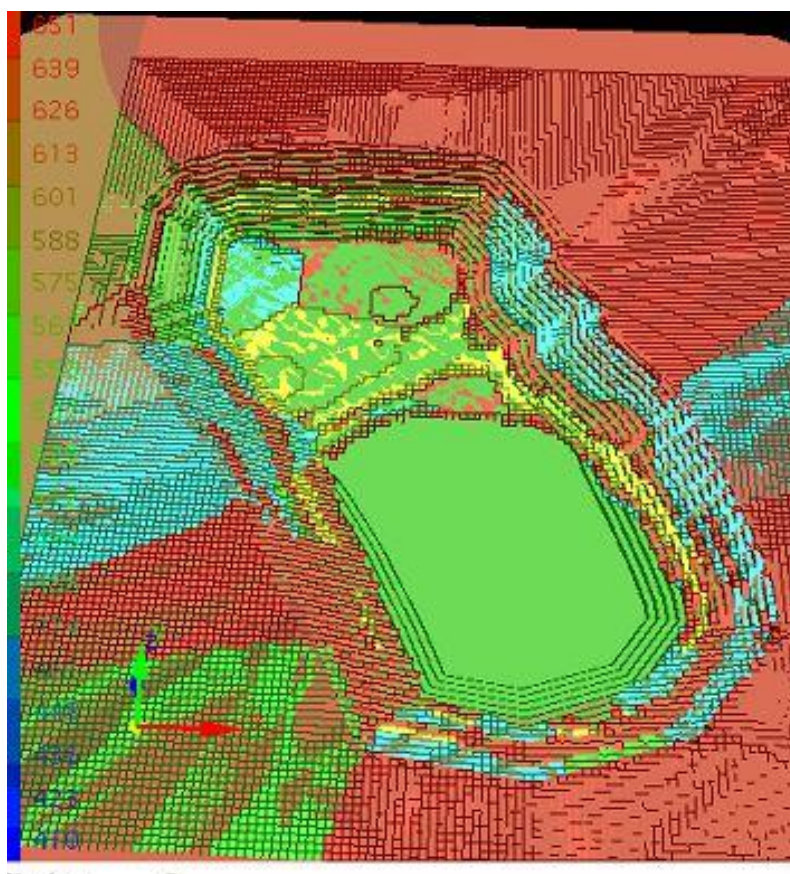
Όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα 4.6.1 έχει γίνει σχεδιασμός με την επέκταση των ορίων της εκμετάλλευσης. Ακολουθώντας την άνωθεν διαδικασία αλλά χρησιμοποιώντας σε αυτήν την περίπτωση τα αρχεία μορφής .grd και .tin που δημιουργήθηκαν κατά τον σχεδιασμό της επέκτασης δημιουργήθηκαν τα αποτελέσματα που απεικονίζονται στις Εικόνες 4.111, 4.112, 4.113.



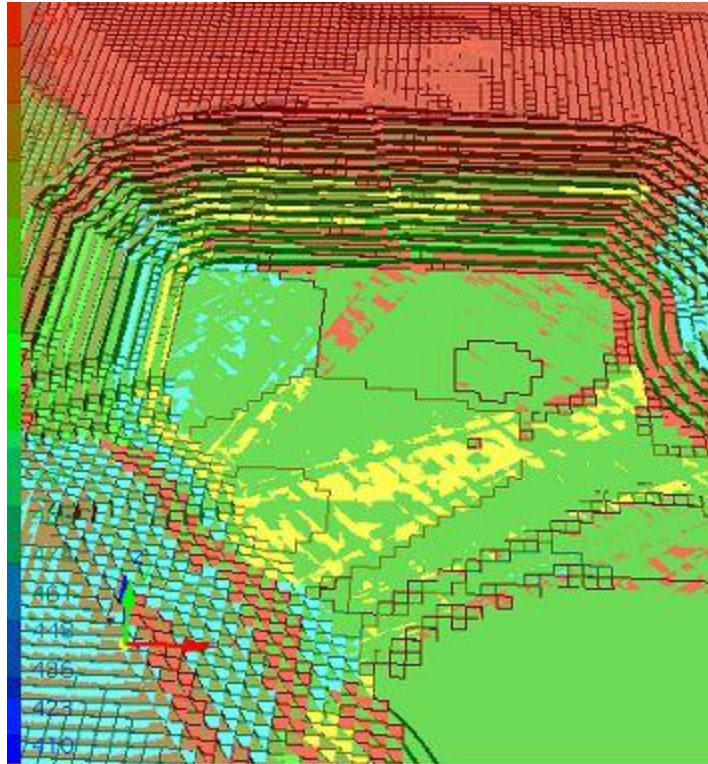
Εικόνα 4.111 Σχεδιασμός βαθμίδων ύψους 10 m και πλάτους 20 m σε κάτοψη μετά την επέκταση.



Εικόνα 4.112 Επιφάνεια με σχεδιασμένες βαθμίδες ύψους 10 m και πλάτους 20 m μετά την επέκταση.

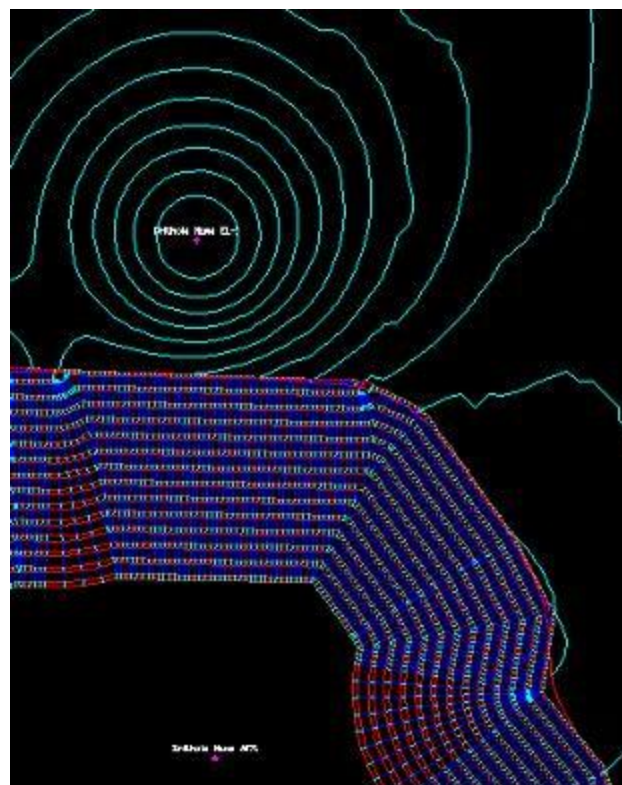


Εικόνα 4.113 Επιφάνεια με σχεδιασμένες βαθμίδες σε συνδυασμό με το μοντέλο κυψελίδων μετά την επέκταση.

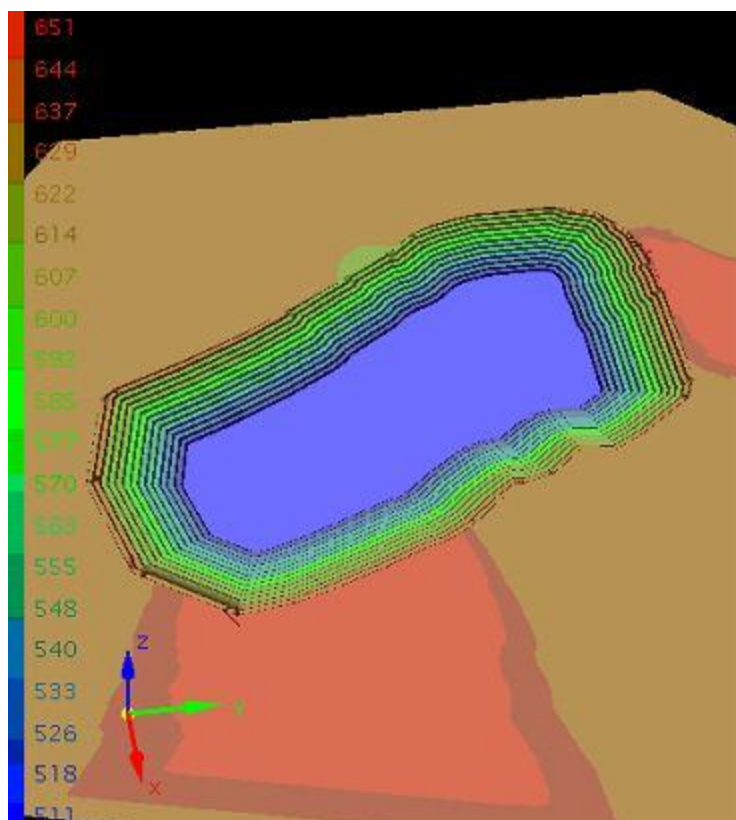


Εικόνα 4.114 Επιφάνεια με σχεδιασμένες βαθμίδες σε συνδυασμό με το μοντέλο κυψελίδων με εμφανή τον λιγνίτη που λαμβάνει χώρο στην βορειοδυτική πλευρά όπου και έγινε η επέκταση.

Πέραν των προαναφερθέντων, άξιο αναφοράς είναι πως μετά την επέκταση των ορίων, στο βορειοανατολικό τμήμα του ορυχείου τα όρια βρίσκονται πολύ κοντά σε έναν λόφο ύψους 12 m και κλίσης περίπου 55 μοιρών (Εικόνα 4.115). Σε εκείνο το τμήμα του ορυχείου το βάθος ξεπερνά ελάχιστα τα 60 m και γίνεται κατανοητό πως το αθροιστικό υψόμετρο ξεπερνά τα 72 m. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τους μαλακούς σχηματισμούς από τους οποίους αποτελείται ο λόφος (άργιλος κατά κύριο λόγο) και της κλίσης του, μπορεί να δημιουργήσει περαιτέρω προβλήματα ευστάθειας των πρανών και να δημιουργήσει συνθήκες αστάθειας. Για αυτό το λόγο έγινε μία εξομάλυνση του γεωγραφικού ανάγλυφου σε εκείνο το τμήμα του πεδίου μέσω της του λογισμικού Carlson Surface Mining και από την καρτέλα Surface με την εντολή Define Fill/Cut Design. Ουσιαστικά ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία που επέφερε ως αποτέλεσμα τον σχεδιασμό βαθμίδων, μόνο που αυτή τη φορά η εντολή Cut χρησιμοποιήθηκε για την αφαίρεση άγονων στείρων υλικών εκτός του ορυχείου που θα έκαναν δυσχερείς τις συνθήκες σε ένα συγκεκριμένο τμήμα του. Το αποτέλεσμα φαίνεται στην Εικόνα 4.116 όπου με κόκκινο χρώμα εμφανίζονται τα σημεία τα οποία δέχτηκαν παρεμβολή για εξομάλυνση του ανάγλυφου.



Εικόνα 4.115 Κάτοψη του βορειοανατολικού τμήματος του ορυχείου.



Εικόνα 4.116 Επιφάνεια με σχεδιασμένες βαθμίδες ύψους 10 m και πλάτους 20 m μετά την επέκταση και την εξομάλυνση του γεωγραφικού ανάγλυφου.

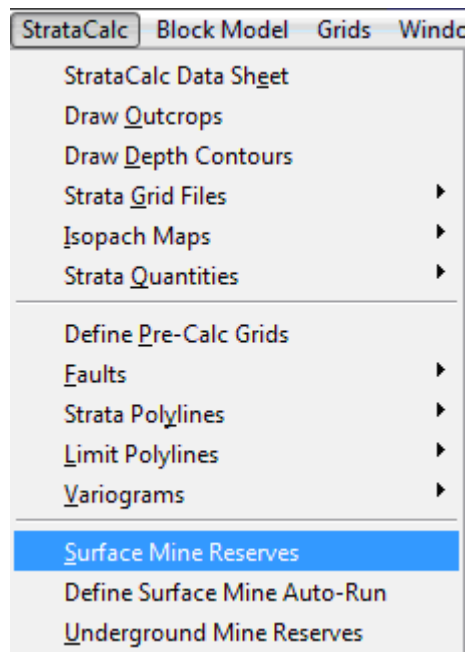
4.7 Υπολογισμός αποθεμάτων

Ο υπολογισμός των αποθεμάτων είναι μια ιδιαίτερα κρίσιμη διαδικασία κατά τη μελέτη εκπόνησης της εκμετάλλευσης ενός κοιτάσματος, καθώς τα αποθέματα είναι αυτά τα οποία θα επηρεάσουν σε συνδυασμό και με άλλους παράγοντες (ποιότητα, κόστος εκμετάλλευσης, τιμή πώλησης, κ.α) την οικονομικότητα της εκμετάλλευσης. Τα απολήψιμα αποθέματα (και όχι τα γεωλογικά αποθέματα) είναι εκείνα τα οποία εν ενδιαφέρουν την εκμετάλλευση και ο υπολογισμός τους θα καθορίσει σε σημαντικό βαθμό αν θα πραγματοποιηθεί μία επένδυση ή όχι. Άρα καθίσταται σαφές πως, ο όσο το δυνατόν, ακριβέστερος υπολογισμός τους κρίνεται αναγκαία κατά το στάδιο του σχεδιασμού της εκμετάλλευσης.

Για να επιτευχθεί, όσο το δυνατόν, ακριβέστερος υπολογισμός των αποθεμάτων χρησιμοποιήθηκαν 3 διαφορετικές γεωμετρικές και γεωστατιστικές μέθοδοι καθώς και η μέθοδος κυψελίδων. Με αυτόν τον τρόπο έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη αξιοπιστία, σε σχέση με την περίπτωση που ο υπολογισμός θα γινόταν μόνο με μία μέθοδο.

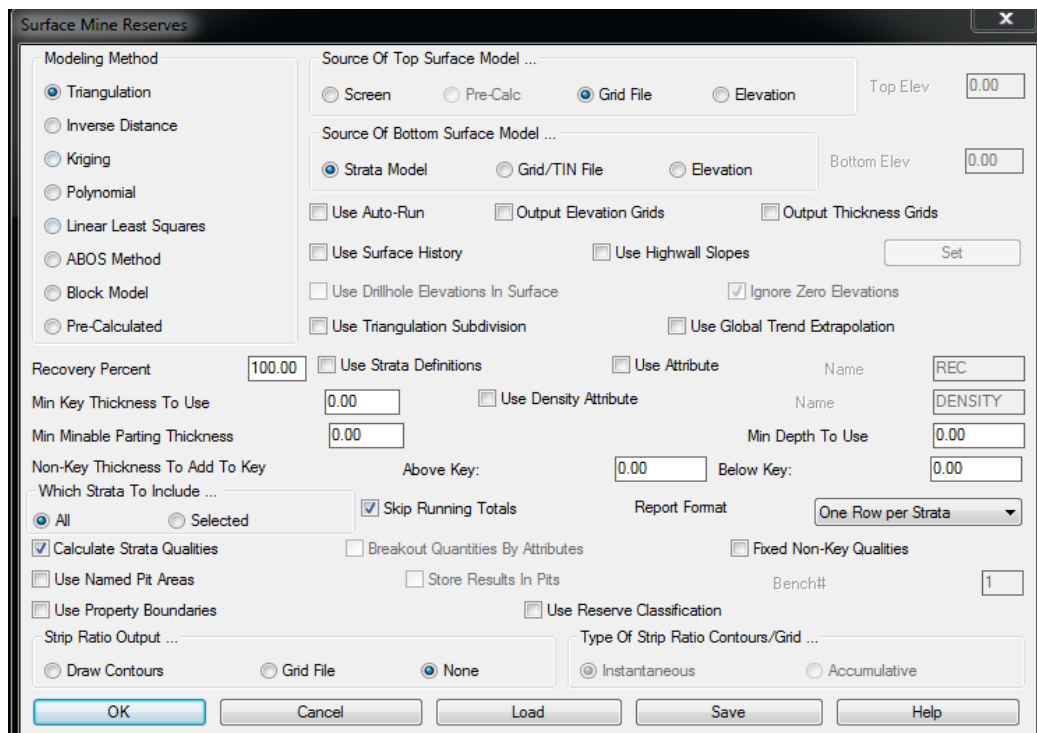
Για τον υπολογισμό των αποθεμάτων επιλέγεται η εντολή Surface Mine Reserves από την καρτέλα StrataCalc (Εικόνα 4.117). Στο παράθυρο που

εμφανίζεται ο χρήστης δύναται να επιλέξει την μέθοδο με την οποία θα πραγματοποιήσει το λογισμικό τον υπολογισμό των αποθεμάτων καθώς και να μεταβάλει κάποιες παραμέτρους του υπολογισμού όπως η αποληψιμότητα του κοιτάσματος ή το βάθος μέχρι το οποίο θα πραγματοποιηθεί η εκμετάλλευση.



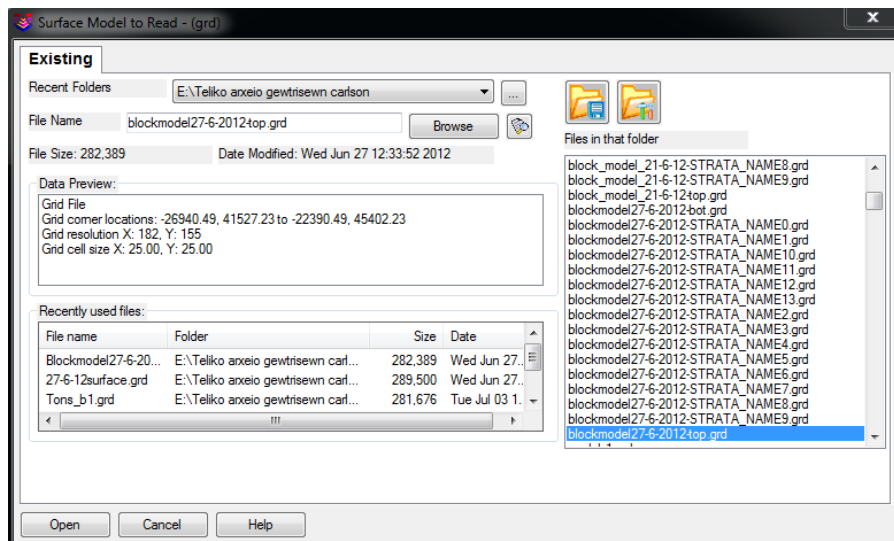
Εικόνα 4.117 Επιλογή εντολής για τον υπολογισμό αποθεμάτων.

Η πρώτη μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η μέθοδος τριγωνοποίησης (Triangulation), η οποία ανήκει στην κατηγορία των γεωμετρικών μεθόδων, και στο παράθυρο που αναφέρεται άνωθεν επιλέχτηκαν οι επιλογές όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.118.



Εικόνα 4.118 Ρυθμίσεις για τον υπολογισμό των αποθεμάτων σύμφωνα με τη μέθοδο Triangulation.

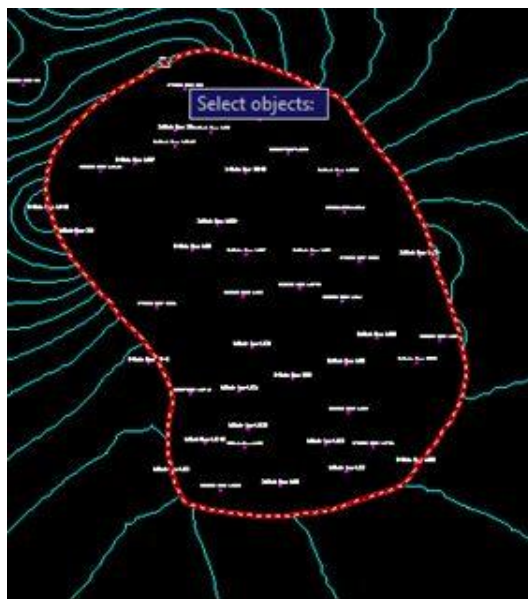
Εν συνεχεία ζητείται να δοθεί το αρχείο της μορφής .grd (Εικόνα 4.119) το οποίο δημιουργήθηκαν κατά τη δημιουργία του μοντέλου κυψελίδων (Ενότητα 4.3) και είναι απαραίτητο για τον υπολογισμό καθώς πάνω σε αυτό έχουν καθοριστεί τα όρια του κοιτάσματος.



Εικόνα 4.119 Επιλογή αρχείου της μορφής .grd

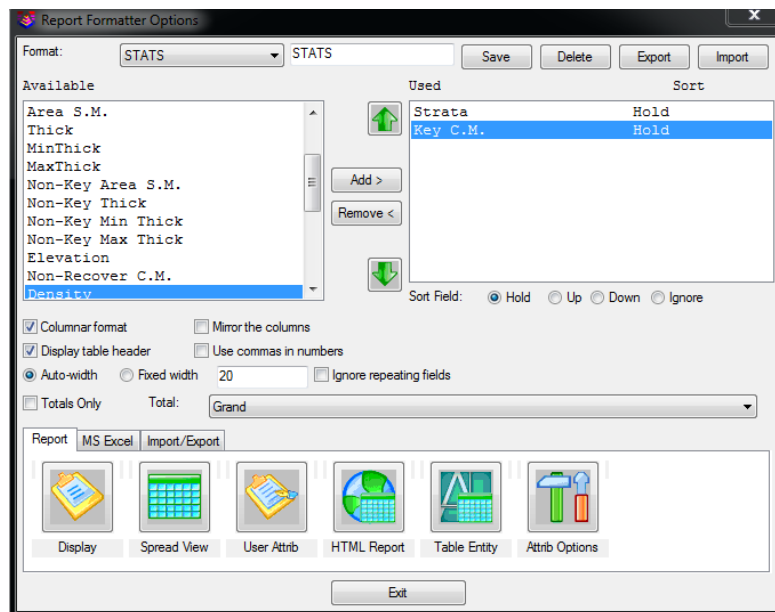
Έπειτα ζητούνται να οριστούν τα όρια του κοιτάσματος για τα οποία θα γίνει υπολογισμός των αποθεμάτων. Σε αυτό το στάδιο επιλέγεται η 3D Polyline που

είχε δημιουργηθεί για την οριοθέτηση των ορίων του κοιτάσματος κατά τη διαδικασία που περιγράφεται στην ενότητα 4.6.1 (Εικόνα 4.120).

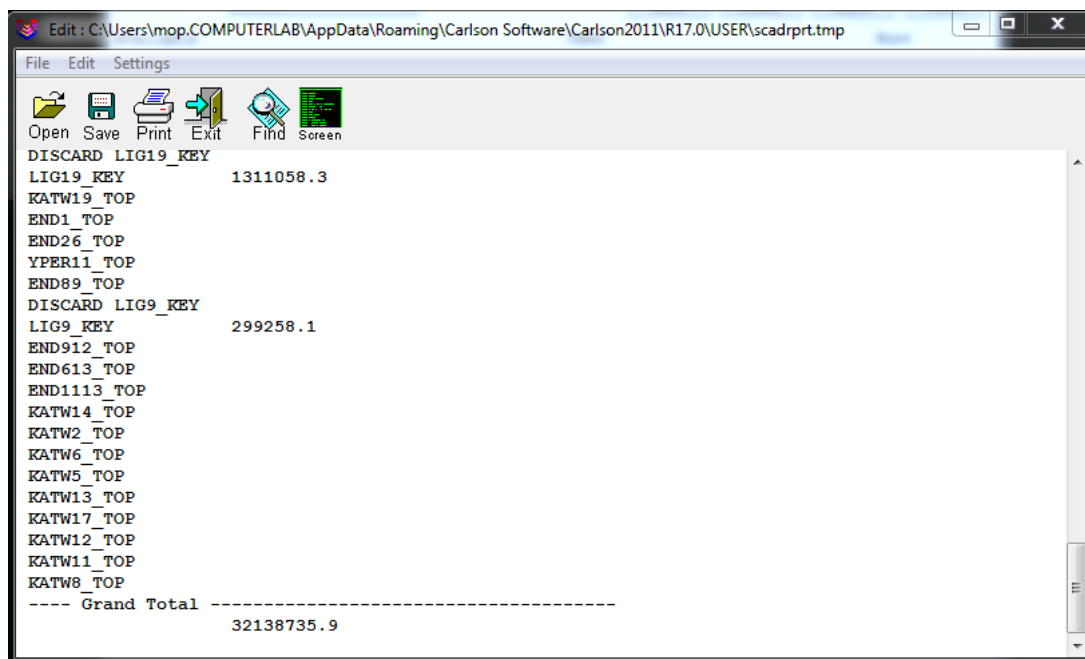


Εικόνα 4.120 Επιλογή των ορίων του κοιτάσματος.

Στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγονται τα στοιχεία τα οποία είναι επιθυμητό να εμφανιστούν στην τελική αναφορά υπολογισμού αποθεμάτων. από τον πίνακα Available επιλέγεται το στοιχείο Key C.M. (Εικόνα 4.121) καθώς με τον όρο Key έχει χαρακτηριστεί μόνο το χρήσιμο ορυκτό, που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ο λιγνίτης, και μεταφέρεται με το βέλος στον πίνακα Used. Πατώντας στην εντολή Display της καρτέλας Report ανοίγει η αναφορά με τους υπολογισμούς (Εικόνα 4.122).



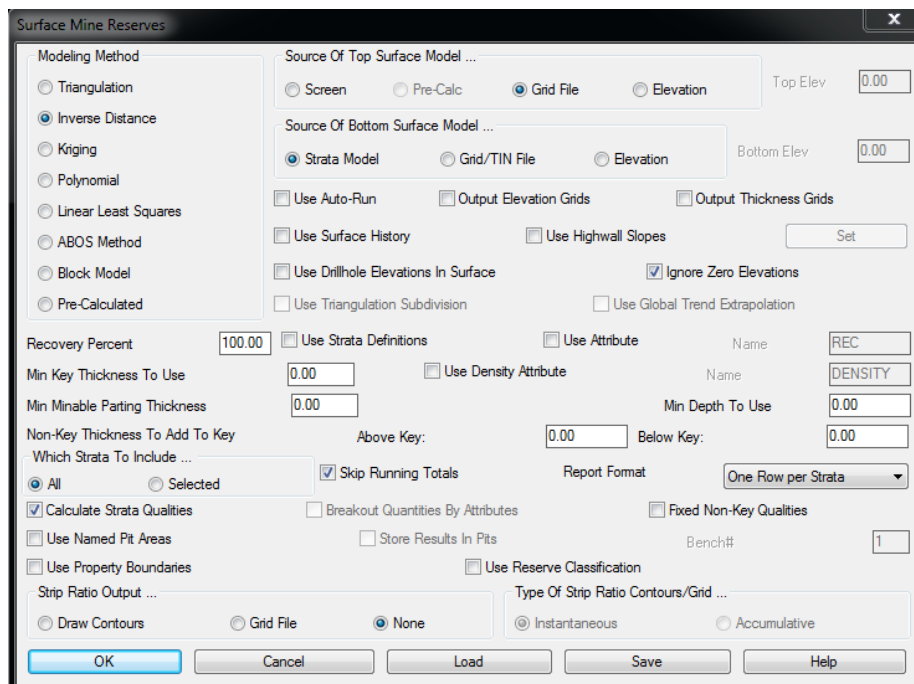
Εικόνα 4.121 Ρυθμίσεις για εξαγωγή της αναφοράς υπολογισμού αποθεμάτων.



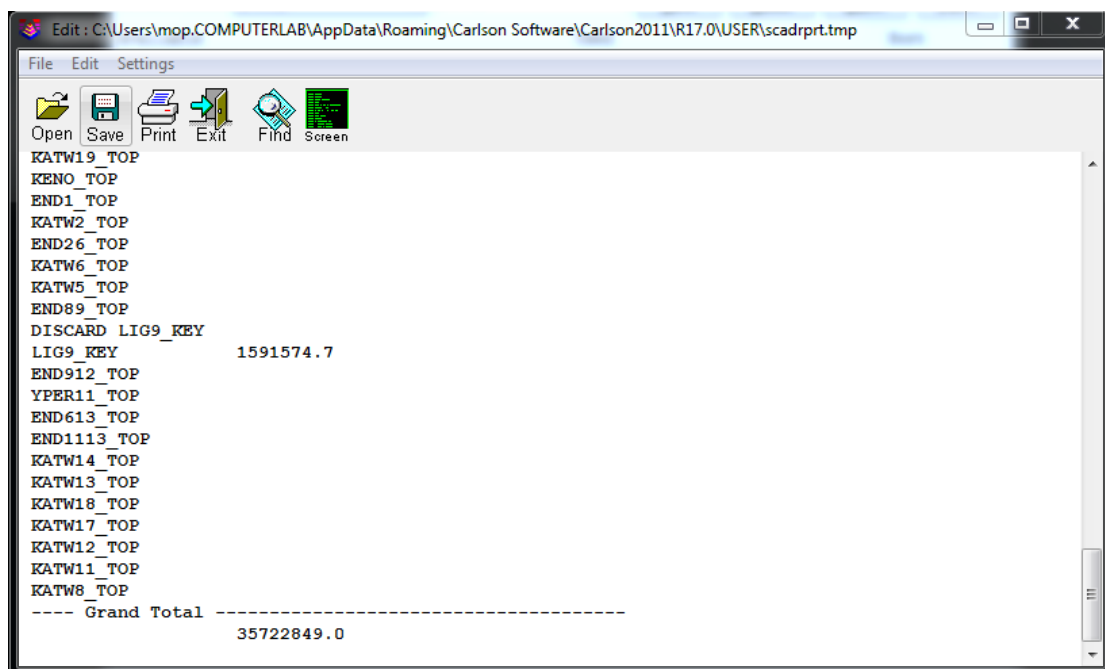
Εικόνα 4.122 Αναφορά υπολογισμού αποθεμάτων με την μέθοδο Triangulation.

Με την μέθοδο τριγωνποίησης τα γεωλογικά αποθέματα του λιγνίτη υπολογίστηκαν σε $32.12 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία και επιλέγοντας τα απαιτούμενα, από το λογισμικό, αρχεία αλλά και τα όρια του κοιτάσματος έγινε και η εξαγωγή αποτελεσμάτων με την μέθοδο αντιστρόφων αποστάσεων (Inverse Distance) (Εικόνα 4.123). Τα αποτελέσματα φαίνονται στην Εικόνα 4.124.



Εικόνα 4.123 Ρυθμίσεις για τον υπολογισμό των αποθεμάτων σύμφωνα με την μέθοδο Inverse Distance.



Εικόνα 4.124 Αναφορά υπολογισμού αποθεμάτων με την μέθοδο Inverse Distance.

Με την μέθοδο αντιστρόφων αποστάσεων τα γεωλογικά αποθέματα του λιγνίτη υπολογίστηκαν σε $35.72 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

Εν συνεχεία και αντίστοιχα με τις άνωθεν επιλογές έγινε η επιλογή της μεθόδου Kriging, η οποία ανήκει στις γεωστατιστικές μεθόδους, (Εικόνα 4.125) και μετέπειτα η επιλογή της μεθόδου Kriging Gaussian (Εικόνα 4.126). Τα αποτελέσματα της μεθόδου απεικονίζονται στην Εικόνα 4.127.

Surface Mine Reserves

Modeling Method

- ☐ Triangulation
- ☐ Inverse Distance
- ☒ Kriging
- ☐ Polynomial
- ☐ Linear Least Squares
- ☐ ABOS Method
- ☐ Block Model
- ☐ Pre-Calculated

Source Of Top Surface Model ...

- ☐ Screen
- ☐ Pre-Calc
- ☒ Grid File
- ☐ Elevation

Top Elev 0.00

Source Of Bottom Surface Model ...

- ☒ Strata Model
- ☐ Grid/TIN File
- ☐ Elevation

Bottom Elev 0.00

☐ Use Auto-Run ☐ Output Elevation Grids ☐ Output Thickness Grids

☐ Use Surface History ☐ Use Highwall Slopes

☐ Use Drillhole Elevations In Surface ☒ Ignore Zero Elevations

☐ Use Triangulation Subdivision ☐ Use Global Trend Extrapolation

Recovery Percent 100.00 ☐ Use Strata Definitions ☐ Use Attribute Name REC

Min Key Thickness To Use 0.00 ☐ Use Density Attribute Name DENSITY

Min Movable Parting Thickness 0.00 Min Depth To Use 0.00

Non-Key Thickness To Add To Key Above Key: 0.00 Below Key: 0.00

Which Strata To Include ... ☒ All ☐ Selected ☒ Skip Running Totals Report Format One Row per Strata

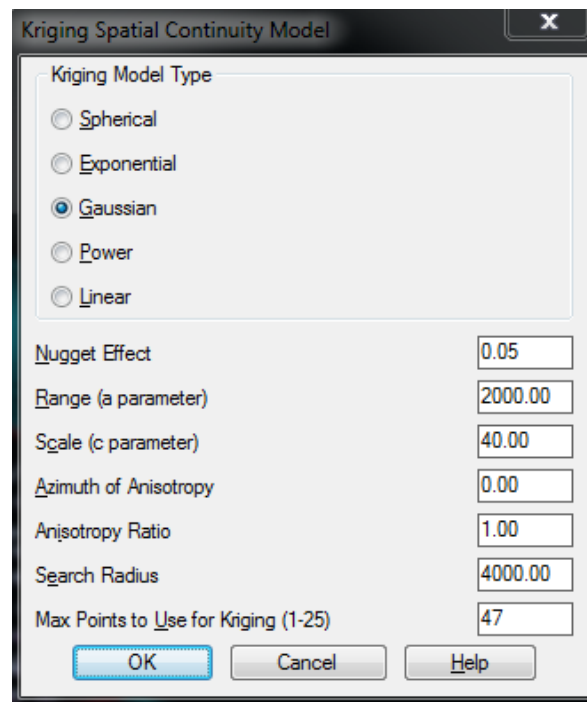
☒ Calculate Strata Qualities ☐ Breakout Quantities By Attributes ☐ Fixed Non-Key Qualities

☐ Use Named Pit Areas ☐ Store Results In Pits Bench# 1

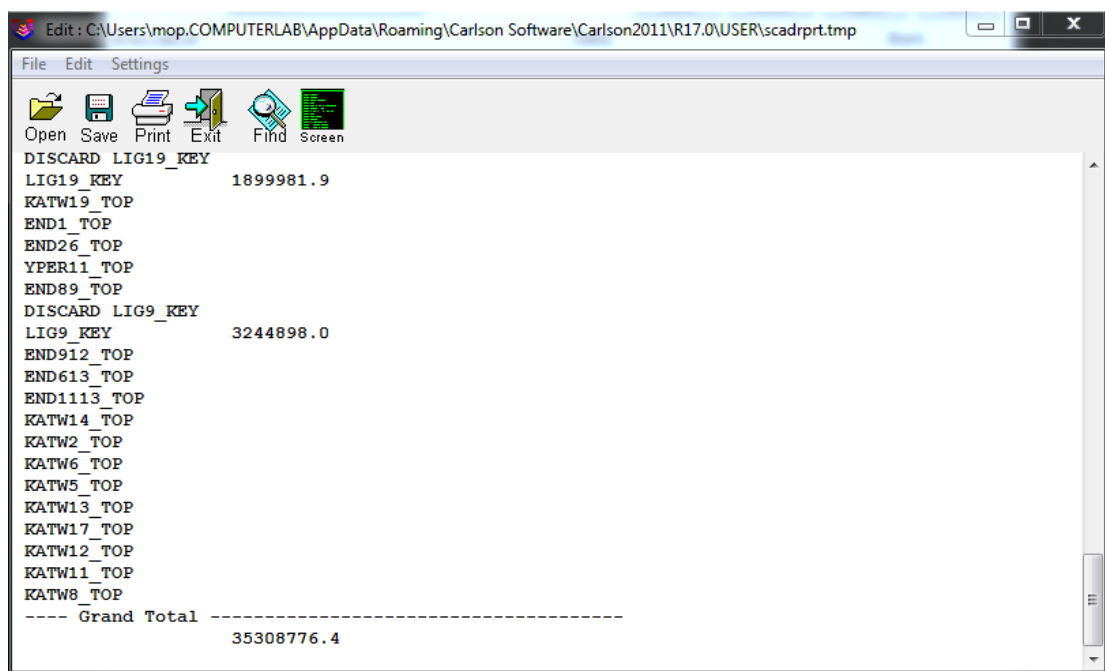
☐ Use Property Boundaries ☐ Use Reserve Classification

Strip Ratio Output ... ☐ Draw Contours ☐ Grid File ☒ None Type Of Strip Ratio Contours/Grid ... ☒ Instantaneous ☐ Accumulative

Εικόνα 4.125 Ρυθμίσεις για τον υπολογισμό των αποθεμάτων σύμφωνα με την μέθοδο Kriging.



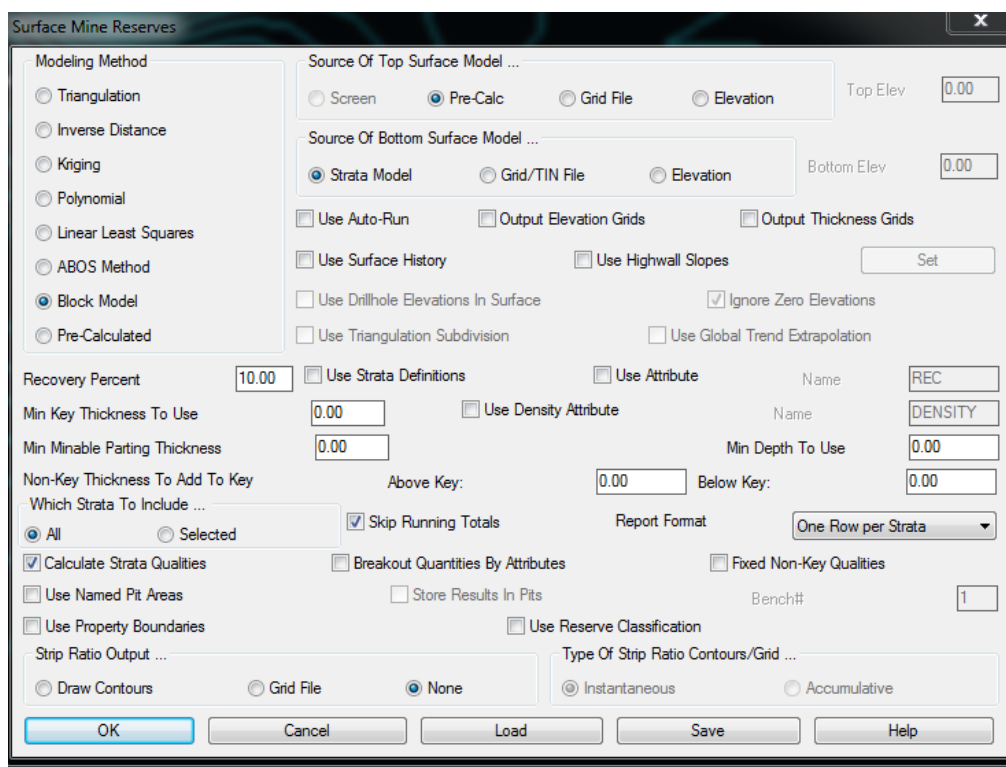
Εικόνα 4.126 Ρυθμίσεις για τον υπολογισμό των αποθεμάτων σύμφωνα με τη μέθοδο Kriging Gaussian.



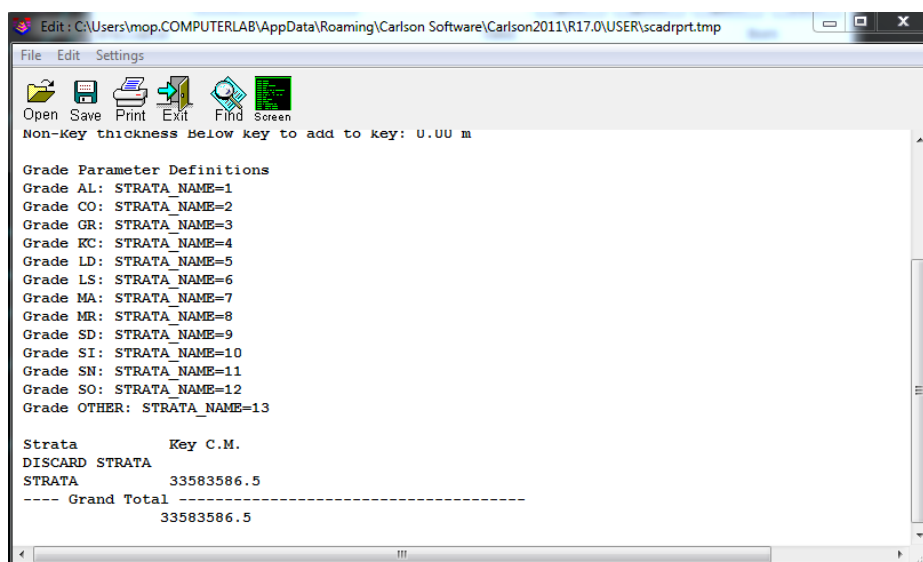
Εικόνα 4.127 Αναφορά υπολογισμού αποθεμάτων με την μέθοδο Kriging Gaussian.

Με την μέθοδο Kriging Gaussian τα γεωλογικά αποθέματα του λιγνίτη υπολογίστηκαν σε $35.30 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

Η τελευταία μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η μέθοδος των κυψελίδων. Η επιλογή της μεθόδου φαίνεται στην Εικόνα 4.128 και τα αποτελέσματα αυτής στην Εικόνα 4.129.



Εικόνα 4.128 Ρυθμίσεις για τον υπολογισμό των αποθεμάτων σύμφωνα με τη μέθοδο μοντέλου κυψελίδων.



Εικόνα 4.129 Αναφορά υπολογισμού αποθεμάτων με τη μέθοδο μοντέλου κυψελίδων.

Με την μέθοδο μοντέλου κυψελίδων τα γεωλογικά αποθέματα του λιγνίτη υπολογίστηκαν σε $33.58 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

Συνοψίζοντας τα παραπάνω αποτελέσματα δημιουργήθηκε ο πίνακας 4.2 ο οποίος δείχνει συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα, ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε, τον μέσο όρο αυτών και θεωρώντας το ειδικό βάρος του λιγνίτη ίσο με $1,2 \text{ g / cm}^3$, έγινε και η μετατροπή των αποθεμάτων από m^3 σε τόνους.

Πίνακας 4.2 Συγκεντρωτικά, τα αποτελέσματα των γεωλογικών αποθεμάτων.

Μέθοδος	Αποθέματα σε m^3	Αποθέματα σε τόνους
Triangulation	$32.12 \cdot 10^6$	$38.55 \cdot 10^6$
Inverse Distance	$35.72 \cdot 10^6$	$42.86 \cdot 10^6$
Kriging	$35.30 \cdot 10^6$	$42.37 \cdot 10^6$
Block Model ($\Delta x = \Delta y = \Delta z = 2$)	$33.58 \cdot 10^6$	$40.30 \cdot 10^6$
Block Model ($\Delta x = \Delta y = 50$ και $\Delta z = 0,2$)	$36.05 \cdot 10^6$	$43.26 \cdot 10^6$
Μέσος Όρος	$34.18 \cdot 10^6$	$41.02 \cdot 10^6$

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις γίνεται λόγος για τα γεωλογικά αποθέματα και όχι για τα απολήψιμα αποθέματα λιγνίτη. Η απόκλιση από τα απολήψιμα αποθέματα λιγνίτη είναι της τάξης των 10 εκ. τόνων σύμφωνα με τα υπολογιμένα αποθέματα από την Δ.Ε.Η που ανέρχονται περίπου στα 30 εκ. τόνοι. Αυτό συμβαίνει γιατί τα όρια του κοιτάσματος σε κάθε περίπτωση δεν αποτυπώνουν το πραγματικό σχήμα του ορυχείου, το οποίο θα ήταν κόλινος κώνος, αλλά λαμβάνουν σαν σχήμα το πολύγωνο εκείνο το οποίο δημιουργείται από τα όρια που του έχουν οριστεί, και εκτείνονται κάθετα προς τον άξονα Z, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα αποθέματα του λιγνίτη τα οποία βρίσκονται μέσα σε αυτό

Τα αποθέματα θεωρούνται γεωλογικά, σύμφωνα με τα όρια τα οποία έχουν οριστεί. Αν τελικά πραγματοποιηθεί επέκταση του ορυχείου είναι πολύ πιθανό η απόκλιση των γεωλογικών και απολήψιμων αποθεμάτων να μειωθεί. Αυτό συμβαίνει γιατί η επέκταση των ορίων του ορυχείου, και κατ' επέκταση ο μετέπειτα σχεδιασμός αυτού, θα έχουν σαν αποτέλεσμα την αποκάλυψη, μέρους του κοιτάσματος, το οποίο με τον αρχικό σχεδιασμό δεν θεωρείτο απολήψιμο, και άρα ανήκε μόνο στα γεωλογικά αποθέματα. Με δεδομένη την

επέκταση, και την αποκάλυψη μεγαλύτερου ποσοστού του κοιτάσματος, ο λόγος απολήψιμα προς γεωλογικά αποθέματα θα μεγαλώνει με μέγιστη τιμή την μονάδα που θα σηματοδοτεί και την πλήρη εξόφληση των αποθεμάτων του κοιτάσματος, σε περίπτωση που επιτευχθεί αυτή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Συμπεράσματα και Προτάσεις

5.1 Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από την εκπόνηση της παρούσας εργασίας είναι:

- Ο χαρακτηρισμός των γεωλογικών στρωμάτων, είτε από τον γεωλόγο είτε από τον μηχανικό, είναι πολύ σημαντικός για την δημιουργία των κατάλληλων προϋποθέσεων ανάπτυξης του ψηφιακού γεωλογικού μοντέλου
- Για την δημιουργία του γεωλογικού μοντέλου η επεξεργασία των δεδομένων μπορεί να γίνει με 2 τρόπους. Και στους 2 τρόπους λαμβάνονται και τα ρήγματα σαν δεδομένα:
 1. χρησιμοποιείται η τεχνική Block Model στην οποία δίνονται παράμετροι για την τέφρα επί ξηρού και την θερμογόνο δύναμη.
 2. ενώνοντας τους ομοειδούς σχηματισμούς και υπολογίζοντας τον όγκο του κάθε στρώματος.
- Τα αποτελέσματα των αποθεμάτων με τις γεωστατιστικές μεθόδους παρουσιάζουν μία απόκλιση από τις γεωμετρικές γεγονός που οφείλεται στην μεγάλη ακτίνα επιρροής που λήφθηκε υπόψη τους.
- Τα αποτελέσματα από τα μοντέλα κυψελίδων όσο αναφορά τα γεωλογικά αποθέματα δεν είχαν μεγάλη απόκλιση οπότε το μοντέλο μεγάλης ανάλυσης του άξονα Z κρίνεται χρηστικό και ως προς τον χρόνο και ως προς τα αποτελέσματα.

Όσο αναφορά την χρήση του λογισμικού πακέτου Carlson παρατηρήθηκε πως αποτελεί ένα εύχρηστο λογισμικό για τον σχεδιασμό υπαιθρίων εκμεταλλεύσεων λιγνίτη αλλά και αρκετά απαιτητικό όσο αναφορά τον υπολογιστή στον οποίο θα «τρέξει» ο χρήστης το συγκεκριμένο πρόγραμμα. Το συγκεκριμένο λογισμικό περιέχει όλα όσα χρειάστηκαν για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας, σε συνδυασμό με το λογισμικό AutoCad, ενώ άξιο αναφοράς είναι πως δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει συγκεκριμένο εξοπλισμό και πραγματικό

χρόνο ανά βάρδια εργασίας, και να παράγει ως αποτέλεσμα αυτού, το χρονοδιάγραμμα μέχρι την εξόφληση του ορυχείου. Επίσης σε κάθε φάση της εκμετάλλευσης δύναται το πρόγραμμα να δίνει αποτελέσματα των εξοριχθέντων όγκων, είτε άγονων είτε χρήσιμων υλικών, ενώ ταυτόχρονα μπορεί να παράγει αποτελέσματα οικονομικής φύσης αν ο χρήστης δώσει τα κόστη λειτουργίας, μεταφοράς και την αξία αν τόνου χρήσιμου μεταλλεύματος.

5.2 Προτάσεις

Για την βελτίωση της ακρίβειας του μοντέλου του κοιτάσματος με τη χρήση του λογισμικού Carlson και για την μείωση των αβεβαιοτήτων που αναπόφευκτα συνοδεύουν κάθε μελέτη εκμετάλλευσης προτείνονται τα παρακάτω:

1. Αναλυτικότερος γεωλογικός χαρακτηρισμός στις γεωτρήσεις δειγματοληψίας που θα μπορούσε να δημιουργήσει ένα μοντέλο κυψελίδων ακριβές. Έτσι ο μηχανικός θα μπορούσε να το χρησιμοποιήσει σαν αξιόπιστο οδηγό σχετικά με τους αναμενόμενους σχηματισμούς σε κάθε βάθος του ορυχείου αλλά και σε κάθε φάση της εκμετάλλευσης.
2. Δημιουργία ενός φύλλου εργασίας Excel με όλα τα στρώματα λιγνίτη και τον μέσο όρο της θερμογόνου δύναμης από το κάθε ένα, που σε συνδυασμό με το χρονοδιάγραμμα εξόρυξης του κάθε στρώματος, θα αποτελούσε ένα σημαντικό πληροφοριακό στοιχείο για τον Α.Η.Σ καθώς θα ήξερε πότε και τι ποιότητας λιγνίτη θα παραλάβει από το ορυχείο.
3. Εισαγωγή του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί για την εκμετάλλευση του κοιτάσματος, καθώς και τα κόστη λειτουργίας και μεταφοράς, ώστε να βρεθεί η πιο συμφέρουσα και οικονομική επιλογή ως προς τον εξοπλισμό. Επιπρόσθετα θα μπορούσε να παρατηρηθεί και η μεταβολή σε κόστος και παραγωγικότητα κατά την αλλαγή της μεθόδου εκμετάλλευσης από ασυνεχής σε συνεχή μέθοδο λειτουργίας, μετά το πέρας των εργασιών στο ορυχείο του Αμυνταίου και την μεταφορά του εξοπλισμού του στην Λακκιά.
4. Ακριβέστεροι υπολογισμοί αποθεμάτων με νέα όρια τα οποία να προσεγγίζουν σχηματικά τον κόλouro κώνου, ο οποίος θα είναι και το πραγματικό σχήμα του ορυχείου. Το γεγονός αυτό απαιτεί τον τρισδιάστατο σχεδιασμό και καθορισμό των ορίων με συνδυασμό των λογισμικών Carlson και Autocad και θα προσεγγίσει τα απολήψιμα αποθέματα και όχι τα γεωλογικά τα οποία έχουν υπολογιστεί στην παρούσα εργασία.
5. Ακριβέστερος σχεδιασμός των ρηγμάτων αν ληφθούν ακριβέστερες πληροφορίες για το βάθος και το μέγεθος του άλματος κάθε ρήγματος καθώς και η γωνία κλίσης για το κάθε ένα.

6. Έλεγχος και διορθώσεις στις ισοϋψείς που δημιουργεί το λογισμικό με την εισαγωγή του τοπογραφικού χάρτη του πεδίου της Λακκιάς σε ψηφιοποιημένη μορφή.
7. Χρήση υπολογιστή μεγάλων δυνατοτήτων να εξοικονομηθεί και χρόνος κατά την εκπόνηση μια τέτοια μελέτης αλλά και να γίνει αναλυτικότερος ο τρισδιάστατος σχεδιασμός των μοντέλων καθώς και η απεικόνιση των τομών.

Βιβλιογραφία

Ελληνικές πηγές:

1. Γαλετάκης Μ. (2007). Σχεδιασμός εκμεταλλεύσεων ορυκτών πόρων με ηλεκτρονικό υπολογιστή, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χάνια.
2. Καπαγερίδης Ι. (1995). Μοντελοποίηση κοιτασμάτων με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή, Πτυχιακή εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κοζάνης, Κοζάνη.
3. Μενεγάκη Μ. (2010). Σχεδιασμός Υπαίθριων Εκμεταλλεύσεων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
4. Σαράτσης Γ. (2004). Συζευγμένη γεωστατική – μηχανική ανάλυση σηράγγων, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χάνια.
5. Χρηστίδης Γ. (2005). Κοιτασματολογία Ι: Γενικές αρχές-μεταλλικά ορυκτά, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χάνια.
6. Μπατάλας Σ. (2011). Υπολογισμός αποθεμάτων και σχεδιασμός εκμετάλλευσης σιδηρονικελιούχου κοιτάσματος, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χάνια.
7. Μπαρλιακός Ε. (2011). Σχεδιασμός εκμετάλλευσης βοξιτικού κοιτάσματος, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χάνια.
8. Δεληγιαννίδου Π. (2006). Ανάλυση γεωτρητικών δεδομένων για το ορυχείο Αμυνταίου, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χάνια.
9. Ελευθερίου Ι. (2009). Ευστάθεια πρανών ορυχείου Λακκιάς και επανασχεδιασμός των ορίων εκμετάλλευσης, Διπλωματική Εργασία, Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
10. Καβουρίδης Κ. (1992). Υπολογισμός απόδοσης καδοφόρου εκσκαφέα, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χάνια.
11. Παπανικολάου Κ. (2006). Λιγνίτες στην Ελλάδα: Ιδιότητες, Χρήσεις και Προοπτικές, ΤΕΕ, Αθήνα.

Διαδικτυακές πηγές:

1. <http://www.dei.gr> τελευταία επίσκεψη στις 16 Σεπτεμβρίου 2012.
2. <http://www.geo.auth.gr/106/1elements/lignite.htm>. τελευταία επίσκεψη στις 16 Σεπτεμβρίου 2012.
3. <http://www.mines.nic.in> τελευταία επίσκεψη στις 16 Σεπτεμβρίου 2012.
4. <http://www.usgs.gov> τελευταία επίσκεψη στις 16 Σεπτεμβρίου 2012.
5. <http://www.igme.gr> τελευταία επίσκεψη στις 16 Σεπτεμβρίου 2012.