

Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων

**«Υπολογισμός αποθεμάτων και σχεδιασμός προσπέλασης
βωξιτικού κοιτάσματος»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΖΑΧΑΡΟΠΟΥΛΟΣ ΧΑΡΙΛΑΟΣ



Εξεταστική επιτροπή:

Αγιουτάντης Ζαχαρίας, Καθηγητής (επιβλέπων)

Εξαδάκτυλος Γεώργιος, Καθηγητής

Χριστόπουλος Διονύσιος, Καθηγητής

Χανιά
Σεπτέμβριος 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί την Διπλωματική μου εργασία στα πλαίσια των σπουδών μου στο τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η εκπόνησή της ξεκίνησε τον Γενάρη του 2011 και ολοκληρώθηκε τον Αύγουστο του ίδιου έτους, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Ζαχαρία Αγιουτάντη.

Με την ευκαιρία της ολοκλήρωσης της εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κ. Αγιουτάντη για την πολύτιμη βοήθεια, τον χρόνο και την καθοδήγησή του που συνετέλεσαν στην επιτυχή διεκπεραίωσή της.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στην Φωτεινή Σταθογιάννη και στον Στυλιανό Μαυριγιαννάκη που με την πολύτιμη βοήθειά τους έδωσαν λύσεις ώστε να ολοκληρωθεί η εργασία.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου για την συμπαράσταση και την υπομονή τους καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει στόχο αφενός μεν την δημιουργία των μοντέλων κοιτάσματος και υπολογισμό εκμεταλλεύσιμων όγκων βωξιτικού κοιτάσματος, αφετέρου έναν πρώτο σχεδιασμό έργων προσπέλασης. Η εφαρμογή γίνεται με βάση γεωτρήσεις στην περιοχή Παρνασσού Γκιώνας.

Για την επίτευξη του στόχου αυτού χρησιμοποιήθηκαν διάφορα προγράμματα του λογισμικού πακέτο Carlson Software. Με την βοήθεια του λογισμικού το οποίο λειτουργεί σε περιβάλλον autocad, δημιουργήθηκε αρχικά το ανάγλυφο της επιφάνειας, οριοθετήθηκε το κοίτασμα με την εισαγωγή των γεωτρήσεων και έγινε η τρισδιάστατη μοντελοποίηση του. Στη συνέχεια έγινε ο υπολογισμός του όγκου για διαφορετικές τρόπους συσχετισμού των γεωτρητικών δεδομένων και για διαφορετικά ύψη απολήψιμου μεταλλεύματος. Τέλος σχεδιάστηκαν τα έργα προσπέλασης.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται δισδιάστατες ή προοπτικές απεικονήσεις μέσα από το περιβάλλον λειτουργίας του λογισμικού πακέτου.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.1 Βωξίτες	6
1.1.1 Βωξιτογένεση	6
1.1.2 Ιδιότητες βωξίτη	9
1.1.3 Ελληνικοί βωξίτες και η σημασία τους	10
1.2 Ελληνικές εταιρίες εκμετάλλευσης βωξίτη	11
1.2.1 Δελφοί-Δίοτομον Α.Μ.Ε.	13
1.2.2 Γεωλογικά στοιχεία της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας	13
1.2.3 Εκμετάλλευση βωξιτικών κοιτασμάτων	19
2. ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ	21
2.1 Εισαγωγή	21
2.2 Μέθοδος δικτύου τριγώνων	22
2.3 Μέθοδος των αντίστροφων αποστάσεων	23
2.4 Μέθοδος Kriging	26
2.4.1 Κανονικό (Ordinary) Kriging	29
2.4.2 Προϋποθέσεις για την εφαρμογή της μεθόδου Kriging	31
2.5 Πολυωνιμικές συναρτήσεις	32
2.6 Συναρτήσεις τύπου Splines	34
3. ΥΠΟΓΕΙΑ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗ	35
3.1 Γενικά	35
3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την υπόγεια προσπέλαση	36
3.3 Θέση των έργων προσπέλασης	40
3.4 Όρυξη στοών	41
3.5 Σχεδιασμός και μέσα υποστήριξης	46
3.6 Εναλλακτικοί τρόποι όρυξης στοών	50
3.7 Διάρθρωση και ανατίναξη για την διάνοιξη στοών	51
3.7.1 Διατρήματα	51
3.7.2 Γόμωση	54
3.7.3 Έναυση εκρηκτικών	56

3.8 Καθορισμός ετήσιας παραγωγής μεταλλείου	58
4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΡΓΩΝ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗΣ	61
4.1 Δημιουργία ανάγλυφου της επιφάνειας.....	61
4.2 Δημιουργία κοιτάσματος από γεωτρήσεις.....	65
4.2.1 Εισαγωγή ονομάτων στις γεωτρήσεις	73
4.2.2 Δημιουργία γεωλογικών στηλών.....	75
4.2.3 Δημιουργία γεωλογικών τομών.....	80
4.3 Υπολογισμός αποθεμάτων	82
4.4 Σχεδιασμός των έργων προσπέλασης	92
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	97
5.1 Συμπεράσματα	97
5.2 Προτάσεις.....	99
Βιβλιογραφία	100

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Βωξίτες

Οι βωξίτες μαζί με τα νικελιούχα λατεριτικά και τα σιδηρολατεριτικά κοιτάσματα είναι ορυκτές πρώτες ύλες που ανήκουν στην κατηγορία των λατεριτών. Οι λατερίτες σχηματίζονται από χημική αποσάθρωση υπερβασικών, βασικών και όξινων πετρωμάτων σε τροπικά ή υποτροπικά περιβάλλοντα. Οι βωξίτες είναι λατερίτες πλούσιοι σε Al_2O_3 και φτωχοί σε SiO_2 και Fe_2O_3 , οι οποίοι αποτελούνται από μείγμα υδροξειδίων του αργιλίου και παρουσιάζουν αξιοσημείωτη διακύμανση στο περιεχόμενό τους σε αργίλιο. Τέτοια υδροξείδια είναι ο βαιμίτης, το διάσπορο και ο υδραργυλίτης.

Οι βωξίτες αποτελούν την κύρια πηγή μετάλλου αλουμινίου. Το αλουμίνιο είναι ελαφρύ μέταλλο που δεν σκουριάζει εύκολα και γι' αυτό βρίσκει πολλές εφαρμογές. Για την χημική βιομηχανία το οξείδιο του σιδήρου δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 2% και το SiO_2 το 12%. Για λειαντικούς σκοπούς το πυρίτιο και τα οξείδια του σιδήρου θα πρέπει να είναι λιγότερο από 5% και 6% αντίστοιχα (Χρηστίδης , 2009) (Εικόνα 1.1).



Εικόνα 1.1 Δείγμα βωξίτη (<http://www.chemical-engineering.co/wp-content/uploads/2011/06/BAUXITE.jpg>)

1.1.1 Βωξιτογένεση

Τα διάφορα ορυκτά όταν βρεθούν στην επιφάνεια της γης σε συνθήκες διαφορετικές από αυτές που δημιουργήθηκαν, εξαλλοιώνονται. Στα θερμά και

υγρά κλίματα οι εξαλλοιώσεις αυτές είναι χαρακτηριστικές και συνιστούν τη λατεριτική αποσάθρωση. Με τη λατεριτική αποσάθρωση τα πετρώματα πλούσια σε Al_2O_3 είναι δυνατόν να δώσουν βωξίτες. Για να γίνει η λατεριτίωση και κατ' επέκταση η βωξιτογένεση θα πρέπει να τηρούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις (Χρησιτίδης, 2009):

- Ύπαρξη κατάλληλων πετρωμάτων.

Πετρώματα δηλαδή πλούσια σε Al_2O_3 για να σχηματιστεί βωξίτης. Πλούσια σε Al_2O_3 πετρώματα είναι τα όξινα – ενδιάμεσα και βασικά μαγματογενή πετρώματα (π.χ. ανδεσίτες, γάβροι, βασάλτες), όπως και πολλά μεταμορφωμένα ή ιζηματογενή (π.χ. αργιλικόι σχιστόλιθοι, αρκόζες). Μητρικά πετρώματα βωξιτικών κοιτασμάτων είναι κατά σειρά σπουδαιότητας οι βασάλτες, διαβάσεις, αρκόζες, καολινιτικές άργιλοι, αργιλικόι σχιστόλιθοι, γρανίτες κλπ.

- Ύπαρξη τροπικού κλίματος.

Η ένταση της αποσάθρωσης αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας και του ποσού των βροχοπτώσεων. Έτσι η αποσάθρωση είναι πιο έντονη στις υγρές, τροπικές ζώνες. Προκειμένου να γίνει η λατεριτίωση η μέση θερμοκρασία πρέπει να είναι μεγαλύτερη των $22^{\circ}C$, το ύψος των βροχοπτώσεων μεγαλύτερο των 1200mm, ενώ η κατανομή των υδατοπτώσεων κατά την διάρκεια του έτους πρέπει να είναι άνιση (9-11 υγροί και 1-3 ξηροί μήνες) συνθήκες που εκπληρούνται μόνο στην τροπική ζώνη, μόνο εκεί επικρατεί κλίμα μουσώνων. Ο ελληνικός χώρος, κατά την περίοδο της γένεσης των μεγάλων λατεριτικών κοιτασμάτων είχε τροπικό κλίμα και μάλιστα κλίμα μουσώνων.

- Ύπαρξη τροπικής βλάστησης.

Η φυτοκάλυψη επιδρά στη λατεριτίωση καθώς το κάλυμμα του δάσους συγκρατεί την υγρασία του εδάφους που είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την αποσάθρωση. Επίσης το ριζικό σύστημα των δένδρων ευνοεί την κατείσδυση του ύδατος διαμέσου του λατεριτικού μανδύα βοηθώντας στην αποστράγγιση. Επιπλέον οι μικροοργανισμοί που ζουν στις ρίζες συμβάλλουν στην εξαλλοίωση των αργιλοπυριτικών ορυκτών

και δρουν ως καταλύτες σε ορισμένες χημικές αντιδράσεις. Το τροπικό δάσος συμβάλει στην απομάκρυνση του πυριτίου από τον λατεριτικό μανδύα καθώς το αποθηκεύεται στα φύλλα των δένδρων. Τέλος το πυκνό δάσος προστατεύει το λατεριτικό μανδύα από την αποσάθρωση. Όπου το κάλυμμα δάσους καταστρέφεται προκαλείται μηχανική αποσάθρωση του λατεριτικού μανδύα.

- Ύπαρξη πανεπιπέδου.

Οι περισσότεροι βωξίτες βρίσκονται σε πανεπίπεδα (plateaux). Στις περιοχές αυτές δημιουργούνται οι ευνοϊκές συνθήκες για λατεριτίωση. Αυτό συμβαίνει γιατί εξαιτίας του μεγάλου υψομέτρου επιβοηθείται η αποστράγγιση, βασική προϋπόθεση για την βωξιτογένεση. Επίσης η προσκομιδή και η απόθεση προϊόντων αποσάθρωσης σε αυτά τα ύψη είναι μικρή και ως εκ τούτου ο λατεριτικός μανδύας μένει στην επιφάνεια επί μακρόν. Τέλος εξαιτίας της μικρής κλίσης των πανεπιπέδων αποτρέπεται η αποκομιδή του λατεριτικού μανδύα.

- Καλή αποστράγγιση.

Βωξίτης μπορεί να δημιουργηθεί μόνο πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα υπό καλές συνθήκες αποστράγγισης. Για να επιτευχθεί ικανοποιητική διάλυση και αποκομιδή των διαλυμένων συστατικών απαιτείται καλή αποστράγγιση. Με την καλή αποστράγγιση δημιουργείται ένας πλούσιος σε βωξίτικα ορυκτά ορίζοντας αντί ενός πλούσιου σε καολινίτη. Ο όρος πρωτογενή κοιτάσματα ή λατεριτικοί μανδύες δηλώνει τον πρωτογενή χαρακτήρα των βωξιτών αυτών δηλαδή αυτών που απαντούν πάνω στα πετρώματα από τη λατεριτίωση των οποίων προήλθαν. Όμως οι λατερίτες είναι δυνατόν να αποσθρευθούν και τα προϊόντα της αποσάθρωσης να μεταφερθούν στην θάλασσα, όπου και αποτίθενται και δίνουν δευτερογενή λατεριτικά κοιτάσματα. Τέτοια είναι τα κοιτάσματα της Ελλάδας τα οποία έχουν αποτεθεί σε καρστ ασβεστόλιθων.

1.1.2 Ιδιότητες βωξίτη

Ο βωξίτης έχει ειδικό βάρος $2,7 - 3,5 \text{ g/cm}^3$ ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε οξείδια του σιδήρου. Η σκληρότητα κυμαίνεται συνήθως μεταξύ του 1 και 3 της σκληρογραφικής κλίμακας Mohs, αν και όχι σπάνια συναντώνται και πολύ σκληρότερα είδη που φθάνουν μέχρι και τον έβδομο βαθμό της κλίμακας. Η σκληρότητα είναι συνήθως τόσο μεγαλύτερη, όσο μικρότερη είναι η περιεκτικότητα σε νερό. Αυτό όμως δεν ισχύει γενικά, γιατί υπάρχουν είδη βωξίτη της ίδιας σύνθεσης, αλλά διαφορετικού βαθμού σκληρότητας (Χρησιτίδης, 2009).

Η απόχρωση της γραμμής κόνεως ποικίλλει, ο θραυσμός είναι ακανόνιστος, η λάμψη είναι ασθενής και αδιαφανής. Το σημείο τήξης εξαρτάται από το ποσοστό περιεχομένων προσμίξεων και κυρίως από την ποσότητα του οξειδίου του σιδήρου. Σχετικά καθαρά μεταλλεύματα έχουν σημείο τήξης $1880 - 2050^\circ\text{C}$. Το χρώμα του βωξίτη ποικίλλει, ανάλογα με το χρώμα οι βωξίτες διακρίνονται σε τρεις κυρίως κατηγορίες, τους τεφρούς, τους ροδόχρωμους, και τους ερυθρούς ή καστανούς βωξίτες. Εντούτοις όμως, συναντάμε βωξίτες σε όλη τη σειρά των ενδιάμεσων χρωμάτων. Το χρώμα του βωξίτη οφείλεται κυρίως στο περιεχόμενο οξείδιο του σιδήρου. Κατά γενικό κανόνα η περιεκτικότητα του σιδήρου είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο πιο καστανό ή ερυθρό είναι το χρώμα του βωξίτη. Πρέπει να σημειωθεί ότι το χρώμα δεν εξαρτάται απόλυτα από την περιεκτικότητα του σιδήρου, γιατί υπάρχουν βωξίτες που έχουν ζωηρό ερυθρό χρώμα και μικρή περιεκτικότητα σε σίδηρο. Το ζωηρό χρώμα σε αυτήν την περίπτωση οφείλεται στο οξείδιο του σιδήρου, το οποίο επικαλύπτει επιφανειακά αργιλούχους πυρήνες, χωρίς να εισδύει ομοιόμορφα στη μάζα του μεταλλεύματος. Ο βωξίτης πολλές φορές παρουσιάζει ιστό πηλολιθικό, ωολιθικό, και μερικές φορές στιφρό.

Η διαλυτότητα του σε οξέα ή αλκάλια ποικίλλει ανάλογα με την ορυκτολογική σύνθεση σε σχέση με τα ένυδρα οξείδια του αργιλίου. Η διαλυτότητα του σε καυστικό νάτριο (NaOH) παίζει σημαντικό ρόλο στην επεξεργασία του για την παραγωγή αλουμίνας. Ειδικότερα ο γυββσίτης και ο βαιμίτης διαλύονται

εύκολα, ενώ αντίθετα το διάσπορο απαιτεί ειδικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης για την διάλυσή του. Ο βωξίτης είναι ανθεκτικός σε υψηλές θερμοκρασίες (πυρίμαχος) και όταν θερμανθεί ως την τήξη του, παίρνει κρυσταλλική μορφή αποκτώντας υψηλή σκληρότητα, που του δίνει και λειαντικές ιδιότητες. Αυτό οφείλεται στη μετατροπή των οξειδίων του αργιλίου σε τεχνητό κορούνδιο (Al_2O_3) (Χρησιτίδης, 2009).

1.1.3 Ελληνικοί βωξίτες και η σημασία τους

Στην Ελλάδα απαντούν καρστικοί βωξίτες στις ζώνες Παρνασσού-Γκιώνας και Ανατολικής Ελλάδας μέσα σε ασβεστόλιθους. Βωξιτικές εμφανίσεις χωρίς οικονομική σημασία απαντούν στη ζώνη Γαβρόβου-Τριπόλεως. Στη ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας διακρίνονται τρεις κύριοι βωξιτικοί ορίζοντες και ένας ενδιάμεσος. Ο πρώτος έχει ηλικία Μέσο-Ιουρασικό-Κιμμερίδιο, ο δεύτερος Τιθώνιο-Κατώτερο Κρητιδικό και ο τρίτος Κενομάνιο-Τουρώνιο έως Σενώνιο. Ο πιο σημαντικός ορίζοντας από άποψη αποθεμάτων είναι ο τρίτος. Ο ενδιάμεσος ορίζοντας τοποθετείται μεταξύ του δεύτερου και του τρίτου και παρατηρείται μόνο κατά θέσεις. Τα κοιτάσματα της ζώνης αυτής βρίσκονται στο ορεινό σύμπλεγμα Παρνασσού-Γκιώνας-Ελικώνα-Οίτης.

Στη ζώνη της Ανατολικής Ελλάδας απαντούν δύο ορίζοντες βωξιτών. Ο πρώτος ταυτίζεται με τον αντίστοιχο πρώτο ορίζοντα της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας ενώ ο δεύτερος αναπτύσσεται μεταξύ Ανωκρητιδικής επίκλυσης και Κενομανίου Τουρωνίου. Η ζώνη αυτή περιλαμβάνει τα κοιτάσματα σε Καλλίδρομο, Λοκρίδα, Δομοκό, Ν.Α. Θεσσαλία, και Μάνδρα-Ελευσίνα (Χρησιτίδης, 2009).

Η σύσταση των Ελληνικών βωξιτικών κοιτασμάτων είναι η εξής:

Al_2O_3 55-57%, SiO_2 4-5%, Fe_2O_3 21-25%, TiO_2 2.5-3%, CaO 0.5-2%, H_2O 8-13%. Η χώρα μας είναι μέσα στις πρώτες βωξιτοπαραγωγές χώρες, 1^η στην ΕΟΚ με παραγωγή της τάξης των 3 εκατ. τόνων/έτος περίπου (Εικόνα 1.2).



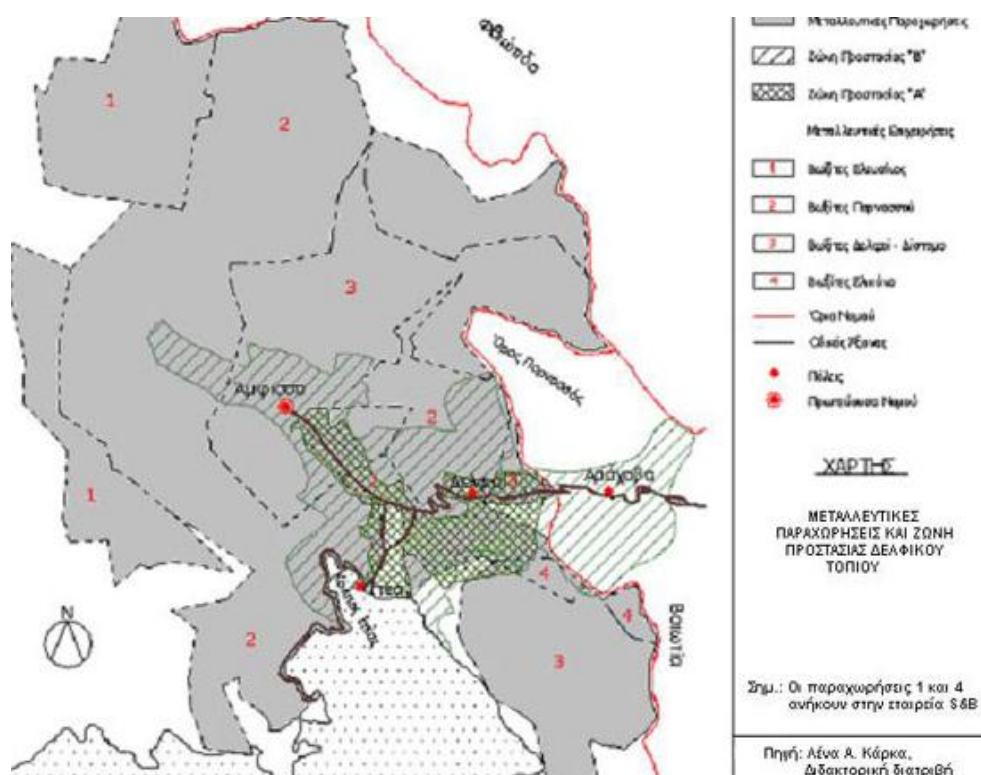
Εικόνα 1.2 Χάρτης με τα κύριο ορυκτά μέταλλα της Ελλάδας
(http://www.oryktosploutos.net/2011/01/blog-post_2346.html)

1.2 Ελληνικές εταιρίες εκμετάλλευσης βωξίτη

Η παραγωγή βωξίτη τα τελευταία χρόνια είχε σταθερά ανοδική πορεία. Όμως, όπως και κάθε άλλη επιχειρηματική δραστηριότητα, επιβραδύνθηκε το 2009 λόγω οικονομικής κρίσης και η παραγωγή βωξίτη εμφάνισε μικρή πτώση. Για το 2010 εκτιμάται ότι θα αυξηθεί διεθνώς η ζήτηση στα μέταλλα προξενώντας σημαντική αύξηση και στην τιμή τους. Στον τομέα του βωξίτη όπου δραστηριοποιούνται οι εταιρείες S&B Βιομηχανικά Ορυκτά, ΔΕΛΦΟΙ ΔΙΣΤΟΜΟΝ ΑΜΕ και ΕΛΜΙΝ ΑΕ η συνολική παραγωγή του 2009 ανήλθε σε 1.935.000 τον περίπου, μειωμένη κατά 11% έναντι του 2008. Από τη συνολική εγχώρια παραγωγή το 72% διατέθηκε στην παραγωγή αλουμίνας, ενώ το υπόλοιπο απορροφήθηκε κύρια στη διεθνή τσιμεντοβιομηχανία, στις αγορές χαλυβουργίας, στην παραγωγή πετροβάμβακα και λειαντικών. Οι εξαγωγές προς Δυτική και Ανατολική Ευρώπη και ιδιαίτερα προς τη Βόρειο Αμερική ήταν μειωμένες λόγω της κρίσης κύρια της οικοδομικής

δραστηριότητας και της χαλυβουργίας. Η εταιρεία S&B Βιομηχανικά Ορυκτά διατηρεί την ηγετική θέση της στην παραγωγή βωξίτη, ενώ η ΕΛΜΙΝ ΑΕ κατέστη πρώτη σε εξαγωγές στις διεθνείς αγορές. Η εταιρεία ΔΕΛΦΟΙ ΔΙΣΤΟΜΟΝ ΑΜΕ δεύτερη σε δυναμικότητα παραγωγής διαθέτει το σύνολο του προϊόντος της στο ΑΤΕ.

Σ' ότι αφορά τα μεταλλουργικά προϊόντα της ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ καταγράφηκε σημαντική πτώση παραγωγής στο πρωτόχυτο αλουμίνιο, φτάνοντας στο επίπεδο των 129.000 τον., σε αντίθεση με την ένυδρη αλουμίνη που κρατήθηκε σε ικανοποιητικά επίπεδα φτάνοντας τους 796.000 τον. Σημαντικό μέρος της παραγωγής των προϊόντων αυτών εξήχθη στις διεθνείς αγορές. Τα στοιχεία ελήφθησαν από την ιστοσελίδα του Σ.Μ.Ε, και δυστυχώς δεν υπήρχαν στοιχεία πωλήσεων και εξαγωγών για το 2009. Επίσης δεν υπήρχε κανένα στοιχείο για το 2010 (Εικόνα 1.3).



Εικόνα 1.3 Χάρτης με τις μεταλλευτικές παραχωρήσεις

(http://www.greekscapes.gr/images/stories/landscapes_IMAGES/47.N.FOKIDAS/WEB_IMAGES_GK/IONA/01.jpg)

1.2.1 Δελφοί-Δίστομον Α.Μ.Ε

Η εταιρεία «Δελφοί-Δίστομον Α.Μ.Ε» προήλθε από την συγχώνευση των εταιρειών «Βωξίται Δελφών» και «Ελληνικοί Βωξίται Διστόμου». Ήταν θυγατρική της «Αλουμίνιον της Ελλάδος» έως τον εταιρικό μετασχηματισμό του 2007 και από τότε είναι απευθείας θυγατρική του Ομίλου. Είναι μία από τις δύο μεγαλύτερες παραγωγούς βωξίτη στην Ελλάδα και κατ' επέκταση στην Ευρώπη, με ετήσια παραγωγή 800 περίπου χιλιάδες τόνους από υπόγεια εργοτάξια και μόνον. Τα εργοτάξια αυτά βρίσκονται, στις περιοχές Διστόμου και Άμφισσας. Η παραγωγή προβλέπεται να μείνει σταθερή τα προσεχή 3 έως 5 χρόνια. Η δύναμη του προσωπικού της είναι συνολικά 210 εργαζόμενοι συμπεριλαμβανομένης και της έδρας της. Η Τεχνική Διεύθυνση βρίσκεται στην περιοχή του Άνω Κουνουκλιά Ελαιώνα του Νομού Φωκίδας όπου εργάζονται επίσης 14 στελέχη έχοντας την επίβλεψη της παραγωγικής και ερευνητικής δραστηριότητας. Εδώ λειτουργεί και η υπηρεσία Υγιεινής και Ασφάλειας καθώς και αυτή της Αποκατάστασης των θιγμένων από την μεταλλευτική δραστηριότητα επιφανειών.

Σημειώνεται ότι από το 1972 η εταιρεία ξεκίνησε οικειοθελώς την αποκατάσταση των θιγμένων επιφανειών και το 1998 επέστρεψε στο Δασαρχείο τις πρώτες πλήρως αποκαταστημένες και αυτοδύναμες πλέον εκτάσεις (260 στρέμματα). Όσον αφορά τις επιδόσεις στην Ασφάλεια – Υγιεινή σημειώνεται ότι οι δείκτες συχνότητας – σοβαρότητας είναι από τους χαμηλότερους στον κλάδο των μεταλλευτικών δραστηριοτήτων. Η Εταιρεία απέκτησε το 2008 την περιβαλλοντική πιστοποίηση ISO 14001.

1.2.2 Γεωλογικά στοιχεία της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας

Η εξεταζόμενη περιοχή, στην οποία ανήκει το προς μελέτη κοίτασμα είναι η ζώνη Παρνασσού όπως διακρίθηκε ή υποζώνη Παρνασσού όπως ονομάστηκε από τον Α. Philippson (1898). Η ζώνη αυτή ονομάστηκε αργότερα από τον C. Renz (1940) ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας. Η ζώνη αυτή συναντάται στις περιοχές Παρνασσού, Γκιώνας, Οίτης και Ελικώνα.

Στη στρωματογραφική σειρά της ζώνης του Παρνασσού ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αποτελεί ο ορίζοντας των βυσσινόχρωμων πηλιτών, που αναφέρεται και ως 'Έρυθρά Σειρά', και απαντάται επίσης με τα ίδια χαρακτηριστικά και στη σειρά σχηματισμών της Ενότητας των Βαρδουσίων, μεταβαίνει δε αυτή βαθμιαία και στις δύο ενότητες, των Βαρδουσίων και του Παρνασσού, προς τα πάνω σε τυπικά ιζήματα του φλύσχη που καταλαμβάνουν σχεδόν εξ ολοκλήρου τη μεταξύ των βουνών Βαρδούσια και Γκιώνα περιοχή του Λιδωρικίου.

Λεπτομερέστερες έρευνες, σχετικά με την παραπάνω ασυμφωνία έδειξαν ότι σε πολλές θέσεις, πάνω στην υποκείμενη σειρά των ασβεστόλιθων, υπέρκειται ασύμφωνα ένας ορίζοντας συμπυκνωμένης πελαγικής ιζηματογένεσης, με μορφή ερυθρωπής κρούστας (hard ground). Στον ορίζοντα αυτό βρέθηκε μία πελαγική μικροπανίδα, που αντιπροσωπεύει το σύνολο σχεδόν των μεσοκαμπάνιων-μαιστριχτίων πελαγικών ασβεστόλιθων στις οποίες απουσιάζουν από τις περιοχές που παρατηρείται η ασυμφωνία αυτή.

Στη στρωματογραφική σειρά σχηματισμών της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας, εκτός από την παραπάνω ασυμφωνία, παρατηρούνται και τρεις άλλες στρωματογραφικές ασυμφωνίες, μικρού γενικά στρωματογραφικού κενού, οι οποίες συνοδεύονται από την παρουσία βωξιτικών κοιτασμάτων, μεγάλης οικονομικής αξίας. Πρόκειται για τους βωξιτικούς ορίζοντες B1, B2 και B3 που χαρακτηρίζουν τη ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας. Από τους ορίζοντες αυτούς ο B1 εμφανίζεται μεταξύ του Μέσου και ανώτερου Ιουρασικού (με υπερκείμενο ασβεστόλιθους του Κιμμεριδίου-Τιθωνίου), ο B2 εμφανίζεται μεταξύ των ασβεστόλιθων του Κιμμεριδίου-Τιθωνίου και του Τιθωνίου (τοπικά) – Κατώτερου Κρητιδικού και τέλος ο B3 αναπτύσσεται μεταξύ του Κατώτερου και του Ανώτερου Κρητιδικού. Τα βωξιτικά αυτά κοιτάσματα έχουν φακοειδή-στρωματοειδή μορφή και βρίσκονται πάντοτε ασύμφωνα πάνω στους υποκείμενους ασβεστόλιθους, ενώ είναι σύμφωνα προς τους υπερκείμενους (Κατσικάτσος, 1992).

Σχετικά με τις πάνω τρεις στρωματογραφικές ασυμφωνίες στη σειρά της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας, που συνδέονται από αντίστοιχα βωξιτικά κοιτάσματα, πρέπει να σημειωθεί ότι αυτές οφείλονται κυρίως στις ορογενετικές κινήσεις που έλαβαν χώρα στο χώρο των Εσωτερικών ζωνών και είχαν έντονη απήχηση στο χώρο της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας, η οποία μαζί με τη Βοιωτική ζώνη, βρίσκονται σε εσωτερικό περιθώριο των Εξωτερικών ζωνών. Τέλος σχετικά με τη γένεση των βωξιτικών κοιτασμάτων, σήμερα είναι παραδεκτό ότι τα υλικά από τα οποία τα κοιτάσματα αυτά έχουν σχηματιστεί προέρχονται από το χώρο των Εσωτερικών ζωνών και συγκεκριμένα από άργιλο-οφιολοθικούς σχηματισμούς του χώρου αυτού. Αντίθετα, η παλιά άποψη ότι τα βωξιτικά κοιτάσματα έχουν προέλθει από υλικά διάλυσης ανθρακικών πετρωμάτων δεν είναι σήμερα παραδεκτή.

Η ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, μαζί με την Ενότητα των Βαρδουσιών, μετά τον ορογενετικό τους τεκτονισμό, που έλαβε χώρα κατά το τέλος του Ανώτερου Ηωκαίνου, βρίσκονται και οι δύο, ως ένα ενιαίο σύνολο, επωθημένες προς τα δυτικά, πάνω στην ενότητα Πεντεορέων και στον Αιτωλικό φλύσχη της ζώνης της Πίνδου, χωρίς να παρατηρείται επώθηση του ορεινού όγκου της Γκιώνας, πάνω στο φλύσχη της περιοχής του Λιδωρικίου.

Πάνω στη ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, η οποία χαρακτηρίζεται από μεγάλου εύρους πτυχές, που σε πολλές περιπτώσεις είναι διαρρηγμένες, βρίσκονται επωθημένοι σχηματισμοί της Βοιωτικής και της Πελαγονικής ζώνης. Πιο συγκεκριμένα η σειρά της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας της οποίας τα ανθρακικά πετρώματα έχουν πάχος μεγαλύτερο από τα 1500 μέτρα, από κάτω προς τα πάνω, έχει ως ακολούθως (Κατσικάτσος, 1992):

- Η σειρά της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας αρχίζει με λευκότεφρους έως λευκούς κρυσταλλικούς δολομίτες χωρίς απολιθώματα, που προς τα πάνω εναλλάσσονται με δολομιτικούς ασβεστόλιθους και ασβεστόλιθους με Φύκη (*Gyrporella*, *Griphoporella* κ.α) και *Megalodon*, του οποίου Ανώτερου Τριαδικού, ορατού πάχους 300 μέτρων περίπου.

- Ακολουθούν σκοτεινόχρωμοι ασβεστόλιθοι, βιτουμενιούχοι, πολλές φορές ωολιθικοί, με μικρά *Megalodon* (στη βάση τους), *Pinidae*, Γαστερόποδα, Φύκη και Κοράλλια, του Κατώτερου-Μέσου Ιουρασικού, πάχους περίπου 400 μέτρων.
- Βωξιτικά κοιτάσματα του 1^{ου} βωξιτικού ορίζοντα (B1), των οποίων το μετάλλευμα είναι κυρίως πισσολιθικό και διασπορικού τύπου.
- Ασβεστόλιθοι σκοτεινόχρωμοι, μέσο έως παχυστρωματώδεις, με το χαρακτηριστικό απολίθωμα *Cladocoropsis mirabilis* του Κιμμεριδίου και ασβεστόλιθοι με Κοράλλια του Πορτλανδίου-Τιθωνίου (Ανώτερο Ιουρασικό), που υπέρκεινται ασύμφωνα των ασβεστολίθων του προηγούμενου ορίζοντα, συνολικού πάχους 300 μέτρων περίπου.
- Βωξιτικά κοιτάσματα του 2^{ου} βωξιτικού ορίζοντα (B2), των οποίων το μετάλλευμα είναι βαιμιτικού τύπου.
- Ασβεστόλιθοι μεσοστρωματώδεις, που υπέρκεινται ασύμφωνα των ασβεστολίθων του προηγούμενου ορίζοντα. Στη βάση τους είναι ερυθρωποί και με μαργαϊκοί με *Nerinea*, *Ellipsactinia* κ.α., του Τιθωνίου (τοπικά) – *Orbitolina* του Κενομανίου. Οι ασβεστόλιθοι, που το συνολικό τους πάχος φτάνει τα 400 μέτρα ονομάζονται 'Ενδιάμεσοι Ασβεστόλιθοι', επειδή παρεμβάλλονται μεταξύ των δύο βωξιτικών οριζόντων, του 2^{ου} και του 3^{ου}, που μόνο αυτοί ήταν γνωστοί, όταν τους δόθηκε το όνομα 'Ενδιάμεσοι Ασβεστόλιθοι'.
- Βωξιτικά κοιτάσματα του 3^{ου} βωξιτικού ορίζοντα, που κατά κανόνα είναι μεγάλων διαστάσεων.
- Ασβεστόλιθοι παχυστρωματώδεις, τεφροί και κατά θέσεις σκουρόχρωμοι, με Ρουδιστές του Τουρωνίου-Κατώτερου Καμπανίου, πάχους 200 μέτρων περίπου.
- Ασβεστόλιθοι *Globotruncana*, λεπτό έως μεσοστρωματώδες, ανοικτόφαιοι, ερυθρωποί ή υποπράσινοι, του Ανώτερου Καμπανίου-Μαιστριχτίου, πάχους 150-200 μέτρων.
- Ορίζοντας βυσσινόχρωμων πηλιτών και μαργών του Παλαιοκαίνου, στον οποίο μερικές φορές εγκλείονται διάσπαρτες λατύπες ή παρεμβάλλονται σ' αυτόν στρώματα ασβεστολιθικών λατυποπαγών. Το

πάχος του ορίζοντα αυτού κυμαίνεται από λίγα έως 50 μέτρα. Σε πολλές περιοχές της ζώνης του Παρνασσού, ο πηλιτικός αυτός ορίζοντας βρίσκεται ασύμφωνα πάνω σε βαθύτερους στρωματογραφικούς ορίζοντες της ζώνης αυτής.

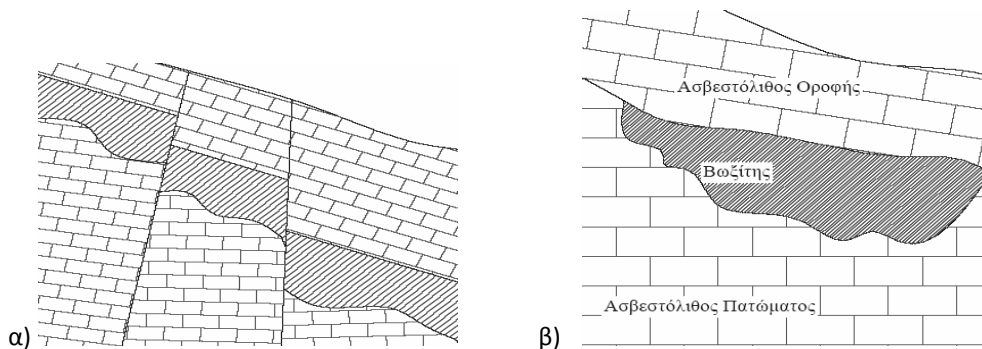
- Ιζήματα τυπικού φλύσχη, πάχους 1500 μέτρων περίπου, που αρχίζουν από το Παλαιόκαινο και φτάνουν στο Πριαμπόνιο (Ανώτερο Ηώκαινο). Τα ιζήματα αυτά είναι κυρίως ψαμμίτες και στο ανώτερο τμήμα τους κροκαλοπαγή.

Η περιοχή εμφάνισης του κοιτάσματος ανήκει στη γεωτεκτονική ζώνη Παρνασσού – Γκιώνας. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντώνται στην περιοχή των μεταλλείων βωξίτη Παρνασσού - Γκιώνας είναι: φλύσχη, συμπαγείς έως και κρυσταλλικοί βιτουμενιούχοι ασβεστόλιθοι του Σενωνίου και Τουρωνίου, ενδιάμεσοι ασβεστόλιθοι του Κενομανίου και Τιθωνίου, σκοτεινόχρωμοι ασβεστόλιθοι του Κενομανίου και Τιθωνίου, και σκοτεινόχρωμοι ασβεστόλιθοι του Κιμεριδίου.

Η σειρά των πετρωμάτων είναι που αφορούν τη περιοχή εκμετάλλευσης είναι (Κατσικάτσος, 1992):

- Φλύσχη (Παλαιογενές).
- Λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι (Σενώνιο – Παλαιογενές).
- Συμπαγείς (ή κρυσταλλικοί) βιτουμενιούχοι ασβεστόλιθοι (Τουρώνιο-Σενώνιο).
- Βωξίτης ανώτερου βωξιτικού ορίζοντα.
- Ενδιάμεσοι ασβεστόλιθοι (Τιθώνιο- Κενομάνιο) – (Υποκείμενος ασβεστόλιθος).

Η οροφή των κοιτασμάτων είναι επίπεδη και διαταράσσεται μόνο από τεκτονικές ανωμαλίες, ενώ αντιθέτως το δάπεδο είναι ανώμαλο και παρουσιάζονται σημαντικές εξάρσεις των πατωμάτων εντός του βωξίτη λόγω των καρστικών σχηματισμών (Τσούρλος κ.α, 2005). Τυπικές μορφές εμφάνισης βωξιτικών κοιτασμάτων απεικονίζονται στην Εικόνα 1.4 α, β.



Εικόνα 1.4 : α) τυπική μορφή (κατακόρυφη τομή κατά μέγιστη κλίση) κοιτάσματος βωξίτη περιοχής Παρνασσού-Γκιώνας, β) τυπική μορφή κοιτάσματος βωξίτη με τεκτονισμούς (Τσούρλος κ.α, 2005).

Η μορφή που απαντάται συχνότερα είναι αυτή της δολίνας. Το σχήμα της είναι οβάλ έως κυκλικό, σπανιότερα δε με ακανόνιστη περίμετρο. Τα τοιχώματα της δολίνας είναι συνήθως μεγάλης κλίσης (πάνω από 50°) ενώ συχνά εμφανίζονται και κατακόρυφα. Ο πυθμένας της δολίνας είναι ανώμαλος, με τυπικά καρστικά "δόντια" που δίνουν την εντύπωση καναλιών. Σε πολλές περιπτώσεις η μετάβαση από τον βωξίτη στον ασβεστόλιθο, γίνεται σταδιακά με την παρεμβολή στρωμάτων μικρού συνήθως πάχους "γκρι βωξίτη" που είναι καλής ποιότητας με μεγάλη περιεκτικότητα σε Al_2O_3 και πολύ μικρή περιεκτικότητα σε Fe_2O_3 . Βωξίτης ανάλογης ποιότητας εμφανίζεται και κοντά σε τεκτονισμούς από τους οποίους έχουν κυκλοφορήσει υπόγεια ύδατα. Οι ποσότητες τέτοιου βωξίτη είναι μικρές, αλλά λόγω της εξαιρετικής ποιότητας δεν αφήνονται ανεκμετάλλευτες (Κατσικάτσος, 1992).

Η γενική παράταξη των στρωμάτων είναι Α – Δ και η κλίση τους είναι περίπου 20 grad N . Από άποψη τεκτονικής δομής επικρατούν συστήματα επιππεύσεων με διεύθυνση σχεδόν παράλληλη σε αυτή της παράταξης των στρωμάτων, καθώς και ρήγματα με διεύθυνση κάθετη στη παράταξη και με εμφανείς τάσεις «ψαλιδισμού» παρουσιάζοντας μεγαλύτερο άλμα πτώσης νοτιότερα. Γενικά η κατάσταση εξαλλοίωσης των τοιχωμάτων των ασυνεχειών κρίνεται καλή, αν και κατά τόπους παρουσιάζονται εμφανίσεις ζωνών με πηλούς και αργίλους. Η παρουσία υπόγειου νερού στις επιφάνειες των ασυνεχειών είναι

μέτρια, ενώ σποραδικά παρουσιάζεται σχετικά υψηλή. Η μέθοδος εξόρυξης που εφαρμόζεται είναι η μηχανοποιημένη μέθοδος των θαλάμων και στύλων με λιθογόμωση.

1.2.3 Εκμετάλλευση βωξιτικών κοιτασμάτων

Η πλέον συνήθης μέθοδος σε βωξίτικα κοιτάσματα στην Ελλάδα είναι η μέθοδος των θαλάμων και στύλων. Σημειώνεται ότι οι μέθοδοι εκμετάλλευσης είναι πολλές, αν θεωρήσουμε ότι κάθε κοιτάσμα αποτελεί μοναδική περίπτωση και η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι προσαρμοσμένη στα χαρακτηριστικά του, στην περίπτωση όμως του βωξίτη χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο η μέθοδος των θαλάμων και στύλων με διάφορες παραλλαγές και η μέθοδος διαδοχικών ορόφων με κατακρήμνιση οροφής. Η μέθοδος των θαλάμων και στύλων είναι μέθοδος με κενά και υποστήριξη της οροφής με στύλους βωξίτη. Εφαρμόζεται σε κοιτάσματα βωξίτη με κλίση 30° , πάχος μέχρι 7m - 8m και σχετικά ανθεκτικά υπερκείμενα πετρώματα. Σε περίπτωση που το πάχος του βωξίτη είναι μεγαλύτερο των 8m τότε χρησιμοποιείται η μέθοδος θαλάμων και στύλων με ξηρή λιθογόμωση.

Στις περιπτώσεις κοιτασμάτων των οποίων η κλίση υπερβαίνει τις 60° εφαρμόζεται η μέθοδος των διαδοχικών ορόφων με κατακρήμνιση οροφής που αφορά όμως πολύ μικρό αριθμό εκμεταλλεύσεων.

Γενικά πάντως στην επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εκμετάλλευσης ενός βωξιτικού κοιτάσματος συνεκτιμώνται η γεωλογική του εικόνα, καθώς και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του βωξίτη και των περιβαλλόντων πετρωμάτων προκειμένου να υπάρξει η μεγαλύτερη δυνατή απόληψη και η μικρότερη δυνατή αρραίωση του μεταλλεύματος.

Η περιχάραξη γίνεται με στοές ανάλογες των στοών προσπέλασης. Σκοπός της φάσης αυτής είναι η οριοθέτηση μεγάλων τμημάτων της εκμετάλλευσης, η επιβεβαίωση της γεωλογικής εικόνας του κοιτάσματος και η δειγματοληψία των ποιοτικών χαρακτηριστικών του βωξίτη.

Οι στοές περιχάραξης ορύσσονται με καθοδηγητικό στοιχείο την ανώτερη επαφή του βωξίτη με τον υπερκείμενο ασβεστόλιθο. Κατά την φάση της ανάπτυξης ορύσσονται θάλαμοι με αφετηρία τις στοές περιχάραξης. Η απόσταση των αξόνων των θαλάμων είναι περίπου 12m και ορύσσονται μέχρι τα όρια του κοιτάσματος. Στη φάση της εξόφλησης οι θάλαμοι που είναι σχεδόν παράλληλοι μεταξύ τους ενώνονται με εγκάρσιες στοές που διευρύνονται τόσο ώστε στο τέλος να εγκαταλειφθούν στύλοι σε απόσταση 12m (κέντρο με κέντρο στύλου) και προϋπολογιζόμενες διαστάσεις 5m x 5m περίπου. Η οπισθοχώρηση γίνεται προς το σημείο εισόδου. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα ανωτέρω ισχύουν για πάχος κοιτάσματος 5m – 5,5m. Αν το πάχος του κοιτάσματος κυμαίνεται από 5,5m - 8m τότε ακολουθείται η εξής τεχνική: Ορύσσονται κατά τα παραπάνω οι στοές ανάπτυξης στο ταβάνι με ύψος θαλάμου περίπου 5.5m και κατά την φάση της οπισθοχώρησης λαμβάνεται ο υποκείμενος βωξίτης στις θέσεις όπου το πάχος υπερβαίνει τα 5,5m. Στο τέλος και πάλι αφήνονται οι στύλοι με διαστάσεις ανάλογες των συνθηκών που αναφέρθηκαν παραπάνω.



Εικόνα 1.5 Μέθοδος θαλάμων και στύλων

(http://www.metal.ntua.gr/uploads/2530/under_works_no03.pdf)

2. ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ

2.1 Εισαγωγή

Είναι γνωστό ότι οι γεωλογικοί σχηματισμοί διέπονται συχνά από μη τυποποιημένες ή γραμμικές σχέσεις προσδιορισμού και οι ακριβείς κατανομές των επιμέρους συστατικών τους τείνουν να εμφανίζουν ασαφείς διακυμάνσεις στον τρισδιάστατο χώρο.

Τόσο κατά την φάση των ερευνητικών εργασιών πριν την έναρξη της εκμετάλλευσης όσο και καθ' όλη την διάρκεια της ζωής της, η σημασία της κατασκευής και της διαρκούς ενημέρωσης κοιτασματολογικών μοντέλων με τη χρήση γεωστατιστικών μεθόδων αποτελεί στρατηγικό παράγοντα για τις μεταλλευτικές επιχειρήσεις και ειδικά για εκείνες που επηρεάζονται άμεσα από τις έντονες διακυμάνσεις των τιμών των πρώτων υλών που εξάγουν.

Αντίστοιχα, στον περιβαλλοντικό τομέα ο προσδιορισμός της κατανομής και της μεταβολής ιδιοτήτων διαφόρων παραγόντων (π.χ. εδαφικοί ρύποι, υπόγεια ύδατα κ.α.) μπορεί να προσδιοριστούν ικανοποιητικά βάσει της γεωστατιστικής επεξεργασίας των αποτελεσμάτων των σχετικών αναλύσεων και να οριοθετηθεί ο προσβεβλημένος εδαφικός όγκος.

Τα γεωστατιστικά μοντέλα χωρικής παρεμβολής είναι μέθοδοι διαχείρισης δεδομένων που θεωρούνται ότι αναπαριστούν ένα πεδίο, που περιλαμβάνει τιμές ενός φαινομένου. Στις γεωγραφικές επιστήμες υπάρχει ένας διαχωρισμός μεταξύ δύο τύπων επιφανειακών μοντέλων, που διαφοροποιούνται ανάλογα με τα φαινόμενα που αναπαριστούν. Ο ένας έχει σκοπό τη μοντελοποίηση φυσικών επιφανειών όπως π.χ. του υψομετρικού ανάγλυφου και των χρήσεων γης. Ο δεύτερος έχει σκοπό τη μοντελοποίηση αφηρημένων επιφανειών που αναπαριστούν την κατανομή λιγότερο απτών, χωρικά μεταβαλλόμενων στατιστικών, όπως συμβαίνει και στην παρούσα περίπτωση, η εκτίμηση της καθ' ύψους μεταβαλλόμενης ταχύτητας της ροής του ποταμού στη συγκεκριμένη διατομή.

Γενικά η έννοια της μοντελοποίησης του χώρου αναφέρεται σε στατιστικά μοντέλα, που με την σειρά τους αφορούν φαινόμενα που υπόκεινται σε αβεβαιότητα ή αλλιώς ρυθμίζονται από τους νόμους των πιθανοτήτων και εκφράζονται μέσα από τις γνωστές έννοιες της τυχαίας μεταβλητής και της κατανομής πιθανοτήτων (Καπαγερίδης, 2006).

2.2 Μέθοδος δικτύου τριγώνων

Μία διαφορετική προσέγγιση για την αναπαράσταση των επιφανειών είναι να εφαρμοστεί ο τριγωνισμός στα σημειακά δείγματα, ώστε να παραχθεί ένα δίκτυο ακανόνιστων τριγώνων. 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. Η σύνδεση αυτή δημιουργεί μία πλειάδα πλευρών τριγώνου διαφορετικού μεγέθους. Οι τριγωνικές επιφάνειες που προκύπτουν θεωρούνται επίπεδες γι αυτό αποτελούν ένα πλήρως ορισμένο και συνεχές μοντέλο της επιφάνειας.

Δύο σημαντικά πλεονεκτήματα των τριγωνικών αυτών δικτύων είναι πρώτον το γεγονός ότι μπορούν να συμπεριλάβουν τις πρωτογενείς παρατηρήσεις, και δεύτερον ότι η πυκνότητα της δειγματοληψίας προσαρμόζεται στην αρχική πηγή δεδομένων. Με τον τρόπο αυτό, εάν υπάρχουν αρκετά κοντινά σημεία που να σχηματίζουν μικρά τρίγωνα τότε η μεταβολή της επιφάνειας που δημιουργείται θα είναι μεγάλη, ενώ εάν τα σημεία είναι αραιωμένα μεταξύ τους σχηματίζοντας μεγάλα τρίγωνα, η επιφάνεια που θα δημιουργηθεί θα είναι επίπεδη ή με σταθερή κλίση. Κυρίως η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται 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.

Η εφαρμογή της μεθόδου TIN (δίκτυο ακανόνιστων τριγώνων) δεν απαιτεί την εισαγωγή παραμέτρων όπως οι προηγούμενες 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.

2.3 Μέθοδος των αντίστροφων αποστάσεων

Η μέθοδος αυτή ονομάζεται και μέθοδος κινητού μέσο όρου των παρατηρήσεων με βάρη (spatial moving average) και αποτελεί μία συνήθη προσέγγιση χωρικής παρεμβολής στην οποία αποδίδεται βάρος στα γειτονικά σημεία του δείγματος των μετρήσεων. Τα επιλεγμένα σημεία του δείγματος θα είναι τα πλησιέστερα n σημεία ή όλα τα σημεία μέσα σε μία δεδομένη ακτίνα. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του n , τόσο μεγαλύτερο θα είναι το αποτέλεσμα εξομάλυνσης του μέσου όρου. Η εξομάλυνση μπορεί να εξισορροπηθεί με τη χρήση ενός μέσου όρου με βάρη, κατά την οποία το βάρος που αποδίδεται σε σημείο είναι αντιστρόφως ανάλογο της απόστασής του από το σημείο παρεμβολής. Η αντίστροφη αναλογία μπορεί να είναι γραμμική ή εκθετική (δύναμη του δύο) ώστε να παρέχει μία αντίστροφη τετραγωνική σχέση. Ουσιαστικά η μέθοδος IDW (inverse distance weighting) βασίζεται στην παραδοχή ότι κάθε εκτιμώμενο σημείο παρεμβολής έχει μία τοπική επιρροή που μικραίνει με την αύξηση της απόστασης από τα μετρημένα σημεία του δείγματος.

Η διαδικασία της εφαρμογής της μεθόδου απαιτεί επομένως τα εξής βήματα:

- τον ορισμό της τοπικής περιοχής εκτίμησης – περιοχής πλησιέστερου γείτονα,
- την εύρεση του αριθμού των σημείων που οι τιμές τους θα πρέπει να ληφθούν υπόψη για την εκτίμηση,
- την επιλογή των σημείων αυτών από το σύνολο των σημείων της περιοχής μελέτης,

- την επιλογή της μαθηματικής συνάρτησης που αντιπροσωπεύει τη διαφοροποίηση της τιμής του χαρακτηριστικού δηλαδή την διαδικασία εκτίμησης.

Η απάντηση στα δύο πρώτα βήματα γίνεται ταυτόχρονα αφού ο αριθμός των σημείων καθορίζει και την περιοχή εκτίμησης. Γενικά αν τα σημεία του δείγματος είναι πάρα πολλά σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης η κατανομή της τιμής είναι σχετικά ομοιογενής, τότε δεν υπάρχει ανάγκη να επιλεγεί ένας μεγάλος αριθμός σημείων για την εκτίμηση. Αντίθετα αν η πυκνότητα των μετρημένων σημείων είναι μικρή τότε ο αριθμός των σημείων που πρέπει να επιλεγεί είναι μεγαλύτερος. Μία γενική μαθηματική έκφραση περιγραφής της μεθόδου IDW είναι:

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

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.

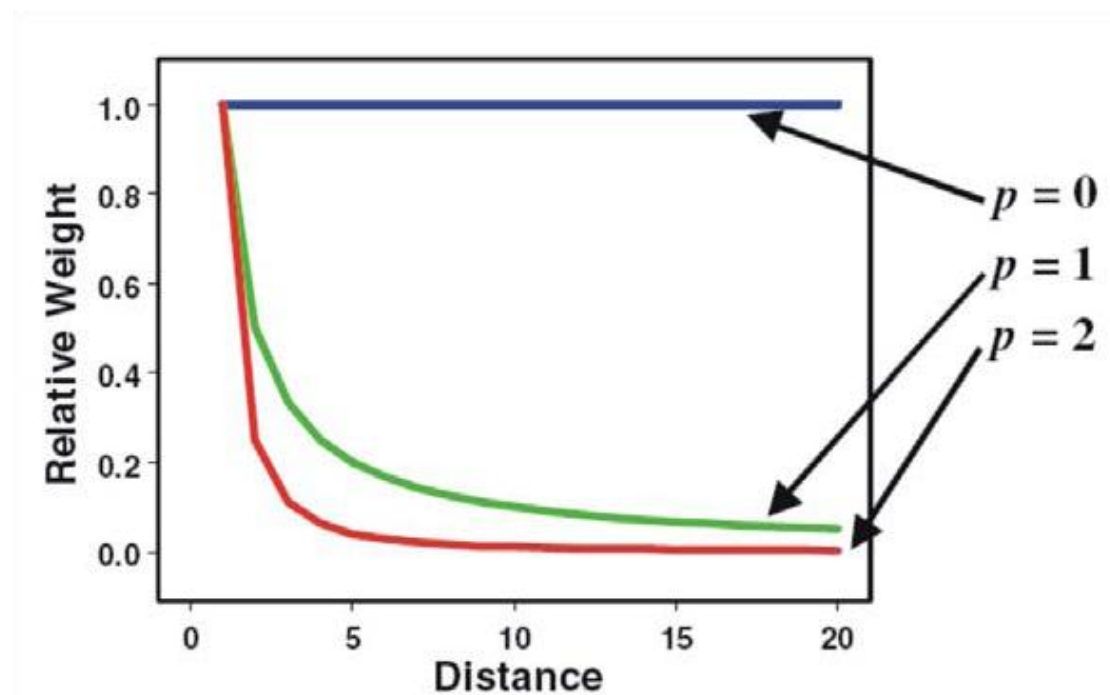
Το $z(s_i)$ είναι το μετρούμενο σημείο του δείγματος από όπου υπολογίζεται η απόσταση από το σημείο παρεμβολής s_i . Η μαθηματική συνάρτηση που προσδιορίζει τα βάρη είναι η παρακάτω:

$$w_i = \frac{d_{i0}^{-p}}{\sum_{i=1}^n d_{i0}^{-p}}, \quad \sum_{i=1}^n w_i$$

Όσο η απόσταση μεγαλώνει το βάρος μειώνεται με μία παράμετρο p . Η παράμετρος αυτή παίρνει τιμές, ώστε η εκτιμηθείσα επιφάνεια να είναι όσο δυνατό πιο ομαλή. Η ποσότητα d_{i0} είναι η απόσταση μεταξύ του υπό εκτίμηση

σημείου s_0 και του μετρημένου σημείου s_i . Με άλλα λόγια πόσο γρήγορα το βάρος μειώνεται εξαρτάται από την παράμετρο p . Εάν $p=0$ δεν υπάρχει μείωση με την απόσταση αφού κάθε βάρος είναι το ίδιο οπότε η πρόβλεψη είναι η μέση τιμή των μετρημένων σημείων. Εάν η παράμετρος p αυξάνεται τότε το βάρος για τα απομακρυσμένα σημεία μειώνεται γρήγορα όπως φαίνεται από το διάγραμμα στην συνέχεια (Εικόνα 2.1). Εάν η παράμετρος p είναι πάρα πολύ υψηλή μόνο οι άμεσοι λίγοι πλησιέστεροι γείτονες επηρεάζουν την εκτίμηση της μεταβλητής.

Θα πρέπει να δοθεί προσοχή κατά τον υπολογισμό αντιστρόφου αποστάσεως ώστε να σιγουρευτεί ότι καμιά από τις αποστάσεις d_{i0} δεν είναι πολύ μικρή ή μηδέν, οδηγώντας σε διαίρεση με το μηδέν ή υπερχείλιση κινητής υποδιαστολής. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να διορθωθεί είτε προσθέτοντας μια μικρή σταθερά σε κάθε απόσταση ή δίνοντας την τιμή του κοντινότερου σημείου στον υπολογισμό εάν η απόσταση είναι μικρότερη από κάποιο όριο.



Εικόνα 2.1 Διάγραμμα βάρους – απόστασης μεθόδου IDW

(http://itia.ntua.gr/getfile/883/1/documents/2008_dip_peppa.pdf)

Ο βαθμός εξομάλυνσης, ή μείωσης διακύμανσης, στους υπολογισμούς αντιστρόφου αποστάσεως μπορεί να ελεγχθεί μεταβάλλοντας τη δύναμη

στάθμισης και τις παραμέτρους ανίχνευσης. Μια μικρότερη δύναμη, μια μεγαλύτερη ακτίνα ανίχνευσης ή ένας μεγαλύτερος αριθμός σημείων που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό, οδηγούν σε πιο συνεχείς υπολογισμούς και σε μια μεγαλύτερη μείωση στη διακύμανση των υπολογιζόμενων τιμών. Οι κατάλληλες παράμετροι μπορούν να βρεθούν μόνο με δοκιμές και πείρα για να επιτευχθεί η επιθυμητή κατανομή των υπολογισμένων τιμών και τάσεων, ή ισοκαμπύλες που θα ταιριάζουν με τα αποτελέσματα της παραγωγής, ή για να αναπτυχθούν τάσεις στις υπολογιζόμενες τιμές που να ταιριάζουν με τις προβλέψεις του γεωλόγου.

Γενικά η μέθοδος IDW θεωρείται μία παλαιά τεχνική με ένα σημαντικό μειονέκτημα ότι δεν εκτιμάει τιμές εκτός των ορίων του σημειακού δείγματος. Με άλλα λόγια οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές της παραγόμενης επιφάνειας που προκύπτει με την εφαρμογή της IDW είναι ίδιες με τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές του αρχικού σημειακού δείγματος της εκτιμώμενης μεταβλητής.

2.4 Μέθοδος Kriging

Η μέθοδος Kriging είναι η πιο διαδεδομένη γεωστατιστική μέθοδος που εφαρμόζεται στα περισσότερα λογισμικά πακέτα GIS. Με τον όρο γεωστατιστική ορίζεται ένα σύνολο στατιστικών τεχνικών που σχετίζονται με μεταβλητές που μεταβάλλονται στο χώρο. Οι τεχνικές αυτές βασίζονται στην υπόθεση ότι η χωρική διακύμανση της μεταβλητής είναι τυχαία. Γενικά οι γεωστατιστικές μέθοδοι είναι αρκετά πολύπλοκες στην εφαρμογή τους, η οποία προϋποθέτει τη χρήση κατάλληλων υπολογιστικών προγραμμάτων.

Οι γεωστατιστικές μέθοδοι σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Έχουν τη δυνατότητα να δώσουν άμεσες εκτιμήσεις για την ποιότητα των προβλέψεων, δηλαδή μία εκτίμηση της διασποράς των προβλεπόμενων τιμών στα σημεία που δεν ανήκουν στο δείγμα.

- Εκτιμούν εκ των προτέρων τις βέλτιστες τιμές για τις διάφορες παραμέτρους που χρησιμοποιούν οι μέθοδοι.
- Παρέχουν τη δυνατότητα επιλογής του αριθμού των σημείων των αναγκαίων για την εφαρμογή των μεθόδων πλησιέστερου γείτονα.
- Γνωστοποιούν τα λάθη – αβεβαιότητες που σχετίζονται με τις εκτιμηθείσες τιμές της χωρικής παρεμβολής.

Η μέθοδος της βέλτιστης παρεμβολής είναι εξαιρετικά απλή στην σύλληψή της και απαιτεί ένα σύνολο δεδομένων για μία συνεχή μεταβλητή και ένα μοντέλο χωρικής διακύμανσης με τη μορφή ημιβαριογράμματος. Η μέθοδος ονομάστηκε Kriging από τον G. Matheron, που χρησιμοποίησε το όνομα του νοτιοαφρικανού μηχανικού μεταλλείων D. G. Krige, ο οποίος είχε αναπτύξει στη δεκαετία του '50 μεθόδους για την εκτίμηση της κατανομής μεταλλευμάτων, βασιζόμενος στις τιμές των δειγμάτων. Το Kriging χρησιμοποιείται εκτενώς από τις αρχές του 1970, αρχικά στις μεταλλευτικές βιομηχανίες της Δυτικής Ευρώπης και της Νότιας Αφρικής. Σήμερα το Kriging χρησιμοποιείται από πολλές μεταλλευτικές εταιρίες στη Βόρεια και Νότια Αμερική, την Αυστραλία, την Αφρική και την Ασία. Η χρήση του επίσης διαδόθηκε και σε μη-μεταλλευτικά πεδία (πετρέλαιο, περιβάλλον, εδαφολογία, υδρολογία, κλπ.).

Η γεωστατιστική ανάλυση περιλαμβάνει δύο κύριες φάσεις:

- Την χωρική ανάλυση που περιλαμβάνει την επιλογή και προσαρμογή ενός μοντέλου που περιγράφει τη χωρική μεταβλητότητα των σημειακών μετρήσεων.
- Τη βέλτιστη γραμμική αμερόληπτη εκτίμηση (best linear unbiased estimation –BLUE) που σχετίζεται με τον υπολογισμό των εκτιμητριών των αγνώστων ως γραμμικών συναρτήσεων των μετρήσεων. Οι εκτιμήτριες είναι αμερόληπτες, έχουν την ελάχιστη μεταβλητότητα, ενώ για τον υπολογισμό τους χρησιμοποιείται η μοντελοποίηση της χωρικής μεταβλητότητας.

Σήμερα πλέον, έχουν αναπτυχθεί διάφορες παραλλαγές της τεχνικής Kriging:

- Ordinary – simple Kriging. Η πλέον διαδεδομένη, έχει τις παρακάτω παραδοχές: α) η μεταβλητή ακολουθεί κανονική κατανομή, β) η εκτίμηση είναι αμερόληπτη, γ) μονιμότητα δευτέρου βαθμού, δ1) ο τοπικός μέσος όρος είναι γνωστός (simple), ή δ2) ο τοπικός μέσος είναι άγνωστος (ordinary).
- Neighbourhood Kriging. Αν και η τοπική μέση τιμή και διασπορά είναι σταθερές σε όλη την περιοχή, στις περισσότερες εφαρμογές τα δεδομένα περιέχουν τοπικές διακυμάνσεις. Για το λόγο αυτό στην εκτίμηση της άγνωστης τιμής συμμετέχουν τα κοντινότερα σημεία ή αυτά που περιλαμβάνονται στη γύρω περιοχή.
- Block Kriging. Αντιμετωπίζει την ολοκλήρωση των εκτιμημένων τιμών σε μεγαλύτερες περιοχές.
- Universal Kriging. Εφαρμόζεται στην περίπτωση που τα δεδομένα περιέχουν τάση (trend).
- Disjunctive Kriging. Υπολογίζει για κάθε εκτίμηση και την πιθανότητα η αληθινή τιμή να υπερβαίνει ένα συγκεκριμένο κατώφλι.
- Cokriging. Η εκτίμηση με το κανονικό Kriging βελτιώνεται σημαντικά όταν η μεταβλητή που εξετάζεται συνδέεται με κάποια άλλη μεταβλητή για την οποία υπάρχουν μετρήσεις.
- Space time Kriging. Σχετίζεται με την εισαγωγή της χρονικής διάστασης των δεδομένων.

Όλες οι μορφές του Kriging περιγράφονται από την γενική εξίσωση γραμμικής παλινδρόμησης:

$$[Z_k^*(x) - m(x)] = \sum_{i=1}^n w_i(x) [Z(x_i) - m(x_i)]$$

όπου, $z_k^*(x)$ είναι η εκτιμώμενη τιμή της μεταβλητής στο σημείο x , $m(x)$ είναι η αναμενόμενη (μέση) τιμή, που εξαρτάται όμως από την θέση x της μεταβλητής, $z(x_i)$ είναι η γνωστή τιμή της μεταβλητής στο σημείο x .

2.4.1 Κανονικό (Ordinary) Kriging

Το σύνηθες (ordinary) Kriging, αποτελεί την πιο απλή μορφή της μεθόδου, καθώς χρησιμοποιεί γνωστές τιμές μεταβλητών για να υπολογίσει άλλες άγνωστες τιμές. Βασική παραδοχή της μεθόδου, είναι πως η χωρική τυχαία μεταβλητή είναι στάσιμη (stationary), δηλαδή οι στατιστικές ιδιότητες της είναι αναλλοίωτες στο χώρο. Η υπόθεση αυτή επιτρέπει τον υπολογισμό μιας άγνωστης τιμής Z , σε ένα σημείο x_i , χρησιμοποιώντας μία σταθμισμένη μέση εκτιμήτρια (weighted average), που αποδίδεται με τη σχέση:

$$Z_k^*(x) = \sum w_i Z(x_i)$$

Η σχέση προκύπτει καθώς δέχεται την υπόθεση πως η μέση τιμή $m = E\{Z(x)\}$ είναι σταθερή σε όλη την περιοχή ενδιαφέροντος (υπόθεση ή αρχή της σταθερότητας). Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό την παραλλαγής αυτής της μεθόδου Kriging, είναι πως οι σταθμισμένοι συντελεστές w_i έχουν άθροισμα ίσο με την μονάδα:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Αυτή η τελευταία παραδοχή γίνεται με σκοπό την διασφάλιση αμερόληπτων (unbiased) προβλέψεων. Αυτό σημαίνει πως το μέσο σφάλμα πρέπει να είναι ίσο με το 0. Αν τώρα θεωρηθεί ένα σύνολο δειγμάτων με μετρηθείσες τιμές u , οι άγνωστε τιμές σε κάθε σημείο που δεν υπάρχει δείγμα είναι δυνατό να υπολογιστούν με την χρήση ενός σταθμισμένου γραμμικού συνδυασμού των u :

$$\hat{u} = \sum_{j=1}^n w_j u$$

όπου οι συντελεστές w_j ($j = 1, \dots, n$) μεταβάλλονται καθώς υπολογίζονται νέες τιμές σε νέες άγνωστες θέσεις. Το σφάλμα r_i για κάθε νέα υπολογισμένη

τιμή είναι $r_i = u_i - u$, ενώ για ένα σύνολο εκτιμήσεων k , το μέσο σφάλμα r_{aver} είναι:

$$m_r = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k r_i = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\hat{u}_i - u_i)$$

Η παραπάνω εξίσωση παρά το γεγονός ότι υπολογίζει το μέσο σφάλμα, δεν μπορεί να καθορίσει τα βάρη με τα οποία πρέπει να πολλαπλασιασθούν τα γνωστά δείγματα, ώστε αυτό να είναι ίσο με 0. Αυτό συμβαίνει λόγω της ύπαρξης αγνώστων ποσοτήτων, όπως οι πραγματικές τιμές $u, \dots, u_n$. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται μέσω της Θεωρίας Πιθανοτήτων, όπου οι άγνωστες τιμές αντιμετωπίζονται ως αποτέλεσμα μιας τυχαίας διαδικασίας. Για την πρόβλεψη μιας άγνωστης τιμής $z(x_0)$ της μεταβλητής, στο σημείο x_0 , χρησιμοποιείται μια τυχαία σταθερή συνάρτηση που αποτελείται από τις τυχαίες μεταβλητές $z(x_i)$, όπου $i=1, \dots, n$, οι οποίες ακολουθούν την ίδια συνάρτηση κατανομής, ώστε η αναμενόμενη τιμή σε κάθε σημείο να είναι $E(Z)$. Κάθε ζεύγος των τυχαίων αυτών μεταβλητών έχει κατανομή, που εξαρτάται μόνο από την απόσταση h μεταξύ τους και όχι από την ακριβή τους θέση στο χώρο (stationarity) (Σαράτσης, 2004).

Όπως προαναφέρθηκε, στην διαδικασία αυτή, κάθε τιμή είναι το αποτέλεσμα μιας τυχαίας μεταβλητής. Έτσι και οι προβλέψεις, οι οποίες είναι αποτέλεσμα ενός σταθμισμένου γραμμικού συνδυασμού τυχαίων μεταβλητών θα είναι και αυτές τυχαίες μεταβλητές. Στο σημείο x_0 , λοιπόν ισχύει:

$$Z_k^*(x_0) = \sum_{i=1}^n w_i Z(x_i)$$

Ενώ το σφάλμα της πρόβλεψης, στο x_0 , είναι:

$$R(x_0) = Z_k^*(x_0) - Z(x_0) \Leftrightarrow R(x_0) = \sum_{i=1}^n w_i Z(x_i) - Z(x_0)$$

Το σφάλμα των εκτιμήσεων των αγνώστων τιμών είναι επίσης μια τυχαία μεταβλητή της οποίας η αναμενόμενη τιμή πρέπει να είναι ίση με το μηδέν, ώστε να πληρούται η συνθήκη αμεροληψίας.

$$E\{R(x_0)\} = E\left\{\sum_{i=1}^n w_i Z(x_i) - Z(x_0)\right\} = E\left\{\sum_{i=1}^n w_i Z(x_i)\right\} - E\{Z(x_0)\} \Leftrightarrow$$

$$E\{R(x_0)\} = \sum_{i=1}^n w_i E\{Z(x_i)\} - E\{Z(x_0)\} = 0$$

$$E\{R(x_0)\} = \sum_{i=1}^n w_i E\{Z\} - E\{Z\} = 0 \Leftrightarrow \sum_{i=1}^n w_i E\{Z\} = E\{Z\} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Η τελευταία εξίσωση αποτελεί την συνθήκη αμεροληψίας (δηλ. δεν δίνονται αυθαίρετα μικρά ή μεγάλα βάρη σε σημεία που είναι γειτονικά του σημείου πρόβλεψης) (unbiased condition) (Σαράτσης, 2004).

2.4.2 Προϋποθέσεις για την εφαρμογή της μεθόδου Kriging

Η κύρια προϋπόθεση για την εφαρμογή της υπόψιν μεθόδου είναι ότι το μοντέλο που πρόκειται να προσαρμοστεί στο πειραματικό βαριόγραμμα, χαρακτηρίζει τη χωρική κατανομή της ζητούμενης ποσότητας. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για 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. Αν η χωρική κατανομή αλλάζει μέσα στο χώρο ενδιαφέροντος, τότε υπάρχει μη – σταθερότητα και ένα μόνο βαριόγραμμα δεν είναι αρκετό για να γίνει σωστός χαρακτηρισμός σε όλα τα μέρη του χωρίου V.

Σε αυτές τις περιπτώσεις γίνεται χρήση μεθόδων Kriging όπως είναι η τεχνική Γενικευμένου (universal) Kriging, που απαιτούν πολυπλοκότερες εξισώσεις και συνεπώς λύσεις. Πολλές φορές για να αντιμετωπιστούν τέτοιες περιπτώσεις το χωρίο χωρίζεται σε επιμέρους μικρότερες περιοχές στις οποίες η χωρική μεταβλητότητα παραμένει σταθερή και έτσι γίνεται χρήση του συνηθισμένου (ordinary) Kriging. Το Kriging στη μορφή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην πλειοψηφία των συνήθων προβλημάτων και εφαρμόζεται στις παρακάτω κυρίως περιπτώσεις:

- Στον έλεγχο της αποτελεσματικότητας ενός ερευνητικού προγράμματος.
- Στην πύκνωση του καννάβου γεωτρήσεων (συνήθως τυχαία κατανεμημένου) ή ακόμα στον προσδιορισμό του καννάβου των ερευνητικών γεωτρήσεων, χρησιμοποιώντας βαριογράμματα για την ελαχιστοποίηση της διακύμανσης Kriging.

2.5 Πολυωνυμικές συναρτήσεις

Οι γενικευμένες και τοπικές πολυωνυμικές μέθοδοι εκτίμησης χρησιμοποιούν μαθηματικές και πολυωνυμικές συναρτήσεις πρώτου αλλά και μεγαλύτερου βαθμού. Με την προσέγγιση μιας ολόκληρης επιφάνειας μέσω μιας απλής πολυωνυμικής συνάρτησης, μπορούν να μελετηθούν τα βασικά χαρακτηριστικά της και να αναγνωρισθούν οι αποκλίσεις εξετάζοντας τον πίνακα των υπολοίπων που προκύπτει από τη διαφορά της αρχικής επιφάνειας και της προσαρμοζόμενης επιφάνειας τάσης – trend. Ο βαθμός στον οποίο μία επιφάνεια τάσης ταιριάζει με την πραγματική επιφάνεια, εξαρτάται από το

βαθμό μεταβολής των αρχικών δεδομένων και το βαθμό του πολυωνύμου. Οι επιφάνειες με μεγάλη μεταβλητότητα χρειάζονται υψηλού βαθμού πολυώνυμα για τη μοντελοποίησή τους.

Ο μαθηματικός τύπος για μια επιφάνεια πρώτου βαθμού είναι: $z=ax+by+c$. Αυτή είναι μία συνάρτηση που περιγράφει ένα επίπεδο. Η αντίστοιχη για μια επιφάνεια δευτέρου βαθμού είναι: $z= a+bx+cy+dx^2+exy+fy^2$

Ο τύπος για μια επιφάνεια τρίτου βαθμού δίνεται προσθέτοντας τους όρους για το $x^i y^j$, όπου το άθροισμα του i και του j είναι 3, δηλαδή x^3, y^3, x^2y, xy^2 :
 $z= a+bx+cy+dx^2+exy+fy^2+g x^3+h x^2y+k xy^2+l y^3$

Οι παραπάνω πολυωνυμικές συναρτήσεις ισχύουν και για τις γενικευμένες και για τις τοπικές μεθόδους εκτίμησης. Όμως στις τοπικές μεθόδους εκτίμησης local methods χρησιμοποιούνται πολλές πολυωνυμικές συναρτήσεις μέσα σε πολλές, πλησιέστερες γειτονιές που καλύπτουν όλη την περιοχή μελέτης. Οι γειτονιές επικαλύπτονται μεταξύ τους και κάθε τιμή που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των σημείων παρεμβολής είναι η τιμή που προκύπτει από την πολυωνυμική συνάρτηση και βρίσκεται στο μέσον της εκάστοτε γειτονιάς. Η επιλογή της περιοχής του πλησιέστερου γείτονα προσδιορίζεται με τον ίδιο τρόπο και τεχνική που ακολουθείται και στην IDW μέθοδο παρεμβολής.

Οι γενικευμένες μέθοδοι εκτίμησης global methods χρησιμοποιούνται για:

- Να εκτιμήσουν μία επιφάνεια από μία δεδομένη σημειακή δειγματοληψία όταν είναι γνωστό ότι η επιφάνεια είναι εξομαλυμένη χωρίς απότομες εξάρσεις ή βυθίσματα, όπως για παράδειγμα οι εκπομπές αέριων ρύπων πάνω από μία βιομηχανική ζώνη, και η διεύθυνση του ανέμου.
- Να εξετάσουν τις επιδράσεις μιας γενικευμένης τάσης που επικρατεί στην περιοχή μελέτης.

Οι μαθηματικές – πολυωνυμικές συναρτήσεις ως μέσο για την ακριβή αναπαράσταση μιας επιφάνειας, δεν είναι συνήθως πρακτικές εξαιτίας των

δυσκολιών στον υπολογισμό υψηλού βαθμού πολυωνύμων και στο γεγονός ότι τα πολυώνυμα τείνουν να εμφανίζουν μη αποδεκτά σφάλματα στα άκρα της επιφάνειας.

2.6 Συναρτήσεις τύπου Splines

Οι μέθοδοι τύπου Splines διαφέρουν από τις τοπικές και γενικευμένες τεχνικές παρεμβολής γιατί η επιφάνεια παρεμβολής που παράγεται περνάει ακριβώς ανάμεσα από τα σημεία της δειγματοληψίας. Σε σχέση με την μέθοδο του πλησιέστερου γείτονα IDW οι τεχνικές RBF έχουν τη δυνατότητα να προβλέψουν τιμές μεγαλύτερες από τη μέγιστη τιμή μεταβλητής και μικρότερες από την ελάχιστη τιμή μεταβλητής δειγματοληψίας. Επιπροσθέτως οι τεχνικές RBF χρησιμοποιούνται ευρέως στον σχεδιασμό, με σκοπό την παροχή μιας εξομαλυμένης ή τουλάχιστον καλά ελεγχόμενης αναπαράστασης επιφανειών. Κυρίως αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα παράγονται για τις ήπια ποικίλες επιφάνειες όπως η θερμοκρασία, όμως οι τεχνικές RBF θεωρούνται ακατάλληλες όταν υπάρχουν μεγάλες αλλαγές στις τιμές της επιφάνειας μέσα σε μια σύντομη οριζόντια απόσταση ή / και όταν η μεταβλητή της δειγματοληψίας είναι επιρρεπής σε λάθος ή σε αβεβαιότητα.

Υπάρχουν πέντε διαφορετικές παραλλαγές: α) thin-plate spline, β) spline with tension, γ) completely regularized spline, δ) multiquadric function και ε) inverse multiquadric function. Κάθε μία παραλλαγή οδηγεί σε μια ελαφρώς διαφορετική επιφάνεια παρεμβολής. Σε όλες τις παραλλαγές υπάρχει μία παράμετρος που ρυθμίζει την εξομάλυνση των επιφανειών παρεμβολής στις οποίες όσο αυξάνεται η παράμετρος αυτή η επιφάνεια παρεμβολής γίνεται πιο ομαλή, ενώ το αντίθετο συμβαίνει κατ' εξαίρεση στην πέμπτη παραλλαγή.

3. ΥΠΟΓΕΙΑ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗ

3.1 Γενικά

Προσπέλαση είναι η κατασκευή έργων ώστε να γίνει δυνατή η προσέγγιση στο κοίτασμα. Η προσπέλαση μπορεί να είναι επιφανειακή ή και υπόγεια. Η επιλογή, σχεδίαση και κατασκευή των προσπελαστικών έργων ενός κοιτάσματος αποτελεί συχνά ένα ιδιαίτερα σύνθετο πρόβλημα για τον μηχανικό. Τα έργα προσπέλασης μιας υπόγειας εκμετάλλευσης αποτελούν τον τρόπο επικοινωνίας της εκμετάλλευσης με το περιβάλλον. Μερικές από τις βασικές λειτουργίες που εξυπηρετούν τα έργα αυτά είναι (Αγιουτάντης, 2005):

- η μεταφορά του προσωπικού προς και από τα μέτωπα εργασίας,
- η μεταφορά του εξοπλισμού και των υλικών προς τα μέτωπα εργασίας,
- η μεταφορά του εξορυσσόμενου προϊόντος στην επιφάνεια,
- ο αερισμός των μετώπων,
- η εγκατάσταση δικτύων ύδρευσης, ηλεκτρικής ενέργειας και πεπιεσμένου αέρα,
- η άντληση υπογείων υδάτων.

Από τα παραπάνω μπορεί να γίνει κατανοητό ότι η σωστή προσπέλαση είναι ζωτικής σημασίας για όλο το έργο. Αν γίνουν λάθος επιλογές στον τρόπο προσπέλασης τότε:

- Κινδυνεύει η επιτυχία του έργου.
- Είναι πολύ δύσκολο να διορθωθεί μια εσφαλμένη απόφαση.
- Το κόστος επανόρθωσης είναι αρκετά σημαντικό.

Όπως γίνεται αντιληπτό χρειάζεται να δοθεί η δέουσα προσοχή, η μέγιστη προσπάθεια, η υψηλή στάθμη τεχνολογίας και τεχνογνωσίας για να στεφθεί από οικονομικής αλλά και από τεχνικής άποψης το έργο με επιτυχία.

3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την υπόγεια προσπέλαση

Για το σχεδιασμό των έργων προσπέλασης είναι απαραίτητο οι μηχανικοί εκμετάλλευσης να προτείνουν οικονομικά και τεχνικά βιώσιμες λύσεις όσον αφορά στα ακόλουθα θέματα:

- στον τρόπο εκμετάλλευσης,
- στη θέση των έργων προσπέλασης,
- στη μορφή και το μέγεθος των έργων προσπέλασης.

Η αντιμετώπιση των προβλημάτων που σχετίζονται με τον τρόπο προσπέλασης, καθώς και τη θέση και το μέγεθος των έργων προσπέλασης, βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με ορισμένους παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν κατά περίπτωση, άλλος λιγότερο και άλλος περισσότερο, την τελική απόφαση που επρόκειτο να ληφθεί.

Παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά την θέση και τον τρόπο προσπέλασης είναι (Αγιουτάντης, 2005):

- η μορφολογία της επιφάνειας του εδάφους που υπέρκειται του κοιτάσματος,
- η γεωμετρία του κοιτάσματος (πάχος, κλίση, έκταση),
- η επιδιωκόμενη παραγωγή του μεταλλείου,
- το κόστος κατασκευής και λειτουργίας των έργων προσπέλασης,
- η μέθοδος εκμετάλλευσης,
- η μελλοντική προοπτική ανάπτυξης του μεταλλείου,

Αν χρειαζόταν να αναλυθούν οι παράγοντες αυτοί, θα έπρεπε να επισημανθεί για το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής ότι είναι δυνατόν, συναρτήσει και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του κοιτάσματος, να καθορίσει τον τρόπο προσπέλασης. Έτσι σε περίπτωση οριζώντιου εδάφους, η προσπέλαση οριζοντίων ή πολύ μικρής κλίσεως κοιτασμάτων, μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο μέσω όρυξης φρεάτων. Λοφώδεις όμως ή ορεινές περιοχές προσφέρουν συνήθως τη δυνατότητα προσπελάσεως μέσω στοών ή κεκλιμένων, με την

προϋπόθεση ότι μέσω αυτών εξασφαλίζεται η απόληψη ικανού όγκου κοιτάσματος. Κλείνοντας είναι σημαντικό να τονιστεί ότι το τοπογραφικό ανάγλυφο καθώς και η διαμόρφωση της επιφάνειας γύρω από τα σημεία προσπέλασης πρέπει να επιτρέπουν την ενδεχόμενη ανέγερση βοηθητικών εγκαταστάσεων.

Όσον αναφορά τη γεωμετρία του κοιτάσματος και ιδιαιτέρως την κλίση του, είναι προφανές ότι μπορεί να επηρεάσει αποφασιστικά την επιλογή του τρόπου προσπέλασης. Οριζόντια, κατακόρυφα, ή μεγάλης κλίσης κοιτάσματα φαίνεται ότι είναι προτιμότερο να προσπελασθούν μέσω φρεάτων. Αντίθετα, μικρά ή μέσης κλίσης κοιτάσματα είναι προτιμότερο να προσπελασθούν μέσω κεκλιμένων. Ωστόσο και στις δύο περιπτώσεις το βάθος στο οποίο επιδιώκεται η προσπέλαση μπορεί να ανατρέψει την εμφανιζόμενη ως πιο σωστή μέθοδο προσπέλασης. Πράγματι, σε μικρό βάθος πιθανόν να πλεονεκτεί η προσπέλαση μέσω κεκλιμένου, ενώ για μεγαλύτερο βάθος προτιμάται η όρυξη φρέατος, σε περίπτωση βέβαια που δεν ενοχλεί την οικονομικότητα του έργου.

Η γεωλογική δομή της περιοχής ασκεί σημαντική επιρροή στον καθορισμό της θέσης των έργων προσπέλασης και κατά κύριο λόγο των έργων ανάπτυξης, ιδιαίτερα δε εφ' όσον από αυτά επιδιώκονται συγχρόνως και ερευνητικοί σκοποί. Τόσο ο τρόπος, όσο και η θέση των έργων προσπέλασης πρέπει να επιλέγονται κατάλληλα ώστε να αποφεύγεται ο κίνδυνος και οι δαπάνες διέλευσης μέσω τεκτονικών ζωνών, μεταπτώσεων, υδροφόρων σχηματισμών, ή εξαιρετικώς ασταθών πετρωμάτων. Δεν πρέπει να λησμονείται ότι τα έργα προσπέλασης διαρκούν από πλευράς χρόνου ζωής, όσο και το μεταλλείο και μερικές φορές ίσως και περισσότερο, συνεπώς πρέπει να ορύσσονται κατά το δυνατόν μέσα σε ευσταθή πετρώματα, έστω και αν αυτό συνεπάγεται την αύξηση των δαπανών της εκμετάλλευσης του κοιτάσματος, με τη λογική ότι θα αποφευχθούν οι όποιοι κίνδυνοι θα εκδηλωθούν ενδεχομένως αργότερα.

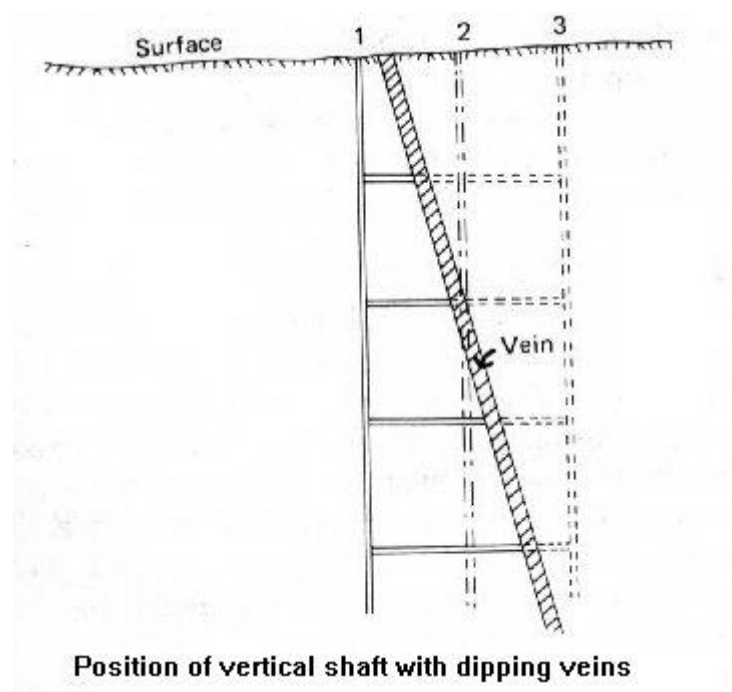
Η επιδιωκόμενη παραγωγή του μεταλλείου, επηρεάζει ευθέως το μέγεθος των έργων προσπέλασης των κοιτασμάτων καθώς διαφορετική διατομή απαιτείται

σε ένα φρέαρ που χρειάζεται να μεταφέρει 100000 τόνους μεταλλεύματος και διαφορετική σε ένα που πρέπει να μεταφέρει 500000 τόνους. Όπως είναι εύκολα αντιληπτό η παραγωγή δεν είναι ο μοναδικός παράγοντας που καθορίζει το μέγεθος των έργων προσπέλασης, άλλοι τέτοιοι παράγοντες είναι το βάθος, η μέθοδος και ο εξοπλισμός μεταφοράς και ανέλκυσης, η ποσότητα του απαιτούμενου αέρα, ο αριθμός των εργαζομένων κ.α. Γενικά το κύριο έργο προσπέλασης μπορεί να πραγματοποιηθεί (Αγιουτάντης, 2005):

- μέσω στοών,
- μέσω οριζόντιων στοών,
- μέσω κεκλιμένων στοών [ράμπες] (κλίση 10°),
- μέσω φρεάτων,
- μέσω κεκλιμένων (κλίση 45°),
- μέσω συνδυασμό των δύο τελευταίων ή μέσω φρέατος εξορυσσόμενο κατ' αρχήν κατακόρυφα και λαμβάνοντας στη συνέχεια κλίση μικρότερη των 90° .

Τα τελευταία χρόνια πιο διαδεδομένη και πιο συμφέρουσα θεωρείται η κατασκευή φρέατος ή κεκλιμένης στοάς. Το κεκλιμένο λόγω της δυναμικότητας των σύγχρονων εγκαταστάσεων ανέλκυσης χρησιμοποιείται σπάνια. Από πλευράς ορύξεως και υπό αυτές τις συνθήκες είναι προφανές ότι η κατασκευή στοάς μπορεί να επιτευχθεί ταχύτερα και οικονομικότερα σε σύγκριση με το κεκλιμένο ή το κατακόρυφο φρέαρ. Τυχόν ύπαρξη υδροφορίας επιτείνει τα πλεονεκτήματα της στοάς, ως συνέπεια της φυσικής αποστράγγισης των υδάτων μέσα από τη στοά. Από την πλευρά σύγκρισης φρέατος και κεκλιμένου αποβαίνει συνήθως υπέρ του δεύτερου. Εν τούτοις, θα πρέπει να σημειωθεί ότι αυξανόμενης της κλίσης πέρα από τις 65° το κεκλιμένο χάνει ορισμένα από τα πλεονεκτήματά του κατά την όρυξή του, ενώ συγχρόνως δεν αποκτά και τα πλεονεκτήματα της όρυξης του φρέατος. Έτσι σε μεγάλες κλίσεις η υπέρ του κεκλιμένου διαφορά είναι δυνατόν να μηδενισθεί και να καταστεί αρνητική, οπότε η όρυξη φρέατος εμφανίζεται ως περισσότερο συμφέρουσα.

Κατά την επιλογή των έργων προσπέλασης σπάνια θα συναντηθούν περιπτώσεις όπου ένας μόνο από τους παραπάνω παράγοντες θα παίξει καθοριστικό ρόλο, συνήθως ένας συνδυασμός των παραγόντων διαμορφώνει το πλαίσιο επιλογής των έργων προσπέλασης. Παρόλα αυτά υπάρχουν περιπτώσεις όπου η επιλογή είναι προφανής. Έτσι στην περίπτωση κοιτασμάτων με μεγάλη κλίση ή κατακόρυφα ή οριζόντια σε βάθος από την επιφάνεια, η προσπέλαση προτιμάται να γίνεται με φρέαρ (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1 Προσπέλαση με φρέαρ σε κοίτασμα με μεγάλη κλίση
(http://www.metal.ntua.gr/uploads/2552/simioseis_min_explol.pdf)

Αντίστοιχα για κοιτάσματα που αναπτύσσονται σε μικρό βάθος με μικρή κλίση, κρίνεται οικονομικότερη η προσπέλαση με κεκλιμένο ή αν το τοπογραφικό ανάγλυφο είναι ευνοϊκό με στοά. Όσον αφορά την γεωλογία, γενικώς τα προσπελαστικά έργα πρέπει να κατασκευάζονται εκτός ζωνών ρηγμάτων, περιοχών ασταθών γεωλογικών σχηματισμών και περιοχών αυξημένης υδροφορίας. Επίσης στην περίπτωση όπου η εφαρμοζόμενη μέθοδος εκμετάλλευσης δημιουργεί μια ζώνη διαταραχής στην γύρω περιοχή, τα προσπελαστικά έργα οφείλουν να κατασκευάζονται εκτός αυτής ή στην περίπτωση που κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό για πρακτικούς ή οικονομικούς

λόγους, τότε θα πρέπει να αφεθεί στύλος προστασίας εντός του κοιτάσματος. Βέβαια είναι φανερό ότι ο στύλος αυτός αποτελεί απώλεια χρήσιμου υλικού και θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να εξετάζονται εναλλακτικοί τρόποι προσπέλασης.

3.3 Θέση των έργων προσπέλασης

Η επιλογή της θέσης των έργων προσπέλασης αποτελεί ίσως το σημαντικότερο σημείο του σχεδιασμού μιας εκμετάλλευσης. Καθώς τα έργα αυτά θεωρούνται μόνιμα επηρεάζουν τις αποφάσεις για την κατασκευή βοηθητικών εγκαταστάσεων (συνεργεία επισκευής, κτίρια διοίκησης) και του τυχόν εργοστασίου θραύσης ή επεξεργασίας του προϊόντος. Οι κυριότεροι παράγοντες που υπεισέρχονται στη μελέτη του προβλήματος αυτού είναι (Αγιουτάντης, 2005):

- η μορφολογία της επιφάνειας του εδάφους που υπέρκειται του κοιτάσματος,
- η ευκολία μεταφοράς του προϊόντος στην αγορά και των υλικών στο μεταλλείο μέσω υπαρχόντων συγκοινωνιακών δικτύων,
- η επίδραση του κλίματος στη λειτουργία της εκμετάλλευσης,
- η μέθοδος εκμετάλλευσης (τα μόνιμα έργα προσπέλασης πρέπει να μην επηρεάζονται από την ανάπτυξη της εκμετάλλευσης),
- η μελλοντική προοπτική ανάπτυξης του έργου,
- το κόστος ανάπτυξης δηλαδή το κόστος μέχρι τη λειτουργική προσπέλαση των μετώπων εξόρυξης του μεταλλεύματος, σε σχέση με το κόστος λειτουργίας του μεταλλείου.

Η βέλτιστη θέση των έργων προσπέλασης καθορίζεται στις περισσότερες περιπτώσεις από τους ακόλουθους παράγοντες (Αγιουτάντης, 2005):

- την ασφάλεια της εκμετάλλευσης,
- την ταχεία και οικονομική προσπέλαση του κοιτάσματος,
- την ταχεία έναρξη παραγωγής μεταλλεύματος,
- την ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς του προϊόντος,

- την ελαχιστοποίηση των δαπανών αερισμού, άντλησης υδάτων, διακίνησης προσωπικού κλπ.

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της θέσης των κύριων έργων προσπέλασης είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς ή ισοδύναμα η ελαχιστοποίηση του απαιτούμενου έργου για μεταφορά. Αυτό αντιμετωπίζεται με την εύρεση του κέντρου βάρους του κοιτάσματος, στο οποίο το άθροισμα των γινομένων των επιμέρους φορτίων επί την απόσταση τους από το Κ.Β ισούται με το μηδέν, δηλαδή το άθροισμα των ροπών των φορτίων ισούται με το μηδέν.

Γενικότερα η θέση των κύριων μεταλλευτικών έργων εξαρτάται από τον τρόπο προσπέλασης ο οποίος τελικά θα υιοθετηθεί από το τοπογραφικό ανάγλυφο της επιφάνειας όπως και των εν γένει συνθηκών εκμετάλλευσης. Ιδιαίτερως το τοπογραφικό ανάγλυφο και γενικότερα η τοπογραφική διαμόρφωση της υπερκείμενης του κοιτάσματος επιφανειακής περιοχής επηρεάζει και τη θέση της αφετηρίας των κύριων έργων προσπέλασης από τη πλευρά της προφύλαξής τους έναντι των πλημμύρων και της εξασφάλισης της απαραίτητης έκτασης με σκοπό την ανέγερση των διαφόρων εγκαταστάσεων, στα οποία περιλαμβάνονται συχνά και εργοστάσια εμπλουτισμού του παραγόμενου μεταλλεύματος. Είναι προφανές ότι η ευχερής σύνδεση των εν λόγω εγκαταστάσεων, είναι μεγάλης σημασίας και πρέπει να εξετάζεται με ιδιαίτερη προσοχή (http://www.metal.ntua.gr/uploads/2552/simioseis_min_exploI.pdf).

3.4 Όρυξη στοών

Η μορφή και το μέγεθος της διατομής ποικίλουν και εξαρτώνται από τα πετρώματα εντός των οποίων διανοίγεται η στοά, την μέθοδο εκμετάλλευσης και τον μηχανολογικό εξοπλισμό που αναμένεται να χρησιμοποιηθεί. Έτσι από πλευράς μορφής διατομής χρησιμοποιείται, τραπεζοειδείς, πεταλοειδείς και κυκλικές, με τις τελευταίες να παρουσιάζουν την καλύτερη συμπεριφορά στον χρόνο και να απαιτούν λιγότερη υποστήριξη. Αντίστοιχα από πλευράς διατομής προκύπτουν:

- Στοές μικρού μεγέθους ($<9 \text{ m}^2$),
- Στοές μέσου μεγέθους (μεταξύ 9 και 23 m^2),
- Στοές μεγάλου μεγέθους ($>23 \text{ m}^2$).

Οι τελευταίες επιλέγονται στην περίπτωση όπου το μεταλλείο έχει μεγάλη ετήσια παραγωγή και διακινείται ογκώδης και «βαρύς» μηχανολογικός εξοπλισμός.

Η διάνοιξη γίνεται συνήθως με την μέθοδο της διάτρησης και ανατίναξης, όπου η διάτρηση πραγματοποιείται με αερόσφυρες ή σε μεγάλες διατομές με διατρητικά φορεία (jumbo drill) (Εικόνα 3.3). Η φόρτωση και μεταφορά πραγματοποιείται με ελαστιχοφόρους φορτωτές υπογείων (LHD- Load Haul Dump) ή φορτωτές που κινούνται σε σιδηροτροχιές.

Ο τρόπος υποστήριξης καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη μορφή της διατομής της στοάς. Για παράδειγμα, αν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ξύλινα πλαίσια, τότε ενδείκνυται η μορφή της διατομής να είναι τραπεζοειδής ώστε να διευκολύνεται η τοποθέτηση των πλαισίων (Εικόνα 3.4).



Εικόνα 3.3 Διατρητικό φορείο (jumbo drill) με δύο διατρητικούς βραχίονες
(<http://ca107674034.en.gongchang.com/>)



Εικόνα 3.4 Διατρητικό φορείο κοχλίωσης (http://www.dthrotarydrilling.com/Atlas-Copco/Rock_Reinforcement.html)

Σημαντικό ρόλο κατά τον σχεδιασμό και την όρυξη των στοών παίζουν οι γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες. Αναλυτικότερα οι παράγοντες που επηρεάζουν την όρυξη των στοών είναι:

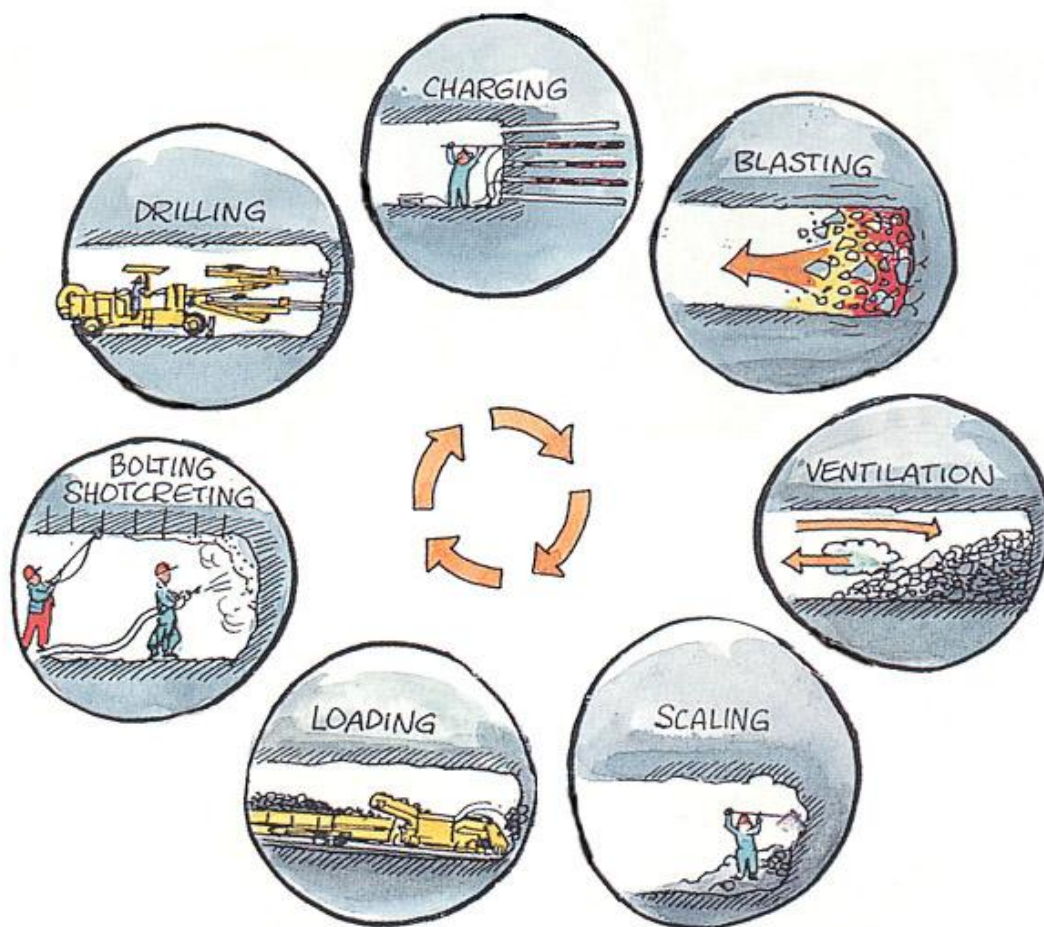
- Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του πετρώματος ή των πετρωμάτων που θα συναντηθούν.
- Η διεύθυνση και κλίση των στρωμάτων ως προς τον άξονα της στοάς
- Ο βαθμός κερματισμού του πετρώματος.
- Η τοποθέτηση της στοάς σε σχέση με γεωλογικές δομές, όπως σύγκλινα ή αντίκλινα.

- Ειδικοί παράγοντες (καρστ, διογκούμενοι σχηματισμοί, ευδιάλυτοι σχηματισμοί κτλ.).

Από πλευράς υδρογεωλογίας είναι ιδιαίτερα κρίσιμο να είναι γνωστό εκ των προτέρων η ποσότητα (παροχή, πίεση) και η ποιότητα (χημική σύσταση) των υπογείων υδάτων που θα συναντηθούν. Πάγια επιδίωξη κατά τον σχεδιασμό είναι η στοά να έχει μια ελαφρά κλίση προς την έξοδο ώστε να επιτυγχάνεται η απαγωγή των υδάτων με φυσική ροή. Προφανώς κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατόν όταν το επιθυμητό σημείο προσπέλασης στο κοίτασμα είναι υψηλότερα από τις στάθμες εργασιών. Στις περιπτώσεις αυτές τα νερά συλλέγονται μέσω του δικτύου που καλύπτει όλη την εκμετάλλευση σε δεξαμενές καθίζησης που έχουν κατασκευαστεί στο κατώτατο σημείο του κοιτάσματος (Εικόνα 3.5, 3.6).



Εικόνα 3.5 Στοά εκσκαφής (http://www.metal.ntua.gr/uploads/2552/simioseis_min_explol.pdf)



Εικόνα 3.6 Διαδοχή των επιμέρους εργασιών της μεθόδου διάτρησης και ανατίναξης
(http://www.metal.ntua.gr/uploads/2552/simioseis_min_explol.pdf)

3.5 Μέσα υποστήριξης

Ο σχεδιασμός οποιασδήποτε υπόγειας εκσκαφής πρέπει να περιλαμβάνει την διερεύνηση των εντατικών καταστάσεων κάτω από τις οποίες θα λάβει χώρα η όρυξη. Από πλευράς τάσεων μπορούν να διακριθούν δύο κυρίως κατηγορίες, οι γεωστατικές τάσεις, οι οποίες οφείλονται στο βάρος των υπερκείμενων στρωμάτων και τις τάσεις που προέρχονται από τεκτονικά φαινόμενα όπως ρήγματα, σύγκλινα κτλ. Η γνώση των παραπάνω θα οδηγήσει στον σωστό και ασφαλή σχεδιασμό της στοάς. Αναλυτικότερα οποιαδήποτε υπόγειο άνοιγμα μεταβάλλει την εντατική κατάσταση στην γύρω περιοχή. Αυτό συνεπάγεται ότι κάποιες περιοχές θα δεχθούν ιδιαίτερα αυξημένες τάσεις ενώ σε κάποιες άλλες οι αρχικές τάσεις θα μειωθούν ή θα αντιστρέψουν το πρόσημό τους (οι

θλιπτικές θα γίνουν εφελκυστικές). Το αποτέλεσμα είναι να δημιουργηθεί μια ζώνη γύρω από την εκσκαφή όπου το πέτρωμα έχει πλαστικοποιηθεί και επέρχεται η χαλάρωση, η οποία εκδηλώνεται με την μορφή μετακίνησης προς το εσωτερικό του ανοίγματος. Αν το περιβάλλον πέτρωμα έχει μεγάλη αντοχή, τότε η όλη κατάσταση σταθεροποιείται με τον σχηματισμό μιας μορφής αψίδας στην οροφή. Σε διαφορετική περίπτωση πρέπει να τοποθετηθεί η απαραίτητη υποστήριξη για να επανέλθει η ισορροπία. Σε γενικές γραμμές η παρουσία ακμών στο σχήμα της διατομής έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην συμπεριφορά της ενώ καλύτερη συμπεριφορά παρουσιάζουν οι πεταλοειδείς και οι κυκλικές διατομές (http://www.metal.ntua.gr/uploads/2552/simioseis_min_exploI.pdf).

Πρωταρχικός ρόλος της υποστήριξης είναι τόσο η προστασία των εργαζομένων όσο και των μηχανημάτων από τυχόν πτώσεις της οροφής και δευτερεύοντας ρόλος αλλά εξίσου σημαντικός, είναι να προστατευτεί η ποιότητα του μεταλλεύματος ώστε να μην μολύνεται από τις πτώσεις στείρων από την οροφή.

Η υποστήριξη υπόγειων εκσκαφών επιτυγχάνεται με διάφορα μέσα, από τα οποία τα κυριότερα είναι τα ακόλουθα (Αγιουτάντης, 2001):

- Τα ξύλινα πλαίσια.
- Οι υδραυλικοί ή μηχανικοί ορθοστάτες.
- Τα μεταλλικά πλαίσια.
- Οι κοχλίες.
- Το σκυρόδεμα.
- Ειδικά συστήματα (όπως υδραυλικές ασπίδες).

Μερικά από τα παραπάνω μέσα παρουσιάζονται με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους παρακάτω.

Ξύλινα πλαίσια

Τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής ξύλινων πλαισίων σε σχέση με μεταλλικά πλαίσια είναι η εξής (Οικονομόπουλος, 1973):

- Το ξύλο είναι ελαφρύ και μπορεί εύκολα να μεταφερθεί στο σημείο τοποθέτησής του.
- Τα σπασμένα τεμάχια είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω.
- Η αστοχία του ξύλου είναι σταδιακή και συνοδεύεται από οπτική παρατήρηση.
- Λόγω χαμηλού κόστους είναι εύκολο να εγκαταλειφθεί σε εκσκαφές.

Τα μειονεκτήματα χρήσης ξύλου είναι τα εξής:

- Οι μηχανικές αντοχές του εξαρτώνται από τη δομή του.
- Οι μηχανικές αντοχές επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την υγρασία.
- Οι μηχανικές ιδιότητες επηρεάζονται από τους μύκητες και έντομα, κάτι που αντιμετωπίζεται με κατάλληλο ψεκασμό.
- Είναι εύφλεκτο.
- Θα ήταν σημαντικό να τονιστεί κλείνοντας ότι η αντοχή του ξύλου σε εφελκυσμό είναι 50% μεγαλύτερη σε σχέση με την θλίψη.

Μεταλλική υποστήριξη

Η αντικατάσταση της ξύλινης από τη μεταλλική οφείλεται στις καλές ιδιότητες του χάλυβα. Τα κύρια χαρακτηριστικά του συνοψίζονται στη συνέχεια (Biron and Arioglu, 1983):

- Είναι ομογενές υλικό και επομένως επιτρέπει τον σωστό σχεδιασμό με τη χρήση συντελεστών ασφαλείας.
- Έχει υψηλό μέτρο ελαστικότητας (περίπου 200 GPa) και επομένως έχει καλύτερη συμπεριφορά σε παραμορφώσεις.
- Δεν επηρεάζεται όπως το ξύλο από την υγρασία.
- Είναι δυνατόν να ξαναχρησιμοποιηθεί.
- Είναι ακριβό υλικό.

Υποστήριξη με σκυρόδεμα

Η υποστήριξη με σκυρόδεμα δεν χρησιμοποιείται ευρέως ακόμη στα μεταλλεία λόγω του υψηλού κόστους. Η υποστήριξη αυτού του τύπου θεωρείται στην γενική περίπτωση άκαμπτη και έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα (Οικονομόπουλος, 1973):

- Είναι συνεχής.
- Είναι λεία.
- Είναι στεγανή.
- Έχει υψηλή μηχανική αντοχή.

Διακρίνονται οι ακόλουθοι τύποι υποστήριξης με σκυρόδεμα:

- Η μονολιθική υποστήριξη.
- Η υποστήριξη που μορφώνεται από εκτοξευμένο σκυρόδεμα.
- Η υποστήριξη που αποτελείται από προκατασκευασμένα στοιχεία (τσιμεντόλιθους).
- Η υποστήριξη που αποτελείται από προκατασκευασμένα πλαίσια.

Κοχλίες

Ένας κλασσικός κοχλίας αποτελείται από μία μεταλλική ράβδο, η οποία φέρει στο ένα άκρο της το σύστημα αγκύρωσης και στο άλλο άκρο είναι δυνατόν να τοποθετηθεί περικόχλιο (παξιμάδι), το οποίο αφού συσφιχθεί με ορισμένη ροπή επιβάλλει μέσω μεταλλικής πλάκας αντίστοιχες τάσεις στο πέτρωμα. Η τοποθέτηση ενός κοχλία ακολουθεί τα εξής στάδια (Αγιουτάντης, 2001):

- Όρυξη διατρήματος κατάλληλου μήκους και κατάλληλης διαμέτρου.
- Καθαρισμός του διατρήματος.
- Εισαγωγή του κοχλία και του υλικού αγκύρωσης.
- Τοποθέτηση του περικόχλιου.
- Τάνυση του κοχλία.

Οι κοχλίες διακρίνονται ανάλογα με την προένταση της μεταλλικής ράβδου στους προεντεταμένους και στους μη, και ανάλογα με τον τύπο αγκύρωσης σε κοχλίες σημειακής και κατανεμημένης αγκύρωσης.

Η διαφορά στους προεντεταμένους και μη κοχλίες εντοπίζεται στην δυνατότητα εφαρμογής ενεργητικής ή παθητικής υποστήριξης (Εικόνα 3.7).



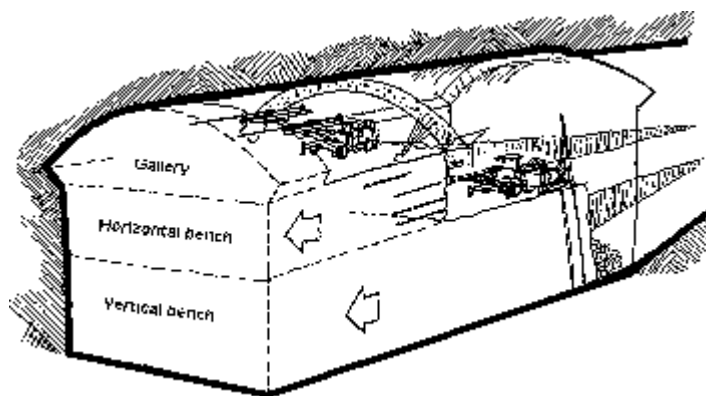
Εικόνα 3.7 Κοχλίας

([http://194.132.104.144/Websites%5CRDE%5Cwebsite.nsf/\\$All/AF37453F9CDA4C15412567400030D409?OpenDocument](http://194.132.104.144/Websites%5CRDE%5Cwebsite.nsf/$All/AF37453F9CDA4C15412567400030D409?OpenDocument))

3.6 Εναλλακτικοί τρόποι όρυξης στοών

Πέραν των άλλων μεθόδων η όρυξη στοών μπορεί να πραγματοποιηθεί και με διαχωρισμό της διατομής σε τμήματα και την όρυξη σε δύο ή περισσότερες φάσεις (Εικόνα 3.8). Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται όταν οι γεωτεχνικές συνθήκες δεν επιτρέπουν την προσβολή της διατομής σε όλη την επιφάνεια ή όταν η διατομή έχει μεγάλη επιφάνεια. Βέβαια στην περίπτωση αυτή πρέπει να προγραμματισθεί με ακρίβεια η διαδοχή και η πορεία των εργασιών ώστε να μην επέλθει διένεξη μεταξύ των φάσεων και η διαδικασία να προχωράει ομαλά (http://www.metal.ntua.gr/uploads/2552/simioseis_min_exploI.pdf).

Τέλος η διάνοιξη στοών μπορεί να γίνει και με μηχανές ολομέτωπου κοπής (TBM) ή σημειακής κοπής (Roadheader).



Εικόνα 3.8 Όρυξη στοάς μεγάλης διατομής

(http://www.metal.ntua.gr/uploads/2552/simioseis_min_explol.pdf)

3.7 Διάτρηση και ανατίναξη για την διάνοιξη στοών

3.7.1 Διατρήματα

Οι υπόγειες ανατινάξεις είναι δυνατόν να διαιρεθούν σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Τις ανατινάξεις για την προχώρηση στοών, σηράγγων, κλπ, όπου η μοναδική ελεύθερη επιφάνεια είναι η επιφάνεια διάτρησης.
- Τις ανατινάξεις σε υπόγειες βαθμίδες όπου υπάρχουν μία ή περισσότερες ελεύθερες επιφάνειες.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στις υπόγειες ανατινάξεις χρησιμοποιούνται μεγαλύτεροι χρόνοι επιβραδύνσεων (της τάξεως των 500 msec) και για λόγους ασφάλειας και για να δώσουν περισσότερο χρόνο στο πέτρωμα για να μετακινηθεί (Αγιουτάντης, 2005).

Ένα από τα πιο σημαντικά τμήματα μιας υπόγειας ανατίναξης είναι η αρχική διάνοιξη. Η βασική της λειτουργία είναι η δημιουργία ελεύθερων επιφανειών για την βελτίωση του μηχανισμού θραύσης του πετρώματος από την ανατίναξη των υπόλοιπων διατρημάτων. Οι τρόποι διάνοιξης μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες :

- Οι κοπές υπό γωνία.
- Οι παράλληλες κοπές.

Η επιλογή ενός συγκεκριμένου τρόπου κοπής εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες (Dick et al., 1983):

- Τον τύπο του πετρώματος.
- Τον τύπο των συστημάτων διάτρησης.
- Την ικανότητα των χειριστών.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι παράλληλες κοπές μπορούν να εξασφαλίσουν μεγαλύτερη προχώρηση σε σχέση με τις κοπές υπό γωνία, καθώς αυτές περιορίζονται από τις διαστάσεις του ανοίγματος.

Οι αρχικές κοπές υπό γωνία έχουν κύριο σκοπό την εξαγωγή μίας σφήνας πετρώματος ώστε να δημιουργηθεί το πρώτο άνοιγμα, και οι βασικές διατάξεις είναι (http://www.metal.ntua.gr/uploads/2552/simioseis_min_exploI.pdf):

- Η πυραμιδοειδής κοπή.
- Η σφηνοειδής κοπή.

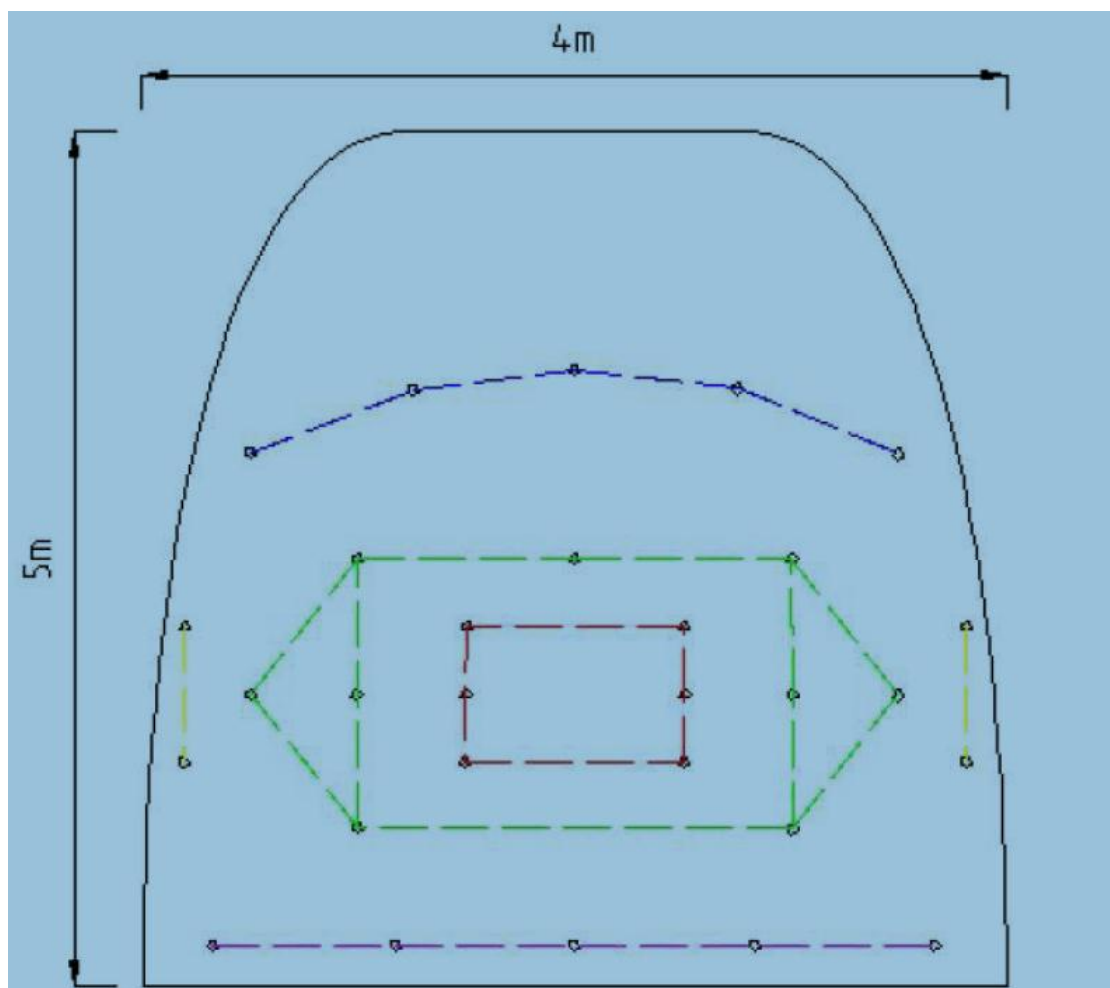
Οι παράλληλες κοπές έχουν ως κύριο σκοπό τη λεπτομερέστερη θράση και μετατόπιση ενός κυλίνδρου πετρώματος ώστε να δημιουργηθεί το πρώτο άνοιγμα, και οι βασικές τους διατάξεις είναι (http://www.metal.ntua.gr/uploads/2552/simioseis_min_exploI.pdf):

- Η κοπή burn.
- Η κοπή τύπου burn με μεγάλο ελεύθερο διάτρημα.
- Η κοπή τύπου coromant.

Τα διατρήματα σε σχέση με την θέση τους στο μέτωπο χαρακτηρίζονται ως εξής:

- Μπουσόν (κόκκινη διακεκομμένη): ορύσσονται οριζόντια με κατάλληλη κλίση, ώστε να χαράσσεται μία σφήνα πετρώματος (μέθοδος κοπής V Cut).
- Βοηθητικά (πράσινη διακεκομμένη): ορύσσονται σχεδόν οριζόντια και με κλίση λίγο μικρότερη αυτής των μπουσόν.

- Περιμετρικά (κίτρινη διακεκομμένη): ορύσσονται οριζόντια και με κατάλληλη κλίση ώστε να εισχωρούν στις παρειές της στοάς (παραμέντα).
- Κορώνες (μπλε διακεκομμένη): γενικά έχουν ανοδική κλίση ώστε η ανατίναξη να χαλαρώσει την στέψη της στοάς με τον ελάχιστο αριθμό διατρημάτων.
- Ντούκια (μωβ διακεκομμένη): ορύσσονται με καθοδική κλίση ώστε να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα σχηματισμού πόδα (πάγκου) στο δάπεδο της στοάς (Εικόνα 3.9).



Εικόνα 3.9 Διάταξη διατρημάτων

(http://www.metal.ntua.gr/uploads/2552/simioseis_min_explol.pdf)

3.7.2 Γόμωση

Οι εκρηκτικές ύλες και τα εκρηκτικά μέσα έχουν τη δυνατότητα να παράγουν σημαντικές ποσότητες ενέργειας σε μικρό χρονικό διάστημα και επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον θρυμματισμό των πετρωμάτων.

Η θραύση του πετρώματος με εκρηκτικές ύλες επιτυγχάνεται με δύο τρόπους:

- Από την διάδοση του κρουστικού παλμού που παράγεται από την έκρηξη.
- Από την εκτόνωση του ωστικού κύματος των αερίων που παράγονται.

Στην πρώτη περίπτωση η θραύση του πετρώματος είναι αποτέλεσμα της εφαρμογής ενός υψηλού εντατικού πεδίου, ενώ το δεύτερο φαινόμενο συνεισφέρει στην απομάκρυνση των θραυσμένων τεμαχίων από την φυσική τους θέση.

Οι πιο βασικές εκρηκτικές ύλες αναφέρονται παρακάτω:

- Πυρίτιδες (Εικόνα 3.10).
- Νιτρικό αμμώνιο.
- Εκρηκτικά με βάση τη νιτρογλυκερίνη
- Πετρελαιοαμμωνίτες (ANFO) (Εικόνα 3.11).
- Εκρηκτικά υγρής φάσης και γαλακτώματα.
- Άλλα οργανικά και ανόργανα εκρηκτικά.



Εικόνα 3.10 Μαύρη πυρίτιδα

(http://www.extraco.gr/extraco/index.php?option=com_content&task=view&id=13&Itemid=30)



Εικόνα 3.11 ANFO

(http://www.extraco.gr/extraco/index.php?option=com_content&task=view&id=13&Itemid=30)

3.7.3 Έναυση εκρηκτικών

Η ενεργοποίηση των εκρηκτικών υλών προκαλείται με την έναυση ή την πυροδότησή τους. Διακρίνονται δύο κύριες κατηγορίες συστημάτων έναυσης ανάλογα με τον τρόπο μετάδοσης του σήματος έναυσης (Αγιουτάντης, 2005):

- Τα ηλεκτρικά συστήματα.
- Τα μη ηλεκτρικά συστήματα.

Τα συστήματα έναυσης διακρίνονται επίσης ανάλογα και με τον τρόπο έναυσης:

- Τα συστήματα μετάδοσης φλόγας που χρησιμοποιούνται για την έναυση εκρηκτικών χαμηλής διαρρηκτικότητας (πυρίτιδες).
- Τα συστήματα μετάδοσης κρουστικού παλμού που χρησιμοποιούνται για την έναυση εκρηκτικών υψηλής διαρρηκτικότητας (δυναμίτιδες, ANFO).

Η έναυση της πυρίτιδας είναι δυνατόν να γίνει με:

- Θρυαλλίδα ασφαλείας.
- Ηλεκτρικά καψύλλια πυρίτιδας.

Η έναυση των δυναμίτιδων και γενικά των διαρρηκτικών εκρηκτικών υλών απαιτεί την δημιουργία και μετάδοση ενός κρουστικού παλμού και είναι δυνατόν να γίνει με (Αγιουτάντης, 2005):

- Κοινά καψύλλια δυναμίτιδας.
- Ηλεκτρικά καψύλλια δυναμίτιδας.
- Εκρηκτική θρυαλλίδα (Εικόνα 3.12).
- Το σύστημα Nonel (Εικόνα 3.13).
- Το σύστημα Magnadet.
- Το σύστημα Hercudet.
- Συνδυασμούς των προηγούμενων συστημάτων.



Εικόνα 3.12 Ακαριαία θρυαλλίδα

(http://www.extraco.gr/extraco/index.php?option=com_ponygallery&Itemid=42)



Εικόνα 3.13 Σύστημα Nonel

(http://www.oricaminingservices.com/se/en/product/products_and_services/initiating_systems/nonel_unidet/411)

Κλείνοντας αξίζει να σημειωθεί ότι τα περισσότερα συστήματα έναυσης περιέχουν ισχυρά εκρηκτικά με συνέπεια να πρέπει να χρησιμοποιούνται με την ίδια προσοχή που απαιτείται για τη χρήση των εκρηκτικών υλικών.

3.8 Καθορισμός ετήσιας παραγωγής μεταλλείου

Η κατασκευή των έργων ανάπτυξης είναι στενά συνδεδεμένη με τον καθορισμό της ετήσιας παραγωγής του μεταλλείου. Η παραγωγή του μεταλλείου συνήθως υπολογίζεται σε ετήσια βάση και λαμβάνονται υπόψη τα αποθέματα, η εφαρμοζόμενη μέθοδος εκμετάλλευσης, ο μηχανολογικός εξοπλισμός και η επιθυμητή διάρκεια ζωής. Για τον υπολογισμό της ετήσιας παραγωγής πρέπει σε κάθε περίπτωση να λαμβάνονται υπόψη κάποιες βασικές αρχές που διέπουν την μεταλλευτική δραστηριότητα, όπως:

- Η επίτευξη της μέγιστης δυνατής ασφάλειας.
- Η επίτευξη της μέγιστης δυνατής απόληψης.
- Η επίτευξη του ελάχιστου δυνατού κόστους ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος.

Αναλυτικότερα οι παράγοντες που κυρίως επηρεάζουν την ετήσια παραγωγή ενός μεταλλείου είναι:

- Οι εθνικές ανάγκες στο παραγόμενο μετάλλευμα.
- Η σκοπιμότητα εξαγωγών σε άλλες χώρες.
- Η υφιστάμενη δυνατότητα διαθέσεως του μεταλλεύματος.
- Οι διαστάσεις και η γεωμετρία του κοιτάσματος.
- Οι γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή.
- Η μέθοδος εκμετάλλευσης.
- Το επίπεδο τεχνογνωσίας της χώρας.
- Η ποιότητα του απασχολούμενου προσωπικού.

Παρόλο που ο υπολογισμός της ετήσιας παραγωγής ενός μεταλλείου είναι ένα σύνθετο πρόβλημα, εντούτοις αυτή μπορεί να εκτιμηθεί με ικανοποιητικό βαθμό ακρίβειας αν είναι γνωστά κάποια μεγέθη. Έτσι μια σχέση που προτείνεται για την εκτίμηση της ετήσιας παραγωγής είναι η ακόλουθη:

$$Q = u \cdot S \cdot \delta \cdot K_a / K_p$$

όπου Q: η ετήσια παραγωγή (tn).

u: η μέση ετήσια προχώρηση των μετώπων (m).

S: η μέση εκμεταλλεύμενη επιφάνεια του κοιτάσματος (m²).

δ: το ειδικό βάρος του μεταλλεύματος σε (tn/m³).

K_a : ο συντελεστής απόληψης, ο οποίος κυμαίνεται από 0,50 ως 0,95.

K_p : ο συντελεστής ανάμιξης, ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ 0,05 και 0,20.

Η παραγωγή που υπολογίζεται είναι δυνατόν να επανεξετασθεί και να τροποποιηθεί κατά την διάρκεια ζωής του μεταλλείου. Αυτό συμβαίνει γιατί στα πρώτα χρόνια ζωής του η μεταλλευτική έρευνα δεν έχει ολοκληρωθεί και τα αποθέματα δεν έχουν καθοριστεί επαρκώς. Επίσης η παραγωγή μπορεί να μεταβληθεί εξαιτίας άλλων παραγόντων, όπως η ζήτηση στην διεθνή αγορά κτλ. Η επιλογή του ύψους της παραγωγής εξαρτάται άμεσα από το

επιτυγχανόμενο κόστος ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος, το οποίο αποτελείται από το κόστος εκμετάλλευσης (80-90%) και από το κόστος των αποσβέσεων (10-20%). Γενικά αύξηση της ετήσιας παραγωγής επιφέρει μείωση του κόστους εκμετάλλευσης και αύξηση του κόστους των αποσβέσεων, δεδομένου ότι απαιτούνται περισσότερα έργα ανάπτυξης και περισσότερος εξοπλισμός
(http://www.metal.ntua.gr/uploads/2552/simioseis_min_exploI.pdf).

4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΡΓΩΝ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία περιλαμβάνει τα πρώτα στάδια σχεδιασμού μιας υπόγειας εκμετάλλευσης τα οποία αποτελούνται ουσιαστικά από τον υπολογισμό αποθεμάτων και τον πρώτο σχεδιασμό των έργων προσπέλασης. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία προέρχονται από προηγούμενη διπλωματική εργασία που εκπονήθηκε επίσης στο Πολυτεχνείο Κρήτης (Κελέρμενος, 2009) και αναφέρονται σε υπόγεια εκμετάλλευση βωξίτικού κοιτάσματος στην περιοχή Παρνασσού-Γκιώνας.

Η υλοποίηση των παραπάνω έγινε με ένα καινούργιο λογισμικό πακέτο το οποίο απέκτησε πρόσφατα ο τομέας μεταλλευτικής τεχνολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης και το οποίο ονομάζεται Carlson software.

Το Carlson software είναι ένα σχεδιαστικό πρόγραμμα κατάλληλο για την σχεδίαση υπόγειων και υπαίθριων εκμεταλλεύσεων, το οποίο εγκαθίσταται είτε στο intellicad που είναι σαφώς μικρότερου κόστους, είτε στο autocad. Με τον τρόπο αυτό το λογισμικό Carlson software αξιοποιεί την σχεδιαστική πλατφόρμα των συστημάτων Cad και επομένως μπορεί να προσφέρει την ίδια ευκολία χρήσης.

Η παρούσα διπλωματική περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- Την δημιουργία ανάγλυφου της επιφάνειας.
- Την δημιουργία του κοιτάσματος από τις γεωτρήσεις.
- Τον υπολογισμό των αποθεμάτων.
- Τον σχεδιασμό των έργων προσπέλασης

4.1 Δημιουργία ανάγλυφου της επιφάνειας

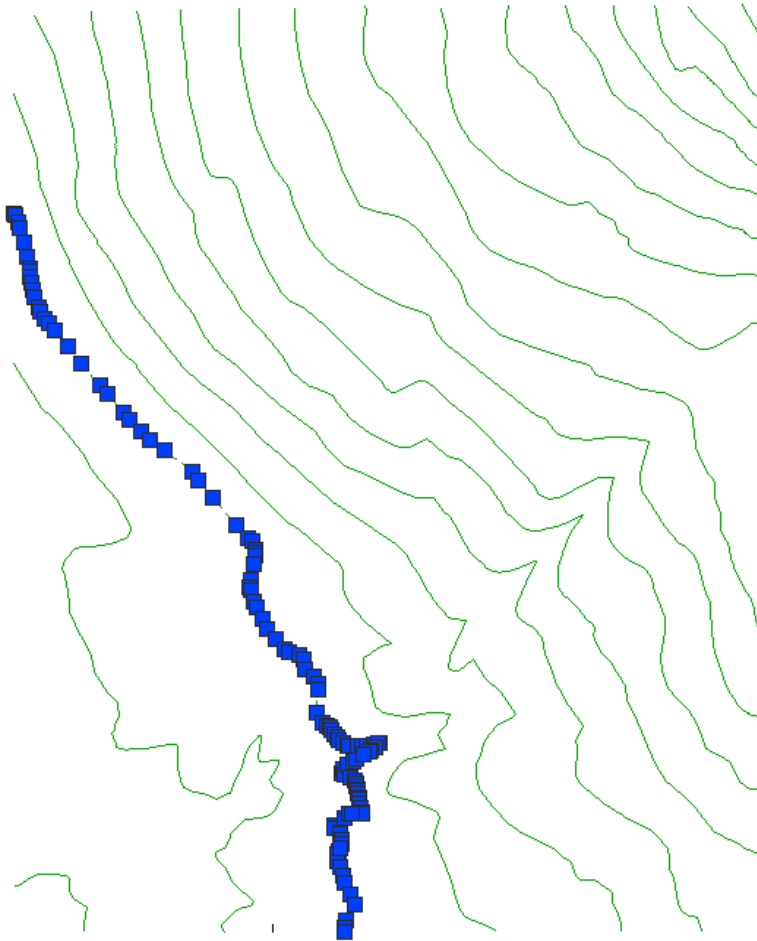
Ανοίγοντας το Carlson software εμφανίζεται η γραμμή εργαλείων του, στην οποία πρέπει να επιλεγεί αρχικά το πρόγραμμα CIVIL. Η δημιουργία του ανάγλυφου της επιφάνειας μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

- Με την εισαγωγή αρχείου που περιέχει σημεία των ισοϋψών.

- Με την εισαγωγή εικόνας που περιέχει ήδη τις ισοϋψείς σε μορφή polyline.

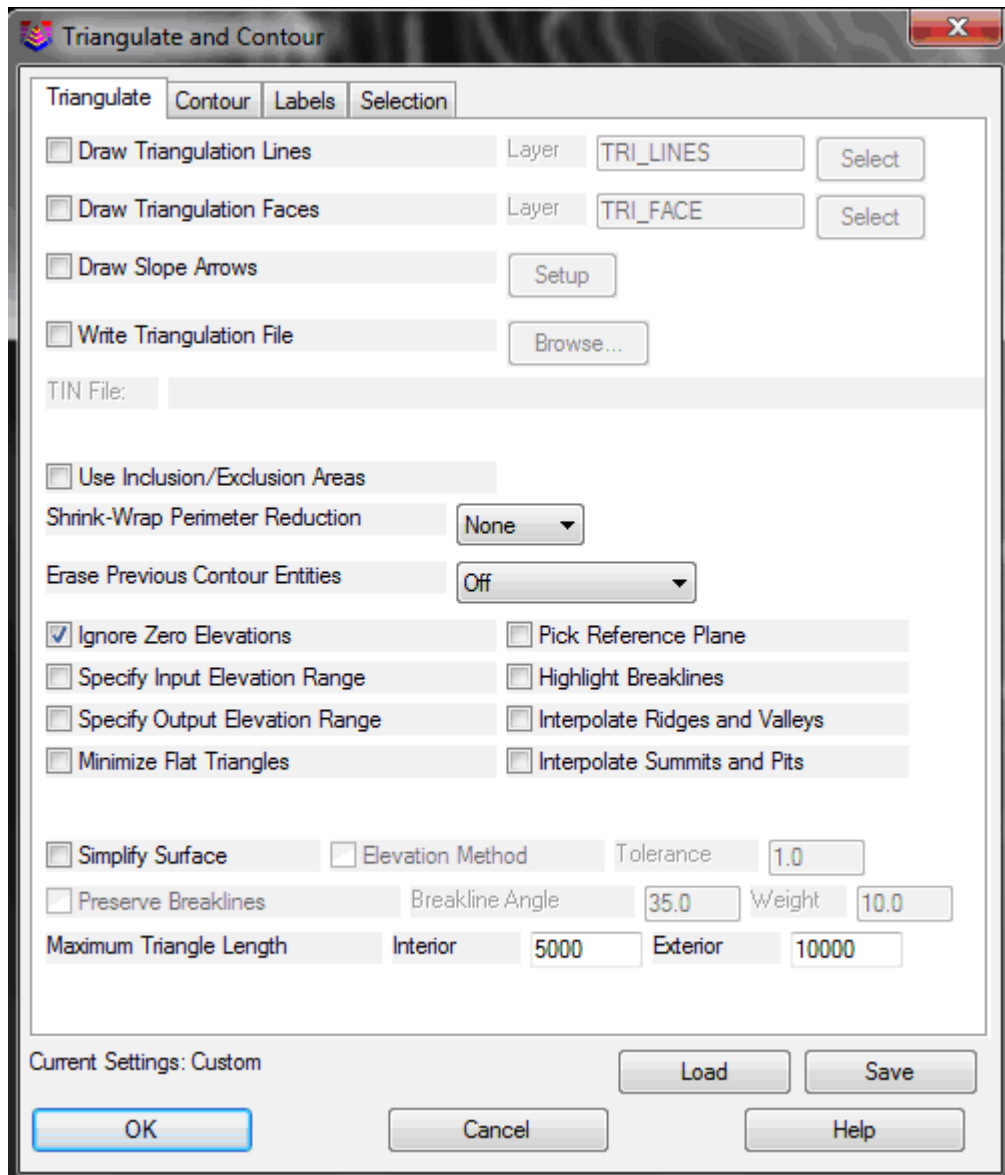
Με τον πρώτο τρόπο χρειάζεται ένα αρχείο σε μορφή βάσης δεδομένων, το οποίο θα περιέχει τις συντεταγμένες των σημείων των ισοϋψών. Η εισαγωγή των σημείων αυτών γίνεται επιλέγοντας POINTS→SET COORDINATE FILE, η συνέχεια της διαδικασίας είναι ίδια με του δεύτερου τρόπου η οποία θα αναλυθεί παρακάτω.

Ο δεύτερος τρόπος ο οποίος και θα χρησιμοποιηθεί, προϋποθέτει την ύπαρξη ισοϋψών σε polyline όπως στην εικόνα 4.1.



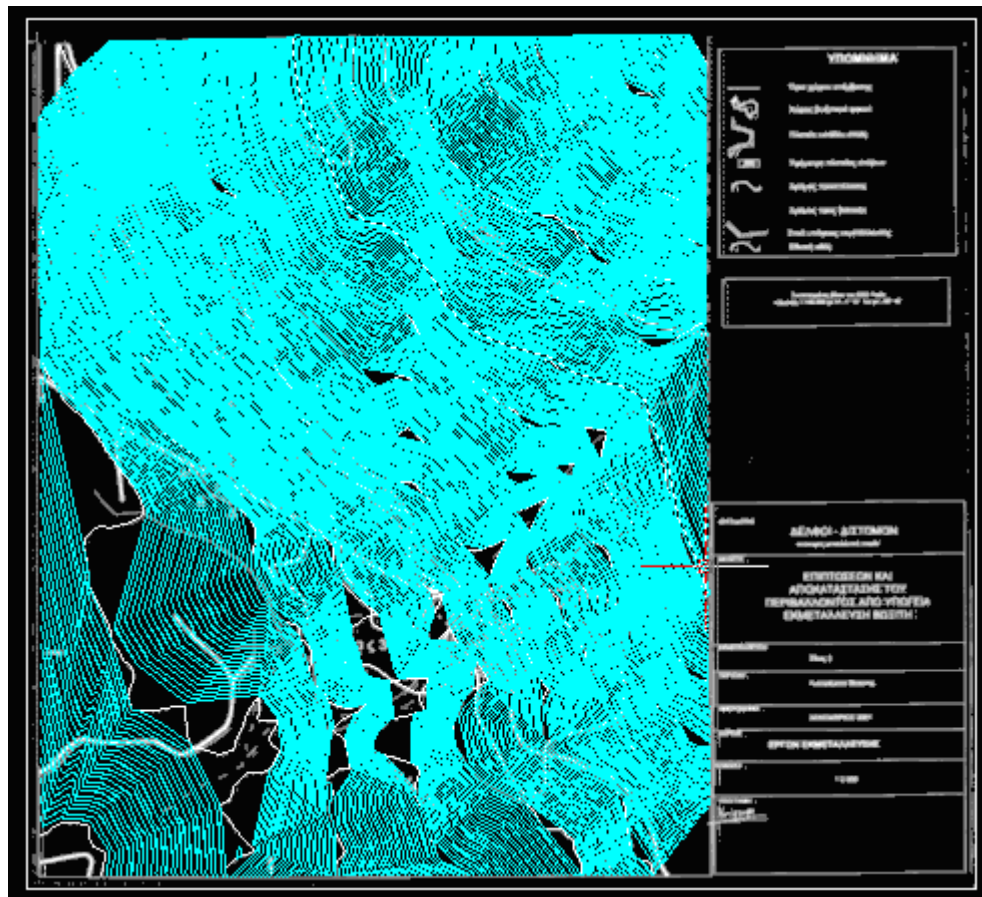
Εικόνα 4.1 Ισοϋψείς σε polyline

Εφόσον έχουν εισαχθεί τα στοιχεία πρέπει να επιλεγεί SURFACE→TRIANGULATE AND CONTOUR, στον πίνακα που εμφανίζεται πρέπει να ρυθμιστούν οι παράμετροι και στο TRIANGULATE πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα να είναι επιλεγμένο το WRITE TRIANGULATION FILE, έτσι ώστε να αποθηκευθούν τα αρχεία (Εικόνα 4.2).



Εικόνα 4.2 Φόρμα εισαγωγής δεδομένων και εκτέλεσης τριγωνοποίησης

Πατώντας ok θα πρέπει να επιλεγούν όλες οι ισοϋψείς και θα εμφανιστεί το αποτέλεσμα της Εικόνας 4.3, το οποίο ουσιαστικά δημιουργεί το ανάγλυφο της επιφάνειας.

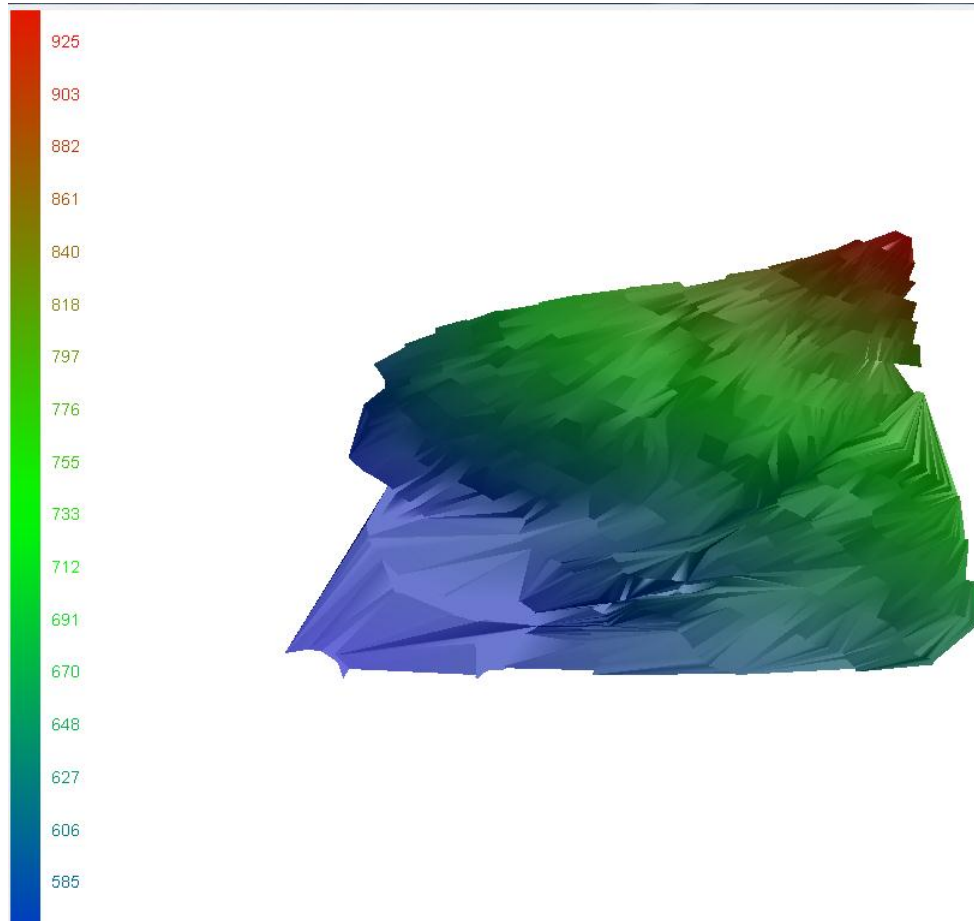


Εικόνα 4.3 Τριγωνοποιημένες ισοΰψεις

Τα κενά που φαίνονται εικόνα 4.3 οφείλονται σε σφάλμα των αρχικών μετρήσεων. Αυτά μπορούν να διορθωθούν επιλέγοντας SURFACE→MODIFY CONTOURS→EDIT CONTOURS, έτσι μπορούν να διορθωθούν οι αρχικές ισοΰψεις ενώνοντας τις προηγούμενες με τις καινούργιες.

Επιλέγοντας DRAW SURFACE→DRAW TRIANGULAR MESH, επιλέγοντας το .tin αρχείο που έχει δημιουργηθεί και πατώντας 3d στον πίνακα που εμφανίζεται, δημιουργείται το ανάγλυφο της επιφάνειας.

Για την καλύτερη απεικόνιση πρέπει να επιλεγεί 3D VIEWS→SHADE, τώρα υπάρχει η δυνατότητα να απεικονιστεί το ανάγλυφο σε τρισδιάστατη μορφή επιλέγοντας VIEW→3D VIEWER WINDOW και στην συνέχεια όλα τα στοιχεία που έχουν δημιουργηθεί (Εικόνα 4.4).



Εικόνα 4.4 Τρισδιάστατο ανάγλυφο της επιφάνειας

4.2 Δημιουργία κοιτάσματος από γεωτρήσεις

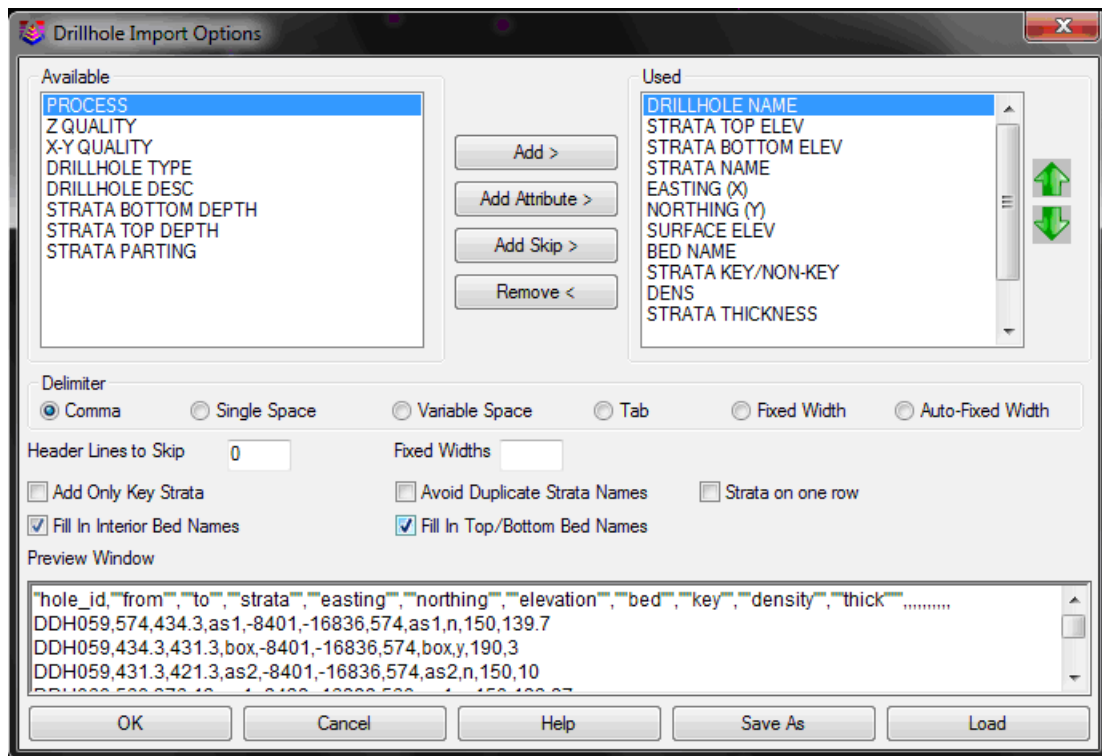
Από την μπάρα εργαλείων του Carlson software το Geology είναι αυτό που πρέπει να επιλεγεί ώστε να εισαχθούν οι γεωτρήσεις. Αρχικά επιλέγεται, το αρχείο .dwg που δημιουργήθηκε προηγουμένως, επιλέγοντας FILE→OPEN. Η εισαγωγή των γεωτρήσεων γίνεται επιλέγοντας DRILLHOLES→DEFINE DRILLHOLES (Εικόνα 4.5). Στην φόρμα που εμφανίζεται ζητούνται τα στοιχεία που θα αναγνωρίζονται, το χρώμα αλλά και το σχήμα των γεωτρήσεων. Οι γεωτρήσεις μπορούν να εισαχθούν σε σχεδόν όλες τις μορφές του excel (προτεινόμενη μορφή comma delimited), και πρέπει να περιλαμβάνουν απαραίτητα: όνομα γεώτρησης, συντεταγμένες (x,y,z), υψόμετρο, όνομα στρώματος, πάχος στρώματος, απολήψιμο ή όχι (key\non key). Άλλες

παράμετροι που μπορούν να εισαχθούν είναι: πυκνότητα, περιεκτικότητα σε μέταλλευμα κ.α. όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.5.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	hole_id	from	to	strata	easting	northing	elevation	bed	key
2	DDH059	574,434.3	as1	-8401	-16836,574	as1,n,150	139.7		
3	DDH059	434.3	431.3	box	-8401	-16836,574	box,y,190.3		
4	DDH059	431.3	421.3	as2	-8401	-16836,574	as2,n,150.10		
5	DDH060	560,376.13	as1	-8438	-16898,560	as1,n,150	183.87		
6	DDH060	376.13	372.13	box	-8438	-16898,560	box,y,190.4		
7	DDH060	372.13	362.13	as2	-8438	-16898,560	as2,n,150.10		
8	DDH061	562,389.2	as1	-8403	-16930,562	as1,n,150	172.8		
9	DDH061	389.2	387.2	box	-8403	-16930,562	box,y,190.2		
10	DDH061	387.2	377.2	as2	-8403	-16930,562	as2,n,150.10		
11	DDH062	555,341.37	as1	-8401	-17009,555	as1,n,150	213.63		
12	DDH062	341.37	318.37	box	-8401	-17009,555	box,y,190.23		
13	DDH062	318.37	308.28	as2	-8401	-17009,555	as2,n,150.10.37		
14	DDH063	570,388.28	as1	-8359	-16997,570	as1,n,150	181.72		
15	DDH063	388.28	377.28	box	-8359	-16997,570	box,y,190.11		
16	DDH063	377.28	367.28	as2	-8359	-16997,570	as2,n,150.10.28		
17	DDH064	580,407.48	as1	-8293	-17033,580	as1,n,150	172.52		

Εικόνα 4.5 Δεδομένα σε μορφή excel (comma delimited text)

Στην συνέχεια επιλέγοντας DRILLHOLES IMPORT→CUSTOM FORMAT, εμφανίζεται ένας πίνακας στον οποίο εισάγονται τα στοιχεία που χρειάζεται να διαβαστούν από την πρώτη στήλη στην δεύτερη πατώντας ADD. Είναι σημαντικό τα στοιχεία να μπουν με την σειρά που είναι και στο excel, για να διαβάσει το πρόγραμμα τα σωστά στοιχεία σε κάθε στήλη. Εάν χρειάζεται να εισαχθούν παράμετροι που δεν υπάρχουν στην πρώτη στήλη πρέπει να επιλεγεί το add attribute, και ορίζονται εν συνεχεία οι παράμετροι που χρειάζονται. Η αφαίρεση μιας παραμέτρου από τις ήδη επιλεγμένες γίνεται επιλέγοντας remove. Με τις επιλογές κάτω από τις στήλες ορίζονται κάθε φορά τα στοιχεία που χρειάζεται να υπολογιστούν (Εικόνα 4.6).



Εικόνα 4.6 Εισαγωγή δεδομένων των γεωτρήσεων

Πατώντας ok, θα πρέπει να εμφανίζονται οι γεωτρήσεις πάνω στο αρχείο με τις ισοϋψείς, αν αυτό δεν συμβαίνει με την επιλογή DRILLHOLES→DRILLHOLES DATASHEET, και στην συνέχεια επιλέγοντας όλες τις γεωτρήσεις που βρίσκονται στην οθόνη και ENTER, εμφανίζεται ένας πίνακας που περιέχει όλα τα στοιχεία των γεωτρήσεων που έχουν εισαχθεί, βοηθώντας να εντοπιστούν τα λάθη που έχουν γίνει (Εικόνα 4.7).

Drillhole Data Sheet										
File Edit Search Display Options										
	Name	Description	Northing	Easting	Elevation	Process	Density	Type	XY Quality	Z Quality
1	A1		-16928.00	-7960.00	670.520	✓	80.00	Unknown	Unknown	Unknown
2	A10		-16887.00	-8357.00	574.450	✓	80.00	Unknown	Unknown	Unknown
3	A2		-16915.00	-8002.00	653.710	✓	80.00	Unknown	Unknown	Unknown
4	A3		-16866.00	-8012.00	656.420	✓	80.00	Unknown	Unknown	Unknown
5	A4		-16858.00	-8055.00	656.960	✓	80.00	Unknown	Unknown	Unknown
6	A5		-16894.00	-8120.00	631.860	✓	80.00	Unknown	Unknown	Unknown
7	A6		-16901.00	-8200.00	598.270	✓	80.00	Unknown	Unknown	Unknown
8	A7		-16902.00	-8250.00	594.190	✓	80.00	Unknown	Unknown	Unknown
9	A8		-16933.00	-8304.00	573.360	✓	80.00	Unknown	Unknown	Unknown
10	A9		-16897.00	-8298.00	586.720	✓	80.00	Unknown	Unknown	Unknown
11	DDH059		-16836.00	-8401.00	574.000	✓	80.00	Unknown	Unknown	Unknown
12	DDH060		-16898.00	-8438.00	560.000	✓	80.00	Unknown	Unknown	Unknown
13	DDH061		-16930.00	-8403.00	562.000	✓	80.00	Unknown	Unknown	Unknown
14	DDH062		-17009.00	-8401.00	555.000	✓	80.00	Unknown	Unknown	Unknown
15	DDH063		-16997.00	-8359.00	570.000	✓	80.00	Unknown	Unknown	Unknown
16	DDH064		-17033.00	-8293.00	580.000	✓	80.00	Unknown	Unknown	Unknown
17	DDH065		-17049.00	-8224.00	582.000	✓	80.00	Unknown	Unknown	Unknown
18	DDH066		-17007.00	-8167.00	605.000	✓	80.00	Unknown	Unknown	Unknown
19	DDH068		-17046.00	-8134.00	610.000	✓	80.00	Unknown	Unknown	Unknown
20	DDH069		-17108.00	-8138.00	615.000	✓	80.00	Unknown	Unknown	Unknown
21	DDH070		-17211.00	-8094.00	607.000	✓	80.00	Unknown	Unknown	Unknown
22	R1		-16632.00	-8501.00	611.090	✓	80.00	Unknown	Unknown	Unknown

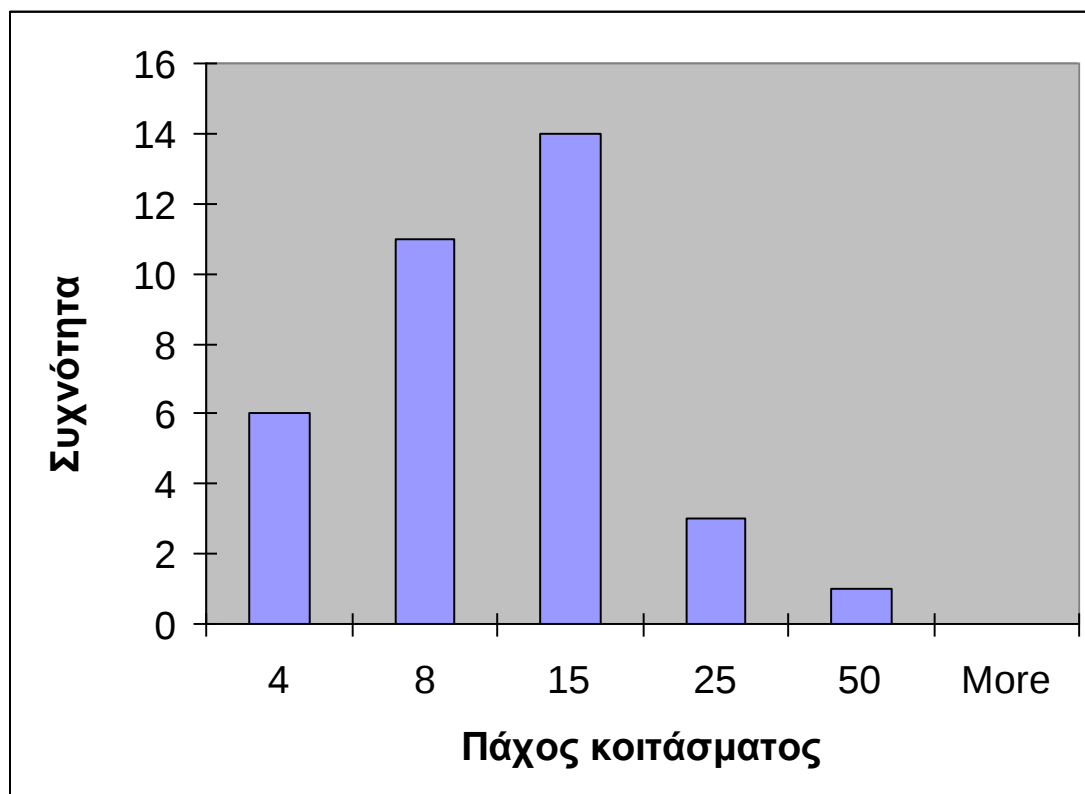
	Name	Depth	Elevation	Thick.,ft	Key	Bed_Name
1	AS1	152.760	517.760	152.760	■	AS1
2	AS2	163.520	507.000	10.760	■	AS2

	Name	Value
1	DENS	150.000

READY

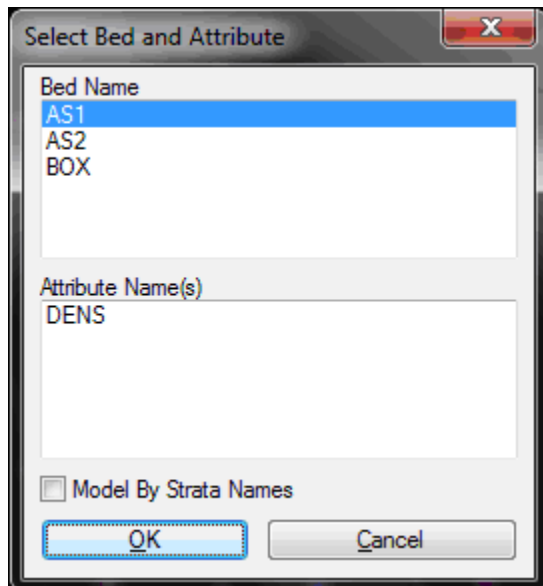
Εικόνα 4.7 Βοηθητικός πίνακας με τα στοιχεία των γεωτρήσεων

Το μέσο πάχος των γεωτρήσεων υπολογίστηκε στα 10.82 m. Για να γίνει καλύτερα αντιληπτό το εύρος των παχών του κοιτάσματος έγινε η δημιουργία ενός ιστογράμματος με τα πάχη και την συχνότητα που εμφανίζονται (Διάγραμμα 4.1).



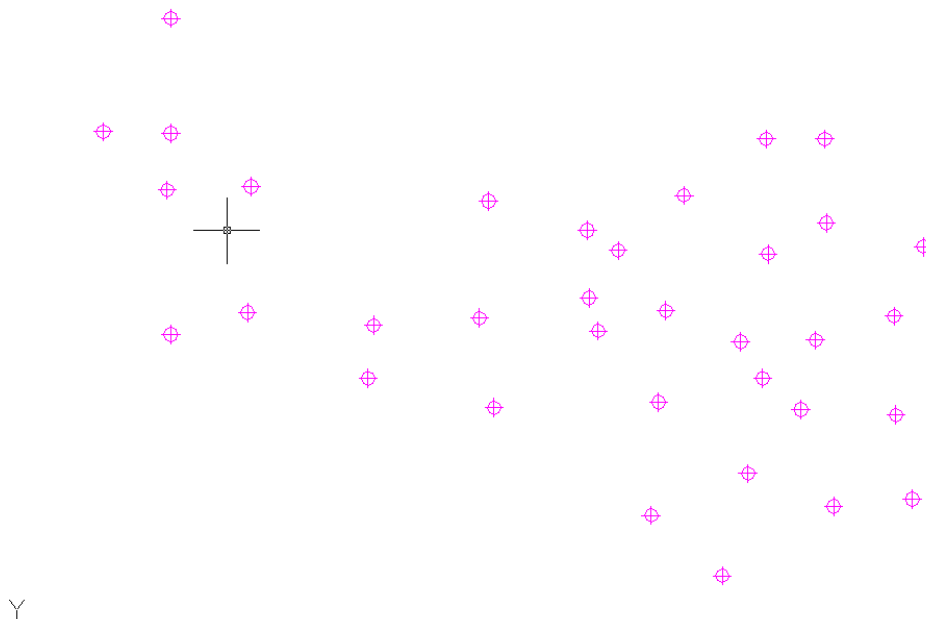
Διάγραμμα 4.1 ιστόγραμμα πάχους κοιτάσματος-συχνότητας

Για την δημιουργία του κοιτάσματος από την μπάρα εργαλείων του geology επιλέγεται το BLOCK→MAKE A BLOCK MODEL. Στη συνέχεια πρέπει να επιλεγούν όλες τις γεωτρήσεις, και αφού επιλεγούν εμφανίζεται στην οθόνη μία στήλη (Εικόνα 4.8) όπου στο πάνω μέρος βρίσκονται τα στρώματα που έχουν οριστεί και στο κάτω η παράμετρος που θα υπολογιστεί.



Εικόνα 4.8 Φόρμα επιλογής στρώματος

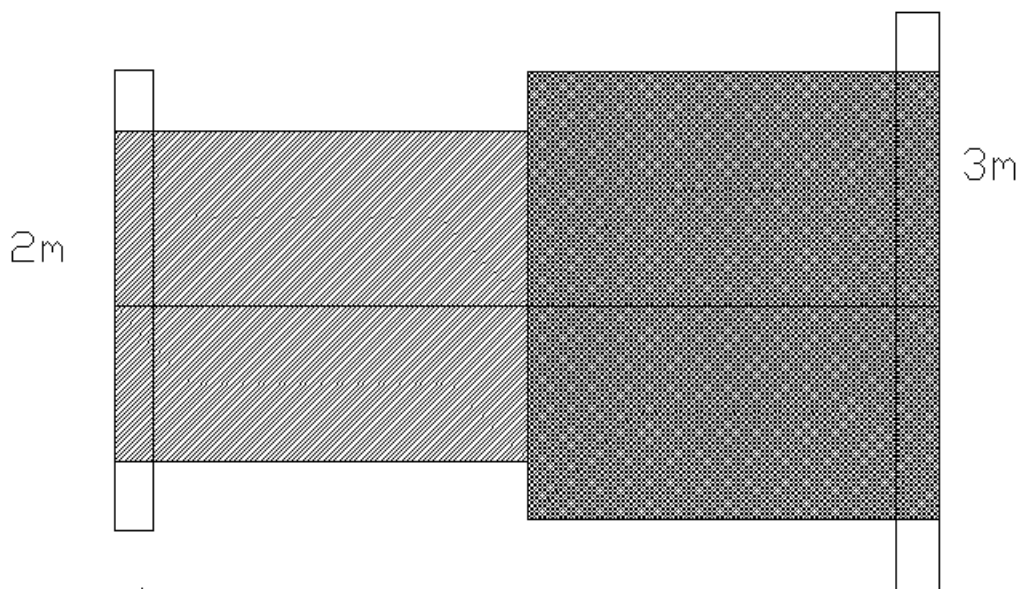
Στην συγκεκριμένη περίπτωση (ΒΩΞΙΤΗΣ), δεν υπάρχουν διαφορετικές περιεκτικότητες οπότε η επιλογή πρέπει να είναι το MODEL BY STRATA NAME. Στην συνέχεια ζητείται να οριστεί η περιοχή ενδιαφέροντος που χρειάζεται να υπολογιστεί, είτε εισάγοντας ένα αρχείο είτε επιλέγοντας το κάτω αριστερό έως το πάνω δεξί μέρος της οθόνης (Εικόνα 4.9).



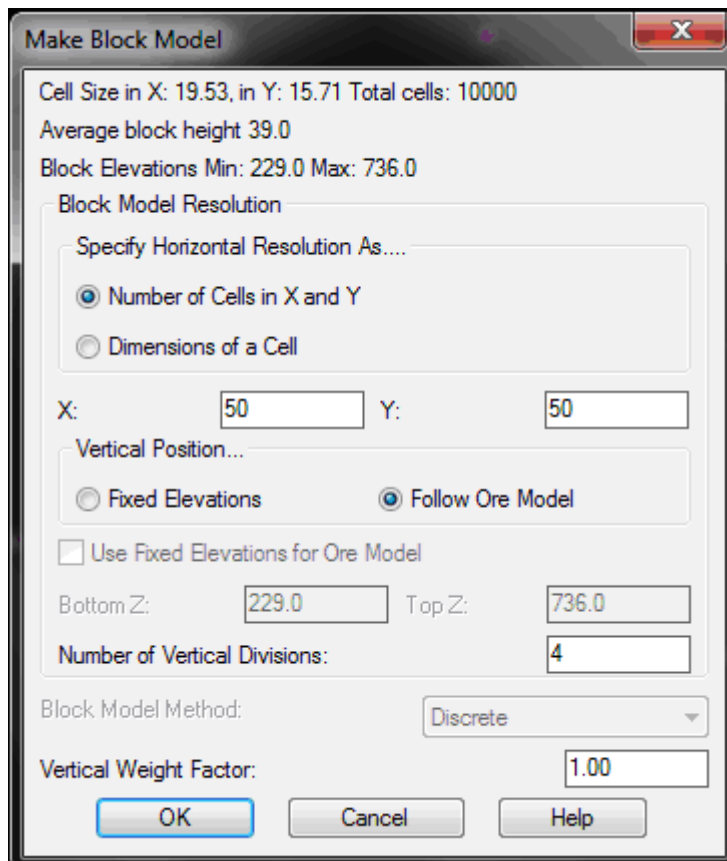
Εικόνα 4.9 Επιλεγμένες γεωτρήσεις

Εφόσον έχουν εκτελεστεί τα προηγούμενα βήματα εμφανίζεται ένας πίνακας, στον οποίο υπάρχει η δυνατότητα να οριστεί το μέγεθος ή ο αριθμός των κελιών. Έχοντας επιλεγμένο το FOLLOW ORE MODEL, στο VERTICAL DIVISIONS ορίζεται το ύψος του κελιού. (Για να εμφανιστούν τα ακριβή μεγέθη των κελιών που δημιουργήθηκαν χρειάζεται να εισαχθεί ένας αριθμός και στην συνέχεια να επιλεγεί μια άλλη επιλογή όπως x ή y). Στο BLOCK MODEL METHOD επιλέγεται ο αλγόριθμος που θα υπολογίσει τα στοιχεία που ήδη έχουν επιλεχθεί (Αυτό δεν ισχύει για το strata model όπου υπάρχει μόνο μία επιλογή) (Εικόνα 4.11).

Το discrete το οποίο είναι και η μόνη επιλογή για το strata model, χρησιμοποιεί μια παράμετρο όπως το πάχος, και κατασκευάζει στην μισή απόσταση από τη μία γεώτρηση ένα κουτί πάχους 2 μέτρων, και ένα κουτί πάχους 3 μέτρων στην μισή απόσταση από την άλλη γεώτρηση όπως στην Εικόνα 4.10.



Εικόνα 4.10 Λειτουργία της μεθόδου discrete για εκτίμηση πάχους κοιτάσματος μεταξύ δύο γεωτρήσεων.

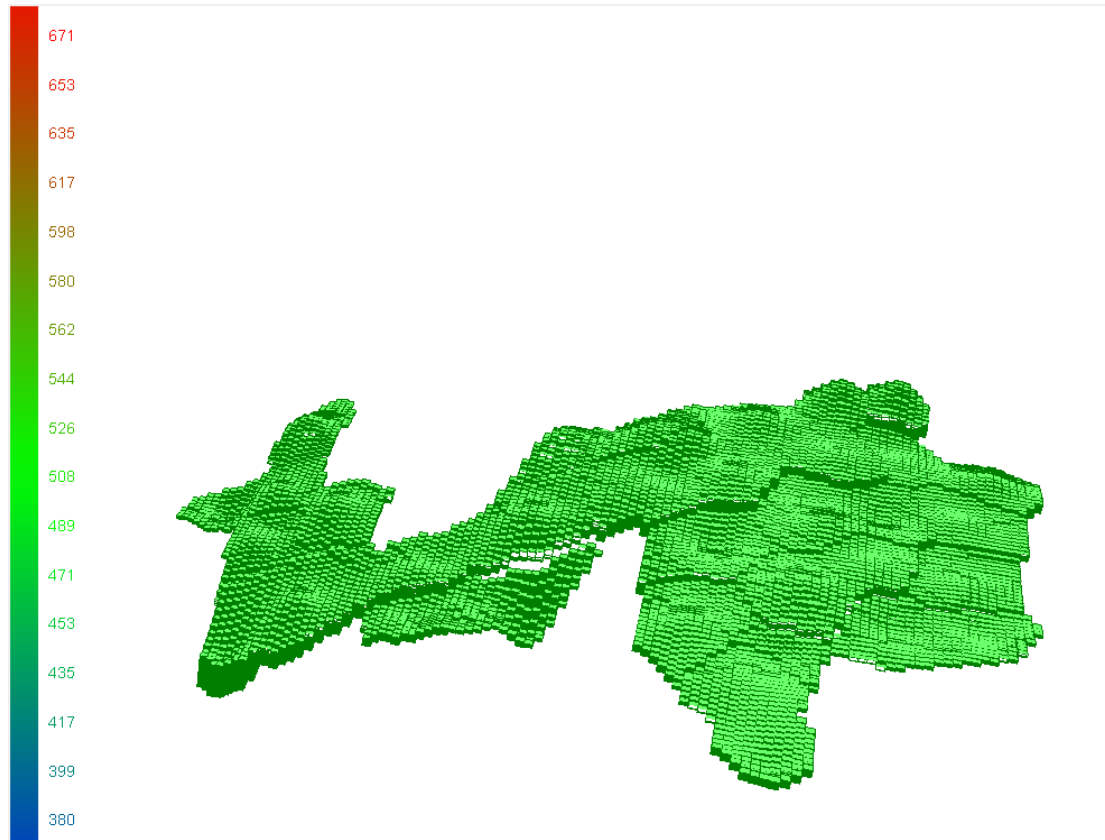


Εικόνα 4.11 Φόρμα του μεγέθους των κελιών

Στη συνέχεια πρέπει να εισαχθεί ένα όνομα στο .blk αρχείο που θα δημιουργηθεί, και όσον αφορά το MODEL BY STRATA εισάγεται ένα όνομα και για τα δύο αρχεία που θα ζητηθούν. Θα ήταν χρήσιμο να χρησιμοποιηθούν και για τα τρία αυτά αρχεία το ίδιο όνομα. Σε αντίθεση με το STRATA στο BED χρειάζεται να οριστούν τα χρώματα για τις διαφορετικές περιεκτικότητες μετάλλου, αυτό γίνεται από το DEFINE GRADE PARAMETERS όπου ορίζονται τα χρώματα των διαφορετικών περιεκτικотών.

Τέλος εφόσον έχουν εκτελεστεί με επιτυχία τα παραπάνω βήματα επιλέγεται το BLOCK MODEL 3D VIEWER και τα αρχεία που ήδη έχουν δημιουργηθεί. Θα ζητηθεί να επιλεγεί μόνο μια περιοχή (η οποία πρέπει να έχει σχεδιαστεί με polyline) ή να επιλεγεί enter για όλη την οθόνη. Λογικά το τρισδιάστατο μοντέλο θα εμφανίζεται σε μορφή κουκίδων, για να διορθωθεί πρέπει να γίνει μετάβαση στο ADVANCED και στην επιλογή αντί για prompt on each point να επιλεγεί render. Για να εμφανιστεί το αποτέλεσμα, το παράθυρο πρέπει να

κλείσει και να επιλεγθεί από την αρχή MODEL 3D VIEWER. Από το advanced δίνεται η δυνατότητα να αφαιρεθεί όποιο χρώμα στρώματος δεν χρειάζεται να εμφανίζεται αλλάζοντας το από ON σε OFF (Εικόνα 4.12).



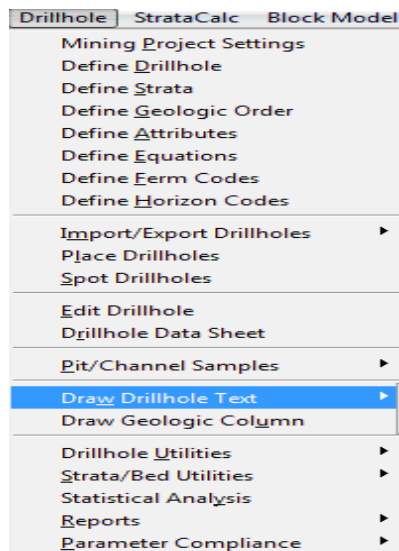
Εικόνα 4.12 Το κοίτασμα σε τρισδιάστατη μορφή

Όλα τα παραπάνω βήματα στο menu του GEOLOGY χρησιμεύουν για την δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου και την σωστή εισαγωγή των γεωτρήσεων στον χώρο. Εκτός από αυτό όμως υπάρχουν κάποιες πολύ ενδιαφέρουσες επιλογές που θα μπορούσαν να βοηθήσουνε στην καλύτερη κατανόηση της χρησιμότητας των γεωτρήσεων και στη δημιουργία του κοιτάσματος, μερικές από αυτές περιγράφονται παρακάτω.

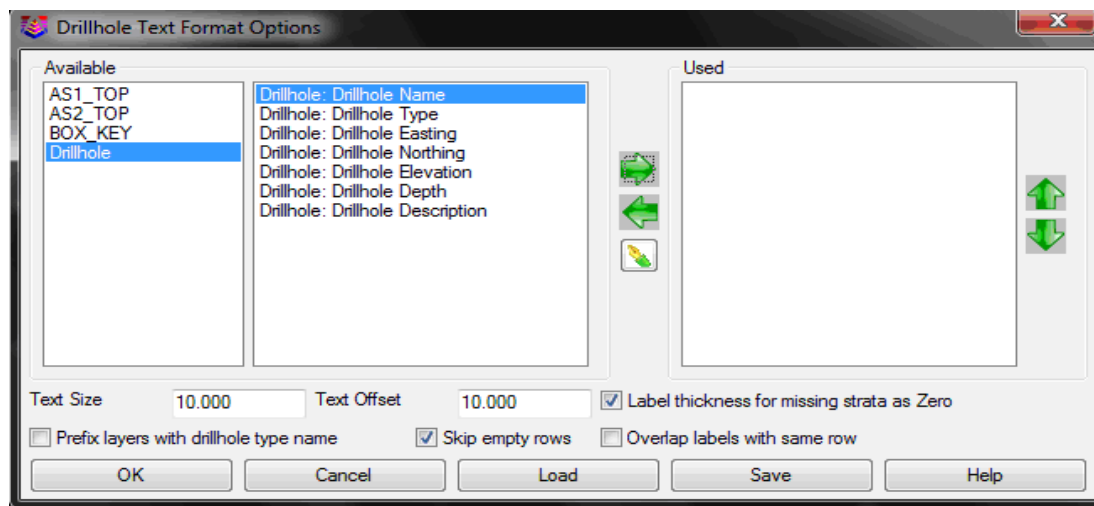
4.2.1 Εισαγωγή ονομάτων στις γεωτρήσεις

Αρχικά πρέπει να επιλεγθεί το DRILLHOLES→DRAW DRILLHOLE TEXT→DRILLHOLE TEXT FORMATTER (Εικόνα 4.13), στην συνέχεια επιλέγονται όλες ή μερικές γεωτρήσεις και ENTER. Στην καρτέλα (Εικόνα 4.14)

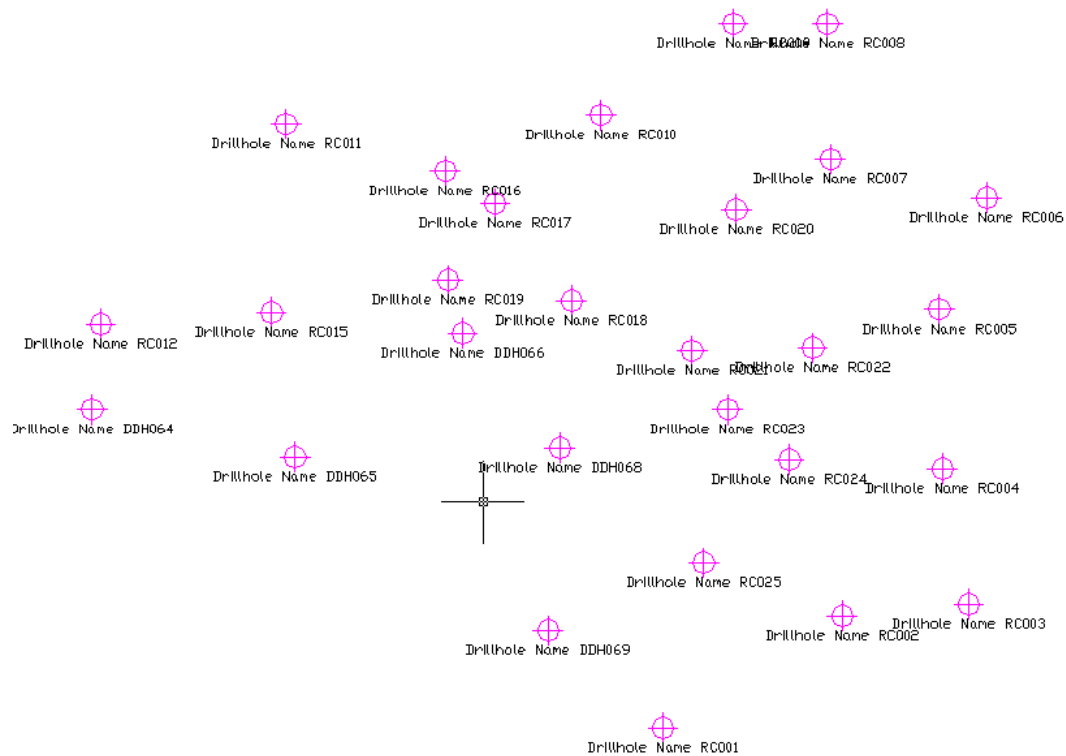
που εμφανίζεται γίνεται η επιλογή του στοιχείου που πρέπει να διαβαστεί στις γεωτρήσεις και εισάγεται στον δεξί πίνακα, κάποιες επιπλέον δυνατότητες είναι η επιλογή του μεγέθους της γραμματοσειράς, αλλά και σε ποιο σημείο θα εμφανίζονται τα στοιχεία (Εικόνα 4.15).



Εικόνα 4.13 Επιλογή εισαγωγής ονομάτων στις γεωτρήσεις



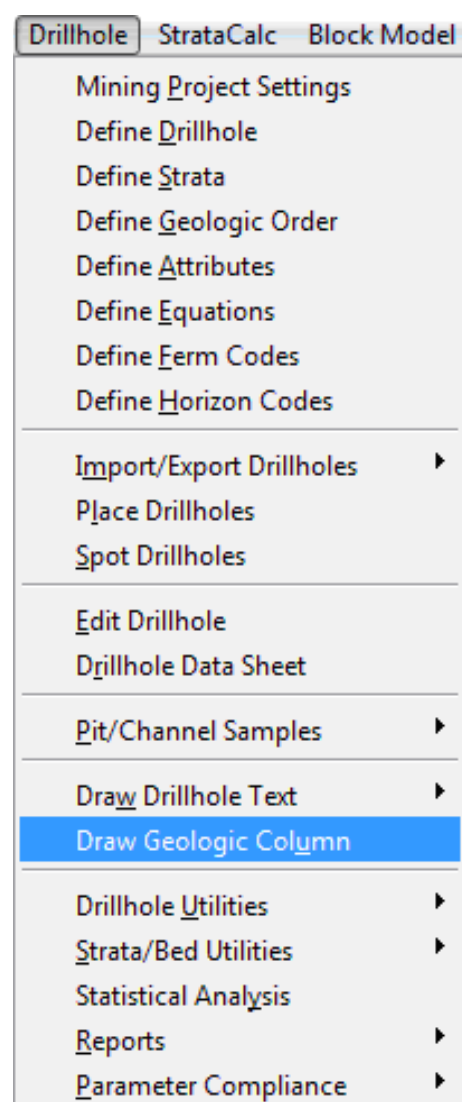
Εικόνα 4.14 Καρτέλα επιλογής των στοιχείων που θα εμφανίζουν οι γεωτρήσεις



Εικόνα 4.15 Εμφάνιση γεωτρήσεων με τα ονόματά τους

4.2.2 Δημιουργία γεωλογικών στηλών

Για την δημιουργία στηλών πρέπει να επιλεγεί το DRILLHOLES→DRAW GEOLOGIC COLUMN (Εικόνα 4.16) 2D στην φόρμα που εμφανίζεται (Εικόνα 4.17), και τα υπόλοιπα αφήνονται ως έχουν. Επιλέγονται οι γεωτρήσεις που χρειάζεται να μελετηθούν και στην συνέχεια το σημείο που θα εμφανιστούν στην οθόνη (Εικόνα 4.18). Πάνω στις γεωτρήσεις εμφανίζονται διάφορα στοιχεία όπως το όνομα της γεώτρησης, το πάχος κάθε στρώματος, καθώς και το υψόμετρο.



Εικόνα 4.16 Επιλογή για την δημιουργία γεωλογικών στηλών

Geologic Column Settings

Draw Settings

Draw... ☐ In 3D ☒ On 2D grid ☐ Next to drillhole 3D Options

Align Horiz by... ☒ Individual ☐ Line up ☐ Projected Space Scaler

Align Vert by... ☒ Elevation ☐ Surface ☐ Strata ☐ Draw on Fence Diagram

Strata Name Bed Name From: ☐ Top Elv ☒ Bottom Elv

Horizontal Scale ☒ Draw To Sheets ☐ Draw CESO Sheets

Vertical Scale Grid Interval Text Interval

Column Width Scaler Text Size Scaler Hatch Scaler

☐ Composite Strata to Beds

☐ Specify Elevation Range Top Elv Bottom Elv

☐ Specify Strata Range Thickness Roof Floor

☐ Draw Bar Graph ☐ Use Red-Blue Graph name

☐ Draw Strata Connections ☐ Draw Depth Axis ☒ Draw Elev Axis

Label Settings

☐ No Label Label Options Drillhole Options

☒ Label Strata ☒ Strata Thickness ☒ Label Thickness next to Strata Name

☒ Use Full Strata Name ☒ Label Bed ☐ Bed Thickness

Label Strata... ☒ All ☐ Key-Only ☐ Bed-Only ☐ Fit-Only ☐ Selected

Label Strata... Elevation Depth

Label Bed... Elevation Depth

Layer and Color Settings

Strata Layer ... ☐ Color Strata by Grade Parameter File

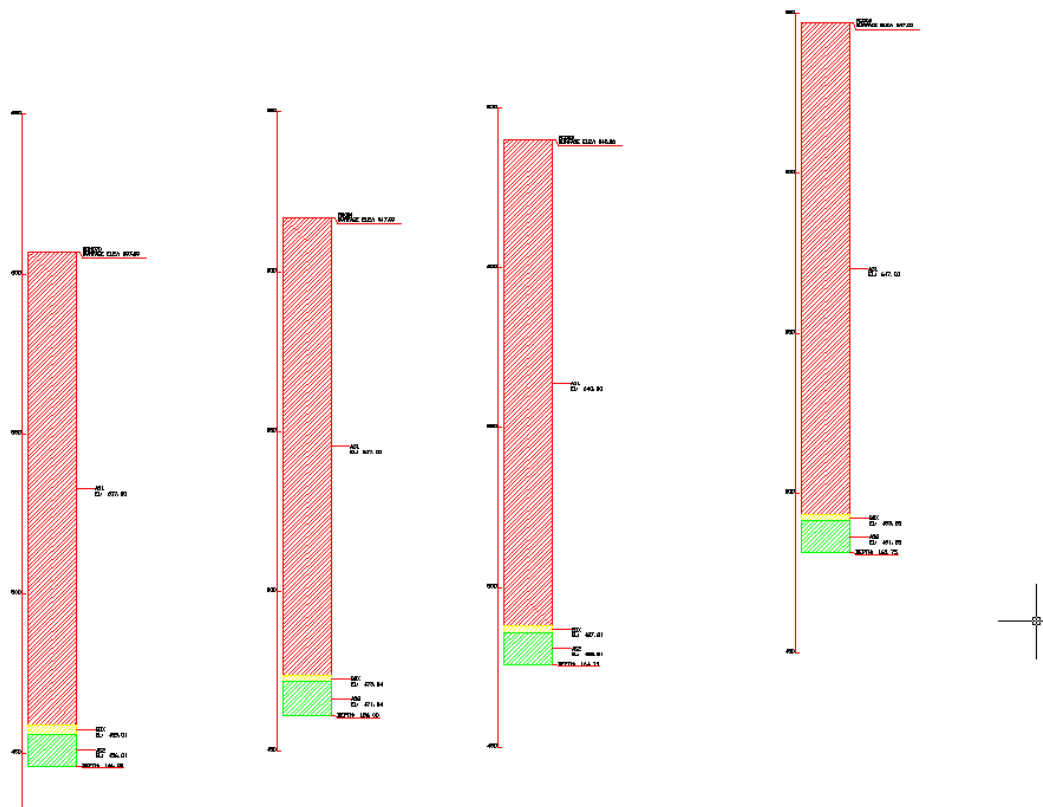
Layer Strata... ☒ Individually ☐ Non-Key Same ☐ All Same

Fill by ... ☐ Solid Fill ☐ Outline Only ☒ Hatch

☐ Use Specific Strata Definitions None Set

OK Cancel Load Save Help

Εικόνα 4.17 Φόρμα επιλογής εμφάνισης των γεωλογικών στηλών



Εικόνα 4.18 Γεωλογικές στήλες

Το παραπάνω μπορεί να γίνει σε τρισδιάστατη μορφή ακολουθώντας τα ίδια βήματα μόνο που στον πίνακα που εμφανίζεται η επιλογή πρέπει να αλλάξει σε 3D και όχι 2D (Εικόνα 4.19). Αφού δημιουργηθούν οι γεωτρήσεις για να παρουσιαστούν σε τρισδιάστατη μορφή, θα πρέπει να επιλεγεί το VIEW→3D VIEWER WINDOW, και στην συνέχεια να επιλεχθούν οι γεωτρήσεις (Εικόνα 4.20).

Geologic Column Settings

Draw Settings

Draw... ☒ In 3D ☐ On 2D grid ☐ Next to drillhole 3D Options

Align Horiz by... ☒ Individual ☐ Line up ☐ Projected Space Scaler

Align Vert by... ☒ Elevation ☐ Surface ☐ Strata ☐ Draw on Fence Diagram

Strata Name Bed Name From: ☐ Top Elv ☒ Bottom Elv

Horizontal Scale ☐ Draw To Sheets ☐ Draw CESO Sheets

Vertical Scale Grid Interval Text Interval

Column Width Scaler Text Size Scaler Hatch Scaler

☐ Composite Strata to Beds

☐ Specify Elevation Range Top Elv Bottom Elv

☐ Specify Strata Range Thickness Roof Floor

☐ Draw Bar Graph ☐ Use Red-Blue Graph name

☐ Draw Strata Connections ☐ Draw Depth Axis ☒ Draw Elev Axis

Label Settings

☐ No Label Label Options Drillhole Options

☐ Label Strata ☒ Strata Thickness ☒ Label Thickness next to Strata Name

☒ Use Full Strata Name ☒ Label Bed ☐ Bed Thickness

Label Strata... ☒ All ☐ Key-Only ☐ Bed-Only ☐ Fit-Only ☐ Selected

Label Strata... Elevation Depth

Label Bed... Elevation Depth

Layer and Color Settings

Strata Layer ... ☐ Color Strata by Grade Parameter File

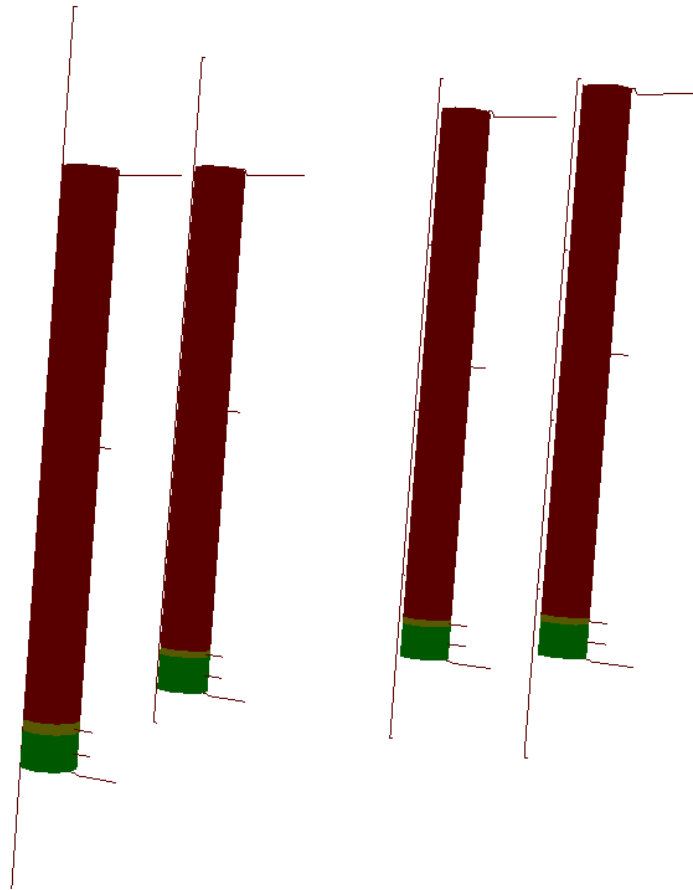
Layer Strata... ☒ Individually ☐ Non-Key Same ☐ All Same

Fill by ... ☐ Solid Fill ☐ Outline Only ☒ Hatch

☐ Use Specific Strata Definitions Set

OK Cancel Load Save Help

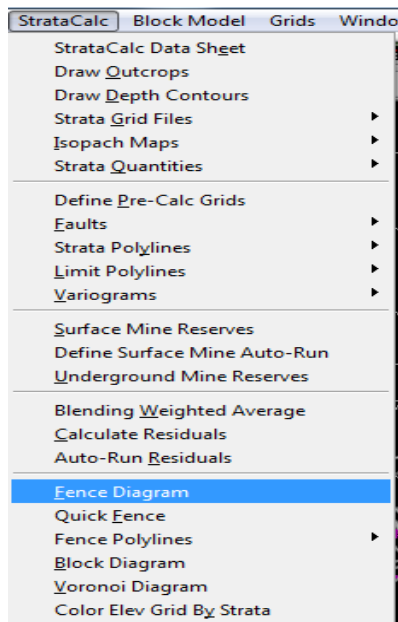
Εικόνα 4.19 Φόρμα επιλογής εμφάνισης των γεωλογικών στηλών σε τρισδιάστατη απεικόνιση



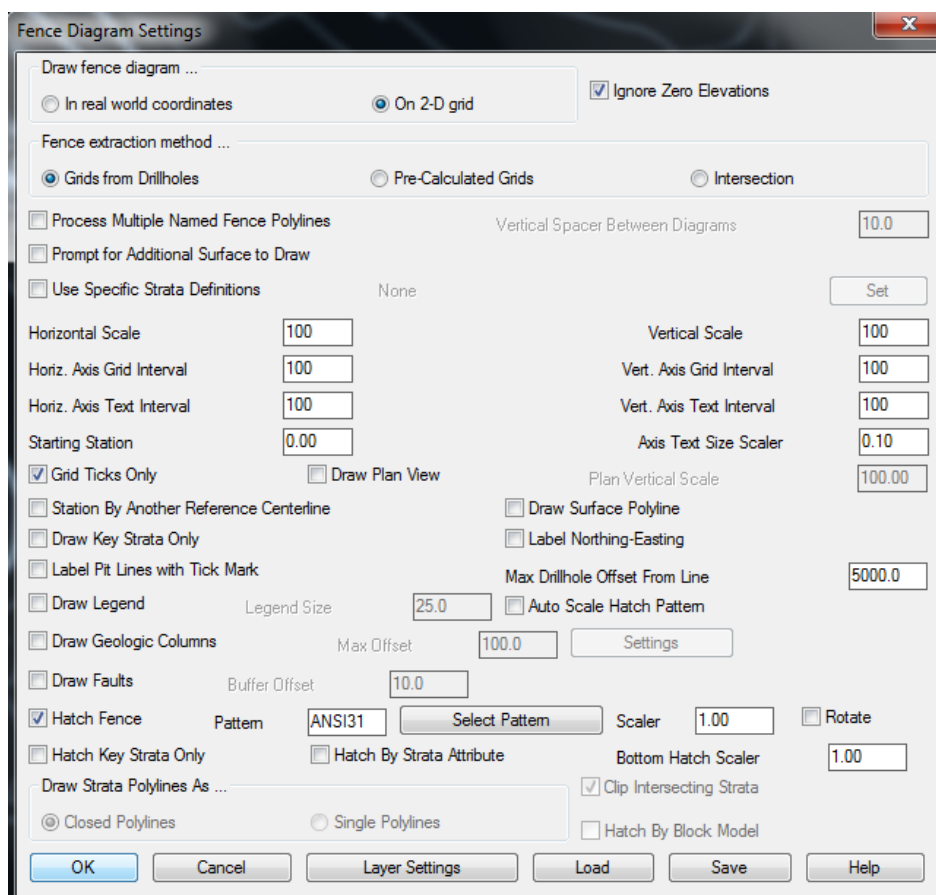
Εικόνα 4.20 Γεωλογικές στήλες σε προοπτική απεικόνιση

4.2.3 Δημιουργία γεωλογικών τομών

Για την δημιουργία γεωλογικών τομών από τις γεωτρήσεις τα βήματα είναι : STRATA CALC→FENCE DIAGRAM, στη συνέχεια εμφανίζεται η φόρμα της Εικόνας 4.21 και 4.22, όπου πρέπει να επιλεγθούν οι επιθυμητοί παράμετροι με τους οποίους επιλέγονται τα στοιχεία εμφάνισης της γεωλογικής τομής καθώς και ο τρόπος που θα εισαχθούν τα στοιχεία από τις γεωτρήσεις π.χ. από βάση δεδομένων ή από τις ήδη υπάρχουσες γεωτρήσεις.

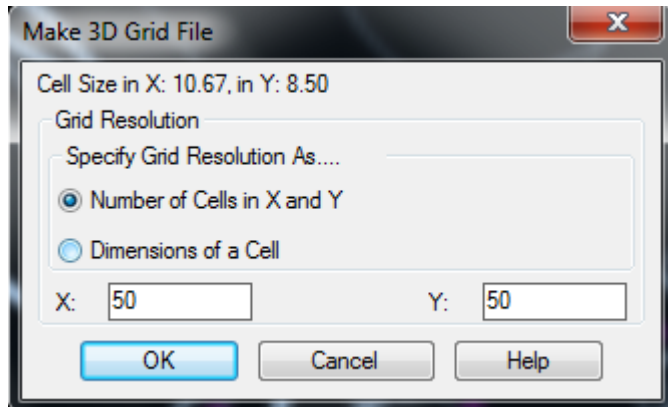


Εικόνα 4.21 φόρμα επιλογής fence diagram

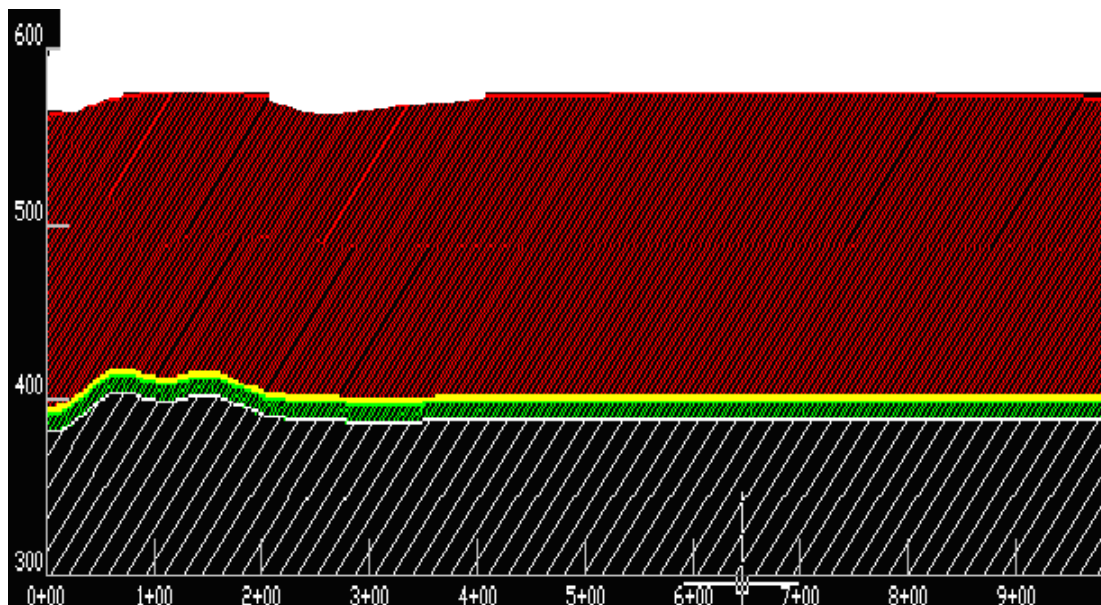


Εικόνα 4.22 Φόρμα συμπλήρωσης παραμέτρων για τις γεωλογικές τομές

Εφόσον έχει συμπληρωθεί η φόρμα, πατώντας ok ζητείται αρχικά να οριστεί η επιθυμητή περιοχή μελέτης, οι γεωτρήσεις από τις οποίες θα δημιουργηθεί η τομή, το μέγεθος των κελιών που θα δημιουργηθούν (Εικόνα 4.23), η γεωστατιστική μέθοδος υπολογισμού και τέλος το επιθυμητό σημείο εμφάνισης της τομής (Εικόνα 4.24).



Εικόνα 4.23 Φόρμα επιλογής μεγέθους καννάβου



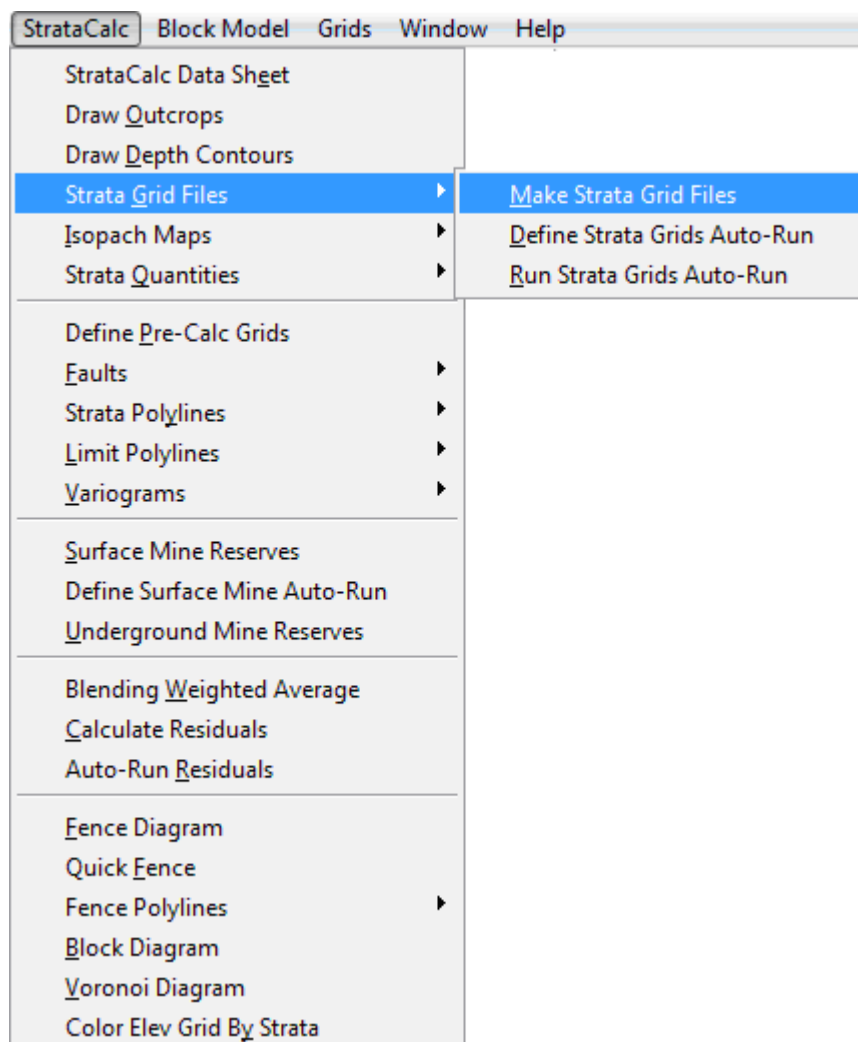
Εικόνα 4.24 Γεωλογική τομή

4.3 Υπολογισμός αποθεμάτων

Ο υπολογισμός των αποθεμάτων μπορεί να γίνει είτε μέσω του block model, είτε μέσω επιφανειών που πρέπει να δημιουργηθούν. Η μέθοδος που θα

αναλυθεί είναι του υπολογισμού μέσω επιφανειών, διότι η πρώτη μέθοδος είναι ιδανικότερη για επιφανειακά κοιτάσματα.

Η δημιουργία των επιφανειών γίνεται στο geology επιλέγοντας STRATA CALC→STRATA GRID FILES→MAKE STRATA GRID FILE (Εικόνα 4.30), και στην συνέχεια επιλέγεται η περιοχή ενδιαφέροντος πατώντας PICK.



Εικόνα 4.30 Επιλογή για την δημιουργία επιφανειών

Στην φόρμα που εμφανίζεται (Εικόνα 4.31), υπάρχει η δυνατότητα να επιλεχτεί ο επιθυμητός αλγόριθμος και το μέγεθος των κελιών που θα δημιουργηθούν.

Make Strata Grid File

Range of Elevations/Values to Process

Low: High:

Modeling Method

☒ Triangulation
☐ Inverse Distance
☐ Kriging
☐ Polynomial
☐ Linear Least Squares
☐ ABOS

Options

☐ Use Triangulation Subdivision
☐ Apply Global Trend to Extrapolate
☐ Use Fault Polyline
☐ Create Data Points Report
☐ Create Composite Grids
☐ Use Parameter File

Cell Size in X: 5.90, in Y: 4.54 Total cells: 10000

Grid Resolution

Specify Grid Resolution As....

☒ Number of Cells in X and Y
☐ Dimensions of a Cell

X: Y:

Label Values of Data Points

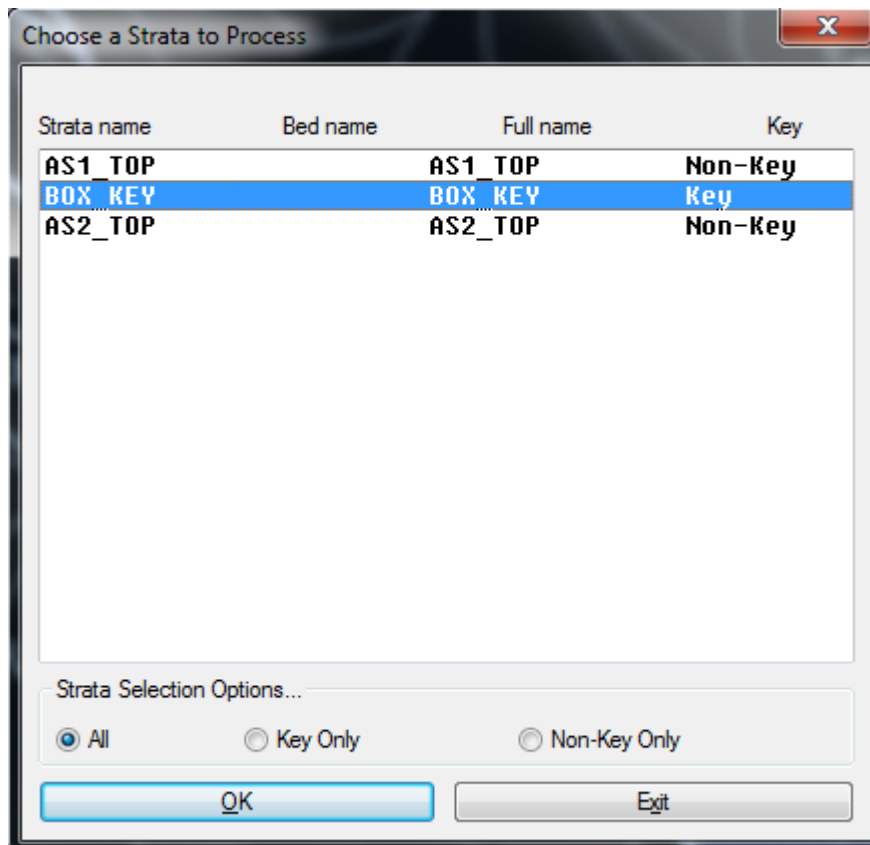
☐ Draw Labels

Text Layer: Set Text Size:

OK Cancel Help

Εικόνα 4.31 Φόρμα συμπλήρωσης των παραμέτρων για την δημιουργία επιφάνειας

Εφόσον έχουν επιλεγεί οι επιθυμητοί παράμετροι, επιλέγονται όλες οι γεωτρήσεις και στην φόρμα που εμφανίζεται πρέπει να επιλεγεί το KEY ONLY ΚΑΙ BOX KEY (Εικόνα 4.32).

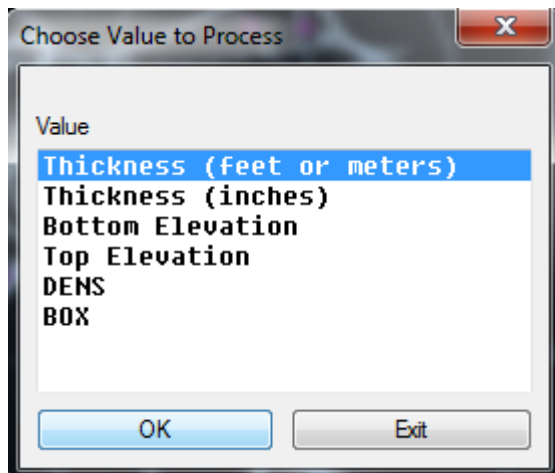


Εικόνα 4.32 Καρτέλα επιλογής του μεταλλεύματος

Η φόρμα που εμφανίζεται δίνει τη δυνατότητα επιλογής παραμέτρου, βάση της οποίας θα υπολογιστεί ο όγκος. Η βέλτιστη λύση είναι να υπολογιστεί ο όγκος με δύο τρόπους:

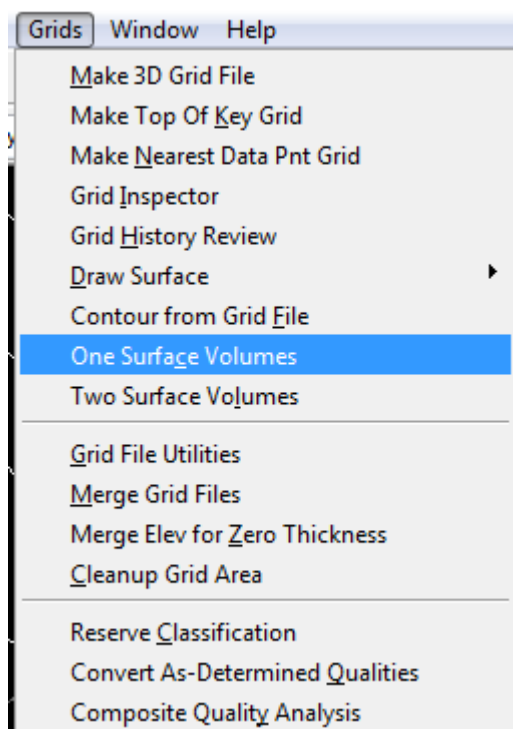
- Με δημιουργία μίας επιφάνειας.
- Με δημιουργία δύο επιφανειών.

Για την δημιουργία μίας επιφάνειας η επιλογή είναι το THICKNESS (FEET OR METERS) (Εικόνα 4.33), και στην συνέχεια ζητείται το επιθυμητό όνομα του αρχείου.



Εικόνα 4.33 Επιλογή του τρόπου δημιουργίας της επιφάνειας

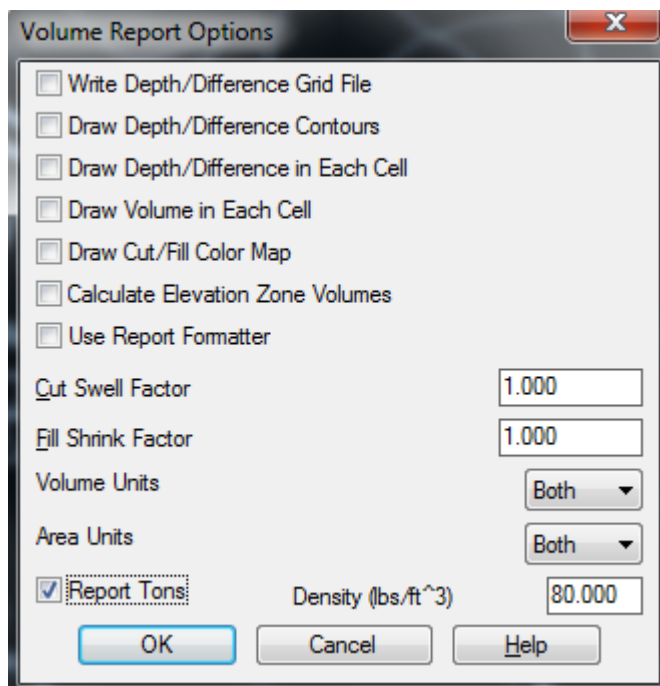
Αφού γίνει αυτό, γίνεται μετάβαση στο GRIDS→ONE SURFACE VOLUMES (Εικόνα 4.34).



Εικόνα 4.34 Επιλογή για τον υπολογισμό του όγκου του κοιτάσματος

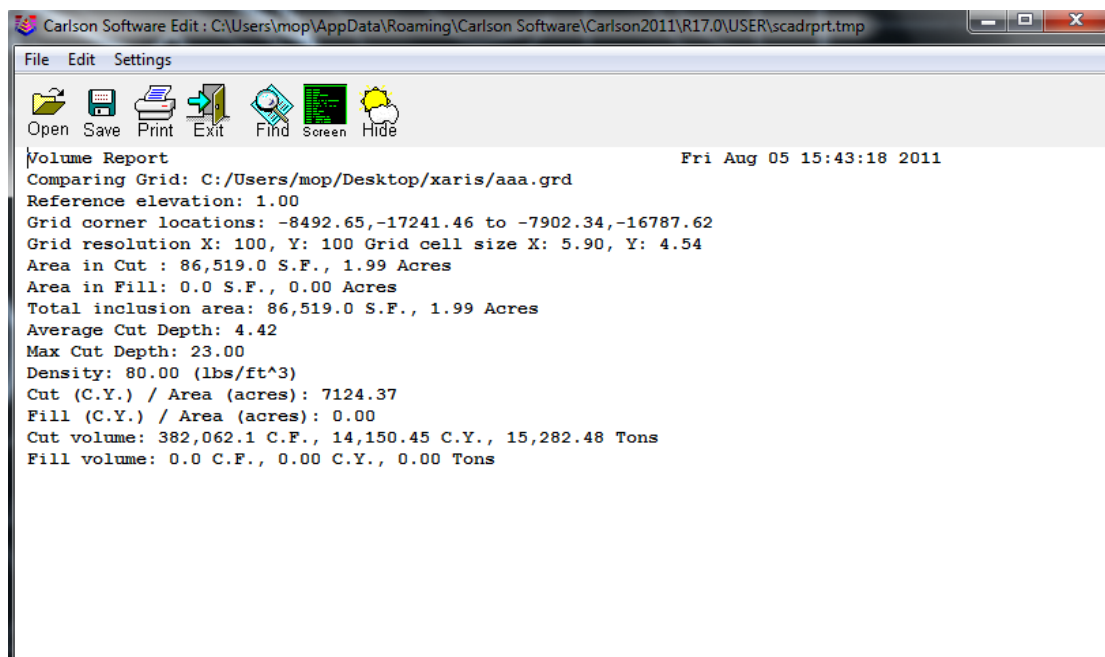
Το επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή της περιοχής, που μπορεί να γίνει είτε επιλέγοντας την περίμετρο που έχει δημιουργηθεί με polyline, είτε πατώντας δύο φορές enter όπου και εμφανίζεται η φόρμα της Εικόνας 4.35. Σε αυτή την

φόρμα υπάρχει η δυνατότητα επιλογής των στοιχείων που χρειάζεται να εμφανιστούν, καθώς και οι μονάδες μέτρησης.



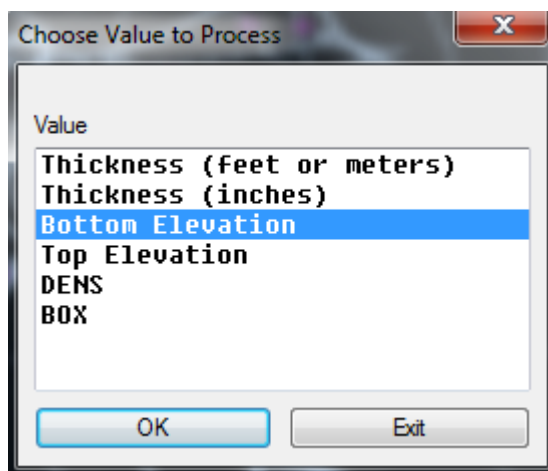
Εικόνα 4.35 Φόρμα για την επιλογή των επιθυμητών παραμέτρων που εξάγονται

Εφόσον συμπληρωθεί και η παραπάνω φόρμα πατώντας ok εμφανίζονται τα τελικά αποτελέσματα στην μορφή της Εικόνας 4.36.



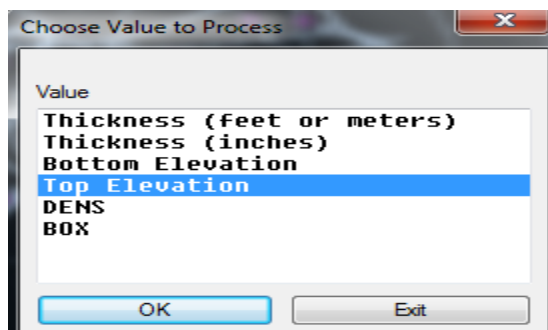
Εικόνα 4.36 Αποτελέσματα για τα στοιχεία και τον όγκο του κοιτάσματος

Για την επαλήθευση των παραπάνω αποτελεσμάτων θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί και δεύτερος τρόπος, που γίνεται με την δημιουργία δύο επιφανειών. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με την μία επιφάνεια, πρώτα πρέπει να επιλεγεί το STRATA CALC→STRATA GRID FILES→MAKE STRATA GRID FILE και στην συνέχεια στην φόρμα που εμφανίζεται πρέπει πάλι να επιλεγούν οι κατάλληλες παράμετροι και ο ιδανικότερος αλγόριθμος υπολογισμού. Ενώ στον προηγούμενο τρόπο επιλέχθηκε μόνο το THICKNESS τώρα αρχικά πρέπει να επιλεγεί το BOTTOM ELEVATION (Εικόνα 4.37).



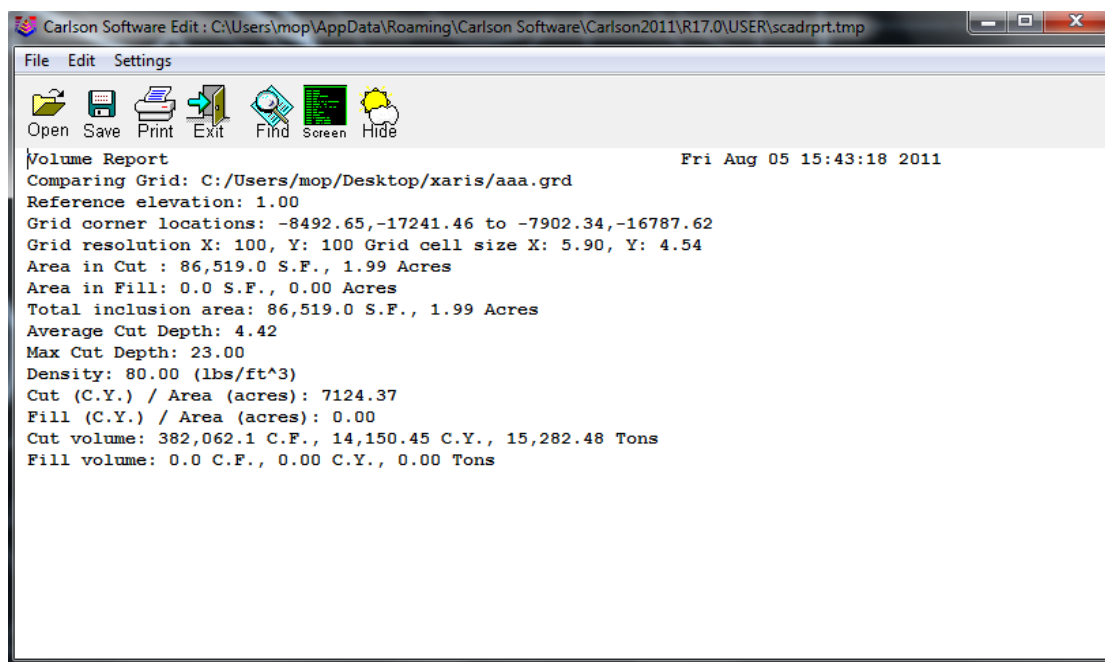
Εικόνα 4.37 Επιλογή του τρόπου δημιουργίας της επιφάνειας

Εισάγοντας το επιθυμητό όνομα θα εμφανιστεί ξανά η επιλογή βάση ποιός παραμέτρου θα υπολογίσει την επιφάνεια, την δεύτερη φορά η επιλογή πρέπει να είναι TOP ELEVATION (Εικόνα 4.38), και αφού εισαχθεί και το όνομα έχουν δημιουργηθεί όλα τα αρχεία που χρειάζονται για να υπολογιστεί ο όγκος.



Εικόνα 4.38 Επιλογή του τρόπου δημιουργίας της επιφάνειας

Γίνεται μετάβαση στο GRIDS→TWO SURFACE VOLUMES, όπως έγινε και στην μία επιφάνεια έτσι και τώρα πρέπει να επιλεγεί η περιοχή την οποία θα υπολογίσει το πρόγραμμα. Αν και υπάρχει η δυνατότητα να μην επιλεγεί καθόλου η περιοχή, ο υπολογισμός του όγκου θα είναι με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια αν υπάρχει μια οριοθετημένη περιοχή. Η φόρμα που θα εμφανιστεί επιλέγοντας την περιοχή θα είναι ίδια με αυτή της Εικόνας 4.35, και στην συνέχεια αφού επιλεγούν οι επιθυμητές παράμετροι, πατώντας ok εμφανίζονται τα αποτελέσματα της Εικόνας 4.39.



Εικόνα 4.39 Αποτελέσματα για τα στοιχεία και τον όγκο του κοιτάσματος

Στην συγκεκριμένη περιοχή του βωξιτικού κοιτάσματος «Σίλας 3», για την επαλήθευση των μετρήσεων αλλά και για την εύρεση των καλύτερων παραμέτρων για τον υπολογισμό του όγκου του κοιτάσματος, επιλέχθηκαν τρία διαφορετικά μεγέθη κελιών (15-15, 17-17, 20-20), τρεις διαφορετικές γεωστατιστικές μεθόδους (1d inverse distance, 2d inverse distance, triangulation), καθώς και τρία διαφορετικά απολήψιμα μεγέθη (>1μ., >1.5μ., >2μ.). Τα τρία διαφορετικά μεγέθη κελιών επιλέχθηκαν με γνώμονα την απόσταση των γεωτρήσεων που ήταν περίπου 40m, θέλοντας να υπολογιστούν όσο το δυνατόν καλύτερα οι όγκοι του κοιτάσματος. Τα τρία

διαφορετικά απολήψιμα μεγέθη μπορούν να γίνουν μόνο στην περίπτωση υπολογισμού με μία επιφάνεια (THICKNESS).

Αποτελέσματα για μία επιφάνεια:

Με την θεώρηση ότι το απολήψιμο πάχος κοιτάσματος είναι >1m:

Πίνακας 4.1 Υπολογισμένοι όγκοι βωξίτη

<u>Γεωστατιστική μέθοδος</u>	15-15 (μέγεθος κελιού m³)	17-17 (μέγεθος κελιού m³)	20-20 (μέγεθος κελιού m³)
Triangulation	376690 m ³	375879 m ³	378412 m ³
1d inverse distance	392651 m ³	393497 m ³	392585 m ³
2d inverse distance	383519 m ³	383682 m ³	383900 m ³

Με την θεώρηση ότι το απολήψιμο πάχος κοιτάσματος είναι >1.5m:

Πίνακας 4.2 Υπολογισμένοι όγκοι βωξίτη

<u>Γεωστατιστική μέθοδος</u>	15-15 (μέγεθος κελιού m³)	17-17 (μέγεθος κελιού m³)	20-20 (μέγεθος κελιού m³)
Triangulation	332163 m ³	332733 m ³	334261 m ³
1d inverse distance	347665 m ³	349727 m ³	348473 m ³
2d inverse distance	340002 m ³	340146 m ³	340687 m ³

Με την θεώρηση ότι το απολήψιμο πάχος κοιτάσματος είναι > 2m:

Πίνακας 4.3 Υπολογισμένοι όγκοι βωξίτη

<u>Γεωστατιστική μέθοδος</u>	15-15 (μέγεθος κελιού m³)	17-17 (μέγεθος κελιού m³)	20-20 (μέγεθος κελιού m³)
Triangulation	290182 m ³	289472 m ³	291968 m ³
1d inverse distance	306117 m ³	305724 m ³	306055 m ³
2d inverse distance	297015 m ³	297167 m ³	297330 m ³

Αποτελέσματα για δύο επιφάνειες:

Στις δύο επιφάνειες δεν υπάρχει δυνατότητα επιλογής, ώστε να οριστεί το επιθυμητό μέγεθος απολήψιμου κοιτάσματος.

Πίνακας 4.4 Υπολογισμένοι όγκοι βωξίτη

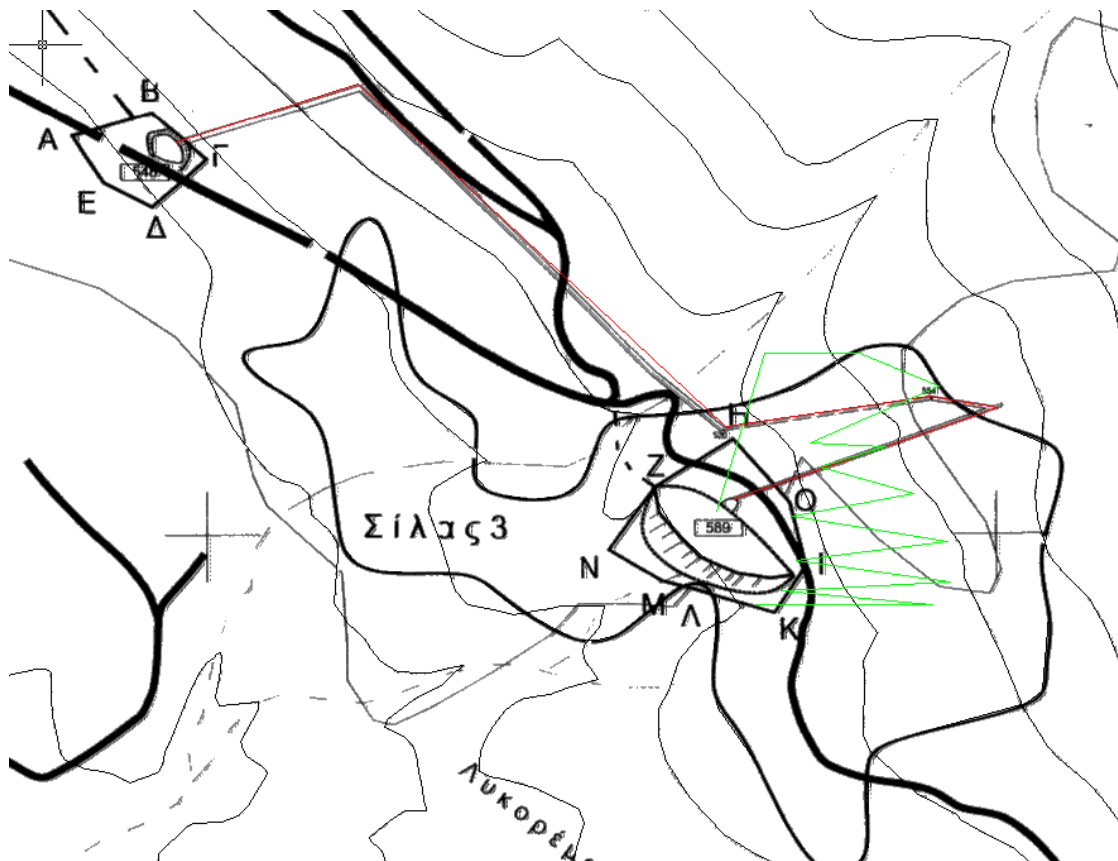
<u>Γεωστατιστική μέθοδος</u>	15-15 (μέγεθος κελιού m³)	17-17 (μέγεθος κελιού m³)	20-20 (μέγεθος κελιού m³)
Triangulation	466495 m ³	463703 m ³	460648 m ³
1d inverse distance	479201 m ³	479102 m ³	478753 m ³
2d inverse distance	470191 m ³	471203 m ³	470202 m ³

Ένα πρώτο συμπέρασμα που μπορεί να βγει από τα παραπάνω αποτελέσματα είναι πως με την μέθοδο των δύο επιφανειών οι όγκοι που προκύπτουν είναι εμφανώς μεγαλύτεροι από την μέθοδο της μιας επιφάνειας, και αυτό οφείλεται στο ότι υπολογίζει όλο το κοίτασμα σαν απολήψιμο. Συνυπολογίζοντας την συγκεκριμένη λεπτομέρεια και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με αυτά της μίας επιφάνειας συμπεραίνεται ότι τα αποτελέσματα δεν έχουν μεγάλη απόκλιση.

Η γεωστατιστική μέθοδος Kriging, δεν ήταν δυνατόν να χρησιμοποιηθεί λόγω του πολύ μικρού όγκου δεδομένων, καθώς στο ημιβαριόγραμμα εμφανιζότανε μόνο θόρυβος.

4.4 Σχεδιασμός των έργων προσπέλασης

Ο σχεδιασμός των έργων προσπέλασης σε μία υπόγεια εκμετάλλευση σαν την συγκεκριμένη, μπορεί να γίνει με 3D POLYLINE ορίζοντας σε κάθε σημείο το Z. Στην περίπτωση αυτή κατασκευάστηκαν δύο ράμπες, η μια με κλίση 8% και η άλλη με 10%. Η επιλογή των δύο στοών έγινε λαμβάνοντας υπόψιν το ανάγλυφο της περιοχής, την ασφάλεια του έργου καθώς και τη μικρή διάρκεια ζωής της εκμετάλλευσης. Η πρώτη στοά ξεκινάει από την πλατεία που βρίσκεται στα 548 μέτρα, έχει μήκος 400 μέτρα και συναντά το κοίτασμα στα 520 μέτρα υψόμετρο. Η δεύτερη στοά ξεκινάει από την πλατεία που βρίσκεται στα 589 μέτρα υψόμετρο, έχει μήκος 400 μέτρα και συναντά το κοίτασμα στα 520 μέτρα υψόμετρο. Για να υπολογιστούν σωστά τα ύψη της 3D POLYLINE με την οποία σχεδιάζονται οι δύο στοές, υπολογίζεται το αρχικό ύψος από τις ισοϋψείς και στη συνέχεια αφαιρείται το ύψος που ήταν αποτέλεσμα της επιθυμητής κλίσης επί την οριζόντια απόσταση (Εικόνα 4.25).

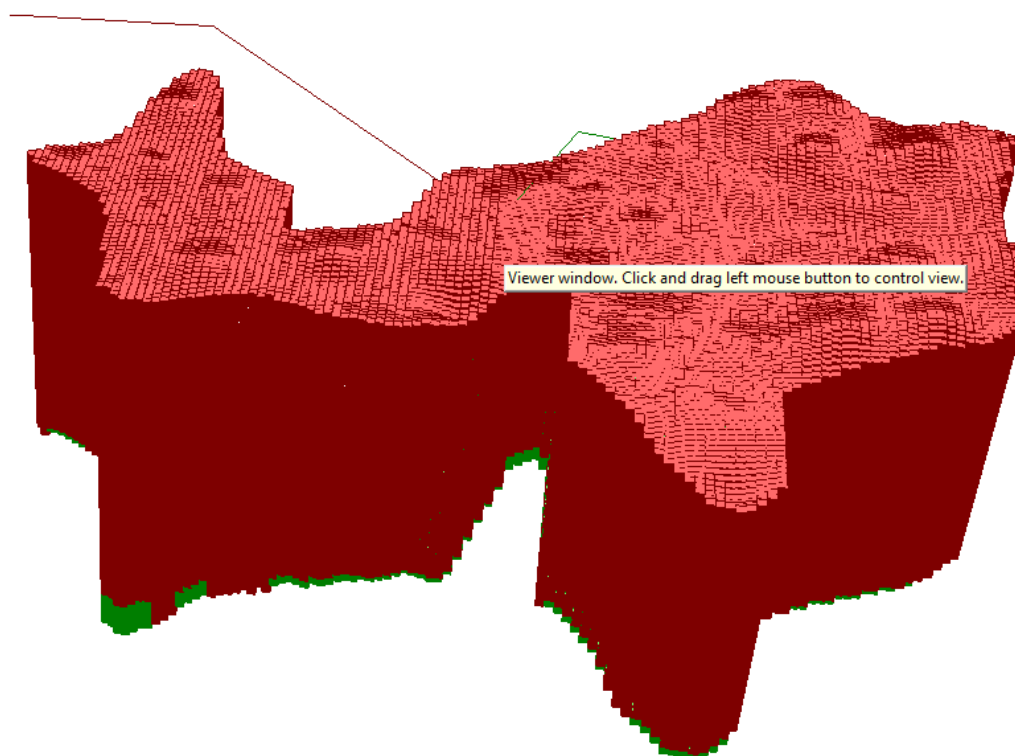


Εικόνα 4.25 Χάρτης με τα έργα προσπέλασης (Κελέρμενος, 2009)

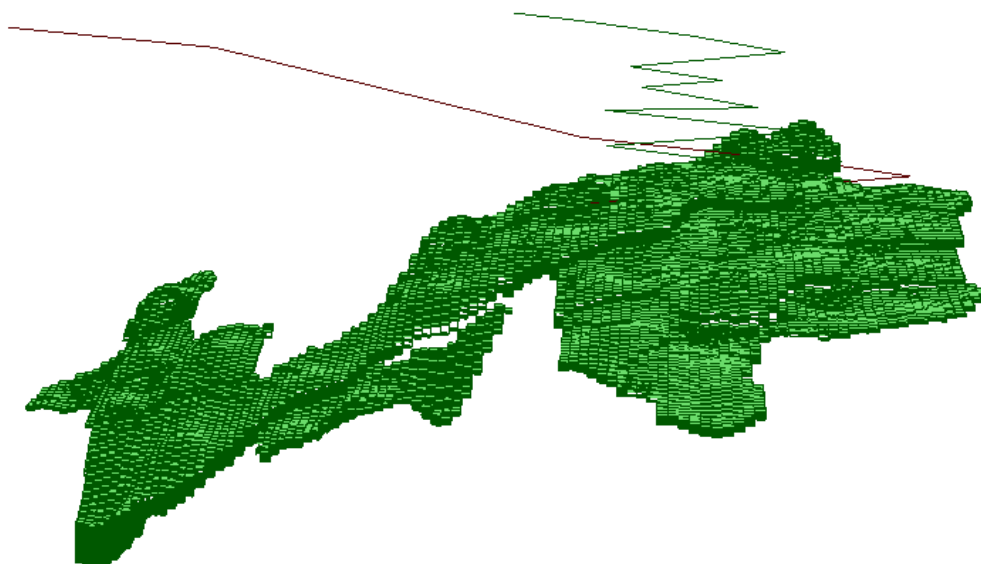
Η πρώτη στοά θα είναι η κύρια ενώ η δεύτερη θα είναι στοά αερισμού, και αυτές οι δύο θα πρέπει να ενώνονται για να κλείνει το κύκλωμα αερισμού.

Όλα τα έργα προσπέλασης, επιλέγεται να ορύσσονται μέσα σε ασβεστόλιθους (είτε οροφής, είτε πατώματος), οι οποίοι δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα προβλήματα αντοχής. Έτσι με την όρυξη αυτών εκτός κοιτάσματος, αυξάνεται ο δείκτης αποληψιμότητας (αποφεύγονται νησίδες προστασίας μεταλλεύματος), επιτυγχάνεται επιπλέον μεγαλύτερη ασφάλεια έργου και εργαζομένων.

Στα έργα προσπέλασης θα πρέπει να τοποθετούνται οι σταθμοί φόρτωσης, τα εγκάρσια ασφαλείας για την κυκλοφορία του προσωπικού, οι αποθήκες εκρηκτικών, καψυλλίων (προσωρινής φύλαξης), τα συνεργεία (όταν υπάρχουν σε υπόγειους χώρους εργασίας), οι αποθήκες καυσίμων, λιπαντικών υλικών, τα γραφεία επίβλεψης και οι κεντρικοί ανεμιστήρες (Εικόνες 4.26, 4.27).

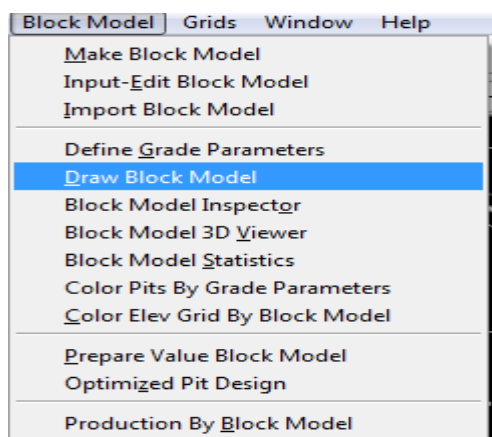


Εικόνα 4.26 Ασβεστόλιθος και βωξίτης σε τρισδιάστατη μορφή



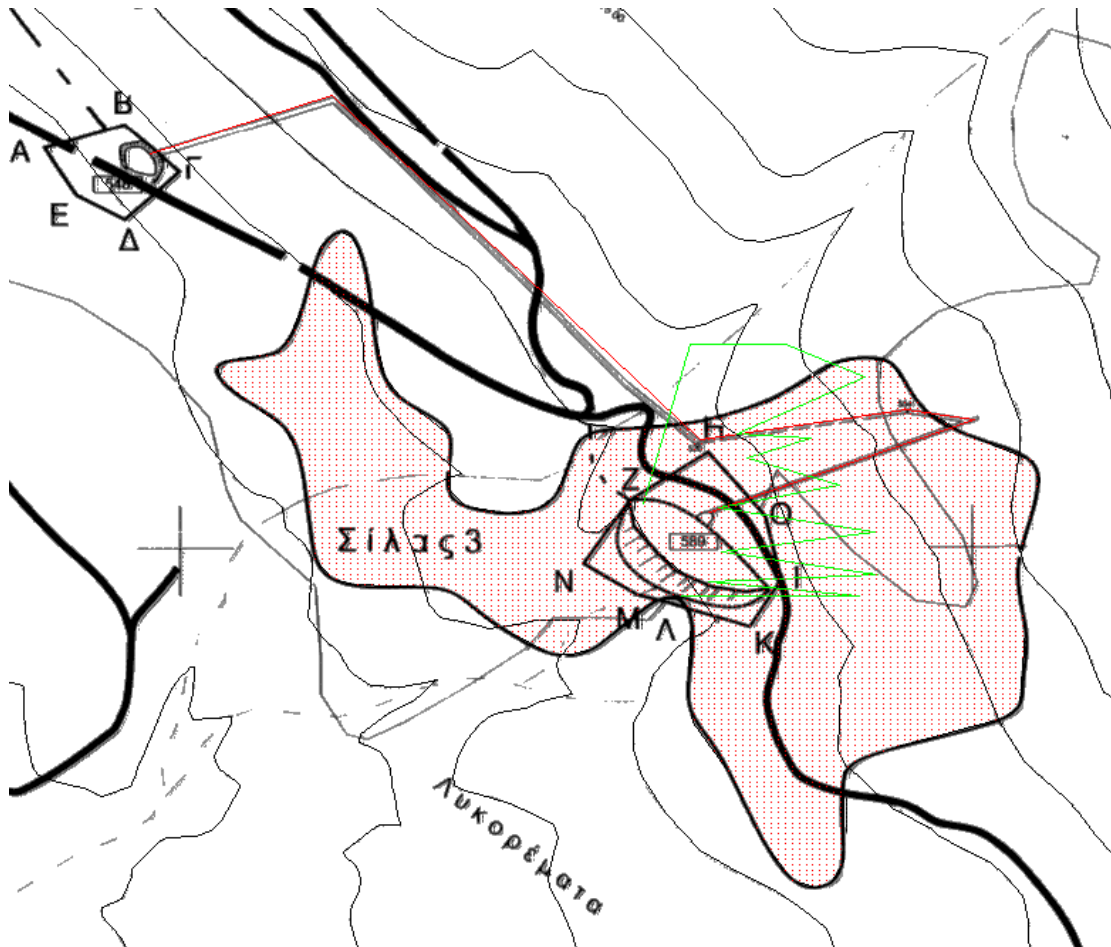
Εικόνα 4.27 Κοίτασμα βωξίτη και έργα προσπέλασης σε τρισδιάστατη μορφή

Για να εμφανιστεί το τρισδιάστατο κοίτασμα μαζί με τα έργα προσπέλασης (Εικόνα 4.26), θα πρέπει να σχεδιαστεί το κοίτασμα πάνω στον χάρτη της περιοχής, αυτό γίνεται επιλέγοντας BLOCK MODEL→DRAW BLOCK MODEL (Εικόνα 4.28)



Εικόνα 4.28 Φόρμα επιλογής

Εφόσον έχουν πραγματοποιηθεί τα προηγούμενα βήματα το πρόγραμμα θα σχεδιάσει το κοίτασμα στον χάρτη (Εικόνα 4.29), στη συνέχεια επιλέγονται τα έργα προσπέλασης και το κοίτασμα που μόλις σχεδιάστηκε (αυτό θα χρειαστεί λίγο παραπάνω χρόνο λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων), και τέλος επιλέγεται το VIEW→3D VIEWER WINDOW για την προβολή σε τρισδιάστατη μορφή.



Εικόνα 4.29 Απεικόνιση του χάρτη με το κοίτασμα διαγραμματισμένο (Κελέρμενος, 2009)

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1 Συμπεράσματα

Η εκμετάλλευση βωξιτών στην Ελλάδα είναι ένας σημαντικός κλάδος τόσο για τον μεταλλευτικό κλάδο όσο και για την εθνική οικονομία. Η παραγωγή βωξίτη ανήλθε το 2009 σε 1.935.000tn. Η συνεισφορά του κλάδου γενικά της επεξεργασίας βωξίτη ανέρχεται στο 2,3% του Α.Ε.Π και είναι περίπου το 9% των εξαγωγών. Λόγω της σημαντικότητας της εκμετάλλευσης των βωξιτικών κοιτασμάτων, η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τον υπολογισμό των αποθεμάτων και τον σχεδιασμό των βασικών έργων προσπέλασης του υπόγειου βωξιτικού κοιτάσματος «Σίλας 3» της εταιρίας Δελφοί-Δίοστομον ΑΜΕ. Ο υπολογισμός του βωξιτικού όγκου έγινε με την χρήση Η/Υ και του λογισμικού Carlson software (Κεφάλαιο 4). Η χρήση του Η/Υ έγινε από την ψηφιοποίηση των χαρτών της περιοχής έως την εισαγωγή των γεωτρήσεων, την δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου, αλλά και τον σχεδιασμό των έργων προσπέλασης.

Η χρήση Η/Υ στον σχεδιασμό προσφέρει αρκετές πληροφορίες σχετικά με το κοιτάσμα, όπως για παράδειγμα τον συνολικό του όγκο αρκετά κοντά στην πραγματικότητα, την δυνατότητα ελέγχου του πάχους του σχεδόν σε όλη την έκτασή του, και καθιστά πιο εύκολη την εκλογή της σωστής μεθόδου υπολογισμού του κοιτάσματος και της σωστής μεθόδου εκμετάλλευσης για το κοιτάσμα που εξετάζεται.

Μέσω του προγράμματος υπάρχει η δυνατότητα επιλογής παραπάνω από μίας μεθόδου παρεμβολής μεταξύ των γεωτρήσεων. Ως αποτέλεσμα αυτού είναι δυνατόν να προκύψουν διαφορετικοί υπολογισμοί αποθεμάτων ή και απεικόνισης του κοιτάσματος. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε παραμετρική διερεύνηση τέτοιων σεναρίων και σύγκριση με μεγέθη που ήταν διαθέσιμα από προηγούμενη διπλωματική εργασία (Κελέρμενος, 2009).

Το σημαντικότερο όφελος της χρήσης ενός τέτοιου προγράμματος, είναι ότι δίνεται η δυνατότητα στον χειριστή του να καταλάβει όλη την διαδικασία

εκμετάλλευσης ενός κοιτάσματος, και παράλληλα να μπορεί να αντιληφθεί και να διορθώσει τα σφάλματα και τις αστοχίες που παρουσιάζονται γρηγορότερα, με αποτέλεσμα την τελικά οικονομικότερη εκμετάλλευση του κοιτάσματος.

Η ακρίβεια των αρχικών δεδομένων (τοπογραφική απεικόνιση, γεωτρητικά δεδομένα, κ.λ.π) είναι πολύ σημαντική για την εξαγωγή αποτελεσμάτων που προσομοιώνουν τις πραγματικές συνθήκες. Αυτό παρατηρήθηκε ιδιαίτερα κατά την ψηφιοποίηση των χαρτών, όπου ο μικρός αριθμός ισοϋψών που ήταν διαθέσιμος δεν μπορούσε να αναπαραστήσει ικανοποιητικά το υφιστάμενο τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής. Για την καλύτερη απεικόνιση του αναγλύφου δημιουργήθηκαν πρόσθετες ισοϋψείς μέσο του προγράμματος με μία τελική πυκνότητα μια ισοϋψή ανά 5 μέτρα υψομετρικής διαφοράς.

Ένα παρόμοιο πρόβλημα παρουσιάστηκε και κατά την εισαγωγή των γεωτρήσεων. Τα γεωτρητικά δεδομένα δεν περιείχαν το πλήρες πάχος του υποκειμένου στρώματος ασβεστολίθου, καθώς οι γεωτρήσεις σταμάταγαν μετά το πέρας του κοιτάσματος. Αυτό δημιούργησε πρόβλημα και στην προσπάθεια δημιουργίας του τρισδιάστατου μοντέλου, αλλά και στον υπολογισμό του όγκου του κοιτάσματος. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα και για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων εισήχθησαν σε όλες τις γεωτρήσεις υποκείμενο στρώμα ασβεστόλιθου πάχους 10 μέτρων.

Τέλος όσον αφορά τον υπολογισμό του όγκου του κοιτάσματος χρησιμοποιήθηκαν διάφορες γεωστατιστικές μέθοδοι, για να ελεγχθεί ποια ήταν η ιδανικότερη για τον υπολογισμό του όγκου. Στον πίνακα 5.1 παρατίθενται οι όγκοι για ελάχιστο μέγεθος απολήψιμου βωξίτη ίσο με 1.5m, όπως έπραξε και η εταιρεία, και μας δίνεται η δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων.

Πίνακας 5.1 Υπολογισμένοι όγκοι βωξίτη

Γεωστατιστική μέθοδος	15-15 (μέγεθος κελιού m³)	17-17 (μέγεθος κελιού m³)	20-20 (μέγεθος κελιού m³)
Triangulation	332163 m ³	332733 m ³	334261 m ³
1d inverse distance	347665 m ³	349727 m ³	348473 m ³
2d inverse distance	340002 m ³	340146 m ³	340687 m ³

Προηγούμενοι υπολογισμοί για τα αποθέματα βωξίτη στην περιοχή αυτή οι οποίοι είναι διαθέσιμοι (Κελέρμενος 2009) εκτιμούν τον όγκο του κοιτάσματος σε **325925 m³**. Τα αποτελέσματα που παρήχθησαν από την παρούσα διπλωματική συμφωνούν με την τάξη μεγέθους της ποσότητας αυτής.

Αυτό που πρέπει να σημειωθεί είναι, πως αν θεωρηθεί απολήψιμος βωξίτης πάχους 1m και όχι 1.5m, ο όγκος του κοιτάσματος προς απόληψη μπορεί να φτάσει **393497 m³**. Αυτό ουσιαστικά προκαλεί αύξηση των διαθεσίμων τόνων απολήψιμου βωξίτη και θα πρέπει να εξεταστεί αν αξίζει να γίνουν τα απαιτούμενα έργα για να γίνει απόληψη όλης αυτής της ποσότητας.

5.2 Προτάσεις

- Να αναζητηθούν περισσότερα δεδομένα γεωτρήσεων ώστε να είναι δυνατή η εφαρμογή μεθόδων Kriging.
- Να διερευνηθούν εναλλακτικές μέθοδοι προσπέλασης.
- Να διερευνηθεί η δυνατότητα απόληψης μεγαλύτερου όγκου βωξίτη.

Βιβλιογραφία

1. Αγιουτάντης, Ζ. (2005). *Στοιχεία Προσπέλασης και Ανάπτυξης Υπογείων Εκμεταλλεύσεων*, Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Χανιά.
2. Αγιουτάντης, Ζ. (2009). *Στοιχεία Διάτρησης-Ανατίναξης*, Εκδόσεις Ίων, Χανιά.
3. Αγιουτάντης, Ζ. (2001). *Στοιχεία Γεωμηχανικής Μηχανική Πετρωμάτων*, Εκδόσεις Ίων, Χανιά.
4. Εξαδάκτυλος, Γ.Ε. (2005). *Σχεδιασμός συστημάτων υπογείων έργων για την εκμετάλλευση μεταλλευτικών κοιτασμάτων*, Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Χανιά.
5. Καπαγερίδης Ι. (2006). *Εισαγωγή στην Γεωστατιστική*, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα.
6. Κατσικάτσος Γ.Χ. (1992). *Γεωλογία της Ελλάδος*, Πανεπιστήμιο Πάτρας Ο.Ε.Δ.Β, Αθήνα.
7. Κελέρμενος (2009). *Τεχνική μελέτη βωξιτικού κοιτάσματος «Σίλας 3» της εταιρίας Δελφοί-Δίστομον ΑΜΕ*, Διπλωματική εργασία Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
8. Οικονομόπουλος Ι.Ν. (1973). *Εκμετάλλευσις Μεταλλείων-Προσπέλασις, Κατασκευή κύριων μεταλλευτικών έργων*, Ανάπτυξις, Εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα.
9. Σαράτσης Γ. (2004). *Συζευγμένη Γεωστατιστική – Μηχανική Ανάλυση Σηράγγων*, Μεταπτυχιακή διατριβή Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
10. Χρηστίδης Γ. (2005). *Κοιτασματολογία Ι (Γενικές αρχές-ματαλλικά ορυκτά)*, Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Χανιά.
11. Χρηστίδης Γ. (2009). *Κοιτασματολογία ΙΙ (Βιομηχανικά Ορυκτά και Πετρώματα)*, Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Χανιά.
12. Dick, R.A., L.R. Fletcher and D.V. D'Andrea, (1983). *Explosives and Blasting Manual*, Information Circular 8405, US Bureau of Mines, Washington, DC.

Ιστοσελίδες στο διαδίκτυο

- www.extraco.gr
- el.wikipedia.org
- www.alhellas.com
- www.larco.gr
- www.oryktosploutos.net
- http://www.metal.ntua.gr/uploads/2552/simioseis_min_exploI.pdf