



Π Ο Λ Υ Τ Ε Χ Ν Ε Ι Ο Κ Ρ Η Τ Η Σ

Τ Μ Η Μ Α Μ Η Χ Α Ν Ι Κ Ω Ν Ο Ρ Υ Κ Τ Ω Ν Π Ο Ρ Ω Ν

**Μοντελοποίηση βωξιτικού κοιτάσματος από
γεωλογικά-τοπογραφικά δεδομένα και δεδομένα
δειγματοληπτικών γεωτρήσεων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ψυλλάκης Γεώργιος

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Γεώργιος Εξαδάκτυλος, Καθηγητής (επιβλέπων)

Εμμανουήλ Μανούτσογλου, Καθηγητής

Μιχαήλ Γαλετάκης, Αν. Καθηγητής

ΧΑΝΙΑ

Ιούνιος, 2013

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	2
Περίληψη	4
Abstract.....	4
Πρόλογος	5
1 Εισαγωγή.....	6
1.1 Γενικά	6
1.2 Δελφοί Δίστομο Α.Μ.Ε.	7
2. Γεωλογία και Κοιτασματολογία.....	8
2.1. Γεωλογία	8
2.1.1. Γεωλογική ζώνη	8
2.1.2. Εξέλιξη στρωματογραφίας.....	8
2.1.3. Γενικά στοιχεία κοιτασμάτων υπό μελέτη	9
2.2 Κοιτασματολογία	10
2.2.1. Βωξίτης.....	10
2.2.2. Ιδιότητες του βωξίτη.....	11
2.2.3. Κοιτασματολογικοί τύποι βωξιτικών κοιτασμάτων.....	11
2.2.4. Τρόπος σχηματισμού των βωξιτών	12
2.2.5. Κοιτάσματα βωξίτη στον Ελλαδικό χώρο	14
3. Μεταλλευτική έρευνα – Αποθέματα.....	15
3.1 Μεταλλευτική έρευνα	15
3.2. Γεωλογικά Αποθέματα.....	20
4. Σχεδιασμός εκμετάλλευσης.....	22
4.1 Προσπέλαση	22
4.1.1 Σημασία των έργων προσπέλασης	22
4.1.2 Επιλογή έργων προσπέλασης.....	22
4.2 Μέθοδος εκμετάλλευσης	27
4.2.1. Επιλογή μεθόδου εκμετάλλευσης	27
4.2.2 Υπόγεια εκμετάλλευση στα ελληνικά βωξιτικά κοιτάσματα.....	28
4.2.3 Μέθοδος εκμετάλλευσης στο υπό μελέτη κοίτασμα.....	29
4.3 Χρόνος ζωής της εκμετάλλευσης.....	29
4.4 Εξόρυξη υπόγειων έργων προσπέλασης	29
4.5 Υποστήριξη.....	31
4.6 Κύκλωμα αερισμού των υπογείων	32

4.6.1 Γενικά.....	32
4.6.2 Υπολογισμός απαιτήσεων σε αέρα	34
4.6.3 Φυσικός ελκυσμός.....	35
4.6.4 Αντιστάσεις των κλάδων.....	35
4.6.5 Πτώση πίεσης.....	37
4.6.6 Επιλογή των ανεμιστήρων	37
4.7 Ενέργεια-φωτισμός.....	38
4.7.1 Φωτισμός κεντρικών στοών	38
4.7.2 Θέσεις εργασίας Ατομικός φωτισμός και Ενέργεια	39
4.8 Αντιμετώπιση υπογείων υδάτων.....	39
4.9 Αποθέσεις στείρων	39
4.10 Αριθμός εργαζομένων	40
4.11 Προϋπολογισμός έργου.....	40
5. Συμπεράσματα-Προτάσεις	42
5.1 Συμπεράσματα.....	42
Βιβλιογραφία	43
Ελληνική Βιβλιογραφία	43
Διεθνής Βιβλιογραφία	43
Ιστοσελίδες στο διαδίκτυο	43

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η μοντελοποίηση των αποθεμάτων και των έργων προσπέλασης – προπαρασκευής τριών φακοειδών βωξιτικών κοιτασμάτων στην περιοχή Στενής Αράχωβας, που ανήκουν στην εταιρεία «Δελφοί – Δίστομον ΑΜΕ», από γεωλογικά-τοπογραφικά δεδομένα και δεδομένα δειγματοληπτικών γεωτρήσεων με την βοήθεια του λογισμικού autoCAD® 3d Civil 2011. Η τριδιάστατη μοντελοποίηση είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό των αποθεμάτων και του όγκου εκσκαφών στο στείρο πέτρωμα που γίνεται σε πρώτη φάση σ' αυτήν την εργασία.

Στην εργασία αυτή εν συνεχεία προτείνεται ο σχεδιασμός της υπόγειας προσπέλασης και περιχάραξης, των βωξιτικών κοιτασμάτων. Δεν εξετάζεται ο σχεδιασμός της μεθόδου εκμετάλλευσης λόγω οικονομίας χώρου.

Γίνεται περιγραφή της γεωλογίας-κοιτασματολογίας της ευρύτερης περιοχής, στην οποία θα γίνει η υπόγεια εκμετάλλευση. Στην συνέχεια παρουσιάζεται η μέθοδος περιχάραξης των βωξιτικών κοιτασμάτων και ο υπολογισμός των αποθεμάτων. Τέλος, αφού επιλεγεί ο εξοπλισμός διάτρησης, φόρτωσης, μεταφοράς κ.λπ. για την διάνοιξη των υπογείων έργων, υπολογίζεται το μοναδιαίο κόστος των έργων προσπέλασης περιχάραξης και αυτών εκμετάλλευσης.

Abstract

The aim of the present Diploma Thesis is the modeling of bauxite orebodies in Arahova of Fthiotis Prefecture based on topographical, geological and drillhole data with the aid of the software autoCAD® 3d Civil 2011. The mining rights of these orebodies belong to "Delphi-Distomo SA" mining company.

Subsequently, the design of underground access and development underground works is proposed. The mining method is not considered here in detail due to limitations of space.

The geology-mineralogy of the area is briefly discussed, the modeling of the three bauxite orebodies that have the form of lenses is presented and the mineral resources and reserves are estimated. Finally, based on the selection of drilling, loading and hauling equipment etc. the unit cost of the access and development work is estimated.

Πρόλογος

Η ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας αυτής, είναι αποτέλεσμα της πολύτιμης βοήθειας και υποστήριξης που προσφέρθηκε από το διδακτικό προσωπικό του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω αρχικά τον επιβλέποντα καθηγητή, Εξαδάκτυλο Γεώργιο, ο οποίος διέθεσε τον χρόνο του και τις πολύτιμες γνώσεις του βοηθώντας όποτε χρειάστηκε στο να ολοκληρωθεί η εργασία αυτή, καθώς και για τις διορθώσεις τις οποίες έκανε. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο Δρ. Σαράτση Γεώργιο και τον Δρ Λιόλιο Παντελή, για τον χρόνο που διέθεσαν για την εργασία αυτή καθώς και για την ψυχολογική υποστήριξη τους.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πρόεδρο και καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων κύριο Εμμανουήλ Μανούτσογλου και τον Αν. Καθηγητή, κύριο Μιχαήλ Γαλετάκη, που δεχτήκαν να συμμετάσχουν στην εξεταστική επιτροπή και να αξιολογήσουν την εργασία αυτή.

Πέραν των μελών της Πολυτεχνείου Κρήτης θα ήθελα να ευχαριστήσω και το γεωλογικό τμήμα της εταιρείας Δελφοί-Δίοτομο ΑΜΕ, η οποία διέθεσε τους χάρτες, τα δεδομένα των γεωτρήσεων και όλα τα απαραίτητα στοιχεία που χρειάστηκαν για την παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους συγγενείς μου που κατοικούν στα Χανιά, διότι χωρίς την βοήθεια τους θα ήταν αδύνατη η ολοκλήρωσή των σπουδών μου.

1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία πραγματεύεται τον σχεδιασμό της υπόγειας εκμετάλλευσης βωξιτικών κοιτασμάτων της Αράχωβης. Καταρχήν εξετάζεται η γεωλογία και η κοιτασματολογία της περιοχής, εν συνεχεία εκτιμώνται τα μεταλλευτικά αποθέματα από δεδομένα δειγματοληπτικών γεωτρήσεων και έπειτα τα βέλτιστα χαρακτηριστικά των έργων προσπέλασης και την επιλογή της μεθόδου εκμετάλλευσης. Τα κοιτάσματα, η προσπέλαση και η περιχάραξή τους σχεδιάστηκαν με τη βοήθεια χρήσης του λογισμικού autoCAD® 3d Civil 2011.

Τα βωξιτικά κοιτάσματα της περιοχής ανήκουν στις παραχωρήσεις της μεταλλευτικής εταιρείας Δελφοί-Δίοστομο και τα τοπογραφικά, γεωλογικά και γεωτρητικά δεδομένα εδόθησαν από το Γεωλογικό Τμήμα της εταιρείας.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η μοντελοποίηση των κοιτασμάτων βωξίτη της περιοχής από γεωτρητικά δεδομένα, ο σχεδιασμός και η τεχνικοοικονομική μελέτη των έργων προσπέλασης της υπόγειας εκμετάλλευσης. Η χρήση του συγκεκριμένου λογισμικού δίνει την δυνατότητα τόσο της τρισδιάστατης γραφικής αναπαράστασης των κοιτασμάτων και των υπόγειων έργων. Επίσης μπορούμε με τη χρήση του λογισμικού αυτού να υπολογίσουμε γεωλογικά αποθέματα, απολήψιμα αποθέματα, και να σχεδιάσουμε υπόγεια τεχνικά έργα (στοές, ράμπες κ.λπ.).

Επιπλέον, η τρισδιάστατη απεικόνιση των σχεδιασθέντων τμημάτων, δίνει την δυνατότητα της επιλογής της θέσης και του σχεδιασμού των υπογείων έργων προσπέλασης, περιχάραξης αλλά και της καλύτερης μεθόδου εκμετάλλευσης του κοιτάσματος. Για την εκπόνηση της εργασίας λήφθηκε υπόψη ο τοπογραφικός χάρτης της περιοχής, προκειμένου να σχεδιαστεί-ψηφιοποιηθεί σε τρισδιάστατη μορφή το τοπογραφικό ανάγλυφο, ο οποίος περιέχει και δειγματοληπτικές γεωτρήσεις καθώς και την πιθανή θέση των κοιτασμάτων.

Η όλη διαδικασία ξεκίνα με την ψηφιοποίηση των ισοϋψών του τοπογραφικού χάρτη και την τρισδιάστατη απεικόνιση του ανάγλυφου της περιοχής. Στην συνέχεια γίνεται η εισαγωγή των δεδομένων από τις γεωτρήσεις, η εύρεση των ορίων του κοιτάσματος με βάση ένα κατώφλι πάχους του, και τελικά ο σχεδιασμός του μοντέλου των κοιτασμάτων στο χώρο. Ακολουθεί η επιλογή των θέσεων για την διάνοιξη των έργων προσπέλασης-περιχάραξης των κοιτασμάτων και ο σχεδιασμός τους.

Η ανάπτυξη της μεθόδου εκμετάλλευσης στα κοιτάσματα της Στενής Αράχωβης δεν εξετάζεται στην παρούσα εργασία.

Επίσης προτείνεται ο σχεδιασμός των έργων προσπέλασης και περιχάραξης των κοιτασμάτων, προτείνεται ο εξοπλισμός διάτρησης, φόρτωσης, μεταφοράς κ.λπ. και τελικά ακολουθεί ο υπολογισμός της διάρκειας της εκμετάλλευσης («ζωή» της εκμετάλλευσης), η μελέτη του αερισμού των έργων προσπέλασης-περιχάραξης του μεταλλείου, η μελέτη του φωτισμού των εργασιών και το μοναδιαίο κόστος της εκμετάλλευσης (προσπέλαση-περιχάραξη).

1.2 Δελφοί Δίστομο Α.Μ.Ε.

Η εταιρία ιδρύθηκε το 1972, ως θυγατρική της «Αλουμίνιον της Ελλάδος», με την επωνυμία «Ελληνικοί Βωξίται Διστόμου» (ΕΒΔ). Το 1975 δημιουργήθηκε η εταιρία «Δελφοί – Δίστομον ΑΜΕ», για να ελέγχει τις μεταλλευτικές παραχωρήσεις της εταιρίας «Βωξίται Δελφών». Το 1989 οι εταιρίες ΕΒΔ και «Βωξίται Δελφών» συγχωνεύτηκαν στη «Δελφοί – Δίστομο ΑΜΕ».

Το 1995 η εταιρία μετέφερε το κέντρο των δραστηριοτήτων της από το Δίστομο Βοιωτίας στην Άμφισσα Φωκίδας (περιοχή Άνω Κουνουκλιά, στο Δημοτικό Διαμέρισμα Ελαιώνα). Από το 2007 η εταιρία αποτελεί ανεξάρτητο μέλος του Ομίλου Μυτιληναίος μετά την εξαγορά της εταιρείας Αλουμίνιον της Ελλάδος από τον ομώνυμο όμιλο.

Σήμερα η εταιρία δραστηριοποιείται στους νομούς Φωκίδας και Βοιωτίας (Γκιώνα, Παρνασσό και Ελικώνα) και είναι η δεύτερη μεγαλύτερη παραγωγός βωξίτη στην Ελλάδα με ετήσια παραγωγή περί τους 900.000 t ετησίως. Το σύνολο της παραγωγής της τροφοδοτεί το εργοστάσιο παραγωγής αλουμινίου στα Άσπρα Σπίτια Βοιωτίας. Το βιομηχανικό αυτό συγκρότημα της «Αλουμίνιον ΑΕ» έχει ετήσια δυναμικότητα παραγωγής 750.000 t αλουμίνιας και 160.000 t αλουμινίου και απασχολεί άμεσα 1250 άτομα, που προέρχονται από όλο τον Ελληνικό χώρο. Από το 2005 είναι μέλος του Ομίλου Μυτιληναίος.

Το σύνολο της δραστηριότητας της Δελφοί - Δίστομον ΑΜΕ εφαρμόζει Σύστημα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (πιστοποιημένο σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14001:2004) και Σύστημα Διαχείρισης Υγείας και Ασφάλειας (πιστοποιημένο σύμφωνα με το πρότυπο OHSAS 18001:2007). [C]

2. Γεωλογία και Κοιτασματολογία

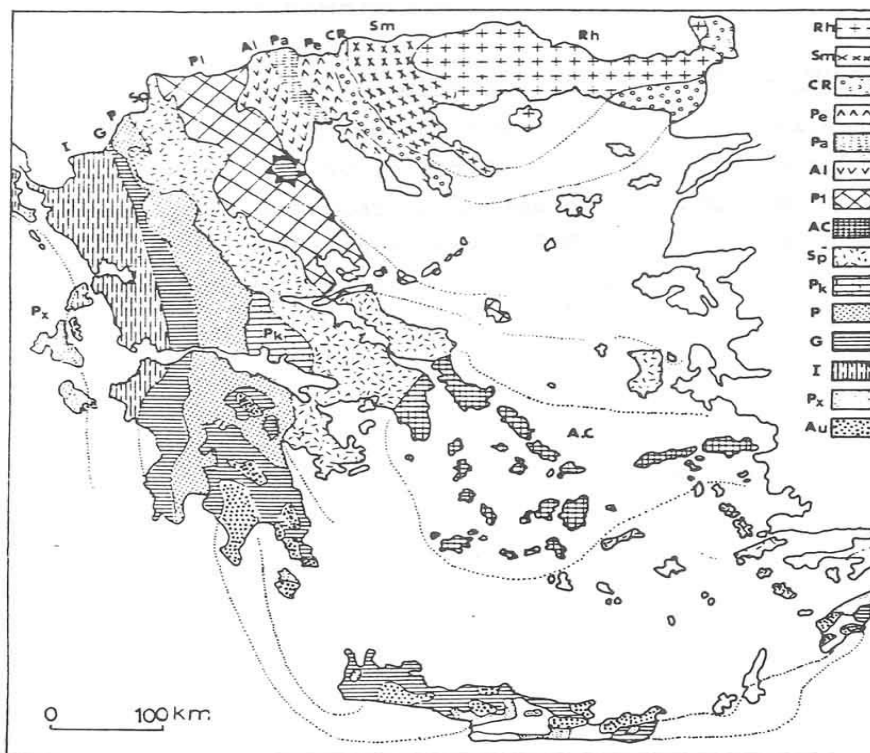
2.1. Γεωλογία

2.1.1. Γεωλογική ζώνη

Η περιοχή που εντοπίστηκαν τα συγκεκριμένα φακοειδή κοιτάσματα βωξίτη τα οποία μελετώνται εδώ βρίσκεται στην Στενή Αράχωβης.

Η ευρύτερη περιοχή βρίσκεται στην γεωλογική ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας. Η ονομασία της ζώνης οφείλεται στα αντίστοιχα βουνά Παρνασσό και Γκιώνα της Στερεάς Ελλάδας που συγκροτούν κύρια τη ζώνη όπως καθορίστηκε αρχικά από τον Renz (1940). Η ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας θεωρήθηκε στο δυαδικό αλπικό σύστημα εναλλασσομένων αυλακών και υβωμάτων ως σχηματισμοί που αποτέθηκαν σε ένα ύψωμα τοπικά παρεμβαλλόμενο μεταξύ της κατωφέρειας της Πελαγονικής ζώνης μη μεταμορφωμένων σχηματισμών (Υποπελαγονικής Ζώνης) και της αύλακας της Πίνδου. Περιορίζεται μόνο στην Κεντρική Στερεά Ελλάδα και δεν εκτείνεται σε όλο το μήκος της επαφής των ζωνών Υποπελαγονικής και Πίνδου.

Οι γεωλογικές ζώνες του ελληνικού χώρου φαίνονται στην [Εικόνα 2.1](#). Διακρίνεται με την ένδειξη Pk η γεωλογική ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας στην οποία βρίσκονται και τα υπό μελέτη κοιτάσματα της Στενής Αράχωβης. [8]



Εικόνα 2.1 Οι γεωλογικές ζώνες του ελληνικού χώρου [8]

2.1.2. Εξέλιξη στρωματογραφίας

Τα κύρια πετρώματα που αποτελούν την ζώνη είναι νηριτικοί ασβεστόλιθοι και δολομιτιωμένοι ασβεστόλιθοι ηλικίας από το Ανώτερο Τριαδικό έως το Ανώτερο Κρητιδικό. Αυτή η ανθρακική

ιζηματογένεση δεν ήταν συνεχής, αλλά έχει διακοπεί τρεις φορές συνοδευόμενη από διάβρωση και απόθεση βωξιτών, έτσι ώστε να έχουν σχηματισθεί τρεις βωξιτικοί ορίζοντες.

Ο πρώτος βωξιτικός ορίζοντας σχηματίστηκε μεταξύ Δογγερίου και Μαλμίου, ο δεύτερος στο τέλος του Ιουρασικού και ο τρίτος που είναι και ο ανώτερος ορίζοντας της σειράς μεταξύ του Κατώτερου και του Ανώτερου Κρητιδικού. Κατά το Ανώτερο Κρητιδικό αποτέθηκαν πελαγικοί ασβεστόλιθοι από ζωοπλαγκτόν. Στη συνέχεια κατά το Παλαιόκαινο ακολουθούν κοκκινοπηλίτες, οι οποίοι τοπικά βρίσκονται σε ασυμφωνία με τους υποκείμενους ασβεστόλιθους. Οι πηλίτες μεταβαίνουν σταδιακά προς τον φλύσχη ηλικίας Ηωκαίνου. Το συνολικό πάχος των ανθρακικών ιζημάτων υπερβαίνει τα 2000 μέτρα ενώ του φλύσχη τα 1000 μέτρα.

Η κλασική άποψη, ότι δηλαδή οι βωξιτικοί ορίζοντες σχηματίζονται σε περιόδους χέρσευσης μιας περιοχής, εξηγεί το ότι οι τρεις βωξιτικοί ορίζοντες αντιπροσωπεύουν τρεις διαδοχικές χερσεύσεις της ζώνης και τρεις διακοπές της ιζηματογένεσης, γεγονότα που θα πρέπει να συνδέονται με τρεις τεκτονικές φάσεις. Από διάφορους ερευνητές της ζώνης καθόριστηκε η Αγκασιζική φάση στο Άνω Ιουρασικό, η Νεοκιμερική φάση στο Ανώτερο Ιουρασικό και η Υποερκυνική φάση στο Μέσο Κρητιδικό σαν οι αντίστοιχες ορογενετικές περίοδοι που προκάλεσαν τις τρεις διαδοχικές αναδύσεις της ζώνης και τους τρεις αντίστοιχους βωξιτικούς ορίζοντες.

Εφόσον η ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας δέχθηκε την επίδραση των πρώιμων ορογενετικών κινήσεων θα πρέπει να τοποθετηθεί στις Εσωτερικές Ελληνικές ζώνες και όχι στις Εξωτερικές όπου η ιζηματογένεση υπήρξε αδιατάρακτος. Οι ασυμφωνίες, μικρές έστω, που παρατηρούνται μεταξύ των ασβεστόλιθων πάνω και κάτω από τους βωξίτες είναι βασικό επιχείρημα για τις διακοπές της ιζηματογένεσης. Είναι αναμφισβήτητο όμως ότι δεν παρατηρείται κάποιο στρωματογραφικό κενό στη διαδοχή των ιζημάτων της ζώνης, τα οποία σχηματίζουν συνεχή στρωματογραφική στήλη από το Τριαδικό μέχρι το Μέσο-Άνω Ηώκαινο. Το πρόβλημα της οριστικής τοποθέτησης της ζώνης στις εξωτερικές ή εσωτερικές Ελληνίδες συζητείται ακόμη, οι περισσότεροι ερευνητές την δέχονται σαν εξωτερική εξαιτίας της συνεχούς ιζηματογένεσης, χαρακτηριστικό γνώρισμα των εξωτερικών Ελληνίδων.

Σύμφωνα με τον Ε. Μανούτσογλου «Εισαγωγή στην Γεωλογία της Ελλάδος» (Χανιά, 2003), «...Η νέα αντίληψη για τον σχηματισμό των βωξιτών σε θαλάσσιο-παραλιακό περιβάλλον χωρίς να λύνει απόλυτα το θέμα δίνει την παρακάτω ικανοποιητική εξήγηση: Η ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας ανήκει στις εξωτερικές ζώνες αλλά παλαιογεωγραφικά ήταν στην άμεση γειτονιά των εσωτερικών ζωνών με αποτέλεσμα να δεχθεί τη μακρινή επίδραση των πρώιμων ορογενετικών φάσεων που τις έπλητταν. Η επίδραση αυτή μεταφράστηκε σε ανοδικές κινήσεις που δημιούργησαν το παραλιακό περιβάλλον, κατάλληλο για την βωξιτογένεση αλλά και ικανό να σχηματισθούν οι ιζηματολογικές ασυμφωνίες μεταξύ των ασβεστολίθων χωρίς τη διακοπή της ιζηματογένεσης. Η οριστική ανάδυση της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας έγινε στο Άνω Ηώκαινο (Πριαμπόνιο), όπως δείχνει η νεότερη ηλικία του φλύσχη...».

2.1.3. Γενικά στοιχεία κοιτασμάτων υπό μελέτη

Τα κοιτάσματα υπό μελέτη βρίσκονται ΝΑ (Νοτιοανατολικά) του ορεινού όγκου Παρνασσού, ΒΑ (Βορειοανατολικά) του οικισμού Δίστομο και περίπου στο μέσο της ευθείας απόστασης Αράχωβα-Λειβαδιά.

Τα κοιτάσματα αναπτύσσονται σε απόλυτο υψόμετρο από 130m έως 385m και σε βάθος μέχρι 220-350m από την επιφάνεια του εδάφους. Δεν υφίσταται οικισμός σε ακτίνα μικρότερη του 1 km, με κοντινότερο οικισμό αυτόν του ιστορικού Διστόμου που απέχει περίπου 4,5 km.

Η προσπέλαση στην ευρύτερη περιοχή εξασφαλίζεται κατά κύριο λόγο, μέσω υφιστάμενου οδικού δικτύου που περιλαμβάνει επιμέρους μεταλλευτικό και τοπικό δίκτυο το οποίο επικοινωνεί με την Ε.Ο. (Εθνική οδό) Λειβαδιάς-Άμφισσας και την Επαρχ.Οδ. (Επαρχιακή οδό) Δαύβλειας-Μαυρονερίου. Επιπλέον για τις ανάγκες της εκμετάλλευσης των υπό μελέτη κοιτασμάτων θα διανοιχθεί δρόμος μήκους 275m. Ο δρόμος προσπέλασης θα είναι ανηφορικός με μέγιστη κλίση 8%, πλάτος 6m και ακτίνα καμπυλότητας άνω των 30m και θα πληρεί όλες τις προδιαγραφές του ΚΛΜΕ (ΥΑ2223 ΦΕΚ122714/06/11).

2.2 Κοιτασματολογία

2.2.1. Βωξίτης

Ο βωξίτης είναι πέτρωμα, δηλαδή συνδυασμός συγκολλημένων ορυκτών, και αποτελεί το κυριότερο μέταλλευμα αργιλίου. Ανακαλύφθηκε το 1821 από το Γάλλο γεωλόγο Pierre Berthier στην πόλη Μπω (Les Baux-de-Provence) της νότιας Γαλλίας (Προβηγκία), από την οποία πήρε το όνομά του. Σχηματίζεται από την αποσάθρωση αργιλοπυριτικών πετρωμάτων (κυρίως μαγματογενούς προελεύσεως), θεωρούμενος έτσι ως *ιζηματογενές πέτρωμα*.

Οι βωξίτες αποτελούν την κύρια πηγή του μετάλλου του αλουμινίου. Το αλουμίνιο είναι ελαφρύ μέταλλο που δε σκουριάζει εύκολα και γι' αυτό βρίσκει πολλές τεχνολογικές εφαρμογές. Επίσης, σχηματίζει κράματα με άλλα ελαφρά μέταλλα τα οποία χρησιμοποιούνται στην αεροναυπηγική. Οι κυριότερες μη μεταλλουργικές εφαρμογές είναι η χημική βιομηχανία (πρώτη ύλη για ενώσεις του αργιλίου), η παρασκευή όξινων πυρίμαχων υλικών (δηλαδή πλούσιων σε Al_2O_3) και η παρασκευή λειαντικών υλικών. Για τη χημική βιομηχανία το οξειδίο 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. Προδιαγραφές των βωξιτών που σχετίζονται με τη χημική τους σύσταση δίδονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1 Τυπικά περιεχόμενα σε οξείδια των βωξιτών για διάφορες χρήσεις. min= ελάχιστο, max= μέγιστο

Εφαρμογή	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2
Μεταλλουργία	50-55	0-15	5-30	
Λειαντικά	Min. 55	Max. 5	Max. 6	Min. 2.5
Χημικά	Min 55-58	Max 5-12	Max. 2	
Πυρίμαχα	Min 59-61	Max 1.5-5.5	Max. 2	Max. 2.5

Οι βωξίτες ανήκουν στους λατερίτες. Οι λατερίτες σχηματίζονται από χημική αποσάθρωση υπερβασικών, βασικών και/ή 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. Τα υδροξείδια αυτά είναι ο βαιμίτης ($\gamma. Al_2O_3 \cdot H_2O$), το διάσπορο ($\alpha. Al(OH)_3$) και ο

υδραργυλλίτης ή γκιψίτης ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Οι προσμείξεις που απαντούν στους βωξίτες είναι καολινίτης, αλλοϋσίτης, νοντρονίτης, διάφορα υδροξείδια του σιδήρου (γκαιτίτης, λειμωνίτης), αιματίτης, οξείδια του τιτανίου κλπ. Ενας τυπικός βωξίτης περιέχει 35-65% Al_2O_3 , 2-20% Fe_2O_3 , 10-30% H_2O , 2-10% SiO_2 , 1-3% TiO_2 .

2.2.2. Ιδιότητες του βωξίτη

Ο βωξίτης έχει ειδικό βάρος 2,7 - 3,5 t/m^3 ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε οξείδια του σιδήρου.

Η σκληρότητά του κυμαίνεται συνήθως μεταξύ του 1 και 3 της σκληρομετρικής κλίμακας του 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.

Ο δείκτης διάθλασης του βωξίτη είναι 1,57, η απόχρωση της γραμμής 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 °C.

Ανάλογα με το χρώμα οι βωξίτες διακρίνονται σε τρεις κυρίως κατηγορίες, τους τεφρούς, τους ροδόχρους, και τους ερυθρούς ή καστανούς βωξίτες. Οι βωξίτες όμως συναντώνται σε όλη τη σειρά των ενδιάμεσων χρωμάτων. Το χρώμα του βωξίτη οφείλεται κυρίως στο περιεχόμενο οξείδιο του σιδήρου. Συνήθως η περιεκτικότητα του σιδήρου είναι μεγαλύτερη, όσο πιο καστανό ή ερυθρό είναι το χρώμα του βωξίτη. Σημειώνεται ότι το χρώμα δεν εξαρτάται απόλυτα από την περιεκτικότητα του σιδήρου, διότι υπάρχουν βωξίτες οι οποίοι έχουν ζωηρό ερυθρό χρώμα και χαμηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο. Το ζωηρό χρώμα σε αυτήν την περίπτωση οφείλεται στο οξείδιο του σιδήρου, το οποίο επικαλύπτει επιφανειακά αργιλούχους πυρήνες, χωρίς να διεισδύει 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 αλουμίνιας.

Ειδικότερα ο γυψίτης 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).

2.2.3. Κοιτασματολογικοί τύποι βωξιτικών κοιτασμάτων

Οι βωξίτες απαντούν με τη μορφή τεσσάρων τύπων κοιτασμάτων, ήτοι:

1. **Καλύμματα** κοντά ή πάνω στην επιφάνεια της γης (blanket deposits). Είναι οριζόντια ή σχεδόν οριζόντια κοιτάσματα που καλύπτονται από μικρό πάχος υπερκείμενων υλικών. Τα

κοιτάσματα αυτά μπορεί να εκτείνονται οριζόντια για πολλά χιλιόμετρα, ενώ το πάχος τους μπορεί να κυμαίνεται από ένα μέτρο έως 20 μέτρα (4-6 μέτρα τα πιο κοινά). Σε ορισμένες περιπτώσεις η επιφάνεια στην οποία έχει σχηματιστεί ο βωξίτης έχει διαβρωθεί με αποτέλεσμα τη συρρίκνωση των κοιτασμάτων. Σε κοιτάσματα που αναπτύσσονται σε οροπέδια και όπου ο βωξίτης είναι συμπαγής και σκληρός σχηματίζονται απότομα πρηνή στις άκρες των οροπεδίων, ενώ ογκόλιθοι βωξίτη απαντούν κατά μήκος των πρηνών. Τα κοιτάσματα αυτά περιέχουν ένα στρώμα συμπαγούς βωξίτη με άφθονο σίδηρο στα ανώτερα τμήματά τους, ενώ συχνά χαρακτηρίζονται και από οριζόντιες διακυμάνσεις στην περιεκτικότητά τους σε Al_2O_3 . Μεγάλα κοιτάσματα απαντούν στην Αυστραλία, τη Γουϊνέα, τη Νότιο Αμερική και την Ινδία.

2. **Θύλακες και ακανόνιστα σώματα** (rocket deposits) κυρίως σε καρστικά έγκοιλα, και μερικές φορές σε πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα ή σε αργίλους. Το πάχος τους κυμαίνεται από λιγότερο από ένα μέτρο έως περισσότερο από 30 μέτρα. Μπορεί να είναι είτε μεμονωμένα σώματα είτε πολλά συνενωμένα, αφού τα καρστικά έγκοιλα σε πολλές περιπτώσεις συνενώνονται. Η μετάβασή τους προς τα υποκείμενα πετρώματα είναι απότομη. Απαντούν στη Τζαμάικα, τις χώρες της Νοτίου Ευρώπης κλπ.
3. **Στρώματα ή φακοί σε ιζηματογενείς ή ηφαιστειοιζηματογενείς ακολουθίες** (interlayered deposits). Το χαρακτηριστικό αυτών των κοιτασμάτων, τα οποία κατά τα άλλα μοιάζουν με αυτά της προηγούμενης κατηγορίας, είναι ότι των βωξίτων υπέρκεινται νεώτερα ιζήματα (συνήθως ασβεστόλιθοι), ή ηφαιστειακά πετρώματα. Λόγω του ενταφιασμού είναι συνήθως πιο συμπαγή από τα προηγούμενα. Απαντούν στις ΗΠΑ, τη Γουϊάνα, τη Ρωσία την Κίνα την Ιρλανδία τη νότιο Ευρώπη και την Τουρκία. Στις χώρες της νοτίου Ευρώπης και την Τουρκία τα περιβάλλοντα πετρώματα έχουν πτυχωθεί και ρηγματωθεί, ενώ τα ορυκτά γκιψίτης και βαιμίτης έχουν μετατραπεί μερικώς σε διάσπορο και κατά τόπους σε κορούνδιο μεταβάλλοντας την ποιότητα του βωξίτη
4. **Κοιτάσματα που προκύπτουν από διάβρωση άλλων κοιτασμάτων βωξίτη** (detrital deposits). Τα κοιτάσματα αυτά προκύπτουν από συσσώρευση βωξιτικού υλικού που διαβρώθηκε από άλλες θέσεις. Τέτοια κοιτάσματα απαντούν στο Αρκάνσας των ΗΠΑ.

2.2.4. Τρόπος σχηματισμού των βωξιτών

Οι βωξίτες διακρίνονται σε τρεις κύριους τύπους ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού του εκάστοτε κοιτάσματος:

- Λατεριτικοί βωξίτες.
- Καρστικοί βωξίτες.
- Ιζηματογενείς βωξίτες.

Οι **λατεριτικοί βωξίτες** προκύπτουν από τη χημική αποσάθρωση αργιλοπυριτικών πετρωμάτων που έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο και σχηματίζουν καλύμματα. Τα υπερβασικά πετρώματα γενούν Ni-λατερίτες και Fe-λατερίτες κάτω από παρόμοιες συνθήκες και για αυτό εξαιρούνται. Οι συνθήκες που ευνοούν το σχηματισμό των βωξιτών είναι οι εξής:

- Αρχικά πετρώματα που περιέχουν ορυκτά του αργιλίου.
- Διαπερατότητα των πετρωμάτων ώστε να επιτρέπεται απομάκρυνση του Si διαμέσου του εδαφικού νερού τόσο κατακόρυφα όσο και πλαγίως.

- Τροπικό-υποτροπικό κλίμα με σημαντικά ποσοστά βροχόπτωσης για να επιτυγχάνεται ο σωστός συνδυασμός Eh-pH και εναλλαγές υγρών-ξηρών περιόδων.
- Ήπιο τοπογραφικό ανάγλυφο το οποίο να επιτρέπει την αργή διήθηση του νερού στο έδαφος καθώς και διακυμάνσεις του υδροφόρου ορίζοντα.
- Ρυθμός χημικής αποσάθρωσης υψηλότερος από το ρυθμό της διάβρωσης ώστε να συσσωρεύονται τα προϊόντα της αποσάθρωσης.
- Μακρά περίοδο τεκτονικής σταθερότητας
- Ύπαρξη βλάστησης.

Οι λατεριτικοί βωξίτες προέρχονται από πολλά πετρώματα (γρανίτες, νεφελινικούς συηνίτες, ανορθοσίτες, φωνόλιθους, βασάλτες, ανδεσίτες, δολερίτες, γάββρους, κερατίτες, σχιστολίθους, καολινιτικές άμμους και αργιλικούς σχιστόλιθους). Είναι προφανές ότι δεν είναι τόσο σημαντικό να έχει μεγάλο περιεχόμενο σε Al το αρχικό πέτρωμα όσο είναι η ένταση και χρονική διάρκεια της βωξιτογένεσης. Για παράδειγμα οι λατεριτικοί βωξίτες στη χερσόνησο του ακρωτηρίου York της Αυστραλίας έχουν προέλθει από καολινιτικές άμμους που περιείχαν μόλις 4% Al_2O_3 .

Το μητρικό πέτρωμα μετασχηματίζεται σε λατεριτικό βωξίτη ακολουθώντας τρία επί μέρους στάδια:

- Διάσπαση των αρχικών αργιλοπυριτικών ορυκτών που περιλαμβάνει μετακίνηση των αλκαλίων και μέρους του πυριτίου και συγκέντρωση ορυκτών του αργιλίου.
- Περαιτέρω απομάκρυνση του Si και συγκέντρωση του Al με τη μορφή του βαιμίτη και του γκιψίτη.
- Συμπλήρωση της αρχικής σύστασης με απόθεση ανθρακικών, θειούχων και άλλων ορυκτών.

Τα κοιτάσματα αυτής της κατηγορίας έχουν ηλικία κυρίως μέσο Κρητιδικό-μέσο Ηώκαινο, υπάρχουν όμως γνωστά κοιτάσματα Τριτογενούς, ακόμη και Τεταρτογενούς ηλικίας. Μεγάλα κοιτάσματα λατεριτικών βωξιτών βρίσκονται στην Αυστραλία, τη Γουινέα, την Ινδία, τη Βραζιλία, τη Γουινέα, τη Βόρειο Ιρλανδία και τις ΗΠΑ.

Οι **καρστικοί βωξίτες** σχηματίζονται και γεμίζουν έγκοιλα καρστικοποιημένων ασβεστόλιθων διαφόρων μεγεθών και μορφών. Αυτός είναι και ο λόγος που έχουν ακανόνιστη μορφή (συνήθως θύλακες, φακοί ή πολύπλοκες συμφύσεις).

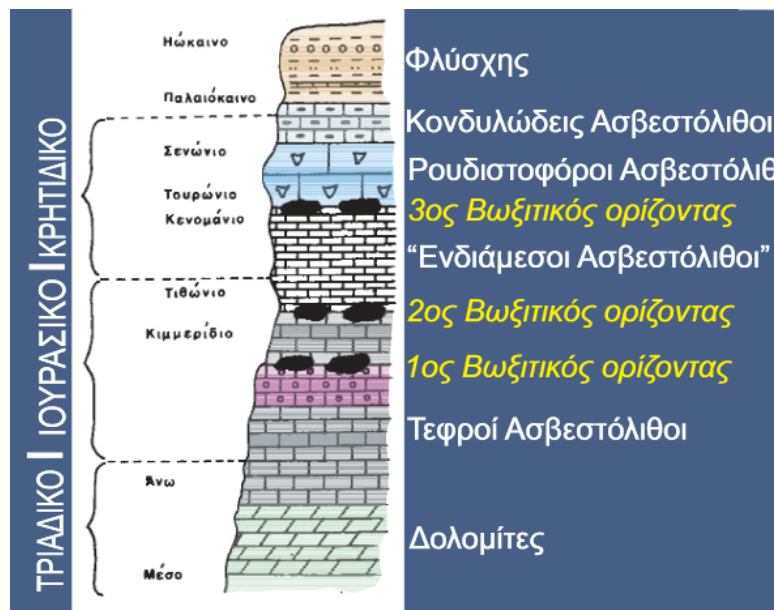
Το υλικό που γεμίζει τα καρστικά έγκοιλα προέρχεται από λατεριτικούς μανδύες γειτονικών πετρωμάτων. Η εμφάνιση του βωξίτη δεν προκύπτει μόνο από την απλή καθίζηση της πλούσιας αργιλικής ιλύος στην επιφάνεια των καρστικοποιημένων ασβεστόλιθων. Είναι πιθανό ότι το χημικό περιβάλλον των ασβεστόλιθων στην επιφάνεια της Γής παίζει σημαντικό ρόλο τόσο κατά τη διάρκεια όσο και μετά την απόθεση αυτής της ιλύος. Απόδειξη για μεταβολές μετά την απόθεση προέρχονται από μία σκούρα κόκκινη αργιλική ταινία στην επαφή μεταξύ του βωξίτη και της επιφανείας του καρστικού εγκοίλου.

Οι καρστικοί βωξίτες είναι συνηθισμένοι στις χώρες της Μεσογείου (Γαλλία, Ισπανία, πρώην Γιουγκοσλαβία, Ελλάδα, Τουρκία) καθώς και στην Ουγγαρία και τη Ρουμανία. Επίσης αναφέρονται σε ΗΠΑ, Ρωσία, Αφρική Ινδία και Ινδονησία.

Οι **ιζηματογενείς βωξίτες** είναι λιγότερο συνηθισμένοι και εμφανίζονται με τη μορφή στρωματοειδών συγκεντρώσεων σε ιζηματογενείς ακολουθίες. Αποτελούνται από θραύσματα άλλων λατεριτικών στρωμάτων που διαβρώθηκαν και μεταφέρθηκαν σε νέες θέσεις.

2.2.5. Κοιτάσματα βωξίτη στον Ελλαδικό χώρο

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. 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. Τα κοιτάσματα της ζώνης αυτής βρίσκονται στο ορεινό σύμπλεγμα Παρνασσού-Γκιώνας-Ελικώνα-Οίτης.



Στη ζώνη της Ανατολικής Ελλάδος 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.

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 10 πρώτες βωξιτοπαραγωγές χώρες, 1η στην ΕΟΚ με παραγωγή της τάξης των 3 εκατ. τόνων/έτος περίπου.

3. Μεταλλευτική έρευνα – Αποθέματα

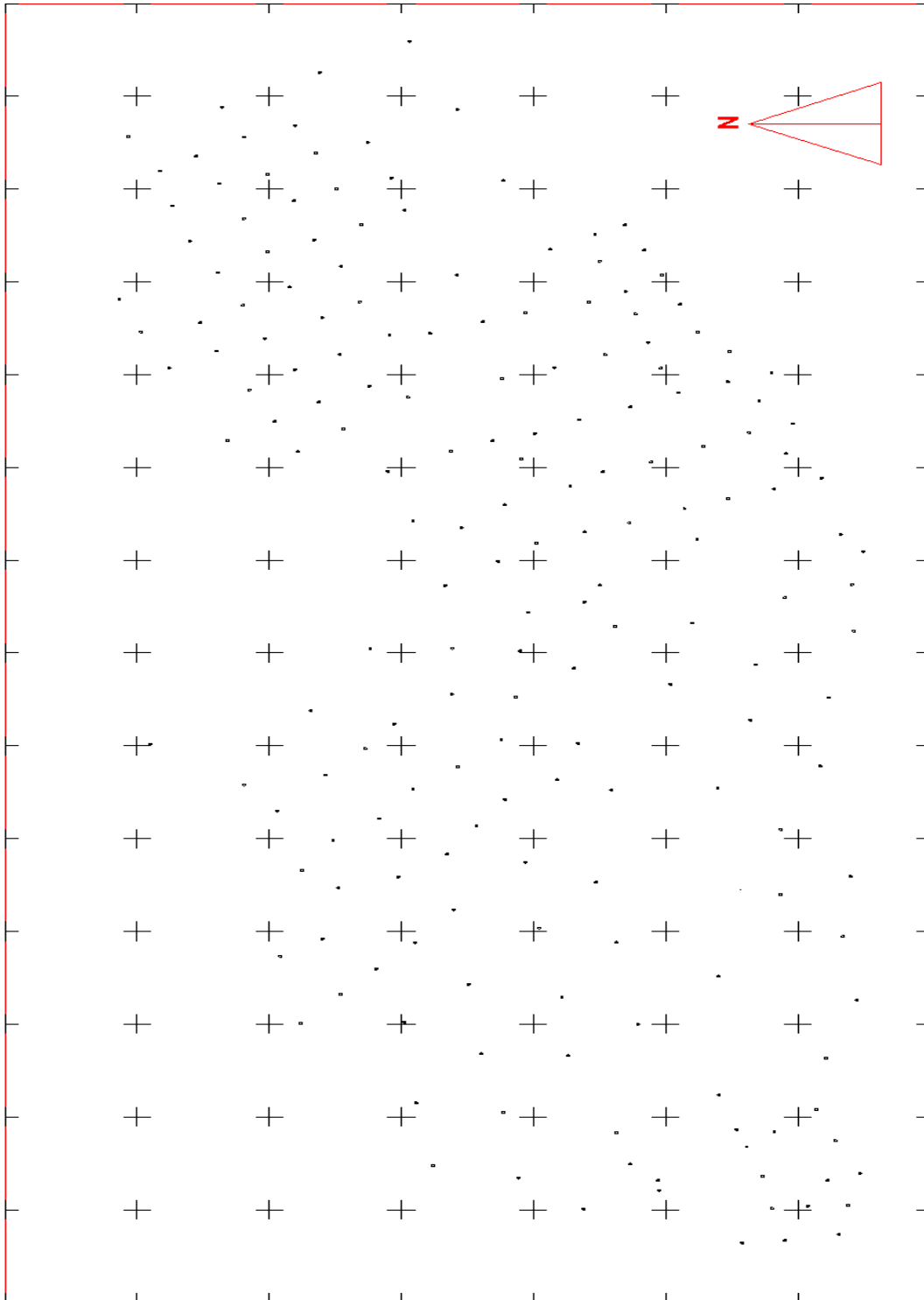
3.1 Μεταλλευτική έρευνα

Η μεταλλευτική έρευνα ξεκινά με την αναζήτηση ενδιαφερόντων γεωλογικών σχηματισμών (πετρωμάτων) που πιθανώς περιέχουν κάποιο οικονομικά εκμεταλλεύσιμο ορυκτό. Για το σκοπό αυτό ορύσσονται δειγματοληπτικές ή πυρηνοληπτικές γεωτρήσεις για την εκτίμηση της τοπολογίας ή «γεωγραφίας» του κοιτάσματος και την εκτίμηση των αποθεμάτων. Οι δειγματοληπτικές γεωτρήσεις γίνονται σε συγκεκριμένη χωρική διάταξη (κάνναβος) έτσι ώστε η δειγματοληψία να είναι όσο το δυνατό πιο ομοιόμορφη.

Στην φάση του μεταλλευτικού εντοπισμού, οι παράγοντες οι οποίοι περιορίζουν τις ερευνητικές γεωτρήσεις και εν συνεχεία την δημιουργία του κατάλληλου κάνναβου γεωτρήσεων είναι:

- Η μεταλλευτική αξία του κοιτάσματος
- Ο τρόπος γένεσης του
- Το βάθος από την επιφάνεια
- Η γεωμετρία του κοιτάσματος
- Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υπερκειμένων του κοιτάσματος
- Το ανάγλυφο της περιοχής

Ο κάνναβος των ερευνητικών γεωτρήσεων φαίνεται στην [Εικόνα 3.1](#).

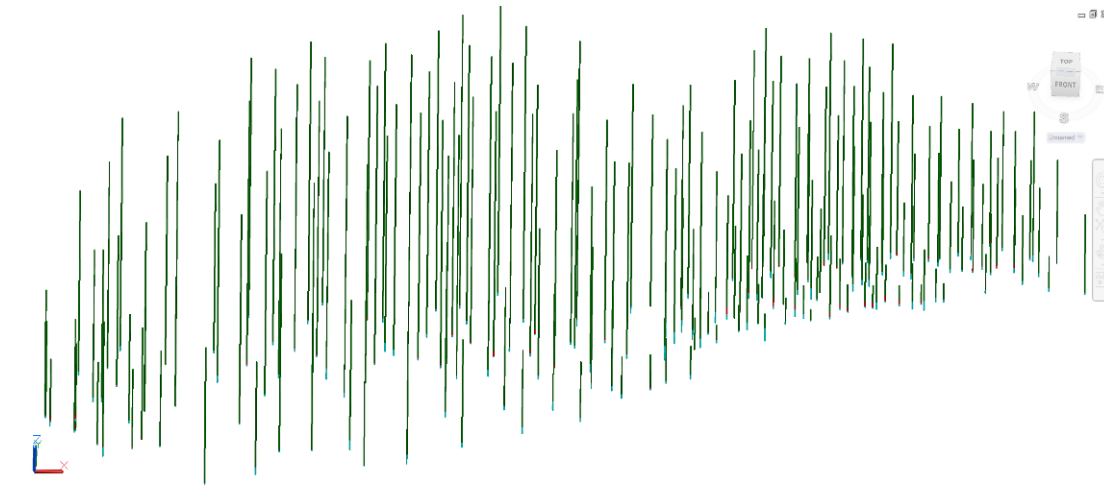


Εικόνα 3.1 Κάνναβος ερευνητικών γεωτρήσεων στο λογισμικό AutoCAD σε κλίμακα 1/5000

Η συγκεκριμένη μεταλλευτική έρευνα περιλαμβάνει **192** δειγματοληπτικές γεωτρήσεις συνολικού μήκους **27000** μέτρων στην ευρύτερη περιοχή για την ανεύρεση των κοιτασμάτων Στενής Αράχωβης, εκ των οποίων οι **71** βρέθηκαν θετικές (44 με πάχος βωξίτη μεγαλύτερο από 1,5m ενώ οι υπόλοιπες 27 μικρότερο από 1,5m, οι **113** αρνητικές και οι 8 μη περατωθείσες. Λεπτομερής πίνακας με όλα τα στοιχεία των γεωτρήσεων βρίσκεται στο [ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2](#) καθώς και ο τρόπος που αναπαραστάθηκαν μέσω του λογισμικού autoCAD® 3d Civil 2011 στο [ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1](#). Οι ερευνητικές γεωτρήσεις απεικονίζονται τρισδιάστατα στις [Εικόνες 3.2 και 3.3](#). Γενικότερα διακρίνονται δύο είδη πετρωμάτων ασβεστόλιθος και βωξίτης.

Στη συνέχεια και μετά από επιλογή και διαχωρισμό των θετικών γεωτρήσεων (με πάχος βωξίτη μεγαλύτερο από το κατώφλι του 1,5m) είναι εφικτό να γίνει μία πρώτη εκτίμηση της θέσης και του αριθμού των κοιτασμάτων. Στη συγκεκριμένη μελέτη διακρίνονται τρεις κύριες μάζες βωξίτη που διαχωρίζονται διακριτά μεταξύ τους διότι ανάμεσα τους υπάρχουν αρνητικές γεωτρήσεις. Έτσι αδιαμφισβήτητα τα κοιτάσματα της περιοχής είναι τρία.

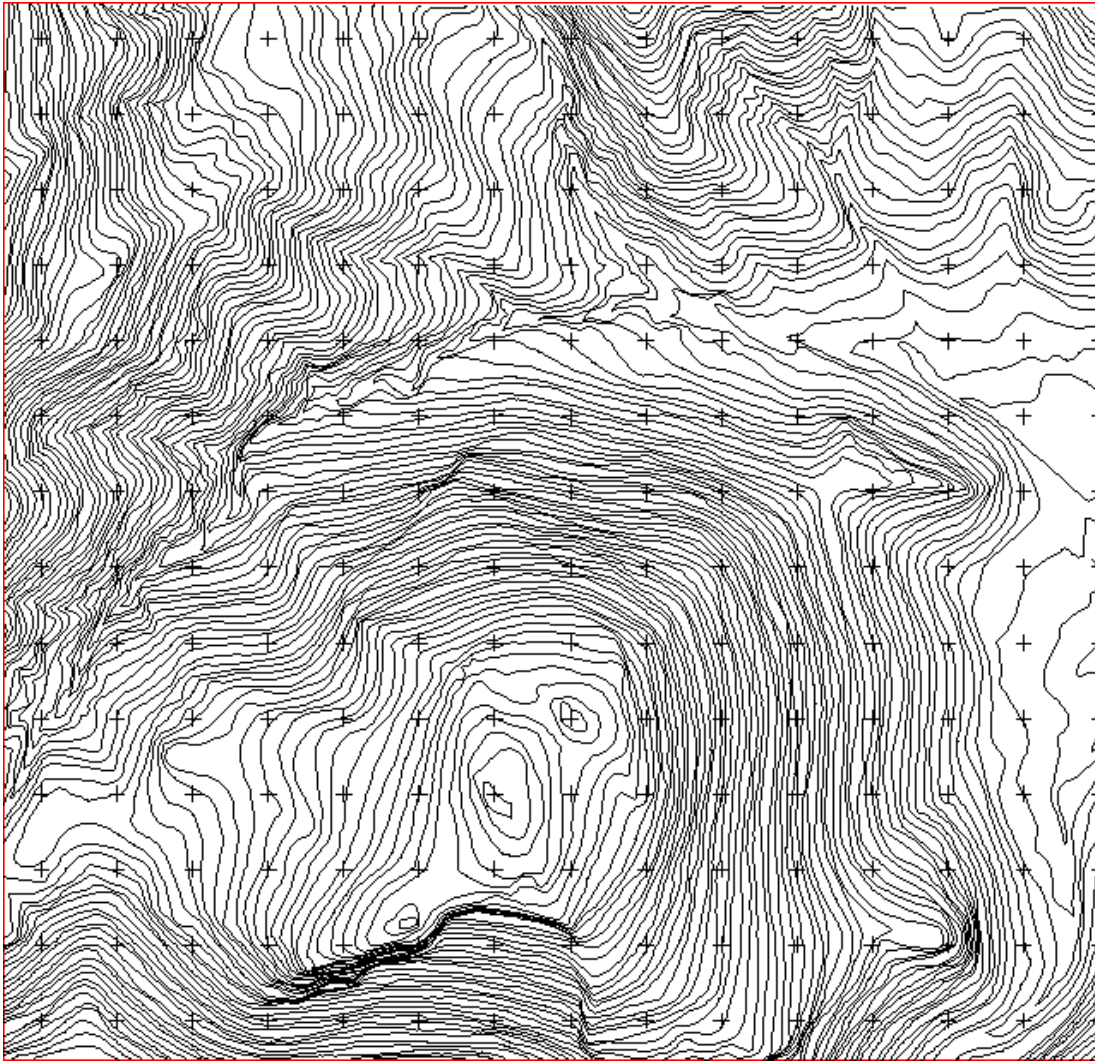
Ο τοπογραφικός χάρτης, οι ψηφιοποιημένες ισοϋψείς και το τοπογραφικό ανάγλυφο δίνονται αντίστοιχα στις [Εικόνες 3.4-3.5-3.6](#).



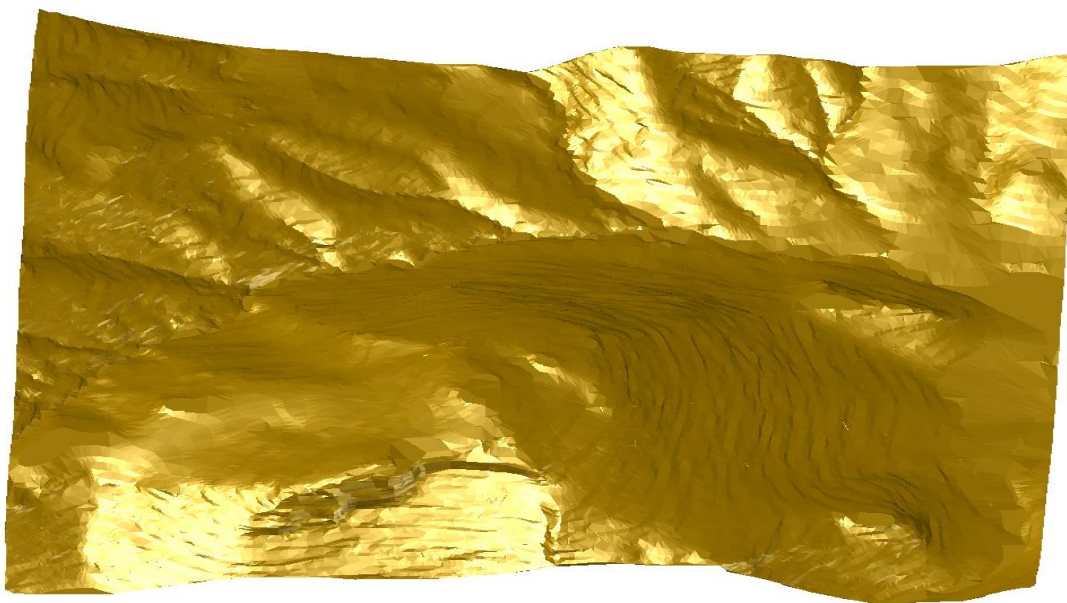
Εικόνα 3.2 Γεωτρήσεις στο λογισμικό autoCAD® 3d Civil 2011



Εικόνα 3.3 Γεώτρηση στο λογισμικό autoCAD® 3d Civil 2011 - Πράσινο Χρώμα Υπερκείμενος Ασβεστόλιθος (Ταβάνι) - Κόκκινο Χρώμα Βωξίτης - Γαλάζιο Χρώμα Υποκείμενος Ασβεστόλιθος (Πάτωμα)



Εικόνα 3.5 Ψηφιοποιημένες ισοψείς καμπύλες στο λογισμικό autoCAD® 3d Civil 2011 κάτοψη σε κλίμακα 1/10.000 προσανατολισμένο προς τον Βορρά.

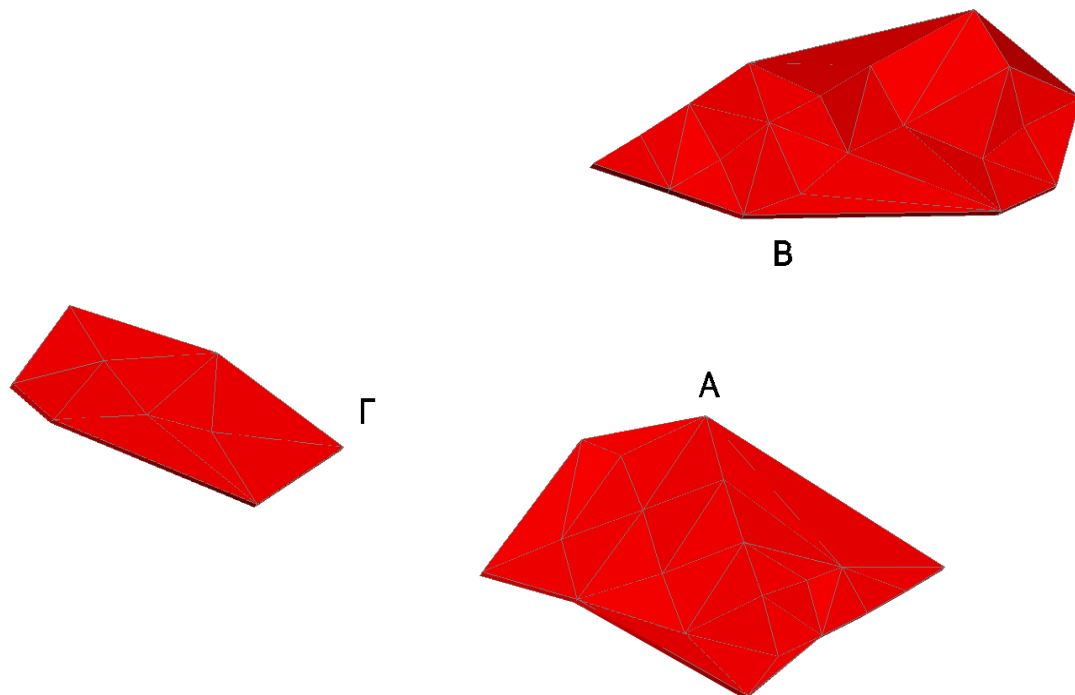


Εικόνα 3.6 Αναπαράσταση τοπογραφικού ανάγλυφου στο λογισμικό autoCAD® 3d Civil 2011

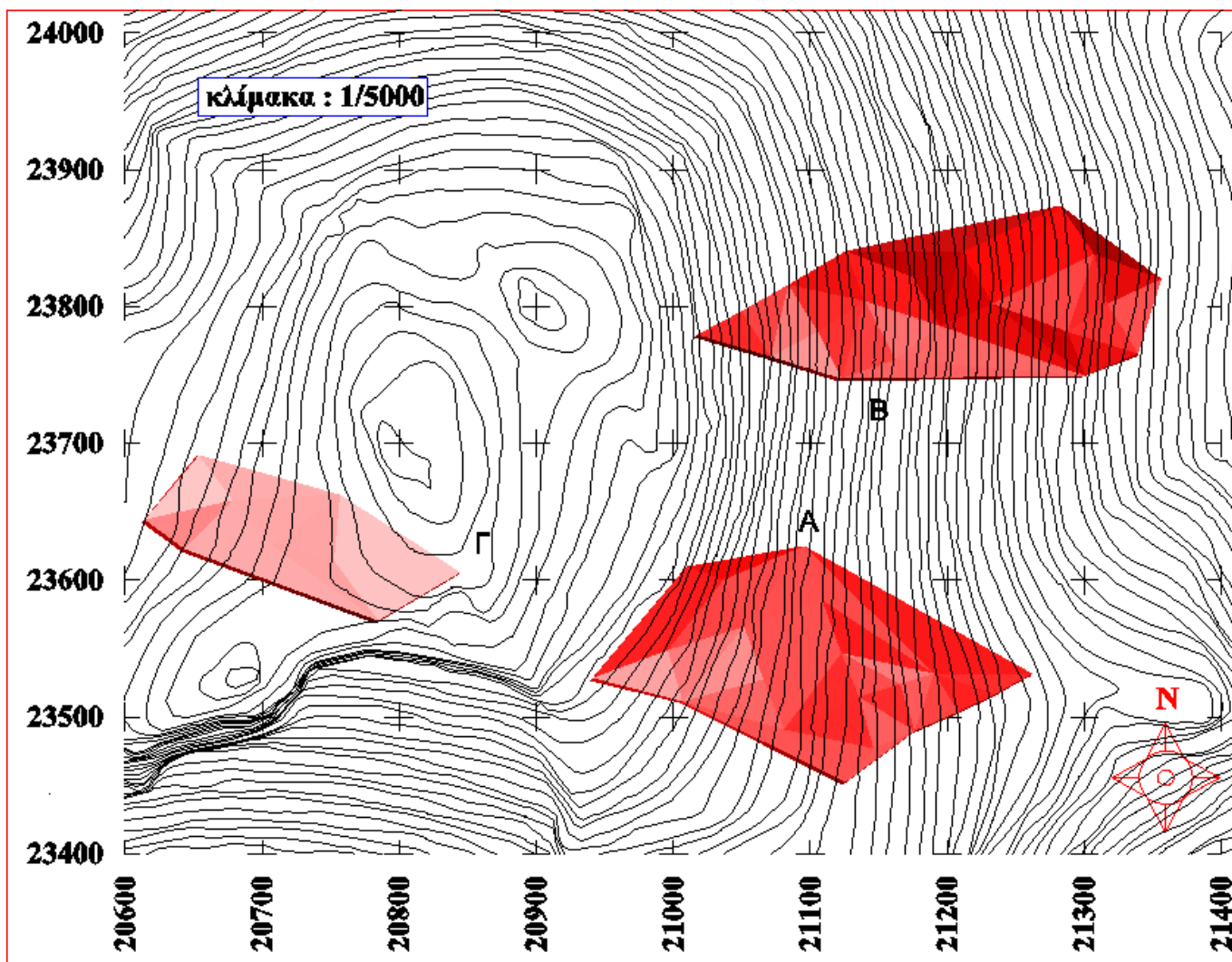
3.2. Γεωλογικά Αποθέματα

Για να υπολογιστούν-εκτιμηθούν τα γεωλογικά αποθέματα των κοιτασμάτων πρέπει να σχεδιασθούν τα τρισδιάστατα μοντέλα τους από τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τον σχηματισμό τους γενικότερα είναι απλή και γίνεται μέσω *τριγωνοποίησης σημείων* με συγκεκριμένες Καρτεσιανές συντεταγμένες όπως είναι τα κέντρα των γεωτρήσεων σε συνδυασμό και τις εναλλαγές των πετρωμάτων) έτσι ώστε τελικά να δημιουργηθούν επιφάνειες στο χώρο.

Σύμφωνα μ'αυτή τη μεθοδολογία δημιουργήθηκαν δύο επιφάνειες για κάθε κείτασμα ξεχωριστά. Οι επιφάνειες αυτές είναι οι επαφές του βωξίτη με το υπερκείμενο (Hanging Wall, HW) και το υποκείμενο (Foot Wall, FW) στείρο ασβεστολιθικό πέτρωμα. Έπειτα μετά από επεξεργασία τους και την ένωση τους δημιουργούνται σαν τρισδιάστατα στερεά που φαίνονται στις [Εικόνες 3.7 και 3.8](#).



Εικόνα 3.7 Τρισδιάστατη απεικόνιση κοιτασμάτων σε κάτοψη autoCAD® 3d Civil 2011



Εικόνα 3.8 Κάτοψη κοιτασμάτων που είναι τοποθετημένα στον τοπογραφικό χάρτη.

Τελικά όλη αυτή η διαδικασία έχει ως σκοπό να βρεθούν οι όγκοι των εντοπισμένων κοιτασμάτων έτσι ώστε αμέσως μετά να γίνει ο σχεδιασμός της προσπέλασης και η επιλογή της μεθόδου εκμετάλλευσης. Εκτενέστερα η επεξεργασία αναλύεται στο [ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1](#).

Οι όγκοι των τριών φακών που βρέθηκαν αποδίδονται στον [Πίνακα 3.1](#). Ο συνολικός όγκος των **γεωλογικών αποθεμάτων (βέβαιων και πιθανών)** ανέρχεται στα **363.426 m³** ή, εάν θεωρήσουμε μία μέση τιμή του ειδικού βάρους του βωξίτη **3 gr/cm³**, σε **1.090.278 t**.

Πίνακας 3.1

Κοιτάσματα	Όγκος (m ³)	Βάρος (t)
A	163.717	491.151
B	137.748	413.244
Γ	61.961	185.883
Σύνολο	363426	1090278

4. Σχεδιασμός εκμετάλλευσης

4.1 Προσπέλαση

4.1.1 Σημασία των έργων προσπέλασης

Τα έργα προσπέλασης μιας υπόγειας εκμετάλλευσης αποτελούν τον τρόπο επικοινωνίας της εκμετάλλευσης με την επιφάνεια. Μερικές από τις βασικές λειτουργίες τις οποίες εξυπηρετούν τα έργα αυτά αναφέρονται στην συνέχεια :

- μεταφορά του προσωπικού προς και από τα μέτωπα εργασίας,
- μεταφορά του εξοπλισμού και των υλικών προς τα μέτωπα εργασίας,
- μεταφορά του εξορυσσομένου προϊόντος αλλά και των στείρων – στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιούνται για λιθογόμωση των κενών - στην επιφάνεια,
- αερισμός των μετώπων,
- εγκατάσταση δικτύων ύδρευσης, ηλεκτρικής ενέργειας, πεπιεσμένου αέρα, προς τα μέτωπα κλπ.,
- άντληση των υπογείων υδάτων.

4.1.2 Επιλογή έργων προσπέλασης

Σε όλες τις υπόγειες εκμεταλλεύσεις είναι απαραίτητη, για λόγους ασφάλειας αλλά και για την εξυπηρέτηση του δικτύου αερισμού, η όρυξη δύο κυρίων έργων προσπέλασης. Γενικά υπάρχουν οι ακόλουθοι τρόποι προσπέλασης υπογείων κοιτασμάτων:

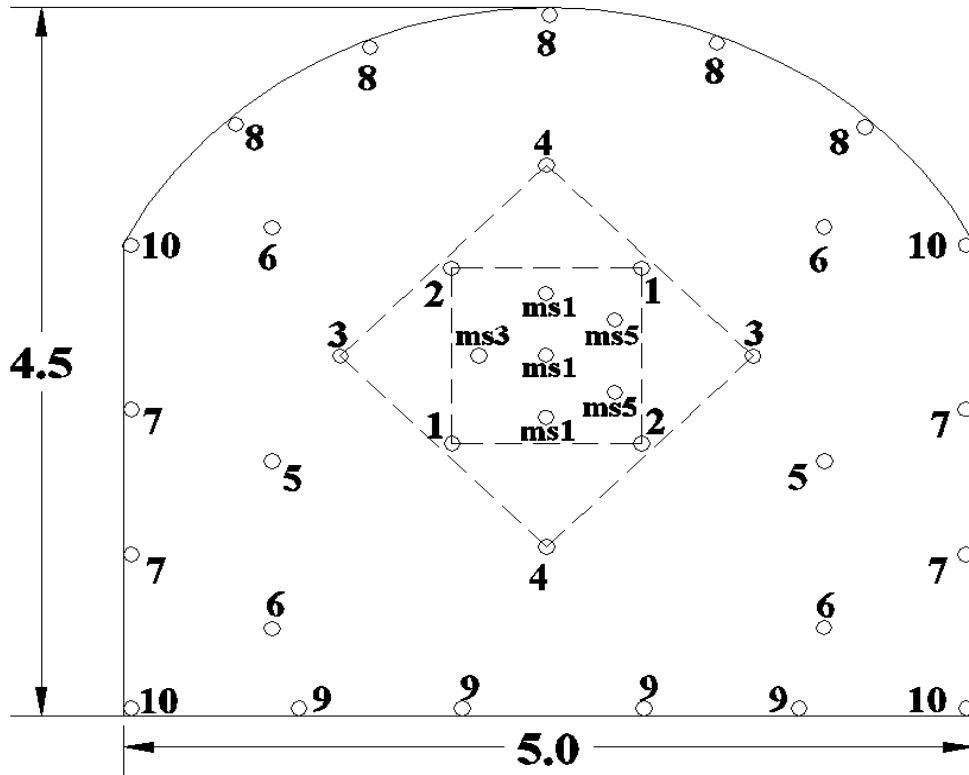
- με φρέατα
- με στοές
- με ελικοειδή κεκλιμένα (ράμπες ή «φιρέδες»)
- με κεκλιμένα, και
- συνδυασμούς των ανωτέρω.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση λόγω της γεωμετρίας των βωξιτικών κοιτασμάτων (σχετικά ήπιες κλίσεις, μικρή ανάπτυξη στο χώρο), το σχετικά μέτριο βάθος ανάπτυξης της μεταλλοφορίας και το ορεινό ανάγλυφο της περιοχής επιλέχθηκαν ως κύρια έργα προσπέλασης *κεκλιμένες στοές* και ένα *ελικοειδές κεκλιμένο* (ράμπα). Τα έργα προσπέλασης ορύσσονται μέσα στους ασβεστόλιθους που περιβάλλουν τα φακοειδή κοιτάσματα.

Για τον καθορισμό των διαστάσεων μιας στοάς λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

- Οι διαστάσεις του μηχανοκίνητου εξοπλισμού που θα κινείται σε αυτή.
- Ο χώρος που απαιτείται για την τοποθέτηση του αγωγού προσωρινού αερισμού και των υπολοίπων δικτύων εξυπηρέτησης της μεταλλευτικής δραστηριότητας (φωτισμός, νερό, πεπιεσμένος αέρας κλπ)
- Οι διαστάσεις των στοιχείων υποστήριξης,
- Οι στοές θα έχουν διατομή τύπου αψίδας, ώστε να εξασφαλίζεται η ευμενέστερη κατανομή τάσεων γύρω από την εκσκαφή και συνεπώς η μεγαλύτερη ευστάθεια.

Το εμβαδόν διατομής είναι περίπου **18,5m²** με πλάτος **5m** και ύψος **4,5m**. Όμοιες διαστάσεις θα έχει και το ελικοειδές κεκλιμένο ([Εικόνα 4.1](#)).



Εικόνα 4.1 Γεωμετρία διατομής στοών σε μέτρα και σχέδιο διάτρησης σχεδιασμένο στο λογισμικό *autoCAD® 3d Civil 2011*

Το πλάτος των κεντρικών στοών είναι σχεδόν διπλάσιο από το μέγιστο πλάτος του μηχανοκίνητου εξοπλισμού που κινείται σ' αυτές, ενώ ακόμα μεγαλύτερο είναι το πλάτος των ανοιγμάτων μέσα στις εκμεταλλεύσεις. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται η ασφαλής μετακίνηση του προσωπικού, η προσέλευση και αποχώρηση του οποίου γίνεται στην αρχή και στο τέλος της βάρδιας, όταν δεν υπάρχει κεντρική μεταφορά. Επιπροσθέτως, το σύνολο του προσωπικού κινείται με μηχανήματα και δεν υπάρχει σε καμία σχεδόν περίπτωση κίνηση πεζών στις κεντρικές στοές.

Η προσπέλαση στη συγκεκριμένη περίπτωση περιλαμβάνει κάποιες ιδιαιτερότητες εξαιτίας του αριθμού των κοιτασμάτων. Αρχικά θα γίνει η κεκλιμένη στοά Σ1 στο κοίτασμα Α. Ταυτόχρονα θα γίνει και η προσπέλαση στο Κοίτασμα Β με συνδυασμό κεκλιμένου και της ράμπας Σ2. Έπειτα θα γίνει η περιχάραξη των δύο κοιτασμάτων Σ3 και Σ4. Μετά την εξόφληση των δύο κοιτασμάτων θα χρησιμοποιηθούν κάποια τμήματα από τις Σ3 και Σ4 σε συνδυασμό με τις στοές Σ5 και Σ6 αντίστοιχα έτσι ώστε να γίνει και η προσπέλαση στο κοίτασμα Γ. Τελικά θα γίνουν και τα έργα περιχάραξης Σ8 (Εικόνα 4.2).

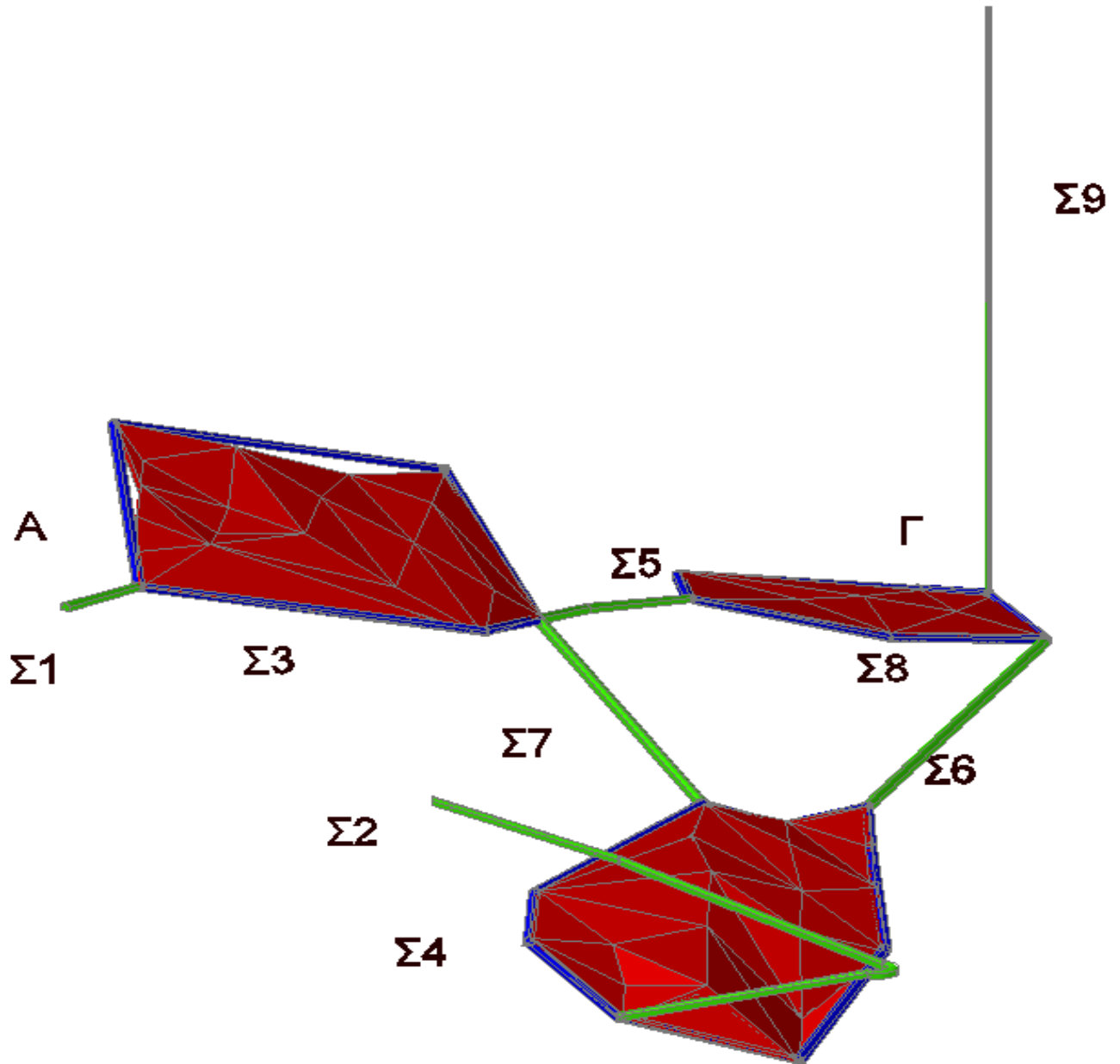
Οι στοές Σ1, Σ2 και Σ7 καθώς και τα παρεμβαλλόμενα τμήματα των Σ3 και Σ4, εκτός από στοιχεία μεταφοράς προσωπικού, υλικού και μηχανολογικού εξοπλισμού θα χρησιμεύσουν και για το κύκλωμα φυσικού αερισμού που θα δημιουργηθεί καθώς και για εξόδους ασφαλείας. Το ίδιο θα γίνει για το κοίτασμα Γ με τις στοές Σ5 και Σ6 με το παρεμβαλλόμενο τμήμα Σ8 (Εικόνα 4.2).

Το μέταλλευμα του κοιτάσματος Α θα μεταφερθεί προς τα έξω μέσω της στοάς Σ1, του κοιτάσματος Β μέσω της στοάς Σ2 ενώ του κοιτάσματος Γ μέσω της στοάς Σ5 και έπειτα μέσω της Σ3 και της Σ1.

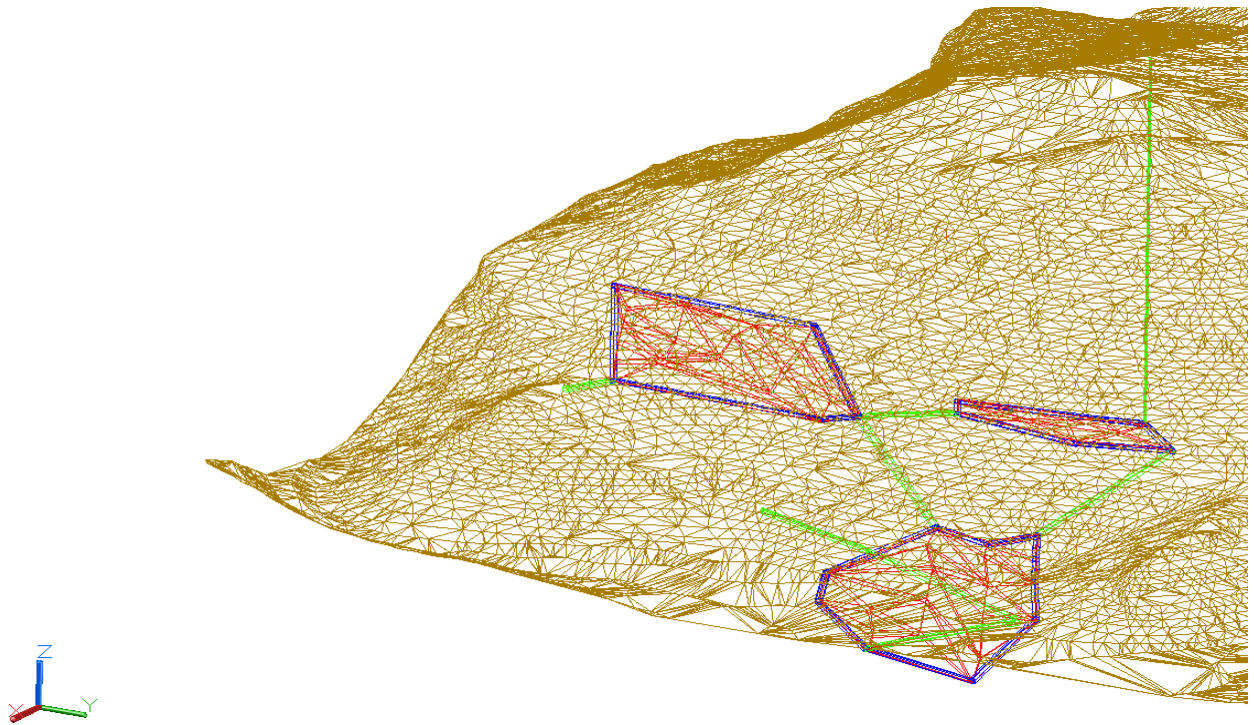
Για τις ανάγκες φυσικού αερισμού της εκμετάλλευσης και για επιπρόσθετα μέτρα ασφαλείας θα ορυχθεί και το φρέαρ Σ9 μήκους **338 m** και διαμέτρου **2 m** στο κοίτασμα Γ.

Η τοπογραφία σε σχέση με τον όλο σχεδιασμό της εκμετάλλευσης δίνεται στην [Εικόνα 4.3](#) και η κάτοψη στην [Εικόνα 4.4](#) και [4.5](#)

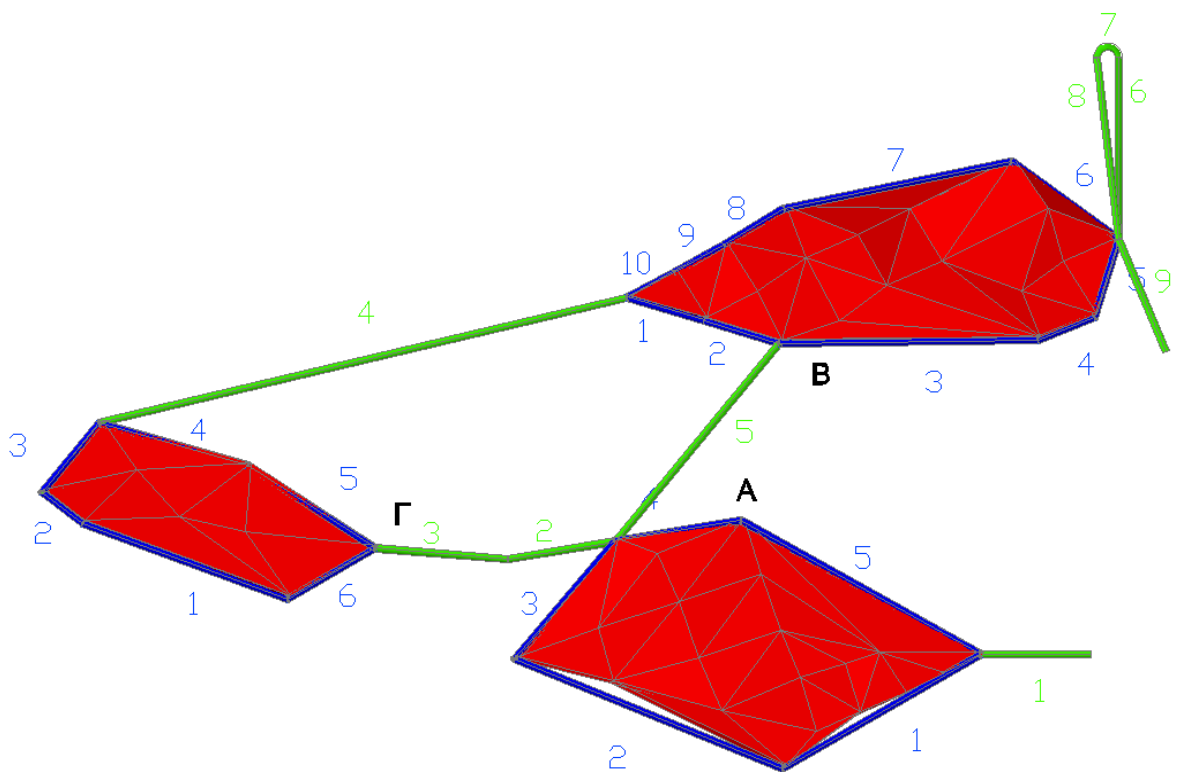
Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υπογείων έργων προσπέλασης και περιχάραξης δίνονται στους [Πίνακες 4.1](#) και [4.2](#) αντίστοιχα. Το συνολικό μήκος των έργων προσπέλασης ανέρχεται στα **1,193 m**, των δε έργων περιχάραξης των τριών φακών στα **2,132 m**.



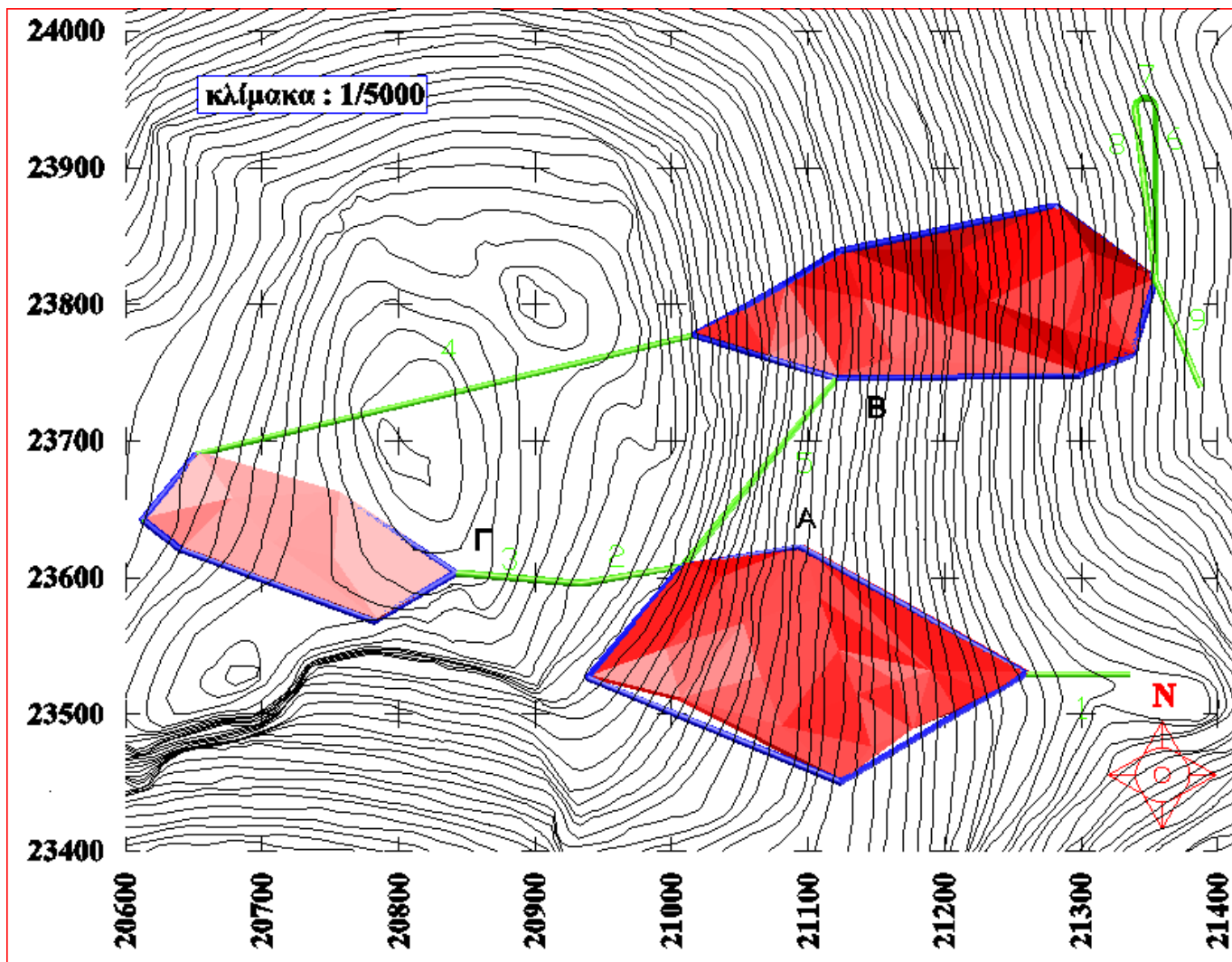
Εικόνα 4.2 Κύριες στοές προσπέλασης (Πράσινο χρώμα)- Έργα περιχάραξης των κοιτασμάτων (Μπλέ Χρώμα) στο λογισμικό autoCAD® 3d Civil 2011



Εικόνα 4.3 Τα έργα με την τοπογραφία της περιοχής σε 3d wireframe στο λογισμικό autoCAD® 3d Civil 2011



Εικόνα 4.4 Κάτοψη των έργων προσπέλασης-περιχάραξης και των κοιτασμάτων στο λογισμικό autoCAD® 3d Civil 2011



Εικόνα 4.5 Κάτοψη έργων προσπέλασης-περιχάραξης και των κοιτασμάτων στο λογισμικό autoCAD® 3d Civil 2011

Πίνακας 4.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά υπογείων έργων προσπέλασης

Έργα προσπέλασης				
A/A	Μήκος (μέτρα)	Κλίση (μοίρες)	Κλίση (rad)	Κλίση (%)
Στοά 1	77.1	10	0.2	17.6
Στοά 2	77.7	15	0.3	26.8
Στοά 3	95.3	14	0.2	24.9
Στοά 4	375.7	6	0.1	10.5
Στοά 5	183.9	15	0.3	26.8
Ράμπα 6	134.7	19	0.3	34.4
Ράμπα 7	23.6	0	0.0	0.0
Ράμπα 8	134.5	19	0.3	34.4
Ράμπα 9	90.6	19	0.3	34.4
Σύνολον	1193.1			

Πίνακας 4.2 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά υπογείων έργων περιχάραξης

Έργα Περιχάραξης				
A/A	Μήκος(μέτρα)	Κλίση(μοίρες)	Κλίση(rad)	Κλίση(%)
Στοά A1	161.1	13	0.2	23.1
Στοά A2	212.6	19	0.3	34.4
Στοά A3	118.2	19	0.3	34.4
Στοά A4	91.6	15	0.3	26.8
Στοά A5	200.9	19	0.3	34.4
Στοά B1	55.7	4	0.1	7.0
Στοά B2	60.4	19	0.3	34.4
Στοά B3	178.3	3	0.1	5.2
Στοά B4	43.9	13	0.2	23.1
Στοά B5	63.7	17	0.3	30.6
Στοά B6	100.4	19	0.3	34.4
Στοά B7	160.1	3	0.1	5.2
Στοά B8	52.2	19	0.3	34.4
Στοά B9	40.6	12	0.2	21.3
Στοά B10	39.2	15	0.3	26.8
Στοά Γ1	158.7	17	0.3	30.6
Στοά Γ2	35.9	13	0.2	23.1
Στοά Γ3	62.7	5	0.1	8.7
Στοά Γ4	110.8	16	0.3	28.7
Στοά Γ5	114.1	19	0.3	34.4
Στοά Γ6	70.7	10	0.2	17.6
Σύνολον	2131.8			

4.2 Μέθοδος εκμετάλλευσης

4.2.1. Επιλογή μεθόδου εκμετάλλευσης

Η επιλογή της μεθόδου εκμετάλλευσης ενός κοιτάσματος επηρεάζεται από συγκεκριμένους παράγοντες όπως:

- Την θέση του κοιτάσματος στον χώρο και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του (σχήμα, μέγεθος, κλίση).
- Τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος και των περιβαλλόντων πετρωμάτων
- Την ποιότητα και την αξία του μεταλλεύματος
- Τους επιθυμητούς ρυθμούς παραγωγής
- Το κόστος του παραγόμενου προϊόντος
- Την προστασία του περιβάλλοντος
- Η μέθοδος όμως που θα επιλεγεί θα πρέπει να διασφαλίζει τρία βασικά κριτήρια:

- Την ασφάλεια των εργαζομένων
- Την οικονομικότητα του κοιτάσματος
- Την μέγιστη δυνατή απόληψη του κοιτάσματος

4.2.2 Υπόγεια εκμετάλλευση στα ελληνικά βωξίτικα κοιτάσματα

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 κενά μέτωπα ή 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 από τα στείρα των έργων προσπέλασης.

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 βωξίτικού 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 αραίωση του μεταλλεύματος.

Η περιχάραξη γίνεται με στοές που είναι παρόμοιες των στοών προσπέλασης και όλες βρίσκονται εντός του βωξίτη. 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 προπαρασκευής ορύσσονται στοές που αργότερα στη φάση της εξόφλησης διευρύνονται σε θαλάμους 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 εγκαταλείπονται οι στύλοι με διαστάσεις ανάλογες των συνθηκών που αναφέρθησαν παραπάνω.

4.2.3 Μέθοδος εκμετάλλευσης στο υπό μελέτη κοίτασμα

Η μέθοδος που θα επιλεγεί στο υπό μελέτη κοίτασμα είναι αυτή των θαλάμων και στύλων με ξηρή λιθογόμωση στις περιοχές, όπου επί τόπου κριθεί αναγκαίο. Τα υλικά της λιθογόμωσης θα είναι τα στείρα που εξορύχθηκαν κατά την διάρκεια της προσπέλασης και της περιχάραξης των τριών κοιτασμάτων, που βρίσκονται σε ειδικό χώρο στην επιφάνεια.

Στην παρούσα εργασία η μέθοδος δεν έχει σχεδιαστεί γραφικά στο λογισμικό autoCAD® 3d Civil 2011. Όμως από την συνολική εμπειρία πολλών εκμεταλλεύσεων βωξιτικών κοιτασμάτων και όχι μόνο, η αποληψιμότητα της μεθόδου αγγίζει το 80%. Έτσι εκτιμάται ότι τα συνολικά **μεταλλευτικά αποθέματα** που θα εξορυχθούν θα είναι **1.090.278 t x 0,8 = 872.222 t**.

4.3 Χρόνος ζωής της εκμετάλλευσης

Εάν ληφθεί υπόψη ότι ο χρόνος έχει 300 εργάσιμες ημέρες και η ημερήσια παραγωγή είναι **500 t/ημέρα** ή **150000 t/έτος** τότε ο χρόνος ζωής της εκμετάλλευσης εκτιμάται στα **6,5 χρόνια**. Επιπροσθέτως έχει εκτιμηθεί ότι ανά ημέρα θα εργάζονται 2 βάρδιες με ένα τυπικό χρονοδιάγραμμα να δίνεται στον **Πίνακα 4.3**. Τονίζεται ότι αυτό το ύψος της προβλεπόμενης παραγωγής είναι ενδεικτικό και το ακριβές ύψος της εξαρτάται κάθε φορά από τον ευρύτερο προγραμματισμό των μεταλλευτικών δραστηριοτήτων της εταιρείας.

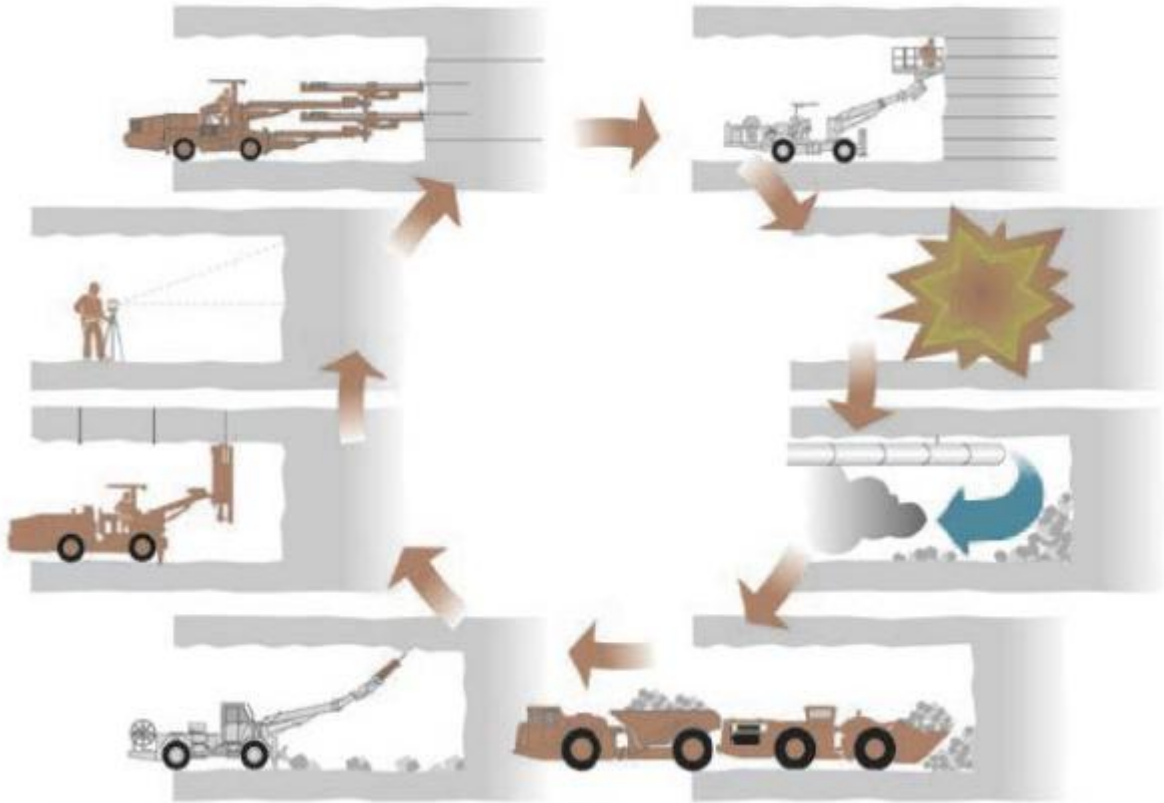
Πίνακας 4.3

Διεργασία	Χρόνος (min)
Διάτρηση	90
Γόμωση	120
Ανατίναξη και αερισμός	30
Φόρτωση	60
Ξεσκάρωμα	60
Προετοιμασία μετώπου	60
Σύνολο	420

4.4 Εξόρυξη υπόγειων έργων προσπέλασης

Τυπικός κύκλος διεργασιών (**Εικόνα 4.6**) κατά την διάνοιξη των στοών προσπέλασης περιλαμβάνει:

1. Τοπογραφικές μετρήσεις (surveying)
2. Διάτρηση (Drilling)
3. Γόμωση με εκρηκτικές ύλες (charging with explosives)
4. Ανατίναξη (Blasting) και αερισμός (ventilation)
5. Φόρτωση (Loading) και μεταφορά (hauling)
6. Ξεσκάρωμα (Scaling) και καθάρισμα (cleaning)
7. Κοχλίωση οροφής (Rock bolting)



Εικόνα 4.6 Κύκλος διάτρησης – ανατίναξης (Heinö, 1999).

Για την διαμόρφωση μιας στοάς με την τυπική αψιδωτή διατομή περίπου 20 m^2 απαιτούνται περίπου 35 – 45 διατρήματα παράλληλα μεταξύ τους και κατά τη διεύθυνση του άξονα της στοάς σε διάταξη όπως φαίνεται στην [Εικόνα 4.1](#). Η ακριβής διαμόρφωση κάθε φορά του σχεδίου διάτρησης και γόμωσης εξαρτάται από το μέγεθος και τη μορφή του μετώπου διάτρησης, το είδος του πετρώματος, τον επιθυμητό θρυμματισμό των προϊόντων της εξόρυξης και το διατρητικό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται.

Το μήκος των διατρημάτων κυμαίνεται μεταξύ 2,20 m και 3,80 m και η διάμετρος τους μεταξύ 34 mm και 45 mm. Γομώνονται με ζελατινοδυναμίτιδα (η αμμωνίτη σε κάποιες περιπτώσεις) και ANFO και πυροδοτούνται με ηλεκτρικά καψύλλια χρόνου (ms και hs). Ο υπολογισμός της γομώσης γίνεται με ειδική κατανάλωση **550 gr/t** για την εξόρυξη ασβεστολίθων. Η προχώρηση που επιτυγχάνεται είναι κατά μέσο όρο ίση με το 90% του μήκους των διατρημάτων. Δηλαδή 2,7m ανά διάτρηση μετώπου.

Για την αποκομιδή των προϊόντων της εξόρυξης από τα μέτωπα, χρησιμοποιούνται νηζελοκίνητοι ελαστικοφόροι φορτωτές σε συνδυασμό με αυτοκίνητα υπογείων όταν οι αποστάσεις μεταφοράς είναι μεγάλες.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, την προβλεπόμενη ετήσια παραγωγή του κοιτάσματος και διάφορους εμπειρικούς υπολογισμούς, θα απαιτηθούν για την εκμετάλλευσή του τα παρακάτω μηχανήματα:

α) **εξόρυξη**

- ένα διατρητικό φορείο Jumbo με δύο μπούμες

- μία ειδική πλατφόρμα γόμωσης

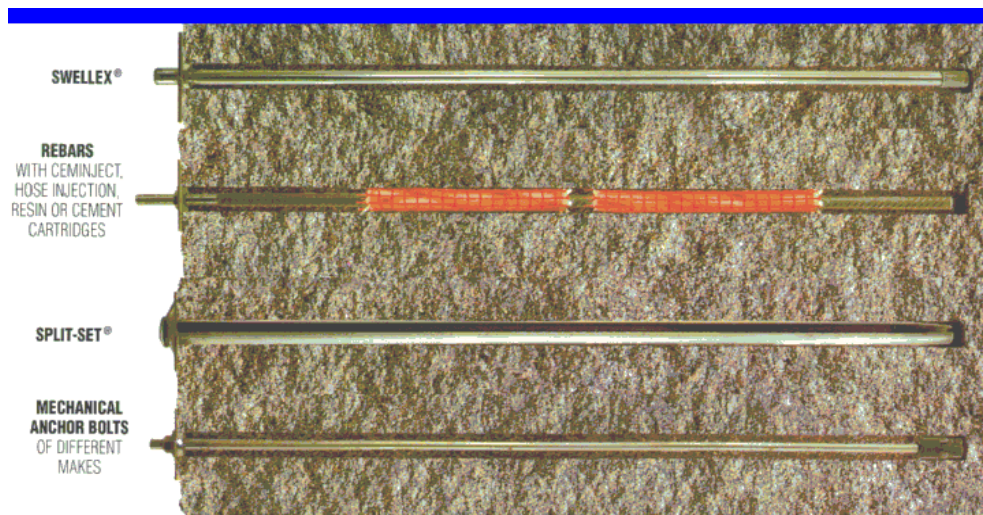
β) **αποκομιδή**

- δύο ντιζελοκίνητοι ελαστικοφόροι φορτωτές τύπου CAT R1300G 3,1-4,4c.γ. (2,4-3,4m³)
- δύο αυτοκίνητα υπογείων 30 t τύπου CAT AD30

4.5 Υποστήριξη

Η υποστήριξη των στοών, όπου απαιτείται, γίνεται με κοχλίωση οροφής ή/και με χρήση μεταλλικών πλασιών. Γίνεται τακτικός έλεγχος των πετρωμάτων από τους επιστάτες και ακολουθεί ξεσκάρωμα στις θέσεις στις οποίες προηγήθηκε πυροδότηση, αλλά και όπου αλλού κρίνεται απαραίτητο. Οι εργασίες αυτές γίνονται με τον μηχανικό ξεσκαρωτή αλλά και χειρωνακτικά με ατσάλινη ράβδο (σούφλα).

Σε όλες τις περιπτώσεις όπου οροφή των εκσκαφών είναι σε επαφή με τους υπερκείμενους ασβεστόλιθους (παρατάβανο) γίνεται τεχνητή υποστήριξη με την μέθοδο της κοχλίωσης οροφής. Η μέθοδος αυτή επιλέχτηκε με βάση τα μηχανικά χαρακτηριστικά του υπερκείμενου ασβεστόλιθου, ο οποίος είναι αρκετά ανθεκτικός και παρουσιάζει στρώση, καθώς και τη δυνατότητα αποτελεσματικής υποστήριξης εκσκαφών με σχετικά μεγάλα ανοίγματα.



Εικόνα 4.7 Διάφορα είδη κοχλιών

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, ορύσσονται διατρήματα κάθετα στην οροφή μέσα στο οποίο τοποθετούνται κοχλίες σημειακής αγκύρωσης ή rebars με ρητίνες (ολόσωμοι) που αγκυρώνονται σε αδιατάρακτο πέτρωμα. Κατά την τοποθέτηση του κοχλίου δίνεται προένταση και με τον τρόπο αυτό δημιουργείται, συμπιεσμένη και συμπαγής μάζα πετρώματος στην οροφή της στοάς.

Στη συγκεκριμένη εκμετάλλευση προβλέπεται οι κοχλίες να είναι μήκους **2,6 0m**, τα διατρήματα να είναι διαμέτρου **26 mm** και η αγκύρωση να πετυχαίνεται με φυσίγγια ρητίνης, υλικό που δημιουργεί ισχυρή πρόσφυση/τριβή ανάμεσα στον κοχλία και το τοίχωμα του διατρήματος.

Η πυκνότητα τοποθέτησης των κοχλιών εξαρτάται από τις ειδικές συνθήκες των πετρωμάτων και συνήθως είναι ένας κοχλίας για κάθε τετραγωνικό μέτρο οροφής. Στις περιπτώσεις, όπου απαιτείται, χρησιμοποιείται και πλέγμα για την συγκράτηση μικρών κομματιών πετρώματος.

Σε θέσεις όπου η κοχλίωση δεν δίδει ικανοποιητικά αποτελέσματα χρησιμοποιούνται μεταλλικά πλαίσια που αποτελούνται από συναρμολογούμενα κομμάτια και για την καλή προσαρμογή τους στα περιβάλλοντα πετρώματα χρησιμοποιείται ξυλεία («γαρνίρισμα»). Μπορούν να τοποθετηθούν κατά περίπτωση δύο κατηγορίες πλαισίων, ήτοι: (1) άκαμπτα μεταλλικά πλαίσια, ή (2) υποχωρούντα μεταλλικά πλαίσια (ή Τα-Η πλαίσια), τα οποία τοποθετούνται μερικώς το ένα εντός του άλλου με συνέπεια να έχουν την δυνατότητα να ολισθαίνουν όταν οι ασκούμενες πιέσεις αυξηθούν σημαντικά. Τα στόμια των στοών προσπέλασης θα υποστηριχθούν με ολόσωμη τσιμεντένια υποσύλωση και στη συνέχεια με μεταλλικά πλαίσια.

Για την εξυπηρέτηση των εργασιών υποστήριξης θα χρησιμοποιείται ένα διατρητικό φορείο κοχλίωσης και ένας ξεσκαρωτής υπογείων.

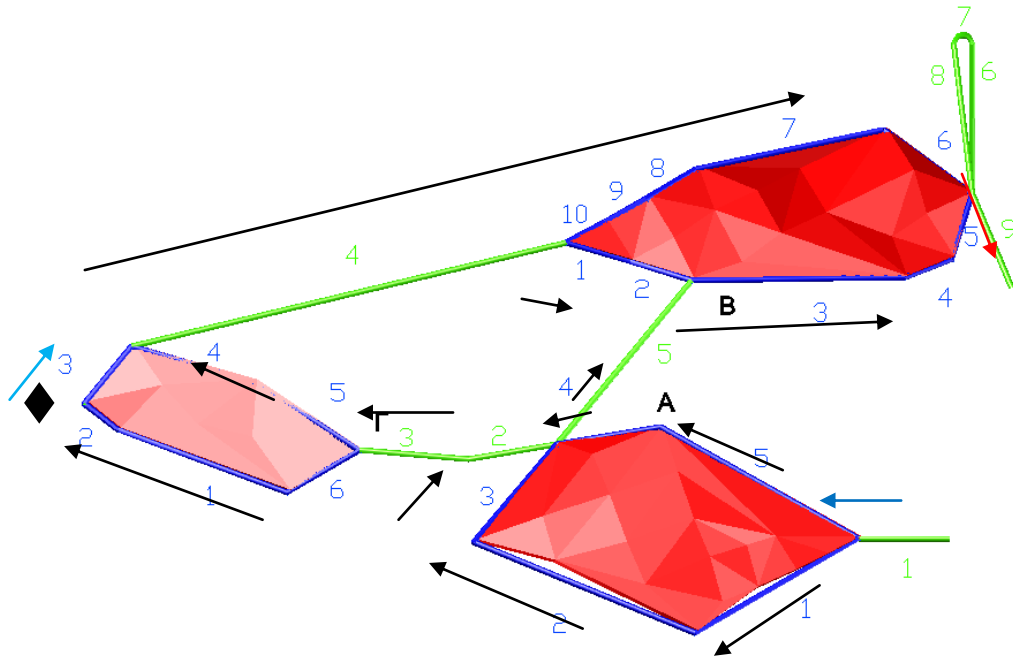


Εικόνα 4.8 Μεταλλικό πλέγμα

4.6 Κύκλωμα αερισμού των υπογείων

4.6.1 Γενικά

Ο υψηλός βαθμός μηχανοποίησης των υπογείων εργασιών διάνοιξης και υποσύλωσης και η μεγάλη έκταση στην οποία αναπτύσσεται η μεταλλευτική δραστηριότητα στα υπόγεια επιβάλλουν την εγκατάσταση κυκλώματος τεχνητού αερισμού, με το οποίο επιδιώκεται ο επαρκής αερισμός των υπογείων έργων και η απαγωγή των αερίων προϊόντων των ανατινάξεων και των καυσαερίων από την λειτουργία του μηχανολογικού εξοπλισμού. Κατά την διάνοιξη των στοών προσπέλασης οι ανάγκες σε αερισμό θα εξυπηρετούνται από αξονικούς ανεμιστήρες υψηλής πίεσης και πλαστικούς αεραγωγούς και την εγκατάσταση κεντρικού κυκλώματος αερισμού στα στόμια των στοών προσπέλασης, με αποτέλεσμα την παροχή καθαρού επιφανειακού αέρα μέσα στην ατμόσφαιρα των υπογείων. Για τα υπόγεια της εκμετάλλευσης που δεν θα εξυπηρετούνται απ' αυτό το κύκλωμα, προβλέπεται η τοποθέτηση στις εισόδους των βοηθητικών ανεμιστήρων υψηλής πίεσης και πλαστικών αεραγωγών, ή όπου είναι δυνατό η διευθέτηση επιμέρους κυκλωμάτων αερισμού με όρυξη κεκλιμένων και τοποθέτηση φραγμάτων.



Εικόνα 4.9 Κεντρικό κύκλωμα αερισμού στο λογισμικό autoCAD® 3d Civil 2011

(Ρόμβος: Φρέαρ, Είσοδος αέρα: Μπλε Χρώμα, Έξοδος αέρα: Κόκκινο Χρώμα)

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.9 ο **κεντρικός φυσητικός ανεμιστήρας** θα τοποθετηθεί στο στόμιο της στοάς 1 από όπου θα εισέρχεται και ο φρέσκος αέρας. Η έξοδος του αέρα θα είναι η ράμπα 9. Επιπροσθέτως φρέσκος αέρας, με φυσικό ελκυσμό, θα εισέρχεται και από το φρέαρ αερισμού που βρίσκεται στον κόμβο των στοών 2 και 3 του κοιτάσματος Γ. Το κεντρικό κύκλωμα αερισμού θα βρίσκεται σε όλα τα έργα προσπέλασης και περιχάραξης και ανάλογα την φάση της εκμετάλλευσης, ο αέρας θα διοχετεύεται στις επιθυμητές στοές με την χρήση βοηθητικών ανεμιστήρων και θήρων (Εικόνα 4.9).

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη του προτεινόμενου κυκλώματος αερισμού, δηλαδή οι αντιστάσεις και οι παροχές (επιβαλλόμενες ή όχι) κάθε κλάδου του μπορούν να υπολογισθούν στη συνέχεια. Από τα μεγέθη αυτά θα προσδιορισθούν τα χαρακτηριστικά και ο αριθμός των ανεμιστήρων που απαιτούνται για την εγκατάσταση του κεντρικού κυκλώματος αερισμού.



Εικόνα 4.10 Βασικά κομμάτια κυκλώματος αερισμού

4.6.2 Υπολογισμός απαιτήσεων σε αέρα

Ο υπολογισμός των απαιτήσεων σε αέρα της υπόγειας εκμετάλλευσης γίνεται σύμφωνα με την ιπποδύναμη του μηχανολογικού εξοπλισμού που θα απασχολείται στα υπόγεια. Ο Κ.Μ.Λ.Ε. προσδιορίζει την απαίτηση σε παροχή **2,3 m³ καθαρού αέρα/min/HP** μηχανών εσωτερικής καύσης. Οι απαιτήσεις όμως του μεταλλείου είναι για παροχή ίση με **5,7 καθαρού αέρα/min/HP** μηχανών εσωτερικής καύσης όπως καλυφθούν και οι απαιτήσεις σε αέρα λόγω της εργασίας του προσωπικού. Στον παρακάτω Πίνακα 3.4 φαίνεται ο προτεινόμενος μηχανολογικός εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί στα υπόγεια και η ιπποδύναμη του.

Πίνακας 3.4

A/A	Τύπος μηχανήματος	Ιπποδύναμη (HP)	Αριθμός	Συνολική ιπποδύναμη (HP)
1	JUMBO διάτρησης	82	2	164
2	JUMBO κοχλίωσης	55	1	55
3	Ξεσκαρωτής	82	1	82
4	Φορτωτής R1300G	165	2	330
5	Φορητό υπογείων AD30	408	2	816
6	Ανυψωτική πλατφόρμα γόμωσης διατηρημάτων	82	1	82
7	Οχήματα επίβλεψης υπογείων εργασιών	76	1	76
	Σύνολο		10	1605

Κάνοντας την παραδοχή ότι ο συντελεστής απασχόλησης του μηχανολογικού εξοπλισμού θα ανέρχεται σε 75%, οι απαιτήσεις σε αέρα ανά δευτερόλεπτο ανέρχονται σε:

$$Q_{\mu} = (0,75 \times 1605) \times 2.3 = 1204 \text{ m}^3/\text{min}$$

Με 12 εργαζόμενους

$$Q_{\epsilon} = 12 \times 2,3 \text{ m}^3/\text{min} = 27,6 \text{ m}^3/\text{min}$$

Αρα

$$Q_t = Q_{\mu} + Q_{\epsilon} = 1204 + 27,6 = 1231,6 \text{ m}^3/\text{min} = 20,52 \text{ m}^3/\text{s}$$

Θεωρώντας επίσης την παροχή αυτή του αέρα σε μια στοά διατομής είναι **18,5m²**, προκύπτει ότι η ταχύτητα του αέρα εντός των στοών θα είναι:

$$U = 20.52/18,5 = 1,1 \text{ m/s}$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω η ανωτέρω τιμή βρίσκεται εντός των πλαισίων των κανονισμών.

4.6.3 Φυσικός ελκυσμός

Τα στόμια των στοών προσπέλασης έχουν υψομετρική διαφορά **60m**, συνεπώς στις περιπτώσεις όπου η θερμοκρασία περιβάλλοντος διαφέρει απ' αυτή των υπογείων δημιουργείται ρεύμα από την πίεση του φυσικού ελκυσμού.

Η πίεση H_{ϕ} (σε **mm H₂O**) του φυσικού ελκυσμού δίνεται από τον τύπο:

$$H_{\phi} = 0,004 \times L \times \Delta T$$

όπου οι διάφοροι συμβολισμοί σημαίνουν

- L = υψομετρική διαφορά των στομιών των στοών (m)
- ΔT = διαφορά θερμοκρασίας ατμόσφαιρας και υπογείων (βαθμοί Κελσίου)

Δεδομένου ότι η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας των υπογείων είναι σταθερή, γύρω στους 15°C, το χειμώνα και το καλοκαίρι η διαφορά της θερμοκρασίας θα ανέρχεται σε 15°C

Εφαρμόζοντας τον παραπάνω τύπο για **L = 60m** και **ΔT = 15°C** προκύπτει:

$$H_{\phi} = 0,004 \times 60 \times 15 = \mathbf{3,6 \text{ mm H}_2\text{O}}$$

4.6.4 Αντιστάσεις των κλάδων

Για τις απώλειες πίεσης του αέρα λόγω τριβών θα χρησιμοποιηθεί ο παρακάτω τύπος υπολογισμού της αντίστασης ευθύγραμμου αγωγού:

$$R = 12,74 \times \lambda \times \gamma \times \Pi \times L/S^3$$

όπου έχουμε θέσει

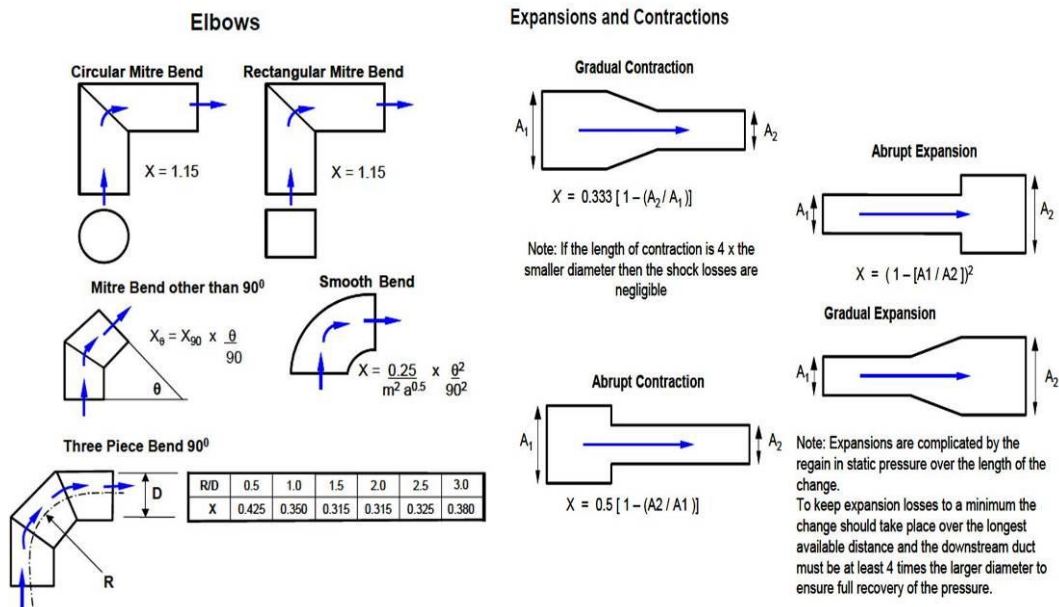
- R = αντίσταση του αγωγού (Murgues)

- λ = συντελεστής τριβής αδιάστατος (στις συνηθισμένες στοές του μεταλλείου λαμβάνεται $\lambda=0,075$)
- γ = πυκνότητα του αέρα (λαμβάνεται $\gamma = 1,2 \text{ kg/m}^3$)
- Π = περίμετρος του αγωγού (m)
- L = μήκος του αγωγού (m)
- S = διατομή του αγωγού (m^2)

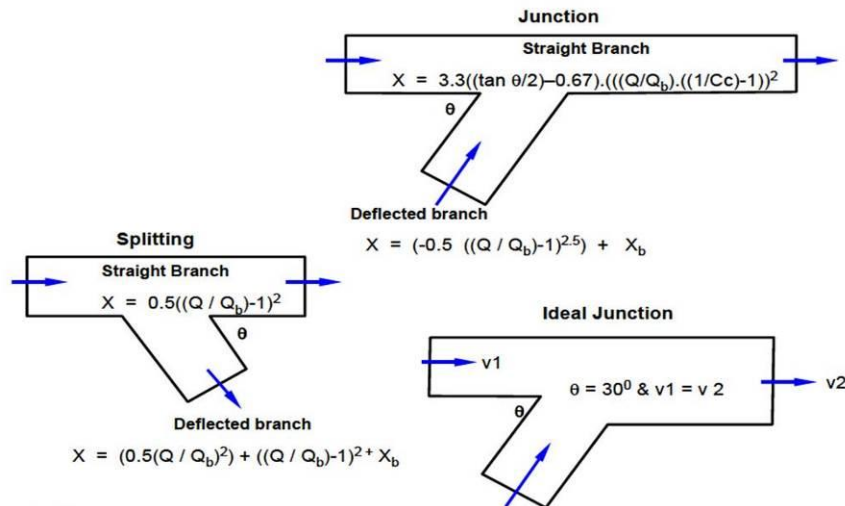
Για τις απώλειες πίεσης λόγω κρούσεων χρησιμοποιείται ο ίδιος τύπος υπολογισμού αντιστάσεων όπως ανωτέρω, αντικαθιστώντας το μήκος του αγωγού με το άθροισμα του «ισοδύναμο μήκους» και του συνολικού μήκους των στοών. Στον παρακάτω Πίνακα 4.5 δίνονται διάφορα ισοδύναμα μήκη καθώς και στις Εικόνες 4.11 και 4.12 οι εξισώσεις ανάλογα με τις αλλαγές διεύθυνσης και τις διακλαδώσεις των στοών.

Πίνακας 4.4

Διάταξη	Ισοδύναμο μήκος (m)
Αλλαγή διεύθυνσης με ορθή γωνία	20
Αλλαγή διεύθυνσης με οξεία γωνία	45
Αλλαγή διεύθυνσης με αμβλεία γωνία	5
Αύξηση διατομής απότομη	6
Μείωση διατομής απότομη	3
Αύξηση διατομής προοδευτική	1
Διακλάδωση	10
Είσοδος του αέρα χωρίς ανεμιστήρα	6
Έξοδος του αέρα χωρίς ανεμιστήρα	20
Παραεμβολή μεγάλου οχήματος	150



Εικόνα 4.11 Εξισώσεις αλλαγών διεύθυνσης



Εικόνα 4.12 Εξισώσεις αλλαγών διεύθυνσης

Το συνολικό μήκος των στοών του κεντρικού κυκλώματος αερισμού είναι **3662 m (L=3662m)** και τα άλλα γεωμετρικά στοιχεία είναι **Π=15,7 m** και **S=18,5 m²**. Το ισοδύναμο μήκος για τον υπολογισμό των απωλειών πίεσης λόγω κρούσεων περιλαμβάνει 8 διακλαδώσεις, 13 αλλαγές διεύθυνσης με αμβλεία γωνία, μία παρεμβολή μεγάλου οχήματος και μία έξοδο αέρα. Τα ανωτέρω αντιστοιχούν σε ισοδύναμο μήκος **315 m** στοών. Αντικαθιστώντας το συνολικό μήκος με 3662 m +315 m στον παραπάνω τύπο προκύπτει:

$$R = 3,87 \text{ Mg}$$

4.6.5 Πτώση πίεσης

Η πτώση πίεσης που πρέπει να υπερνικηθεί από τους ανεμιστήρες δίδεται με τον ακόλουθο υπολογισμό:

$$\Delta P = H_{\phi} + R \times Q^2 = 3,6 + (3,87 \times 10^{-3}) \times 20,5^2 = 5.5 \text{ mm H}_2\text{O}$$

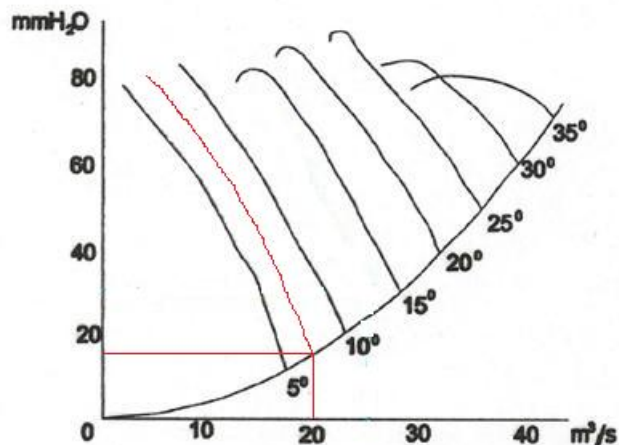
4.6.6 Επιλογή των ανεμιστήρων

Λαμβάνοντας υπόψιν τα τεχνικά χαρακτηριστικά της παροχής και της πτώσης πίεσης στα υπόγεια έργα προσπέλασης και περιχάραξης που υπολογίστηκαν καθώς και τα διαγράμματα λειτουργίας ανεμιστήρων μπορεί να επιλεγεί ο κατάλληλος ανεμιστήρας. Σύμφωνα λοιπόν με αυτά τα στοιχεία απαιτείται ένας ανεμιστήρας, ο οποίος θα πρέπει να παρέχει **20,5 m³/sec** υπερνικώντας στατική πίεση **5,5 mm H₂O**, καθώς και την δυναμική πτώση πίεσης. Για τη μείωση της δυναμικής πτώσης πίεσης των ανεμιστήρων κατά 50 % μπορούν να χρησιμοποιηθούν κώνοι κατάθλιψης

Από την εξέταση των διαγραμμάτων προκύπτει ότι οι απαιτήσεις του κυκλώματος αερισμού μπορούν να εξυπηρετηθούν από ζεύγος ανεμιστήρων τύπου **VM-125-5-4** με κλίση πτερυγίων **7°** και ταχύτητα λειτουργίας **1500 rpm**. Η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα αυτών των ανεμιστήρων είναι **22 kW**.

Εικόνα 4.13

Αξονικός ανεμιστήρας VM 125-5-4



Τεχνικά χαρακτηριστικά προτεινόμενου ανεμιστήρα

- | | |
|---------------------------|---------------|
| - Αριθμός στροφών | : 1.500 U/min |
| - Κλίση περυγίων | : 7° |
| - Ισχύς ηλεκτροκινητήρα | : 22kW |
| - Μέγεθος ηλεκτροκινητήρα | : 180 |
| - Ονομαστική ένταση | : 44 A/ 380 V |
| - Συνολικό βάρος | : 430 kg |

4.7 Ενέργεια-φωτισμός

4.7.1 Φωτισμός κεντρικών στοών

Στις κεντρικές στοές της εκμετάλλευσης θα εγκατασταθεί δίκτυο μόνιμου φωτισμού με φωτιστικά σώματα που περιλαμβάνουν δύο λαμπτήρες και ανακλαστήρα.

Ο φωτισμός των υπογείων θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- | | |
|-------------------------------------|----------|
| • Συνολικό μήκος γραμμής φωτισμού | : 3660 m |
| • Αριθμός φωτιστικών σωμάτων | : 244 |
| • Μέση απόσταση φωτιστικών σωμάτων: | 15 m |

Για τον υπολογισμό της στάθμης φωτισμού (μέση ένταση φωτισμού) στις κεντρικές στοές χρησιμοποιούμε τον τύπο:

$$E = N \times \Phi \times \eta \times U_t \times K/A_t \times f$$

όπου έχουμε δεχθεί τους παρακάτω συμβολισμούς

- E = μέση ένταση φωτισμού (Lux)
- N = αριθμός φωτιστικών σωμάτων (ανά 15 μέτρα N = 1)
- Φ = φωτεινή ροή λαμπτήρα (ίση με 2.970 Lumen)
- η = αριθμός λαμπτήρων σε κάθε φωτιστικό σώμα (η = 2)
- U_t = συντελεστής χρησιμοποίησης (ίσος με 0,51)
- K = συντελεστής μείωσης (λαμβάνεται K = 1)
- A_t = εμβαδό χώρου (ανά 15 μέτρα A_t = 15 x 5 = 75m²)
- f = συντελεστής συντήρησης (ίσος με 1,42)

Από την παραπάνω φόρμουλα προκύπτει: E = 27,5 Lux

Έχουμε δηλαδή μεγαλύτερη ένταση φωτισμού από τα **20 Lux** που προβλέπει ο Κ.Λ.Μ.Ε.

4.7.2 Θέσεις εργασίας Ατομικός φωτισμός και Ενέργεια

Οι προβολείς των μηχανημάτων υπερκαλύπτουν την ένταση των **10 Lux** που προβλέπει ο Κ.Μ.Λ.Ε. στις θέσεις εργασίας, ενώ σε περιπτώσεις που δεν εργάζονται μεγάλα μηχανήματα θα χρησιμοποιούνται ειδικοί φορητοί προβολείς ανάλογα με το μέγεθος του χώρου.

Παράλληλα με το φωτισμό των θέσεων ο κάθε εργαζόμενος θα διαθέτει ειδική ηλεκτρική λάμπα κεφαλής με φωτεινή ροή **42 Lumen** στη διάρκεια της εργασίας του.

Για την λειτουργία των ανεμιστήρων, το φωτισμό των κεντρικών στοών, καθώς και για τις ανάγκες του προσωπικού στις εγκαταστάσεις επιφανείας απαιτείται παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Για το σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθούν φορητές γεννήτριες.

4.8 Αντιμετώπιση υπογείων υδάτων

Λόγω της απουσίας υδροφόρου ορίζοντα στους έντονα καρστικοποιημένους ασβεστόλιθους, δεν αναμένονται προβλήματα από υπόγεια νερά κατά τη λειτουργία της εκμετάλλευσης. Σε τυχούσα περίπτωση εισροής υδάτων, αυτά θα απομακρύνονται με την βοήθεια δύο αντλιών ισχύος 20 kW η κάθε μία.

4.9 Αποθέσεις στείρων

Τα περισσότερα από τα σείρα που θα προκύψουν από τις εξορυκτικές δραστηριότητες θα αποτίθενται στην πλατεία που θα δημιουργηθεί στην επιφάνεια στον χώρο δίπλα από την είσοδο της στοάς 1. Από τα σείρα που θα αποτεθούν στους εξωτερικούς χώρους, ορισμένα θα οδηγούνται και πάλι στην υπόγεια εκμετάλλευση ως υλικό λιθογόμωσης των υπογείων θαλάμων.

4.10 Αριθμός εργαζομένων

Σύμφωνα με το σχεδιασμό των έργων, στις εργασίες της εκμετάλλευσης (προσπέλαση και παραγωγή) θα απασχοληθεί το παρακάτω προσωπικό:

- 1 Μεταλλειολόγος Μηχανικός ή Μηχανικός Ορυκτών Πόρων (Mining Engineer)
- 2 επιστάτες (Foremen)
- 7 χειριστές φορτωτή – ξεσκαρωτή – οχημάτων υπογείων (operators of machinery)
- 3 χειριστές διατρητικών – γομωτές (drilling workers)

Προβλέπεται η απασχόληση συνολικά 13 ατόμων σε δύο βάρδιες. Τονίζεται ότι αυτό το δυναμολόγιο του προσωπικού είναι ενδεικτικό και ο ακριβής αριθμός των εργαζομένων θα εξαρτάται από τον όγκο των εργασιών στα κοιτάσματα. Το προσωπικό θα είναι εξειδικευμένο στο σύνολο του, αφού οι εργασίες αυτές απαιτούν εμπειρία και τεχνική κατάρτιση. Την εκμετάλλευση καθοδηγεί έμπειρος πτυχιούχος εργοδηγός, υπό τις οδηγίες διπλωματούχου Μεταλλειολόγου Μηχανικού ή Μηχανικού Ορυκτών Πόρων.

4.11 Προϋπολογισμός έργου

Το κεφαλαιουχικό κόστος του μηχανολογικού εξοπλισμού δίνεται στον Πίν. 4.5.

Πίν. 4.5. Κόστος επένδυσης του μηχανολογικού εξοπλισμού

ΕΙΔΟΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ	Κεφάλαιο (€ x 1000)	Τεμάχια	Βαθμός αξιοποίησης (%)	Ε (€ x 1000)
Διατρητικό φορείο διάτρησης	260	2	30	156
Διατρητικό φορείο κοχλίωσης	210	1	20	42
Ξεσκαρωτής	300	1	20	60
Φορτωτής 3 m ³	300	2	30	180
Όχημα υπογείων 30t	280	2	50	280
Πλατφόρμα γόμωσης	165	1	15	25
Αεροσυμπιεστής, ανεμιστήρες, γεννήτριες, κλπ	60		30	18
ΣΥΝΟΛΟ				761

Ο υπολογισμός του μοναδιαίου κόστους γίνεται κατωτέρω στον Πίν. 4.6.

Πίν. 4.6. Υπολογισμός του μοναδιαίου κόστους εκμετάλλευσης του βωξίτη

<i>Προσπέλαση-προπαρασκευή</i>	Μήκος (m)	€/m	Κόστος (€)	€/t
Ερευνα	27000	30	810000	5.40
Τοπογραφικά			15000	0.10
Υπαίθριοι δρόμοι προσπέλασης			20000	0.13
Υπόγεια έργα προσπέλασης	1193	500	596500	3.98
Υπόγεια έργα περιχάραξης	2132	200	426400	2.84
Μερικό σύνολο				12.4
Υπόγεια εκμετάλλευση (παραγωγή)				
Μηχανολογικός εξοπλισμός (κεφαλαιο, βλ. Πίν 4.5)			761000	5.07
Γραφεία, αποθήκες			30000	0.20
Εργαζόμενοι				3.00
Καυσίμα/λιπαντικά-συντηρηση μηχ. Εξοπλ.				6.38
Εκρηκτικά				0.75
Κοχλίωση				0.10
Μερικό σύνολο				15.5
Μεταφορά βωξίτη	1 km απόσταση μεταφοράς	0.0000 8		0.08
Επεξεργασία βωξίτη (ζύγιση-θραύση-ταξινόμηση-αποθήκευση)				2.36
Μερικό σύνολο				2.44
Γενικό σύνολο				30.4

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Από τα ανωτέρω προκύπτει ότι το συνολικό λειτουργικό κόστος της υπόγειας εκμετάλλευσης, από την έρευνα μέχρι και την εξόφληση του κοιτάσματος, αναμένεται να ανέλθει σε:

30, 4 €/t

5. Συμπεράσματα-Προτάσεις

5.1 Συμπεράσματα

Διαθέσιμα δεδομένα δειγματοληπτικών γεωτρήσεων στην βωξιτοφόρα περιοχή Παρνασσού-Γκιώνας, επεξεργάστηκαν με την χρήση λογισμικού autoCAD® 3d Civil 2011. Εγιναν τα εξής :

- Τρισδιάστατο μοντέλο τοπογραφίας – γεωτρήσεων και των τριών κοιτασμάτων.
- Υπολογισμός των γεωλογικών αποθεμάτων.
- Σχεδιασμός των υπόγειων έργων προσπέλασης – προπαρασκευής (περιχάραξης) των κοιτασμάτων.
- Σχεδιασμός του κυκλώματος αερισμού.
- Υπολογισμός των μεταλλευτικών αποθεμάτων.
- Υπολογισμός του μοναδιαίου κόστους της εκμετάλλευσης.

Όσον αφορά την οικονομοτεχνική μελέτη, η χρήση του λογισμικού βοήθησε έμμεσα στην γρηγορότερη μέτρηση διαστάσεων και γεωμετρικών χαρακτηριστικών, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οπότε η ολοκλήρωση της έγινε γρηγορότερα. Συνολικά χαράχθηκαν **3,325 m υπόγειων έργων προσπέλασης και περιχάραξης των τριών φακοειδών κοιτασμάτων βωξίτη**. Τα βέβαια μεταλλευτικά αποθέματα υπολογίστηκαν ότι είναι 872,222 t βωξίτη. Με ένα ρυθμό παραγωγή; **150,000 t βωξίτη/έτος** η εκμετάλλευση θα έχει περίπου **6 χρόνια ζωής**. Ο προσεγγιστικός υπολογισμός του μοναδιαίου κόστους εκμετάλλευσης των τριών αυτών κοιτασμάτων ανέρχεται στα 30,4 €/t παραγομένου βωξίτη.

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

- [1] Αγιουτάντης Ζ., (2004), *Στοιχεία διάτρησης και ανατίναξης*, Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
- [2] Γαλετάκης, Μ., (2001), *Υγιεινή και Ασφάλεια σε Μεταλλευτικά και Υπόγεια Έργα*, Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- [3] Δουραμάνης Μ. Ε., (2006), *Εφαρμογή του σχεδιαστικού πακέτου AutoCAD Land Development Desktop R2i στην μελέτη εκμετάλλευσης του λατομείου ασβεστόλιθου του λατομείου Καμαρίου*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
- [4] Εξαδάκτυλος Γ.Ε., (2004), *Σχεδιασμός γεωτεχνικών και λατομικών έργων*, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- [5] Εξαδάκτυλος, Γ. (2005), *Σχεδιασμός συστημάτων υπογείων έργων για την εκμετάλλευση μεταλλευτικών κοιτασμάτων*, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- [6] ΚΜΛΕ, (1985). *Κανονισμός Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών*, Αθήνα.
- [7] Μανούτσογλου, Ε. (2003). *Εισαγωγή στην γεωλογία*, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- [8] Μουνταράκης, Δ. (1985), *Γεωλογία της Ελλάδας*, University studio press, Θεσσαλονίκη.
- [9] Μπουζάς Β. Δ., (2009). *Μέθοδος υπόγειας εκμετάλλευσης υψηλής παραγωγικότητας κοιτάσματος χρυσού*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
- [10] Τσιβουράκης Ε., (2008), *Σχεδιασμός εκμετάλλευσης λατομείου αδρανών στην περιοχή Φονέ Αποκορώνου*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
- [11] Χαλκού Σ. Ι., (2004), *Μελέτη εκμετάλλευσης σε λατομείο αδρανών υλικών της Νάξου*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
- [12] Χωροπανίτης Θ.Ι., (2006), *Ανάλυση συνδυασμένης λειτουργίας καδοφόρου εκσκαφέα και ντιζελοκίνητου εξοπλισμού στο ορυχείο του Νοτίου Πεδίου*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά

Διεθνής Βιβλιογραφία

- [I] Autodesk, Ink. (2011). AutoCAD Civil 3D Tutorials.
- [II] Autodesk, Ink. (2011). AutoCAD Civil 3D Help.
- [III] Heinö, M. (1999). Rock Excavation Handbook. Sandvik Tamrock Corp. [Cited: 01 02 2013. http://www.metal.ntua.gr/uploads/3290/254/Excavation_Engineering_Handbook_Tamrock.pdf

Ιστοσελίδες στο διαδίκτυο

- [A] www.cat.com/equipment/underground-mining
- [B] www.autodesk.com
- [C] www.alhellas.com/el-gr/delphi-profil/profile-of-delphi-distomon