

# ΥΠΟΓΕΙΑ ΛΑΤΟΜΕΙΑ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Χαράλαμπος Ι. Ευφραιμίδης

*Ομότιμος Καθηγητής Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα υπαίθρια λατομεία για την παραγωγή αδρανών υλικών, οδηγούν αναπόφευκτα σε αμετάκλητες καταστροφές του περιβάλλοντος, που είναι η κρανιοποίηση και η εξαφάνιση ολόκληρων βουνοπλαγιών και περιοχών με ιδιαίτερα φυσικά χαρακτηριστικά, και σε πολλές περιπτώσεις η καταστροφή της φυτικής και ζωικής πανίδας, όπως καταφύγια θηραμάτων, και ακόμη σημαντικού εθνικού πλούτου. Δεν αγνοείται το γεγονός, ότι τα υπαίθρια λατομεία έχουν συμβάλει αποφασιστικά στην πρόοδο των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων της χώρας. Ασφαλώς υπάρχουν επιχειρήματα υπέρ και κατά των υπαίθριων και υπόγειων ορυχείων, τα οποία διαφοροποιούνται ανάλογα με τη θέση του λατομείου, όταν αυτό βρίσκεται μέσα ή κοντά σε «ευαίσθητες» περιοχές. Υπέρ των υπαίθριων ορυχείων συνηγορεί το χαμηλότερο άμεσος κόστος παραγωγής, όταν δεν συνυπολογίζεται το κόστος της αποκατάστασης της επιφάνειας στην αρχική μορφή, με βελτιωμένες επεμβάσεις σύμφωνα με τις αναληφθείσες υποχρεώσεις των επιχειρήσεων για εφαρμογή προγράμματος «ανάρρωσης». Οπωσδήποτε οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και οι καταστροφές είναι τεράστιες και μόνιμες. Ακόμη περισσότερο μετράνε οι ανυπολόγιστες έμμεσες οικονομικές ζημιές από τις επιπτώσεις στην τουριστική βιομηχανία από την αλόγιστη και μη αναστρέψιμη υπαίθρια όρυξη, αφού με τα σύγχρονα μηχανικά μέσα οι επεκτάσεις των υπαίθριων ορυχείων είναι πολύ έντονη και οι περιοχές που τραυματίζονται είναι απίθανο αν στο μέλλον θα είναι κατάλληλες για να προσελκύσουν επισκέπτες. Η εισήγηση που ακολουθεί έχει στόχο την εγρήγορση των ασχολουμένων με την παραγωγή αδρανών υλικών στην επερχόμενη ανάγκη μετάβασης στην υπόγεια εκμετάλλευση, που ίσως στο μέλλον θα αποτελέσει τη μόνη λύση (εικόνα 1).



Εικόνα 1. Υπαίθρια λατομεία στην περιοχή της Αττικής

## 1. Η ΑΝΑΓΚΗ ΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΟΡΥΞΗΣ

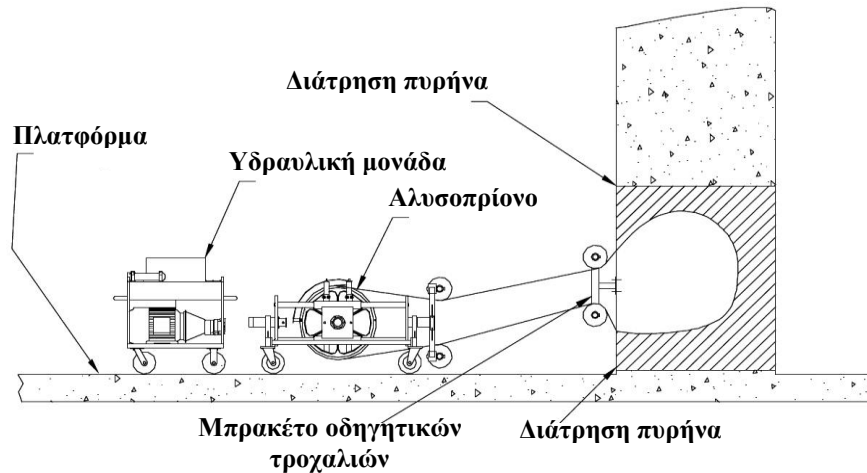
Με αυξανόμενο ρυθμό σε πολλές περιοχές η παραγωγή αδρανών υλικών κινείται προς την υπόγεια εκμετάλλευση. Σε εκδηλώσεις και συνέδρια του εξωτερικού για τα αδρανή υλικά ακούγεται το σύνθημα «Underground Quarrying – The Aggregate Source of the Future». Οποσδήποτε η ιδέα της υπόγεια εγκατάστασης, ή γενικά της εκμετάλλευσης κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, τρομάζει και χωρίς αμφιβολία είναι δύσκολη εργασία. Υπάρχουν πολλά προβλήματα, τα οποία πρέπει να επιλυθούν, όπως είναι η επιλογή της θέσης και της μεθόδου όρυξης, η έρευνα της αγοράς, η διαθεσιμότητα των μέσων παραγωγής (ανθρώπων, μηχανημάτων, υλικών) και η κερδοφορία της επιχείρησης.

Δεν υπάρχει αμφιβολία, ότι η απόφαση για υπόγεια όρυξη θα γίνει ευχάριστα αποδεκτή από την κοινωνία, αφού αυτή συνδέεται με την προστασία της υγείας των κατοίκων και του περιβάλλοντος, τη μείωση της ρύπανσης της ατμόσφαιρας από σκόνη και θορύβους, και από άλλες δυσάρεστες επιπτώσεις.

Τα υπόγεια λατομεία είναι γνωστά από την αρχαιότητα, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τα γνωστά λατομεία των Συρακουσών στη Νότια Ιταλία το 415 π.Χ. με τον εξαιρετικής ποιότητας ασβεστόλιθο, με τον οποίο οικοδομήθηκαν τα μνημειώδη ιστορικά μέγαρα της εποχής, και των τεράστιων υπόγειων χώρων που δημιούργησε η συστηματική όρυξη, στα οποία εργαζόντουσαν ως σκλάβοι 7000 Αθηναίοι, μετά το οικτρό τέλος της εκστρατείας τους (Πελοποννησιακός πόλεμος).

Οποσδήποτε η επιφανειακή όρυξη προτιμάται, λόγω κυρίως του χαμηλότερου κόστους εκμετάλλευσης σε σύγκριση με την υπόγεια. Το χαμηλό κόστος ενισχύεται από γεωλογικά και τεχνικά κίνητρα, τα οποία είναι από τη μια μεριά η σχετική διαθεσιμότητα των επιφανειακών αποθεμάτων, και από την άλλη η εξέλιξη της τεχνολογίας, η οποία συνήθως μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο στους υπαίθριους χώρους. Αλλά σήμερα το συνολικό κόστος των λατομικών δραστηριοτήτων πρέπει να επανεκτιμηθεί, γιατί κατά τα τελευταία χρόνια επιβάλλονται με έντονα αυξανόμενο ρυθμό νέοι και συχνά σκόπιμοι περιορισμοί. Η συνέπεια αυτών των περιβαντολογικών και τεχνικών περιορισμών θα είναι η αύξηση των πιέσεων για τη μείωση των υπαίθριων ορυχείων και την προώθηση της υπόγεια εκμετάλλευσης. Ο αριθμός των υπόγειων ορυχείων σκληρών πετρωμάτων ανά τον κόσμο είναι ακόμη πολύ μικρός. Μία αιτία πρέπει να αναζητηθεί στη βελτίωση της τεχνολογίας που εφαρμόζεται για τα υπαίθρια ορυχεία. Στα ασθενή πετρώματα μπορεί να χρησιμοποιηθούν αλυσοπρίονα και διαμαντοκόφτες με σύρμα (diamond wire saw, χαλύβδινο σύρμα διαποτισμένο με διαμαντόσκηνη ή με χαλύβδινες χάντρες), αλλά με περιορισμένη εφαρμογή σε υπόγειους χώρους, ενώ η μέθοδος της διάτρησης / ανατίναξης, η παραδοσιακή μέθοδος ορύξεως σκληρού

πετρώματος, δεν είναι εύκολα εφαρμόσιμη σε περιορισμένους χώρους, στους οποίους συνήθως υπάρχει μόνο ένα ελεύθερο μέτωπο. Πολλοί τεχνικοί και ερευνητές συμφωνούν, ότι δύο τεχνολογίες θα βοηθήσουν την υπόγεια όρυξη σκληρού πετρώματος: Αυτές είναι οι διαμαντοκόφτες με αλυσοπρίονο ή σύρμα με χαλύβδινες χάντρες (Εικόνες 2 και 3) και η υδροβολή με υψηλή πίεση νερού της τάξεως των 4000 bar. Η πρώτη μέθοδος είναι ήδη γνωστή και εφαρμόσιμη ακόμη και σε ορυχεία σκληρής πέτρας. Η δεύτερη βρίσκεται στο στάδιο της έρευνας.



Υδραυλική Μονάδα

Ισχύς: Ηλεκτρικός κινητήρας 40 HP  
 Παροχή: 33 g/min  
 Πίεση: 200 bar  
 Βάρος: 630 kg

Διαμαντοκόφτης με σύρμα

Διάμετρος κινητηρίου τροχού: 812 mm  
 Ταχύτητα τροχού: 0 - 500 rpm  
 Διαδρομή φορείου: 774 mm

Εικόνα 2. Κοπή σκληρού πετρώματος με συρμάτινο διαμαντοκόφτη.



Εικόνα 3.

Μηχανή κοπής πετρωμάτων μέσης και υψηλής σκληρότητας εξελιγμένης τεχνολογίας για υπόγεια λατομεία.

Μέγιστο μήκος κοπής 3,4 m  
 Κατασκ. Fantini.

Τα αποθέματα της υπαίθριας όρυξης εξαντλούνται, έτσι ώστε πολύ σύντομα τα αδρανή υλικά θα χαρακτηριστούν ως αγαθά σε ανεπάρκεια, εκτός αν καταργηθούν οι προστατευτικές διατάξεις και αγνοηθούν οι επιπτώσεις στο περιβάλλον. Ακόμη, η εξάπλωση των αστικών περιοχών και οι περιοριστικές διατάξεις θα καταστήσουν σύντομα την ανάπτυξη των υπαίθριων ορυχείων προβληματική μέχρι απαγορευτική. Πολλά λατομεία στα περίχωρα κατοικημένων περιοχών άρχισαν να εγκαταλείπουν τις παραδοσιακές θέσεις και να απομακρύνονται από τα κέντρα κατανάλωσης, με αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους εκμετάλλευσης λόγω των μεγαλύτερων αποστάσεων μεταφοράς. Πολύ σύντομα δεν θα υπάρχει πλέον χώρος στην επιφάνεια για το άνοιγμα νέων λατομείων. Εδώ παρατηρείται το παράδοξο ότι ενώ οι κατοικημένες περιοχές εξαπλώνονται με έντονο ρυθμό, οι αρχές αντίθετα απαγορεύουν την εγκατάσταση νέων λατομείων, τα οποία είναι απαραίτητα για την κάλυψη των αυξημένων αναγκών. Πρόκειται για μια αντιστρόφως ανάλογη συνάρτηση ζήτησης και αναγκών, η οποία εξελίσσεται *εκθετικά* σε βάρος της ανάπτυξης των επιφανειακών λατομείων.

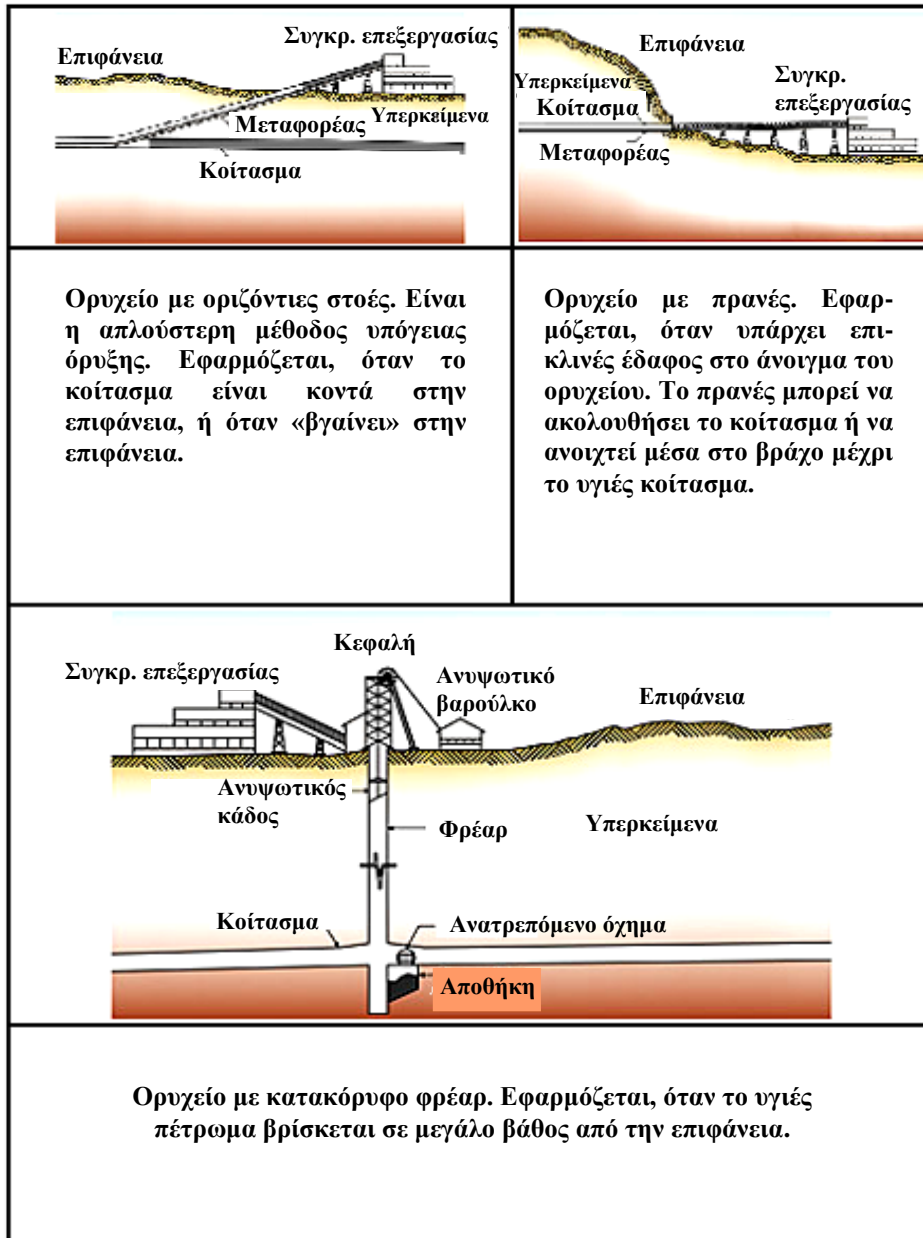
Υποχρέωση όλων των τεχνικών είναι η εγρήγορση στο σοβαρό αυτό θέμα και η προετοιμασία για την εφαρμογή της νέας τεχνολογίας. Το Hong Kong, το οποίο εισάγει ετησίως 10 – 12 Mt το χρόνο, έχει ήδη εγκαταστήσει το πρώτο του υπόγειο λατομείο αφού τα τρία υπάρχοντα λατομεία αναμένεται να εξαντληθούν μέχρι το 2012.

## 2. ΜΟΡΦΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ

Διακρίνονται οι εξής τρεις μορφές εκμετάλλευσης (εικόνα 4):

- Ορυχεία με κατακόρυφο φρέαρ
- Ορυχεία επικλινούς εδάφους
- Ορυχεία με οριζόντιες στοές

Οι μορφές εκμετάλλευσης επιλέγονται σε συνάρτηση από τη μορφολογία του εδάφους, τη θέση του κοιτάσματος και τις συνθήκες μεταφοράς στην επιφάνεια.



Εικόνα 4. Μέθοδοι ορύξεως υπογείων λατομείων για την όρυξη αδρανών υλικών (Πηγή Aggregates Manager)

Στα **ορυχεία με κατακόρυφο φρέαρ** η θέση του φρέατος καθορίζεται από τη θέση του κοιτάσματος σχετικά με την επιφάνεια, την ασφάλεια του ορυχείου, τις προδιαγραφές της υγειονομικής υπηρεσίας και λοιπών νομοθετημένων ασφαλιστικών διατάξεων. Τα ορυχεία αυτά είναι κατά κανόνα βαθύτερα από τα άλλα, λόγω του μεγαλύτερου υπερκειμένου χωμάτινου στρώματος πάνω από το κοιτάσμα σε σύγκριση με τις άλλες δύο μορφές. Το φρέαρ είναι συνήθως κατακόρυφο από την επιφάνεια μέχρι τη στάθμη του κοιτάσματος. Η μορφή αυτή ορυχείου απαιτεί πολύπλοκο σύστημα διακινήσεως του υλικού από τη θέση όρυξης στην επιφάνεια. Επιδέχεται όμως πλήρη εκμηχάνιση. Χρησιμοποιούνται ειδικά ανυψωτικά μηχανήματα κατακόρυφης μεταφοράς, όπως αυτά των ανθρακωρυχείων.

Τα **ορυχεία επικλινούς εδάφους** διαφέρουν ως προς την πρόσβαση από την επιφάνεια στη στάθμη του κοιτάσματος, η οποία γίνεται με μία ράμπα. Η ράμπα χρησιμεύει και για την εγκατάσταση ταινιόδρομου για τη μεταφορά του πετρώματος στην επιφάνεια αντί των βαρέων και αργών ανυψωτικών μηχανισμών των κατακόρυφων φρεάτων.

Τα **ορυχεία οριζοντίων στοών** είναι η απλούστερη από τις τρεις μορφές, γιατί το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται κυρίως όταν το κοιτάσμα είναι κοντά στην επιφάνεια, ή ακόμη και όταν εξέχει. Στην τυπική μορφή η στοά είναι οριζόντια και η διαστασιολόγηση των εισόδων προσπελάσεως στο ορυχείο εξαρτάται από την ποσότητα του μεταφερομένου υλικού. Για τη μεταφορά του πετρώματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν φορτηγά αυτοκίνητα ή ταινιόδρομοι. Οι τελευταίοι, στην τελευταία εξέλιξη, έχουν την ικανότητα να κινούνται και επί καμπυλών με ακτίνα καμπυλότητας 200 μέτρων (εικόνα 5).



Εικόνα 5.  
Ταινιόδρομος μεταφοράς αδρανών υλικών μετά την πρωτογενή θραύση εντός υπόγειας στοάς, με δυνατότητα κινήσεως επί καμπυλών ακτίνας μέχρι 200 m.  
Μεταφορική ικανότητα 1200 m<sup>3</sup>/h  
(H+E Logistic GmbH, Bochum).

### 3. Η ΑΠΟΦΑΣΗ ΓΙΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ

Συνήθως κοιτάσματα με μικρό πάχος υπερκειμένων (ακατάλληλων υλικών) ορύσσονται με επιφανειακή μέθοδο, αφού τα υπαίθρια ορυχεία έχουν μεγαλύτερη παραγωγικότητα, όταν η σχέση υπερκειμένων προς κοιτάσμα

είναι χαμηλή. Οπωσδήποτε όμως η υπόγεια όρυξη είναι πολλές φορές δυνατή, ακόμη και όταν η υπερκείμενη στρώση είναι μικρή, ή όταν το υπερκείμενο πέτρωμα δεν συνεισφέρει σε καλή ευστάθεια της οροφής.

Υπάρχουν διάφορα πρότυπα σχεδιασμού, τα οποία με τη μέθοδο της προσομοιώσεως και κατάλληλα προγράμματα (π.χ. το Surpac) υποστηρίζουν τη μελέτη για τη λήψη απόφασης για υπόγεια όρυξη, ώστε αυτή να αποτελέσει μία εφαρμόσιμη και εύστοχη επιλογή. Τα πρότυπα σχεδιασμού διαμορφώνονται έτσι ώστε να αξιολογούν όλες τις απόψεις σχετικά με τη λειτουργία, όπως είναι η οργάνωση του ορυχείου, η επιλογή του εξοπλισμού, το μεταφορικό σύστημα, ο αερισμός των υπογείων χώρων, οι απαιτήσεις ως προς την καταλληλότητα του προσωπικού, ο προγραμματισμός, η αγορά, η μεταφορά στις θέσεις διαθέσεως και οι χώροι αποθεμάτων. Στην απόφαση για την υπόγεια όρυξη εξίσου σοβαροί παράγοντες είναι οι διάφορες εγγενείς ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του κοιτάσματος, όπως είναι η αντοχή των υπερκειμένων και η δυνατότητα να υπηρετήσουν ως ισχυρό στήριγμα της οροφής, η ποσότητα και ποιότητα του νερού που εκτιμάται ότι εισρέει στους υπόγειους χώρους, οι γεωλογικές ανωμαλίες, προηγούμενες λατομικές δραστηριότητες, λειτουργικά δίκτυα, κτίρια, προσπελάσεις και οδοί, διάφορες κατασκευές, και ιδιοκτησίες που πρέπει να απαλλοτριωθούν.

Η μελέτη για την εγκατάσταση υπογείου ορυχείου πέτρας πρέπει να βασίζεται σε ένα τεχνολογικό μοντέλο, το οποίο θα μελετήσει και θα αξιοποιήσει όλες τις παραμέτρους, οι οποίες επηρεάζουν το εγχείρημα, όπως είναι η οργάνωση του υπογείου ορυχείου, η επιλογή των μέσων παραγωγής μηχανημάτων και ανθρώπων, η μεταφορά στο υπαίθριο συγκρότημα επεξεργασίας, ο αερισμός, οι απαιτήσεις ασφάλειας, τα αποθέματα του κατάλληλου πετρώματος και οι συνθήκες μεταφοράς στις θέσεις διαστρώσεως. Η μελέτη πρέπει να αναφέρεται και στους γεωλογικούς παράγοντες, στη σεισμικότητα της περιοχής, στην ύπαρξη υπογείων νερών, και στην αντοχή των υπερκειμένων στρώσεων εδάφους. Πρωταρχικοί παράγοντες είναι οπωσδήποτε η ασφάλεια του προσωπικού, και το κόστος παραγωγής. Η προστασία της οροφής είναι από τα σοβαρότερα θέματα. Τα μέτρα προστασίας έχουν εφαρμοστεί σε υπάρχοντα υπόγεια ορυχεία, που σημαίνει, ότι ήδη υπάρχει η σχετική τεχνολογία και προδιαγραφές σχεδιασμού για την αρτιότητα της σχετικής μελέτης.

Πριν από την απόφαση για υπόγεια όρυξη απαιτείται ανάλυση των αποθεμάτων του κοιτάσματος και μελέτη των γεωλογικών παραμέτρων. Απαιτείται η λήψη δειγμάτων για να συλλεχθούν πληροφορίες σχετικά με πιθανές γεωλογικές αστοχίες. Ακόμη πρέπει να διαπιστωθούν γεωλογικές ανωμαλίες, όπως ελαττώματα, εδαφική διάβρωση ή χαμηλή ποιότητα των κοιτασμάτων. Η μελέτη για την απόφαση θα ενισχυθεί αν είναι γνωστές από πριν οι περιοχές κινδύνου. Η γνώση αυτή θα οδηγήσει σε καλύτερο σχεδιασμό ώστε να αποκλειστούν οι επικίνδυνες αυτές περιοχές.

#### 4. ΕΙΔΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Κατά την εκπόνηση του θεμελιωμένου σχεδιασμού, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη μελέτη της οροφής του ορυχείου, το οποίο είναι το σπουδαιότερο τμήμα του υπογείου έργου. Τα υποστυλώματα είναι επίσης σημαντικό τμήμα της οροφής, τόσο το πλάτος, όσο και το ύψος. Είναι απαραίτητο να σημειωθεί ότι ο κρίσιμος παράγων δεν είναι ο προσδιορισμός του πλάτους του υποστυλώματος, αλλά το επιθυμητό ύψος των ελεύθερων ανοιγμάτων του ορυχείου. Αν ο σχεδιασμός προβλέπει θάλαμο με υψηλή οροφή, τότε θα υπάρχουν αντίστοιχα υψηλά υποστυλώματα. Το πλάτος του υποστυλώματος (pillar) θα πρέπει γενικά να είναι μεγαλύτερο από το ύψος. Είναι ζωτικής σημασίας να δοθεί προσοχή στο σημείο αυτό, γιατί σε τελευταία ανάλυση επηρεάζει τη συνολική ευστάθεια του ορυχείου, αφού τα υποστυλώματα στηρίζουν την οροφή. Το δοκάρι της οροφής είναι το ισχυρότερο στοιχείο του ορυχείου. Με σκυρόδεμα υψηλής αντοχής μπορεί η αντοχή να φτάσει τα  $450 \text{ kg/cm}^2$ . Ένας αδύνατος ασβεστόλιθος έχει αντοχές της τάξεως των  $700 \text{ kg/cm}^2$ , μπορεί όμως να φτάσει και τα  $1000$  έως  $1300 \text{ kg/cm}^2$ .

Στην υπόγεια εκμετάλλευση δεν υπάρχουν περιθώρια για τη διάπραξη λαθών. Για το λόγο αυτό στην κατασκευή των διατρήσεων πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή και να γίνεται από πεπειραμένους τεχνίτες και μετά από προσεκτική μελέτη. Από την κατασκευή των διατρητικών οπών εξαρτάται η επιτυχία των ανατινάξεων. Απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια στον καθορισμό των διατρητικών οπών, στη γόμωση και στην ποιότητα / καταλληλότητα των εκρηκτικών.

Όταν χρησιμοποιούνται εκρηκτικά, πρέπει να προβλέπεται ελεύθερος χώρος για το χαλαρωμένο πέτρωμα. Στο υπαίθριο ορυχείο αυτό είναι δυνατό, γιατί υπάρχει κατά κανόνα ένα ευθύγραμμο τμήμα στο μέτωπο του πετρώματος (πάγκος). Όταν όμως η έκρηξη γίνεται υπόγεια το μόνο ελεύθερο μέτωπο είναι το μέτωπο της στοάς. Αυτό συμβαίνει γιατί ο σχεδιασμός των διατρήσεων και ανατινάξεων στα υπόγεια ορυχεία απαιτεί αυξημένη προσοχή και μέτρα προστασίας. Μία τυπική ανατίναξη υπαίθριου ορυχείου παράγει περίπου 10.000 τόνους πετρώματος, σε μεγάλα ορυχεία και μέχρι 100.000 τόνους. Στο μέτωπο της υπόγειας στοάς η παραγωγή περιορίζεται στους 1.000 τόνους, που είναι σημαντικά μικρότερη. Αυτό σημαίνει, ότι η παραγωγή πρέπει να γίνεται σε περισσότερα μέτωπα, δηλαδή σημαντική αύξηση του εργασιακού φορτίου.

Εφ' όσον η εργασία γίνεται μέσα στο βράχο, κάθε ενέργεια πρέπει να είναι σύμφωνη με τις προδιαγραφές και τους κανονισμούς. Οι Ελληνικοί κανονισμοί πρέπει να αναμορφωθούν και να προσαρμοστούν στην όρυξη σκληρών πετρωμάτων που προορίζονται για αδρανή υλικά. Στις ΗΠΑ οι κανονισμοί συντάσσονται από τον οργανισμό MSHA (Mine Safety &



Health Administration), οι οποίοι αναφέρονται σε όλα τα θέματα της υπόγειας εκμετάλλευσης, με έμφαση στην ασφάλεια του προσωπικού.

## 5. ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ

Με την έναρξη των κατασκευαστικών εργασιών του ορυχείου, πρέπει να εκπονηθεί το πρόγραμμα εκπαίδευσης. Είναι από τα σοβαρότερα θέματα της υπόγειας όρυξης. Το πρόγραμμα πρέπει να ανταποκρίνεται στους εγχώριους και διεθνείς κανονισμούς. Οι κανονισμοί εκπαίδευσης του MSHA αναφέρονται στη διάνοιξη και λειτουργία υπαιθρίων ορυχείων ως Τμήμα Α, και συμπληρωματικά στα υπόγεια έργα ως κανονισμοί Α+Β, που σημαίνει ότι οι εκπαιδευόμενοι για τα υπόγεια έργα πρέπει να έχουν αφομοιώσει με επιτυχία την εκπαίδευση του Τμήματος Α. Στη συνέχεια αναφέρονται μερικά σημαντικά άρθρα των Αμερικανικών κανονισμών MSHA σχετικά με την εκπαίδευση και την ασφάλεια:

- Part 48 του κώδικα MSHA και Title 30 του κώδικα Federal Regulations, η όρυξη αδρανών κάτω από την επιφάνεια του εδάφους απαιτεί διπλάσιο χρόνο εκπαίδευσης. Αρχικά γίνεται η εκπαίδευση όπως στα υπαίθρια ορυχεία και στη συνέχεια ακολουθεί η εξειδικευμένη εκπαίδευση για την υπόγεια όρυξη. Τα υπόγεια ορυχεία πρέπει να συμμορφωθούν με τους κανονισμούς Part 48 που απαιτούν πρόσθετη εκπαίδευση.
- Τα υπαίθρια ορυχεία απαιτούν εκπαίδευση σύμφωνα με τους κανονισμούς του Part 46. Το Part 46 σημαίνει, ότι οι νέοι μεταλλωρύχοι πρέπει να υποστούν εκπαίδευση 24 ωρών. 16 από αυτές τις 24 ώρες είναι εκπαίδευση μέσα στο εργοτάξιο. Το Part 48 απαιτεί 40 ώρες. 8 ώρες αναφέρονται σε εισαγωγικά μαθήματα πριν ο μεταλλωρύχος εισέλθει στον υπόγειο ορυχείο. Και στα δύο Part 46 και Part 48 πρέπει να διδάσκουν εκπαιδευτές που έχουν πιστοποιητικό ικανότητας από το MSHA.

## 6. ΣΧΕΔΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΕΚΤΑΚΤΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Το σχέδιο ενέργειας εκτάκτων καταστάσεων συντάσσεται από διαπιστευμένο προσωπικό και υποβάλλεται για έγκριση στην επιβλέπουσα αρχή. Το σχέδιο αποτελείται από διάφορα τμήματα, τα οποία περιέχουν όλες τις αναγκαίες ενέργειες και τα μέσα που θα χρησιμοποιηθούν σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Σε διάφορες περιοχές γίνονται συμφωνίες συνεργασίας μεταξύ γειτονικών ορυχείων για την οργάνωση ομάδων διάσωσης. Για τη σύνθεση της ομάδας απαιτούνται πιστοποιητικά υγειονομικής κατάστασης και ικανότητας. Ο κανονισμός προδιαγράφει δύο ανεξάρτητες οδούς διαφυγής, οι οποίες θα είναι σε κανονική λειτουργία για όλη τη διάρκεια λειτουργίας του ορυχείου. Κάθε οδός διαφυγής πρέπει να είναι ανεξάρτητη από κάθε άλλη, έτσι ώστε δυσλειτουργία της μιας να μην επηρεάζει την άλλη. Η χρήση ανεμόσκαλας είναι αποδεκτή ως μέθοδος

διαφυγής, δεν πρέπει όμως να έχει μήκος μεγαλύτερο των 100 μέτρων, εκτός αν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ανυψωτικό μηχανισμό.

## 7. ΣΧΕΔΙΟ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

Το σχέδιο αερισμού υποβάλλεται στον οργανισμό MSHA και φυλάσσεται στο αρχείο του ορυχείου. Το σχέδιο αναφέρεται σε όλα τα θέματα του συστήματος αερισμού των υπογείων δραστηριοτήτων, μεταξύ των οποίων το σπουδαιότερο είναι η ποιότητα του αέρα. Τα απαραίτητα στοιχεία του σχεδίου είναι η ποσότητα του αέρα, οι τύποι των ανεμιστήρων που θα χρησιμοποιηθούν, οι πόρτες αναστολής της ροής και οι διατάξεις ελέγχου.

Τμήμα του σχεδίου αερισμού αποτελεί η καταγραφή όλων των δηζελοκινήτων μηχανών του ορυχείου. Η ποσότητα του αέρα υπολογίζεται σύμφωνα με την ισχύ των μηχανών. Το σχέδιο πρέπει να ανταποκρίνεται στους κανονισμούς, και η λειτουργία του να ελέγχεται από αυτόματες διατάξεις.

Ο προσωρινός Αμερικανικός Κανονισμός είχε ως όριο τα 400 μικρογραμμάρια ολικού άνθρακα ανά κυβικό μέτρο. Ο νέος κανονισμός, ο οποίος ισχύει από τις 20 Ιανουαρίου 2006, περιορίζει την ποσότητα σε 160 μικρογραμμάρια. Για την επίτευξη αυτής της απαίτησης έχουν γίνει πολλές έρευνες με κύριο στόχο τη μείωση των βλαβερών αερίων, η οποία επιτυγχάνεται με την ενίσχυση του συστήματος αερισμού.

Παράλληλα με το σύστημα αερισμού το σχέδιο προστασίας των εργαζομένων προβλέπει την εγκατάσταση διατάξεων εκτάκτου ανάγκης με αυτόνομη διάρκεια λειτουργίας 60 λεπτών. Οι διατάξεις αυτές μετατρέπουν το μονοξειδίο του άνθρακος σε διοξείδιο του άνθρακος με τη χρησιμοποίηση hopelite (ορυκτό, ένυδρος φωσφορικός ψευδάργυρος). Μερικά υπόγεια ορυχεία είναι εξοπλισμένα με φορητές διατάξεις μετατροπών διάρκειας 30 λεπτών. Οι φορητές διατάξεις διαφέρουν από αυτές των 60 λεπτών στο ότι οι δεύτερες δεν παράγουν οξυγόνο. Στην περίπτωση φωτιάς καίγεται το οξυγόνο με συνέπεια την ασφυξία των εργαζομένων. Οι φορητές συσκευές δεν έχουν εγκριθεί προς το παρόν. Θεωρούνται ως ατομικές συσκευές προστασίας. Σύμφωνα με τον οργανισμό MSHA η εκπαίδευση των εργαζομένων στη χρήση των διατάξεων εκτάκτου ανάγκης πρέπει να γίνεται μια φορά το χρόνο.

Πρόσθετη εκπαίδευση. Η παράγραφος Part 57 περιέχει το πακέτο των κανονισμών που ισχύουν για τα υπόγεια λατομεία. Άλλοι κανονισμοί για τα υπόγεια λατομεία αναφέρονται στην ενδοσυνενόηση με ενσύρματα και ασύρματα τηλέφωνα, που βρίσκονται κοντά στις θέσεις εργασίας σε όλες τις περιοχές του ορυχείου, προστατευτικά κουβούκλια και κινητός εξοπλισμός για την προστασία των εργαζομένων από πτώση αντικειμένων, η προστασία από ανυψωτικά και μεταφορικά μηχανήματα, και συστήματα καταγραφής μεθανίου. Όλοι οι μεταλλωρύχοι, συμπεριλαμβανομένων και

των πεπειραμένων πρέπει να επανεκπαιδεύονται σε ετήσια βάση πάνω σε θέματα εκτάκτων περιστάσεων, υποχρεωτικών κανονισμών υγείας και ασφάλειας, συστημάτων τηλεπικοινωνίας και μεταφορών, τοποθέτηση φραγμάτων ασφαλείας, σχέδια αερισμού, πρώτες βοήθειες, ηλεκτρικά ατυχήματα, πρόληψη ατυχημάτων, ατομικές συσκευές προστασίας και αναπνευστήρες, εκρηκτικά, αέρια ορυχείων και άλλα θέματα σχετικά με την ασφάλεια των ορυχείων, τα οποία περιλαμβάνει ο κανονισμός της MSHA.

## 8. ΚΟΣΤΟΛΟΓΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ

Είναι γνωστό, ότι η υπόγεια όρυξη απαιτεί μια διαφορετική θεώρηση, από ότι η υπαίθρια. Οι οικονομικοί παράγοντες είναι ένα σοβαρό τμήμα της διαδικασίας αποφάσεως για την υπόγεια όρυξη. Όταν ο σχεδιασμός ενός υπαίθριου ορυχείου παρουσιάζει μεγαλύτερο κόστος λόγω του αυξανόμενου όγκου υπερκειμένων, τότε θα πρέπει να εξεταστεί η εναλλακτική λύση του υπογείου ορυχείου.

Η υπόγεια όρυξη λόγω της φύσεώς της απαιτεί περισσότερη εργασιακή ποσότητα, (ανθρωπόωρες - μηχανοώρες ανά παραγόμενο κυβικό μέτρο), που οφείλεται στα πρόσθετα κατασκευαστικά μέτρα που απαιτούνται, όπως είναι η ενίσχυση της οροφής με ισχυρά βλήτρα και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, η άμεση προστασία των παρειών, ο επαρκής αερισμός και η ασφάλεια των εργαζομένων. Ο αερισμός, η άντληση μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού, και το πολύπλοκο ηλεκτρικό δίκτυο και σύστημα επικοινωνίας είναι ακριβές εγκαταστάσεις, οι οποίες δεν απαιτούνται στην υπαίθρια όρυξη. Επίσης απαιτείται συντήρηση των υπογείων στοών προσπελάσεως στις θέσεις ορύξεως.

Η υπόγεια όρυξη θα είναι πάντοτε ακριβότερη από την επιφανειακή Αν υπάρχουν υπαίθρια αποθέματα σε λογικές αποστάσεις, τότε δεν ενδείκνυται η υπόγεια όρυξη. Το πρωταρχικό κριτήριο για την επιλογή υπόγειας όρυξης είναι η εξάντληση των επιφανειακών αποθεμάτων ή όταν η εκμετάλλευση γίνεται αντιοικονομική λόγω των αυξημένων υπερκειμένων στρωμάτων και αποστάσεων μεταφοράς.

Ενδεικτικά μεγέθη για επιφανειακή όρυξη είναι πάχος υπερκειμένων 10 έως 12 μέτρα. Όταν όμως τα υπερκείμενα φτάνουν τα 20 έως 25 μέτρα, τότε ό το κόστος εξισώνεται με το κόστος της υπόγειας όρυξης ή αυτό είναι ακόμη μικρότερο. Τονίζεται επίσης, ότι το κόστος μεταφοράς στις θέσεις διαθέσεως μπορεί να γίνει ένας αποφασιστικός παράγων για την απόφαση της επενδύσεως σε υπόγειο ορυχείο. Το κόστος είναι απαγορευτικό, όταν η απόσταση μεταφοράς υπερβαίνει τα 60 έως 70 χιλιόμετρα.

Το κόστος οπωσδήποτε εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι οποίοι διαφοροποιούνται ανάλογα με τη θέση ορύξεως. Η έντονη διαφοροποίηση δεν επιτρέπει προς το παρόν τη διατύπωση συγκεκριμένων στοιχείων κόστους.

Σύμφωνα με στοιχεία του 2000 [3], Διεθνές Συνέδριο Hong Kong, ο σχεδιασμός και η οργάνωση των υπογείων λατομείων, η εξέλιξη του εξοπλισμού διατρήσεων και της τεχνικής ανατινάξεων και του βοηθητικού εξοπλισμού είχαν μειώσει το κόστος της υπόγειας όρυξης σε 12-14 A\$ (=7 – 8 €/t) ανά τόνο για ανοικτά μέτωπα (open stopping) ή 24-30 A\$ (=14 – 17 €/t) ανά τόνο για όρυξη σε θαλάμους με υποστυλώματα (room and pillar). Οι αριθμοί αυτοί δείχνουν, ότι η υπόγεια όρυξη δεν ήταν ακόμη δυνατό να θεωρηθεί ως ανταγωνιστική των υπαιθρίων ορυχείων με κόστος 7-9 A\$ (=4 – 5,3 €/t) ανά τόνο για την ίδια περιοχή εγκατάστασης. Το τεχνικό περιοδικό Aggregates Manager, βασιζόμενο σε στοιχεία της εταιρείας Wheaton Illinois-based Continental Placer, αναφέρει, ότι το κόστος της υπόγειας όρυξης είναι περίπου 1 \$ έως 1,50 \$ (=0,63 – 0,95 €/t)) ανά τόνο μεγαλύτερο της επιφανειακής όρυξης [Αναφορά 11, Φεβρουάριος 2005].

## 9. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Παράλληλα με την ασφάλεια, την εκπαίδευση, την κατάλληλη τεχνολογία, τις γεωλογικές μελέτες, τον εξοπλισμό, το περιβάλλον πρέπει να βρίσκεται στην πρώτη σειρά προτεραιοτήτων, για την απόφαση διάνοιξης υπογείου ορυχείου. Οι επιπτώσεις από τη λειτουργία του ορυχείου, και ότι άλλες παρενέργειες θα προκύψουν, πρέπει να μελετηθούν πριν ακόμη αρχίσει η κατασκευή του ορυχείου. Ο σχεδιασμός πρέπει να αναφέρεται τόσο στην προστασία του περιβάλλοντος όσο και στην αποκατάσταση μετά το πέρας της εκμετάλλευσης. Τα μέτρα προστασίας του περιβάλλοντος αρχίζουν μαζί με την προκαταρκτική μελέτη. Είναι απαραίτητο ο σχεδιασμός να μειώνει πιθανές επιζήμιες επιδράσεις του ορυχείου για δύο κυρίως λόγους – το κόστος της προστασίας του περιβάλλοντος ελαχιστοποιείται με την ενσωμάτωσή του στον αρχικό σχεδιασμό αντί να λαμβάνονται εκ των υστέρων διορθωτικά μέτρα για την αντιστάθμιση ελλείψεων του σχεδιασμού, και οι αρνητικές αντιδράσεις των κατοίκων της περιοχής, που μπορούν να έχουν σοβαρές οικονομικές ζημιές.

Η προσπάθεια είναι ο χώρος του ορυχείου και των συναφών συγκροτημάτων επιφανείας να αποδοθεί στο περιβάλλον *καλύτερος* από ότι ήταν πριν από την εγκατάσταση του ορυχείου.

Από την αρχή της μελέτης σχεδιασμού πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στις νομοθετημένες διατάξεις λειτουργίας υπογείων ορυχείων. Το κόστος συμμορφώσεως προς τις διατάξεις αυτές μπορεί να μειωθεί σημαντικά στο στάδιο του σχεδιασμού.

Από την έναρξη του σχεδιασμού του ορυχείου στην αρχική του φάση η συλλογή των απαραίτητων πληροφοριών και οι περιβαντολογικές συνθήκες είναι ιδιαίτερα σημαντικές, παρ' όλο ότι αρχικά δεν φαίνεται η επίπτωσή τους στο κόστος. Αντίθετα, επιδράσεις όπως αισθητική, θόρυβος, ποιότητα αέρα, δονήσεις, υπόγεια νερά, καθιζήσεις και διαχείριση αποβλήτων πρέπει να μελετώνται με ιδιαίτερη προσοχή. Αν η όρυξη προκαλεί χειροτέρευση

της ποιότητας τόσο στην επιφάνεια όσο και στα υπόγεια νερά, τότε πρέπει να εφαρμοστούν διορθωτικά μέτρα για τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς. Το πρόγραμμα του ορυχείου πρέπει να περιλαμβάνει όλα τα τεχνικά μέτρα για τη διαχείριση αυτών των προβλημάτων – από τον αρχικό σχεδιασμό μέχρι το κλείσιμο του ορυχείου και την αποκατάσταση της διαταραγμένης περιοχής.

Αν και τα περιβαλλοντολογικά μέτρα και η αποκατάσταση του χώρου μπορεί να φαίνονται ότι αποτελούν λεπτομέρεια στη λήψη της απόφασης για την υπόγεια όρυξη, παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της οικονομικής μελέτης του σχεδιαζόμενου ορυχείου.

## 10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Η υπόγεια εκμετάλλευση για την παραγωγή αδρανών υλικών θα είναι στο άμεσο μέλλον η μόνη εναλλακτική λύση για την αντιμετώπιση των συνεχώς αυξανόμενων αναγκών, της εξάπλωσης των κατοικημένων περιοχών και της ραγδαίας εξάντλησεως των επιφανειακών κοιτασμάτων. Σύντομα τα αδρανή υλικά θα χαρακτηριστούν ως αγαθά σε ανεπάρκεια. Τα υπόγεια λατομεία θα είναι η λύση στην ανεπανάληπτη και ανεπίστρεπτη καταστροφή του περιβάλλοντος. Το άμεσο κόστος όρυξης, ανώτερο οπωσδήποτε προς το παρόν του κόστους της επιφανειακής όρυξης, δεν πρέπει να είναι το μοναδικό κριτήριο για την απόρριψη της υπόγειας όρυξης. Η κοστολογική θεώρηση πρέπει να αναμορφωθεί στις νέες τεχνολογικές εξελίξεις και περιβαλλοντολογικές απαιτήσεις. Η έρευνα σε όλα τα επίπεδα, οικονομικά, τεχνολογικά, κοινωνικά, περιβαλλοντολογικά, και σε παγκόσμιο εύρος πρέπει να ενταθεί, ιδιαίτερα στον Ελληνικό χώρο, με αρχικό στόχο την προετοιμασία των ασχολουμένων με την παραγωγή, εν όψει των διεθνών εξελίξεων, αφού είναι πλέον γεγονός, ότι στο άμεσο μέλλον η μοναδική πηγή αδρανών υλικών θα είναι η υπόγεια όρυξη. Οι υπόγειοι χώροι μετά την εξάντληση του κοιτάσματος και την αποκατάστασή τους, θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές άλλες χρήσιμες εφαρμογές, (εικόνα 6).



Εικόνα 6.

Υπόγειοι χώροι του λατομείου Springfield στα Ozark Mountains μετά την εξάντληση του κοιτάσματος και την αποκατάσταση. Η συνολική παραγωγή του ορυχείου μέχρι το 2006 ήταν 2.700.000 m<sup>3</sup>, (Aggregates Manager, May 2006).

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

### *Άρθρα σε επιστημονικά περιοδικά*

1. Scienze della Terra Dept., Universita degli Studi di Torino, 35, Via Valperga Caluso, 10125 Torino, Italy.

2. Georisorse e Territorio Dept., Politecnico di Torino, 24, C.so Duca degli Abruzzi, 10129 Torino, Italy

### *Άρθρα σε διεθνή επιστημονικά συνέδρια*

3. T. Marshall 1: M. Ohsberg 2 and A. Robertson 3. Hong Kong Quarry Conference 17-18 November 2000

### *Τεχνικές εκθέσεις*

4. BIBKO, Transportbeton Industrie, Steinbeisstrasse 1+2 ,D-71717 Beilstein, Germany.

5. CDE Aggregate Recycling Plants, Tyrone, Ireland. Sandholes Road, Cookstown, Co. Tyrone, BT80 9DG.

6. CDE Recycling Plants, Tyrone, Ireland. “Building the future with CDE”.

7. Hartl Crushtek, Beevoe Street, Lincoln LN67 7DJ, England.

8. O.E.M. Recycling Equipment. Sherbrooke, 262 Pepin Street, Quibec, Canada, J1l 2V8

9. USGS United States Geological Survey, Minerals Yearbook: Construction Sand and Gravel Crushed (<http://en.wikipedia.org>).

10. USGS United States Geological Survey, Minerals Yearbook: Stone, Crushed.

11. Barbaccia Tina Grady, Going Underground, Aggregates Manager, January 2005.

12. Α. Μπενάρδος, Δ. Καλιαμπάκος, Ι. Προυσιότης, Α. Μαυρίκος, Κ. Σκοπαράντζος, «Underground aggregate mining in Athens, a promising investment plant», Tunnelling and Underground Space Technology 16 (2001).