

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ  
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΤΕ



Κοζάνη, Νοέμβριος 2020

# Αυτόνομος Εξοπλισμός και Παραγωγή στη Μεταλλευτική

Πτυχιακή Εργασία

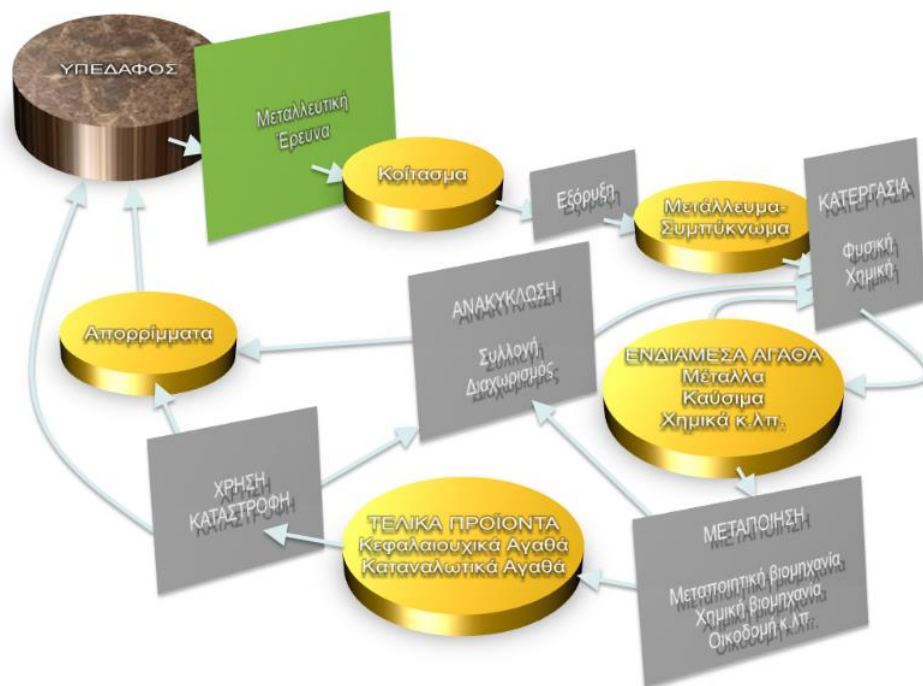
ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ  
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΑΠΑΓΕΡΙΔΗΣ

## Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	2
Γενικά.....	5
Εξόρυξη και επεξεργασία μεταλλευμάτων.....	8
Παραγωγική διαδικασία.....	12
Μεταλλευτική έρευνα.....	25
Χαρακτηριστικά της μεταλλευτικής έρευνας.....	26
Διαδικασία της μεταλλευτικής έρευνας.....	27
Εξόρυξη μεταλλευμάτων και εξοπλισμός.....	32
Βασικά κίνητρα για τη χρήση αυτόνομης εξορυκτικής τεχνολογίας.....	33
Αυτόνομη τεχνολογία στην εξόρυξη.....	34
Σχετικές τεχνολογίες.....	37
Υποδομή κινητών επικοινωνιών στον αυτόνομο εξοπλισμό εξόρυξης.....	41
Πλήρης αυτοματοποίηση στόλου.....	44
Αυτοματοποίηση στην πυροκρότηση.....	45
Επιλογή των κατάλληλων συστημάτων.....	48
Πλεονεκτήματα αυτόνομου εξοπλισμού εξόρυξης.....	50
Μειονεκτήματα αυτόματου εξοπλισμού εξόρυξης.....	53
Τάσεις αυτοματοποίησης – Προοπτικές.....	54
“Ευφυή” Ορυχεία.....	54
Βιβλιογραφία.....	59

## Εισαγωγή

Στην ανθρώπινη κοινωνία κάθε παραγωγική διαδικασία αρχίζει από την τροφοδοσία της με φυσικούς πόρους και τελειώνει με την επιστροφή των απορριμμάτων στη φύση. Η διαδικασία ξεκινά από τους φυσικούς πόρους (έδαφος, υπέδαφος, βιομάζα). Ακολουθούν οι αρχικές διαδικασίες παραγωγής και εξόρυξης, καθώς και ο πρώτος μετασχηματισμός, εφόσον γίνεται στον τόπο παραγωγής. Η γεωργία, η κτηνοτροφία, η δασοκομία, η εξόρυξη μεταλλευμάτων και λατομικών ορυκτών, η παραγωγή υδρογονανθράκων είναι δραστηριότητες οι οποίες αποδίδουν τις πρώτες ύλες. Όλες οι πρώτες ύλες μπαίνουν σε μια παραγωγική διαδικασία μετασχηματισμού που περιλαμβάνει περισσότερα του ενός στάδια. Η μεταλλευτική έρευνα βρίσκεται στην αρχή του ειδικότερου παραγωγικού κύκλου των ορυκτών πρώτων υλών. Ο παραγωγικός κύκλος των ορυκτών πρώτων υλών, αναπαρίσταται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 1: Παραγωγικός κύκλος ορυκτών πρώτων υλών

Σε αυτή την εικόνα η μεταλλευτική έρευνα παρουσιάζεται ως διαδικασία, η οποία οδηγεί από το υπέδαφος ή τους ωκεανούς στον οικονομικό ορισμό ενός κοιτάσματος, όσον αφορά την ποιότητα, την ποσότητα των αποθεμάτων και την οικονομική τους εκμεταλλευσιμότητα. Σε αυτό το πλαίσιο περιγράφεται ως

αντικείμενο της μεταλλευτικής έρευνας την ανακάλυψη κοιτασμάτων, το υπολογισμό της ποιότητας και της ποσότητας των αποθεμάτων τους και τη συγκέντρωση στοιχείων για τον υπολογισμό της αξίας τους, δηλαδή του οικονομικού οφέλους που θα προκύψει από την εκμετάλλευσή τους.

Πιο συγκεκριμένα, η μεταλλευτική έρευνα μπορεί να οριστεί ως το σύνολο των εργασιών συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων που οδηγούν στη λήψη μιας εμπειριστατωμένης απόφασης σχετικά με τον υπολογισμό του μεγέθους, της δομής και της ετήσιας παραγωγής μιας νέας εξορυκτικής δραστηριότητας. Πρωταρχικός στόχος της μεταλλευτικής έρευνας είναι η ανεύρεση και η απόληψη του μέγιστου δυνατού αριθμού νέων οικονομικά εκμεταλλεύσιμων κοιτασμάτων, στον ελάχιστο χρόνο, με το ελάχιστο κόστος.

Η επιτυχημένη εύρεση ενός νέου οικονομικά εκμεταλλεύσιμου κοιτάσματος συνδέεται με δύο κύριες δραστηριότητες, αρχικά με τον σχεδιασμό και στη συνέχεια με τη λειτουργία του μεταλλείου. Σύμφωνα με τον φορολογικό κώδικα των Η.Π.Α., το στάδιο του σχεδιασμού ολοκληρώνεται όταν αποδειχθεί ότι το κοιτάσμα (ορυκτό ή μετάλλευμα) εντοπίζεται σε ικανοποιητική ποσότητα και ποιότητα, η οποία καθιστά δυνατή την εμπορική του εκμετάλλευση. Η μεταλλευτική έρευνα μπορεί όμως να συνεχιστεί και ύστερα από το συγκεκριμένο στάδιο, με την τεχνολογική έννοια του όρου. Σε πολλές περιπτώσεις, η συνεχιζόμενη έρευνα, μετά την ολοκλήρωση του σταδίου της ανάπτυξης, έχει αποκαλύψει την ύπαρξη πρόσθετων αποθεμάτων, τα οποία δικαιολογούν μεγαλύτερη, ικανοποιητικότερη και αποδοτικότερη λειτουργία του μεταλλείου από όσο είχε αρχικά υπολογιστεί. Ακόμα και αφού αρχίσει η παραγωγική διαδικασία, η συνεχής έρευνα μπορεί να οδηγήσει στην εύρεση νέων αποθεμάτων και, κατά συνέπεια, στην επέκταση της «ζωής» του μεταλλείου.

Τα αντικειμενικά κριτήρια ως προς την κατ' ελάχιστον αποδεκτή ποιοτικά και ποσοτικά (οριακή) περιεκτικότητα του κοιτάσματος, που μπορεί να οδηγήσει στην τελική επένδυση, μεταβάλλονται ανάλογα με το είδος του προς εξόρυξη μεταλλεύματος ή ορυκτού, η εκμετάλλευση του οποίου εξαρτάται από τις τιμές των αγορών που σχετίζονται με το τελικό προϊόν. Για τον λόγο αυτό, τα

προγράμματα έρευνας των κοιτασμάτων ποικίλλουν, έχοντας όμως ως κοινό αντικειμενικό στόχο τη δημιουργία μελλοντικών επικερδών επενδύσεων.

Τα τελευταία 25 χρόνια η μεταλλευτική βιομηχανία έχει εξελιχθεί ραγδαία σε παγκόσμιο επίπεδο, κυρίως λόγω της τεχνολογικής προόδου καθώς και των κανονισμών που έχουν θεσπιστεί από διεθνείς φορείς και διέπουν τον κλάδο. Ταυτόχρονα, νέες προκλήσεις όπως η κλιματική αλλαγή και η ανάγκη για μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα έχουν οδηγήσει σε αυξανόμενη ζήτηση για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και κατ' επέκταση για συγκεκριμένα μέταλλα. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα στην περίπτωση του χαλκού, ο οποίος αποτελεί βασικό στοιχείο για την κατασκευή ανεμογεννητριών, ηλεκτρικών καλωδίων και πολλών άλλων υλικών που σχετίζονται με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την ηλεκτροδότηση.

Οι εξελίξεις σε επίπεδο τεχνολογικής καινοτομίας έχουν αλλάξει δραστικά τον τρόπο λειτουργίας της μεταλλευτικής βιομηχανίας. Από την εξερεύνηση έως την εξόρυξη και την εξαγωγή μεταλλευμάτων στο εξωτερικό, η τεχνολογία έχει πλέον εισέλθει σε κάθε στάδιο της διαδικασίας. Για παράδειγμα, νέα εργαλεία και εξειδικευμένα λογισμικά χρησιμοποιούνται για τη χαρτογράφηση της επιφάνειας του εδάφους και του υπεδάφους, βοηθώντας τις εταιρείες να αξιολογήσουν εάν ένα απόθεμα πληροί τις προδιαγραφές ώστε να προχωρήσει η διαδικασία εξόρυξης, αποφεύγοντας τη διενέργεια μη αναγκαίων γεωτρήσεων. Επιπλέον, η χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού επιτρέπει στις εταιρείες να λαμβάνουν άμεσα αποτελέσματα όσον αφορά το είδος των μετάλλων που περιέχει ένα απόθεμα, με αποτέλεσμα την υλοποίηση μίας πιο στοχευμένης και αποδοτικής διαδικασίας εξερεύνησης και εξόρυξης.

Σημαντικές τεχνολογικές αναβαθμίσεις σημειώθηκαν και ως προς τη βελτίωση της ανάκτησης μετάλλων από μεταλλοφόρα πετρώματα καθώς και από παλαιά ορυχεία και χώρους εναπόθεσης τελμάτων κατεργασίας. Ειδικότερα, για χώρες όπως η Κύπρος, αυτού του είδους εξελίξεις μπορούν να συμβάλουν ουσιαστικά στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων που είχαν προκληθεί από την εξόρυξη μετάλλων στο παρελθόν.

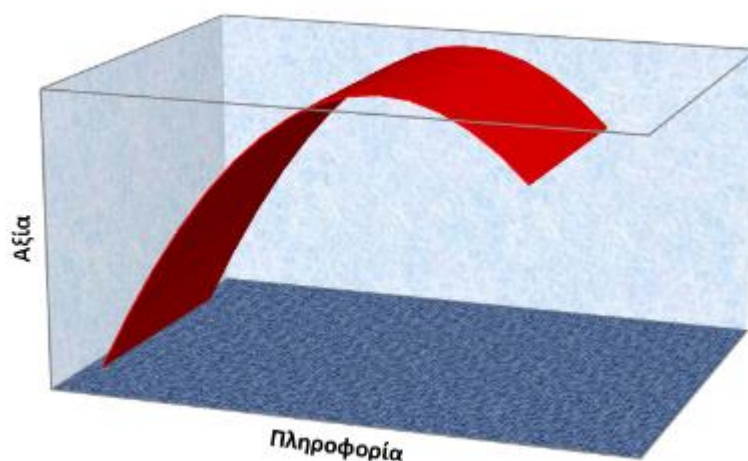
Εκτός από την έμφαση που δίνεται στην ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον, η σύγχρονη μεταλλευτική βιομηχανία επικεντρώνεται, επίσης, στην κοινωνική ευημερία καθώς και την εξασφάλιση της ευημερίας των εργαζομένων. Οι εργασιακές συνθήκες στον κλάδο έχουν βελτιωθεί καθώς οι εξελίξεις στη ρομποτική τεχνολογία και στα συστήματα ελέγχου και επιτήρησης έχουν οδηγήσει σε ασφαλέστερους τρόπους εξόρυξης μετάλλων, καταναλώνοντας παράλληλα λιγότερη ενέργεια.

## Γενικά

Μέχρι και τα τέλη της δεκαετίας του '40, ίσως και αρχές της δεκαετίας του '50 η μεταλλευτική έρευνα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως μια γραμμική διαδικασία. Τα κοιτάσματα αποδεικνύονταν πλούσια και επιφανειακά ή τουλάχιστον υπήρχαν αρκετές επιφανειακές ενδείξεις. Με βάση αυτές τις ενδείξεις διαγραφόταν η συνέχεια του κοιτάσματος. Η εκμετάλλευση άρχιζε από την αποκάλυψη μιας μικρής ποσότητας μεταλλεύματος. Η απαιτούμενη επένδυση ήταν μικρή και συνήθως προερχόταν από δάνειο, το οποίο αποπληρωνόταν γρήγορα, και η επένδυση συνέχιζε με αυτοχρηματοδότηση.

Μετά τις αρχές της δεκαετίας του '50, η μεταλλευτική έρευνα γνωρίζει ριζικές αλλαγές. Οι άμεσες ενδείξεις εξαντλούνται και η διαδικασία μεταβάλλεται σε «δυναμική». Η προσπάθεια επικεντρώνεται στον περιορισμό μιας περιοχής μερικών χιλιάδων στρεμμάτων σε μερικά στρέμματα μεταλλοφορίας. Πολυπλοκότερες μέθοδοι επεξεργασίας δεδομένων υπεισέρχονται στην ερευνητική διαδικασία (π.χ. γεωστατιστική). Η πρόοδος της τεχνολογίας με την άνοδο της παραγωγικότητας επιτρέπει την εκμετάλλευση φτωχότερων κοιτασμάτων, γεγονός που οδηγεί σε διάχυση των επενδύσεων αλλά και σε όλο μεγαλύτερες επενδύσεις.

Η μεγάλη διάρκεια της έρευνας, το υψηλό κόστος και ο μεγάλος επιχειρηματικός κίνδυνος που ενέχει υπαγορεύουν τη μεθόδευση της ερευνητικής διαδικασίας σε διαδοχικές φάσεις. Η μεταλλευτική έρευνα θεωρείται, λοιπόν, μια πολυσταδιακή διαδικασία, η οποία συνιστά ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης. Αυτό το βλέπουμε στην παρακάτω εικόνα. Στόχος είναι ο προσδιορισμός του βέλτιστου μεγέθους ερευνητικών έργων σε κάθε στάδιο και, κατ' επέκταση, η ελαχιστοποίηση των δαπανών. Έτσι, το πέρασμα από κάθε φάση στην επόμενη απαιτεί οικονομική απόφαση σχετικά με τη συνέχιση ή μη της έρευνας. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να απορρίπτονται περιοχές που δεν παρουσιάζουν μεγάλο μεταλλευτικό ενδιαφέρον και να περιορίζονται έτσι οι δαπάνες.



*Εικόνα 2: Σχέση αξίας-πληροφορίας και πρόβλημα βελτιστοποίησης*

Στη συνέχεια βλέπουμε μια εικόνα η οποία παρουσιάζει τη διαδικασία έρευνας και ανάπτυξης μιας μεταλλευτικής επένδυσης σε πέντε φάσεις. Οι εκτιμήσεις των ερευνώμενων εκτάσεων, της διάρκειας και του κόστους των ερευνών προέρχονται από τη βιβλιογραφία (Darling 2011). Αν και ο διαχωρισμός των φάσεων διαφέρει στη βιβλιογραφία ανάλογα με τον συγγραφέα, η αρχή που τον διέπει είναι η ίδια: κάθε φάση περιλαμβάνει ένα σύνολο δραστηριοτήτων που έχουν στόχο την καλύτερη γνώση του αντικειμένου για τη λήψη μιας απόφασης σχετικά με την κατάληξη της συγκεκριμένης φάσης. Η απόφαση μπορεί να προκρίνει τη συνέχιση ή το σταμάτημα, προσωρινό ή οριστικό, της

ερευνητικής διαδικασίας και λαμβάνεται πάντα με βάση οικονομικές εκτιμήσεις.

Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, κάθε ερευνητική φάση, ενώ εξετάζει μια όλο και μικρότερη περιοχή σε σχέση με την προηγούμενη, κοστίζει πολύ περισσότερο. Η τρίτη φάση (Έλεγχος Σημείων Ενδιαφέροντος) εξετάζει μια περιοχή μερικών δεκάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων με κόστος 10.000–25.000 €/km<sup>2</sup>, ενώ η πρώτη φάση (Προσέγγιση Αντικειμένου), παρότι εξετάζει μια πολύ μεγαλύτερη περιοχή (μερικές δεκάδες χιλιάδες km<sup>2</sup>), έχει κόστος 5–25 €/km<sup>2</sup>. Η διαφορά οφείλεται στην όλο και μεγαλύτερη εξειδίκευση των έργων όσο προχωρά η μεταλλευτική έρευνα, στον όλο και πιο δαπανηρό εξοπλισμό, καθώς και στην ολοένα μεγαλύτερη εμπειρία του προσωπικού η οποία απαιτείται. Σχετικά με τη συνέχιση της ερευνητικής διαδικασίας από φάση σε φάση, μελέτη της πρώην канаδικής εταιρείας COMINCO σε δικά της ερευνητικά προγράμματα δείχνει τα εξής:

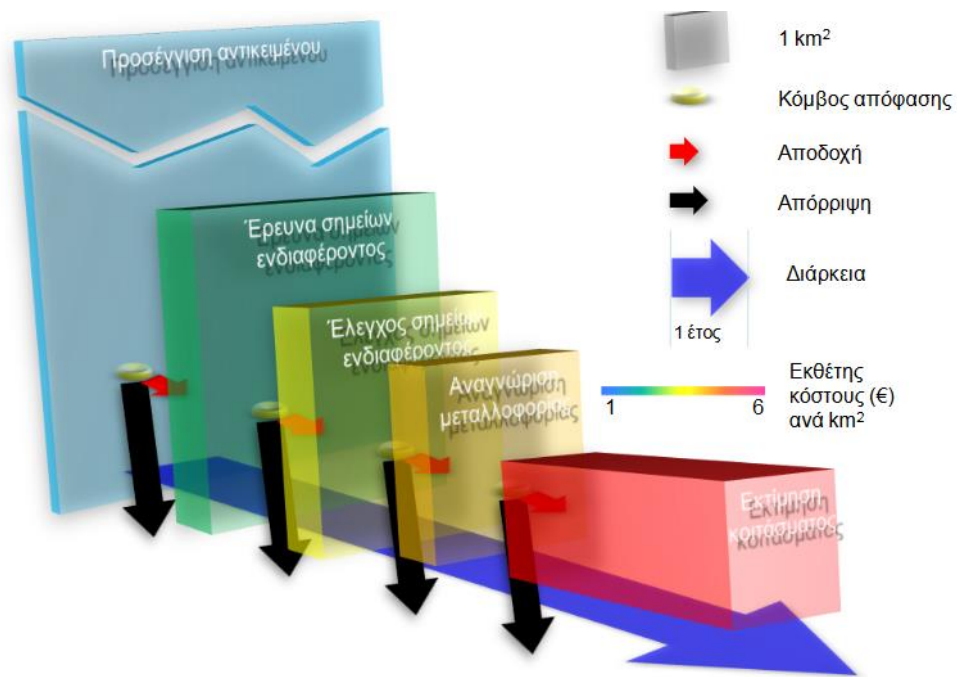
Αριθμός αδειών έρευνας και πρώτες εργασίες:	1000
Αριθμός σημαντικών ερευνητικών προγραμμάτων:	78
Αριθμός μεταλλείων:	18
Αριθμός κερδοφόρων μεταλλείων, σύμφωνα με την εταιρεία:	7

Επίσης, μελέτη του BRGM(γαλλικό αντίστοιχο του ΙΓΜΕ) για τη μεταλλευτική έρευνα σε όλη τη Γαλλία σε μια περίοδο πέντε ετών έδειξε τα εξής:

Αριθμός περιπτώσεων γεωλογικών ενδείξεων:	1000
Αριθμός περιπτώσεων όπου η έρευνα συνεχίστηκε μέχρι δειγματοληψία:	200
Αριθμός περιπτώσεων που παρουσιάστηκαν στις εταιρείες:	25
Αριθμός πιθανών μεταλλείων:	3–4

Σύμφωνα με τα υπάρχοντα στοιχεία, μόνο λίγα από τα ερευνητικά προγράμματα που ξεκινούν (8–20%) καταφέρνουν να προχωρήσουν σε αξιολογικό βαθμό και ελάχιστα από αυτά καταλήγουν στην ανάπτυξη μιας μεταλλευτικής επένδυσης. ([repository.kallipos.gr](http://repository.kallipos.gr))





Εικόνα 3: Ερευνητική φάση

Γενικά, το σύνολο της διαδικασίας στοχεύει στη συγκέντρωση γνώσεων ικανών να οδηγήσουν στην εκτίμηση των τριών κύριων παραμέτρων που είναι απαραίτητες στον οικονομικό σχεδιασμό της εκμετάλλευσης και στη μελέτη σκοπιμότητας της επένδυσης. Οι παράμετροι αυτές είναι:

1. οι απαιτούμενες επενδύσεις,
2. οι επιχειρησιακές δαπάνες εκμετάλλευσης και η τιμή πώλησης,
3. ο ετήσιος τζίρος.

Οι απαιτούμενες γνώσεις αφορούν τέσσερις άξονες:

1. το κοίτασμα,
2. μέταλλευμα,
3. την αγορά (του μετάλλου),
4. το περιβάλλον (πολιτικό, γεωγραφικό, κοινωνικό, οικονομικό, νομικό και φορολογικό).

### Εξόρυξη και επεξεργασία μεταλλευμάτων

Η εξόρυξη των μεταλλευμάτων πραγματοποιείται είτε με υπόγειες μεθόδους εξόρυξης είτε με επιφανειακή εκμετάλλευση, συνήθως με την μέθοδο ορθών βαθμίδων με ανοικτή ή κλειστή εκσκαφή. Η εξόρυξη διενεργείται με τη χρήση εκρηκτικών υλών σύμφωνα με τον κύκλο εργασίας: όρυξη και γόμωση

διατηρημάτων, πυροδότηση και εν συνεχεία φόρτωση-μεταφορά του εξορυγμένου υλικού. Όλες οι δραστηριότητες είναι πλέον μηχανοποιημένες και αυτοματοποιημένες, ενώ ο χειρισμός των μηχανημάτων γίνεται από εξειδικευμένο προσωπικό. Η φόρτωση του εξορυγμένου υλικού γίνεται με τη χρήση κατάλληλου μηχανολογικού εξοπλισμού (πχ. ελαστιχοφόροι φορτωτές) σε ειδικά χωματοουργικά φορτηγά (πχ. τύπου Dumper), τα οποία και μεταφέρουν το υλικό είτε προς απόρριψη σε -κατάλληλα αδειοδοτημένους προς τούτο χώρους- αν είναι στείρο υλικό ή προς περαιτέρω επεξεργασία αν πρόκειται για χρήσιμο μετάλλευμα.

Η επιλογή της μεθόδου εκμετάλλευσης ενός κοιτάσματος καθορίζεται κυρίως από τους κάτωθι παράγοντες:

- Τις φυσικο-μηχανικές ιδιότητες του κοιτάσματος και των πετρωμάτων που το περιβάλλουν.
- Την θέση του κοιτάσματος και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του (σχήμα, μέγεθος, κλίση).
- Την ποιότητα και την αξία του μεταλλεύματος.
- Τους επιδιωκόμενους ρυθμούς παραγωγής.
- Το κόστος του παραγόμενου προϊόντος.
- Την προστασία του περιβάλλοντος.

Η υπόγεια εκμετάλλευση κοιτασμάτων εφαρμόζεται, όταν η επιφανειακή τους εκμετάλλευση καθίσταται αντισυμβατική ή όταν η υπόγεια εκμετάλλευση υπαγορεύεται από περιβαλλοντικούς λόγους.

Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή μεταξύ επιφανειακής και υπόγειας εκμετάλλευσης είναι: α) Η σχέση αποκάλυψης, δηλ. το πόσες μονάδες αγόνων θα πρέπει να απομακρυνθούν για να αποκαλυφθεί μία μονάδα χρήσιμου προϊόντος και β) Η τελική γωνία πρηνούς εκμετάλλευσης, δηλ. η κλίση του πρηνούς σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο, η οποία εξασφαλίζει την ασφαλή εκμετάλλευση.

Σε ένα οριζόντιο κοίτασμα με επίπεδο τοπογραφικό ανάγλυφο, η τιμή της σχέσης αποκάλυψης παραμένει σταθερή. Σε κεκλιμένα κοιτάσματα όμως η σχέση αυτή αυξάνει συνεχώς, καθώς προχωρεί η εκμετάλλευση, με αποτέλεσμα κάποια στιγμή να καθίσταται οικονομικά ασύμφορη. Τότε είναι περισσότερο συμφέρουσα η υπόγεια εκμετάλλευση του κοιτάσματος.

Οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες μέθοδοι υπόγειας εκμετάλλευσης διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- **με κενά μέτωπα (open stopes)**, στις οποίες ο χώρος που απομένει μένει μετά την απόσπαση του μεταλλεύματος διατηρείται κενός, με φυσική υποστήριξη, δηλαδή η υποστήριξη παρέχεται κυρίως από το πέτρωμα. Στις μεθόδους με κενά συγκαταλέγεται και η μέθοδος των θαλάμων και στύλων (room and pillar mining) κατά την οποία το μέταλλευμα εξορύσσεται αφήνοντας συγχρόνως τμήματα υπό μορφή στύλων για την υποστήριξη της οροφής. Πεδίο εφαρμογής είναι τα οριζόντια ως μέτριας κλίσης στρωσιγενή κοιτάσματα ικανοποιητικής αντοχής, μικρού ή μεγάλου πάχους. Εφαρμόζεται στα υπόγεια ανθρακωρυχεία καθώς και στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις βωξίτη στην Ελλάδα, όπου τα κοιτάσματα είναι μικρής κλίσης (σχεδόν οριζόντια) και μέτριου πάχους (2-10m). Το πεδίο εφαρμογής της μεθόδου είναι τα οριζόντια ως μέτριας κλίσης στρωσιγενή κοιτάσματα ικανοποιητικής αντοχής, μικρού ή μεγάλου πάχους. Σε περίπτωση που το πάχος του βωξίτη είναι μεγαλύτερο των 10 m τότε χρησιμοποιείται η μέθοδος θαλάμων και στύλων σε συνδυασμό με ξηρή λιθογόμωση. Στην μέθοδο των θαλάμων και στύλων, η άφραση των στύλων συχνά συνοδεύεται από μείωση των διαστάσεων τους στην τελική φάση της εκμετάλλευσης (φάση εξόφλησης), με σκοπό τη μεγιστοποίηση του συντελεστή απόληψης.

- **με γομούμενα μέτωπα (filling stopes)**, στις οποίες ο χώρος του κοιτάσματος που εκμεταλλεύεται πληρώνεται στη συνέχεια με τεχνητό τρόπο συνήθως από στείρα υλικά (λιθογόμωση). Η μέθοδος επιδέχεται μεγάλης εκμηχάνισης αλλά και της χρησιμοποίησης διαφόρων τύπων υλικών λιθογόμωσης, από στείρα υλικά έως «πάστες» λιθογόμωσης (υλικά με προσθήκη τσιμέντου). Αντίστοιχα, μπορεί να λάβει χώρα προς τα πάνω ή προς τα κάτω (ανερχόμενη ή κατερχόμενη λιθογόμωση) ώστε να μπορεί να

αντιμετωπίσει πετρώματα και μεταλλεύματα διαφόρων μηχανικών ιδιοτήτων. Βασικό πλεονέκτημα των μεθόδων με λιθογόμωση είναι η εξασφάλιση της μέγιστης δυνατής ασφάλειας έναντι προβλημάτων επιφανειακών καθιζήσεων ενώ παράλληλα επιτρέπεται η επίτευξη πολύ υψηλών συντελεστών απόληψης του κοιτάσματος της τάξης του 90-95%. Το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι το υψηλό κόστος. Η μέθοδος εναλλασσομένων κοπών και (ανερχόμενης) λιθογόμωσης (αγγλ., cut and fill stoping) εφαρμόζεται στο μεταλλείο των Μαύρων Πετρών της περιοχής Χαλκιδικής.

**με κατακρημιζόμενα μέτωπα (caving stopes)**, στις οποίες ο χώρος που έχει πραγματοποιηθεί η απόσπαση του μεταλλεύματος πληρώνεται με υλικά μέσω της κατακρήμισης της οροφής του κοιτάσματος. Στις μεθόδους αυτές συγκαταλέγεται και η μέθοδος «κατακρήμισης της οροφής με διαδοχικούς υποορόφους» (sublevel caving). Κατά τη συγκεκριμένη μέθοδο η εξόρυξη πραγματοποιείται μέσα σε διαδοχικούς ορόφους, με το κατώτερο τμήμα να αποσπάται με χρήση εκρηκτικών υλών, ενώ το ανώτερο να κατακρημνίζεται. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι κυρίως το χαμηλό κόστος παραγωγής και η ελαχιστοποίηση των έργων προπαρασκευής που απαιτούνται. Η μέθοδος εφαρμόζεται σε ορισμένα κοιτάσματα ελληνικού βωξίτη των οποίων η κλίση υπερβαίνει τις 60°. Χαρακτηριστική είναι η εφαρμογή της μεθόδου σε ένα από τα μεγαλύτερα και γνωστότερα υπόγεια μεταλλεία παγκοσμίως, στην Kiruna της Βόρειας Σουηδίας, όπου παράγονται ετησίως πάνω από 25 εκατ. τόνοι σιδηρομεταλλεύματος. Παραλλαγή αυτής της μεθόδου είναι η μέθοδος της κατακρήμισης πατώματος (αγγλ., block caving), που εφαρμόζεται σε πολύ παχιά κεκλιμένα ή κατακόρυφα κοιτάσματα χαμηλής περιεκτικότητας και όπου η υποχώρηση της επιφανείας του εδάφους δεν αποτελεί πρόβλημα, όπως π.χ. στην εξόρυξη κιμπερλίτη που περιέχει διαμάντια.

Η επεξεργασία των μεταλλευμάτων για την παραγωγή μετάλλων, συνήθως περιλαμβάνει: Μηχανική προετοιμασία/επεξεργασία (θραύση, λειοτρίβηση, κοσκίνηση, κοκκομετρική ταξινόμηση κλπ) του μεταλλεύματος, Εμπλουτισμό των μεταλλευμάτων (πχ. Βαρυτομετρικός διαχωρισμός, επίπλευση κλπ) ή/και Μεταλλουργική κατεργασία (πχ. πυρομεταλλουργία, υδρομεταλλουργία

## Παραγωγική διαδικασία

Η μέθοδος που εφαρμοζόταν επί χρόνια για την εκμετάλλευση του κοιτάσματος ήταν αυτή των διαδοχικών ορόφων με κατακρήμνιση της οροφής (Sublevel Caving), η οποία αντικαταστάθηκε πλήρως το 1988 από τη μέθοδο των διαδοχικών κοπών και λιθογομώσεων κατά κατιούσα φορά (Undercut and Fill). Με τη μέθοδο της κατακρήμνισης, η αραίωση και οι απώλειες του μεταλλεύματος ήταν πολύ μεγάλες, παραγόταν μεγάλη ποσότητα κονιορτού που ήταν πολύ επικίνδυνο για την υγεία του προσωπικού και οι απαιτήσεις αερισμού ήταν αυξημένες. Ακόμη η εν λόγω μέθοδος δεν ήταν δυνατόν να συνεχίζει να εφαρμόζεται γιατί τα τμήματα του κοιτάσματος που απέμειναν για εκμετάλλευση βρίσκονταν κάτω από, ή κοντά σε, κύρια μεταλλευτικά έργα και ποτάμια της περιοχής. Η σημαντική δε επίδραση της μεθόδου αυτής στην επιφάνεια του εδάφους κατέστησε απαγορευτική την συνέχιση της μεθόδου. Για όλους αυτούς τους λόγους τέθηκε θέμα εκλογής μιας άλλης μεθόδου, η οποία να αφήνει ανεπηρέαστα τα κύρια μεταλλευτικά έργα και την επιφάνεια του εδάφους. Η μοναδική μέθοδος που εξασφαλίζει σχεδόν απόλυτη σταθερότητα των περιβαλλόντων σχηματισμών είναι η μέθοδος πλήρωσης των δημιουργούμενων κενών με υλικό που αποτελείται από τσιμέντο και αδρανές.

Στα διάφορα μεταλλεία εφαρμοζόταν η μέθοδος εκμετάλλευσης με κατερχόμενες εναλλασσόμενες κοπές και λιθογομώσεις υπό συνθήκες συνήθων διαστάσεων στοάς, ως εξής. Η εξόρυξη του μεταλλεύματος γίνονταν με στοές κατά καθορισμένη σειρά όρυξης και γόμωσής τους, με υλικό αποτελούμενο από τσιμέντο και αδρανές υλικά, που προερχόταν από το εργοστάσιο επεξεργασίας μεταλλευμάτων και διάνοιξη των στοών των υποορόφων κατά κατιούσα φορά. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στον Καναδά, στην Κίνα, στις Η.Π.Α, στη Γερμανία, κ.ά. Βασικά κριτήρια επιλογής της μεθόδου ήταν τα εξής:

- Είναι ασφαλής μέθοδος για περιοχές μέτριας αντοχής του μεταλλεύματος και των περιβαλλόντων αυτό πετρωμάτων
- Πρόσθετο παράγοντα ασφάλειας αποτελεί και το γεγονός ότι η εξόρυξη γίνεται υπό συνθήκες μετώπου στοάς.

- Η μέθοδος εξυπηρετείται με τον εξοπλισμό που ήδη διαθέτετε το μεταλλείο.
- Δεν απαιτεί ιδιαίτερο σχεδιασμό και κυκλώματα αερισμού.
- Δεν επιτρέπει ρωγματώσεις και έχει 100% απόληψη του μεταλλεύματος, με άμεση συνέπεια να μην δημιουργούνται συνθήκες οξείδωσης του θειούχου μεταλλεύματος, οπότε δεν αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες. Επιτρέπει ολική ανάκτηση με την ελάχιστη δυνατή αραίωση.
- Δεν επηρεάζει την επιφάνεια του εδάφους.
- Με τη μέθοδο αυτή μπορούν να ακολουθούνται και να απολαμβάνονται όλοι οι θύλακες (φελόνια) του κοιτάσματος.
- Υπάρχει δυνατότητα σημαντικής ελάττωσης της υποστήριξης σε μικρού μήκους στοές και χρησιμοποίησης ελαφρότερων πλαισίων. Ακόμη είναι δυνατή η μερική ή η ολική απόληψη των υποστηριγμάτων

Οι φάσεις εκμετάλλευσης ενός ορυχείου είναι οι εξής:

- Προσπέλαση: Πρόκειται για το πρώτο στάδιο, κατά το οποίο ανοίγεται διάδρομος πρόσβασης στη φλέβα του πετρώματος.
- Προετοιμασία: Είναι η πρώτη περιχάραξη και διαμόρφωση του ορυχείου, κατά την οποία τοποθετούνται τα δίκτυα (νερού, πεπιεσμένου αέρα και ηλεκτρικού ρεύματος).
- Εξόφληση: Αποτελεί την τρίτη και πλέον αποδοτική φάση της εκμετάλλευσης, κατά την οποία αφαιρείται το πέτρωμα. Στο τέλος της εξόφλησης γίνεται υποχώρηση και αποκατάσταση του περιβάλλοντος. Η εξόφληση μπορεί να γίνει είτε με τη μέθοδο θαλάμων και στυλών, είτε με υποστήλωση με ξένες ύλες. Μπορεί δηλαδή να γίνει αφαίρεση του υλικού αφήνοντας στύλους υποστήριξης από το ίδιο το πέτρωμα ή να δημιουργούνται στύλοι υποστήριξης από υλικά που εισάγονται στο ορυχείο.

Τα βασικά στάδια κατά την εξόρυξη πετρώματος είναι τα ακόλουθα:

- Διάτρηση: Με τη βοήθεια ενός διατρητικού φορείου υπογείων ανοίγονται οπές για την τοποθέτηση των εκρηκτικών.

- **Γόμωση:** Είναι η διαδικασία τοποθέτησης εκρηκτικών στις οπές. Αυτή η διαδικασία γίνεται από εξειδικευμένο προσωπικό.
- **Πυροδότηση:** Είναι η διαδικασία έκρηξης για τη διάρρηξη της συνοχής του πετρώματος. Γίνεται μόνο από εξειδικευμένο προσωπικό και με ιδιαίτερα μέτρα ασφαλείας.
- **Μεταφορά:** Ένας φορτωτής υπογείων απομακρύνει το σπασμένο πέτρωμα, το οποίο γίνεται με τη βοήθεια φορητών στις μεγάλες αποστάσεις.
- **Ξεσκάρωμα:** Είναι η διαδικασία εκούσιας και ελεγχόμενης κατολίσθησης ασταθών τμημάτων της οροφής ώστε να αποφευχθεί ακούσια κάποια κατολίσθηση στο μέλλον. Η διαδικασία αυτή γίνεται με ειδικό φορείο.
- **Υποσύλωση:** Σε παλαιότερα ορυχεία η υποσύλωση γινόταν με τις χαρακτηριστικές ξύλινες ή μεταλλικές κατασκευές. Στα σύγχρονα ορυχεία όμως γίνεται με κοχλίωση της οροφής. Πιο συγκεκριμένα, με τη βοήθεια ειδικού εξοπλισμού τοποθετούνται ειδικοί κοχλίες μεγάλου μήκους και πλέγμα στην οροφή, ώστε να αποφευχθεί πιθανή μελλοντική κατολίσθηση της οροφής.

## 1. Διάτρηση

Η διάτρηση είναι η πρώτη διαδικασία εκμετάλλευσης και συνίσταται στην διάνοιξη οπών για την τοποθέτηση εκρηκτικών. Σκοπός είναι η όρυξη διατρημάτων με γεωμετρική ακρίβεια μέσα στα πετρώματα όπου κατά μήκος αυτών θα τοποθετηθούν εκρηκτικά. Αποτέλεσμα είναι η διάνοιξη στοών και η εξόρυξη πετρωμάτων με την ανατίναξη των εκρηκτικών. Η εξέλιξη της τεχνικής αυτής έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Από τις πρώτες μηχανές διάτρησης που λειτουργούσαν με ατμό, φτάσαμε σήμερα σε αποδεκτά ανεπτυγμένα συστήματα μηχανική διάτρησης τα οποία ανάλογα με τον τρόπο όρυξης χωρίζονται στα εξής συστήματα:

- Κρουστικής διάτρησης
- Περιστροφικής διάτρησης
- Κρουστικοπεριστροφικής διάτρησης

Για τη διάνοιξη στοών ο συνηθισμένος διατρητικός εξοπλισμός είναι:

- Αερόσφυρες: πρόκειται για ελαφρύ διατρητικό εξοπλισμό και χρησιμοποιείται για μικρού μήκους διατρήματα και σε μικρούς χώρους όπου εξαιτίας του μεγέθους άλλες μηχανές δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Το κόστος όρυξης διατρημάτων βέβαια είναι πολύ μεγάλο.

- Σήμερα ένας σύγχρονος τρόπος διάνοιξης στοών είναι με διατρητικά φορεία ή μοναδες διάτρησης τα οποία φέρουν υδραυλικούς βραχίονες εξοπλισμένους με υδραυλικά σφυριά και ονομάζονται jumbo. Ένα τέτοιο φορείο μπορεί να φέρει κρουστική, περιστροφική ή κρουστοπεριστροφική σφύρα.

Ο κρουστοπεριστροφικός τρόπος διάτρησης είναι πλέον ο πιο διαδεδομένος για την όρυξη διατρημάτων. Τα πλεονεκτήματά του είναι:

- Χρησιμοποιείται σε όλα τα είδη πετρωμάτων από το πιο μαλακό στο πιο σκληρό
- Μεγάλη κλίμακα διαμέτρων κοπτικών ακρών
- Χρειάζεται μόνο έναν χρήστη
- Ευέλικτος χειρισμός
- Γρήγορη και εύκολη συντήρηση με χαμηλό κόστος.

Η κρουστοπεριστροφική σφύρα λειτουργεί ως εξής:

- Κρούση: Δημιουργείται από την παλινδρομική κίνηση του πιστονιού η οποία δημιουργεί κρουστικά κύματα που μεταφέρονται στο κοπτικό άκρο, διαμέσου του αρχικού στελέχους και της διατρητικής στήλης.
- Περιστροφή: Με αυτή την κίνηση η διατρητική στήλη γυρίζει έτσι ώστε οι κρούσεις να παράγονται στο πέτρωμα σε διαφορετικές θέσεις.
- Καθαρισμός του διατρήματος με νερό με σκοπό τον καθαρισμό του διατρήματος από τα μικρά τεμάχια πετρώματος.

Η υδραυλική διάτρηση προτιμάται από την πνευματική για τους παρακάτω λόγους:

- Χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας
- Μεγαλύτερο μήκος διατρημάτων



- Καλύτερες συνθήκες για τον εργαζόμενο
- Δυνατότητα κρούσης και περιστροφής ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του πετρώματος
- Δυνατότητα αυτόματης ρύθμισης διάτρησης.

Μετά την κατάλληλη προετοιμασία του εξοπλισμού, ξεκινάει η διάτρηση. Εφόσον η κατεύθυνση μιας στοάς έχει ήδη σημαδευτεί, σύμφωνα με την απαιτούμενη αναφορά στα ζύγια και η κλίση σύμφωνα με τις οδηγίες που δόθηκαν, αρχίζει η όρυξη του πρώτου διατρήματος με αναφορά τη διεύθυνση του μετώπου. Τα υπόλοιπα διατρήματα θα είναι παράλληλα με αυτό.

Κατά το σχέδιο της στοάς διακρίνονται τέσσερις κατηγορίες διατρημάτων:

- Τα διατρήματα προεκσκαφής
- Τα βοηθητικά διατρήματα
- Τα διατρήματα κύριας εκσκαφής
- Τα διατρήματα διαμόρφωσης ή περιφερειακά διατρήματα.

Η εμπειρία δείχνει ότι μια ανατίναξη ήταν επιτυχής όταν:

- Υπάρχει ακρίβεια στη διάτρηση
- Διατρηθούν συστηματικά τα παράλληλα διατρήματα προεκσκαφής που σκοπό έχουν τη δημιουργία μιας ελεύθερης βοηθητικής επιφάνειας η οποία διευκολύνει τις εκρήξεις στα επόμενα διατρήματα.

Οι σημαντικότεροι κίνδυνοι κατά τη διάτρηση αφορούν την ηλεκτροπληξία, κινδύνους από το όχημα ή τα μέρη του και την πτώση πετρωμάτων από την οροφή.

## 2. Γόμωση

Η μέθοδος των εναλλασσομένων κοπών και γομώσεων και οι παραλλαγές της είναι μια διαδικασία εκμετάλλευσης που επιτρέπει τη διαδοχική εξόρυξη του μεταλλεύματος και την τοποθέτηση στα κενά μέτωπα του κοκκώδους μέσου της γόμωσης που συνήθως είναι τα στείρα της εκμετάλλευσης. Ανήκει στις μεθόδους εκμετάλλευσης με τεχνητή υποστήριξη και ενδείκνυται για την

εκμετάλλευση κοιτασμάτων μεγάλης κλίσης με μέτρια έως πολύ ισχυρά περιβάλλοντα πετρώματα και υψηλή περιεκτικότητα του κοιτάσματος σε μέταλλευμα. Δίνει δυνατότητα μεγαλύτερης ευελιξίας σε σχέση με άλλες μεθόδους με κενά μέτωπα, επιτυγχάνει καλύτερη απόληψη και προτιμάται για ακανόνιστο σχήμα κοιτάσματος.

Η γόμωση των διατρημάτων με εκρηκτικά γίνεται από ιδιαίτερα εξειδικευμένο και έμπειρο προσωπικό με σχετική άδεια από τη διεύθυνση. Είναι μια κρίσιμη διαδικασία που αφορά τη σωστή επιλογή και ασφαλή τοποθέτηση των εκρηκτικών ώστε να επιτυγχάνεται το επιθυμητό αποτέλεσμα χωρίς επιπλέον κινδύνους οι σημαντικότεροι κίνδυνοι αφορούν την κακή χρήση εκρηκτικών καθώς και του εξοπλισμού.

Ένας από τους σημαντικότερους κινδύνους τόσο στα υπόγεια όσο και στα επιφανειακά ορυχεία είναι η ακούσια έκρηξη από κακή διαχείριση των εκρηκτικών. Γι αυτό το λόγο ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο έλεγχος πριν τη χρήση, τόσο για τα εκρηκτικά όσο και για τα καψύλλια, τα οποία πρέπει να εξάγονται από τη συσκευασία μόνο λίγο πριν τη χρήση.

Ο χειρισμός των καψυλλίων και γενικά των εκρηκτικών πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή και να αποφεύγεται η χρήση αιχμηρών εργαλείων. Κατά τη γόμωση όπου χρησιμοποιούνται διαδοχικά φυσίγγια με μια οπή πρέπει να αποφεύγονται τα κενά μεταξύ τους. Το πρόβλημα αυτό λύνεται με τη χρήση τακαδόρου, ο οποίος πρέπει να έχει το κατάλληλο μήκος και να είναι από αντιστατικό υλικό (π.χ χαλκός) ώστε να μην δημιουργεί σπινθήρες.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως γόμωση μεταλλείων είναι τεσσάρων τύπων: απιλυμένα απορρίμματα εμπλουτισμού, φυσικές άμμοι, αδρόκοκκα θραυστά αδρανή και τσιμεντικά μέσα. Μολονότι η αμμογόμωση ήταν για πολλά έτη το πιο κοινό υλικό, πρόσφατα χρησιμοποιείται ευρέως γόμωση πολτού, λόγω της πιο οικονομικής χρήσης τσιμεντικών μέσων, της διάθεσης ενός μεγαλύτερου μέρους από τα εξορυγμένα απορρίμματα στα υπόγεια κενά και των πιο ομοιογενών ιδιοτήτων της. Για τη διοχέτευση του υλικού, στα περισσότερα μεταλλεία που εφαρμόζουν μεθόδους εκμετάλλευσης με

γόμωση, χρησιμοποιείται η υδραυλική μεταφορά , η οποία εφαρμόζεται αποκλειστικά στη μέθοδο Undercut and Fill και Drift and Fill.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα της είναι ότι απαιτεί μεγάλες επενδύσεις κεφαλαίων, δεδομένου ότι εξυπηρετείται από κεντρικές και όχι τοπικές εγκαταστάσεις, και ότι δημιουργείται πρόβλημα ιλύος και νερών που προέρχονται από τον πολφό. Τα πλεονεκτήματα της είναι ότι: (α) μειώνεται η παραγωγή κονιορτού και η ατμόσφαιρα του μεταλλείου γίνεται περισσότερο υγιεινή, (β) ελαττώνεται ο κίνδυνος πυρκαγιών, (γ) επιτυγχάνονται παροχές ασυγκρίτως μεγαλύτερες απ' αυτές που επιτυγχάνονται με οποιαδήποτε άλλη μέθοδο, (δ) πραγματοποιείται η καλύτερη και μεγαλύτερη δυνατή πλήρωση των κενών, που επιδρά άμεσα στην ανακατανομή των πιέσεων, στον περιορισμό των διαταραχών της επιφανείας και εν γένει βελτιώνει την ασφάλεια, (ε) η φάση της λιθογόμωσης καθίσταται μία τελείως ανεξάρτητη εργασία, με δικό της δίκτυο και δεν απαιτεί τη συνδρομή μηχανολογικού εξοπλισμού υπογείων. Για την τοποθέτηση της γόμωσης μία νεότερη μέθοδος είναι αυτή με χρήση ειδικού εξοπλισμού. «slinger belt stowing machines».

Η γόμωση πρέπει να γίνεται με ειδικό ανυψωτικό καλαθοφόρο όχημα και να αποφεύγεται η χρήση φορητών κλιμάκων (σκάλες). Εάν αυτό δεν είναι πάντοτε εφικτό οι σκάλες να είναι σε άριστη κατάσταση και καθαρές και το προσωπικό άρτια εκπαιδευμένο.

Για τη γόμωση των διατρημάτων χρησιμοποιείται συνδυασμός φυσίγγιου ζελατινοδυναμίτιδας και πετρελαιοαμμωνίτη (ANFO). Τα φυσίγγια, που θα χρησιμοποιηθούν έχουν περιεκτικότητα 30% κ.β σε νιτρογλυκερίνη (NGL) και έχουν διαστάσεις 38×380 mm (μήκος 38cm και διάμετρο 3,8 cm). Με τη χρήση ειδικού εργαλείου καθαρίζεται το εσωτερικό του διατρήματος και εν συνεχεία αρχίζει η γόμωση. Στο βάθος της οπής τοποθετείται το πρώτο φυσίγγιο ζελατινοδυναμίτιδας, που στο άκρο του έχει τοποθετημένο το ηλεκτρικό καψύλλιο.

Στη συνέχεια με τη βοήθεια ξύλινης ράβδου, που καταλήγει σε κοφτερή άκρη από το ίδιο υλικό ή από μπρούτζο (τακαδόρος) τοποθετούνται ένα ένα τα επόμενα φυσίγγια ζελατινοδυναμίτιδας και έπειτα το χύμα ANFO, που

συμπιέζεται στην οπή πνευματικά με χρήση ANFO. Το διάτρημα γομώνεται μέχρι περίπου 1m από την επιφάνεια του μετώπου. Κατά τη γόμωση θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε ο αγωγός του ηλεκτρικού καψυλλίου να ακολουθεί τη διαδρομή της οπής.

Τα καψύλλια, που χρησιμοποιούνται είναι ηλεκτρικά καψύλλια με επιβράδυνση χρόνου. Το ηλεκτρικό καψύλλιο αποτελείται από ένα μικρό κάλυκα από αλουμίνιο διαμέτρου 6,5mm και μήκους 4cm -5cm εντός του οποίου βρίσκονται σε σειρά 4 διαφορετικές χημικές ουσίες ή μίγματα χημικών ουσιών.

Τα εκρηκτικά καψύλλια επιβράδυνσης κατασκευάζονται σε δύο τύπους ανάλογα με την ακρίβειά τους και το χρόνο επιβράδυνσης. Οι δύο τύποι των καψυλλίων, οι οποίοι φαίνονται και στην εικόνα 6.8, είναι ο MS (millisecond) και ο LP ή HS (Longperiod ή Halfsecond).

- καψύλλια συνήθους επιβράδυνσης HS (Longperiod ή Halfsecond): αριθμούνται συνήθως από το 0, και η επιβράδυνση μεταξύ 2 καψυλλίων είναι 0.5 sec
- καψύλλια επιβράδυνσης μικροχρόνου MS (millisecond): αριθμούνται από το 0 (πχ από 0 έως 18) ή από το 1 (αναλόγως τον κατασκευαστή) και η επιβράδυνση μεταξύ των καψυλλίων είναι συνήθως 25 ms, για τους χαμηλούς αριθμούς (δηλ. για επιβράδυνση 0 -8), αλλά αυξάνει στους μεγαλύτερους αριθμούς (πχ. 50 ms για καψύλλια επιβράδυνσης 9-14, 100 ms για 15 -18). Οι επιβραδύνσεις μιας σειράς καψυλλίων διαφέρουν από κατασκευαστή σε κατασκευαστή.

### 3. Πυροδότηση

Η πυροδότηση είναι μια ακόμα πιο κρίσιμη διαδικασία, καθώς αφορά την ίδια την έναυση των εκρηκτικών. Πρόκειται για μια σύντομη σχετικά διαδικασία η οποία προϋποθέτει καλή προετοιμασία και επαρκή χρόνο ασφαλείας μετά. Για αυτό το λόγο η διαδικασία αυτή γίνεται ανάμεσα στις αλλαγές βάρδιας, ώστε να γίνεται σωστή εκμετάλλευση του νεκρού χρόνου.

Η διαδικασία πρέπει να γίνεται με οπισθοχώρηση, ξεκινώντας από την πιο προχωρημένη θέση στο μέτωπο και κινούμενοι προς τα πίσω, απενεργοποιώντας διαδοχικά τα μέτρα ασφαλείας που έχουν ληφθεί, ώστε να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα εγκλωβισμού.

Η πυροδότηση πρέπει να γίνεται αφού εξασφαλιστεί ότι όλοι οι εργαζόμενοι έχουν ειδοποιηθεί και απομακρυνθεί από την επικίνδυνη ζώνη. Μετά την έκρηξη πρέπει να μεσολαβήσει χρόνος 5 έως 30 λεπτά μέχρι την είσοδο ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος από τα αέρια που προκαλεί η έκρηξη. Όπου έχει χρησιμοποιηθεί θρυσάλλίδα ασφαλείας, κανείς δεν επιστρέφει πριν περάσουν 30 λεπτά από την στιγμή που ακούστηκε η τελευταία πυροδότηση. Επιπλέον, πρέπει να απομακρυνθούν όλα τα μηχανήματα.

Ο τρόπος πυροδότησης, που επιλέγεται είναι η ηλεκτρική πυροδότηση. Με αυτού του τύπου την πυροδότηση επιτυγχάνεται η πυροδότηση πολλών υπονόμων από ασφαλή απόσταση με ένα μόνο χειρισμό της πηγής ενέργειας.

Για την ηλεκτρική πυροδότηση, η συσκευή πρέπει να κλειδώνει και κλειδί να έχει αυστηρά ο υπεύθυνος. Οι αγωγοί πυροδότησης πρέπει να έχουν ισχυρή μόνωση και να μην αναρτώνται πάνω σε μεταλλικά δίκτυα και ηλεκτρικά καλώδια. Μέχρι την τελική σύνδεση, τα καλώδια πρέπει να είναι βραχυκυκλωμένα. Μετά το τέλος της γόμωσης, ακολουθεί η σύνδεση των καψυλλίων μεταξύ τους, καθώς και με τους αγωγούς πυροδότησης.

Για την πυροδότηση χρησιμοποιούνται ειδικές συσκευές –γεννήτριες στρεφόμενου τύπου. Στον τύπο αυτό με την κατάλληλη περιστροφή της χειρολαβής παράγεται ρεύμα από μικρή γεννήτρια συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος, που διοχετεύεται προς τη γραμμή πυροδότησης μόνο στο τέλος της περιστροφής. Όσο ταχύτερη είναι η περιστροφή τόσο περισσότερο είναι το ρεύμα που παράγεται. Η παρεχόμενη ενέργεια από αυτές τις μηχανές κυμαίνεται μεταξύ 1 –6 J.

Πριν την πυροδότηση πρέπει να ελέγχεται το κύκλωμα των καψυλλίων, να συνδέονται οι αγωγοί με τα δυο άκρα και να κλείνονται οι ρευματολήπτες

μέχρι τη θέση ωμομέτρησης και πυροδότησης. Πρέπει να μετράται η αντίσταση των καψυλλίων και του κυκλώματος με Γαλβανόμετρο.

Ο γομωτής μετά τον έλεγχο του κυκλώματος και εφόσον βέβαια βεβαιωθεί ότι έχουν παρθεί όλα τα μέτρα για την απαγόρευση διόδου εκτελεί πυροδότηση από θέση ασφαλείας. Σε περίπτωση πυροδότησης με θρυαλίδα θα πρέπει να γίνεται έναυση με ειδική συσκευή πυροδότησης και όχι με αναμμένο χαρτί ή σπίρτα. Δυο άτομα θα πρέπει να μετράνε τον αριθμό των εκρήξεων, ώστε να εξασφαλίσουν ότι έχουν εκραγεί όλες οι γομώσεις.

Για την κατασκευή του κυκλώματος πυροδότησης χρησιμοποιούνται χάλκινοι μονόκλωνοι αγωγοί με μόνωση από πλαστικό υλικό. Όλες οι ενώσεις του κυκλώματος θα πρέπει να γίνονται με ιδιαίτερη προσοχή. Όταν γίνεται η σύνδεση των αγωγών των καψυλλίων με τον αγωγό κατασκευής του κυκλώματος, τότε οι πρώτοι απογυμνώνονται από την γόμωση τους σε μήκος 8 -10 cm και στη συνέχεια περιτυλίγονται σφιχτά σε μήκος 2 -3 cm επί του αγωγού κατασκευής του κυκλώματος, από τον οποίο έχει απομακρυνθεί η μόνωση.

(<https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/41590/%CE%94%CE%B9%CF%80%CE%BB%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%B7.pdf?sequence=1&isAllowed=y>)

#### 4. Ξεσκάρωμα

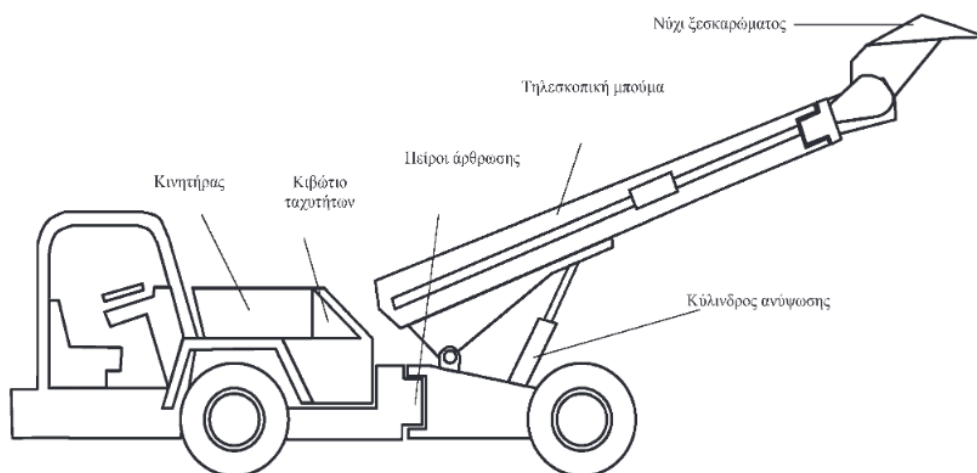
Η φάση αυτή γίνεται πάντοτε μετά την έκρηξη για τη διάνοιξη της στοάς, αλλά μπορεί να επαναληφθεί σε κάθε περίπτωση που υπάρχει υποψία ότι μπορεί αν υπάρχει υποψία ότι μπορεί να υπάρχουν ασταθή υπερκείμενα τμήματα. Το ξεσκάρωμα έχει ιδιαίτερη σημασία σε λιγότερο ευσταθή πετρώματα ή όπου χρησιμοποιούνται εκρήξεις, οπότε και είναι πιο πιθανό να υπάρχει κίνδυνος αποκόλλησης και πτώσης υλικού από την οροφή.

Μέχρι πριν μια δεκαετία το ξεσκάρωμα γινόταν χειρωνακτικά από εργαζομένους με εργαλεία μεγάλου μήκους με τα οποία χτυπούσαν την

οροφή. Σήμερα γίνεται κυρίως μέσω ειδικού οχήματος, το οποίο λέγεται ξεσκαρωτής, με «νύχι» ή με «σφυρί», αλλά συνεχίζει να χρησιμοποιείται τόσο επικουρικά, όσο και κανονικά σε ορισμένες έκτακτες περιπτώσεις και το χειρωνακτικό ξεσκάρωμα λόγω αμεσότητας του.

Σύμφωνα με το μεταλλευτικό κανονισμό το ξεσκάρωμα πρέπει να γίνεται σε κάθε βάρδια πριν από την είσοδο των εργαζομένων και με επίβλεψη επιστάτη.

Ο εργοδηγός μαζί με το χειριστή του ξεσκαρωτή παρατηρούν την οροφή και τα τοιχώματα του μετώπου για να δουν σε ποια σημεία το πέτρωμα είναι «χαλαρό», είναι δηλαδή έτοιμο να πέσει. Έπειτα, αυτά τα κομμάτια του πετρώματος τα ξεσκαρώνουν. Αυτή είναι η πρώτη και αναγκαία δουλειά πριν την έναρξη της αποκομιδής και μεταφοράς του εξορυχθέντος πετρώματος, καθώς ο κίνδυνος ατυχήματος από την πτώση τους είναι πάρα πολύ μεγάλος.



Το ξεσκάρωμα σαν διαδικασία είναι αρκετά σύντομο και δεν διαρκεί πάνω από μισή ώρα κατά τη διάρκεια μίας βάρδιας. Κατά τη διάρκεια της εξόρυξης θα χρειαστούν δύο τέτοιοι ξεσκαρωτές και δύο πλατφόρμες, παρ' όλο που ο χρόνος λειτουργίας τους δεν είναι μεγάλος κατά τη διάρκεια μιας βάρδιας, ο ρόλος τους είναι βασικός και δεν μπορείς να υποκατασταθεί αντάξια από κάποιο άλλο μηχάνημα σε περίπτωση βλάβης τους.

## 5. Υποστήριξη

Μόλις εμφανισθεί γερό “ταβάνι” το ξεσκάρωμα τελειώνει και ακολουθεί η διαδικασία της υποστήριξης. Πρωταρχικός ρόλος της υποστήριξης, είναι τόσο η προστασία των εργαζομένων όσο και των μηχανημάτων από τυχόν πτώσεις της οροφής και δευτερεύοντας ρόλος αλλά εξίσου σημαντικός, είναι να προστατευτεί η ποιότητα του μεταλλεύματος ώστε να μην μολύνεται από τις πτώσεις στείρων από την οροφή, εφόσον βρίσκεται σε μέτωπο όπου ακολουθείται η επαφή με τον υπερκείμενο ασβεστόλιθο. Η μέθοδος εκμετάλλευσης των θαλάμων και στύλων μας οδηγεί στο να επιλέξουμε σαν γενική μέθοδο υποστήριξης την κοχλίωση οροφής (roof bolting). Η μέθοδος υποστήριξης αυτή είναι δοκιμασμένη και έχει αποδειχτεί ότι είναι ασφαλής σε όμοιου τύπου σχηματισμούς.

Οι τύποι των κοχλιών κατατάσσονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Στους κοχλίες σημειακής αγκύρωσης
- Στους κοχλίες κατανεμημένης αγκύρωσης με ή χωρίς συγκολλητικές ύλες (ρητίνη, τσιμέντο).

Τέλος, η τοποθέτηση των κοχλιών γίνεται συνήθως με το ελαστικοφόρο και ντιζελοκίνητο διατρητικό φορείο κοχλίωσης, που φέρει κινητήρα 55HP, έχει μία μπούμα και διατρητικό στέλεχος 4m με κοπτικό άκρο (κορώνα) 41mm. Κατά τη διάρκεια της εξόρυξης θα χρειαστούν δύο τέτοια διατρητικά φορεία, καθώς και εδώ παρά τη μικρή χρονική συμμετοχή τους στο ωράριο μιας βάρδιας, σε περίπτωση βλάβης, οι εργασίες στο μεταλλείο παγώνουν αφού δεν υπάρχει μηχανήμα που μπορεί να τα υποκαταστήσει.

## 6. Φόρτωση – Μεταφορά

Η φόρτωση του μεταλλεύματος που θα παράγεται από κάθε ανατίναξη θα γίνεται με τη χρήση ντιζελοκίνητου φορτωτή με κινητήρα ισχύος 231 HP. Ο φορτωτής αυτός έχει κάδο 4,5 m<sup>3</sup> και μπορεί να μπαίνει σε στοές μικρότερες από 5m x 5m. Κατά τη διάρκεια της εξόρυξης θα χρειαστούν δύο τέτοιοι φορτωτές.



Για τη μεταφορά των εξορυσσόμενων προϊόντων χρησιμοποιούνται φορηγά υπογείων χωρητικότητας 13 m<sup>3</sup> και ιπποδύναμης 277HP συνήθως. Όλος ο μηχανολογικός εξοπλισμός που προαναφέρθηκε και χρησιμοποιείται, χωρίζεται σε δύο ομάδες. Αυτό σημαίνει ότι σε μία βάρδια που αποτελείται από δύο ομάδες εργαζομένων, κάθε ομάδα θα έχει στη διάθεσή της από ένα διατρητικό φορείο, ένα κοχλιωτικό, έναν ξεσκαρωτή, μία πλατφόρμα, ένα φορτωτή και τα φορηγά υπογείων.

([https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3467/3/02\\_chapter\\_12.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3467/3/02_chapter_12.pdf))

## Μεταλλευτική έρευνα

Η μεταλλευτική έρευνα, ξεκινά με την αναζήτηση ενδιαφερόντων γεωλογικών σχηματισμών (πετρωμάτων) που πιθανώς περιέχουν κάποιο οικονομικά εκμεταλλεύσιμο ορυκτό. Για πολλούς αιώνες, η αναζήτηση γίνονταν με απλή παρατήρηση, στο πεδίο ή στον γεωλογικό χάρτη, πετρωμάτων που μοιάζουν να είναι κοιτάσματα ή που μοιάζουν να κρύβουν κάποιο κοιτάσμα. Σήμερα, η αναζήτηση γίνεται με σύγχρονες γεωφυσικές μεθόδους, δηλ. με την εξέταση ανωμαλιών σε φυσικές ιδιότητες γεωλογικών σωμάτων, όπως π.χ. παράξενες μεταβολές στο βαρυτικό πεδίο της γης, στο γεωμαγνητικό πεδίο της γης, στην ηλεκτρική αντίσταση των πετρωμάτων, στην ταχύτητα διάδοσης σεισμικών κυμάτων, κ.λπ. Η γεωφυσική έρευνα γίνεται με μέσα όπως αεροπλάνα, ελικόπτερα, ειδικά γεωτρύπανα, ελεγχόμενες εκρήξεις και σειсмоγράφους. Η γεωφυσική έρευνα συμπληρώνεται από την γεωχημική έρευνα κατά την οποία αναζητούνται ανωμαλίες στην συγκέντρωση και κατανομή ιχνοστοιχείων στα εδάφη και τα νερά.

Η μεταλλευτική έρευνα μεγαλώνει σε έκταση και ένταση όταν βρεθεί ένας ενδιαφέρον γεωλογικός σχηματισμός. Κατά την φάση αυτή, γίνονται γεωτρήσεις για την λήψη δειγμάτων και την αποτίμηση των *αποθεμάτων*. Οι γεωτρήσεις γίνονται με ειδικά γεωτρύπανα που είναι κατάλληλα για συγκεκριμένη κατηγορία κοιτασμάτων. Π.χ. άλλα γεωτρύπανα χρησιμοποιούνται για την έρευνα σε σκληρά πετρώματα και άλλα γεωτρύπανα χρησιμοποιούνται για την έρευνα σε προσχωματικά κοιτάσματα. Οι γεωτρήσεις γίνονται σε συγκεκριμένο χωρικό πλαίσιο έτσι ώστε η δειγματοληψία να είναι όσο το δυνατό πιο ομοιόμορφη. Δείγματα επίσης λαμβάνονται και με όρυξη αυλάκων, στοών, κ.λπ.

Τα δείγματα, που συχνά έχουν κυλινδρική μορφή και αποκαλούνται «καρότα», αναλύονται για να γίνει η εκτίμηση των αποθεμάτων του κοιτάσματος. Ειδικές μέθοδοι γεωστατιστικής επιτρέπουν την εκτίμηση της χωρικής κατανομής των αποθεμάτων. Ανάλογα με το στατιστικό σφάλμα της εκτίμησης, τα αποθέματα ταξινομούνται σε *βέβαια, πιθανά, ενδεικτικά*, κ.λπ. Με βάση τα εκτιμηθέντα αποθέματα, γίνεται *μελέτη σκοπιμότητας*, που περιλαμβάνει προκαταρκτική τεχνική ανάλυση για τον τρόπο και τον χρόνο της εξόρυξης, εκτίμηση της

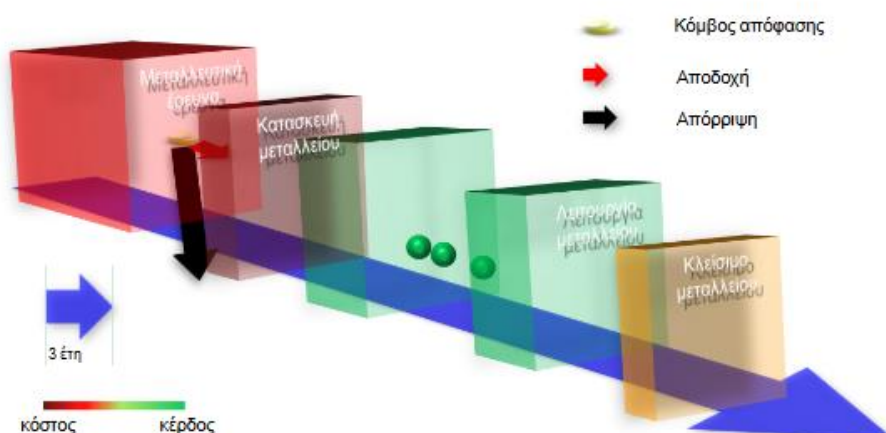
οικονομικής απόδοσης της εξόρυξης και μία πρώτη αποτίμηση του επιχειρηματικού κινδύνου.

### Χαρακτηριστικά της μεταλλευτικής έρευνας

Όπως έχουμε δει στα προηγούμενα, η μεταλλευτική έρευνα βρίσκεται στην αρχή του κύκλου ζωής ενός κοιτάσματος, τα διάφορα στάδια του οποίου μπορούν να συνοψιστούν εν συντομία ως εξής:

1. Μεταλλευτική έρευνα: η ανακάλυψη ενός κοιτάσματος.
2. Μελέτη σκοπιμότητας: η απόδειξη της εμπορικής βιωσιμότητας του κοιτάσματος.
3. Ανάπτυξη του μεταλλείου: δημιουργία του συνόλου της υποδομής.
4. Εκμετάλλευση: εξόρυξη του μεταλλεύματος από το έδαφος.
5. Επεξεργασία του μεταλλεύματος: ο εμπλουτισμός του μεταλλεύματος, ο διαχωρισμός του δηλαδή από τα στείρα υλικά και η μετατροπή του σε συμπυκνώματα, π.χ. συμπύκνωμα χαλκού. Στην περίπτωση των βιομηχανικών ορυκτών, ο εμπλουτισμός μπορεί να οδηγήσει και στην ανάπτυξη των τελικών προϊόντων.
6. Μεταλλουργία: ανάκτηση μετάλλων από τα ορυκτά συμπυκνώματα.
7. Εμπορία: αποστολή του προϊόντος (ή του μεταλλικού συμπυκνώματος, εάν δεν έχει υπάρξει περαιτέρω επεξεργασία) στον αγοραστή, π.χ. μεταλλουργία, κατασκευαστής
8. Κλείσιμο: προτού ένα μεταλλείο φτάσει στο τέλος της ζωής του, πρέπει να υπάρχει ένα σχέδιο διαχείρισης του κλεισίματος που να περιγράφει με λεπτομέρειες το κόστος και τις προτεινόμενες στρατηγικές κλεισίματος. Σημαντικές δαπάνες θα μπορούσαν να προκύψουν από τον καθαρισμό και την αποκατάσταση των χώρων εξόρυξης και επεξεργασίας, το κόστος της αποζημίωσης των εργαζομένων, καθώς και των κοινωνικών επιπτώσεων.

Τα στάδια του κύκλου ζωής ενός κοιτάσματος παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 5: Κύκλος ζωής κοιτάσματος

Τα κύρια χαρακτηριστικά της μεταλλευτικής έρευνας είναι τα εξής:

1. Ο χρόνος που δαπανάται
2. Οι μεγάλες δαπάνες που απαιτούνται.
3. Το έμπειρο και εξειδικευμένο προσωπικό.\
4. Ο μεγάλος κίνδυνος που ενέχει η διαδικασία αυτή.

#### Διαδικασία της μεταλλευτικής έρευνας

Όπως ήδη έχει διαφανεί, η μεταλλευτική έρευνα είναι μια πολυφασική διαδικασία που στοχεύει στον εντοπισμό οικονομικά εκμεταλλεύσιμων κοιτασμάτων. Μετά το τέλος κάθε φάσης ακολουθεί απόφαση για συνέχιση ή όχι, ώστε να περιορίζεται ο κίνδυνος άσκοπων δαπανών.

Στο πρώτο στάδιο, αυτό της Προσέγγισης του Αντικειμένου, καθορίζεται το αντικείμενο της έρευνας και επιλέγεται η ευρύτερη ερευνητέα περιοχή. Το στάδιο αυτό μπορεί να ξεκινήσει με τη μελέτη της βιβλιογραφίας, την έρευνα και ανασκόπηση των διαθέσιμων στοιχείων Τηλεπισκόπησης, Φωτογεωλογίας και Στρωματογραφίας, αλλά και την επιτόπου ανίχνευση. Περιλαμβάνει την επιλογή των πιθανών στόχων, τη μελέτη της ζήτησης και της προσφοράς καθώς και της εξέλιξης των τιμών των βασικών προϊόντων, τις διαθέσιμες αγορές, το κόστος των ερευνών και την κατάρτιση ενός

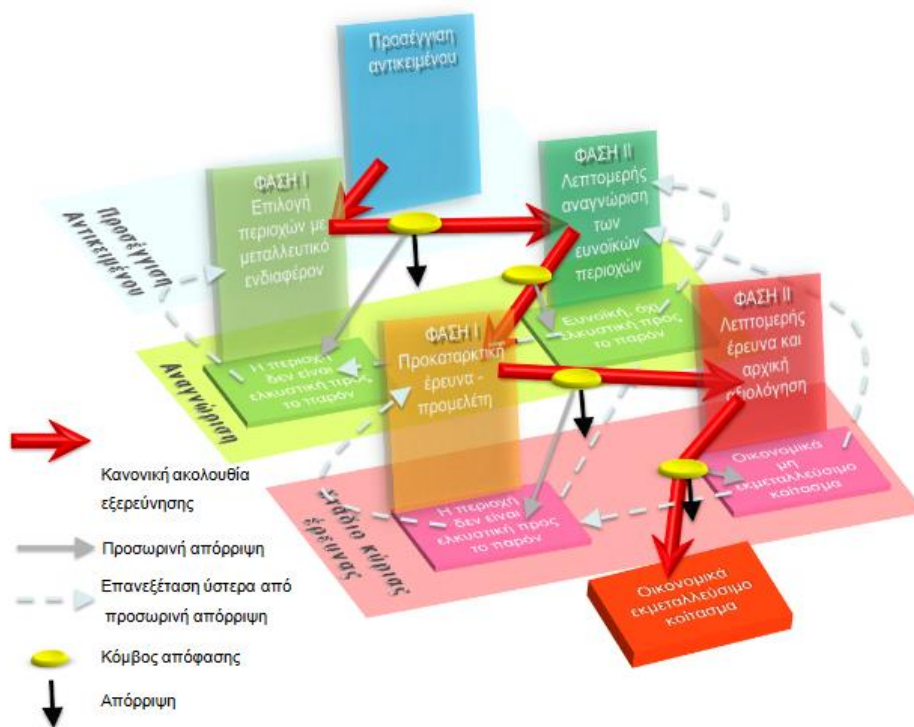
πρώιμου προϋπολογισμού. Ενθαρρυντικά αποτελέσματα οδηγούν στη συνέχιση της έρευνας και στο πέρασμα στο στάδιο της Αναζήτησης.

Το στάδιο της Αναζήτησης περιλαμβάνει δύο φάσεις. Η πρώτη φάση (Αναζήτηση I – Αναγνώριση) σχετίζεται με την Έρευνα των Σημείων Ενδιαφέροντος. Στόχος της φάσης αυτής είναι ο ειδικότερος προσδιορισμός μικρότερων περιοχών που έχουν μεταλλευτικό ενδιαφέρον. Η έρευνα γίνεται πολυπλοκότερη με τη συμμετοχή μεθόδων γεωλογίας, γεωφυσικής από αέρος και εδάφους, γεωχημείας κ.ά. Τα κριτήρια είναι κυρίως γεωλογικά, γεωφυσικά και γεωχημικά, και μπορεί να περιλαμβάνουν περιορισμένο αριθμόγεωτρήσεων.

Η δεύτερη φάση (Αναζήτηση II) αφορά τον Έλεγχο Σημείων Ενδιαφέροντος. Το αντικείμενο εδώ είναι ο εντοπισμός της μεταλλοφορίας. Η έρευνα περιλαμβάνει, εκτός από γεωφυσική, χαρτογράφηση και γεωχημεία, τη διενέργεια επιπλέον μεταλλευτικών έργων (εκσκαφές, γεωτρήσεις) και δειγματοληψίας. Γίνεται η πρώτη εκτίμηση της μέσης ποιότητας και της μεταβλητότητας και υπολογίζεται το ακριβές κόστος της περαιτέρω έρευνας. Αν η δεύτερη φάση είναι επιτυχής, οδηγεί στη μελέτη της έκτασης του κοιτάσματος, από την οποία θα διαπιστωθεί η βιωσιμότητα του έργου και θα δικαιολογηθεί το κόστος σύνταξης της μελέτης σκοπιμότητας.

Ακολουθεί το επόμενο στάδιο της Κύριας Έρευνας. Η πρώτη φάση αυτού του σταδίου αποκαλείται Προκαταρκτική Έρευνα ή Προμελέτη και περιλαμβάνει την αναγνώριση της μεταλλοφορίας. Στόχος της Προμελέτης είναι η λήψη λεπτομερέστερων στοιχείων που θα οδηγήσουν στον υπολογισμό των αποθεμάτων και της ποιότητάς τους με σύγχρονες μεθόδους όπως η γεωστατιστική. Ακόμη, γίνεται λήψη επιπλέον δεδομένων για τη διερεύνηση των υπόλοιπων χαρακτηριστικών του κοιτάσματος τα οποία θα επηρεάσουν την εκμετάλλευση. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στο στάδιο αυτό είναι κυρίως γεωτρήσεις δειγματοληψίας, πιθανώς δε και αβαθή φρέατα ή περιορισμένης κλίμακας μεταλλευτικά έργα. Το τελικό παραδοτέο της φάσης αυτής είναι η οικονομοτεχνική μελέτη της σχεδιαζόμενης επένδυσης, όπου αξιολογούνται όλες οι επιλογές και οι δυνατοί συνδυασμοί τεχνικών και επιχειρηματικών θεμάτων.

Η δεύτερη φάση του σταδίου της Κύριας Έρευνας είναι η Λεπτομερής Έρευνα. Ο στόχος της φάσης αυτής είναι η λήψη λεπτομερέστερων στοιχείων που αφορούν τόσο την εκτίμηση των αποθεμάτων, όσο και των υπόλοιπων παραμέτρων που χαρακτηρίζουν την επένδυση. Για τη συγκέντρωση αυτών των δεδομένων συνεχίζονται οι γεωτρήσεις και οι ορυκτολογικές αναλύσεις των δειγμάτων, γίνονται όμως επιπλέον έργα και δοκιμές ημιβιομηχανικής κλίμακας. Τα έργα αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν από δοκιμές εμπλουτισμού σε ημιβιομηχανική κλίμακα μέχρι μεταλλουργικές δοκιμές και πιθανώς δοκιμαστική εκμετάλλευση. Το τελικό παραδοτέο της φάσης είναι η μελέτη σκοπιμότητας, η οποία επιβεβαιώνει και μεγιστοποιεί την αξία των τεχνικών και επιχειρηματικών επιλογών που προσδιορίστηκαν στο στάδιο της προμελέτης.



Εικόνα 6: Λεπτομερής έρευνα μεταλλεύματος

Όπως είδαμε μέχρι τώρα, η μεταλλευτική έρευνα είναι μια κατεξοχήν δαπανηρή διαδικασία με αυξημένο βαθμό επικινδυνότητας. Ο παρακάτω

Φάσεις	Ενδείξεις ή κοιτάσματα	Κατανομή δαπανών
Έρευνα σημείων ενδιαφέροντος		15%
Έλεγχος σημείων ενδιαφέροντος	125	18%
Αναγνώριση μεταλλοφορίας	5	27%
Εκτίμηση κοιτάσματος	1	40%
Σύνολο		100%

πίνακας

δείχνει τα ποσοστά συμμετοχής κάθε φάσης στις δαπάνες ερευνών και τον συνεπαγόμενο κίνδυνο. Ο αυξημένος βαθμός επικινδυνότητας και οι υψηλές δαπάνες επιβάλλουν σοβαρή μελέτη όλων των παραμέτρων, πριν αρχίσει η εκτέλεση του προγράμματος ερευνών. Σημειώνουμε για παράδειγμα: Οι γεωλογικές εκτιμήσεις πρέπει να έχουν μεγάλο βαθμό βεβαιότητας. Η έρευνα ξεκινά με το γεωλογικό μοντέλο του προσδοκώμενου κοιτάσματος, το οποίο προδιαγράφει τους κύριους ερευνητικούς άξονες. Κάθε φάση έρευνας επιβεβαιώνει τις εκτιμήσεις του μοντέλου ή το διορθώνει στην κατεύθυνση της βελτιστοποίησης της πληροφορίας. Όσο πιο λεπτομερειακό είναι το μοντέλο, τόσο μικρότερο βαθμό αβεβαιότητας εμπεριέχει και τόσο λιγότερες διορθώσεις χρειάζεται στην πορεία των ερευνών, με αποτέλεσμα τη μείωση των δαπανών.

Επιπλέον, είναι σημαντικό να κατανοηθεί από όλες τις πλευρές ότι η μακρά περίοδος ερευνών δεν πρέπει να απειλεί την προοπτική του κέρδους. Η μακροχρόνια έρευνα είναι φυσικό να συνεπάγεται μεγαλύτερες δαπάνες και ανατιμήσεις των έργων και υλικών. Επίσης, η οικονομικότητα ενός κοιτάσματος εξαρτάται πάρα πολύ από την τιμή του μεταλλεύματος στη διεθνή αγορά. Οι έντονες διακυμάνσεις των τιμών των πρώτων υλών δεν επιτρέπουν μεγάλη βεβαιότητα στις προβλέψεις, ιδιαίτερα αν οι τελευταίες αφορούν χρονικό ορίζοντα 5 έως 7 ετών.

Τέλος, η τεκμηριωμένη εκτίμηση των πιθανοτήτων για όλες τις παραμέτρους της σχεδιαζόμενης επένδυσης είναι εξαιρετικά σημαντική. Η μηχανική μεταφορά πιθανοτήτων ολόκληρης της μεταλλογενετικής επαρχίας σε επιμέρους κοιτάσματα πρέπει να αποφεύγεται. Πολλοί παράγοντες επιδρούν σε μακρές περιόδους μεταλλογένεσης, με αποτέλεσμα έντονη διαφοροποίηση των περιοχών μέσα στην ίδια Κανονική ακολουθία εξερεύνησης Επανεξέταση ύστερα από προσωρινή απόρριψη Κόμβος απόφασης Απόρριψη Προσωρινή απόρριψη μεταλλογενετική επαρχία. Η ύπαρξη κοιτασμάτων πετρελαίου στην Αλβανία δεν είναι σίγουρο ότι εξασφαλίζει την ύπαρξη παρόμοιων κοιτασμάτων στη Δυτική Ελλάδα, παρόλο που οι δύο αυτές περιοχές ανήκουν στην ίδια μεταλλογενετική επαρχία. Συνεπώς, απαιτείται συνεχής οικονομική

παρακολούθηση της πορείας της έρευνας και επεξεργασία των στοιχείων με στοχαστικές μεθόδους, όπως θα δούμε και στα επόμενα κεφάλαια, οι οποίες επιτρέπουν την αφομοίωση της αβεβαιότητας και την ενσωμάτωσή της στα οικονομικά μεγέθη της σχεδιαζόμενης επένδυσης.



## Εξόρυξη μεταλλευμάτων και εξοπλισμός

Η εξόρυξη πρωτοστάτησε στον δρόμο για την ανάπτυξη πλήρως αυτόνομων οχημάτων λόγω της λειτουργικής αποτελεσματικότητας που προσφέρει. Ακόμη και η μικρότερη βελτίωση μπορεί να επιφέρει μεγάλες εξοικονομήσεις σε μια επιχείρηση εξόρυξης. Οι OEM όπως η Caterpillar, η Komatsu και η Volvo αναπτύσσουν και δοκιμάζουν αυτόνομες τεχνολογίες οχημάτων για αρκετά χρόνια, συμπεριλαμβανομένων τόσο ημι- όσο και πλήρως αυτόνομων μηχανών.

Η εξόρυξη των μεταλλευμάτων πραγματοποιείται είτε με υπόγειες μεθόδους εξόρυξης είτε με επιφανειακή εκμετάλλευση, συνήθως με την μέθοδο ορθών βαθμίδων με ανοικτή ή κλειστή εκσκαφή. Η εξόρυξη διενεργείται με τη χρήση εκρηκτικών υλών σύμφωνα με τον κύκλο εργασίας: όρυξη και γόμωση διατρημάτων, πυροδότηση και εν συνεχεία φόρτωση-μεταφορά του εξ ορυγμένου υλικού.

Όλες οι δραστηριότητες είναι πλέον εντόνως μηχανοποιημένες και αυτοματοποιημένες, ενώ ο χειρισμός των μηχανημάτων γίνεται από εξειδικευμένο προσωπικό. Η φόρτωση του εξ ορυγμένου υλικού γίνεται με τη χρήση κατάλληλου μηχανολογικού εξοπλισμού (πχ. ελαστικοφόροι φορτωτές) σε ειδικά χωματουργικά φορτηγά (πχ. τύπου Dumper), τα οποία και μεταφέρουν το υλικό είτε προς απόρριψη σε -κατάλληλα αδειοδοτημένους προς τούτο χώρους- αν είναι στείρο υλικό ή προς περαιτέρω επεξεργασία αν πρόκειται για χρήσιμο μέταλλευμα.

Η επεξεργασία των μεταλλευμάτων για την παραγωγή μετάλλων, συνήθως περιλαμβάνει: Μηχανική προετοιμασία/επεξεργασία (θραύση, λειοτρίβηση, κοσκίνηση, κοκκομετρική ταξινόμηση κλπ) του μεταλλεύματος, Εμπλουτισμό των μεταλλευμάτων(πχ. Βαρυτομετρικός διαχωρισμός, επίπλευση κλπ) ή/και Μεταλλουργική κατεργασία (πχ. πυρομεταλλουργία, υδρομεταλλουργία).

Τα Αυτόνομα Συστήματα Μεταφοράς (AHS) έχουν εξελιχθεί από τις βελτιώσεις στο GPS για τις τοποθεσίες και την πλοήγηση, μέχρι και τις εξελίξεις στους αισθητήρες και την ανίχνευση. Ιδιαίτερα τα ραντάρ και τα

LiDAR, έχουν αποδείξει βελτιωμένη υπολογιστική ισχύ και παρακολούθηση εδάφους, γρηγορότερα και πιο αξιόπιστα δίκτυα και σύνδεση στο Διαδίκτυο. Επιπλέον, ανάπτυξη αποτελεσματικών και με μεγαλύτερη ακρίβεια αλγόριθμων και λογισμικών. Η AHS εμφανίστηκε πρώτα σε μεγάλα ορυχεία όπου τα οφέλη της έχουν και τις μεγαλύτερες επιπτώσεις, λόγω της υψηλής συνιστώσας σταθερού κόστους σε μια επιχείρηση AHS, και σε ανεπτυγμένες χώρες όπου υπάρχει. Η έλλειψη ειδικευμένων εργαζομένων και το κόστος εργασίας είναι υψηλότερα.

### Βασικά κίνητρα για τη χρήση αυτόνομης εξορυκτικής τεχνολογίας

Το μεγάλο ερώτημα που υπάρχει όσον αφορά τον αυτόνομο εξοπλισμό στην μεταλλευτική, είναι αν η βιομηχανία είναι πρακτικά έτοιμη για ένα πλήρως αυτόνομο περιβάλλον. Την τελευταία εικοσαετία περίπου διάφοροι Παραγωγοί Αυτόνομου Εξοπλισμού OEM και ανθρακωρύχοι συνεργάζονται για να δοκιμάσουν διάφορους αυτόνομους εξοπλισμούς ορυχείων, συμπεριλαμβανομένων φορτηγών, τρυπανιών και φτυαριών.

Το πιο προφανές πλεονέκτημα της χρήσης διάφορων επιπέδων αυτόνομης τεχνολογίας εξόρυξης είναι η ασφάλεια. Ο οδηγός μπορεί να αναγνωρίσει επικίνδυνες καταστάσεις πριν συμβούν, όμως σκοπός είναι να μην υπάρχει καμία απολύτως απαίτηση από έναν άνθρωπο.

Εάν είναι μια επικίνδυνη τοποθεσία στα βουνά ή στο βαθύ υπόγειο όπου η ποιότητα του αέρα είναι κακή, το να βγάζεις ανθρώπους από τον εξοπλισμό και να τα βάζεις σε ένα δωμάτιο ελέγχου κάπου είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα.

Η απομάκρυνση των ατόμων από τα φορτηγά θα μπορούσε επίσης να αυξήσει την παραγωγικότητα. Όποτε τελειώνει μια βάρδια, μπορεί να χρειαστούν 30 λεπτά έως μία ώρα για την αλλαγή εργαζομένων - χρόνος που θα μπορούσε να εξοικονομηθεί με αυτόνομα οχήματα.

Επιπλέον, αν δουλεύεις 12 ώρες συνεχόμενα δεν είσαι ούτε πολύ κατάλληλος ούτε πολύ παραγωγικός. Πέρα από αυτό λόγω φόρτου εργασίας και κούρασης μπορεί να γίνει μη καλή χρήση διαφόρων εξαρτημάτων των

οχημάτων τα οποία να χρειαστούν αντικατάσταση. Αυτό έχει ως συνέπεια μεγαλύτερο λειτουργικό κόστος.

### Αυτόνομη τεχνολογία στην εξόρυξη

Η Caterpillar Inc. διαθέτει πλήρως αυτόνομους στόλους οχημάτων εξόρυξης που λειτουργούν σε δύο ορυχεία στη Δυτική Αυστραλία - ένα ορυχείο σιδηρομεταλλεύματος που διαχειρίζεται η BHP Billiton και ένα από το Fortescue Metals Group. Η Fortescue διαθέτει 45 φορτηγά CMD Cat 793F. Το φορτηγό αυτό είναι σήμερα το μοναδικό πλήρως αυτόνομο εμπορικά διαθέσιμο μηχάνημα που προσφέρει η Caterpillar. Στην τριμηνιαία έκθεση προϊόντων του Ιουνίου 2016, η Fortescue ανακοίνωσε ότι ο αυτόνομος στόλος μετέφερε 200 εκατομμύρια τόνους υλικού περισσότερους από αυτούς το 2013.

Η Caterpillar διαθέτει επίσης ένα μικρό στόλο αυτόνομων φορτηγών στο Tucson Proving Grounds στην Αριζόνα. Εκεί η εταιρεία δοκιμάζει τα μηχανήματα και τις πιθανές ενημερώσεις λογισμικού για τα αυτόνομα συστήματα πριν τα εγκαταστήσει στις λειτουργίες των πελατών.

Ο Όμιλος Volvo επιδεικνύει ένα πλήρως αυτόνομο φορτηγό για αποκλειστική χρήση σε εξορυκτικές διαδικασίες. Οι αισθητήρες και η τεχνολογία GPS διαβάζουν συνεχώς το περιβάλλον του οχήματος ώστε να περιηγηθεί με ασφάλεια στα εμπόδια και για ασφαλής ελιγμούς τόσο επιφανειακά όσο και υπόγεια. Το σύστημα μεταφοράς του συγκεντρώνει επίσης δεδομένα για την περαιτέρω βελτιστοποίηση της διαδρομής και της ασφάλειας κυκλοφορίας του φορτηγού.

Στο βόρειο τμήμα της Δυτικής Αυστραλίας υπάρχει ένα μέρος το οποίο ονομάζεται Pilbara, το οποίο είναι γνωστό για τα κατακόκκινα τοπία του και για τους πλούσιους ορυκτούς πόρους του. Το μεγαλύτερο μέρος του σιδηρομεταλλεύματος της χώρας εξορύσσεται εκεί.

Τα τελευταία 11 χρόνια τα πράγματα έχουν αλλάξει ριζικά στο μέρος αυτό μιας και η εξόρυξη πλέον γίνεται αυτοματοποιημένα. Η τεχνολογία το έχει μετατρέψει ολοκληρωτικά.

Πλέον υπάρχουν πάνω από 80 αυτόνομα φορτηγά περιαγωγής, υπεύθυνα για το σκάψιμο, την ανασκαφή και τη μεταφορά των υλικών γύρω από τον τεράστιο αυτό χώρο, κάνοντας το ορυχείο της περιοχής Pilbara να κερδίσει επάξια τον τίτλο του «ορυχείου του μέλλοντος».



*Εικόνα 7: Το ορυχείο σιδηρομεταλλεύματος Koodaideri στην περιοχή Pilbara της Δυτικής Αυστραλίας*

Φυσικά και ο ανθρώπινος παράγοντας δεν έχει καταργηθεί. Το ορυχείο αυτό απασχολεί ακόμα 12.000 εργαζομένους, οι οποίοι όμως πλέον έχουν νέους ρόλους και αρμοδιότητες. Δουλεύουν όλοι σε ένα δωμάτιο ελέγχου το οποίο βρίσκεται 750 μίλια μακριά. Ο υπεύθυνος όλων των παραπάνω αναφέρει για τον χώρο αυτό ότι «είναι μια περιφραγμένη, πλήρως ελεγχόμενη περιοχή που είναι πλέον πλήρως αυτόνομη».

Σε περίπτωση που προκύψει κάποιο πρόβλημα ή κάποια ανάγκη υπάρχει ένα κέντρο επιχειρήσεων κοντά στο αεροδρόμιο του Πέρθ στο οποίο κάποιος εργαζόμενος πηγαίνει εκεί, έχοντας φυσικά άλλους εργαζομένους πίσω να συνεχίζουν την ομαλή λειτουργία.

Τα αυτόνομα αυτά φορτηγά χρησιμοποιούνται και στη Χιλή, η οποία θεωρείται εξαιρετικά επικίνδυνη λόγω γεωλογίας, γεωγραφίας και των κακών προδιαγραφών ασφαλείας, καθώς και στην Καζαμπλάνκα, το Μαρόκο και τη Ρωσία κοντά στα σύνορα με το Καζακστάν.

Η Stegmaier, της οποίας η εταιρεία με έδρα το Ελσίνκι ανήκει στον παγκόσμιο όμιλο λογισμικού Zyfra, πιστεύει ότι η αντικατάσταση επανδρωμένων φορτηγών με αυτοκινούμενα οχήματα σε ορυχεία μπορεί να εξοικονομήσει κόστος, να αυξήσει την παραγωγικότητα και να βελτιώσει την ασφάλεια. Η εξόρυξη ήταν πάντα πολύ επικίνδυνη, αλλά σήμερα υπάρχουν πολλά και καλά εργαλεία που λειτουργούν αξιόπιστα και έχουν αυξήσει δραστικά την ασφάλεια.

Υπάρχουν πέντε επίπεδα αυτονομίας στα συστήματα οχημάτων που είναι ευρέως αναγνωρισμένα. Τα επίπεδα αυτά εκτείνονται από τη μη βοήθεια του οδηγού μέχρι την πλήρως αυτόνομη οδήγηση.

Ο Stegmaier λέει ότι τα περισσότερα αυτοκίνητα στο δρόμο έχουν αυτονομία επιπέδου δύο, η οποία παρέχει υποστήριξη επιτάχυνσης και πέδησης, κεντράρισμα λωρίδων και πιλοτικό έλεγχο, αλλά απαιτεί έναν άνθρωπο στο τιμόνι. Η αυτονομία του πέμπτου επιπέδου είναι πιο μακρινό, αλλά επισημαίνεται πως αυτό λειτουργεί ήδη στη γεωργία και στον στρατιωτικό κλάδο. Μπορεί τα αυτοκίνητα ακόμα να μην μπορούν να επικοινωνήσουν για να προειδοποιήσουν το ένα το άλλο αλλά σε ένα ορυχείο υπάρχει ο έλεγχος και του πληθυσμού αλλά και των άλλων οχημάτων.

Υπάρχουν τρεις τύποι ορυχείων - ανοιχτοί λάκκοι, όπου ο βράχος και τα ορυκτά εξάγονται από την επιφάνεια της Γης, και δύο εκδοχές υπόγεια εξόρυξης που ανασκάπτουν σκληρό βράχο και μαλακό βράχο. Ο Stegmaier εξηγεί: «Στην εξόρυξη ανοιχτού λάκκου, βάζουμε βράχους σε ένα φορτηγό, πηγαίνει κάπου και μετά επιστρέφει.

Η Suek, μια από τις μεγαλύτερες εταιρείες άνθρακα και ενέργειας στον κόσμο με 27 ορυχεία παγκοσμίως που παράγει 110 εκατομμύρια τόνους άνθρακα ετησίως, συνεργάστηκε με τη Zyfra στο ορυχείο ανοιχτού λάκκου Chernogorsky στη Ρωσία.

Η εταιρεία αυτή δοκιμάζει την αυτόνομη τεχνολογία ουρών και ελιγμών στα φορτηγά BelAZ για να επιταχύνει τη διαδικασία φόρτωσης, οδήγησης και εκφόρτωσης. Υπάρχουν επίσης σχέδια για αύξηση των μέσων στροφών του οχήματος από περίπου 15 μίλια / ώρα με έναν οδηγό σε περίπου 25 μίλια /

ώρα χωρίς άνθρωπο, κάτι που θα έκανε αυτές τις λειτουργίες περισσότερο αποτελεσματικές.

Ο Ντιμίτρι Σιζέμοφ, αναπληρωτής παγκόσμιος CIO στο Suek με έδρα τη Μόσχα, λέει: «Η αυτόνομη τεχνολογία εξόρυξης μας παρέχει τις ασφαλείς αποστάσεις μεταξύ των μονάδων, ώστε να μπορούμε να είμαστε σίγουροι ότι η όλη κατάσταση είναι απολύτως ασφαλής». ([www.nsenergybusiness.com](http://www.nsenergybusiness.com))

### Σχετικές τεχνολογίες

Η Caterpillar διαθέτει τρεις τύπους αυτόνομων μηχανημάτων σε ορυχεία σε όλο τον κόσμο. Αυτά περιλαμβάνουν τον ημι-αυτόνομο D11T dozer και τον ημι-αυτόνομο υπόγειο ανατρεπόμενο φορτηγό (LHD), επιπλέον των πλήρως αυτόνομων 793F CMD φορτηγών.

Όλες οι αυτόνομες μηχανές χρησιμοποιούν το σύστημα Cat MineStar, τις εργασίες ορυχείων της Caterpillar και το σύστημα διαχείρισης κινητού εξοπλισμού. Μέσα σε αυτό το σύστημα υπάρχουν διάφορα χαρακτηριστικά για παρακολούθηση, ανίχνευση, σωστή λειτουργία απομακρυσμένης μηχανής, καθώς και δυνατότητες για ημι- και πλήρως αυτόνομη λειτουργία. Η εντολή της MineStar για μεταφορά είναι το χαρακτηριστικό που επιτρέπει την πλήρως αυτόνομη λειτουργία των φορτηγών CMD 793F.

Η FMG ανακοίνωσε πρόσφατα ένα εντυπωσιακό ορόσημο: 1,1 δισεκατομμύρια τόνοι υλικού μεταφέρθηκε με τη βοήθεια της αυτόνομης τεχνολογίας μεταφοράς Cat MineStar, Command for hauling. Ακόμα πιο εντυπωσιακό είναι ότι ο στόλος των αυτόνομων φορτηγών ορυχείων ταξίδεψε πάνω από 33,5 εκατομμύρια χιλιόμετρα (20,8 εκατομμύρια μίλια) χωρίς κανένα περιστατικό ασφάλειας.

Ένας χάρτης ολόκληρου του ορυχείου και όλων των πιθανών διαδρομών μεταφοράς είναι ενσωματωμένος στο σύστημα και ενημερώνεται συνεχώς σε πραγματικό χρόνο καθώς τα φορτηγά ολοκληρώνουν τους κύκλους φόρτωσης και απόρριψης. Κάθε αυτόνομο φορτηγό είναι εξοπλισμένο με υλικό και λογισμικό GNSS για ακριβή καθοδήγηση κατά μήκος των οδών μεταφοράς, φόρτωσης και απόρριψης. Όλα τα ενσωματωμένα συστήματα επικοινωνούν με ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου, όπου οι χειριστές παρακολουθούν τον

στόλο και αναλαμβάνουν τον έλεγχο όταν είναι απαραίτητο, όπως σε περίπτωση βλάβης ή απόφραξης του προκαθορισμένου δρόμου.

Η εντολή για 'ύπνο' είναι το ημι-αυτόνομο σύστημα dozer που χρησιμοποιείται στο D11T dozer. Αυτά τα μηχανήματα λειτουργούσαν στο ορυχείο Arch Coal Thunder Basin Coal Company - Black Thunder στο Ουαϊόμινγκ. Η εντολή για 'ύπνο' επιτρέπει σε έναν χειριστή σε απομακρυσμένη τοποθεσία να ελέγχει τέσσερις μπουλντόζες κάθε φορά. Μόλις ρυθμιστεί η εργασία του dozer, το μηχάνημα λειτουργεί αυτόνομα έως ότου ολοκληρωθεί η εργασία.

Για βελτιωμένη ασφάλεια στην υπόγεια εξόρυξη, η Caterpillar έχει αναπτύξει ημι-αυτόνομα LHD που λειτουργούν στο ορυχείο Newmont στη Νεβάδα και σε διάφορες άλλες τοποθεσίες σε όλο τον κόσμο και σύντομα θα λειτουργούν επίσης σε ορυχεία στο Οντάριο. Η εντολή Cat MineStar για υπόγειο σύστημα επιτρέπει στους LHD να εκτελούν αυτόνομα τις φάσεις ταξιδιού και απόρριψης ενός κύκλου φόρτωσης και μεταφοράς. Παρόμοια με τα μηχανήματα, ο χειριστής βρίσκεται εξ αποστάσεως στην επιφάνεια του ορυχείου και χρησιμοποιεί τηλεχειριστήριο για να χειριστεί το μηχάνημα. Η Caterpillar λέει ότι ο αυτοματισμός επιτρέπει ταχύτερες ταχύτητες ταξιδιού και σχεδόν μηδενική ζημιά στο μηχάνημα. Το σύστημα έχει επίσης πιθανή εφαρμογή σε υπόγεια κατασκευαστικά έργα.

Στο πλαίσιο του προγράμματος Mine of the Future το οποίο στοχεύει στην εξεύρεση νέων τρόπων εξόρυξης και εξαγωγής υλικών με πιο αποτελεσματικό τρόπο, ενώ ταυτόχρονα μειώνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και αυξάνει την ασφάλεια, ο όμιλος εξόρυξης Rio Tinto λειτουργεί συνολικά 71 αυτόνομα μηχανήματα σε τρεις από τις τοποθεσίες του στη Δυτική Αυστραλία, καθώς και επτά πλήρως αυτόνομα τρυπάνια. Τα φορτηγά κινούν περίπου το 20% του υλικού των εργασιών.

Η Caterpillar και η FMG έχουν ισχυρή ιστορία σε αυτόνομες μεταφορές και συνεχίζουν να βασίζονται στην επιτυχία του συστήματος Command. Το 2012, η FMG ήταν το πρώτο ορυχείο στον κόσμο που εφάρμοσε εμπορικά την τεχνολογία αυτόνομων μεταφορών Cat και έκτοτε έχει επεκταθεί σε 137 αυτόνομα φορτηγά που λειτουργούν μέχρι και τώρα. Μέχρι τα τέλος του 2020, η FMG αναμένεται να έχει συνολικά 175 φορτηγά που θα λειτουργούν

αυτόνομα στους κόμβους Solomon και Chichester - καθιστώντας τη Fortescue την πρώτη εταιρεία σιδηρομεταλλεύματος στον κόσμο που θα έχει μια πλήρως αυτόνομη επιχείρηση μεταφοράς.

Ένας βασικός συντελεστής στην ταχεία επέκταση της αυτόνομης μεταφοράς της FMG είναι η διαλειτουργικότητα του συστήματος εντολών για μεταφορά. Η διαλειτουργικότητα καθιστά δυνατή τη χρήση τεχνολογιών Cat σε οποιαδήποτε μάρκα και σε οποιοδήποτε εξοπλισμό, την εργασία σε μηχανήματα Cat που βρίσκονται ήδη στο πεδίο και την ενσωμάτωση με τα υπάρχοντα συστήματα και τις υπάρχουσες διαδικασίες. Επειδή η Command μπορεί να λειτουργήσει σε φορητά κατασκευασμένα από άλλους κατασκευαστές, ο υπάρχων στόλος φορητών Komatsu 930E της FMG μπορεί να λειτουργεί παράλληλα με τα φορητά Cat 789D και 793F. ([www.cat.com](http://www.cat.com))

Η Rio Tinto χρησιμοποιεί φορητά ορυχείων Komatsu εξοπλισμένα με το Αυτόματο Σύστημα Μεταφορών Komatsu (AHS). Το σύστημα - που αναπτύχθηκε από κοινού από την Komatsu Ltd., την Komatsu America Corp. και την Modular Mining Systems Inc..Αποτελείται από ελεγκτές οχημάτων, GPS υψηλής ακρίβειας, σύστημα ανίχνευσης εμποδίων και ασύρματο δίκτυο. Ένας υπολογιστής ο οποίος εποπτεύει τα πάντα στέλνει ασύρματα πληροφορίες σχετικά με την πορεία και την ταχύτητα στόχου στα μη επανδρωμένα ορυχεία, επιτρέποντάς τους να ολοκληρώσουν αυτόνομα τους κύκλους φόρτωσης και απόρριψης. Οι υπάλληλοι της Rio Tinto παρακολουθούν την αυτόματη αυτή διεργασία από το Perth Operations Center της εταιρείας που βρίσκεται 1.500 χλμ. (932.1 μίλια) από τις περιοχές των εργασιών.

Ως πάροχος αυτόνομων συστημάτων, η RCT συνεργάζεται άμεσα με OEM και τελικούς χρήστες για να ενσωματώσει τις τεχνολογίες της. Προσφέρει οπτικοακουστικά, τηλεαπομακρυσμένα και πολλαπλών μηχανημάτων συστήματα αυτοματισμού τόσο για επιφανειακό όσο και υπόγειο εξοπλισμό εξόρυξης.

Από την άλλη οι Αυστραλοί έχουν δώσει όλη τους την προσοχή στο πρώτο πλήρως αυτόνομο υπόγειο χρυσορυχείο στο Μάλι της Αφρικής. Ο Αυστραλός



ανθρακωρύχος που κατασκευάζει το πρώτο αυτό πλήρως αυτόνομο ορυχείο πρόκειται να ξεκινήσει την παραγωγή στην Αφρική και οι ειδικοί λένε πως οι ανθρακωρύχοι στο εγχώριο έδαφος παρακολουθούν πολύ στενά.

Η διάθεση αυτόνομων φορτηγών, φορτωτών και τρυπανιών στο ορυχείο χρυσού της περιοχής Syama στο Mali, η οποία κοστίζει πάνω από 223εκατομύρια δολάρια σύντομα πρέπει να έρθει εις πέρας.

Σύμφωνα με την εξόρυξη που γίνεται στο Perth, ο υπεύθυνος αναφέρθηκε στο ότι οι μόνες θέσεις εργασίας που είναι πιθανόν μην αποσυρθούν είναι των αλλοδαπών εργαζομένων με υψηλές αποδοχές. Το εργατικό δυναμικό είναι της τάξεως των 1.500 εργαζομένων, συμπεριλαμβανομένων περίπου 80 επαγγελματιών του εξωτερικού.

Λύση βέβαια σε όλο αυτό δεν είναι η απόρριψη των ντόπιων και να μελέτη από την αρχή της όλης διαδικασίας αλλά η προσήλωση στην αναβάθμιση, την εκπαίδευση και την ενδυνάμωση του εγχώριου δυναμικού.

Η αυτοματοποίηση αυτή προφανώς και δεν έχει να κάνει με την περικοπή θέσεων εργασίας. Εκτιμάται ότι η ανάπτυξη του αυτόνομου εξοπλισμού στη Syama θα κοστίσει επιπλέον 10-15 εκατομμύρια δολάρια αλλά θα ενισχύσει την παραγωγικότητα, θα μειώσει το κόστος εξόρυξης μέχρι και 30% και θα αυξήσει την ασφάλεια. Στην περιοχή αυτή θα κυκλοφορούν περίπου 22 αυτοματοποιημένα μηχανήματα.

Το ορυχείο χαλκού-χρυσού στην Νέα Νότια Ουαλία (NSW) είναι το πρώτο παγκόσμια που κατάφερε την ολοκληρωτική υπόγεια αυτοματοποίηση στο 100%.

Φορτωτές χωρίς οδηγό οι οποίοι ελέγχονται εξ αποστάσεως και προφανώς από την επιφάνεια της γης, φορτώνουν μεταλλεύματα τα οποία μεταφέρουν σε κάποιον υπόγειο θραυστήρα, τα οποία μετά τη θραύση ανυψώνονται στην επιφάνεια.

Η μεγάλη διαφορά της Syama με την NSW είναι ότι τα οχήματα ρυμούλκησης προστίθενται στα υπόλοιπα αυτοματοποιημένα εργαλεία για πρώτη φορά. Ένα σύστημα οπτικών ινών εγκαθίσταται δια μήκους του ορυχείου

επιτρέποντας τη λειτουργία εξελιγμένου φορητού εξοπλισμού παρακολούθησης και συστημάτων καθοδήγησης.

### Υποδομή κινητών επικοινωνιών στον αυτόνομο εξοπλισμό εξόρυξης

Για την λειτουργία όλων αυτών των μηχανημάτων ένας κρίσιμος παράγοντας είναι ο τεχνικός παράγοντας όπου προϋποθέτει μια πλήρως λειτουργική υποδομή κινητών τηλεπικοινωνιών.

Για την ενεργοποίηση των εξεδρών γεωτρήσεων στην περιοχή Aitik, η Boliben έχει εγκαταστήσει στο ορυχείο ένα τυπικό σύστημα επικοινωνίας το οποίο είναι βασισμένο σε Wi-Fi. Μπορεί να ήταν μια πολύ καλή λύση όμως όχι και η καλύτερη μιας και αρκετά λάθη δεν μπόρεσαν να αποφευχθούν. Για την ακρίβεια το Wi-Fi καλύπτει ένα συγκεκριμένο εύρος χωρίς να καλύπτει ολόκληρη την περιοχή.

Μια λύση ήταν η σύνδεση της περιοχής με καλώδια. Βέβαια, ούτε κ αυτή η λύση ήταν ιδανική για ένα ανοιχτό ορυχείο. Βέβαια για αρχή ήταν επαρκής. Μετά από πολλές προσπάθειες, με προσεκτική αναδιάταξη, προσανατολισμό και επικέντρωση των σημείων πρόσβασης Wi-Fi επιτεύχθηκε η όσο το δυνατόν καλύτερη κάλυψη και απόδοση. Σε αυτή την περίπτωση η κάλυψη επικεντρώθηκε μόνο στις ενεργές περιοχές της εξόρυξης και πρέπει να προσαρμόζεται τακτικά μιας και οι θέσεις των μηχανημάτων μετατοπίζονται τακτικά.

Για να επιτευχθεί ο πλήρης τηλεμεταχειρισμός των μηχανημάτων εξόρυξης απαιτείται ένα κινητό δίκτυο επικοινωνιών 4G/5G. Αυτό θα σήμαινε επίσης τη διαχείριση πολύπλοκων εργασιών εξ αποστάσεως, όπως είναι οι σύνθετες γεωτρήσεις, οι αξιολογήσεις πετρωμάτων επιτρέποντας την πλήρη κάλυψη ολόκληρου του ορυχείου και πέραν αυτού, περιλαμβανομένου του να επιτρέπεται η σύνδεση, η τηλεχειριζόμενη και η αυτοματοποίηση φορητών ορυχείων.

Επιπλέον, ένα δίκτυο ασύρματης επικοινωνίας 4G / 5G θα μπορούσε να επιτρέψει τη διαχείριση των μηχανημάτων, τη γεωγραφική τοποθέτηση τους με λεπτομέρεια, και ιδιαίτερα για την υπόθεση ότι χρησιμοποιείται 5G, επιτρέποντας την παρακολούθηση μεγάλου αριθμού αισθητήρων με μεγάλη

μπαταρία και συνδεδεμένων αισθητήρων στα οποία θα πρέπει να γίνεται αντικατάσταση ανά δυο μήνες.

Στο δια ταύτα, το Aitik είναι ένα αναπτυσσόμενο ορυχείο. Για να φτάσουν τα μηχανήματα στο μέταλλευμα του χαλκού αφαιρούνται κάθε χρόνο πολλοί τόνοι πετρωμάτων. Ανάλογα που βρίσκεται ο χαλκός, η αναλογία βράχου και μεταλλεύματος ποικίλει. Κατά μέσο όρο αφαιρείται ένας τόνος βράχου για κάθε ένα τόνο μεταλλεύματος.

Η τρέχουσα ετήσια παραγωγή 36 εκατομμυρίων τόνων μεταλλευμάτων της Aitik θα αυξηθεί σε 45 εκατομμύρια τόνους και τα πετρώματα που αφαιρούνται θα αυξηθούν κατά πολύ. Ωστόσο, δεδομένου ότι ένα ορυχείο είναι ένας πολυάσχολος τόπος, δεν είναι απλό έργο να αυξηθεί ο αριθμός των τεράστιων μηχανών που απαιτούνται για την απομάκρυνση των βράχων και η συντήρησή τους. Επιπλέον, κάθε έκρηξη δημιουργεί τοξικά αέρια που πρέπει να διαλυθούν πριν οι άνθρωποι μπορούν να εισέλθουν στην περιοχή και να ξεκινήσουν εκσκαφές.

Αυτοματοποιημένες και τηλεχειριζόμενες μηχανές είναι αυτές που δίνουν τη λύση. Οι αυτοματοποιημένες εξέδρες γεωτρήσεων, γνωστές και ως Pit Vipers, μπορούν να μετακινούνται από μια τρύπα στην άλλη κατά μήκος μιας προκαθορισμένης διαδρομής και να εκτελούν επαναλαμβανόμενες εργασίες αυτόνομα σε αντίθεση με την ύπαρξη ενός χειριστή στο εργοτάξιο. Αν η εργασία ή η κίνηση δεν είναι προκαθορισμένη, η εξέδρα με το τρυπάνι είναι εξοπλισμένη με κάμερες που επιτρέπουν σε έναν χειριστή να την ελέγχει εξ αποστάσεως.

. Πέντε εξέδρες γεωτρήσεων στο Aitik έχουν εγκατασταθεί εκ των υστέρων με αυτόνομη λειτουργία και δυνατότητες τηλεχειρισμού. Καθώς το τρέχον εύρος ζώνης σύνδεσης επιτρέπει μόνο streaming βίντεο μέσης ποιότητας, η οποία περιορίζει την ικανότητα απομακρυσμένου ελέγχου, αυτή η αναβάθμιση είναι περιορισμένη. Έχουν προστεθεί κάποιες κάμερες, μια αναβάθμιση του συστήματος ελέγχου για τις παλαιότερες εξέδρες και μια μονάδα επικοινωνίας. Η αυτοματοποίηση μιας εξέδρας γεώτρησης θα μπορούσε να αυξήσει τις ώρες λειτουργίας από 5.000 σε 7.000 ώρες ετησίως, πράγμα που επέτρεψε

στο Boliden να εκτελέσει την ίδια ποσότητα έκρηξης με αυτές τις 5 τροποποιημένες εγκαταστάσεις με 7 ή περισσότερες παραδοσιακές εξέδρες.

Αυτός ο αυτοματισμός εξαλείφει επίσης την ανάγκη για επιπλέον προσωπικό, πρατήρια καυσίμων, χώρους στάθμευσης, μεταφορά σε πολυσύχναστους δρόμους πρόσβασης και επικίνδυνη μεταφορά προσωπικού στο ορυχείο. Εκτός από την επίλυση αυτών των προβλημάτων διοικητικής μέριμνας, ο αυτοματισμός φέρει σημαντικά οφέλη απόδοσης, καθώς το Boliden μπορεί να χειριστεί έναν αυξημένο αριθμό εκρήξεων με παρόμοιο εξοπλισμό και επίπεδα προσωπικού.

Με τις επικοινωνίες υψηλής απόδοσης, ένα πλήρες φάσμα μέτρων ασφάλειας και απόδοσης διατίθενται στο ορυχείο. Ενώ ορισμένες εφαρμογές χρειάζεται μόνο να στείλουν μικρά ποσά δεδομένων, άλλα όπως για παράδειγμα μηχανήματα πλήρως τηλεχειριζόμενα, χρειάζονται τις δυνατότητες και την προσφερόμενη χωρητικότητα μέσω κινητών επικοινωνιών, όπως 4G και ειδικά 5G. Ωστόσο, η βιομηχανία εξόρυξης γενικότερα και η Boliden ειδικότερα δεν θέλουν να σταματήσουν εδώ τις δραστηριότητες αυτοματοποίησης. Υπάρχουν πολλά ακόμα προγραμματισμένα βήματα, όπως σύνθετες γεωτρήσεις, αυτοματοποιημένα φορτηγά και αυτοματοποιημένος προγραμματισμός και αποστολή, όπου θα απαιτούνται επικοινωνίες υψηλών επιδόσεων (για παράδειγμα, 4G και 5G) για να χειριστούν πολλές ροές βίντεο 3D και να διαχειριστούν απομακρυσμένα πολύπλοκα καθήκοντα.

Για αυτόνομες λειτουργίες, το σύστημα επικοινωνίας της Boliden χρειάζεται τη δυνατότητα:

- Ενεργοποίηση πλήρως απομακρυσμένης παρακολούθησης, με απαιτήσεις πολύ υψηλού εύρους ζώνης και χαμηλής καθυστέρησης
- Πολλές αυτόνομες και τηλεχειριζόμενες μηχανές, διαφορετικών σημάτων και με διαφορετικά συστήματα ελέγχου
- Χειρισμός ενός συνεχώς μεταβαλλόμενου περιβάλλοντος παραγωγής και γεωγραφίας
- Διατήρηση ευρείας κάλυψης για όλες τις γωνίες του ορυχείου, όπου θα μπορούσαν ενδεχομένως να εντοπιστούν μηχανήματα ή προσωπικό

- Παρακολούθηση και συντονισμός των μηχανημάτων των κινητών συσκευών και των αισθητήρων αλλά και άλλων συσκευών μέσα σε ένα δίκτυο επικοινωνιών

### Πλήρης αυτοματοποίηση στόλου

Η εταιρία Autonomus Solutions, Inc (ASI), με έδρα τη Γιούτα, είναι ένας από τους κορυφαίους παραγωγούς αυτόνομου εξοπλισμού εξόρυξης. Η εταιρία αυτή παρέχει στους επαγγελματίες τα επιφανειακά και υπόγεια οχήματα εξόρυξης όπως και τον απαραίτητο εξοπλισμό που απαιτείται για έναν πλήρως αυτόνομο στόλο. Το λογισμικό με ονομασία Mobius της ASI είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα που επιτρέπει την πλήρη διαχείριση και τον έλεγχο του στόλου.

Το σύστημα Mobius παρέχει στους επαγγελματίες του είδους, πανοραμική θέα σε όλα τα οχήματα εντός χώρου, ώστε να επιτρέπει τη σωστή παρακολούθηση όλων των εργασιών συμπεριλαμβανομένων των εξής εργασιών: επαναλαμβανόμενες εργασίες, τον έλεγχο της απαιτούμενης χωρητικότητας, του χρόνου αναμονής, των χρόνων καθυστέρησης κλπ.

Ορισμένα από τα αυτόνομα οχήματα που προσφέρει η ASI περιλαμβάνουν:

- Αυτόνομη ADT
- Φορητά ρυμούλκησης
- Μπουλντόζες
- Εκσκαφείς

Οι τεχνολογίες αυτοματισμού οχημάτων, όπως το αυτόνομο σύστημα μεταφορών της ASI, βοηθούν τους οργανισμούς εξόρυξης να βελτιώσουν δραματικά την παραγωγικότητα μειώνοντας συγχρόνως το κόστος.

Μέσω της συνεργασίας με παγκόσμιες εξειδικευμένες εταιρείες εξόρυξης, η ASI έχει αναπτύξει ένα εξαιρετικά κλιμακωτό αυτόνομο σύστημα μεταφοράς εμπορευμάτων που ονομάζεται Haulage AI, το οποίο επιτρέπει σε ένα χρήστη να διαχειρίζεται φορητά πολλαπλών φορτίων που εκτελούνται συνεχώς σε ένα σύστημα μεταφοράς.

Αυτή η σχέση μεταξύ τους βελτιώνει τη συνολική παραγωγικότητα με στόχο να μην υπερβαίνονται οι οδηγίες όσον αφορά το κόστος, όπως η μη προγραμματισμένη συντήρηση, η υποεκμετάλλευση των οχημάτων, οι ανεπάρκειες των καυσίμων, τα θέματα προσωπικού (αλλαγές, ανθρώπινο σφάλμα κλπ.) Και τα περιστατικά ασφάλειας οχημάτων ή προσωπικού.

Πολλές φορές οι επενδύσεις στην αυτοματοποίηση είναι σημαντικές αλλά μπορεί και να είναι απαγορευτικά δαπανηρές. Οι λύσεις τηλεμεταφοράς της ASI επιτρέπουν στις επιχειρήσεις εξόρυξης να επικυρώσουν την αποτελεσματικότητα της ρομποτικής τεχνολογίας σε μικρό αριθμό οχημάτων χωρίς σημαντικές επενδύσεις εκ των προτέρων.

Η ASI παρέχει τεχνολογίες αυτοματοποίησης που αυξάνουν την παραγωγικότητα, οι οποίες έχουν σχεδιαστεί ειδικά με μια προσέγγιση πολυεπίπεδης ασφάλειας, συμπεριλαμβανομένου του υλικού, του λογισμικού και των αισθητήρων. Κάθε όχημα είναι εξοπλισμένο με:

- Ένα πλήκτρο άμεσης διακοπής (e-stop) που σταματά αμέσως όλες τις λειτουργίες του οχήματος όταν είναι ενεργοποιημένο.
- Συστήματα υπολογιστών που βρίσκονται στην επιφάνεια, που παρακολουθούν συνεχώς και εκτελούν διαγνωστικά σε περισσότερες από 100 περιοχές συστήματος που αναζητούν ανωμαλίες στο έδαφος.
- Το λογισμικό εντολών και ελέγχου Mobius της ASI, το οποίο διαθέτει χαρακτηριστικά εγγύτητας και χαρτογράφησης του χώρου για την αποφυγή συγκρούσεων οχημάτων μεταξύ αυτόνομων οχημάτων, επανδρωμένων οχημάτων και γνωστών εμποδίων στο ορυχείο.
- Ανιχνευτές οι οποίοι εντοπίζουν εμπόδια, όπως το σύστημα προβολής 3D της ASI, το οποίο ανιχνεύει άγνωστα εμπόδια όπως υπολείμματα, κίνηση ανθρώπων ή ζώων και πολλά άλλα. ([www.azomining.com](http://www.azomining.com))

### Αυτοματοποίηση στην πυροκρότηση

Το 2010 ελληνικές εταιρίες αναζητώντας καινοτόμες ιδέες και λύσεις στη μεταλλευτική δραστηριότητα, εισάγει στην Ελλάδα την τεχνολογία των ηλεκτρονικών καψυλλίων τα οποία ονομάζονται E\*star.

Το σύστημα αυτό είναι εύκολο και χρηστικό ενώ παρέχει πολλά πλεονεκτήματα για τη σωστή και οικονομικότερη λειτουργία του λατομείου.

Ο ηλεκτρονικός πυροκροτητής έχει όλα τα πλεονεκτήματα που υπάρχουν στο σύστημα NONEL, ταυτόχρονη διάδοση της εντολής στους πυροκροτητές, έναρξη της ανατίναξης από τον πυθμένα του διατρήματος αλλά και έλλειψη εκτοξευόμενων σωματιδίων. Είναι πιο αποδοτικό σε τομείς όπως η μείωση του θορύβου και η μείωση των προκαλούμενων δονήσεων.

Το πρωτοποριακό αυτό σύστημα δίνει στον χρήστη απόλυτη ελευθερία για τον σχεδιασμό της ανατίναξης διότι οι πυροκροτητές δεν περιέχουν προκαθορισμένο χρόνο επιβράδυνσης και ο χρόνος αυτός καθορίζεται κατά βούληση από τον χρήστη. Πλέον μπορεί ο χρήστης να εκμεταλλευτεί όλα τα πλεονεκτήματα που έχει μια πλήρως ελεγχόμενη και καθορισμένη ανατίναξη στην συνολική λειτουργία και απόδοση του έργου.

Οι ηλεκτρονικοί αυτοί πυροκροτητές περιέχουν έναν πυκνωτή, ένα ψηφιακό χρονικό ηλεκτρονικό κύκλωμα και ένα πυροτεχνικό σύστημα ανάφλεξης ώστε να πραγματοποιηθεί η ηλεκτρονική πυροδότηση όταν δοθεί το σήμα από τον πυροδοτικό μηχανισμό.

Οι πυροκροτητές μπορούν να προγραμματιστούν ανά 1 ms με χρόνους καθυστέρησης από 1 έως 10.000 ms. Μπορούν να υποστηριχθούν έως 1600 πυροκροτητές σε κάθε ανατίναξη. Το κυάθιο αλουμινίου εξασφαλίζει ότι είναι αδιάβροχοι, ενώ ο κάθε πυροκροτητής περνάει από ειδικό έλεγχο ποιότητας όπου και λαμβάνει μοναδικό αριθμό ταυτοποίησης ώστε να υπάρχει δυνατότητα εντοπισμού του.

Για τη λειτουργία των ηλεκτρονικών πυροκροτητών είναι απαραίτητα ειδικά ηλεκτρονικά όργανα, τα οποία παρέχουν μεγάλες δυνατότητες ευελιξίας και αποτελεσματικότητας καθώς και απόλυτης ασφάλειας στο χρηστή ενώ είναι απλά και εύκολα στη χρήση τους.

Έχουμε λοιπόν:

- ένα ομόμετρο, για τη μέτρηση των χαρακτηριστικών του κυκλώματος ώστε να εξασφαλίσουμε τη σωστή σύνδεση των πυροκροτητών με το καλώδιο σύνδεσης
- ένα όργανο προγραμματισμού (logger), από το οποίο γίνεται ο προγραμματισμός του χρόνου καθυστέρησης του κάθε πυροκροτητή, και

μέσω του οποίου γίνονται έλεγχοι για τη σωστή σύνδεση και επαλήθευση των πυροκροτητών καθώς και η μεταφορά των πληροφοριών

- ένα κεντρικό όργανο για τον τελικό έλεγχο και την επαλήθευση του σωστού προγραμματισμού και την εντολή πυροδότησης.

Χρησιμοποιώντας τους ηλεκτρονικούς πυροκροτητές ο χρήστης έχει το πλεονέκτημα να σχεδιάσει τη βέλτιστη ανατίναξη για τις απαιτήσεις της δουλειάς του με βάση τις εκάστοτε συνθήκες που επικρατούν, έχοντας τον απόλυτο έλεγχο στο τελικό αποτέλεσμα. Έχοντας το σχέδιο της ανατίναξης, ο προγραμματισμός του χρόνου καθυστέρησης των πυροκροτητών πραγματοποιείται εύκολα και γρήγορα επί τόπου χρησιμοποιώντας το logger με τον ειδικό προσαρμογέα.

Οι βασικές παράμετροι που καθορίζονται είναι, αρχικά η αρίθμηση του πυροκροτητή για τον ευκολότερο εντοπισμό και ταυτοποίηση του ενώ στους υπόλοιπους δίνεται αύξων αριθμός αυτόματα από το logger, εκτός αν επιθυμεί ο χρήστης διαφορετικά. Μετά καθορίζεται ο κλάδος που ανήκουν οι πυροκροτητές. Κάθε κλάδος μπορεί να περιέχει μέχρι 100 πυροκροτητές ενώ μπορούμε να έχουμε πάνω από ένα κλάδο σε κάθε ανατίναξη με τον περιορισμό των 1600 πυροκροτητών που μπορούν να υποστηριχθούν από το μηχάνημα πυροδότησης. Στο τέλος δίνεται από τον χρήστη ο επιθυμητός χρόνος καθυστέρησης σε κάθε πυροκροτητή.

Στη συνέχεια οι πυροκροτητές συνδέονται μεταξύ τους με ένα δίκλωνο καλώδιο σύνδεσης χωρίς πολικότητα. Δημιουργείται ένα ηλεκτρικό κύκλωμα στο οποίο γίνεται έλεγχος αρχικά από το ομόμετρο και στη συνέχεια από το logger.

Ελέγχεται τυχόν διαρροή από το κύκλωμα. Επίσης γίνεται έλεγχος και ταυτοποίηση των πυροκροτητών ανά κλάδο. Αναγνωρίζονται οι πυροκροτητές του κάθε κλάδου και ελέγχεται ο σωστός προγραμματισμός τους. Σε περίπτωση σφάλματος εντοπίζεται αυτόματα σε ποιον ακριβώς πυροκροτητή υπάρχει το πρόβλημα.

Τα σφάλματα μπορεί να προκύψουν από λάθος κατά την σύνδεση των πυροκροτητών, σφάλματα κατά τον προγραμματισμό τους ακόμα και πυροκροτητές που δεν προγραμματίστηκαν ή δεν συνδέθηκαν στον κλάδο.



Με αυτό τον τρόπο ελαχιστοποιούμε τον κίνδυνο λάθους από τη σύνδεση των πυροκροτητών αφού ο έλεγχος είναι αυτόματος και ενδεδειγμένος και πραγματοποιείται δυο φορές από το σύστημα.

Στη συνέχεια μεταφέρονται τα δεδομένα στον πυροδοτικό μηχανισμό χρησιμοποιώντας ένα ειδικό καλώδιο. Στο τελικό αυτό στάδιο μεταφέρονται όλα τα δεδομένα των προγραμματισμένων πυροκροτητών που έχουν προγραμματιστεί από ένα ή και περισσότερα loggers και σε διάφορους κλάδους. Γίνεται ο συνδυασμός των πληροφοριών και πλέον υπάρχουν συγκεντρωμένα όλα τα στοιχεία. Στο σημείο αυτό, εκτός των αυτόματων ελέγχων, μπορεί να πραγματοποιηθεί χειροκίνητος έλεγχος του κάθε πυροκροτητή για την επαλήθευση του επιθυμητού χρόνου καθυστέρησης.

Πραγματοποιείται ο τελικός έλεγχος και η ταυτοποίηση όλων των πυροκροτητών. Είναι απαραίτητο στάδιο ελέγχου επειδή χωρίς αυτό τον έλεγχο δεν μπορεί να γίνει πυροδότηση. Μετά το πέρας των ελέγχων γίνεται η φόρτιση του πυροδοτικού μηχανισμού, μέσα σε τριάντα λεπτά θα πρέπει να γίνει η πυροδότηση. Με το πάτημα των κουμπιών για την πυροδότηση για λόγους ασφαλείας δίνεται 3 φορές η εντολή. Οι πυροκροτητές παίρνουν ηλεκτρονική εντολή για την πυροδότηση τους, γεγονός που τους προσδίδει μεγάλη ασφάλεια επειδή δεν υπάρχει ο κίνδυνος τυχαίας πυροδότησης τους από παρασιτικά ηλεκτρικά ρεύματα ή εξωγενείς παράγοντες. Η πυροδότηση τους είναι απόλυτα ελεγχόμενη.

### Επιλογή των κατάλληλων συστημάτων

Όπως αναφερθήκαμε λεπτομερώς παραπάνω η Caterpillar έχει εισάγει στη μεταλλευτική τις αυτόνομες τεχνολογίες cat. Ο Jag είναι ένας από τους ανθρώπους που είναι υπεύθυνοι για τη μεταφορά των αυτόνομων τεχνολογιών Cat στη βιομηχανία. Ως Ειδικός Διευθυντής Μετατόπισης και Εφαρμογής, έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη και επικύρωση του αυτόνομου φορτηγού Cat 793F CMD και βοήθησε στην επιτυχή υλοποίηση του αυτόνομου συστήματος μεταφοράς εμπορευμάτων CAT σε ορυχεία σε όλο τον κόσμο.

Ο Jag λοιπόν λέει ότι μόλις εντοπιστεί μια ευκαιρία το επόμενο βήμα είναι να εφαρμοστεί το κατάλληλο σύστημα αυτοματοποίησης. Σήμερα η συγκεκριμένη

εταιρία, όπως αναφέρει ο Jag προσφέρει τα πάντα από προηγμένες αυτόνομες μεταφορές με μια σειρά ημιαυτόνομων τεχνολογιών τηλεχειρισμού και υποστήριξης χρηστών.

Το μεγαλύτερο πράγμα τη σήμερον ημέρα είναι ότι υπάρχουν πολλές διαθέσιμες λύσεις αυτοματισμού και φυσικά όσο περνάει ο καιρός και η τεχνολογία εξελίσσεται ακόμα περισσότερο και χάρη στο διαδίκτυο, θα δούμε ότι οι αυτόνομες γεωτρήσεις θα γίνουν κάτι το πολύ κοινό. Η Caterpillar επιπλέον διαθέτει ένα ημιαυτόνομο όχημα το οποίο είναι υπεύθυνο για τις αυλακώσεις. Όλα αυτά σημαίνουν ότι όλο κ περισσότερες ευκαιρίες ανοίγουν.

Βέβαια, ακόμα και αν έχει βρεθεί ο κατάλληλος συνδυασμός τεχνολογιών το ιδανικό που πρέπει να γίνει είναι μια επανεκτίμηση του τόπου και της υποδομής του για εξασφάλιση όσο το δυνατόν καλύτερο συνδυασμό τεχνολογιών.

Οι τεχνολογίες υποστήριξης χειριστών και τα συστήματα απομακρυσμένου ελέγχου και εγκατάστασης είναι αρκετά αυτοδύναμες. Ωστόσο, η απομακρυσμένη λειτουργία από ένα κέντρο εντολών ή η εφαρμογή αυτόνομης μεταφοράς, χρειάζεται ένα ισχυρό ασύρματο δίκτυο με άφθονο εύρος ζώνης. Αυτό μπορεί να σημαίνει σοβαρή επένδυση εάν ένας τόπος δεν διαθέτει ήδη το κατάλληλο δίκτυο.

Ένα η δυο οχήματα τα οποία είναι αυτόματα και χρειάζονται τηλεμεταχείριση πρέπει να ταιριάζουν στις ήδη υπάρχουσες λειτουργίες ή οι λειτουργίες αυτές θα πρέπει να προσαρμοστούν. Οι άνθρωποι οι οποίοι δούλευαν όχι μόνο πρέπει να μετακινηθούν αλλά πρέπει να τοποθετηθούν και στις κατάλληλες θέσεις και να ρυθμιστούν εξ αρχής ορισμένες βασικές λειτουργικές διαδικασίες.

Είναι πολύ εύκολο να ακολουθηθεί ο εύκολος δρόμος ή ακόμα και η οργάνωση της νέας μονάδας να γίνει με βάση το πως λειτουργούσε πριν. Αν γίνει αυτό υπάρχει κίνδυνος να χαθεί ένα σημαντικό κομμάτι των κερδών.

Εφόσον επιλεγούν τα σωστά συστήματα για τη λειτουργία, θέτοντας τις απαραίτητες βάσεις και στη συνέχεια αφού αντιμετωπιστεί η συνεχής διαχείριση των αλλαγών, θα σημειωθεί αύξηση στην παραγωγικότητα, την

αποτελεσματικότητα του χώρου και τη μείωση του κόστους που δεν μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την αυτονομία.

Οι άνθρωποι πλέον βρίσκονται σε θέσεις που δεν χρειάζεται συνεχή και επαναλαμβανόμενη εργασία αλλά απαιτείται κρίση. Στόχος είναι τα μηχανήματα να κάνουν αυτό που ξέρουν καλύτερα δηλαδή τις διεκπαιρωτικές εργασίες και να επιτραπεί στους ανθρώπους να κάνουν κάτι πιο δημιουργικό.

Εάν στην πορεία της λειτουργίας βαρεθούν προβλήματα πρέπει το πρόβλημα να προσδιοριστεί και να βρεθεί λύση εφόσον αυτό είναι εφικτό. Για παράδειγμα, υπάρχουν πολλοί παράγοντες που καθορίζουν ποιοι χώροι είναι κατάλληλοι για να λειτουργούν αυτόματα έχοντας ένα αυτόνομο σύστημα μεταφορών. Στο μέλλον πολλά προβλήματα θα αντιμετωπιστούν και βελτιώσεις θα γίνουν όπως, εξάλειψη σημαντικών καθυστερήσεων, βελτίωση του τρόπου διαχείρισης των οχημάτων ακόμα και μείωση του χρόνου όσον αφορά τις αλλαγές των ταχυτήτων. ([www.oemoffhighway.com](http://www.oemoffhighway.com))

### Πλεονεκτήματα αυτόνομου εξοπλισμού εξόρυξης

Συνήθως ένα αυτόνομο/αυτόματο ορυχείο συνδέεται με τις πολλές περικοπές θέσεων εργασίας λόγω της μείωσης του αριθμού των εργαζομένων. Αν και τελικά θα υπάρξουν περικοπές θέσεων εργασίας, ένας καλύτερος τρόπος για να περιγραφεί η αυτοματοποίηση είναι ότι υπάρχει εξέλιξη των θέσεων εργασίας σε ένα αυτόνομο περιβάλλον και όχι η κατάργηση της. Οι εργαζόμενοι που είχαν αναλάβει την οδήγηση δηλαδή οι χειριστές των εξοπλισμών, θα στραφούν τώρα στην παρακολούθηση και την επίβλεψη θέσεων σε κέντρα απομακρυσμένης εκμετάλλευσης που βρίσκονται χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά. Αυτό θα οδηγήσει στην αύξηση των δεξιοτήτων των φορέων εκμετάλλευσης σε πιο επικεντρωμένους στην τεχνολογία ρόλους, όπου βρίσκεται το μέλλον των εξορυκτικών δραστηριοτήτων.

Εξοικονόμηση χρημάτων γίνεται επίσης διότι με την αυτοματοποίηση δεν υπάρχουν θέματα όπως οι άδειες ασθένειας ή ακόμα και η ετήσια άδεια, με αποτέλεσμα την παραγωγή όσο το δυνατόν μεγαλύτερου όγκου εργασίας.

Επιπλέον, πλέον τα μηχανήματα λειτουργούν 24 ώρες την ημέρα και επτά ημέρες την εβδομάδα κάτι το οποίο χωρίς την αυτοματοποίηση είναι αδύνατο.

Εάν ο μέσος μισθός του μεταφορέα φορτηγών είναι \$ 111.066 ετησίως και χρειάζονται τέσσερις χειριστές για να κρατήσουν ένα φορτηγό που λειτουργεί 24 ώρες την ημέρα, η μετακίνηση ενός φορτηγού σε αυτόνομες επιχειρήσεις μπορεί να εξοικονομήσει σχεδόν 462.775 \$ μόνο του.

Εκτός από το κόστος ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα είναι η εξασφάλιση ασφάλειας και παραγωγικότητας. Οι μεταλλευτικές εργασίες μπορεί να είναι επικίνδυνες και παρόλο που υπάρχουν πολλές διαδικασίες και μηχανικές διαδικασίες για τη μείωση των συναφών κινδύνων, η απομάκρυνση των ανθρώπων από εργασίες υψηλού κινδύνου είναι η τελική βαθμίδα στην ιεραρχία της σκάλας ελέγχου.

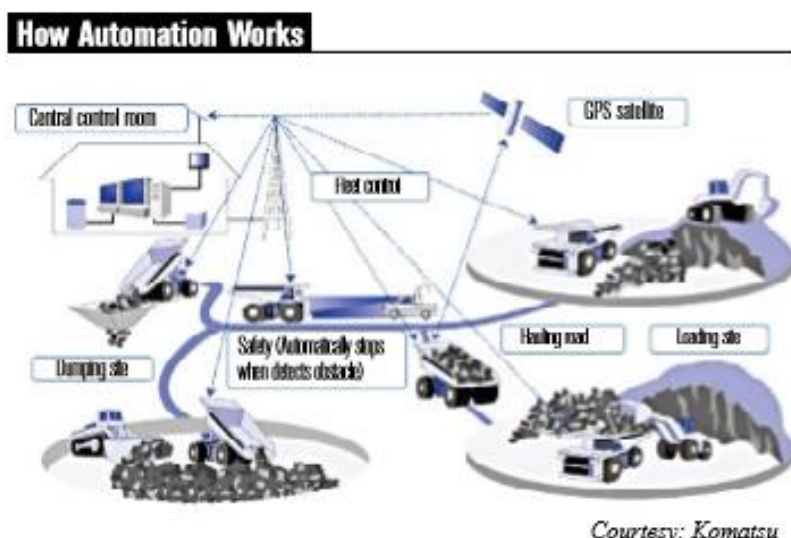
Ο αυτόνομος εξοπλισμός είναι αυτός που εξασφαλίζει την ασφάλεια αυτή, αφαιρώντας τον κίνδυνο για τους χειριστές καθώς αφήνει τις εργασίες υψηλού κινδύνου στον εξοπλισμό.

Ένα άλλο θέμα που αφορά τον άνθρωπο και τα μειονεκτήματα του σε σχέση με τον αυτόνομο εξοπλισμό είναι η κόπωση. Οπουδήποτε και αν εργάζεται τα ωράρια του βασίζονται σε βάρδιες, οι οποίες δεν είναι πάντοτε φιλικές προς τον ύπνο. Η κόπωση είναι βέβαιο ότι θα συμβεί σε κάποιο βαθμό, μικρό ή μεγάλο. Ο αυτόνομος εξοπλισμός δεν επηρεάζεται από αυτό για προφανείς λόγους και ως εκ τούτου η κόπωση δεν γίνεται πλέον θέμα.

Όσον αφορά την παραγωγή, ο αυτόνομος εξοπλισμός παρέχει αυξήσεις που απλώς δεν είναι δυνατές με τη χρήση ανθρώπινου δυναμικού. Για παράδειγμα, η αλλαγή βάρδιας δύο φορές την ημέρα σε ορυχεία σε όλο τον κόσμο συμβαίνει κανονικά όπως σε όλες της δουλειές με βάρδιες. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, ο περισσότερος εξοπλισμός εξόρυξης διακόπτεται, έτσι ώστε οι χειριστές να μπορούν να αλλάξουν. Αυτός ο χρόνος αλλαγής μπορεί να κυμαίνεται από 30 λεπτά έως πάνω από μία ώρα, ανάλογα τις συνθήκες. Για ένα ορυχείο με στόλο 20 φορτηγών και μιλώντας για μία ώρα αναμονής κάθε αλλαγής αντιστοιχεί σε 40 ώρες χαμένες το 24ωρο. Εάν ο μέσος όγκος που μεταφέρουν τα φορτηγά ανά ώρα είναι 450 τόνοι, αυτό ισοδυναμεί με 18.000 τόνους ημερησίως που χάνονται λόγω μη

διακοπής του εξοπλισμού. Για ένα χρόνο μιλάμε για το εκπληκτικό ποσό των 6,4 εκατομμύρια τόνων.

Ομοίως με τις εξέδρες γεώτρησης, σε περιόδους αμμοβολής, οι περισσότερες εξέδρες γεωτρήσεων πρέπει να μετακινηθούν κατά τη διάρκεια της έκρηξης. Αυτό απαιτεί το τρυπάνι να σταματήσει να λειτουργεί τις περισσότερες φορές και ο χειριστής να απομακρυνθεί από την επικίνδυνη ζώνη σε περίπτωση που κάτι χτυπήσει το όχημα. Και στα δύο προηγούμενα παραδείγματα, αν χρησιμοποιούσε αυτόνομο εξοπλισμό, θα εξακολουθούσε να λειτουργεί και δεν θα χανόταν χρόνος που σημαίνει μεγαλύτερη παραγωγή και χαμηλότερο κόστος.



Εικόνα 8: Χρήση αυτόνομου εξοπλισμού

Τον Απρίλιο του 2013, το ορυχείο Bingham Canyon γνώρισε καταστροφική κατολίσθηση που έριξε περίπου 165 εκατομμύρια τόνους συντριμμίων στην πλευρά του ορυχείου. Το αποτέλεσμα ήταν να θαφτούν εκατομμύρια δολάρια εξοπλισμού στο λάκκο και φυσικά το ορυχείο σταμάτησε να λειτουργεί. Επιπλέον, η επικίνδυνη κλίση και το ασταθές τοπίο κατέστησαν τις προσπάθειες καθαρισμού δύσκολες.

Εκπρόσωποι της Kennecott Utah Copper Company / Rio Tinto προσέγγισαν την ASI ώστε να βρει μια λύση τηλεχειρισμού που θα επέτρεπε την αποκατάσταση και κυρίως μια λύση για τις πιο επικίνδυνες περιοχές. Εκσκαφείς εξοπλισμένοι με τεχνολογία τηλεχειρισμού ASI επέτρεψαν στους

χειριστές της Kennecott να προωθήσουν τον καθαρισμό μετακινώντας εκατομμύρια τόνους υλικού στις πιο επικίνδυνες πλαγιές από μια ασφαλή απόσταση.

Αυτό είναι μόνο ένα παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο τα οχήματα εξόρυξης από απόσταση μπορούν να συμβάλουν στην ενίσχυση της ασφάλειας στα ορυχεία. Ο τηλεχειρισμός και ο εξοπλισμός τηλεργασίας είναι ένα φθηνό σημείο εισόδου στην αυτοματοποίηση εξόρυξης οχημάτων. (<http://www.locata.com>)

### Μειονεκτήματα αυτόματου εξοπλισμού εξόρυξης

Φυσικά η αυτοματοποίηση των ορυχείων δεν είναι χωρίς προβλήματα. Ο Stegmaier παραδέχεται ότι τα φορτηγά χωρίς οδηγό δεν μπορούν να ανιχνεύσουν πότε ένας δρόμος είναι λασπωμένος, για παράδειγμα, κάτι που θα μπορούσε να οδηγήσει στο να κολλήσει το όχημα μετά από έντονη βροχή.

Ήχοι από ιπτάμενα αντικείμενα όπως αεροπλάνα είναι γνωστό ότι διαταράσσουν τις ραδιοσυχνότητες, φέρνοντας τα φορτηγά σε ακινησία, ενώ σε ορισμένες χώρες παρατηρείται ότι τα αυτόματα αυτά οχήματα δεν αντιλαμβάνονται κάποια ζώα αγροκτήματος τα οποία περπατούν μπροστά τους.

Επιπλέον, σε ειδικούς δρόμους οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά κατασκευαστικού εξοπλισμού μεταξύ τοποθεσιών εξόρυξης μπορεί να είναι πολύ επικίνδυνοι.

Γενικά σε τέτοιους δρόμους που χρησιμοποιούνται από τα οχήματα αυτά απαγορεύεται στους πεζούς να βρίσκονται εκεί. Βέβαια αυτό δεν είναι πάντα εφικτό καθώς σε χώρες όπως για παράδειγμα στο Μαρόκο, υπάρχουν άνθρωποι οι οποίοι περπατούν ανάμεσα στις αγελάδες όλη την ώρα, γιατί έτσι αυτοί ζουν.

## Τάσεις αυτοματοποίησης – Προοπτικές

### “Ευφυή” Ορυχεία

Μετά από 5.000 χρόνια εξέλιξης η σύγχρονη μεταλλευτική άλλαξε. Πλέον αυτό που χρειάζεται είναι να αναπτυχθεί η επιστήμη, η τεχνολογία, η καινοτομία, να υπάρχει εξέλιξη, όχι για την αντικατάσταση ή την αλλαγή όσων έχουν γίνει στη μεταλλευτική, αλλά για την ανάπτυξη και την προαγωγή του επιπέδου του κλάδου ώστε να γίνει ένα βήμα παραπέρα με σκοπό την εξυπηρέτηση του ανθρώπου αλλά και του περιβάλλοντος αλλά κυρίως πετυχαίνοντας αυτό που θα αλλάξει συστατικά τον κόσμο, τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Μιλάμε για «Ευφυή» ορυχεία, ορυχεία χωρίς μεταλλωρύχους, γεμάτα με αμαξοστοιχίες, φορηγά χωρίς οδηγό επιθεωρήσεις σε απομακρυσμένους χώρους μέσω συστημάτων διαδικτυακού monitoring και ελέγχου της παραγωγής με τη χρήση drones.

Αυτό που μετράει βέβαια περισσότερο είναι το πώς αυτή η αλλαγή μεταφράζεται στην πράξη σε επίπεδα ασφαλείας, συνθηκών εργασίας, έρευνας, περιβαλλοντικής συμβατότητας και βιωσιμότητας.

Η μετάβαση στην τέταρτη βιομηχανική επανάσταση προβλέπεται «ευφυής, για μια βιομηχανία απλούστερη, ταχύτερη, αποτελεσματικότερη, ανταγωνιστικότερη και κυρίως ασφαλέστερη. Έτσι και η εξορυκτική βιομηχανία αγωνίζεται να συμβαδίσει με το συνεχώς εξελισσόμενο τεχνολογικό κόσμο, προκειμένου να λάβει τη θέση που της αξίζει στο διεθνή ανταγωνισμό.

Σημείο αναφοράς σε αυτήν την μετάβαση είναι οι ψηφιακές εφαρμογές για τη διαχείριση των πληροφοριών, οι αυτοματισμοί στα συστήματα ασφαλείας και στην έγκαιρη ενημέρωση των εργαζόμενων, και οι αυτοματισμοί και η ρομποτική στην υπόγεια ανάπτυξη, στην εξόρυξη και στην επιφανειακή εκμετάλλευση και φυσικά η χρήση drones τόσο σε θέματα επιθεωρήσεων όσο και χαρτογράφησης.

Αυτόματα φορηγά, τηλεκατευθυνόμενα οχήματα μεταφοράς υλικών, συμπυκνωμάτων και μετάλλων λειτουργούν σε ερευνητικό στάδιο, προμηνύοντας προοπτικές διπλασιασμού της παραγωγής αλλά και

σαφέστατη βελτίωση των συνθηκών εργασίας. Αλλά και σε ευρύτερο πλαίσιο οι μακρομηχανές υψηλής ευφυΐας αλλάζουν το τοπίο τόσο στην υπόγεια όσο και την επιφανειακή εκμετάλλευση, αυξάνοντας σημαντικά τις επιδόσεις αλλά και τον πήχη σε επίπεδα ασφαλείας και συμβατότητας.

Σε ερευνητικό επίπεδο, νέα υπερσύγχρονα συστήματα λογισμικού αλλά και καινοτόμες εφαρμογές έρχονται να αναβαθμίσουν τον κλάδο. Το επόμενο βήμα στον αυτοματισμό εξόρυξης θα μπορούσε να είναι ορυχεία χωρίς μεταλλωρύχους αφού υπάρχουν σχέδια για ευφυή ορυχεία «smart», γεμάτα με αμαξοστοιχίες, φορητά χωρίς οδηγό, επιθεωρήσεις σε απομακρυσμένους χώρους μέσω συστημάτων διαδικτυακού monitoring και ελέγχου της παραγωγής με τη χρήση drones.

Ως προς την ασφάλεια, η καινοτομία σε επίπεδο πληροφοριακών συστημάτων και αυτοματισμών ελαχιστοποιεί όσο το δυνατόν περισσότερο τα ανθρώπινα λάθη, βελτιώνοντας τις προδιαγραφές και εξασφαλίζοντας την απόλυτη αποτελεσματικότητα των συστημάτων ελέγχου. Αυτόματες επιθεωρήσεις βάρδιας, software management μεταλλείου, ολοκληρωμένα συστήματα υπερευαίσθητων αισθητήρων μεθανίου, ρομποτικά συστήματα διάσωσης και διαφυγής, αυτόματα συστήματα απόκρισης σε ατυχήματα, σύστημα προειδοποιητικών ηχητικών οπτικών σημάτων σε όλους τους εργαζόμενους αναφορικά με την εγγύτητα κινούμενων οχημάτων, είναι μερικά από τα παραδείγματα πρακτικής εφαρμογής της επιστημονικής καινοτομίας στον τομέα της ασφαλείας.

Οι νέες προδιαγραφές στην υποδομή των σύγχρονων μεταλλείων, οι διαστάσεις, ο αερισμός, ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός, τα συστήματα ασφαλείας, η διαχείριση επικίνδυνων χώρων εργασίας, η διαχείριση υγρασίας, σκόνης και επικίνδυνων ουσιών, οι αισθητήρες ασφαλείας, και άλλα είναι η ουσιαστική παράμετρος που αλλάζει τη λειτουργία των έργων ανά τον κόσμο, και ξεπερνά τους αυστηρούς κανόνες και προδιαγραφές που ισχύουν σε διεθνές επίπεδο και διέπουν τη μεταλλευτική δραστηριότητα. Οι νέες σημαντικά βελτιωμένες συνθήκες λειτουργούν ως αποτέλεσμα εφαρμογής των καινοτομιών και όχι ως επιταγή.



Μια άλλη πολύ σημαντική παράμετρος είναι η ενίσχυση της ακρίβειας και της εμπιστοσύνης στα μοντέλα πρόβλεψης και στα επίπεδα παραγωγής, γεγονός που αποτελεί πρόκληση για τις επιχειρήσεις. Για την αντιμετώπιση των προκλήσεων αυτών, οι επιχειρήσεις εξόρυξης πρέπει να εξετάσουν πιο «έξυπνες» μεθόδους συλλογής δεδομένων υψηλής ακρίβειας. Αυτό θα απαιτήσει από τις εταιρείες νέες στρατηγικές και ενέργειες για την επίλυση των προβλημάτων, θέτοντας λύσεις για να αποτρέψουν τα ζητήματα προτού συμβούν, αντί να προσπαθήσουν να τα λύσουν αφού προκύψουν. Είναι επιτακτική ανάγκη καινοτομώντας, να κατανοήσουν το πώς η τεχνολογία θα αλλάξει ακόμα περισσότερο τον τρόπο με τον οποίο ήδη δραστηριοποιούνται.

Στις δυνατότητες των διαθέσιμων λύσεων για αυτοματοποιήσεις στην παραγωγική διαδικασία της εξορυκτικής βιομηχανίας σήμερα, περιλαμβάνονται:

- επιχειρησιακή επιτήρηση για βραχυπρόθεσμο σχεδιασμό ορυχείων
- συμφιλίωση παραγωγής και έρευνας
- εντοπισμός κοιτασμάτων ΟΠΥ
- γεωλογική-γεωτεχνική χαρτογράφηση
- σταθεροποίηση υδρογεωλογικών συνθηκών
- παρακολούθηση απομακρυσμένων επιθεωρήσεων
- έρευνα-χαρτογράφηση τομέων
- έλεγχος υπόγειων κατασκευών κλειστών σε πρόσβαση
- έλεγχος κενών
- βελτιώσεις εξαερισμού υπόγειων μετώπων
- εξ αποστάσεως έρευνες και επιθεωρήσεις φραγμάτων απόθεσης αποβλήτων
- εξ αποστάσεως επιθεωρήσεις μηχανημάτων και υποδομών και εντοπισμός αναγκών συντήρησης, παρακολούθηση βίντεο για επιχειρήσεις σε περιπτώσεις έκτακτων περιστατικών.

Επίσης πραγματοποιούνται δοκιμές με drones εξοπλισμένα με κάμερες στρατιωτικής ποιότητας για την παροχή αεροφωτογραφιών σε πραγματικό χρόνο και 3D χάρτες των τοποθεσιών της παραγωγής. Έτσι, καθίσταται

εφικτή η κατασκευή τρισδιάστατων χαρτών αυτών των ορυχείων, παρακολουθώντας συνεχώς την πρόοδο και την ασφάλεια των μεταλλείων.

Πιο συγκεκριμένα, τα μη επανδρωμένα εναέρια συστήματα, είναι ένα παράδειγμα ψηφιακής λύσης που τα ορυχεία και μεταλλεία μπορούν να υιοθετήσουν για να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις. Οι εταιρείες στρέφονται σε αυτά, για διάφορους λόγους, όπως βελτιωμένη ασφάλεια, αυξημένη αποτελεσματικότητα και εξοικονόμηση κόστους. Αυτό έγινε ιδιαίτερα ελκυστικό τα τελευταία χρόνια, καθώς οι μειωμένες τιμές των βασικών προϊόντων ανάγκασαν τις επιχειρήσεις να αναζητήσουν τρόπους αύξησης της παραγωγικότητας αλλά και για λόγους παροχής ασφαλέστερων συνθηκών εργασίας για τον εργαζόμενο. Μία από τις πρώτες εταιρείες που άρχισαν να χρησιμοποιούν τα drones ήταν η BHP Billiton, παγκόσμιος ηγέτης στην παραγωγή σιδηρομεταλλεύματος, μεταλλουργικού άνθρακα και χαλκού.

Τα drones έχουν αποδείξει ότι μετρούν με ακρίβεια τα αποθέματα μεταξύ 97-99% της πραγματικής ποσότητας, σημαντικά βελτιωμένα από την ακρίβεια παραδοσιακών μεθόδων. Επίσης παρέχουν πρόσβαση σε πιο ακριβή και αξιόπιστα δεδομένα δίνοντας τη δυνατότητα αποτελεσματικότερων ελέγχων των χώρων εξόρυξης σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους. Ένας μόνο εργαζόμενος θα αρκεί για να χειριστεί μία τεχνολογία drone και να σαρώσει μια τοποθεσία 150 στρεμμάτων σε 30 λεπτά. Με βάση τα δεδομένα που μπορούν να προσεγγιστούν από αυτά, οι σχεδιαστές-διαχειριστές των έργων θα μπορούν να σχεδιάσουν με μεγαλύτερη βεβαιότητα, πλησιάζοντας την πραγματικότητα. Μέσω ασφαλέστερης διαχείρισης των δεδομένων, θα μπορούν να εκτιμηθούν καλύτερα κόστη, αναγκαίες επενδύσεις, χρονοδιαγράμματα έργων, ποιοτικές διαφοροποιήσεις και παραγωγικός σχεδιασμός. Έτσι λοιπόν, επιτρέπεται η γνώση του αποθέματος σε πραγματικό χρόνο, συμβάλλοντας στην καλύτερη αξιοποίηση υλικών, τη βελτιστοποίηση κόστους, την καλύτερη αξιοποίηση εργατικού δυναμικού και την αποφυγή σπατάλης υλικών.

Ουσιαστικά, μπορούμε να αναμένουμε ο κλάδος να υποβληθεί σε ευρύτερες αλλαγές καθώς βρίσκονται συνέχεια νέοι τρόποι να ενωθούν διαφορετικά κομμάτια τεχνολογίας με νέες προσεγγίσεις δουλειάς. Εξάλλου η καινοτομία

δεν είναι απαραίτητο να συνδέεται πάντα με την τεχνολογία ή να είναι μία νέα τεχνολογία. Μπορεί να είναι η οποιαδήποτε διαφορετική ματιά αλλά και το πάντρεμα πολλών ετερογενών στοιχείων σε μία νέα ενιαία μορφή.

Η τεχνολογία θα αλλάξει τη φύση της εργασίας. Η ανάγκη για κάποιες παραδοσιακές, απλά εκτελεστικές θέσεις θα μειωθεί. Για παράδειγμα, με drones ικανά να παραδίδουν δείγματα διαδικτυακά από τους εξορυκτικούς χώρους, οι επιθεωρητές θα ξοδεύουν λιγότερο χρόνο συλλέγοντας δεδομένα στον τομέα και περισσότερο χρόνο ερμηνεύοντας τον. Αυτό σημαίνει ότι αν οι δοκιμές αποδειχθούν επιτυχείς, δημιουργείται η προοπτική για μια σειρά νέων καλά πληρωμένων ρόλων. Ένας πιλότος drone σε ένα ορυχείο μπορεί να αναμένει να φτάσει μέχρι και 200.000 δολάρια το χρόνο, όσο ένας πιλότος αεροπορικής εταιρείας. Είναι ένας από τους ειδικούς ρόλους που δημιουργούνται από την τεχνολογία που απαιτεί μεγαλύτερες ευκαιρίες κατάρτισης για να επιτρέψει στη βιομηχανία εξόρυξης να συνεχίσει να αναπτύσσεται ταχύτατα. Είναι στο χέρι μας να χρησιμοποιήσουμε την τεχνολογία προς τη σωστή κατεύθυνση, ώστε και η παραγωγή να διευκολυνθεί και να απλοποιηθεί και οι εργαζόμενοι να γίνουν καλύτεροι και πιο ανταγωνιστικοί σε συνθήκες εργασίας υψηλής ποιότητας και ασφάλειας.



## Βιβλιογραφία

<https://www.orykta.gr/geologia-oryktologia/oryktoi-poroi-koitasmatologia>

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CE%B9%CE%B4%CE%B7%CF%81%CE%BF%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%AC%CE%BB%CE%BB%CE%B5%CF%85%CE%BC%CE%B1>

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B1%CE%B3%CE%B3%CE%B1%CE%BD%CE%AF%CF%84%CE%B7%CF%82>

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%B9%CF%84%CE%AC%CE%BD%CE%B9%CE%BF>

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CF%8C%CE%BB%CF%85%CE%B2%CE%B4%CE%BF%CF%82>

<https://www.emprosnet.gr/emprosnet-archive/78aa0eb2-35a2-4673-a034-33ee4a656415>

[https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/765/1/02\\_chapter\\_01.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/765/1/02_chapter_01.pdf)

<http://www.oryktosploutos.net/2010/06/blog-post.html>

<https://www.orykta.gr/ekmetalleusi-emploutismos/methodoi-emploutismou>

<https://www.orykta.gr/ekmetalleusi-emploutismos/ypaithries-epifaniakes-ekmetalleyseis/epifaneiakiki-ekmetalleysi-metalleytikon-orykton>

<https://www.orykta.gr/istoria/paragogi-statistika/134-%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%AD%CF%82-%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B5%CF%85%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD-%CE%BF%CF%81%CF%85%CE%BA%CF%84%CF%8E%CE%BD>

<https://m.naftemporiki.gr/story/1549664>

<http://www.latomet.gr/ypan/Hypertrak/BinaryContent.aspx?pagenb=12093>

<https://www.nsenergybusiness.com/features/autonomous-mining-technology-zyfra/>

<https://www.oemoffhighway.com/electronics/smart-systems/automated-systems/article/12243110/autonomous-mining-equipment>

<https://www.azomining.com/Article.aspx?ArticleID=1381>

[https://www.cat.com/en\\_US/by-industry/mining/articles/fmg-1-billion.html](https://www.cat.com/en_US/by-industry/mining/articles/fmg-1-billion.html)

<http://www.locata.com/wp-content/uploads/2014/10/Geospatial-World-Magazine-Mining-Automation-Article-Jason-Nitz-Sept-2014.pdf>

[https://www.cat.com/en\\_US/by-industry/mining/articles/mining-autonomy.html](https://www.cat.com/en_US/by-industry/mining/articles/mining-autonomy.html)

<https://www.abc.net.au/news/2018-08-09/worlds-first-fully-autonomous-underground-mine-in-africa/10090932>

[https://economytoday.sigmalive.com/arthrografia/15569\\_i-tehnologia-exelissei-ti-metalleytiki-viomihania](https://economytoday.sigmalive.com/arthrografia/15569_i-tehnologia-exelissei-ti-metalleytiki-viomihania)

[https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3467/3/02\\_chapter\\_12.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3467/3/02_chapter_12.pdf)

[http://www.extraco.gr/user\\_images/pdf/56fbd77a4a6fb\\_el.pdf](http://www.extraco.gr/user_images/pdf/56fbd77a4a6fb_el.pdf)

<https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/41590/%CE%94%CE%B9%CF%80%CE%BB%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%B7.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<https://www.oryktosploutos.net/2019/03/drones.html?m=1>

<https://www.sme.gr/%CE%BA%CE%B1%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CF%84%CE%BF%CE%BC%CE%AF%CE%B1-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CF%87%CF%81%CE%AE%CF%83%CE%B7-drones-%CF%83%CF%84%CE%BF%CE%BD-%CE%B5%CE%BE%CE%BF%CF%81%CF%85%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BA/>