



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

***ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΑΝΑΤΙΝΑΞΗΣ ΣΤΙΣ ΥΠΑΙΘΡΙΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ***

Πτυχιακή Εργασία

της

Αθανασίας Χριστοπούλου, Ge06113

που υποβάλλεται στο Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων
του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας
για τη μερική εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης
του Διπλώματος Μηχανικού Ορυκτών Πόρων ΠΔΜ



Κοζάνη, Μάιος 2024

ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΜΗ ΠΡΟΣΒΟΛΗΣ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΗΣ ΙΔΙΟΚΤΗΣΙΑΣ

Δηλώνω ρητά ότι η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο: «ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΤΙΝΑΞΗΣ ΣΤΙΣ ΥΠΑΙΘΡΙΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ» καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στο πλαίσιο αυτής της εργασίας και αναφέρονται ρητώς μέσα στο κείμενο που συνοδεύουν και η οποία έχει εκπονηθεί στο Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, υπό την επίβλεψη του κ. Ιωάννη Καπαγερίδη, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή / και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και μόνο.

Copyright (C) Χριστοπούλου Αθανασία & Καπαγερίδης Ιωάννης,

26/10/2023, Κοζάνη

Υπογραφή Φοιτητή

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

Περίληψη

Η εξορυκτική βιομηχανία διέρχεται μια μεταμορφωτική φάση με την ενσωμάτωση των ψηφιακών τεχνολογιών. Αυτή η πτυχιακή διερευνά την ψηφιοποίηση των λειτουργιών διάτρησης και ανατίναξης μέσω μιας εις βάθος ανάλυσης τριών πρωτοποριακών περιπτώσεων: της Orica WebGen, της Martek BlastLogic και της BCG Phosa AI. Κάθε μελέτη περίπτωσης προσφέρει μοναδικές πληροφορίες σχετικά με την εφαρμογή ψηφιακών λύσεων στο πλαίσιο των πρακτικών εξόρυξης. Η Orica WebGen προσφέρει ένα σημαντικό πλεονέκτημα, χρησιμοποιώντας ασύρματη τεχνολογία για να επιτρέψει την ηλεκτρονική εκκίνηση των ανατινάξεων. Αυτή η μελέτη περίπτωσης εμβαθύνει στις λειτουργικές αποδόσεις, τις βελτιώσεις ασφάλειας και τα περιβαλλοντικά οφέλη που διευκολύνει η τεχνολογία WebGen, απεικονίζοντας τον αντίκτυπό της στις παραδοσιακές μεθόδους ανατινάξεων. Η Martek BlastLogic, από την άλλη πλευρά, εστιάζει στη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων. Χρησιμοποιώντας προηγμένους αλγόριθμους, το BlastLogic βελτιστοποιεί το σχεδιασμό ανατινάξεων, με αποτέλεσμα βελτιωμένο κατακερματισμό και ανάκτηση μεταλλεύματος. Η ανάλυση αυτής της μελέτης περίπτωσης δίνει έμφαση στο ρόλο της προγνωστικής μοντελοποίησης και της ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο στην ενίσχυση των αποτελεσμάτων ανατίναξης. Η BCG Phosa AI εισάγει την τεχνητή νοημοσύνη στη σφαίρα των λειτουργιών γεώτρησης και ανατίναξης. Μέσω των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, το Phosa AI βελτιστοποιεί τα μοτίβα διάτρησης και τη χρήση εκρηκτικών, μεγιστοποιώντας την παραγωγικότητα και ελαχιστοποιώντας το κόστος. Αυτή η μελέτη περίπτωσης εμβαθύνει στις πολυπλοκότητες της ενσωμάτωσης τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης, της αντιμετώπισης προκλήσεων και της ανάδειξης του μετασχηματιστικού δυναμικού των προσεγγίσεων που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη. Συγκρίνοντας αυτές τις διαφορετικές περιπτωσιολογικές μελέτες, αυτή η έρευνα παρέχει μια περιεκτική επισκόπηση του τρέχοντος τοπίου των ψηφιοποιημένων εργασιών διατρήσεων και ανατινάξεων. Η συγκριτική ανάλυση ρίχνει φως στα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς κάθε τεχνολογίας, επιτρέποντας μια λεπτομερή κατανόηση των πρακτικών συνεπειών της. Επιπλέον, η μελέτη συζητά τις ευρύτερες επιπτώσεις για τη βιομηχανία εξόρυξης, τονίζοντας την ανάγκη για προσαρμοσμένες ψηφιακές λύσεις προσαρμοσμένες σε συγκεκριμένα λειτουργικά πλαίσια. Αυτή η έρευνα συνεισφέρει σημαντικές γνώσεις για επαγγελματίες εξόρυξης, προγραμματιστές τεχνολογίας και ερευνητές, σκιαγραφώντας τη μελλοντική εξέλιξη των ψηφιοποιημένων πρακτικών διατρήσεων και ανατινάξεων στον τομέα της εξόρυξης.

Abstract

The mining industry is undergoing a transformative phase with the integration of digital technologies. This dissertation explores the digitization of drill and blast operations through an in-depth analysis of three pioneering case studies: Orica WebGen, Maptek BlastLogic, and BCG Phosa AI. Each case study offers unique insights into the implementation of digital solutions within the context of mining practices. Orica WebGen represents a significant advancement, utilizing wireless technology to enable electronic initiation of blasts. This case study delves into the operational efficiencies, safety enhancements, and environmental benefits facilitated by WebGen, illustrating its impact on traditional blasting methods. Maptek BlastLogic, on the other hand, focuses on data-driven decision-making. By employing advanced algorithms, BlastLogic optimizes blast design, resulting in improved fragmentation and ore recovery. The analysis of this case study emphasizes the role of predictive modeling and real time analytics in enhancing blast outcomes. BCG Phosa AI introduces artificial intelligence into the realm of drill and blast operations. Through machine learning algorithms, Phosa AI optimizes drilling patterns and explosives usage, maximizing productivity while minimizing costs. This case study delves into the complexities of integrating AI technologies, addressing challenges and highlighting the transformative potential of AI-driven approaches. By comparing these diverse case studies, this research provides a comprehensive overview of the current landscape of digitized drill and blast operations. The comparative analysis sheds light on the strengths and limitations of each technology, enabling a nuanced understanding of their practical implications. Moreover, the study discusses the broader implications for the mining industry, emphasizing the need for customized digital solutions tailored to specific operational contexts. This research contributes valuable insights for mining professionals, technology developers, and researchers, guiding the future evolution of digitized drill and blast practices in the mining sector.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	3
Abstract	4
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	7
1.1 Υπαίθριες εκμεταλλεύσεις	8
1.1.1 Βασικές πληροφορίες.....	8
1.1.2 Η επιφανειακή εκμετάλλευση κοιτασμάτων κατά λωρίδες (Strip mining) .	13
1.1.3 Επιφανειακή εκμετάλλευση με βαθμίδες (Terrace Mining)	14
1.1.4 Επιφανειακή εκμετάλλευση με κλειστές βαθμίδες (Conical pit mining)	16
1.1.5 Επιφανειακή εκμετάλλευση με ανοικτές βαθμίδες.....	17
1.2 Διάτρηση και Ανατίναξη.....	18
1.2.1 Ορισμός και βασικές αρχές των διαδικασιών διάτρησης και ανατινάξεων.....	18
1.2.3 Ιστορική αναδρομή των διαδικασιών διάτρησης και ανατίναξης	27
1.2.2 Εξέλιξη και πρόοδος των διαδικασιών διάτρησης και ανατίναξης	29
1.3 Ψηφιοποίηση και αυτοματισμός	33
1.3.1 Πρόσφατες εξελίξεις στις διατρήσεις	35
1.3.2 Πρόσφατες εξελίξεις στην ανατινάξεις.....	37
1.4 Συμπεράσματα και διάρθρωση πτυχιακής εργασίας	39
Κεφάλαιο 2: Μεθοδολογία	42
2.1 Σκοπός και στόχοι της παρούσης εργασίας	42
2.2 Περιγραφή των τριών περιπτώσεων μελέτης (case studies) και τα κριτήρια επιλογής τους.....	43
Κεφάλαιο 3: Η περίπτωση της Orica	44
3.1 Βασικές πληροφορίες για την Orica.....	44
3.2 Περιγραφή των πρωτοβουλιών αυτοματισμού που υλοποιήθηκαν και των αποτελεσμάτων τους.....	45
3.2.1 Orica - WebGen™	45

Κεφάλαιο 4: Η περίπτωση της Martec BlastLogic	50
4.1 Βασικές πληροφορίες για την Martec	50
4.1 Περιγραφή των πρωτοβουλιών ψηφιοποίησης που υλοποιήθηκαν και των αποτελεσμάτων τους.....	51
4.1.2 BlastLogic της Martec.....	51
4.2 Περιγραφή των πρωτοβουλιών ψηφιοποίησης που υλοποιήθηκαν και των αποτελεσμάτων τους.....	53
Κεφάλαιο 5: Η περίπτωση της BCG GAMMA.....	57
5.1 Βασικές πληροφορίες για την BCG	57
5.2 BCG GAMMA και το πρόγραμμα PHOSA	57
Κεφάλαιο 6: Συζήτηση και συμπέρασμα.....	59
6.1 Οι επιπτώσεις των προηγμένων τεχνολογιών στον τομέα των γεωτρήσεων και ανατινάξεων.....	59
1. Λειτουργική αποτελεσματικότητα και ακρίβεια.....	59
2. Βελτιωμένα Πρωτόκολλα Ασφαλείας	60
3. Περιβαλλοντική βιωσιμότητα.....	60
4. Μελλοντική τροχιά του μεταλλευτικού τομέα	61
Βιβλιογραφία	63

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Οι υπαίθριες εκμεταλλεύσεις διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην κάλυψη της παγκόσμιας ζήτησης για ορυκτά και μέταλλα. Παρόλο που προσφέρουν σημαντικά οικονομικά οφέλη, απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός, περιβαλλοντική διαχείριση και υπεύθυνες πρακτικές για τον μετριασμό των επιπτώσεών τους και τη διασφάλιση βιώσιμων εργασιών εξόρυξης. Οι διεργασίες διατρήσεων και ανατινάξεων είναι θεμελιώδεις λειτουργίες σε διάφορους κλάδους, ειδικά σε αυτούς που σχετίζονται με την εξόρυξη και την ανάπτυξη φυσικών πόρων. Αυτές οι διαδικασίες περιλαμβάνουν την ελεγχόμενη χρήση εκρηκτικών για τη διάσπαση πετρωμάτων ή άλλων υλικών, επιτρέποντας την εκσκαφή, τον κατακερματισμό και τη διαμόρφωση του εδάφους. Δεν διευκολύνουν απλά την πρόσβαση σε πολύτιμα ορυκτά και υλικά, αλλά επίσης συμβάλλουν στη δημιουργία απαιτούμενων υποδομών, όπως ορυχεία, λατομεία, και τον προσανατολισμό της οικονομίας προς την επεξεργασία και την παραγωγή βιομηχανικών και ενεργειακών προϊόντων.

Εκτός από την οικονομική σημασία, αυτές οι διαδικασίες έχουν επίσης σημαντικό αντίκτυπο στο περιβάλλον και την κοινωνία. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εξόρυξης και των ανατινάξεων πρέπει να διαχειρίζονται με προσοχή, καθώς οι ανεξέλεγκτες δραστηριότητες μπορούν να έχουν αρνητικές συνέπειες στο οικοσύστημα και την υγεία των ανθρώπων. Συνεπώς, η βιώσιμη διαχείριση των διαδικασιών αυτών είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση των πόρων και την προστασία του περιβάλλοντος. Με την πάροδο των ετών, ο τομέας της διάτρησης και της ανατίναξης έχει υποστεί σημαντική εξέλιξη, με γνώμονα την πρόοδο της τεχνολογίας, τα ζητήματα ασφάλειας, τις περιβαλλοντικές ανησυχίες και την επίδιωξη μεγαλύτερης απόδοσης και παραγωγικότητας.

Στόχος αυτής της εισαγωγής είναι να συνοψίσει τις βασικές αρχές των διαδικασιών διάτρησης και ανατινάξεων στις υπαίθριες κυρίως εκμεταλλεύσεις, να περιγράψει την εξέλιξή τους, να συζητήσει τις προηγούμενες πρακτικές, να τονίσει την πρόοδο που έχει σημειωθεί και να σκιαγραφήσει τις μελλοντικές κατευθύνσεις σε αυτό το κρίσιμο πεδίο.

1.1 Υπαίθριες εκμεταλλεύσεις

1.1.1 Βασικές πληροφορίες

Ορυχείο ονομάζεται ο τόπος επιφανειακός ή εσωτερικός στη Γη από τον οποίο εξάγονται χρήσιμα ορυκτά. Με το ίδιο όνομα φέρεται γενικά κάθε τόπος από όπου εξορύσσονται υλικά χρήσιμα κυρίως στη βιομηχανία. Όταν τα εξορυσσόμενα υλικά είναι μέταλλα τότε ο τόπος αυτός λέγεται μεταλλείο, αν πρόκειται για οικοδομικά υλικά λέγεται λατομείο.

Ο όρος μετάλλευμα (ore) αναφέρεται συνήθως σε κοιτάσματα πετρωμάτων ή ορυκτών που περιέχουν πολύτιμα υλικά, όπως μέταλλα ή ορυκτά, που μπορούν να εξορυχθούν οικονομικά. Ωστόσο, αυτό που χαρακτηρίζεται ως μετάλλευμα μπορεί να αλλάξει με την πάροδο του χρόνου λόγω των εξελίξεων της τεχνολογίας. Καθώς αναπτύσσονται νέες τεχνολογίες εξόρυξης, καθίσταται δυνατή η εξαγωγή πολύτιμων υλικών από πηγές που προηγουμένως θεωρούνταν αντιοικονομικές ή ανέφικτες. Αυτό σημαίνει ότι όσα θα μπορούσαν να θεωρούνταν απόβλητα στο παρελθόν θα μπορούσαν να γίνουν οικονομικά βιώσιμα για την εξόρυξη λόγω βελτιωμένων μεθόδων εξόρυξης.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, η διάκριση μεταξύ μεταλλεύματος και αποβλήτων είναι εύκολη λόγω των σαφών γεωλογικών διαφορών μεταξύ πολύτιμων ορυκτών και μη πολύτιμων πετρωμάτων. Αυτό σημαίνει ότι οι αλλαγές στην τεχνολογία ή στις συνθήκες της αγοράς ενδέχεται να έχουν μικρό αντίκτυπο στην ταξινόμηση των πόρων. Ωστόσο, σε καταστάσεις όπου το όριο μεταξύ μεταλλεύματος και αποβλήτων δεν είναι τόσο σαφές, οι αλλαγές στην τεχνολογία και τις συνθήκες της αγοράς μπορεί να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην εκτίμηση των διαθέσιμων πόρων. Για παράδειγμα, κοιτάσματα με μεταλλεύματα χαμηλής ποιότητας (μεταλλεύματα με χαμηλότερη συγκέντρωση πολύτιμων ορυκτών) μπορεί να μην θεωρούνταν οικονομικά βιώσιμα για εξόρυξη στο παρελθόν. Αλλά η εισαγωγή πιο αποδοτικού εξοπλισμού εξόρυξης με υψηλότερη χωρητικότητα θα μπορούσε να μειώσει το κόστος εξόρυξης αυτών των μεταλλευμάτων χαμηλότερης ποιότητας, καθιστώντας τα οικονομικά εφικτά για την εξόρυξή τους. Αυτό αυξάνει την εκτιμώμενη χωρητικότητα των διαθέσιμων πόρων.

Οι διακυμάνσεις στις τιμές των εμπορευμάτων, όπως η τιμή του χαλκού, μπορούν επίσης να επηρεάσουν τον τρόπο ταξινόμησης των υλικών. Η αύξηση της τιμής ενός συγκεκριμένου μετάλλου μπορεί να καταστήσει οικονομικά βιώσιμη την εξόρυξη κοιτασμάτων που προηγουμένως θεωρούνταν πολύ χαμηλής ποιότητας για να είναι κερδοφόρα. Αυτό θα

μπορούσε να οδηγήσει στην επαναταξινόμηση αυτού που κάποτε θεωρούνταν απόβλητο ως μετάλλευμα.

Η εξόρυξη σε υπαίθριες εκμεταλλεύσεις (open-pit mining) είναι μια μέθοδος εξόρυξης ορυκτών ή άλλων γεωλογικών υλικών από την επιφάνεια της γης. Πρόκειται για εξόρυξη μεγάλων ποσοτήτων υλικού από ένα ανοιχτού χώρου ορυχείου. Χαρακτηρίζεται από την αφαίρεση υπερκείμενων επιφανειών (βλάστηση, έδαφος και πετρώματα) για να εκτεθούν τα επιθυμητά κοιτάσματα ορυκτών.

Η υπαίθρια εξόρυξη (open-pit mining) διαφέρει από την λατόμευση (quarring) (με πιθανή εξαίρεση το σιδηρομετάλλευμα) στο ότι το πολύτιμο ορυκτό αποτελεί μόνο ένα μικρό ποσοστό της συνολικής χωρητικότητας του παραγόμενου πετρώματος. Στο λατομείο (quarry), ο ίδιος ο βράχος είναι το πολύτιμο εμπόρευμα, με σχεδόν όλο το ακατέργαστο πέτρωμα που κερδίζεται να υποβάλλεται σε επεξεργασία (συντά μόνο με σύνθλιψη και κοσκίνισμα) για να δώσει εμπορεύσιμα προϊόντα. Στην εξόρυξη ανοιχτού λάκκου, από την άλλη πλευρά, η περιεκτικότητα σε μέταλλο του παραγόμενου μεταλλεύματος μπορεί να είναι μόνο κλάσματα του ποσοστού, πράγμα που σημαίνει ότι ένα τεράστιο ποσοστό του εξαγόμενου βράχου είναι ουσιαστικά απόβλητο υλικό.

Η υπαίθρια εξόρυξη παρέχει σημαντικό ποσοστό από τα σημαντικότερα ορυκτά αγαθά του κόσμου. Στην εξόρυξη σκληρών πετρωμάτων, μεγάλο μέρος της παγκόσμιας ετήσιας παραγωγής χαλκού, χρυσού και σιδηρομεταλλεύματος κερδίζεται από εργασίες ανοιχτού τύπου. Άλλα προϊόντα που παράγονται από εξόρυξη ανοιχτού τύπου περιλαμβάνουν διαμάντια, μολυβδαίνιο, μαγγάνιο, μόλυβδο και ψευδάργυρο, ουράνιο και μια ποικιλία βιομηχανικών ορυκτών, όπως βορικά άλατα, τάλκη και εξειδικευμένες άργιλοι.

Ο κατάλογος των εμπορευμάτων είναι εκτενής, αν και οι σχετικές αναλογίες που εξορύσσονται υπόγεια και στην επιφάνεια ποικίλλουν από ορυκτό σε ορυκτό. Τεράστιες ποσότητες λιθάνθρακα και λιγνίτη παράγονται επίσης από επιφανειακά ορυχεία, αν και η ορολογία που χρησιμοποιείται – open cast ή open cut, και όχι open-pit – δείχνει ότι η τεχνολογία και οι έννοιες μηχανικής που χρησιμοποιούνται συχνά διαφέρουν σημαντικά από αυτές που χρησιμοποιούνται σε σκληρά βραχώδη περιβάλλοντα.

Επιπλέον, η γεωμετρία του σώματος του μεταλλεύματος μπορεί να σημαίνει ότι μεγάλες ποσότητες άγονων πετρωμάτων πρέπει επίσης να εξορυχθούν και να μεταφερθούν προκειμένου να έχουν πρόσβαση στο μετάλλευμα στο οποίο το πολύτιμο ορυκτό (ή ορυκτά) αποτελεί μόνο ένα μικρό ποσοστό. Αυτό πρέπει να ανακτηθεί από τη μήτρα του βράχου τόσο

μέσω φυσικών (θραύση και λείανση) όσο και/ή χημικών διεργασιών όπως η επίπλευση (flotation), πράγμα που σημαίνει ότι το κόστος επεξεργασίας είναι υψηλότερο. Αυτό αντικατοπτρίζεται στις τιμές των μεταλλικών εμπορευμάτων, με έναν τόνο χαλκού ή ψευδαργύρου να αποτιμάται πολύ υψηλότερα από έναν τόνο γρανίτη ή βασάλτη.

Η διαδικασία εξόρυξης στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις περιλαμβάνει διατρήσεις / γεωτρήσεις και ανατινάξεις για να κατακερματιστεί η βραχώδης μάζα. Βαρέα μηχανήματα όπως εκσκαφείς, φορτηγά και φορτωτές χρησιμοποιούνται για την αφαίρεση του υπερκείμενου φορτίου και την εξόρυξη του ορυκτού μεταλλεύματος. Το εξαγόμενο υλικό στη συνέχεια μεταφέρεται σε μονάδα επεξεργασίας για περαιτέρω επεξεργασία.

Η εκμετάλλευση οποιουδήποτε ορυκτού ή μεταλλεύματος βασίζεται σε τρεις βασικούς πυλώνες: την οικονομική απόδοση, την ασφάλεια και την περιβαλλοντική προστασία.

Η οικονομική απόδοση είναι ζωτικής σημασίας, καθώς η εκμετάλλευση πρέπει να είναι οικονομικά αποδοτική. Κατά τον σχεδιασμό, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και να προτείνονται μέτρα προστασίας. Η αγνόηση αυτών των παραγόντων μπορεί να οδηγήσει στον τερματισμό της εκμετάλλευσης. Ο σχεδιασμός της εκμετάλλευσης περιλαμβάνει τα όρια της εκμετάλλευσης, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της εκσκαφής, τα απολήψιμα αποθέματα, τη διάρκεια και τη χρονική εξέλιξη της εκμετάλλευσης, την απόθεση των στείρων υλικών και την αποκατάσταση ή αξιοποίηση του χώρου μετά το πέρας της εκμετάλλευσης.

Συγκεκριμένα, η ασφάλεια είναι μια κρίσιμη πτυχή της εξόρυξης λόγω της μεγάλης κλίμακας εργασιών και των πιθανών κινδύνων. Τα μέτρα ασφαλείας περιλαμβάνουν αυστηρά πρωτόκολλα για ανατινάξεις, παρακολούθηση ευστάθειας πλαγιάς, διαχείριση κυκλοφορίας για βαρύ εξοπλισμό και ατομικό προστατευτικό εξοπλισμό για τους εργαζόμενους.

Επιπλέον, οι εξορύξεις σε υπαίθριες εκμεταλλεύσεις μπορεί να έχουν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η απομάκρυνση της βλάστησης και του επιφανειακού εδάφους αλλοιώνει το τοπίο, οδηγώντας σε καταστροφή των βιοτόπων καθώς και σε διάβρωση του εδάφους. Η διαχείριση των υδάτων είναι επίσης απαραίτητη για την πρόληψη της ρύπανσης των κοντινών υδάτινων σωμάτων. Εφαρμόζονται κατάλληλα σχέδια κλεισίματος και αποκατάστασης ορυχείων για την αποκατάσταση της γης μετά την παύση των εργασιών εξόρυξης.

Μερικά πλεονεκτήματα των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων περιλαμβάνουν τα υψηλά ποσοστά παραγωγής, την εύκολη πρόσβαση στο σώμα του μεταλλεύματος και τη δυνατότητα αποκάλυψης μεγάλων κοιτασμάτων ορυκτών. Ωστόσο, έχει επίσης μειονεκτήματα όπως ο οπτικός αντίκτυπος στο τοπίο, η μετατόπιση των κοινοτήτων και η πιθανότητα μόλυνσης του εδάφους και των υδάτων.

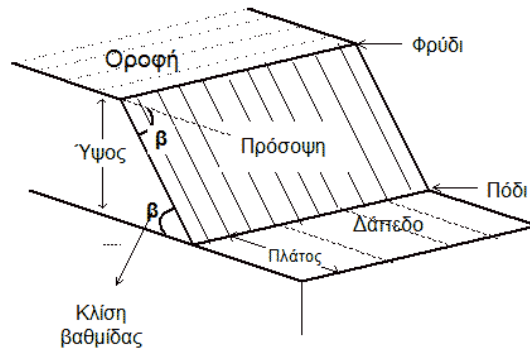
Η εκμεταλλευσιμότητα ενός κοιτάσματος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η περιεκτικότητα του σε χρήσιμα συστατικά, οι ποσότητες των αποθεμάτων, ο τρόπος εμφάνισης του κοιτάσματος και η δυνατότητα εξόρυξης των πόρων. Ορισμένα κοιτάσματα μπορεί να είναι προσβάσιμα και να μπορούν να εξορυχθούν με σχετικά ευκολία, ενώ άλλα μπορεί να βρίσκονται σε δυσπρόσιτες περιοχές ή να απαιτούν πιο περίπλοκες τεχνικές εξόρυξης.

Οι επιφανειακές (υπαίθριες) εκμεταλλεύσεις μπορούν να διακριθούν σε τέσσερις βασικούς τύπους:

- Επιφανειακή εκμετάλλευση κοιτασμάτων κατά λωρίδες (Strip mining).
- Επιφανειακή εκμετάλλευση με βαθμίδες για κοιτάσματα μεγάλης οριζόντιας εξάπλωσης (Terrace mining)
- Επιφανειακή εκμετάλλευση με κλειστές βαθμίδες (Conical pit mining)
- Επιφανειακή εκμετάλλευση με ανοιχτές βαθμίδες

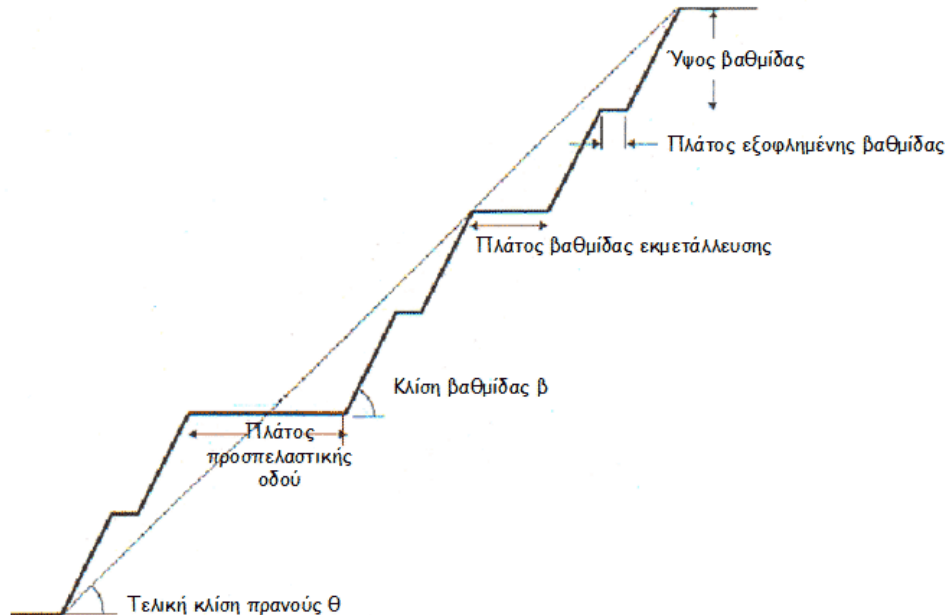
Η επιλογή του τύπου εκμετάλλευσης εξαρτάται από τη γεωμετρία και τα χαρακτηριστικά του κοιτάσματος.

Η συνήθης μορφή ενός μετώπου παραγωγής είναι η βαθμίδα. Μια βαθμίδα αποτελείται από δύο ελεύθερες επιφάνειες: μία οριζόντια και μία κατακόρυφη ή κεκλιμένη με μεγάλη κλίση. Κάθε βαθμίδα αποτελεί μονάδα παραγωγής και χαρακτηρίζεται με βάση την κλίση, το πλάτος, το ύψος, το φρύδι και το πόδι (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά βαθμίδας (source: www.orykta.gr)

Το μήκος και η κατεύθυνση προς την οποία αναπτύσσεται η βαθμίδα εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος, τη μορφολογία της περιοχής και το βάθος. Πολλές διαδοχικές βαθμίδες αποτελούν τα πρηνή της εκμετάλλευσης (Εικόνα 2). Η κλίση που έχουν τα πρηνή της εκμετάλλευσης προς το οριζόντιο επίπεδο οποιαδήποτε στιγμή κατά τη διάρκεια της εκμετάλλευσης διακρίνεται σε μέγιστη, τελική ή οριακή κλίση στην οποία μπορεί να φθάσει με ασφάλεια η εκμετάλλευση κατά την τελική φάση.



Εικόνα 2. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά πρηνούς εκμετάλλευσης (source: www.orykta.gr)

1.1.2 Η επιφανειακή εκμετάλλευση κοιτασμάτων κατά λωρίδες (Strip mining)

Η εξόρυξη κατά λωρίδες, είναι μια τεχνική εξόρυξης που χρησιμοποιείται για την εξόρυξη πολύτιμων ορυκτών ή άλλων γεωλογικών υλικών που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια της Γης. Στην εξόρυξη κατά λωρίδες, το υπερκείμενο στρώμα εδάφους και βράχου, αφαιρείται για να εκτεθεί ο πόρος-στόχος.

Η εξόρυξη κατά λωρίδες περιλαμβάνει τη συστηματική απομάκρυνση στρωμάτων εδάφους και πετρωμάτων (υπερκείμενα) για πρόσβαση στο κοίτασμα ορυκτών. Η απομάκρυνση του υπερκείμενου φορτίου συνήθως γίνεται χρησιμοποιώντας βαρύ εξοπλισμό, όπως συρματόσχοινα, μπουλντόζες ή εκσκαφείς.

Μόλις αφαιρεθούν τα υπερκείμενα, το κοίτασμα ορυκτών εκτίθεται και μπορεί να εξαχθεί. Οι κοινοί πόροι που εξορύσσονται μέσω της εξόρυξης κατά λωρίδες περιλαμβάνουν άνθρακα, λιγνίτη, άμμο, χαλίκι και διάφορα μεταλλεύματα.

Η εξόρυξη κατά λωρίδες μπορεί να έχει σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η απομάκρυνση της βλάστησης και του επιφανειακού εδάφους διαταράσσει τα οικοσυστήματα και μπορεί να οδηγήσει σε διάβρωση του εδάφους και απώλεια οικοτόπου. Επιπλέον, τα εκτεθειμένα κοιτάσματα ορυκτών ενδέχεται να απελευθερώσουν ρύπους στον περιβάλλοντα αέρα και το νερό εάν δεν διαχειρίζονται σωστά.

Μετά την ολοκλήρωση της εξόρυξης ορυκτών, η εξορυσσόμενη γη αποκαθίσταται μέσω εργασιών αποκατάστασης. Αυτό περιλαμβάνει την αναμόρφωση της γης, την αντικατάσταση του φυτικού εδάφους και την αναφύτευση της βλάστησης για την αποκατάσταση της οικολογικής ισορροπίας και της παραγωγικότητας.

Η εξόρυξη κατά λωρίδες χρησιμοποιείται συχνά όταν τα στοχευόμενα ορυκτά είναι σχετικά ρηγά και διαδεδομένα. Μπορεί να είναι μια οικονομικά αποδοτική μέθοδος για εργασίες μεγάλης κλίμακας, καθώς επιτρέπει την αποτελεσματική εξόρυξη πόρων σε μια μεγάλη περιοχή.

Η εξόρυξη κατά λωρίδες υπόκειται σε κανονισμούς και άδειες για τη διασφάλιση της συμμόρφωσης με τα περιβαλλοντικά πρότυπα και την ελαχιστοποίηση των δυσμενών επιπτώσεων. Οι κυβερνήσεις και οι ρυθμιστικοί φορείς επιβάλλουν κατευθυντήριες γραμμές για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την προώθηση υπεύθυνων πρακτικών εξόρυξης.



Εικόνα 3. Επιφανειακή εκμετάλλευση κατά λωρίδες (πηγή: <https://www.aboutmechanics.com/what-is-strip-mining.htm>)

1.1.3 Επιφανειακή εκμετάλλευση με βαθμίδες (Terrace Mining)

Η επιφανειακή εκμετάλλευση με βαθμίδες, γνωστή και ως terrace mining ή bench mining, είναι μια μέθοδος εξόρυξης που περιλαμβάνει τη δημιουργία μιας σειράς αναβαθμίδων στις πλευρές ενός λάκκου ορυχείου. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται συνήθως σε υπαίθριες εργασίες εξόρυξης, ειδικά όταν το κοίτασμα ορυκτών βρίσκεται σε απότομη πλαγιά.

Η διαδικασία της εξόρυξης με βαθμίδες ξεκινά με την αφαίρεση του υπερκείμενου φορτίου, που είναι το στρώμα εδάφους, πετρωμάτων και βλάστησης που καλύπτει το κοίτασμα ορυκτών. Μετά την απομάκρυνση του υπερκείμενου φορτίου, ένας ‘πάγκος’ ή μια ‘βεράντα’ ανασκάπτεται οριζόντια κατά μήκος του περιγράμματος της πλαγιάς. Αυτό δημιουργεί μια επίπεδη επιφάνεια εργασίας όπου μπορούν να πραγματοποιηθούν οι εργασίες εξόρυξης.

Μετά την εκσκαφή της πρώτης βαθμίδας, το εκτεθειμένο ορυκτό ή μέταλλευμα εξάγεται με τη χρήση βαρέων μηχανημάτων, όπως εκσκαφείς, φορητά έλξης και εξοπλισμό γεώτρησης. Το εξαγόμενο υλικό στη συνέχεια μεταφέρεται σε μονάδα επεξεργασίας για περαιτέρω επεξεργασία.

Μόλις εξορυχθεί η πρώτη βαθμίδα, η διαδικασία επαναλαμβάνεται ανασκάπτοντας μια επιπλέον βαθμίδα από την προηγούμενη. Αυτή η προσέγγιση βήμα προς βήμα επιτρέπει την ασφαλή και ελεγχόμενη εξόρυξη σε απότομες πλαγιές, ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο αστοχιών ή καταρρεύσεων πρανών.

Η εξόρυξη σε βαθμίδες προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Παρέχει καλύτερη πρόσβαση στο κοίτασμα ορυκτών σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους εξόρυξης κάθετου άξονα. Επιτρέπει επίσης την αποτελεσματική εξόρυξη ορυκτών από μεγάλα κοιτάσματα με μεγάλη κλίση. Επιπλέον, οι αναβαθμίδες που δημιουργούνται κατά την εξόρυξη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή δρόμων μεταφοράς, αποθήκευσης εξοπλισμού και λιμνών καθίζησης, ελαχιστοποιώντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της λειτουργίας.

Ωστόσο, η εξόρυξη σε βαθμίδες παρουσιάζει επίσης ορισμένες προκλήσεις. Η σταθερότητα των βαθμίδων είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της ασφάλειας του προσωπικού και του εξοπλισμού εξόρυξης. Πρέπει να εφαρμόζονται επαρκή μέτρα σταθεροποίησης πρανών, όπως οπλισμός πρανών και συστήματα αποστράγγισης για την αποφυγή αστοχιών. Επιπλέον, η διαχείριση της απόρριψης υπερκείμενων βαρών και απορριμμάτων πετρωμάτων πρέπει να σχεδιαστεί προσεκτικά για να ελαχιστοποιηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και να διασφαλιστεί η σωστή ανάκτηση της εξορυκτικής περιοχής.

Συνολικά, η εξόρυξη σε βαθμίδες είναι μια μέθοδος που επιτρέπει την αποτελεσματική εξόρυξη ορυκτών από κοιτάσματα με απότομη κλίση, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη την ασφάλεια και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Είναι μια κοινή τεχνική που χρησιμοποιείται σε εργασίες υπαίθριας εξόρυξης παγκοσμίως.



Εικόνα 4. Επιφανειακή εκμετάλλευση κατά βαθμίδες (πηγή: www.alamy.gr / Anna Kucherova)

1.1.4 Επιφανειακή εκμετάλλευση με κλειστές βαθμίδες (Conical pit mining)

Η εκμετάλλευση με κλειστές βαθμίδες είναι ένας συγκεκριμένος τύπος εξόρυξης υπαίθριου τύπου, που χαρακτηρίζεται από το σχήμα που μοιάζει με κώνο ή ανεστραμμένο κώνο (χοανοειδής μορφή). Σε αυτή τη μέθοδο εξόρυξης, η εκσκαφή προχωρά κυκλικά, ξεκινώντας από μικρή διάμετρο στην κορυφή και σταδιακά διευρύνοντας προς τα κάτω, σχηματίζοντας κωνικό σχήμα.

Η τεχνική εξόρυξης με κλειστές βαθμίδες χρησιμοποιείται συνήθως για την εξόρυξη ορισμένων κοιτασμάτων ορυκτών, ιδιαίτερα εκείνων που βρίσκονται σε ιζηματογενείς ή στρωματικούς σχηματισμούς, όπως ο άνθρακας. Προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με άλλες μεθόδους εξόρυξης ανοιχτού τύπου.

Κατ' αρχάς, το κωνικό σχήμα του λάκκου παρέχει φυσική σταθερότητα, ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο αστοχιών πρανών και διασφαλίζοντας ένα ασφαλέστερο περιβάλλον εργασίας για τις εργασίες εξόρυξης.

Επιπλέον, ο σχεδιασμός με κλειστές βαθμίδες επιτρέπει την αποτελεσματική εξόρυξη ορυκτών πόρων. Η προοδευτική διεύρυνση του λάκκου διευκολύνει την πρόσβαση στο κοίτασμα και επιτρέπει τη χρήση μεγαλύτερου εξοπλισμού για εκσκαφές και ανάσχυση.

Επίσης, το κωνικό σχήμα επιτρέπει την αποτελεσματική διάθεση των απορριμμάτων εντός του λάκκου. Υπερφόρτωση και άχρηστα υλικά μπορούν να τοποθετηθούν στα εξωτερικά τμήματα του λάκκου, μειώνοντας την ανάγκη για εκτεταμένες εξωτερικές χωματερές και βελτιστοποιώντας τη χρήση της γης.

Τέλος, με την ολοκλήρωση των μεταλλευτικών δραστηριοτήτων, η αποκατάσταση του κωνικού λάκκου μπορεί να είναι σχετικά απλή. Η σταδιακή κλίση του λάκκου διευκολύνει την εφαρμογή μέτρων αποκατάστασης του περιβάλλοντα χώρου, συμπεριλαμβανομένης της επίχωσης και της αναδιαμόρφωσης, για την αποκατάσταση της περιοχής σε μια σταθερή και περιβαλλοντικά βιώσιμη κατάσταση.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο συγκεκριμένος σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός κωνικού λάκκου ποικίλλει ανάλογα με τις γεωλογικές και περιβαλλοντικές συνθήκες της τοποθεσίας, καθώς και τα χαρακτηριστικά του κοιτάσματος που εξορύσσεται. Ο σωστός σχεδιασμός είναι απαραίτητος για τη διασφάλιση της ασφαλούς και αποτελεσματικής λειτουργίας της εξόρυξης κωνικού λάκκου και την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών της επιπτώσεων.



Εικόνα 5. Επιφανειακή εκμετάλλευση χαονοειδούς μορφής – Ορυχείο χρυσού The Fimiston Open Pit, Kalgoorlie, Western Australia

πηγή: Alexey V. Kurochkin - Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=94334537>

1.1.5 Επιφανειακή εκμετάλλευση με ανοικτές βαθμίδες

Η μέθοδος της επιφανειακής εκμετάλλευσης με βαθμίδες ανοιχτού τύπου είναι η πιο κοινή μέθοδος εκμετάλλευσης. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως για την εξόρυξη μαρμάρων, αδρανών υλικών και μεταλλείων όταν δεν είναι εφικτή η υπόγεια εκμετάλλευση ή άλλες μορφές επιφανειακής εκμετάλλευσης, όπως οι κλειστές βαθμίδες (conical pit) ή η εκμετάλλευση κατά λωρίδες (strip mining). Η μορφή της ανοικτής εκσκαφής και η μέθοδος πρέπει να προσαρμόζονται στις γεωμορφολογικές συνθήκες και τα χαρακτηριστικά του κοιτάσματος με στόχο την ασφαλή και αποδοτική εκμετάλλευση των εξορυκτικών εργασιών. Συνολικά, η εκμετάλλευση με ανοικτές βαθμίδες είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο για την εξόρυξη ορυκτών, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου το κοιτάσμα είναι μεγάλο και κοντά στην επιφάνεια.

Η εκμετάλλευση γίνεται με τη χρήση εκρηκτικών υλικών για τα αδρανή υλικά και βιομηχανικά ορυκτά που βρίσκονται σε σκληρούς σχηματισμούς, ενώ η εξόρυξη των μαρμάρων γίνεται σχεδόν αποκλειστικά με μηχανική εξόρυξη (Μενεγάκη, 2010) .



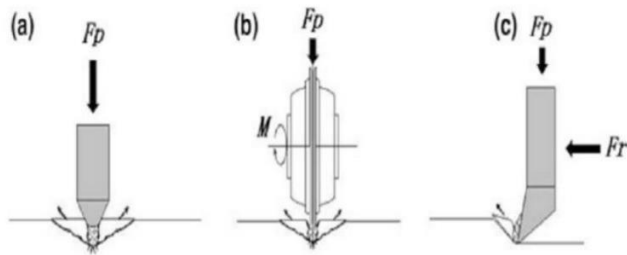
Εικόνα 6. Επιφανειακή εκμετάλλευση με ανοικτές βαθμίδες (πηγή: <https://www.cnitucson.com/openpit.html>)

1.2 Διάτρηση και Ανατίναξη

1.2.1 Ορισμός και βασικές αρχές των διαδικασιών διάτρησης και ανατινάξεων

Η διάτρηση και η ανατίναξη περιλαμβάνουν μια σειρά αλληλένδετων δραστηριοτήτων που ξεκινούν με τη διάνοιξη βράχων ή άλλων υλικών, ακολουθούμενη από την προσεκτική τοποθέτηση και πυροδότηση εκρηκτικών μέσα σε αυτές τις διατρήσεις. Οι πρωταρχικοί στόχοι είναι η επίτευξη ελεγχόμενου κατακερματισμού του υλικού, η διευκόλυνση της εκσκαφής και η διασφάλιση της ασφάλειας κατά τη διάρκεια της διαδικασίας.

Κατά τη διαδικασία διάτρησης (drilling) χρησιμοποιείται ένα εργαλείο διάτρησης που λειτουργεί με κρούση ώστε να διεισδύσει και να σπάσει την επιφάνεια του βράχου. Καθώς το εργαλείο διάτρησης προχωρά, η θραύση συνεχίζεται, συνοδευόμενη από την περιστροφή του τρυπανιού ή μια συνεχή προώθηση μέσω ώθησης ή κρούσης (Naidu, Prudhvi, Phanindra, Raju, & Naidu, 2020). Οι μηχανές γεώτρησης που χρησιμοποιούνται σε εργασίες εξόρυξης ανοιχτού λάκκου μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση τον τρόπο λειτουργία τους. Μηχανήματα διάτρηση σε πολύ σκληρό βράχο συνήθως λειτουργούν με περιστροφική / κρουστική διάτρηση ενώ για διάτρηση σε μεσαία σκληρό βράχο χρησιμοποιούνται μηχανήματα περιστροφικής/θραυστικής διάτρησης. Σε μαλακά πετρώματα υπάρχει η δυνατότητα διάτρησης μέσω κοπής (Εικόνα 7).



Εικόνα 7: Διαφορετικά είδη μηχανημάτων διάτρησης α) περιστροφής β) περιστροφής και κρούσης γ) κοπής (Source: Naidu et al., 2020)

Σύμφωνα με τον τύπο του κινητήρα τους τα μηχανήματα διάτρησης μπορεί να είναι βενζινοκίνητα ή ηλεκτροκίνητα ενώ ανάλογα με τη μέθοδο μετάδοσης της ισχύος διακρίνονται σε μηχανήματα πεπιεσμένου αέρα (pneumatic machines) ή υδραυλικής λειτουργίας (hydraulic machines) (Naidu et al., 2020).

Μια ακριβής εκτίμηση των συνθηκών διάτρησης συνήθως βοηθά στον προγραμματισμό των έργων εκσκαφής βράχου. Η ευκολία με την οποία μπορούν να διατρηθούν τα πετρώματα εξαρτάται τόσο από λειτουργικές μεταβλητές όσο και από τα χαρακτηριστικά των πετρωμάτων. Οι λειτουργικές μεταβλητές γνωστές ως ελεγχόμενες παράμετροι είναι: η ταχύτητα περιστροφής, η ώθηση, η συχνότητα εμφύσησης και έκπλυση. Οι ιδιότητες των πετρωμάτων και οι γεωλογικές συνθήκες συγκαταλέγονται στις μη ελεγχόμενες παραμέτρους (Afeni, 2009).

Οι διατρήσεις έχουν διαφορετικές λειτουργίες εξόρυξης, από την παροχή σε γεωλόγους διαφορετικών δειγμάτων εδάφους για ανάλυση έως τη διευκόλυνση της εξόρυξης πολύτιμων ορυκτών που διαφορετικά θα ήταν δύσκολο να προσεγγιστούν. Καθώς η βιομηχανία εξόρυξης προχωρά και παρουσιάζονται περισσότερες ευκαιρίες εκσκαφής, ο αριθμός των μεθόδων διάτρησης αυξάνεται. Είτε πρόκειται για εξερεύνηση, παραγωγή, εκκαθάριση γης ή γεωτεχνικούς σκοπούς, υπάρχουν μέθοδοι γεώτρησης που εξυπηρετούν κάθε εξορυκτικό σκοπό (Epiroc, 2020).

Τρυπάνι διάτρησης

Η γεώτρηση με τρυπάνι είναι η απλούστερη μορφή διάτρησης. Περιλαμβάνει τη χειροκίνητη περιστροφή μιας ελικοειδούς βίδας στο έδαφος, συνήθως από δύο άτομα, αν και τα τρυπάνια με τρυπάνια μπορούν επίσης να τοποθετηθούν σε μικρά οχήματα. Μόλις το τρυπάνι είναι αρκετά βαθύ, η γη ανασηκώνεται από τη λεπίδα της βίδας. Αυτό το είδος τρυπανιού

εξειδικεύεται ως αρχική τεχνική γεωχημικής αναγνώρισης, που σημαίνει ότι χρησιμοποιείται σε πιο μαλακό έδαφος για να βρεθεί το βέλτιστο μέρος για να τοποθετηθεί ένα μεγαλύτερο τρυπάνι.

Rotary Air Blasting

Η ανατίναξη με περιστροφικό αέρα είναι η πιο κοινή μέθοδος ρηχής διάτρησης, στην οποία ένα αντικείμενο που μοιάζει με σφυρί με έμβολο οδηγεί το τρυπάνι στο βράχο, κατακερματίζοντας τη σκληρή επιφάνεια σε θραύσματα που στη συνέχεια ανυψώνονται στην επιφάνεια μέσω πεπιεσμένου αέρα. Αυτή η μέθοδος είναι ιδανική για τη διάνοιξη πολλαπλών οπών σε σύντομο χρονικό διάστημα και λιγότερο ιδανική για την παραγωγή γεωλογικών δειγμάτων, επειδή η διαδικασία αεροβολής μπορεί να θέσει σε κίνδυνο την ποιότητα του πετρώματος.

Air Core

Η γεώτρηση Air core περιλαμβάνει ένα τρυπάνι με τρεις λεπίδες με μια κοίλη ράβδο τρυπανιού για να διεισδύσει σε χαλαρό έδαφος και θραύσματα βράχου. Μετά την ολοκλήρωση της διάτρησης, ο πεπιεσμένος αέρας διοχετεύεται μέσω της ράβδου του τρυπανιού για να φέρει τα απόβλητα κοπής στην επιφάνεια. Αν και αυτή η μέθοδος είναι τυπικά πιο αργή από την περιστροφική ανατίναξη με αέρα, είναι πιο ακριβής, πράγμα που σημαίνει ότι τα δείγματα που συλλέγονται είναι λιγότερο επιρρεπή σε επιμόλυνση.

Διάτρηση αντίστροφης κυκλοφορίας

Η αντίστροφη κυκλοφορία είναι μια δημοφιλής μέθοδος για εξερεύνηση εξόρυξης που μοιράζεται ομοιότητες τόσο με την ανατίναξη με περιστροφικό αέρα όσο και με τη γεώτρηση αέρα πυρήνα. Το ίδιο σφυρί που κινείται με έμβολο χρησιμοποιείται για την οδήγηση του τρυπανιού στο βράχο, ωστόσο, οι μεγαλύτερες εξέδρες και μηχανήματα που σχετίζονται με τη διάτρηση αντίστροφης κυκλοφορίας επιτρέπουν στο τρυπάνι να οδηγηθεί ακόμη πιο μακριά στη γη. Στη συνέχεια, ο πεπιεσμένος αέρας χρησιμοποιείται για να οδηγήσει την κατακερματισμένη γη στην επιφάνεια. Αυτή η μέθοδος είναι ιδανική για γεωλογική εξερεύνηση, καθώς παράγει δείγματα χωρίς ρύπους και απαιτεί λιγότερο χειρισμό, με αποτέλεσμα μείωση του κόστους και ταχύτερους χρόνους διεκπεραίωσης.

Διάτρηση με πυρήνα διαμαντιού

Η διάτρηση με πυρήνα διαμαντιού είναι η πιο ακριβή μέθοδος διάτρησης, καθώς περιλαμβάνει τη χρήση ενός τρυπανιού που έχει ενισχυθεί με βιομηχανικά διαμάντια προσαρτημένα σε κοίλες ράβδους διάτρησης για την εξαγωγή ενός συνεχούς κυλίνδρου βράχου από αρκετά χιλιόμετρα κάτω από τη γη. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος παράγει επίσης τα πιο ακριβή δείγματα πετρωμάτων, καθώς ολόκληρος ο πυρήνας ενός ορυκτού μπορεί να βγει στην επιφάνεια σε αντίθεση με απλά θραύσματα, καθιστώντας το ιδανικό για την απόκτηση αρχείων σχετικά με την αντοχή, τη σύνθεση, το πορώδες κ.λπ.

Διάνοιξη τρύπας με ανατίναξη

Η διάτρηση με οπή ανατίναξης είναι μια μέθοδος γεώτρησης που χρησιμοποιείται για να καθαρίσει μεγάλες ποσότητες της γης και να διευκολύνει την πρόσβαση στα ορυκτά από κάτω. Περιλαμβάνει τη διάνοιξη οπών στη γη. Στη συνέχεια τοποθετούνται εκρηκτικά σε κάθε τρύπα και πυροδοτούνται. Μετά την ανατίναξη, το σπασμένο υλικό καθαρίζεται και, εάν η γεώτρηση και η ανατίναξη έγιναν υπόγεια, οι σήραγγες που δημιουργούνται από την ανατίναξη οχυρώνονται για να επιτρέπουν την ασφαλή είσοδο του ανθρώπου. Εναλλακτικά αντί των εκρηκτικών, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν πυροτεχνήματα ανατίναξης με πίεση αερίου για την μετατόπιση του βράχου για εκσκαφή.

Η ανατίναξη (blasting) περιλαμβάνει την ακριβή τοποθέτηση και πυροδότηση εκρηκτικών για να σπάσει και να θρυμματίσει βράχους ή άλλα υλικά, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις ζημιές στο περιβάλλον και τις υποδομές. Η ανατίναξη αποτελεί τη μοναδική μέθοδο προετοιμασίας των πετρωμάτων για εξόρυξη. Η παραγωγή εξοπλισμού λατομείου και οι δαπάνες εξόρυξης εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την οργάνωση και την ποιότητα των ανατινάξεων.

Η ανατίναξη περιλαμβάνει τη διάσπαση στερεών πετρωμάτων σε μικρότερα θραύσματα χρησιμοποιώντας εκρηκτικές ενώσεις. Αυτές οι ενώσεις εισάγονται στο βράχο μέσω διάτρητων οπών. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η ανατίναξη χρησιμοποιείται επίσης για την απομάκρυνση του υπερκείμενου φορτίου από την επιφάνεια της γης, δημιουργώντας ανοίγματα για εξόρυξη ορυκτών σε ανοιχτά ορυχεία.

Ένα εκρηκτικό αναφέρεται σε μια ουσία, είτε στερεή είτε υγρή, ή ένα μείγμα ουσιών. Όταν εκτίθεται σε φλόγα, θερμότητα ή σοκ (με αποτέλεσμα ανατίναξη), αυτή η ουσία μετατρέπεται γρήγορα σε σημαντικό όγκο αερίων σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση. Οι εκρηκτικές ενώσεις μπορεί να αποτελούνται από ένα μείγμα διαφορετικών στοιχείων όπου κανένα από τα οποία δεν είναι εγγενώς εκρηκτικό, ή από μια χημική ένωση.

Εκτός από την ίδια την εκρηκτική ουσία, ένα εκρηκτικό περιέχει διάφορα άλλα υλικά, όπως:

1. Εύφλεκτα συστατικά (όπως ξύλο, ίνες, κάρβουνο).
2. Οξειδωτικά μέσα (όπως νιτρικό αμμώνιο, νιτρικό νάτριο).
3. Σταθεροποιητές (όπως ανθρακικά άλατα μαγνησίου και ασβεστίου).
4. Αντιπηκτικά (που εμποδίζουν τη στερεοποίηση των ενώσεων).
5. Ευαισθητοποιητές (μεταλλικές σκόνες).

Τα εκρηκτικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο βασικούς τύπους:

1. Χαμηλά Εκρηκτικά (low explosive)
2. Υψηλά Εκρηκτικά (high explosive)

Ωστόσο, η ποσότητα του υλικού ανατίναξης που απαιτείται για τον κατακερματισμό ενός συγκεκριμένου όγκου βράχου είναι δύσκολο να εκτιμηθεί, καθώς εξαρτάται από παραμέτρους όπως η αντοχή, η σκληρότητα και η συχνότητα των ασυνεχειών εντός των βραχωδών σχηματισμών (Hudson & Dusseault, 1989). Έτσι, μπορούμε να πούμε ότι για την αφαίρεση πολύ σκληρού και μεσαίου σκληρού βράχου, απαιτείται ένα εκρηκτικό με μεγαλύτερη ενέργεια και συγκέντρωση, όπου η ανατίναξη υψηλής ταχύτητας προκαλεί ένα φαινόμενο θραύσης. Ενώ, σε πετρώματα με μεσαία έως σκληρά ελασματοποιημένα πετρώματα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα μέτριο έως υψηλό εκρηκτικό. Τα πιο ογκώδη εκρηκτικά επιτυγχάνουν τη μεγαλύτερη απόδοση σε μαλακό έως μέτριο βράχο (Bell, 2013).

Χαμηλά εκρηκτικά:

Ένα χαμηλό εκρηκτικό αναφέρεται σε έναν μηχανικό συνδυασμό δύο ή περισσότερων ουσιών. Αποτελείται από μια πηγή καυσίμου και οξυγόνου. Όταν αναφλέγεται, καίγεται. Ωστόσο, όταν είναι περιορισμένο, υφίσταται ανατίναξη. Η διαδικασία καύσης του είναι σχετικά αργή, οδηγώντας σε ανατίναξη μέσω άμεσης ανάφλεξης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα αποτέλεσμα θρυμματισμού κατά την ανατίναξη.

Ένα παράδειγμα χαμηλής εκρηκτικής ύλης είναι η πυρίτιδα, η οποία είναι μια διαδομένη και αναγνωρισμένη μορφή χαμηλού εκρηκτικού. Η πυρίτιδα αποτελείται από άνθρακα (15%), θείο (10%) και νιτρικό κάλιο (75%).

Ισχυρά εκρηκτικά:

Ένα ισχυρό εκρηκτικό είναι μια χημική ένωση που συνδυάζεται άμεσα με άτομα καυσίμου και οξυγόνου. Αυτά τα εκρηκτικά εκρήγνυνται με ταχύτητες που κυμαίνονται από 1500 έως 8000 m/s και παράγουν σημαντικούς όγκους αερίων σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις.

Ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες με βάση τη σύστασή τους και τον ρυθμό έκρηξής τους:

- α) Πρωτογενή Εκρηκτικά
- β) Δευτερογενή Εκρηκτικά

Πρωτογενή εκρηκτικά:

Τα πρωτογενή εκρηκτικά παρουσιάζουν ευαισθησία σε ερεθίσματα όπως ασθενείς μηχανικούς κραδασμούς, σπινθήρες ή φλόγες. Αυτή η ευαισθησία επιτρέπει σε αυτές τις εκρηκτικές ενώσεις να πυροδοτούνται εύκολα από κατάσταση αναφλέξεως. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε συσκευές πυροδότησης όπως πυροκροτητές για την πυροδότηση μεγαλύτερων γομώσεων. Παραδείγματα πρωτογενών εκρηκτικών περιλαμβάνουν κεραυνικό υδράργυρο, αζίδιο μολύβδου, στυφνικό μόλυβδο, τετραζίνη και διάφορα άλλα κράματα.

Δευτερογενή εκρηκτικά:

Τα δευτερογενή εκρηκτικά αυτού του τύπου περιλαμβάνουν στρατιωτικά εκρηκτικά όπως TNT, RDX, PETN και Tetril, καθώς και βιομηχανικά εκρηκτικά όπως νιτρογλυκερίνη, γαλακτώματα, πολτούς, πηκτώματα νερού, ANFO και άλλα εκρηκτικά σε σκόνη.

Στην ανοιχτή εξόρυξη, τόσο κάθετες όσο και κεκλιμένες οπές χρησιμοποιούνται στην πρόσοψη βαθμίδων. Οι τρύπες που ανοίγονται στη σειρά μπορούν να είναι είτε μονές είτε πολλαπλές. Έτσι, δύο βασικά μοτίβα χρησιμοποιούνται στα υπαίθρια ορυχεία:

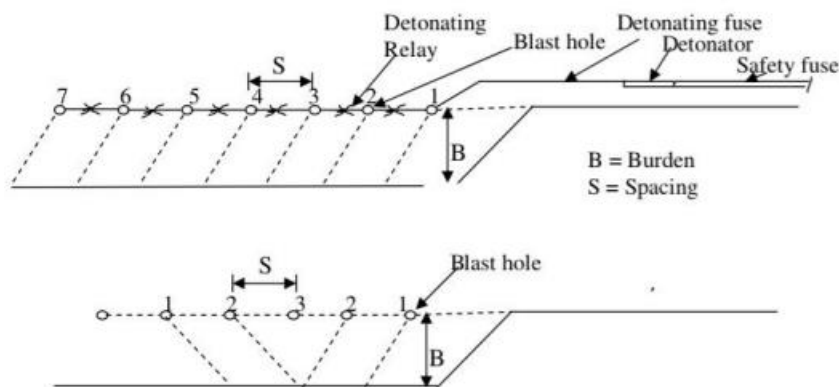
- α) Σχέδιο ανατίναξης μονής σειράς
- β) Σχέδιο ανατίναξης πολλαπλών σειρών

Ο χρονισμός είναι ζωτικής σημασίας σε αυτές τις εργασίες, επειδή τα εκρηκτικά σε διαφορετικές τρύπες πρέπει να πυροδοτούνται με συγκεκριμένη σειρά για να διασφαλιστεί η ασφάλεια και το επιθυμητό αποτέλεσμα. Αυτή η ακολουθία ονομάζεται 'μοτίβο ανατίναξης' και έχει σχεδιαστεί προσεκτικά για να ελέγχει την κατεύθυνση της ανατίναξης, να αποφεύγει την υπερβολική δόνηση και να διασφαλίζει ότι τα θραύσματα που προκύπτουν έχουν το επιθυμητό μέγεθος για ευκολότερη εκσκαφή.

Οι παραδοσιακές μέθοδοι ανατινάξεων χρησιμοποιούσαν μη ηλεκτρονικά μέσα για τη δημιουργία αυτής της ακολουθίας. Τα εκρηκτικά συνδέονταν με φυσικά κορδόνια και πυροδοτούνταν από αναφλεκτήρες, συχνά με μια σειρά που καθορίζεται από το μήκος των κορδονιών. Αν και αυτή η μέθοδος ήταν αποτελεσματική ως ένα βαθμό, είχε περιορισμούς. Για παράδειγμα, ήταν πιο δύσκολο να ελεγχθεί με ακρίβεια ο χρονισμός, ειδικά σε μεγαλύτερα και πιο σύνθετα μοτίβα ανατινάξεων. Οι αστοχίες (όταν κάποια εκρηκτικά αποτυγχάνουν να εκραγούν) ήταν ένας κίνδυνος και οι δονήσεις και ο θόρυβος από την ανατίναξη θα μπορούσαν να είναι απρόβλεπτοι και δυνητικά επικίνδυνοι.

Μοτίβο ανατίναξης μονής σειράς:

Στο μοτίβο ανατίναξης μιας σειράς, μόνο μία σειρά οπών ανοίγεται και φορτώνεται σε μια επιφάνεια πάγκου. Σε αυτή την προσέγγιση, η διάμετρος της οπής είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με το σχέδιο ανατίναξης πολλαπλών σειρών, οδηγώντας σε υψηλότερη κατανάλωση εκρηκτικών (Εικόνα 8). Ωστόσο, ο κατακερματισμός που επιτυγχάνεται είναι ελάχιστος.



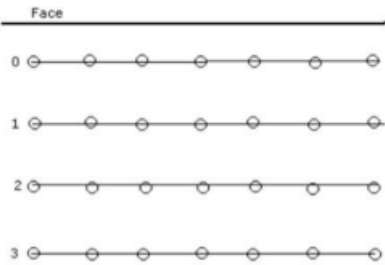
Εικόνα 8: Μοτίβο ανατίναξης μονής σειράς

Μοτίβο ανατινάξεων πολλαπλών σειρών:

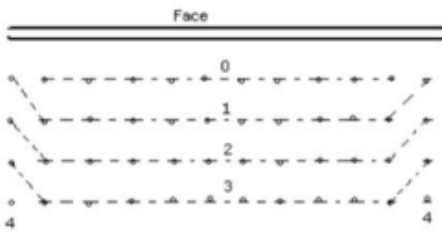
Στο μοτίβο ανατινάξεων πολλαπλών σειρών, πολλές σειρές οπών ανοίγονται και φορτίζονται σε μια επιφάνεια πάγκου. Σε αυτή τη μέθοδο, η διάμετρος της οπής είναι μικρότερη από αυτή του σχεδίου ανατίναξης μιας σειράς, με αποτέλεσμα χαμηλότερη κατανάλωση εκρηκτικών ανά μεμονωμένη οπή. Ωστόσο, η συνολική ποσότητα εκρηκτικής ύλης που χρησιμοποιείται είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με την ανατίναξη μίας σειράς. Αυτή η προσέγγιση βελτιώνει σημαντικά τον κατακερματισμό των πετρωμάτων.

Στο μοτίβο ανατινάξεων πολλαπλών σειρών χρησιμοποιούνται διάφορα σχέδια ανατινάξεων, όπως:

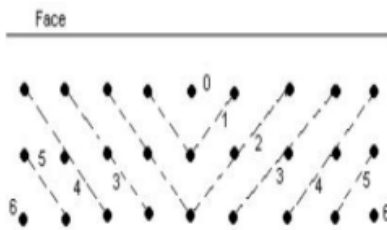
α) Τετράγωνο πλέγμα εν σειρά εκκίνηση



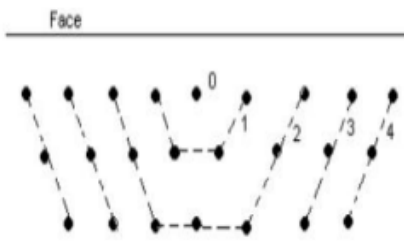
β) Τροποποιημένο τετράγωνο εν σειρά



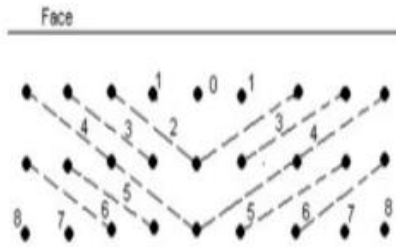
γ) Μοτίβο τετράγωνου πλέγματος «V»



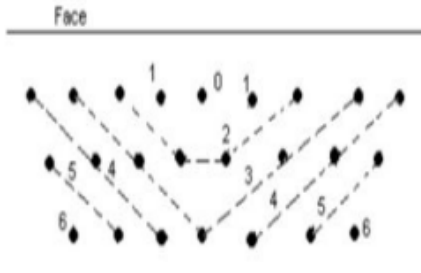
δ) Μοτίβο τετράγωνου πλέγματος «V1»



ε) Μοτίβο κλιμακωτού πλέγματος «V»



στ) Μοτίβο κλιμακωτού πλέγματος «V1»



Στον τομέα των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων, το τμήμα διάτρησης και ανατίναξης βασίζεται στους Βασικούς Δείκτες Απόδοσης (*Key Performance Indicators - KPIs*) για να μετρήσει την αποτελεσματικότητα και την ασφάλεια των λειτουργιών του. Αυτές οι μετρήσεις παρέχουν ζωτικής σημασίας πληροφορίες για διάφορες πτυχές των διαδικασιών διάτρησης και ανατίναξης.

Όγκος ανατίναξης (*Volume Blasting*): Αυτός ο ΒΔΠ μετρά την ποσότητα του υλικού που ανατινάχθηκε εντός ενός συγκεκριμένου χρονικού πλαισίου. Προσφέρει πληροφορίες για την πρόοδο σχετικά με τους προγραμματισμένους όγκους ανατινάξεων, επιτρέποντας προσαρμογές για μελλοντικές στρατηγικές.

Συντελεστής σκόνης (*Powder Factor - PF*): Το συντελεστής σκόνης αντιπροσωπεύει την αναλογία των εκρηκτικών που χρησιμοποιούνται προς τον όγκο του υλικού που ανατινάχθηκε. Ο υπολογισμός του βέλτιστου συντελεστή σκόνης είναι ζωτικής σημασίας, διασφαλίζοντας τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας και τον κατάλληλο κατακερματισμό προσαρμοσμένο σε διαφορετικούς τύπους πετρωμάτων.

Χρήση μονάδας διάτρησης (*Utilization of Unit Drilling*): Αυτός ο δείκτης αξιολογεί την αποτελεσματική χρήση των μονάδων διάτρησης συγκρίνοντας τις αποτελεσματικές ώρες εργασίας με τις συνολικές ώρες εργασίας. Η σωστή κατανομή των μονάδων διάτρησης και η μεγιστοποίηση των ωρών εργασίας τους είναι απαραίτητα για τη διαχείριση των πόρων.

Παραγωγικότητα μονάδας διάτρησης (Productivity of Unit Drilling): Αυτός ο δείκτης μετρά το βάθος διάτρησης ανά ώρα, υποδεικνύοντας την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας διάτρησης. Οι επόπτες παρακολουθούν διάφορες παραμέτρους όπως η πίεση και οι περιστροφικές κινήσεις για τη βελτιστοποίηση των μεθόδων διάτρησης.

Διάρκεια ζωής τρυπανιού (Bit Life): Αυτός ο δείκτης αναφέρεται στη διάρκεια ζωής των τρυπανιών πριν από την αντικατάσταση. Η παρακολούθηση της διάρκειας ζωής των τρυπανιών βοηθά στον προγραμματισμό συντήρησης, διασφαλίζοντας έγκαιρες αντικαταστάσεις και ελαχιστοποιώντας το χρόνο διακοπής λειτουργίας, ειδικά λαμβάνοντας υπόψη τις ποικίλες συνθήκες βράχου.

Απόθεμα ασφαλείας (Safety Stock): Ο δείκτης αυτός υποδηλώνει το απόθεμα εκρηκτικών και εκρηκτικών υλών που φυλάσσονται στον γεμιστήρα, εξασφαλίζοντας συνεχή παροχή. Η συμμόρφωση με τους τοπικούς κανονισμούς σχετικά με τη χωρητικότητα αποθεμάτων είναι απαραίτητη για την ασφάλεια και τη νομική τήρηση.

Κατανάλωση τρυπανιών (*Bit Consumption*): Αυτή η μέτρηση παρακολουθεί πόσο γρήγορα φθείρονται τα τρυπάνια στο χώρο εργασίας. Συγκρίνοντας την πραγματική κατανάλωση με την προτεινόμενη διάρκεια ζωής από τους κατασκευαστές, μπορεί να εκτιμηθεί η ποιότητα των τρυπανιών και η απόδοση της διαδικασίας διάτρησης.

Αυτοί οι Βασικοί Δείκτες Απόδοσης (KPI) παρέχουν συλλογικά μια ολοκληρωμένη επισκόπηση της αποτελεσματικότητας, της ασφάλειας και της σχέσης κόστους - αποτελεσματικότητας των εργασιών γεώτρησης και ανατινάξεων στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις. Η παρακολούθηση και η βελτιστοποίηση αυτών των μετρήσεων είναι πρωταρχικής σημασίας, διασφαλίζοντας τη συνολική επιτυχία και τη βιωσιμότητα των προσπαθειών εξόρυξης.

1.2.3 Ιστορική αναδρομή των διαδικασιών διάτρησης και ανατινάξης

Οι απαρχές των διαδικασιών διάτρησης και ανατινάξης εντοπίζονται αιώνες πίσω, με πρώιμες πρακτικές που χρησιμοποιούν χειροκίνητα εργαλεία και εκρηκτικά μαύρης σκόνης.

Η βιομηχανική επανάσταση σηματοδότησε μια σημαντική αλλαγή σε αυτές τις διαδικασίες, καθώς εμφανίστηκαν μηχανοποιημένος εξοπλισμός γεώτρησης και ισχυρότερα εκρηκτικά. Η ανάπτυξη του δυναμίτη από τον Άλφρεντ Νόμπελ τον 19^ο αιώνα έφερε επανάσταση στον τομέα και έθεσε τα θεμέλια για τα σύγχρονα εκρηκτικά.

Ο 20^{ος} αιώνας γνώρισε αξιοσημείωτες προόδους στις τεχνολογίες γεώτρησης και ανατινάξεων. Η εισαγωγή υδραυλικών μηχανών γεώτρησης, καθώς και πιο αποδοτικών εκρηκτικών, βελτίωσε σημαντικά την παραγωγικότητα και την ασφάλεια. Η υιοθέτηση ηλεκτρονικών πυροκροτητών επέτρεψε τον έλεγχο των ανατινάξεων. Επιπλέον, η πρόοδος στις τεχνικές διάτρησης, όπως η διάτρηση με διαμάντια και η διάτρηση με σφύρα κορυφής, επέτρεψαν βαθύτερες και ακριβέστερες γεωτρήσεις.

Δύο ακόμα αλλαγές έχουν συμβεί στην τεχνολογία εξόρυξης τα τελευταία 100 χρόνια. Το πιο προφανές ήταν η αύξηση της κλίμακας των λειτουργιών καθώς αναπτύχθηκε εξοπλισμός υψηλότερης χωρητικότητας. Για παράδειγμα, στη δεκαετία του 1920, ένα φτυάρι εξόρυξης με κάδο 5 m³ ήταν εξαιρετικό. Σήμερα, οι μεγάλοι ανοιχτοί λάκκοι χρησιμοποιούν φτυάρια με σχοινί ή υδραυλικούς εκσκαφείς με μεγέθη κάδου δέκα φορές μεγαλύτερης χωρητικότητας.

Η άλλη μεγάλη αλλαγή που έχει συμβεί είναι η εξέλιξη των συστημάτων μεταφορών. Τα ορυχεία έχουν μετακινηθεί από το σιδηροδρομικό όχημα σε φορτηγό μεταφοράς και, σε έναν αυξανόμενο αριθμό περιπτώσεων, στην πρωτογενή σύνθλιψη του μεταλλεύματος (αλλά όχι των απορριμμάτων πετρωμάτων) στο λάκκο, ακολουθούμενη από μεταφορά με ιμάντα μεταφοράς έξω από το λάκκο. Επιπλέον, παράλληλα με την αύξηση της χωρητικότητας των φτυαριών φόρτωσης, τα φορτηγά έχουν αυξηθεί σε μέγεθος με το κορυφαίο μεταφορικό όχημα χωρητικότητας 45 τόνων της δεκαετίας του 1950 να έχει αντικατασταθεί από το φορτηγό 400 τόνων που χρειάζεται τρεις ή τέσσερις μεταφορτώσεις από την τρέχουσα γενιά φτυαριών.

Η ασφάλεια ήταν πάντα μια κρίσιμη πτυχή των διαδικασιών γεώτρησης και ανατινάξεων. Στο παρελθόν, τα μέτρα ασφαλείας επικεντρώνονταν κυρίως στην προστασία των εργαζομένων από ατυχήματα και στον μετριασμό των άμεσων κινδύνων. Οι κανονισμοί και τα βιομηχανικά πρότυπα έχουν εξελιχθεί για να διασφαλίζουν τη συμμόρφωση με τα πρωτόκολλα ασφαλείας, συμπεριλαμβανομένου του ατομικού προστατευτικού εξοπλισμού, της διαχείρισης της περιοχής ανατινάξεων και της αξιολόγησης κινδύνου. Οι βελτιωμένες πρακτικές ασφαλείας έχουν μειώσει τα ατυχήματα και έχουν βελτιώσει την ευημερία των εργαζομένων.

Η περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση έχει προκαλέσει αλλαγές στις πρακτικές γεώτρησης και ανατινάξεων. Ιστορικά, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις όπως η ρύπανση του αέρα και των υδάτων, ο θόρυβος και οι κραδασμοί δεν έλαβαν τη δέουσα προσοχή. Ωστόσο, οι σύγχρονες

πρακτικές δίνουν έμφαση σε βιώσιμες προσεγγίσεις, ελαχιστοποιώντας τις περιβαλλοντικές ζημιές μέσω μέτρων όπως τα συστήματα καταστολής της σκόνης, η διαχείριση του νερού και οι τεχνικές ελεγχόμενης ανατίναξης.

1.2.2 Εξέλιξη και πρόοδος των διαδικασιών διάτρησης και ανατίναξης

Οι υπαίθριες εκμεταλλεύσεις προσφέρουν σαφώς μια σειρά από οικονομικά πλεονεκτήματα σε σχέση με την υπόγεια εξόρυξη, ειδικά τώρα που η τεχνολογία επεξεργασίας ορυκτών έχει προχωρήσει στο στάδιο όπου τα μεταλλεύματα πολύ χαμηλής ποιότητας μπορούν να υποστούν επικερδή επεξεργασία. Πριν από 100 έως 150 χρόνια, αυτό δεν συνέβαινε και η εξόρυξη ήταν ακόμα πολύ πιο επιλεκτική.

Ωστόσο, η εισαγωγή της τεχνολογίας επίπλευσης (flotation) για την ανάκτηση ορυκτών βασικών μετάλλων και η κυανίωση του χρυσού άλλαξαν όλα αυτά και η μεγάλης κλίμακας εξόρυξη ανοιχτού τύπου αναπτύχθηκε σταθερά από το δεύτερο μισό του 19^{ου} αιώνα. Ενώ η κλίμακα των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων μπορεί να έχει αλλάξει, οι θεμελιώδεις αρχές όχι. Ο στόχος παραμένει πάντα η όσο το δυνατόν καλύτερη πρόσβαση μεταλλεύματος χωρίς να χρειάζεται να αφαιρέσετε υπερβολικές ποσότητες απορριμμάτων πετρωμάτων ή υπερκείμενων επιφανειών.

Καθώς οι εργασίες εξόρυξης έχουν γίνει πιο εξελιγμένες με το πέρασμα του χρόνου, νέα είδη γεωτρυπάνων έχουν εμφανιστεί για να καλύψουν τη ζήτηση των εταιρειών εξόρυξης. Σήμερα, ποικίλα γεωτρύπανα χρησιμοποιούνται για την ολοκλήρωση διαφορετικών ειδών εργασιών εξόρυξης, ενώ λειτουργούν τόσο χειροκίνητα όσο και αυτοματοποιημένα εξ αποστάσεως. Τα εξαρτήματα τρυπανιών διατίθενται σε διάφορα σχήματα και μεγέθη, που λειτουργούν σε περιορισμένους χώρους καθώς και σε μεγάλα λατομεία. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει μια ευρεία γκάμα από γεωτρήσεις εξόρυξης επιφανείας που διατίθενται για πολλά διαφορετικά είδη εργασιών (Epiroc, 2020).

Γεωτρύπανα με σφυρί επιφανείας (*Surface Top Hammer Drill Rigs*)

Οι κορυφαίες μηχανές τρυπανιού είναι εξοπλισμένες με ισχυρά υδραυλικά τρυπάνια καθώς και με σφυρί. Το σφυρί χτυπά τη ράβδο του τρυπανιού, δημιουργώντας μια κρουστική δύναμη που ταξιδεύει στο τρυπάνι και μετατοπίζει τα βράχια, αφήνοντάς τα επιρρεπή στον πεπιεσμένο αέρα ή νερό. Αυτό το είδος εξέδρας είναι γνωστό για την αξιοπιστία του στις πιο δύσκολες συνθήκες, καθώς και για την οικονομία καυσίμου και το χαμηλό κόστος

λειτουργίας του. Σε συνεργασία με τη μέθοδο διάτρησης και ανατίναξης, αυτό το γεωτρήπανο κάνει τη διαδικασία εκσκαφής αποτελεσματική.

Γεωτρήπανα Surface Down-The-Hole Drill Rigs (DTH)

Ο σκοπός ενός γεωτρήπανου κάτω από την τρύπα είναι να ανοίξει τρύπες μεγάλης διαμέτρου προς τα κάτω, αποτελούμενες από ένα γρύλο που βιδώνεται στο κάτω μέρος ενός σωλήνα (string) τρυπανιού. Όπως και άλλα γεωτρήπανα, το DTH διασπά το βράχο, ώστε να μπορεί να ξεπλυθεί με αέρα ή νερό. Το συγκεκριμένο γεωτρήπανο ειδικεύεται σε γεωτρήσεις βράχων υψηλής χωρητικότητας σε λατομεία, υπαίθρια ορυχεία και έργα εκσκαφής βράχων.

Γεωτρήπανα ογκολίθων (Dimensional Stone Drill Rigs)

Το γεωτρήπανο εξαγωγής ογκολίθων έχει μια πιο εσωτερική λειτουργία από τα άλλα αντίστοιχά του γεωτρήπανα, καθώς σκοπός του είναι να ανοίγει ακριβείς τρύπες στο έδαφος για να κάνει εκσκαφές σε φυσικό βράχο από γρανίτη, ασβεστόλιθο, μάρμαρο ή ψαμμίτη, ώστε να μπορεί να εξαχθεί ως κομμάτι τριών διαστάσεων για περαιτέρω επεξεργασία.

Περιστροφικό Γεωτρήπανο διάνυξης οπών για εκρηκτικά (Rotary Blasthole Drill Rig)

Το περιστροφικό τρυπάνη διάνυξης οπών στη γη χρησιμοποιείται για να δημιουργήθουν τρύπες που μπορούν στη συνέχεια να γεμίσουν με εκρηκτικά που καθαρίζουν μεγάλα τμήματα βράχου για επακόλουθες εργασίες εξόρυξης. Τα περιστροφικά γεωτρήπανα είναι γνωστά για την ακρίβεια και το βάθος τους, ενισχύοντας την παραγωγικότητα καθιστώντας τη διαδικασία διάνοιξης οπών ανατίναξης ευκολότερη και πιο οικονομική.

Η διαδικασία θραύσης πετρωμάτων σε υπαίθριες εκμεταλλεύσεις μέσω ανατινάξεων ενέχει συγκεκριμένους κινδύνους, ιδίως όσον αφορά την πυροδότηση των εκρηκτικών. Συνήθως χρησιμοποιούνται δύο κύριες μέθοδοι για την πυροκρότηση: ηλεκτρονικοί πυροκροτητές που συνδέονται με σύρμα και μη ηλεκτρικοί πυροκροτητές που συνδέονται με σωλήνα σήματος (signal tube).

Οι μη ηλεκτρικοί πυροκροτητές μπορούν να ενεργοποιηθούν κατά λάθος εάν ο σωλήνας σήματος τεντωθεί πέρα από τη δύναμή του. Αυτοί οι πυροκροτητές είναι επιρρεπείς σε μηχανικές βλάβες και διαρροές, προκαλώντας αστοχίες. Κατά τη φόρτωση των εκρηκτικών οπών με μη ηλεκτρικά συστήματα, απαιτείται προσεκτική διαχείριση των κάτω γραμμών του πυροκροτητή για την αποφυγή ζημιών, εκθέτοντας τους εργαζόμενους σε αναπνευστικούς κινδύνους και πιθανούς λανθασμένους χειρισμούς.

Οι ηλεκτρονικοί πυροκροτητές είναι απρόσβλητοι σε απρογραμμάτιστη πυροδότηση από θραύση καλωδίων ή κρούσεις. Ωστόσο, μπορεί να υποστούν μηχανική βλάβη ή διαρροή, οδηγώντας σε αστοχίες.

Τα ηλεκτρονικά και μη ηλεκτρικά συστήματα είναι επιρρεπή σε μηχανικές βλάβες και διαρροές, που οδηγούν σε αστοχία. Το καλώδιο και ο σωλήνας σήματος μπορεί να αποκοπούν, με αποτέλεσμα απώλεια επικοινωνίας και αστοχία, εκτός εάν υπάρχει δεύτερο σημείο εκκίνησης στην εκρηκτική στήλη. Το κατεστραμμένο καλώδιο μπορεί να διαρρεύσει ρεύμα προς τη γη, προκαλώντας προβλήματα επικοινωνίας που οδηγούν σε τυχαία ανάφλεξη ή καθυστέρηση ανατίναξης ενώ το πρόβλημα επιδιορθώνεται. Ο κατεστραμμένος σωλήνας σήματος μπορεί να διαρρεύσει υγρασία ή αέριο μέσα στο σωλήνα, προκαλώντας αστοχία που συνήθως δεν ανακαλύπτεται παρά μόνο μετά την ανατίναξη.

Το λάδι, που χρησιμοποιείται συνήθως ως συστατικό σε εκρηκτικά, μπορεί να διεισδύσει στον σωλήνα σήματος, οδηγώντας σε πολλαπλές, τυχαίες αναφλέξεις κατά τη διάρκεια μιας ανατίναξης.

Κατά τη φόρτωση οπών με ενσύρματα ή μη ηλεκτρικά συστήματα, είναι απαραίτητο κάποιος να διαχειρίζεται τις κάτω γραμμές του πυροκροτητή για να αποτρέψει την πτώση τους από την τρύπα ή την καταστροφή τους. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό όταν ανοίγονται τρύπες μεγάλης διαμέτρου με φορτωτές. Το άτομο που κρατά τα καλώδια εκτίθεται σε συμπτωκνωμένη αναπνεύσιμη σκόνη. Η πυριτιάση, που προκαλείται άμεσα από την αναπνοή της σκόνης πυριτίου, είναι ένα σημαντικό πρόβλημα ασφάλειας για τους εργαζόμενους σε ορυχεία σε πολλά μέρη του κόσμου.

Για τη διαχείριση των κινδύνων, οι δραστηριότητες εντός και γύρω από τα μοτίβα ανατινάξεων είναι περιορισμένες. Οι αποστάσεις διαχωρισμού μεταξύ ανατινάξεων και δρόμων μεταφοράς επιβάλλονται με φυσικά εμπόδια. Τα συμβατικά συστήματα απαιτούν μη τρυπημένες γέφυρες ή κενά μεταξύ των σχεδίων ανατινάξεων για να αποφευχθεί η ζημιά, που οδηγεί σε καθυστερήσεις στην παραγωγή και περιορισμένη χρήση χώρου.

Επιπλέον, τόσο τα μη ηλεκτρικά όσο και τα ενσύρματα ηλεκτρονικά συστήματα είναι επιρρεπή στην πυροδότηση που προκαλείται από κεραυνούς. Κατά τη διάρκεια καταιγίδων, οι δραστηριότητες φόρτισης ανατίναξης πρέπει να σταματήσουν, προκαλώντας διακοπή της παραγωγής και πιθανές αποσυνδέσεις και επανασυνδέσεις των ρυθμίσεων ανατίναξης.

Αυτοί οι κίνδυνοι και οι περιορισμοί από τα παραδοσιακά συστήματα εκκίνησης οδηγούν σε μη βέλτιστο προγραμματισμό εργασιών, προκαλώντας σημαντικές απώλειες παραγωγής στις εργασίες εξόρυξης ανοιχτού τύπου. Επιπλέον, η ανάγκη διακοπής των δραστηριοτήτων κατά τη διάρκεια καταιγίδων έχει ως αποτέλεσμα σωρευτικές απώλειες παραγωγής, οδηγώντας σε σημαντικές απώλειες εσόδων ετησίως. Οι αποτελεσματικές πρακτικές διαχείρισης κινδύνου είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της ασφάλειας των εργαζομένων και της αποτελεσματικότητας των εργασιών εξόρυξης. Η ασύρματη ανατίναξη, μια επαναστατική πρόοδος στη βιομηχανία εξόρυξης, εξαλείφει την ανάγκη για καλώδια ή σωλήνες σήματος για την πυροκρότηση των εκρηκτικών.

Η υιοθέτηση της τεχνολογίας ασύρματης ανατίναξης στη βιομηχανία εξόρυξης ήταν μια σταδιακή αλλά μεταμορφωτική διαδικασία. Η Austin Powder Company παρουσίασε την ασύρματη ηλεκτρονική της μηχανή ανατινάξεων E*Star το 2006, με στόχο να βελτιώσει την ασφάλεια και να μειώσει το κόστος εξαλείφοντας την ανάγκη για καλώδια που συνδέουν τις εκρήξεις με τις μηχανές ανατινάξεων. Παρά την αργή καθιέρωσή της, η ασύρματη τεχνολογία τελικά ευδοκίμησε καθώς οι εταιρείες εξόρυξης αναγνώρισαν τα πιθανά οφέλη της (Spidle, 2016).

Το 2015, η Orica, παγκόσμιος προμηθευτής εκρηκτικών και συστημάτων ανατίναξης, ανέπτυξε το πρώτο εμπορικά βιώσιμο στον κόσμο ασύρματο σύστημα ανατίναξης εν μέσω βράχου. Αυτή η ανακάλυψη εξάλειψε την ανάγκη για ενσύρματες συνδέσεις μεταξύ μηχανών ανατινάξεων και πυροκροτητών, βελτιώνοντας σημαντικά την ασφάλεια και τη λειτουργική απόδοση. Το ασύρματο σύστημα, που χρησιμοποιεί μήκη κύματος εξαιρετικά χαμηλών συχνοτήτων και προηγμένη κρυπτογράφηση, επέτρεψε στο προσωπικό της επιφάνειας να επικοινωνεί με το σύστημα ανατινάξεων μέσω συμπαγούς βράχου, επιτρέποντας εκρήξεις χωρίς την ανάγκη φυσικών συνδέσεων.

Αυτή η ασύρματη τεχνολογία έφερε επανάσταση στις πρακτικές εξόρυξης, ιδιαίτερα στην υπόγεια σπηλαιολογία, όπου η απουσία συρμάτων απλοποίησε τις εργασίες ανατινάξεων και αύξησε την ασφάλεια. Το ασύρματο σύστημα της Orica όχι μόνο εξάλειψε τους κινδύνους που σχετίζονται με τις χειροκίνητες συνδέσεις καλωδίων, αλλά άνοιξε επίσης το δρόμο για τον επανασχεδιασμό των μεθόδων εξόρυξης και των ακολουθιών εξόρυξης. Παρά τις δυνατότητες της τεχνολογίας, η ευρεία υιοθέτησή της μπορεί να πάρει χρόνο, καθώς δεν είναι κατάλληλη για όλες τις εργασίες ανατινάξεων. Ωστόσο, η εισαγωγή της άνοιξε τις πόρτες για τη διερεύνηση καινοτόμων προσεγγίσεων στις πρακτικές εξόρυξης.

Συνοπτικά, οι εξελίξεις στην τεχνολογία εξόρυξης και οι αλλαγές στις αγορές εμπορευμάτων μπορούν να οδηγήσουν σε έναν δυναμικό και εξελισσόμενο ορισμό του μεταλλεύματος. Αυτό που θεωρείται οικονομικά βιώσιμο για την εξόρυξη μπορεί να μετατοπιστεί με την πάροδο του χρόνου, αυξάνοντας δυνητικά την ποσότητα των πολύτιμων πόρων που μπορούν να εξαχθούν από τα κοιτάσματα. Αυτή η εξελισσόμενη κατανόηση του μεταλλεύματος έχει συνέπειες για την εκτίμηση των πόρων, τις πρακτικές εξόρυξης και τις οικονομικές αποφάσεις στη βιομηχανία εξόρυξης.

1.3 Ψηφιοποίηση και αυτοματισμός

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός στον τομέα της εξορυκτικής βιομηχανίας αναφέρεται στην εφαρμογή σύγχρονων ψηφιακών τεχνολογιών για τη βελτίωση και την εξέλιξη των διαδικασιών εξόρυξης, διάτρησης και ανατίναξης στον εξορυκτικό τομέα. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση των προηγμένων τεχνολογιών πληροφορικής, των συστημάτων αισθητήρων, των δικτύων επικοινωνίας και άλλων ψηφιακών εργαλείων για την αποτελεσματικότερη, ασφαλέστερη και πιο αποδοτική εξόρυξη πόρων.

Οι διαδικασίες διάτρησης και ανατίναξης έχουν εξελιχθεί δραματικά με την εισαγωγή των ψηφιακών τεχνολογιών:

1. Διαδικτυακή Παρακολούθηση και Διαχείριση: Οι εξορυκτικές εταιρείες χρησιμοποιούν αισθητήρες και δίκτυα επικοινωνίας για τη συλλογή πραγματικού χρόνου δεδομένων από τις διαδικασίες εξόρυξης. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να παρακολουθηθούν και να διαχειριστούν από απομακρυσμένες τοποθεσίες μέσω διαδικτύου.
2. Εφοδιαστική Αλυσίδα και Ολοκληρωμένη Διαχείριση Εξοπλισμού: Οι τεχνολογίες RFID (Radio-Frequency Identification) χρησιμοποιούνται για τον ακριβή και αποτελεσματικό έλεγχο του εξοπλισμού και των πόρων, εξοικονομώντας χρόνο και χρήμα.
3. Εφαρμογή Εξελιγμένων Συστημάτων GPS: Οι προηγμένες τεχνολογίες GPS επιτρέπουν την ακριβή περιγραφή των τοποθεσιών των εξορυκτικών εξοπλισμών και τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών εξόρυξης.
4. Ψηφιακή Μοντελοποίηση: Η ψηφιακή μοντελοποίηση των ορυκτών κοιτασμάτων με χρήση του BIM (Building Information Modeling) και άλλων τεχνολογιών, επιτρέπει στις εταιρείες να αναλύουν και να βελτιώνουν τις διαδικασίες τους με βάση προηγούμενες δεδομένες πληροφορίες.

5. Χρήση Εξελιγμένων Λογισμικών: Εξελιγμένα λογισμικά μοντελοποίησης, ανάλυσης δεδομένων και προγραμματισμού χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό και την ανάλυση των διαδικασιών εξόρυξης, βοηθώντας στη βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων και τη μείωση των απωλειών.

Αυτές οι τεχνολογίες έχουν επιφέρει αυξημένη απόδοση, ασφάλεια και βιωσιμότητα στον τομέα της εξορυκτικής βιομηχανίας.

Οι διαδικασίες διάτρησης και ανατίναξης στη βιομηχανία εξόρυξης παρέχουν τη μόνη φυσική πρόσβαση στο επιθυμητό προϊόν. Η διαδικασία ξεκινά με αναγνώριση γεωτρήσεων, προετοιμασία γεωμετρίας ανατίναξης και γεώτρηση σε συγκεκριμένες θέσεις. Η ανατίναξη περιλαμβάνει την απόκτηση εκρηκτικών, τη φόρτιση, την καλωδίωση και την επακόλουθη συλλογή δεδομένων. Παρά τον κρίσιμο ρόλο τους, οι διατρήσεις και οι ανατινάξεις συχνά ανατίθενται σε εξωτερικούς συνεργάτες καθώς θεωρούνται ως μη παραγωγικές δραστηριότητες, που δεν συμβάλλουν άμεσα στην παραγωγή.

Παραδοσιακά, ο εντοπισμός θέσης σε πραγματικό χρόνο των διατρήσεων και η χαρτογράφηση ήταν χειροκίνητες διαδικασίες, που οδηγούσαν σε ανακρίβειες και αναποτελεσματικότητα. Αυτές οι ανακρίβειες, όπως η ακατάλληλη ευθυγράμμιση και η ανεπαρκής φόρτιση, μειώνουν την παραγωγικότητα και εγκυμονούν κινδύνους για την ασφάλεια. Ωστόσο, η έλευση της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης (Industry 4.0) και του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT) έφερε επανάσταση σε αυτές τις διαδικασίες (Sengupta, 2022).

Οι τεχνολογίες IoT, όπως τα συστήματα γεώτρησης με καθοδήγηση GPS, επιτρέπουν τον ακριβή εντοπισμό θέσης διάτρησης με αποκλίσεις έως και 10cm. Αυτά τα συστήματα προσφέρουν τρισδιάστατη πλοήγηση, ευθυγράμμιση τροφοδοσίας, διάτρηση και αναφορά. Τα ακριβή δεδομένα που συγκεντρώνονται επιτρέπουν την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και τις απαραίτητες προσαρμογές, εξασφαλίζοντας ελάχιστη απόκλιση από την προβλεπόμενη διαδρομή. Επιπλέον, οι λειτουργίες απομακρυσμένης λειτουργίας ενισχύουν την ασφάλεια του προσωπικού πεδίου.

Η προσομοίωση ανατινάξεων, ενισχυμένη από την Τεχνητή Νοημοσύνη, χρησιμοποιεί δεδομένα επιφάνειας εδάφους και χαρακτηριστικά υλικού βράχου για το σχεδιασμό ανατινάξεων. Αυτή η τεχνολογία αντιμετωπίζει ζητήματα όπως ο ιπτάμενος βράχος, η ανατίναξη αέρα, η σεισμική δόνηση και το μέγεθος κατακερματισμού για κάθε ανατίναξη. Ελαχιστοποιώντας τα χειροκίνητα σφάλματα, βελτιστοποιεί τη διαδικασία ανατίναξης.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση δεδομένων που δημιουργούνται από το IoT σε συστήματα Enterprise Resource Planning (ERP) όπως το SAP¹ διευκολύνει την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα που συλλέγονται μέσω του IoT καταχωρούνται σε συστήματα ERP, επιτρέποντας τη διαμόρφωση μετρήσιμων Βασικών Δεικτών Απόδοσης (KPIs). Αυτοί οι ΒΔΑ συμπεριλαμβανομένων των μετρήσεων διάτρησης, της γεώτρησης υποβάθρου και του βάθους στελέχους, μπορούν να συγκριθούν με προκαθορισμένους στόχους, παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες για συνεχή βελτίωση.

1.3.1 Πρόσφατες εξελίξεις στις διατρήσεις

Η ενσωμάτωση των ψηφιακών τεχνολογιών στις **διαδικασίες διάτρησης** έχει οδηγήσει σε σημαντικές βελτιώσεις στον εξορυκτικό τομέα. Αυτές οι τεχνολογίες έχουν ενσωματωθεί σε πολλές πτυχές της διάτρησης, συμπεριλαμβανομένων των προηγμένων συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (Geographic Information Systems - GIS), των συστημάτων μέτρησης και του ελέγχου της διάτρησης.

1. Προηγμένα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS): Τα GIS χρησιμοποιούνται για τη χωρική αναπαράσταση των ορυκτών κοιτασμάτων. Οι δεδομένες γεωλογικές πληροφορίες μπορούν να παρασταθούν σε ψηφιακούς χάρτες, που επιτρέπουν στους μηχανικούς να αναλύουν τη δομή του εδάφους και να λάβουν αποφάσεις βασισμένες σε πιο ακριβείς γεωλογικές πληροφορίες.
2. Αισθητήρες και Συστήματα Μέτρησης: Σύγχρονοι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για τη συλλογή ακριβών δεδομένων κατά τη διάρκεια της διάτρησης. Αυτά τα δεδομένα μπορούν στη συνέχεια να ενσωματωθούν σε ψηφιακά συστήματα διαχείρισης για ανάλυση.
3. Ψηφιακή Καταγραφή και Παρακολούθηση: Οι διαδικασίες διάτρησης μπορούν να καταγράφονται ψηφιακά και να παρακολουθούνται πραγματικού χρόνου. Αυτό επιτρέπει στους εργάτες να αντιδρούν αμέσως σε αλλαγές στο έδαφος ή στις προδιαγραφές της διάτρησης.
4. Αυτοματοποιημένα Συστήματα Διάτρησης: Σύγχρονα συστήματα διάτρησης χρησιμοποιούν αυτοματοποιημένους ελεγκτές και αλγόριθμους για την προσαρμογή της διαδικασίας διάτρησης στις μεταβαλλόμενες συνθήκες του εδάφους.

¹ Η SAP είναι ένας από τους κορυφαίους παραγωγούς λογισμικού παγκοσμίως για τη διαχείριση των επιχειρηματικών διαδικασιών, αναπτύσσοντας λύσεις που διευκολύνουν την αποτελεσματική επεξεργασία δεδομένων και τη ροή πληροφοριών μεταξύ των οργανισμών.

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός στη διάτρηση έχει οδηγήσει σε μείωση του κόστους, αύξηση της ασφάλειας και βελτίωση της απόδοσης στις εξορυκτικές δραστηριότητες.

Οι πρόσφατες εξελίξεις στη γεώτρηση έχουν εισαγάγει δύο νέες τεχνολογίες: την ηλεκτρονική γεώτρηση και τα συστήματα Measurement-While-Drilling (MWD). Αυτές οι τεχνολογίες έχουν φέρει επανάσταση στις διαδικασίες γεώτρησης παρέχοντας πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για βασικές λειτουργίες γεώτρησης. Αυτά περιλαμβάνουν:

- Ακριβής προσδιορισμός της θέσης και του βάθους της οπής ανατίναξης.
- Ακριβής καταγραφή των συνθηκών γεώτρησης.

Η συνολική κατανόηση και χαρακτηρισμός της βραχομάζας είναι κρίσιμη στα στάδια σχεδιασμού και εκτέλεσης μιας εξόρυξης. Στον βραχυπρόθεσμο σχεδιασμό, οι εξορυκτικές δραστηριότητες προγραμματίζονται σύμφωνα με τις απαιτήσεις παραγωγής. Η βελτίωση της απόδοσης αποτελεί βασική διαδικασία για τη διασφάλιση των επόμενων εργασιών και την αποτελεσματική επεξεργασία των μεταλλευμάτων.

Η τεχνολογία Measurement-While-Drilling (MWD) παρέχει πραγματικού χρόνου μετρήσεις των λειτουργικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια των γεωτρήσεων. Αυτές οι μετρήσεις εξαρτώνται από το γεωτεχνικό πλαίσιο του ορυχείου. Έχουν διεξαχθεί έρευνες που εξετάζουν τη σχέση μεταξύ των παραμέτρων γεώτρησης και των χαρακτηριστικών της βραχομάζας, προτείνοντας μοντέλα πρόβλεψης με βάση τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας και τα γεωτρήματα που χρησιμοποιούνται. Ωστόσο, καθώς αυτά τα μοντέλα είναι εξειδικευμένα για συγκεκριμένες περιπτώσεις, δεν υπάρχει ένα καθολικό μοντέλο που να ισχύει για κάθε ορυχείο. Επομένως, η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας που θα μπορούσε να εφαρμοστεί ευρέως είναι ζωτικής σημασίας για την επέκταση της χρήσης της τεχνολογίας MWD στην εξόρυξη.

Πρόσφατες ερευνητικές προσπάθειες για την ανάπτυξη βιώσιμων και έξυπνων μεθόδων χαρακτηρισμού βραχομάζας με χρήση της τεχνολογίας MWD έχουν αναγνωρίσει τις τεχνικές της μηχανικής μάθησης (Machine Learning - ML) ως αποτελεσματικές λύσεις για την ανάλυση των γεωτρήσεων. Αυτές οι τεχνικές χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο για την ανάλυση δεδομένων. Επιπλέον, γεωτεχνικά δεδομένα από ειδικές γεωλογικές αναλύσεις χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό ασυνεχειών και είναι απαραίτητα για την εξαγωγή πολύπλοκων σχέσεων μεταξύ των παραμέτρων γεώτρησης και των χαρακτηριστικών της βραχομάζας (Fernández, Sanchidrián, Segarra, Gómez, Li, & Navarro, 2023).

Σε ότι αφορά την τεχνολογία των τρυπανιών, η τεχνολογία αυτή αρχικά αναπτύχθηκε στη βιομηχανία του πετρελαίου και στη συνέχεια εφαρμόστηκε σε εξερευνητικές γεωτρήσεις για τη μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων του βράχου. Χρησιμοποιεί αισθητήρες που είναι τοποθετημένοι κοντά στο κοίλωμα των οπών για να μετρήσει δεδομένα όπως αζιμούθιο και βύθιση. Αυτή η τεχνολογία προσαρμόστηκε αργότερα για χρήση σε μικρότερες διαμέτρους γεωτρήσεων και περιστροφικές κρουστικές εξέδρες που χρησιμοποιούνται σε πολιτικά κατασκευαστικά έργα, όπως η διάνοιξη σήραγγας, η εξόρυξη και άλλες κατασκευές επάνω και κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.

Η τεχνολογία MWD παρέχει εκτεταμένες πληροφορίες δεδομένων, επιτρέποντας την αναγνώριση των χαρακτηριστικών του βράχου. Η ερμηνεία των δεδομένων απαιτεί περαιτέρω επεξεργασία, συμπεριλαμβανομένων μετρήσεων όπως επιθεώρηση εντός της γεώτρησης με οπτικό τηλεθεατή (optical televiewer) και ενδοσκόπιο (endoscope), ανάλυση κατά τη διάτρηση (Analysis While Drilling - AWD). Στην εξόρυξη, η τεχνολογία MWD χρησιμοποιείται για να διερευνήσει την κατάσταση της βραχώδους μάζας. Ανιχνεύει ασυνέχειες, πυκνότητα ρωγμών ή διαφορετικές λιθολογίες και αναλύει την επίδρασή τους στο σχεδιασμό ανατινάξεων ή στα αποτελέσματα της εκσκαφής. Αυτό γίνεται συνδυάζοντας παραμέτρους γεώτρησης όταν ο στόχος είναι η εκτίμηση της αντοχής της βραχομάζας ή με συμπερίληψη παραλλαγών στα σήματα γεώτρησης για ανάλυση της δομικής κατάστασης της βραχομάζας.

1.3.2 Πρόσφατες εξελίξεις στις ανατινάξεις

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός στην ανατίναξη έχει επιφέρει σημαντικές αλλαγές στις τεχνικές που χρησιμοποιούνται στον εξορυκτικό τομέα. Αυτό περιλαμβάνει καινοτόμες μεθόδους ανατίναξης που εκμεταλλεύονται τις ψηφιακές τεχνολογίες για να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα, την ασφάλεια και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα της διαδικασίας ανατίναξης. Ορισμένες από αυτές τις καινοτόμες μεθόδους περιλαμβάνουν:

1. Ψηφιακές Προσομοιώσεις Ανατίναξης: Οι προσομοιώσεις ανατίναξης βασίζονται σε ψηφιακές μοντελοποιήσεις του ορυκτού σώματος. Αυτές οι προσομοιώσεις μπορούν να παράγουν ακριβή δεδομένα σχετικά με την εξάπλωση της ανατίναξης και τις επιπτώσεις της στο γειτονικό περιβάλλον. Αυτό βοηθά στον σχεδιασμό αποτελεσματικών και ασφαλών διαδικασιών ανατίναξης.
2. Ψηφιακή Χαρτογράφηση των Ορυκτών Κορμών: Η ψηφιακή χαρτογράφηση των ορυκτών κορμών επιτρέπει στις εταιρείες να αποκτήσουν λεπτομερείς γνώσεις για

την δομή και τις ιδιότητες των ορυκτών ενώσεων. Αυτό βοηθά στον βέλτιστο σχεδιασμό των ανατινάξεων και στην αποφυγή περιβαλλοντικών κινδύνων.

3. Προηγμένες Τεχνικές Ανίχνευσης: Χρησιμοποιούνται προηγμένοι αισθητήρες και συστήματα ανίχνευσης για την εντοπισμό τυχόν εναπομείναντος εκρηκτικού υλικού μετά την ανατίναξη.
4. Ψηφιακός Έλεγχος και Διαχείριση Ανατίναξης: Σύγχρονα συστήματα διαχείρισης ανατίναξης χρησιμοποιούνται για τον ψηφιακό έλεγχο της διαδικασίας ανατίναξης, βελτιώνοντας την ασφάλεια και την ακρίβεια των διαδικασιών.

Η ανατίναξη είναι η πιο συχνή, ευέλικτη και συχνά η πιο οικονομική μέθοδος θραύσης πετρωμάτων. Λόγω της εξάρτησής τους από μια πολύπλοκη αλληλεπίδραση ανέπαφων ιδιοτήτων βράχου και βράχου, γεωμετρίας ανατινάξεων, απόκλισης οπών, εκρηκτικών ιδιοτήτων και αλληλουχιών εκκίνησης, η ανατίναξη βράχου θεωρείται μια πραγματικά πολύπλοκη λειτουργία (Rai, Schunnesson, Lindqvist, & Kumar, 2016).

Στο πρόσφατο παρελθόν, οι προσομοιώσεις ανατινάξεων σε υπολογιστή έχουν φέρει σημαντικές βελτιώσεις στην απόδοση των εκρηκτικών, αντικαθιστώντας την παραδοσιακή προσέγγιση δοκιμής και λάθους στον κατακερματισμό. Τα προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών που έχουν σχεδιαστεί για την υποβοήθηση του σχεδιασμού εκρήξεων επιτρέπουν στους χειριστές ναρκών να εξερευνούν γρήγορα διάφορους συνδυασμούς εκρηκτικών και παραμέτρων εκρηκτικών. Αυτό επιτρέπει ταχύτερη βελτιστοποίηση των προτύπων γεώτρησης και ανατινάξεων, μειώσεις κόστους και εξέταση διαφορετικών επιπτώσεων εκρηκτικών παραμέτρων.

Το πρόγραμμα σχεδίασης ανατινάξεων με τη βοήθεια υπολογιστή ενσωματώνει πολλές πτυχές της διαδικασίας ανατίναξης αφού εισαγάγει:

1. Παραμέτρους σχετικές με τη μάζα του βράχου:

- Πυκνότητα βράχου.
- Αντοχή σε εφελκυσμό και θλίψη του πετρώματος.
- Το μέτρο πετρωμάτων του Young.
- Ταχύτητα διαμήκους κύματος.
- Η αναλογία Poisson.

2. Παραμέτρους σχετικές με τα εκρηκτικά:

- Είδος εκρηκτικών.
- Ιδιότητες αντοχής.
- Ταχύτητα ανατίναξης.
- Πυκνότητα οπής.
- Σύστημα εκκίνησης και καθυστέρησης.
- Εκρηκτικό κόστος.

3. Παράγοντες τοποθεσίας:

- Ύψος πρόσοψης.
- Πλάτος/μήκος πάγκου.
- Διάμετρος τρύπας.
- Πληροφορίες εξοπλισμού φόρτωσης και έλξης.
- Δονήσεις εδάφους.
- Κόστος γεώτρησης ανά μέτρο.

Το λογισμικό σχεδίασης ανατίναξης χρησιμοποιεί αυτά τα δεδομένα εισόδου για την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων. Διάφορες υπολογιστικές συσκευές, από μίνι-υπολογιστές έως μικροϋπολογιστές ή προγραμματιζόμενες αριθμομηχανές χειρός, χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό ανατίναξης. Πολλά προγράμματα λογισμικού είναι διαθέσιμα και χρησιμοποιούνται ενεργά για το σκοπό αυτό.

1.4 Συμπεράσματα και διάρθρωση πτυχιακής εργασίας

Η εξέλιξη των διαδικασιών διάτρησης και ανατίναξης στη βιομηχανία εξόρυξης έχει υποστεί σημαντικές προόδους όλα αυτά τα χρόνια, μετατρέποντας τις παραδοσιακές χειροκίνητες μεθόδους σε εξαιρετικά αποδοτικές και τεχνολογικά προηγμένες διαδικασίες.

Στα πρώτα στάδια της εξόρυξης, η γεώτρηση και η ανατίναξη ήταν κυρίως χειρωνακτικές εργασίες, βασισμένες στην ανθρώπινη εργασία για τη διάνοιξη οπών και την τοποθέτηση εκρηκτικών. Με την έναρξη της βιομηχανικής επανάστασης, εισήχθησαν μηχανήματα, που αυτοματοποιούσαν τη διαδικασία γεώτρησης. Τα τρυπάνια με ατμό και αργότερα με

ηλεκτρική ενέργεια έγιναν κοινά, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια στις εργασίες γεώτρησης.

Η ανάπτυξη εκρηκτικών διαδραμάτισε κρίσιμο ρόλο στην επανάσταση στις τεχνικές ανατινάξεων. Από την παραδοσιακή μαύρη σκόνη έως τα σύγχρονα ισχυρά εκρηκτικά, η βιομηχανία σημείωσε σημαντική αύξηση στην απόδοση και την ασφάλεια. Εισήχθησαν υδραυλικά τρυπάνια, παρέχοντας υψηλότερες ταχύτητες διάτρησης και ακρίβεια. Αυτά τα τρυπάνια θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορα εδάφη, κάνοντας τις εργασίες εξόρυξης πιο ευέλικτες. Επιπλέον, τα τρυπάνια πεπιεσμένου αέρα έγιναν δημοφιλή για τη φορητότητα και την ευκολία χρήσης τους, ειδικά στις υπόγειες εργασίες εξόρυξης.

Οι πρόοδοι στις γεωλογικές και γεωφυσικές μελέτες οδήγησαν σε καλύτερη κατανόηση των πετρωμάτων. Σε συνδυασμό με προσομοιώσεις υπολογιστή, αυτή η γνώση επέτρεψε ακριβή σχέδια εκρήξεων, ελαχιστοποιώντας τα απόβλητα και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι ηλεκτρονικοί πυροκροτητές αντικατέστησαν τα παραδοσιακά συστήματα ασφαλειών, προσφέροντας ακριβή χρονισμό και έλεγχο της ακολουθίας ανατινάξεων, βελτιώνοντας έτσι την ασφάλεια και επιτρέποντας πολύπλοκα σχέδια ανατινάξεων.

Η εισαγωγή συστημάτων πλοήγησης γεωτρήσεων με βάση το GPS επέτρεψε την ακριβή διάτρηση σύμφωνα με προκαθορισμένες συντεταγμένες. Αυτή η τεχνολογία βελτίωσε σημαντικά την ακρίβεια διάτρησης και μείωσε τη σπατάλη. Επιπλέον, η ανάπτυξη λογισμικού προσομοίωσης ανατινάξεων επέτρεψε στους μηχανικούς να μοντελοποιήσουν εκρήξεις σε εικονικό περιβάλλον. Αυτή η καινοτομία επέτρεψε τη διεξοδική ανάλυση και τη βελτιστοποίηση των σχεδίων ανατίναξης πριν από την πραγματική εφαρμογή.

Η ενοποίηση δεδομένων από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένων των γεωλογικών ερευνών και των δεδομένων γεωτρήσεων σε πραγματικό χρόνο, έγινε κοινή πρακτική. Οι προηγμένες τεχνικές ανάλυσης και επεξεργασίας δεδομένων παρείχαν πολύτιμες πληροφορίες για συνεχή βελτίωση και λήψη αποφάσεων. Επιπλέον, ο εξοπλισμός γεωτρήσεων και ανατινάξεων αυτοματοποιήθηκε ολοένα και περισσότερο, με την εμφάνιση των τηλεκατευθυνόμενων τρυπανιών και των αυτόνομων συστημάτων ανατίναξης. Αυτές οι τεχνολογίες αύξησαν την ασφάλεια και τη λειτουργική απόδοση, ιδιαίτερα σε επικίνδυνα περιβάλλοντα.

Οι σύγχρονες τεχνικές γεώτρησης και ανατινάξεων δίνουν επίσης προτεραιότητα σε περιβαλλοντικά ζητήματα. Αυτό περιλαμβάνει τον έλεγχο των κραδασμών, της υπερπίεσης του αέρα και των ιπτάμενων βράχων, καθώς και τη χρήση φιλικών προς το περιβάλλον

εκρηκτικών και μεθόδων για την ελαχιστοποίηση της οικολογικής βλάβης. Αυτές οι εξελίξεις αντικατοπτρίζουν μια συνεχή προσπάθεια εντός της βιομηχανίας για ενίσχυση της αποτελεσματικότητας, της ασφάλειας και της περιβαλλοντικής ευθύνης στις διαδικασίες γεώτρησης και ανατινάξεων.

Στο επόμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 2), παρουσιάζεται λεπτομερώς η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την συγκεκριμένη έρευνα. Αναλύονται οι πηγές δεδομένων και τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των πληροφοριών που συλλέχθηκαν.

Στη συνέχεια (Κεφάλαια 3 - 5), παρουσιάζονται οι τρεις μελέτες περίπτωσης που επιλέχθηκαν. Κάθε μελέτη περίπτωσης εξετάζει μια συγκεκριμένη περίπτωση στον τομέα της εξόρυξης, εστιάζοντας σε διαφορετικές τεχνολογικές εξελίξεις και προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι βιομηχανίες εξόρυξης σε διάφορα μέρη του κόσμου. Για κάθε μελέτη περίπτωσης, παρουσιάζεται το πλαίσιο, η μεθοδολογία, τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την έρευνά.

Στο τελευταίο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 6), παρουσιάζεται μια συνολική ανάλυση των ευρημάτων και εξετάζονται οι κύριες τάσεις και προοπτικές για το μέλλον της εξόρυξης και των διαδικασιών διάτρησης και ανατίναξης. Προτείνονται επίσης πιθανές κατευθύνσεις για μελλοντικές έρευνες σε αυτό τον τομέα. Τέλος, παρατίθενται τα βασικά συμπεράσματα και προτεινόμενες προτάσεις για μελλοντικές βελτιώσεις στις διαδικασίες διάτρησης και ανατίναξης στη βιομηχανία της εξόρυξης.

Κεφάλαιο 2: Μεθοδολογία

2.1 Σκοπός και στόχοι της παρούσης εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να εξετάσει και να παρουσιάσει τις πιο πρόσφατες εξελίξεις στους ψηφιακούς μετασχηματισμούς των διαδικασιών διάτρησης και ανατίναξης στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις, χρησιμοποιώντας τρεις μελέτες περίπτωσης (case studies) ως παραδείγματα. Στόχος είναι να αναδείξει τις πρωτοποριακές τεχνολογίες που έχουν χρησιμοποιηθεί σε αυτούς τους τομείς και πώς ο ψηφιακός μετασχηματισμός επηρεάζει τις διαδικασίες αυτές.

Κατά την επιλογή των μελετών περίπτωσης για αυτήν την έρευνα, χρησιμοποιήθηκε μια αυστηρή και περιεκτική μεθοδολογία ώστε να διασφαλιστεί η συνάφεια και το βάθος της ανάλυσης. Η διαδικασία ξεκίνησε με μια εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση, εμβαθύνοντας σε πρόσφατες δημοσιεύσεις, εκθέσεις του κλάδου και ακαδημαϊκά περιοδικά που σχετίζονται με τον ψηφιακό μετασχηματισμό των διαδικασιών διάτρησης και ανατίναξης σε εργασίες εξόρυξης ανοιχτού τύπου. Αυτή η ανασκόπηση παρείχε μια θεμελιώδη κατανόηση των πιο πρόσφατων τεχνολογικών προόδων και καινοτόμων πρακτικών στον τομέα όπως παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 1. Στη συνέχεια, διερευνήθηκαν οι βάσεις δεδομένων του κλάδου και οι πλατφόρμες τεχνολογίας εξόρυξης για τον εντοπισμό εταιρειών και επιχειρήσεων εξόρυξης που έχουν ενσωματώσει εμφανώς τις ψηφιακές τεχνολογίες στις διαδικασίες διάτρησης και ανατίναξης. Για τον περιορισμό της επιλογής χρησιμοποιήθηκαν κριτήρια όπως η κλίμακα λειτουργίας, η μοναδικότητα της τεχνολογικής υλοποίησης και η διαθεσιμότητα λεπτομερών δεδομένων. Μέσω αυτής της προσέγγισης, εντοπίστηκαν τρεις διαφορετικές και ενδιαφέρουσες περιπτώσιολογικές μελέτες, οι οποίες προσφέρουν καινοτόμες πρακτικές στις εξορύξεις ανοιχτού τύπου. Συγκεκριμένα, θα παρουσιαστούν η περίπτωση του λογισμικού BlastLogic από τη Martec, η περίπτωση του προγράμματος WebGen από την Orica, και η περίπτωση Phosa AI από την BCG Gamma.

2.2 Περιγραφή των τριών περιπτώσεων μελέτης (case studies) και τα κριτήρια επιλογής τους

Το λογισμικό BlastLogic της Maptec παρέχει μια ολοκληρωμένη λύση για το σχεδιασμό, παρακολούθηση και ανάλυση της διαδικασίας διάτρησης και ανατίναξης. Αυτό το σύστημα επιτρέπει στις επιχειρήσεις εξόρυξης να λαμβάνουν ενημερωμένες αποφάσεις με βάση τα σχέδια ορυχείων, τη γεωλογία και τα γεωτεχνικά δεδομένα. Προσφέρει άμεση σύνδεση δεδομένων και οπτικοποίηση, απλοποιώντας τις εργασίες και επιταχύνοντας τις συνήθεις λειτουργίες. Το BlastLogic διασυνδέεται επίσης με κορυφαία συστήματα πλοήγησης και δημιουργεί μια κεντρική βάση δεδομένων όλων των συνιστωσών της εξόρυξης. Τα καινοτόμα χαρακτηριστικά του περιλαμβάνουν τον γρήγορο εντοπισμό των αποκλίσεων, επιτρέποντας τη μείωση του κινδύνου και τη βελτίωση της παραγωγής στις διαδικασίες διάτρησης και ανατίναξης.

Το σύστημα εισάγει επίσης ηλεκτρονικό δέσιμο για ακριβή έλεγχο χρονισμού, μειώνοντας το ενδεχόμενο αποτυχίας ανατίναξης και ενισχύοντας την ασφάλεια ελαχιστοποιώντας τους υπερβολικούς κραδασμούς και τον θόρυβο.

Κεφάλαιο 3: Η περίπτωση της Orica

3.1 Βασικές πληροφορίες για την Orica

Η Orica, αποτελεί απόδειξη της καινοτομίας και της προόδου στους τομείς της τεχνολογίας εξόρυξης και εκρηκτικών υλών. Με τα χρόνια, η εταιρεία έχει επιτύχει σημαντικά ορόσημα, διαμορφώνοντας τον κλάδο και διασφαλίζοντας ασφαλέστερες, πιο αποτελεσματικές πρακτικές.

Η Orica ιδρύθηκε το 1874 ως προμηθευτής εκρηκτικών στη βιομηχανία εξόρυξης στη Βικτώρια της Αυστραλίας. Στα πρώτα χρόνια της, η εταιρεία διαδραμάτισε κεντρικό ρόλο στην υποστήριξη της εξόρυξης, παρέχοντας βασικά προϊόντα για την εξόρυξη πόρων.

Καθ' όλη τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, η Orica έγινε συνώνυμη με την καινοτομία. Στη δεκαετία του 1960, πρωτοστάτησε στη χρήση του νιτρικού αμμωνίου ως ασφαλέστερης εναλλακτικής λύσης έναντι του δυναμίτη, ενισχύοντας σημαντικά τα πρότυπα ασφαλείας της βιομηχανίας. Η δεκαετία του 1980 σηματοδότησε μια περίοδο παγκόσμιας επέκτασης, με την Orica να βγαίνει στις διεθνείς αγορές, καθιερώνοντας την παρουσία της σε όλες τις ηπείρους.

Καθώς οι περιβαλλοντικές ανησυχίες απέκτησαν εξέχουσα θέση, η Orica πρωτοστάτησε στις βιώσιμες πρακτικές επενδύοντας στην έρευνα και την ανάπτυξη για τη δημιουργία οικολογικών εκρηκτικών, ελαχιστοποιώντας τις οικολογικές επιπτώσεις των εργασιών εξόρυξης. Ξεκίνησαν πρωτοβουλίες για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα και την προώθηση υπεύθυνων πρακτικών εξόρυξης, τοποθετώντας την Orica ως ηγέτη στην περιβαλλοντική διαχείριση.

Τον 21^ο αιώνα, η Orica επένδυσε στον ψηφιακό μετασχηματισμό. Ανέπτυξε τεχνολογίες αιχμής, συμπεριλαμβανομένων συστημάτων ασύρματης ανατίναξης όπως το WebGen, φέρνοντας επανάσταση στις παραδοσιακές μεθόδους ανατινάξεων. Αυτές οι καινοτομίες όχι μόνο αύξησαν τη λειτουργική αποτελεσματικότητα αλλά μείωσαν επίσης σημαντικά τους κινδύνους που συνδέονται με τις εξορυκτικές δραστηριότητες.

Η επιτυχία της Orica μπορεί να αποδοθεί στις συνεργασίες της με εταιρείες εξόρυξης, ερευνητικά ιδρύματα και ειδικούς της τεχνολογίας. Κοιτάζοντας μπροστά, η Orica είναι έτοιμη να ξεκινήσει πρωτοποριακά έργα. Η έρευνα σε εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης στην εξόρυξη, η περαιτέρω πρόοδος στα συστήματα ασύρματης ανατίναξης και η ανάπτυξη βιώσιμων πρακτικών εξόρυξης είναι μεταξύ των μελλοντικών προσπαθειών της εταιρείας.

Καθώς συνεχίζει να πρωτοπορεί στις προόδους και να προωθεί συνεργασίες, η Orica βρίσκεται στην πρώτη γραμμή της διαμόρφωσης ενός μέλλοντος όπου η εξόρυξη δεν είναι μόνο αποτελεσματική αλλά και περιβαλλοντικά υπεύθυνη.

3.2 Περιγραφή των πρωτοβουλιών αυτοματισμού που υλοποιήθηκαν και των αποτελεσμάτων τους

3.2.1 Orica - WebGen™

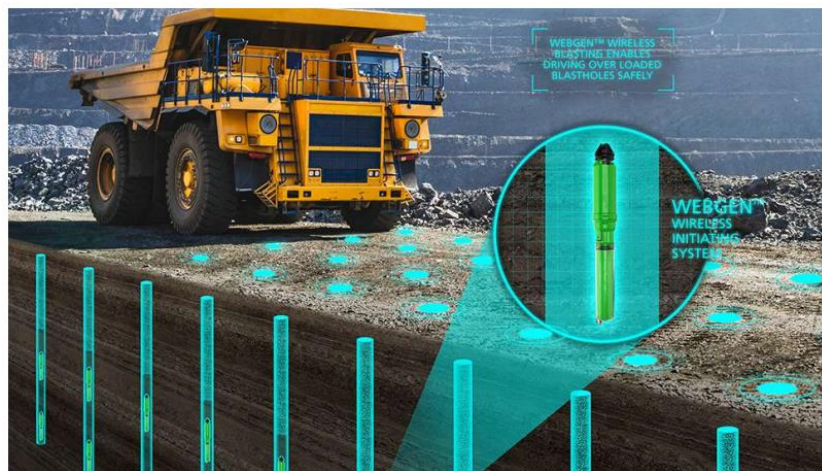
Το 2017 η Orica παρουσίασε το WebGen™ 100, το πρώτο πλήρως ασύρματο, εμπορευματοποιημένο σύστημα εκκίνησης. Στα τέλη του 2022 η Orica κυκλοφόρησε το WebGen™ 200 – το ασύρματο σύστημα δεύτερης γενιάς. Μέχρι τον Οκτώβριο του 2022, το WebGen™ έχει χρησιμοποιηθεί σε περισσότερες από 50 τοποθεσίες σε περισσότερες από 4120 εκρήξεις παγκοσμίως και πάνω από 125.000 μονάδες έχουν πυροδοτηθεί. Το WebGen™ είναι ένα πραγματικά ασύρματο σύστημα – ένα καψύλλιο WebGen™ δεν έχει φυσική σύνδεση πέρα από την οπή ανατίναξης. Χρησιμοποιεί μαγνητική επαγωγή για να στείλει οδηγίες σε αστάρια που κοιμούνται σε τρύπες, με τυπική εμβέλεια από 700 έως 800 μέτρα σε κοινούς τύπους πετρωμάτων.



Εικόνα 9: WebGen™ 200 Surface (source: <https://www.orica.com/news-media/2023/orica-webgen>).

Η ασύρματη ανατίναξη βρήκε για πρώτη φορά ευρεία εφαρμογή στην υπόγεια παραγωγή καθώς μειώνει σημαντικά τον κίνδυνο για το προσωπικό στα σημεία έλξης και επιτρέπει την ανάκτηση μεταλλεύματος που δεν είναι οικονομικά ανακτήσιμο με τα συμβατικά συστήματα ανατινάξεων (te Kloot, Liu, Purvis, Thomson, Lovitt, & Nguyen, 2017)

Στην εξόρυξη ανοιχτού τύπου, η τεχνολογία ασύρματης ανατίναξης, με καψύλλια WebGen™, έχει εγκαινιάσει μια νέα εποχή βελτιωμένης ασφάλειας και καινοτόμων μεθόδων εξόρυξης. Τα WebGen™, όταν τοποθετούνται σε υποστελεχομένες οπές, είναι ανθεκτικά σε απρογραμματίστες εκρήξεις που προκαλούνται από κεραυνό ή επαφή με τη μηχανή, εξαλείφοντας σημαντικούς περιορισμούς παραγωγής και κινδύνους ασφάλειας που σχετίζονται με τα παραδοσιακά συστήματα πυροδότησης. Με το WebGen™, δεν χρειάζεται να απομονώνονται τα μοτίβα ανατίναξης. Αντίθετα, μπορούν να χρησιμεύσουν ως προσωρινοί οδικοί δρόμοι (Εικόνα 10). Οι καταγιίδες δεν σταματούν πλέον την παραγωγή και οι οπές ανατίναξης προστατεύονται από κεραυνούς υπό συγκεκριμένες συνθήκες σχεδιασμού και φόρτωσης. Οι παρακείμενες οπές μπορούν να διανυχθούν, να φορτωθούν και να πυροκροτηθούν σύμφωνα με το πρόγραμμα ορυχείων χωρίς να αφήνουν κενά. Οι εκρήξεις πολλαπλών στρωμάτων μπορούν να προετοιμαστούν μαζικά και στη συνέχεια να πυροδοτηθούν και να ανασκαφούν χωριστά. Οι εκρήξεις μπορούν να συγχωνευθούν απρόσκοπτα και να πυροδοτηθούν ψηφιακά, εξαλείφοντας την ανάγκη για φυσική επέμβαση (Stevenson, Hassanvand, & Adam, 2023).



Εικόνα 10: Προσωρινό οδικό δίκτυο μετά από τοποθέτηση ασύρματων εκρηκτικών κυψελίδων

(source: (Stevenson et al., 2023))

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της ασύρματης ανατίναξης είναι η εξάλειψη της ανάγκης για ένα άτομο να διαχειρίζεται τις κάτω γραμμές στο κολάρο (άνοιγμα) της οπής κατά τη φόρτωση και το στέλεχος των οπών. Στις συμβατικές μεθόδους, αυτή η εργασία εξέθετε τα άτομα σε αναπνεύσιμη σκόνη και τον πιθανό κίνδυνο αλληλεπίδρασης με το φορτηγό εκρηκτικών χύδην και το μηχάνημα στεγανοποίησης. Με την ασύρματη ανατίναξη, αυτή η χειροκίνητη εργασία εξαλείφεται, διασφαλίζοντας βελτιωμένη ασφάλεια για τους εργαζόμενους. Επιπλέον, το μηχανοποιημένο στέλεχος, μια διαδικασία κατά την οποία το

στελέχος (υλικό που χρησιμοποιείται για τη σφράγιση της αυλάκωσης) γίνεται μηχανικά, γίνεται πολύ πιο γρήγορο και αποτελεσματικό επειδή ο χειριστής του φορτωτή δεν χρειάζεται να αποφεύγει προσεκτικά την επαφή με κατωφέρειες, επιτρέποντας απλούστερες λειτουργίες.

Η ανατίναξη πολλαπλών στρωμάτων περιλαμβάνει την πρώτη εκτόξευση μιας άνω ανατίναξης, η οποία μπορεί να ανασκαφεί εν μέρει ή πλήρως πριν εκτοξευθεί η ανατίναξη κάτω. Αυτή η προσέγγιση προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα και εφαρμογές. Για παράδειγμα, στην επιφανειακή εξόρυξη άνθρακα, όπου πρέπει να αφαιρεθούν στρώματα υλικού, μπορούν να τρυπηθούν και να φορτιστούν με μία κίνηση η υπερφόρτωση, η ενδιάμεση επιβάρυνση και οι εκρήξεις διατάραξης δαπέδου. Αργότερα, μπορούν να πυροδοτηθούν και να ανασκαφούν σε ξεχωριστά περάσματα, βελτιστοποιώντας τη διαδικασία εξόρυξης.

Επιπλέον, η ανατίναξη πολλαπλών στρωμάτων είναι ιδιαίτερα ωφέλιμη για την επιτάχυνση της κατακόρυφης προόδου σε βαθιά ανοιχτά λάκκους και την αύξηση του ρυθμού αποκάλυψης άνθρακα στα ορυχεία ταινιών. Πρακτικά, επιτρέπει την πιο αποτελεσματική εκσκαφή και αφαίρεση υλικού, οδηγώντας σε αυξημένη παραγωγικότητα και αποδοτικότητα εξόρυξης. Επιπλέον, τόσο στα ανθρακωρυχεία όσο και στα ορυχεία σκληρού βράχου, οι εκρήξεις μπορούν να εκτοξευθούν με ασφάλεια σε ένα μοτίβο εκρήξεων φορτισμένου στον πάγκο από κάτω, εξαλείφοντας τους περιορισμούς προγραμματισμού και επιτρέποντας μια ομαλότερη λειτουργία εξόρυξης.

Η τεχνολογία ασύρματης ανατίναξης έχει εισαγάγει καινοτόμες μεθόδους για την ενίσχυση του κατακερματισμού στις εργασίες εξόρυξης. Μια τέτοια μέθοδος, η οποία πρωτοστάτησε από την Orica και είναι γνωστή ως ‘ψεύτικο πάτωμα’, περιλαμβάνει μια μοναδική τεχνική διάτρησης και φόρτισης για δύο κάθετα παρακείμενες βαθμίδες σε ένα μόνο πέρασμα. Σε αυτή την προσέγγιση, ένα κοντό αδρανές κατάστρωμα εγκαθίσταται στρατηγικά μεταξύ κάθε φόρτισης στήλης. Αυτό το αδρανές κατάστρωμα είναι σκόπιμα μικρότερο από το τυπικό μήκος στελέχους που απαιτείται για τον έλεγχο του flyrock (θραύσματα που ρίχνονται κατά την ανατίναξη) και της υπερπίεσης (η αύξηση της πίεσης που προκύπτει από την ανατίναξη).

Μετά την πυροδότηση και την εκσκαφή της επάνω βαθμίδας, ένα στρώμα σπασμένου υλικού αφήνεται σκόπιμα πάνω από το επίπεδο του αδρανούς καταστρώματος. Αυτό το σχέδιο περιέχει αποτελεσματικά την ενέργεια της ανατίναξης στον κάτω πάγκο. Η κρίσιμη πτυχή αυτής της τεχνικής έγκειται στον συντομευμένο ορίζοντα που δημιουργείται από το αδρανές κατάστρωμα. Σε αντίθεση με τις συμβατικές μεθόδους ανατινάξεων όπου ο ορίζοντας

απορρίψεως είναι μεγαλύτερος, η μέθοδος του ψευδούς δαπέδου περιορίζει τον χώρο πάνω από το αδρανές κατάστρωμα. Αυτός ο περιορισμός ενέργειας οδηγεί σε βελτιωμένο κατακερματισμό του κάτω πάγκου, οδηγώντας σε πιο επιθυμητά αποτελέσματα στις εργασίες εξόρυξης.

Διαχειριζόμενοι στρατηγικά την ενέργεια των εκρήξεων και τον κατακερματισμό μέσω τεχνικών όπως το ψευδές δάπεδο, οι εταιρείες εξόρυξης μπορούν να βελτιστοποιήσουν τις διαδικασίες τους, οδηγώντας σε καλύτερη παραγωγικότητα, εξόρυξη υλικών και συνολική απόδοση στις δραστηριότητές τους.

Η τεχνολογία ασύρματης ανατίναξης παρά τα προτερήματά της επιφέρει και νέες προκλήσεις. Σε αντίθεση με τα ενσύρματα συστήματα, οι ασύρματοι εκκινητές δεν έχουν φυσικές συνδέσεις πέρα από την οπή, βασιζόμενοι σε μοναδικά σήματα πυροδότησης που μεταδίδονται μέσω μαγνητικής επαγωγής. Η διαχείριση αυτών των ασύρματων συστημάτων απαιτεί ειδικές διαδικασίες και μηχανικούς ελέγχους. Δύο κρίσιμα αποτελέσματα που πρέπει να αποφευχθούν είναι η απρογραμμάτιστη έναρξη και ο αποπρογραμματισμός. Η απρογραμμάτιστη εκκίνηση, που προκαλείται από κεραυνό, πίεση μηχανής, πρόσκρουση ή ηλεκτρομαγνητικά σήματα, μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφικά αποτελέσματα, ειδικά εάν οι τρύπες βρίσκονται κάτω από οδικούς προσωρινούς δρόμους. Ο αποπρογραμματισμός έχει ως αποτέλεσμα το κυψελίδιο να χάσει την ικανότητά του να πυροδοτηθεί, οδηγώντας σε πιθανές αστοχίες. Η Orica διεξήγαγε εκτενείς αξιολογήσεις για τον μετριασμό αυτών των κινδύνων. Για παράδειγμα, οι κίνδυνοι από κεραυνούς αξιολογήθηκαν μέσω αναλυτικής μοντελοποίησης και πειραμάτων σε ένα εργαστήριο προσομοίωσης κεραυνών, διασφαλίζοντας ότι τα κυψελίδια WebGen™ που τοποθετούνται τουλάχιστον τρία μέτρα κάτω από την επιφάνεια σε φυσαλίδες είναι ασφαλή από κεραυνούς. Οι κίνδυνοι πρόσκρουσης του μηχανήματος δοκιμάστηκαν περνώντας βαρύ εξοπλισμό πάνω από τρύπες, αποδεικνύοντας ότι τα κυψελίδια WebGen™ είναι ανθεκτικά ακόμη και όταν υποβάλλονται σε σημαντική πίεση. Αξιολογήθηκαν οι κίνδυνοι πυρκαγιάς, αποκαλύπτοντας ότι ένα κυψελίδιο τρία μέτρα κάτω από την επιφάνεια, καλυμμένο από κατάλληλο υλικό, παραμένει ασφαλές ακόμη και σε έντονες πυρκαγιές οχημάτων. Για την αποφυγή λανθασμένης εκπυρσοκρότησης, οι εκκινητές WebGen™ χρησιμοποιούν τη βαθμολογία Ακεραιότητας Ασφαλείας Επιπέδου 3 (SIL 3), διασφαλίζοντας ότι ανταποκρίνονται μόνο σε έγκυρα σήματα πυροδότησης. Εφαρμόζονται διαδικαστικοί έλεγχοι, αναγνωριστικά μοτίβων εκρήξεων και διαδικασίες διαχείρισης υλικού για την αποφυγή εσφαλμένης αναγνώρισης εκρήξεων. Επιπλέον, το σύστημα WebGen™ 200 ενσωματώνει LockSafe™, μια προαιρετική συσκευή

που ανιχνεύει την κίνηση του κυψελιδίου και την απενεργοποιεί εάν δεν βρίσκεται σε οπή, ενισχύοντας τα μέτρα ασφαλείας. Αυτές οι προφυλάξεις καταδεικνύουν την αυστηρή προσέγγιση που ακολουθείται για τη διαχείριση των μοναδικών κινδύνων που σχετίζονται με την τεχνολογία ασύρματης ανατίναξης (Stevenson et al., 2023).

Στα μέσα του 2022, η Orica συνεργάστηκε με ένα ανοιχτό ορυχείο χρυσού στη Δυτική Αυστραλία για να επιδείξει την ιδέα ενός προσωρινού δρόμου μεταφοράς πάνω από μια φορτωμένη με εκρηκτικά έκταση, αναδεικνύοντας τις δυνατότητες της ασύρματης ανατίναξης. Η Orica εισήγαγε αρχικά την ιδέα της ασύρματης ανατίναξης στο ορυχείο το 2018, η οποία αντιμετωπίστηκε με αρχικό σκεπτικισμό και ρυθμιστικές προκλήσεις. Ακολούθησε μια ολοκληρωμένη διαδικασία αξιολόγησης κινδύνου και διαχείρισης αλλαγών, με τη συμμετοχή πολλών ενδιαφερομένων. Εφαρμόστηκαν εξειδικευμένη εκπαίδευση και διαδικασίες για να διασφαλιστεί ότι οι εργαζόμενοι στο ορυχείο θα μπορούσαν να εντοπίζουν και να χειρίζονται με ακρίβεια τους δρόμους προσωρινής ανάσυρσης πάνω από τα τοποθετημένα εκρηκτικά. Μετά από αυστηρές δοκιμές και προσπάθειες διαχείρισης αλλαγών, η Orica και το ορυχείο επέδειξαν επιτυχώς την ιδέα της προσωρινής οδικής κυκλοφορίας τον Σεπτέμβριο του 2022, σηματοδοτώντας ένα σημαντικό ορόσημο παγκοσμίως. Η τεχνολογία ασύρματης ανατίναξης, εξαλείφοντας τα καλώδια και τους σωλήνες σήματος από τις οπές ανατίναξης, άρει τους παραδοσιακούς περιορισμούς, επιτρέποντας στις φορτωμένες με εκρηκτικά οπές να χρησιμεύουν ως προσωρινοί προσπελαστικοί οδοί. Αυτή η καινοτομία ενισχύει την ευελιξία της παραγωγής, επιτρέποντας τη διάτρηση, τη φόρτωση και την πυροδότηση γειτονικών εκρήξεων χωρίς να αφήνουν κενά, δίνοντας στους σχεδιαστές ορυχείων μεγαλύτερη ευελιξία και αυξημένο χρόνο παραγωγής. Ωστόσο, εισάγει επίσης νέους κινδύνους που απαιτούν προσεκτική αναγνώριση και διαχείριση, τονίζοντας τη σημασία της οριοθέτησης των μοτίβων ανατίναξης και την παροχή εξειδικευμένης εκπαίδευσης σε χειριστές και επόπτες (Stevenson et al., 2023).

Κεφάλαιο 4: Η περίπτωση της Martec BlastLogic

4.1 Βασικές πληροφορίες για την Martek

Η Martek, που ιδρύθηκε το 1981 και εδρεύει στην Αδελαΐδα της Αυστραλίας, είναι παγκόσμιος ηγέτης στην παροχή ολοκληρωμένων λύσεων στη βιομηχανία εξόρυξης. Η τεχνογνωσία τους περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα καινοτόμου λογισμικού, υλικού και υπηρεσιών προσαρμοσμένων ειδικά για επαγγελματίες εξόρυξης. Από το λογισμικό γεωλογικής μοντελοποίησης και σχεδιασμού ορυχείων μέχρι προηγμένα εργαλεία τοπογραφίας όπως σαρωτές λέιζερ, η Martek προσφέρει μια ολιστική σειρά προϊόντων.

Με ισχυρή παγκόσμια παρουσία, η Martek εξυπηρετεί εταιρείες εξόρυξης σε διάφορες περιοχές παγκοσμίως, διαδραματίζοντας καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση του τοπίου της τεχνολογίας εξόρυξης. Αυτό που ξεχωρίζει τη Martek είναι η δέσμευσή τους στην καινοτομία. Βελτιώνουν συνεχώς τις λύσεις λογισμικού και υλικού τους, διασφαλίζοντας ότι παραμένουν στην πρώτη γραμμή των τεχνολογικών εξελίξεων στον τομέα της εξόρυξης.

Επιπλέον, η Martek όχι μόνο παρέχει τεχνολογία αιχμής, αλλά υποστηρίζει επίσης τους επαγγελματίες εξόρυξης με εκπαίδευση και βοήθεια. Η συνεργατική τους προσέγγιση επεκτείνεται σε συνεργασίες με εταιρείες εξόρυξης, ερευνητικά ιδρύματα και άλλους οργανισμούς, ενισχύοντας μια κουλτούρα προόδου και αριστείας στη βιομηχανία εξόρυξης.

Το Vulcan, που αναπτύχθηκε από τη Martek, αποτελεί μια από τις κορυφαίες λύσεις λογισμικού γεωλογικής μοντελοποίησης και σχεδιασμού ορυχείων στη βιομηχανία εξόρυξης. Καλύπτει τις περίπλοκες ανάγκες γεωλόγων, μηχανικών και άλλων επαγγελματιών εξόρυξης παρέχοντας μια ισχυρή πλατφόρμα για τρισδιάστατη γεωλογική μοντελοποίηση, εκτίμηση πόρων, σχεδιασμό ορυχείων και προγραμματισμό παραγωγής.

Η δύναμη του Vulcan έγκειται στην ευελιξία του. Οι γεωλόγοι το χρησιμοποιούν για να δημιουργήσουν ακριβή και λεπτομερή τρισδιάστατα γεωλογικά μοντέλα σωμάτων μεταλλεύματος και κοιτασμάτων ορυκτών. Αυτά τα μοντέλα είναι απαραίτητα για την κατανόηση των γεωλογικών δομών, κάτι που με τη σειρά του βοηθά στην εκτίμηση των διαθέσιμων πόρων. Οι μηχανικοί και οι σχεδιαστές ορυχείων χρησιμοποιούν το Vulcan για να σχεδιάσουν αποτελεσματικές και ασφαλείς εργασίες εξόρυξης. Το λογισμικό επιτρέπει περίπλοκα σχέδια ορυχείων, λαμβάνοντας υπόψη διάφορους παράγοντες όπως η γεωλογία, η τοπογραφία και οι κανονισμοί ασφαλείας.

Η φιλική προς τον χρήστη διεπαφή και τα ισχυρά εργαλεία του λογισμικού το καθιστούν μια προτιμώμενη επιλογή για εταιρείες εξόρυξης παγκοσμίως. Η Martek παρέχει συνεχή υποστήριξη και ενημερώσεις, διασφαλίζοντας ότι η Vulcan παραμένει στην πρώτη γραμμή της τεχνολογίας γεωλογικών μοντέλων και σχεδιασμού ορυχείων.

4.1 Περιγραφή των πρωτοβουλιών ψηφιοποίησης που υλοποιήθηκαν και των αποτελεσμάτων τους

4.1.2 BlastLogic της Martek

Το BlastLogic, είναι ένα ισχυρό λογισμικό σχεδίασης και βελτιστοποίησης ανατινάξεων που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία εξόρυξης. Αναπτύχθηκε από τη Martek. Τα βασικά χαρακτηριστικά και λειτουργίες του λογισμικού BlastLogic συνοψίζονται παρακάτω:

Βοηθά τους μηχανικούς να σχεδιάζουν αποτελεσματικά ανατινάξεις. Παρέχει εργαλεία για το σχεδιασμό μοτίβων ανατίναξης, διάταξης οπών και ακολουθιών χρονισμού. Οι μηχανικοί μπορούν να εισάγουν διάφορες παραμέτρους, όπως η διάμετρος της οπής, το φορτίο, η απόσταση και οι παράγοντες πούδρας, για να δημιουργήσουν προσαρμοσμένα σχέδια ανατίναξης.

Το λογισμικό περιλαμβάνει επίσης δυνατότητες για την ανάλυση των δονήσεων του εδάφους που προκαλούνται από ανατινάξεις. Βοηθά στην πρόβλεψη και τον μετριασμό των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων διασφαλίζοντας ότι οι δονήσεις του εδάφους παραμένουν εντός ασφαλών ορίων. Επιπλέον, επιτρέπει στους μηχανικούς να προβλέπουν και να αναλύουν τα αποτελέσματα κατακερματισμού μετά από μια ανατίναξη. Η ανάλυση θρυμματισμού είναι ζωτικής σημασίας για τον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητας της ανατίναξης και των επακόλουθων διαδικασιών σύνθλιψης.

Το λογισμικό προσφέρει δυνατότητες τρισδιάστατης απεικόνισης (3D Visualization), επιτρέποντας στους χρήστες να οπτικοποιούν σχέδια ανατίναξης σε τρεις διαστάσεις. Αυτό το χαρακτηριστικό βοηθά στην καλύτερη κατανόηση της χωρικής διάταξης των οπών ανατίναξης και βοηθά στη βελτιστοποίηση των σχεδίων για συγκεκριμένες γεωλογικές συνθήκες.

Επίσης έχει τη δυνατότητα να ενσωματωθεί με άλλα λογισμικά συστήματα. Μπορεί να εισάγει γεωλογικά δεδομένα, δεδομένα τρυπήματος και άλλες σχετικές πληροφορίες, διασφαλίζοντας ότι ο σχεδιασμός της ανατίναξης βασίζεται σε ακριβή και ενημερωμένα δεδομένα.

Βοηθά στη βελτιστοποίηση των σχεδίων ανατίναξης για βελτίωση της απόδοσης και μείωση του κόστους ενώ ενσωματώνει χαρακτηριστικά ασφαλείας. Αναλύοντας διάφορα σενάρια σχεδιασμού, οι μηχανικοί μπορούν να επιλέξουν την πιο οικονομική αλλά και ασφαλή προσέγγιση ανατινάξεων. Με αυτόν τον τρόπο, διασφαλίζεται ότι τα σχέδια ανατίναξης συμμορφώνονται με τα πρότυπα και τους κανονισμούς ασφαλείας της βιομηχανίας.

Η ηλεκτρονική σύνδεση, όπως εισάγεται σε συστήματα όπως το BlastLogic, αντικαθιστά τις φυσικές συνδέσεις με ηλεκτρονικές. Κάθε διάτρηση εκρηκτικών είναι εξοπλισμένη με ηλεκτρονικό εκκινητή που μπορεί να ελεγχθεί με ακρίβεια. Αυτοί οι εκκινητές συνδέονται με μια κεντρική ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου. Αυτή η μονάδα επιτρέπει στους εκτοξευτές να προγραμματίζουν μια συγκεκριμένη σειρά και χρονισμό για κάθε γεώτρηση. Όταν αποστέλλεται το ηλεκτρονικό σήμα, ταξιδεύει ακαριαία κατά μήκος των ηλεκτρονικών συνδέσεων για να πυροδοτήσει τα εκρηκτικά.

Αυτό το ηλεκτρονικό σύστημα σύνδεσης προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα:

1. Ακρίβεια: Τα ηλεκτρονικά συστήματα προσφέρουν πολύ καλύτερο έλεγχο του χρόνου των εκρήξεων, διασφαλίζοντας ότι η ανατίναξη θα συμβεί με την επιθυμητή σειρά.
2. Ασφάλεια: Με τη μείωση των αστοχιών και τον ακριβή έλεγχο του χρονισμού, η ηλεκτρονική σύνδεση ενισχύει σημαντικά την ασφάλεια. Οι αστοχίες μπορεί να είναι επικίνδυνες καθώς μπορεί να απαιτούν χειροκίνητη επέμβαση στην περιοχή της ανατίναξης.
3. Μειωμένοι κραδασμοί και θόρυβος: Με τον ακριβέστερο έλεγχο της ακολουθίας, μπορούν να ελαχιστοποιηθούν οι υπερβολικοί κραδασμοί και ο θόρυβος. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε αστικές ή περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές όπου η ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων της ανατίναξης είναι απαραίτητη.

Συνοπτικά, η τεχνολογία ηλεκτρονικής σύνδεσης προσφέρει υψηλότερο βαθμό ακρίβειας, ασφαλείας και ελέγχου στις εργασίες ανατινάξεων, καθιστώντας τη διαδικασία πιο αποτελεσματική και ασφαλέστερη τόσο για τους εργαζόμενους όσο και για το περιβάλλον.

Το BlastLogic διευκολύνει τη λεπτομερή ανάλυση του κόστους διάτρησης και ανατίναξης, επιτρέποντας στις λειτουργίες να βελτιστοποιούν τα σχέδια εκρήξεων και τη χρήση εκρηκτικών χωρίς συμβιβασμούς στην απόδοση. Επιτρέπει την παρακολούθηση και την καταλογογράφηση των αποτελεσμάτων των εκρήξεων, συμπεριλαμβανομένων των παραγόντων απόδοσης ανατίναξης, της συμφωνίας με το σχεδιασμό, της αναφοράς παραγωγής και της διαχείρισης αποθεμάτων. Το σύστημα υποστηρίζει παρακολούθηση σε

πραγματικό χρόνο σεναρίων σχεδίασης τρυπανιών, φόρτισης και σύνδεσης, διασφαλίζοντας την ακριβή εκτέλεση στο πεδίο.

Το BlastLogic Tablet, αναπόσπαστο μέρος του συστήματος, ενημερώνει δυναμικά τα σχέδια επιτόπου με μια φιλική προς τον χρήστη διεπαφή, επιτρέποντας την εύκολη εισαγωγή δεδομένων που συγχρονίζεται άμεσα. Το σύστημα βοηθά τις λειτουργίες να προλαμβάνουν κινδύνους που σχετίζονται με την παραγωγικότητα και το κόστος, επιτρέποντας την προληπτική διαχείριση πριν προκύψουν προβλήματα. Επιτρέπει την παρακολούθηση σε σχέση με τους Βασικούς Δείκτες Απόδοσης (KPI) και παρέχει προσαρμοσμένες αναφορές προσαρμοσμένες στις επιχειρησιακές απαιτήσεις, διασφαλίζοντας αποτελεσματική παρακολούθηση και παρακολούθηση της απόδοσης του τρυπανιού και της ανατίναξης.

Επιπλέον, το BlastLogic διευκολύνει τις γρήγορες προσαρμογές σε διαμορφώσεις από τρύπα σε τρύπα και από σειρά σε σειρά, λαμβάνοντας υπόψη τις πραγματικές θέσεις διάτρησης, φόρτισης και στελέχους. Αυτό εξασφαλίζει βέλτιστη απόδοση σε ασφάλεια και κατακερματισμό για κάθε ανατίναξη. Το σύστημα εισάγει επίσης νέα καταγραφή θερμοκρασίας οπών, υποστηρίζοντας τις πρακτικές του εργοταξίου αξιολογώντας τη σταθερότητα και την επιλογή εκρηκτικών προϊόντων, διαχειριζόμενοι έτσι τους κινδύνους για την ασφάλεια. Επιπλέον, το BlastLogic επιτρέπει τη γρήγορη σύγκριση πολλαπλών προτύπων παραγωγής, βελτιώνοντας τη λειτουργική απόδοση χωρίς συμβιβασμούς στην ασφάλεια και την ακρίβεια.

4.2 Περιγραφή των πρωτοβουλιών ψηφιοποίησης που υλοποιήθηκαν και των αποτελεσμάτων τους

Το BlastLogic χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία το 2019 στο ανθρακωρυχείο Grootegeluk που βρίσκεται στην επαρχία Limpopo της Νότιας Αφρικής. Είναι ένα ανοιχτό ανθρακωρυχείο χυτού και λειτουργεί από την εταιρεία Exxaro. Το ορυχείο παρέχει απασχόληση σε περίπου 2.000 άτομα.

Έκτοτε, μετασχημάτισε σημαντικά τις διαδικασίες διάτρησης και ανατίναξης και ενσωματώθηκε στην παραγωγή. Αυτή η προηγμένη λύση επαναπροσδιορίζει τη συλλογή, διαχείριση και ανάλυση δεδομένων στη διάτρηση και ανατίναξη. Το BlastLogic παρέχει πραγματικού χρόνου εισηγήσεις και μια συνολική άποψη της κατάστασης του ορυχείου, βοηθώντας τη διαρκή βελτίωση. Πριν από το BlastLogic, το ορυχείο δεν είχε αφιερωμένη ομάδα διασφάλισης ποιότητας (Quality Assurance – Quality Control QA/QC) και

προτιμώμενο σύστημα πλοήγησης διάτρησης. Το BlastLogic υπερέβη τις προσδοκίες, επιτρέποντας πραγματικού χρόνου επαλήθευση των τρυπημάτων και οπτικοποίηση της συμμόρφωσης. Το σύστημα επικοινωνεί απευθείας με τα συστήματα πλοήγησης διάτρησης, αυτοματοποιώντας την εισαγωγή δεδομένων τρυπημάτων. Εντοπίζει σφάλματα βαθμονόμησης και προβλήματα λειτουργίας, προωθώντας αναβαθμίσεις στο σύστημα. Το BlastLogic χρησιμοποιεί δεδομένα μέτρησης κατά τη διάρκεια της διάτρησης (MWD), απαραίτητα για την παρακολούθηση των ποικιλιών της πυκνότητας του κάρβουνου και των γεωλογικών δομών. Το BlastLogic Tablet ενημερώνει σχέδια στο πεδίο, επικοινωνεί με τα έξυπνα φορητά Enaex IBIS που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της φόρτωσης εκρηκτικών. Το εύχρηστο tablet απλοποιεί τη μάθηση και την εργασία και εξαλείφει τη χειροκίνητη εισαγωγή δεδομένων - εξοικονομώντας χρόνο, διατηρώντας την ακεραιότητα των δεδομένων και αυξάνοντας την ασφάλεια για τους χειριστές.

Το ορυχείο χρυσού Pueblo Viejo της Barrick στη Δομινικανή Δημοκρατία έχει υιοθετήσει την ψηφιοποίηση και την τεχνολογία για να βελτιώσει τις λειτουργίες γεώτρησης και ανατίναξης. Χρησιμοποιώντας τη λύση σχεδιασμού και συμφιλίωσης εκρήξεων Martek™, συμπεριλαμβανομένων των BlastLogic™ και Vulcan™ Drilling Designer, το ορυχείο διαχειρίζεται πλέον αποτελεσματικά τις διαδικασίες διάτρησης και ανατίναξης. Αυτό το ολοκληρωμένο σύστημα παρακολουθεί διάφορες παραμέτρους, όπως κραδασμούς, κατακερματισμό, απόδοση, κόστος και απόθεμα κάθε ανατίναξης, επιτρέποντας συνεχή βελτίωση και μελλοντικό σχεδιασμό.

Η ψηφιοποίηση έχει εξορθολογίσει σημαντικά τη διαδικασία. Πριν από την εφαρμογή του BlastLogic, τα δεδομένα ανατίναξης ήταν διασκορπισμένα σε διαφορετικές πηγές, καθιστώντας την ανάλυση επίπονη. Τώρα, με όλα τα δεδομένα ενσωματωμένα, επιτυγχάνεται ακριβής τοποθέτηση φόρτισης και καλύτερος κατακερματισμός, βελτιώνοντας την ασφάλεια και την απόδοση. Η ανάδραση σε πραγματικό χρόνο βοηθά στον έγκαιρο εντοπισμό προβλημάτων, διασφαλίζοντας την ασφάλεια κατά την αντιμετώπιση εκρηκτικών.

Τα οφέλη είναι σημαντικά. Η αυξημένη ακρίβεια διάτρησης, η αποτελεσματική διαχείριση δεδομένων και ο μειωμένος χρόνος ανάλυσης έχουν οδηγήσει σε εξοικονόμηση κόστους και ταχύτερες βελτιώσεις. Με τη μετατόπιση του χρόνου μηχανικής από τις διοικητικές εργασίες στο σχεδιασμό και τη συμμόρφωση, το ορυχείο λειτουργεί πιο αποτελεσματικά. Το σύστημα επιτρέπει επίσης λεπτομερή έλεγχο των ΒΔΑ (KPIs), δυνατότητες ελέγχου και

συγχρονισμένες εργασίες σε μια ενιαία πλατφόρμα. Επιπλέον, η τρισδιάστατη ανάλυση δεδομένων παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για λειτουργικές βελτιώσεις.

Η επιλογή του BlastLogic ήταν κάτι περισσότερο από απλή υιοθέτηση λογισμικού. αφορούσε την απόκτηση πρόσβασης σε μια υποστηρικτική ομάδα που προσαρμοσε την πλατφόρμα στις συγκεκριμένες ανάγκες του ορυχείου. Αυτή η προσέγγιση εξασφαλίζει ευελιξία και ανάπτυξη, που υποστηρίζεται από την άριστη εξυπηρέτηση πελατών. Η ενσωμάτωση των ψηφιακών τεχνολογιών όχι μόνο βελτίωσε τις λειτουργίες, αλλά και αύξησε την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα, καθιστώντας τις διαδικασίες διάτρησης και ανατίναξης του Pueblo Viejo πιο αποτελεσματικές και αξιόπιστες.

Η τεχνογνωσία και οι στρατηγικές συνεργασίες της Martek στην τεχνολογία εξόρυξης έχουν βελτιώσει σημαντικά τις δραστηριότητες γεώτρησης και ανατίναξης της BMA Caval Ridge στο Bowen Basin του Queensland, μια κοινοπραξία μεταξύ της BHP και της Mitsubishi Development. Χρησιμοποιώντας το σύστημα διαχείρισης ποιότητας BlastLogic™ της Martek για περισσότερα από τέσσερα χρόνια, η BMA εντόπισε την ανάγκη για καλύτερη επικοινωνία δεδομένων. Ο Ανώτερος Σύμβουλος Εξόρυξης της MEC Mining, Mark Killip, συνεργάστηκε με τη Martek για να δημιουργήσει δυναμικούς πίνακες εργαλείων που εμφανίζουν δεδομένα τρυπανιών και εκρήξεων σε πραγματικό χρόνο σε μια κατανοητή μορφή.

Οι μηχανικοί, οι πυροβολητές και τα μέλη του πληρώματος καταγράφουν δεδομένα πεδίου χρησιμοποιώντας το BlastLogic Tablet, το οποίο τροφοδοτείται αυτόματα σε έναν πίνακα εργαλείων Microsoft Power BI. Αυτός ο πίνακας εργαλείων λειτουργεί ως ενιαία υπηρεσία για όλες τις συμφωνίες δεδομένων πεδίου BlastLogic, τις αναφορές και τις συγκρίσεις σχεδιασμού. Παρέχει πολύτιμες πληροφορίες, επιτρέποντας στους μηχανικούς να μάθουν από προηγούμενες εκρήξεις, να βελτιώσουν τον σχεδιασμό, τον σχεδιασμό και τον προγραμματισμό. Αυτές οι σχεδόν ζωντανές πληροφορίες ενισχύουν τη λήψη αποφάσεων και οδηγούν σε υψηλής ποιότητας αποτελέσματα.

Ο πίνακας εργαλείων Power BI παρέχει συγκρίσεις σχεδιασμού και πραγματικών στοιχείων για διάφορες μετρήσεις ανατίναξης, προσφέροντας γραφήματα πίτας και χωρικές γραφές οπών που χρωματίζονται με εμβάπτιση, γέμισμα, φόρτιση και πληροφορίες υγρής οπής. Με την αξιοποίηση της αποθήκης δεδομένων SQL της BlastLogic, τα δεδομένα ετών γίνονται άμεσα προσβάσιμα, μεταμορφώνοντας τον τρόπο απόκτησης πληροφοριών.

Η Insight, ένας ειδικός στη βελτιστοποίηση δεδομένων, συνεργάστηκε με τη Martek για να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ του BMA και της λογικής πίσω από το ταμπλό. Η κοινή τους προσπάθεια εξασφάλισε τη δημιουργία μιας βιώσιμης λύσης που ωφελεί ολόκληρη την τοποθεσία του ορυχείου. Το έργο έχει αποδείξει την αξία των αναλυτικών στοιχείων, ιδιαίτερα του Power BI, στην παροχή ταχείας πρόσβασης στα δεδομένα, στην επιτάχυνση του χρόνου μέχρι τη γνώση και στην υποβοήθηση ακριβούς προγραμματισμού. Η λύση του πίνακα εργαλείων Power BI έτυχε καλής αποδοχής και η επόμενη φάση θα παρέχει σχεδόν ζωντανές πληροφορίες στα επιχειρησιακά πληρώματα, ενισχύοντας περαιτέρω την αξία που προκύπτει από αυτήν την επένδυση στην ανάλυση.

Κεφάλαιο 5: Η περίπτωση της BCG GAMMA

5.1 Βασικές πληροφορίες για την BCG

Η Boston Consulting Group (BCG) είναι μια παγκόσμια εταιρεία συμβούλων διαχείρισης που ιδρύθηκε από τον Bruce D. Henderson το 1963. Η BCG είναι μια από τις πιο διάσημες συμβουλευτικές εταιρείες στον κόσμο και είναι γνωστή για την εξειδίκευσή της στην επιχειρηματική στρατηγική και την εταιρική ανάπτυξη. Τα τελευταία χρόνια, η BCG συνεχίζει να ασκεί σημαντική επιρροή στον επιχειρηματικό κόσμο. Τον Μάιο του 2021, ο Christoph Schweizer εξελέγη Διευθύνων Σύμβουλος, διαδεχόμενος τον Rich Lesser, ο οποίος ανέλαβε το ρόλο του Παγκόσμιου Προέδρου της εταιρείας. Επιπλέον, η BCG έχει επιδείξει δέσμευση στη βιωσιμότητα, δημοσιεύοντας το 2022 την ετήσια έκθεση βιωσιμότητας παρουσιάζοντας σημαντικές μειώσεις στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, τη χρήση νερού, την παραγωγή αποβλήτων και την κατανάλωση ενέργειας από το 2015.

Στο πλαίσιο των εργασιών εξόρυξης, εταιρείες συμβούλων όπως η BCG διαδραματίζουν συχνά κρίσιμο ρόλο στην παροχή συμβουλών σε εταιρείες εξόρυξης για διάφορες πτυχές της επιχείρησής τους. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει ανάλυση αγοράς, βελτιστοποίηση κόστους, λειτουργική αποτελεσματικότητα, τεχνολογική ενοποίηση και στρατηγικές βιωσιμότητας.

Η BCG επέκτεινε τις υπηρεσίες της, ενοποιώντας τις εναλλακτικές επιχειρηματικές της μονάδες υπό μια ενιαία οντότητα με την ονομασία BCG X τον Δεκέμβριο του 2022. Η BCG X περιλαμβάνει εξειδικευμένες μονάδες όπως η BCG Gamma, με επίκεντρο την επιστήμη των δεδομένων και την προηγμένη ανάλυση, την BCG Digital Ventures, σε συνεργασία με εταιρείες για την κυκλοφορία καινοτόμων προϊόντων, και την BCG Platinion, με εξειδίκευση στις συμβουλευτικές υπηρεσίες τεχνολογίας και ψηφιακού μετασχηματισμού.

5.2 BCG GAMMA και το πρόγραμμα PHOSA

Το Phosa, που αναπτύχθηκε από την BCG GAMMA, είναι μια καινοτόμος λύση τεχνητής νοημοσύνης που έχει σχεδιαστεί για να παρέχει λύσεις σε πραγματικό χρόνο για την ενίσχυση της παραγωγής σε διάφορα στάδια επιχειρήσεων συνεχούς διαδικασίας. Παρόμοια με τον τρόπο με τον οποίο οι ανθρακωρύχοι βασίζονται στους προβολείς για να φωτίσουν την πορεία τους, το Phosa βοηθά τους πελάτες σε βιομηχανίες συνεχούς επεξεργασίας, όπως μεταλλουργία και εξόρυξη, πετρέλαιο και φυσικό αέριο, χημικά προϊόντα και αγροτικές επιχειρήσεις. Σκοπός του είναι να αναδειξεί κρυφές ευκαιρίες μέσα στις υπάρχουσες

διαδικασίες. Σε αντίθεση με τις τυπικές λύσεις μαύρου κουτιού, οι αγνωστικιστικές εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης του Phosa συνδυάζουν εξειδικευμένες γνώσεις, προηγμένα αναλυτικά στοιχεία, ιδιόκτητα εμπορικά μυστικά και βιβλιοθήκες κωδικών. Αυτή η μοναδική προσέγγιση επιτρέπει στο Phosa να διευκολύνει τις μετασχηματιστικές αλλαγές στις επιχειρήσεις πρώτης γραμμής, οδηγώντας τον ψηφιακό μετασχηματισμό σε αυτούς τους κλάδους.

Οι προτάσεις του Phosa είναι ευέλικτες και μπορούν να ενσωματωθούν απρόσκοπτα σε διάφορα συστήματα πελατών, όπως συστήματα ελέγχου, υπάρχουσες οθόνες διάγνωσης ή προσαρμοσμένους πίνακες εργαλείων. Επιπλέον, αυτές οι συστάσεις μπορούν να εφαρμοστούν με διάφορους τρόπους: μπορούν να αυτοματοποιηθούν πλήρως στα συστήματα ελέγχου διεργασιών, να εισαχθούν χειροκίνητα από τους χειριστές πελατών ή να ενσωματωθούν στα συστήματα, αλλά να εφαρμοστούν μόνο μετά από έλεγχο και έγκριση από τον χειριστή. Αυτή η προσαρμοστικότητα διασφαλίζει ότι οι γνώσεις της Phosa χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά και ενσωματώνονται στο υπάρχον λειτουργικό πλαίσιο του πελάτη, μεγιστοποιώντας τον αντίκτυπό τους στις λειτουργίες συνεχούς διαδικασίας .

Το Phosa χρησιμοποιείται στη βελτιστοποίηση των εργασιών διάτρησης και ανατίναξης στη βιομηχανία εξόρυξης αναλύοντας τα δεδομένα ορυκτολογίας (σκληρότητας) του μεταλλεύματος για να κατανοήσει τα ειδικά χαρακτηριστικά των ορυκτών που εξορύσσονται. Κατανοώντας τη σκληρότητα του μεταλλεύματος, το σύστημα τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να καθορίσει την κατάλληλη ποσότητα ενέργειας ανατίναξης που απαιτείται για την αποτελεσματική εξόρυξη.

Η θρυμματοποίηση αναφέρεται στη διαδικασία μείωσης του μεγέθους των σωματιδίων μεταλλεύματος. Αυτό είναι ένα ζωτικό βήμα στην επεξεργασία ορυκτών πριν το μέταλλευμα σταλεί στο μύλο. Το Phosa AI βελτιστοποιεί το σχέδιο διάτρησης και τη φόρτιση εκρηκτικού υλικού. Αυτή η βελτιστοποίηση στοχεύει στην ομοιόμορφη κατανομή της ενέργειας θρυμματισμού από το ορυχείο στο μύλο. Με τη βελτιστοποίηση της ανατίναξης, το εξορυσσόμενο μέταλλευμα διασπάται σε θραύσματα του σωστού μεγέθους, καθιστώντας ευκολότερη την περαιτέρω επεξεργασία στη γραμμή παραγωγής.

Εξασφαλίζοντας ότι το μέταλλευμα κατακερματίζεται αποτελεσματικά, μειώνονται τα σημεία συμφόρησης κατάντη επεξεργασίας, οδηγώντας σε βελτιωμένη απόδοση επεξεργασίας και οικονομική αποδοτικότητα.

Επίσης, το Phosa παρέχει συστάσεις σε πραγματικό χρόνο σε ανθρακωρύχους και χειριστές. Αυτές οι συστάσεις θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν προσαρμογές στα μοτίβα διάτρησης, στη φόρτιση εκρηκτικών ή σε άλλες παραμέτρους με βάση τα γεωλογικά και επιχειρησιακά δεδομένα που ενημερώνονται συνεχώς.

Τέλος, το πρόγραμμα Phosa είναι συμβατό με τα περισσότερα υπάρχοντα συστήματα εξόρυξης, επιτρέποντας την απρόσκοπτη εφαρμογή και παρακολούθηση. Η ενοποίηση μπορεί να περιλαμβάνει συστήματα ελέγχου, διαγνωστικές οθόνες ή προσαρμοσμένους πίνακες εργαλείων που χρησιμοποιούνται από χειριστές και μηχανικούς εξόρυξης.

Συνοπτικά, η εφαρμογή του Phosa AI μπορεί να βελτιστοποιήσει την ποσότητα ενέργειας που χρησιμοποιείται στις ανατινάξεις, διασφαλίζοντας ότι το εξορυσσόμενο μέταλλευμα έχει το σωστό μέγεθος για αποτελεσματική επεξεργασία. Χρησιμοποιώντας γνώσεις που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη, οι εταιρείες εξόρυξης μπορούν να βελτιώσουν τη λειτουργική τους απόδοση, να μειώσουν το κόστος και να βελτιώσουν τη συνολική παραγωγικότητα των εργασιών εξόρυξης τους.

Κεφάλαιο 6: Συζήτηση και συμπέρασμα

6.1 Οι επιπτώσεις των προηγμένων τεχνολογιών στον τομέα των γεωτρήσεων και ανατινάξεων

Τα τελευταία χρόνια, η βιομηχανία γεωτρήσεων και ανατινάξεων έχει υποστεί έναν αξιοσημείωτο μετασχηματισμό λόγω της ενσωμάτωσης προηγμένων τεχνολογιών όπως οι Martek BlastLogic, Orica WebGen και BCG Phosa AI. Αυτή η συζήτηση εμβαθύνει στις βαθιές επιπτώσεις αυτών των τεχνολογιών, δίνοντας έμφαση στον αντίκτυπό τους στη λειτουργική απόδοση, τα πρωτόκολλα ασφάλειας, την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και τη συνολική μελλοντική πορεία του εξορυκτικού τομέα.

1. Λειτουργική αποτελεσματικότητα και ακρίβεια

Η ενσωμάτωση της Martek BlastLogic στις εργασίες γεώτρησης και ανατινάξεων έχει επαναπροσδιορίσει το τοπίο της εξόρυξης ακριβείας. Αξιοποιώντας προηγμένη τρισδιάστατη μοντελοποίηση και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, οι μηχανικοί εξόρυξης μπορούν να σχεδιάσουν σχολαστικά σχέδια εκρήξεων. Οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης της BlastLogic ενισχύουν την ακρίβεια διάτρησης και τη διανομή εκρηκτικών, εξασφαλίζοντας βέλτιστο κατακερματισμό. Αυτή η ακρίβεια όχι μόνο μεγιστοποιεί την ανάκτηση

μεταλλεύματος αλλά και εξορθολογίζει τις κατάντη διεργασίες, ελαχιστοποιώντας τη σπατάλη ενέργειας στο στάδιο άλεσης. Το αποτέλεσμα είναι αυξημένη λειτουργική απόδοση και μειωμένο κόστος παραγωγής.

Ομοίως, το ασύρματο σύστημα εκκίνησης της Orica WebGen έχει εξαλείψει τους περιορισμούς που θέτουν τα παραδοσιακά ενσύρματα συστήματα. Επιτρέπει ευέλικτους σχεδιασμούς εκρήξεων, δίνοντας τη δυνατότητα στους ανθρακωρύχους να εφαρμόζουν καινοτόμες τεχνικές όπως η ανατίναξη πολλαπλών καταστρωμάτων και η απρόσκοπτη ψηφιακή συγχώνευση εκρήξεων. Αυτή η ευελιξία βελτιστοποιεί την εξόρυξη πόρων προσαρμόζοντας τις στρατηγικές ανατινάξεων στη γεωλογική πολυπλοκότητα των τοποθεσιών εξόρυξης. Επιπλέον, η τεχνολογία ανατίναξης μέσω του βράχου της WebGen εξασφαλίζει ομοιόμορφη κατανομή ενέργειας, συμβάλλοντας σε σταθερό κατακερματισμό και αποτελεσματική φόρτωση υλικού.

2. Βελτιωμένα Πρωτόκολλα Ασφαλείας

Η ασφάλεια στην εξόρυξη ήταν πάντα πρωταρχικής σημασίας και η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών ενισχύει περαιτέρω τα υπάρχοντα πρωτόκολλα ασφαλείας. Οι ασύρματες δυνατότητες της WebGen εξαλείφουν την ανάγκη για φυσικές συνδέσεις, μειώνοντας σημαντικά την έκθεση των εργαζομένων σε δυνητικά επικίνδυνες καταστάσεις κατά την ανατίναξη. Επιπλέον, η εξάλειψη των downlines ελαχιστοποιεί τους κινδύνους που σχετίζονται με την έκθεση στη σκόνη και τις αλληλεπιδράσεις των μηχανών, διασφαλίζοντας ένα ασφαλέστερο περιβάλλον εργασίας για τους ανθρακωρύχους.

Το BCG Phosa AI, ενεργώντας ως λύση «άνθρωπος στο βρόχο», συμβάλλει σημαντικά στην ασφάλεια παρέχοντας συστάσεις σε πραγματικό χρόνο. Αναλύοντας συνεχώς τεράστια σύνολα δεδομένων, το Phosa AI εντοπίζει πιθανούς κινδύνους στη λειτουργία συνεχούς διαδικασίας. Για παράδειγμα, μπορεί να ανιχνεύσει ανωμαλίες στα πρότυπα γεώτρησης ή στα φορτία εκρήξεων, προειδοποιώντας τους χειριστές για αποκλίσεις από τα πρωτόκολλα ασφαλείας. Αυτή η προληπτική προσέγγιση επιτρέπει γρήγορες διορθωτικές ενέργειες, αποτρέποντας τα ατυχήματα πριν συμβούν και ενισχύοντας τη συνολική κουλτούρα ασφαλείας στις εργασίες εξόρυξης.

3. Περιβαλλοντική βιωσιμότητα

Πέρα από τη λειτουργική αποτελεσματικότητα και την ασφάλεια, η ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών ευθυγραμμίζει τη βιομηχανία γεώτρησης και ανατινάξεων με βιώσιμες

πρακτικές. Τα ακριβή σχέδια εκρήξεων, που διευκολύνονται από την BlastLogic, έχουν ως αποτέλεσμα βελτιστοποιημένο κατακερματισμό. Τα μικρότερα, ομοιόμορφου μεγέθους θραύσματα μεταλλεύματος απαιτούν λιγότερη ενέργεια για την επεξεργασία, μειώνοντας το συνολικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα των εργασιών εξόρυξης. Επιπλέον, οι αποτελεσματικές τεχνικές ανατινάξεων ελαχιστοποιούν την υπερανάτιναξη, αποτρέποντας την περιττή διαταραχή των γύρω οικοσυστημάτων.

Η τεχνολογία ανατινάξης μέσω της Orica WebGen συμβάλλει στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα ελαχιστοποιώντας τους κραδασμούς του εδάφους και την υπερπίεση του αέρα. Οι μειωμένοι κραδασμοί προστατεύουν τις κοντινές κατασκευές και τα οικοσυστήματα, ενώ η χαμηλότερη υπερπίεση του αέρα μετριάξει την ηχορύπανση. Επιπλέον, η εξάλειψη των φυσικών συνδέσεων μειώνει τη χρήση των πόρων, συμβάλλοντας στη διατήρηση των υλικών και της ενέργειας.

4. Μελλοντική τροχιά του μεταλλευτικού τομέα

Η ενοποίηση των Maptek BlastLogic, Orica WebGen και BCG Phosa AI αντιπροσωπεύει μια αλλαγή παραδείγματος στον τομέα της εξόρυξης. Αυτές οι τεχνολογίες όχι μόνο βελτιστοποιούν τις τρέχουσες εργασίες γεώτρησης και ανατινάξεων αλλά και ανοίγουν το δρόμο για μελλοντικές καινοτομίες. Η προσέγγιση που βασίζεται στα δεδομένα αυτών των τεχνολογιών δημιουργεί τεράστια σύνολα δεδομένων, τα οποία, όταν αναλυθούν εκτενώς, μπορούν να παρέχουν πολύτιμες γνώσεις για προγνωστική συντήρηση, βελτιστοποίηση πόρων και μακροπρόθεσμο στρατηγικό σχεδιασμό.

Επιπλέον, η ασύρματη και η τεχνητή νοημοσύνη φύση αυτών των τεχνολογιών ανοίγει δρόμους για αυτόνομα συστήματα εξόρυξης. Η προοπτική των αυτόνομων εργασιών γεώτρησης και ανατινάξης, καθοδηγούμενες από ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και αλγόριθμους πρόβλεψης, προαναγγέλλει ένα μέλλον όπου η εξόρυξη γίνεται όχι μόνο εξαιρετικά αποτελεσματική αλλά και αξιοσημείωτα αυτόνομη. Αυτή η εξέλιξη υπόσχεται αυξημένη παραγωγικότητα, μειωμένο λειτουργικό κόστος και ενισχυμένη ασφάλεια μέσω της ελαχιστοποίησης των ανθρώπινων παρεμβάσεων σε δυνητικά επικίνδυνα περιβάλλοντα.

Συμπερασματικά, η ενσωμάτωση των Maptek BlastLogic, Orica WebGen και BCG Phosa AI στη βιομηχανία γεωτρήσεων και ανατινάξεων σημαίνει κάτι περισσότερο από μια απλή τεχνολογική πρόοδο. Αντιπροσωπεύει μια θεμελιώδη αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο εννοιολογούνται, εκτελούνται και βελτιστοποιούνται οι λειτουργίες εξόρυξης. Ενισχύοντας την επιχειρησιακή απόδοση, ενισχύοντας τα πρωτόκολλα ασφαλείας, προάγοντας την

περιβαλλοντική βιωσιμότητα και ανοίγοντας το δρόμο για αυτόνομη εξόρυξη, αυτές οι τεχνολογίες είναι καθοριστικές για τη διαμόρφωση ενός μέλλοντος όπου η εξόρυξη δεν είναι μόνο οικονομικά βιώσιμη αλλά και περιβαλλοντικά και κοινωνικά υπεύθυνη. Ο κλάδος βρίσκεται στο κατώφλι μιας νέας εποχής, όπου η καινοτομία και η βιωσιμότητα πάνε χέρι-χέρι, καθοδηγούμενη από τη δύναμη των προηγμένων τεχνολογιών.

Βιβλιογραφία

- Afeni, T. B. (2009). Optimization of drilling and blasting operations in an open pit mine—the SOMAIR experience. *Mining Science and Technology (China)*, 19(6), 736-739.
- Bell, F. G. (2013). *Engineering in rock masses*. Elsevier.
- Epiroc. (2020). Types of Drilling in Mining. <https://crmining.com/mining-drill/>
- Fernández, A., Sanchidrián, J. A., Segarra, P., Gómez, S., Li, E., & Navarro, R. (2023). Rock mass structural recognition from drill monitoring technology in underground mining using discontinuity index and machine learning techniques. *International Journal of Mining Science and Technology*.
- Hudson, J. A., & Dusseault, M. (1989). *Rock Engineering*. Mc Graw-Hill International Editions.
- Naidu, P. T., Prudhvi, P., Phanindra, G., Raju, D. J., & Naidu, R. (2020). Optimization of Blasting Operation in Opencast Mine. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 7(5).
- Rai, P., Schunnesson, H., Lindqvist, P.-A., & Kumar, U. (2016). Measurement-while-drilling technique and its scope in design and prediction of rock blasting. *International Journal of Mining Science and Technology*, 26(4), 711-719.
- Sengupta, A. (2022). *Benefits of Industry 4.0 in Drilling and Blasting processes*. Retrieved 20/10/2023 from https://promfgmedia.com/benefits-of-industry-40-in-drilling-and-blasting-processes.php?article_id=262
- Spidle, K. (2016). *Cutting the strings*. Retrieved 22-10-23 from <https://magazine.cim.org/en/technology/cutting-the-strings/>
- Stevenson, G., Hassanvand, A., & Adam, M. (2023). *Wireless Blasting Methods Safely Accelerate Production in Surface Mines* 26th World Mining Congress - WMC 2023, Brisbane Australia.
- te Kloot, C., Liu, Z., Purvis, T., Thomson, S., Lovitt, M., & Nguyen, T. (2017). *Improving safety through technology – Orica wireless electronic blasting system trials at Ernest Henry Mine* AusIMM Underground Operators' Conference, Gold Coast.
- Μενεγάκη, Μ. (2010). Σχεδιασμός Υπαίθριων Εκμεταλλεύσεων. In: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Μηχ. Μεταλλείων – Μεταλλουργών.

<https://www.epiroc.com/en-ba/applications/mining/surface-mining-and-quarrying/open-pit-mining>

<https://blog.strayos.com/the-state-of-digitalization-in-the-drill/>

<https://www.bcg.com/publications/2021/adopting-a-digital-strategy-in-the-metals-and-mining-industry>

https://promfgmedia.com/benefits-of-industry-40-in-drilling-and-blasting-processes.php?article_id=262

<https://blastingandgeoandcivileng.blogspot.com/2014/12/understanding-vibration-instrumentation.html>

https://promfgmedia.com/benefits-of-industry-40-in-drilling-and-blasting-processes.php?article_id=262

<https://www.bcg.com/beyond-consulting/bcg-gamma/phosa-for-ai-in-mining-process-industries>