



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**  
**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ «Οργάνωση & Διοίκηση»**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**  
**«ΠΛΑΙΣΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΩΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΓΙΑ**  
**ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟΥΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥΣ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΡΓΑ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ**  
**ΟΡΥΧΕΙΑ»**

**METHODS OF HAZARD ANALYSIS AND SAFETY MEASURES FOR**  
**OCCUPATIONAL HAZARDS IN UNDERGROUND ACTIVITIES AND MINES**

**ΜΕΡΤΑΡΑΚΗ ΜΙΧ. ΙΩΑΝΝΑ**  
**A.M. 2016019051**

**ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2021**

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΡΟΠΗ**  
**Καθηγητής ΘΩΜΑΣ ΚΟΝΤΟΓΙΑΝΝΗΣ (επιβλέπων)**  
**Καθηγητής ΒΑΣΙΛΗΣ ΜΟΥΣΤΑΚΗΣ**  
**Καθηγητής ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μελέτη αποτελεί διπλωματική εργασία στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακού Σπουδών στον τομέα «ΟΡΓΑΝΩΣΗ & ΔΙΟΙΚΗΣΗ» του Τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Καταρχάς, αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διατριβής μου, κ. Θωμά Κοντογιάννη, για την αμέριστη υπομονή, πολύτιμη εμπιστοσύνη, εκτίμηση και καθοδήγησή του ως προς το πρόσωπο μου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές κ. Βασίλη Μουστάκη και κ. Αριστομένη Αντωνιάδη που δέχτηκαν να είναι μέλη της τριμελούς επιτροπής αξιολόγησης της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Μιχάλη και Ειρήνη, καθώς και τον αδερφό μου Γιώργο, που με υπομονή και κουράγιο πρόσφεραν την απαραίτητα ηθική συμπαράσταση για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της παρούσας διατριβής είναι να εξετάσει ένα συστηματικό πλαίσιο ανάλυσης κινδύνων σε υπόγεια έργα με έμφαση τις εργασίες σε ορυχεία. Μια αρχική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας θα φέρει στο φως τους επικρατέστερους κινδύνους στα υπόγεια έργα (π.χ. τούνελ και ορυχεία) και στις χωματοουργικές εργασίες. Θα εξεταστεί η αξιολόγηση των κινδύνων αυτών με ένα συνδυασμό μεθόδων που περιλαμβάνουν τα διαγράμματα «απειλών-κινδύνων-επιπτώσεων» (bow-ties), δένδρα αστοχιών και δένδρα γεγονότων. Επίσης, θα καταβληθεί προσπάθεια στο να αναπτυχθούν τα δυναμικά χαρακτηριστικά των μεθόδων αυτών, όπως τα δυναμικά δένδρα γεγονότων.

Επίσης, θα αναπτυχθούν τέσσερις μελέτες περιπτώσεων για την εφαρμογή του πλαισίου ανάπτυξης. Ενδεικτικά αναφέρονται οι κάτωθι περιπτώσεις:

- Κατακρήμνιση οροφής σε υπόγεια έργα
- Εκρήξεις σε ορυχεία
- Εγκλωβισμός μπουλντόζας σε υπόγεια κενά
- Ανατροπή εκσκαφέα

Ακολούθως, θα εξεταστεί ένα πλαίσιο ανάπτυξης προληπτικών και προστατευτικών μέτρων ασφαλείας το οποίο θα έχει γενική εφαρμογή στο σχεδιασμό των μέτρων για διαφορετικούς κινδύνους.

## ABSTRACT

The purpose of this thesis is to examine a systematic risk analysis framework for underground projects with emphasis on mining operations. An initial review of the literature will highlight the predominant hazards in underground works (e.g. tunnels and mines) and earthworks. These risks will be assessed through a combination of methods including bow-ties, fault trees. Efforts will also be made to develop dynamic features of these methods, such as dynamic fault trees.

Four cases studies will also be developed to implement the development framework. Indicatively, the following cases are mentioned:

- Ceiling precipitation in underground works
- Explosions in mines
- Bulldozer enclosure in underground voids
- Truck overturns in coal mining

Next, a framework for the development of preventive and protective security measures that will be generally applicable to the design of measures for different risks will be examined.

## **Πίνακας περιεχομένων**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	3
ABSTRACT .....	4
1. Υπόγεια έργα .....	10
1.1. Η σημασία των υπογείων έργων .....	10
1.2. Ο ρόλος της επιστήμης στο σχεδιασμό των υπόγειων έργων.....	11
2. Δέντρα Αστοχιών.....	12
2.1. Εισαγωγή – Γενικά Στοιχεία .....	12
2.2. Δέντρα Αστοχιών .....	13
2.3. Ανάλυση Διαγράμματος Δέντρου Αστοχιών.....	15
3. Μέτρα Ασφαλείας Επαγγελματικού Κινδύνου.....	17
3.1. Νομοθετικό πλαίσιο .....	17
3.1.1. Γενικές αρχές πρόληψης σύμφωνα με το Π.Δ. 17/96.....	18
3.1.2. Επανεξέταση και αναθεώρηση .....	19
3.2. Γενικά για τη Μελέτη Εκτίμησης Επαγγελματικού Κινδύνου (Μ.Ε.ΕΚ.).....	20
3.2.1. Ταξινόμηση και ορισμός των επαγγελματικών κινδύνων.....	22
3.2.3. Διαδικαστικές φάσεις εκτίμησης του επαγγελματικού κινδύνου.....	23
3.3. Μέτρα ασφαλείας σε ορυχεία σύμφωνα με τη ισχύουσα νομοθεσία .....	25
• Συστήματα τεχνικού αερισμού – Αεραγωγοί.....	25
• Φωτισμός.....	26

---

• Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις .....	27
• Εξοπλισμός έκτακτης ανάγκης.....	28
• Αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης .....	29
3.4. Περιπτώσεις κινδύνων που θα αναλυθούν.....	29
4. Υπόγεια εξόρυξη άνθρακα (case study 1) .....	31
4.1. Γενικά - Εξόρυξη Άνθρακα.....	31
4.2. Εύφλεκτη ατμόσφαιρα.....	35
4.2.1. Ελλιπής πρακτική εξαερισμού .....	36
4.2.2. Ανάλυση Δέντρου Αστοχιών .....	41
4.3. Πηγες Ανάφλεξης .....	43
4.3.1. Ανάλυση Δέντρου Αστοχιών.....	45
5. Κατακρήμνιση Βραχομάζας (case study 2).....	47
5.1. Αξιολόγηση κινδύνου.....	47
5.2. Ανάλυση Δέντρου Αστοχιών .....	52
5.3. Προβλήματα από κατακρημνίσεις σε υπόγεια ορυχεία.....	58
6. Εγκλωβισμός μπουλντόζας σε υπόγεια κενά σε λιγνιτωρυχεία (case study 3) .....	60
6.1. Πτώση μπουλντόζας στο κενό λιγνιτωρυχείου.....	63
6.2. Ανάλυση Δέντρου Αστοχιών .....	66
7. Ανατροπή εκσκαφέα (case study 4) .....	71
7.1. Γενικά.....	71
7.1.1. Λειτουργία και ασφάλεια αυτόνομου εκσκαφέα.....	72
7.2. Αξιολόγηση Συνθηκών Ανατροπής.....	74

---

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΩΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΓΙΑ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟΥΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥΣ ΣΕ  
ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΡΓΑ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΟΡΥΧΕΙΑ**

---

7.2.1.	Εκσκαφείς και οι σχετικοί κίνδυνοι.....	75
7.2.2.	Περιστατικά ανατροπής.....	76
7.3.	Ασφαλής Λειτουργία Εκσκαφέα.....	76
7.3.1.	Λειτουργία σε Πλαγιά.....	78
7.3.2.	Διάφορες προφυλάξεις ασφαλείας.....	79
7.4.	Ανάλυση Δέντρου Αστοχιών .....	82
8.	Συμπεράσματα.....	85
	Βιβλιογραφία .....	89

---

## Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 1. Δενδροειδής ανάλυση αστοχιών (Πηγή: Stamatelos, 2002).....	12
Σχήμα 2. Σύμβολα περιγραφής γεγονότων στο δέντρο αστοχιών (Κοντογιάννης , 2017)....	14
Σχήμα 3. Διαφορετικά Είδη Πυλών ανάμεσα στα γεγονότα (Κοντογιάννης , 2017).....	16
Σχήμα 4. Γεώτρηση για αποστράγγιση Αερίου από άνθρακα (United Nations, 2010).....	33
Σχήμα 5. Έκρηξη κάρβουνο σε ορυχείο (QUORA, 2020).....	34
Σχήμα 6. Έκρηξη Μεθανίου σε ορυχείο στην περιοχή Luhansk (nrcu.gov.ua, 2011). ....	34
Σχήμα 7. Σύγχρονο σύστημα πρωτογενή εξαερισμού (TUR CERT, 2020).....	36
Σχήμα 8. Πρακτική Αερισμού Οροφής (Mining Monthly, 2020).....	37
Σχήμα 9. Πρακτική Αερισμού Οροφής Ορυχείου (Minetek, 2020). ....	37
Σχήμα 10. Δέντρο αστοχιών (εύφλεκτη – καυτή ατμόσφαιρα) .....	42
Σχήμα 11. Δέντρο αστοχιών (πηγές ανάφλεξης) .....	46
Σχήμα 12. Εξόρυξη (IMINCO, 2020).....	52
Σχήμα 13. Bolting (Consolidation Coal Company. Bishop Mine, 2020).....	53
Σχήμα 14. Mucking (Tony Stones, 2020).....	53
Σχήμα 15. Ξεσκάρωμα (Arthur Lakes Librar, 2020).....	54
Σχήμα 16. Πλάτος στέγης σε ένα ορυχείο (Esterhuizen, 2011) .....	55
Σχήμα 17. Επισκευή μιας μεγάλης πτώσης στέγης στην οποία θεωρείται ότι η οριζόντια καταπόνηση έχει συμβάλει στην αποτυχία (Estenhuizen, Dolinar, Ellenberger, Prosser, & Iannacchione, 2011).....	56
Σχήμα 18. Δέντρο αστοχιών (κατακρήμνιση) (Estenhuizen, Dolinar, Ellenberger, Prosser, & Iannacchione, 2011).....	57
Σχήμα 19. Εργοστάσιο ΔΕΗ (ΔΕΗ, 2020). ....	61



Σχήμα 20. Εγκαταστάσεις αποθήκευσης λιγνίτη (ΔΕΗ, 2020). .....	62
Σχήμα 21. Τεχνητές Καταβόθρες (Χωροπανίτης, 2006). .....	64
Σχήμα 22. Πτώση μπουλντόζας στο διάκενο (Χωροπανίτης, 2006). .....	65
Σχήμα 23. Δέντρο Αστοχιών τραυματισμός / θάνατος από εγκλωβισμό σε υπόγειο διάκενο .....	68
Σχήμα 24. Σωστή θέση σηματοδοτών (Χωροπανίτης, 2006). .....	69
Σχήμα 25. Ο αυτοματοποιημένος εκσκαφέας Lucie .....	73
Σχήμα 26. Δέντρο αστοχιών (Sewardu , Paceu, Morreyb, & Sommervilleb, 2000). .....	74
Σχήμα 27. Λειτουργία Εκσκαφέα σε πλαγιά (Depositphotos, 2020). .....	79
Σχήμα 28. Λειτουργία Εκσκαφέα (Depositphotos, 2020). .....	80
Σχήμα 29. Ανατροπή Εκσκαφέα (E- Ptolemeos, 2020). .....	81
Σχήμα 30. Δέντρο αστοχιών για την ανατροπή εκσκαφέα.....	83

## 1. Υπόγεια έργα

### 1.1. Η σημασία των υπογείων έργων

Μία από τις σημαντικότερες κατηγορίες έργων του Μηχανικού είναι τα υπόγεια έργα. Η μεταλλευτική επιστήμη αποτελείται από την εξόρυξη και λειτουργία μεταλλείων, ορυχείων και λατομείων και το κλείσιμο των μεταλλευτικών / λατομικών χώρων μετά την εξάντληση των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων. Η μεταλλευτική αποκαλείται και μεταλλειολογία και οι μηχανικοί μεταλλείων αποκαλούνται «μεταλλειολόγοι μηχανικοί» ή «μηχανικοί ορυκτών πόρων» (ΦΕΚ 1227/β/14-6-2011, 2011).

Από τα αρχαία χρόνια η μεταλλευτική και λατομική δραστηριότητα στα μεταλλεία (ορυχεία) και τα λατομεία είχαν την πρωταρχική θέση στην οικονομική ζωή της χώρας μας. Έχει παίξει πρωτεύοντα ρόλο στην μετάβαση του ανθρώπου από την πρωτόγονη κατάσταση στον σύγχρονο πολιτισμό. Σήμερα οι πάσης φύσεως δραστηριότητες, είτε επιφανειακές (λατομεία), είτε υπόγειες (ορυχεία) διέπονται από τον Μεταλλευτικό Κώδικα και το Μεταλλευτικό Δίκαιο.

Στην αρχαία Αθήνα χρησιμοποίησαν τον άργυρο από τα μεταλλεία του Λαυρίου καθώς και τα μάρμαρα της Πεντέλης για να χτίσουν τον Παρθενώνα. Στα νεότερα χρόνια, τα μεταλλεία του Λαυρίου αποτέλεσαν τον πρώτο βιομηχανικό χώρα μας. Ακολούθησαν και άλλα όπως η «Σμυρίδα» της Νάξου, τα σιδηρομεταλλεύματα της Σερίφου και της Θάσου, τα αργυρομεταλλεύματα στη Μύκονο, ο αμίαντος στη Κοζάνη αποτέλεσαν πολύ σημαντικές πηγές εισοδημάτων για τη χώρα για πάρα πολλά χρόνια (Σύνδεσμος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων, 2020).

Η Ελλάδα κατατάσσεται στους σημαντικότερους παραγωγούς βωξίτη, σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων, μικτών θειούχων μεταλλευμάτων, λευκόλιθου, μπεντονίτη, ελαφρόπετρας (θηραϊκή γη), μαρμάρων και άλλων μεταλλικών και μη μεταλλικών ορυκτών. Το 56% της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στη χώρα μας προέρχεται από την καύση λιγνίτη, ο οποίος εξορύσσεται στα λιγνιτωρυχεία της Βόρειας Ελλάδος και της Πελοποννήσου (Τουμπέλης, 2010).

## **1.2. Ο ρόλος της επιστήμης στο σχεδιασμό των υπόγειων έργων**

Ο άρτιος και ολοκληρωμένος σχεδιασμός των υπογείων έργων προϋποθέτει τη σύνταξη γεωλογικής μελέτης για να μην επηρεάζεται η ασφάλεια του έργου, τόσο κατά τη διάρκεια κατασκευής όσο και κατά τη διάρκεια λειτουργίας του.

Οι απρόβλεπτες γεωλογικές συνθήκες προκαλούν προβλήματα και καθυστερήσεις στην πρόοδο του έργου, αστοχίες, αύξηση του κόστους κατασκευής, τροποποίηση μελετών και απόκλιση του εκτιμώμενου χρόνου υλοποίησης.

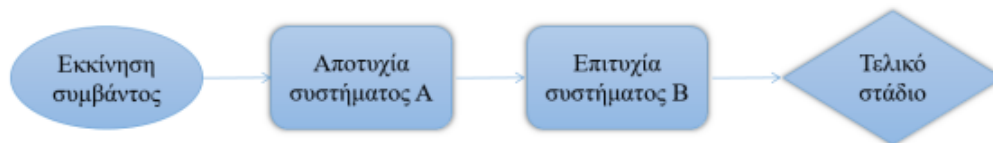
Ιδιαίτερα στην Ελλάδα, η οποία διαθέτει δύσκολο και έντονα ορεινό ανάγλυφο, ο μηχανικός επιβάλλεται στη σωστή πρόβλεψη της γεωλογίας της περιοχής λόγω της σύνθετης γεωτεκτονικής μορφολογίας και τεκτονικής δραστηριότητας της χώρας μας για την αποφυγή προβλημάτων και αστοχιών – αβεβαιοτήτων ως προς τις συνθήκες που θα συναντήσει (Ρουχωτάς, 2012).

## 2. Δέντρα Αστοχιών

### 2.1. Εισαγωγή – Γενικά Στοιχεία

Η δενδροειδής ανάλυση αστοχιών (Fault trees ή FT) είναι μια τεχνική ανάλυση ανεπιθύμητων συμβάντων τα οποία χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη επικίνδυνων γεγονότων. Τα δέντρα αστοχιών αναλύουν τις σχέσεις μεταξύ διάφορων γεγονότων και μια λογική αλληλουχία βασικών γεγονότων τα οποία είναι αναγκαία για να προκαλέσουν ένα επικίνδυνο γεγονός (κορυφαίο – βασικό γεγονός).

Η δενδροειδής ανάλυση αστοχιών (Fault Tree Analysis FTA) έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές μελέτες επικινδυνότητας στην πυρηνική βιομηχανία (Vesely, 1981), στη χημική βιομηχανία (CCPS, 2000) και στην αεροδιαστημική (Stamatelatos, et al., 2002).




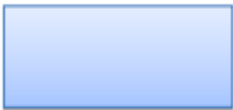






Σχήμα 1. Δενδροειδής ανάλυση αστοχιών (Πηγή: Stamatelatos, 2002)

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τη διαχείριση της ασφάλειας σε επιχειρήσεις, με σκοπό να ποσοτικοποιήσει τις πιθανότητες εμφάνισης μιας αστοχίας. Αποτελεί σημαντικό σχεδιαστικό εργαλείο γιατί έχει τη δυνατότητα να προβλέψει γρήγορα πιθανά ατυχήματα και να μειώσει την ανάγκη δαπανηρών αλλαγών στο τελικό σύστημα. Έχει επιπλέον τη δυνατότητα να προβλέψει τις πιθανότερες αιτίες σε μια ενδεχόμενη κατάρρευση του συστήματος. Για τους παραπάνω λόγους χρησιμοποιείται ευρέως στον τομέα Ελέγχου Επικινδυνότητας (Risk Assessment) σε πολλές επιχειρήσεις (Κουφιδάκης, 2009).

## 2.2. Δέντρα Αστοχιών

Τα δέντρα αστοχιών αποτελούνται από τα εξής:

- **Βασικό γεγονός (basic event)**: βρίσκονται στη κατώτερη βαθμίδα του δέντρου αστοχιών και για αυτό τοποθετείται στη βάση αυτού και δεν απαιτείται περαιτέρω ανάλυση.
- **Πρωτογενές γεγονός (primary event)**: είναι το γεγονός στο οποίο οφείλεται η δυσλειτουργία του συστήματος και προέρχεται από κάποιο χαρακτηριστικό του ίδιου στοιχείου του συστήματος (ενδογενές).
- **Δευτερογενές γεγονός (secondary event)**: τα γεγονότα που προκαλούνται από εξωτερικούς παράγοντες.
- **Κορυφαίο γεγονός (top event)**: βρίσκονται στην κορυφή του δέντρου, η ανάλυση του οποίου μας οδηγεί στη επίλυση του και στη διερεύνηση των αρχικών αιτίων και των γεγονότων που οδηγούν σ' αυτό το ανεπιθύμητο γεγονός (Κοντογιάννης, 2017).

	<i>Βασικό γεγονός: ένα σφάλμα ή μια αποτυχία του εξοπλισμού που δεν απαιτεί επιπλέον περιγραφή.</i>
	<i>Ενδιάμεσο γεγονός: αναπαριστά ένα λανθασμένο γεγονός που προκύπτει από τις αλληλεπιδράσεις άλλων γεγονότων.</i>
	<i>Μη ανεπτυγμένο γεγονός: δεν εξετάζεται περαιτέρω επειδή δεν υπάρχει διαθέσιμη πληροφορία.</i>
	<i>Εξωτερικό γεγονός: αναπαριστά μια συνθήκη ή ένα γεγονός που υποτίθεται ότι υπάρχει ως μια οριακή συνθήκη για το δέντρο αστοχιών.</i>
<div>OUT</div>   <div>IN</div>  	<i>Σύμβολα μεταφοράς που υποδηλώνουν ότι το δέντρο αστοχιών αναπτύσσεται περαιτέρω σε άλλη σελίδα.</i>

Σχήμα 2. Σύμβολα περιγραφής γεγονότων στο δέντρο αστοχιών (Κοντογιάννης, 2017)

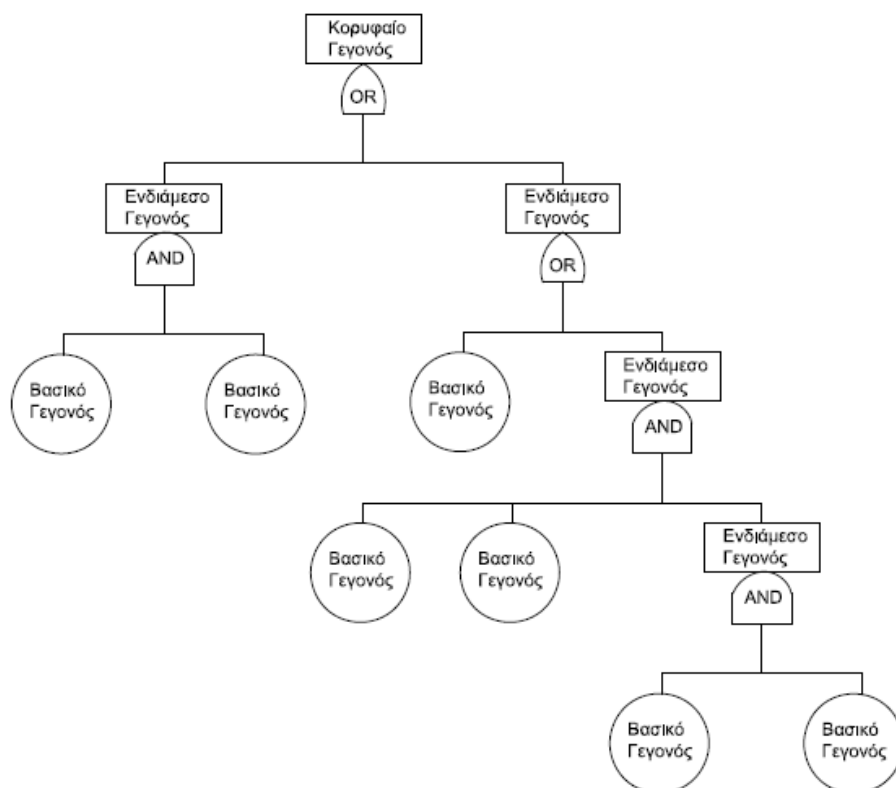
### 2.3. Ανάλυση Διαγράμματος Δέντρου Αστοχιών

Υπάρχουν δύο τρόποι συνδέσεις των γεγονότων μεταξύ τους. Αρχικά γίνεται ο ορισμός του προβλήματος που αποτελείται από τον καθορισμό του κορυφαίου γεγονότος και τις οριακές συνθήκες ανάλυσης, οι οποίες είναι απαραίτητες για τη σύνδεση του δέντρου αστοχιών. Στη συνέχεια γίνεται η επίλυση των διαφόρων αστοχιών και η ανάλυση τους σε κατώτερα επίπεδα με σκοπό να γίνουν βασικό γεγονός, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα. Τα τρία στοιχεία για την περιγραφή του κορυφαίου γεγονότος είναι:

- Ο Τύπος ατυχήματος
- Η Τοποθεσία εγκατάστασης
- Η Συνθήκη εργασίας

Υπάρχουν δύο διαφορετικά είδη Πυλών ανάμεσα στα γεγονότα (Κοντογιάννης , 2017):

1. **Πύλη ΚΑΙ (AND Gate):** η πύλη αυτή χρησιμοποιείται για να ενώσει το κορυφαίο γεγονός στο Δέντρο Αστοχιών με όλες τις απαραίτητες αιτίες.
2. **Πύλη Ή (OR Gate):** η πύλη αυτή χρησιμοποιείται για να ενώσει οποιαδήποτε από τις άμεσες αιτίες οδηγούν στο κορυφαίο γεγονός.



Σχήμα 3. Διαφορετικά Είδη Πυλών ανάμεσα στα γεγονότα (Κοντογιάννης , 2017).

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζεται το δέντρο αστοχιών το οποίο αποτελείται από ένα κορυφαίο γεγονός, τέσσερα ενδιάμεσα γεγονότα και επτά βασικά γεγονότα. Παρατηρούμε ότι γίνεται αναπαράσταση του κορυφαίου γεγονότος στα ενδιάμεσα γεγονότα. Έπειτα το ένα ενδιάμεσο γεγονός αντικαθίσταται με τα βασικά γεγονότα με μια «πύλη and» ενώ το άλλο ενδιάμεσο γεγονός αντικαθίσταται με ένα βασικό γεγονός και ένα ενδιάμεσο γεγονός με την «πύλη or» η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου αντικατασταθούν όλα τα ενδιάμεσα γεγονότα με βασικά.



### 3. Μέτρα Ασφαλείας Επαγγελματικού Κινδύνου

#### 3.1. Νομοθετικό πλαίσιο

Βασικό νομοθέτημα που αφορά την ασφάλεια των εργαζομένων είναι το Π.Δ. 17/96 (ΦΕΚ 11/18-01-1996) με τίτλο «Μέτρα για τη βελτίωση της ασφάλειας και της υγείας των εργαζομένων κατά την εργασία», το οποίο καθιστά υποχρέωση των εργοδοτών τη σύνταξη γραπτής μελέτης εκτίμησης επαγγελματικού κινδύνου. Σκοπός του προεδρικού διατάγματος αυτού είναι η προσαρμογή της ελληνικής νομοθεσίας περί της ασφάλειας και υγιεινής των εργαζομένων σε συμμόρφωση με τις 89/391/ΕΟΚ της 12ης Ιουνίου 1991 «Σχετικά με την εφαρμογή μέτρων για την προώθηση της βελτίωσης της ασφάλειας και της υγείας των εργαζομένων κατά την εργασία» και 91/383/ΕΟΚ της 25ης Ιουνίου 1991 «Για τη συμπλήρωση των μέτρων που αποσκοπούν στο να προαγάγουν τη βελτίωση της ασφάλειας και της υγείας κατά την εργασία των εργαζομένων με σχέση εργασίας ορισμένου χρόνου ή με σχέση πρόσκαιρης εργασίας» (ΦΕΚ 11/Α/18-1-1996, 1996).

Το προεδρικό διάταγμα περιέχει γενικές αρχές σχετικά με την πρόληψη των επαγγελματικών κινδύνων και την προστασία της ασφάλειας και της υγείας, την εξάλειψη των συντελεστών κινδύνου των εργατικών ατυχημάτων και των επαγγελματικών ασθενειών, την ενημέρωση, τη διαβούλευση, την ισόρροπη συμμετοχή, την κατάρτιση των εργαζομένων και των εκπροσώπων τους, καθώς και τους κανόνες για την εφαρμογή των γενικών αυτών αρχών.

Οι διατάξεις του παρόντος διατάγματος εφαρμόζονται σε όλες τις επιχειρήσεις, εγκαταστάσεις, εκμεταλλεύσεις και εργασίες του ιδιωτικού και του δημόσιου τομέα (βιομηχανικές, γεωργικές, εμπορικές, διοικητικές, εκπαιδευτικές, πολιτιστικές δραστηριότητες, δραστηριότητες παροχής υπηρεσιών, αναψυχής, κλπ). Με το νομοθέτημα αυτό καθώς και άλλων που κατά καιρούς θεσπίστηκαν (π.χ. Π.Δ.16/96, Ν.1568/85, Π.Δ. 294/1988, Ν. 3850/2010) εκφράζεται η επιθυμία της κοινωνίας για την πρόληψη κινδύνων και ασθενειών που σχετίζονται με την επαγγελματική απασχόληση του εργατικού δυναμικού.

### 3.1.1. Γενικές αρχές πρόληψης σύμφωνα με το Π.Δ. 17/96

Οι προτάσεις για την λήψη μέτρων πρόληψης και προστασίας και η αποτελεσματική τους εφαρμογή αποτελούν τον τελικό σκοπό της καταγραφής και εκτίμησης του επαγγελματικού κινδύνου. Για αυτό κρίνεται απαραίτητη η καταγραφή προηγουμένως των πηγών κινδύνου ώστε να διαπιστωθούν κατά πόσο και με τι μέτρα μπορούν αυτές οι πηγές κινδύνων να εξαλειφθούν ή οι κίνδυνοι αυτοί να αποφευχθούν. Έπειτα θα πρέπει να καταγραφούν τα μέτρα πρόληψης που ήδη εφαρμόζονται και να προταθούν συμπληρωματικά μέτρα για τον έλεγχο των κινδύνων και την προστασία των εργαζομένων. Οι γενικές αρχές πρόληψης, όπως αναφέρονται στο Π.Δ. 17/96 είναι οι εξής:

- Αποφυγή των κινδύνων.
- Εκτίμηση των κινδύνων που δεν μπορούν να αποφευχθούν.
- Προσαρμογή της εργασίας στον άνθρωπο.
- Αντικατάσταση του επικίνδυνου από μη επικίνδυνο ή λιγότερο επικίνδυνο.
- Προγραμματισμός της πρόληψης με ενσωμάτωση της τεχνικής, της οργάνωσης εργασίας, των συνθηκών και περιβάλλοντος εργασίας και των σχέσεων εργοδότη-εργαζομένων.
- Καταπολέμηση των κινδύνων στην πηγή τους.
- Προτεραιότητα στη λήψη μέτρων ομαδικής προστασίας σε σχέση με τα μέτρα ατομικής προστασίας.
- Προσαρμογή στις τεχνικές εξελίξεις.
- Παροχή των κατάλληλων οδηγιών στους εργαζόμενους.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, τα μέτρα που προτείνονται κάθε φορά πρέπει να ακολουθούν την εξής ιεράρχηση:

- Εξάλειψη του κινδύνου.
- Απομόνωση του κινδύνου.
- Απομάκρυνση του εργαζομένου από τον κίνδυνο.
- Μείωση του κινδύνου με χρήση μέσων ομαδικής προστασίας.

- Μέσα Ατομικής Προστασίας, Σήμανση Ασφαλείας, Εκπαίδευση και Ενημέρωση των Εργαζομένων.

Είναι πάντα αναγκαίο να ιεραρχούνται οι ενέργειες που πρέπει να γίνουν για την εξάλειψη ή την πρόληψη των κινδύνων. Η ιεράρχηση αυτή πρέπει να λαμβάνει υπ' όψη την σοβαρότητα του κινδύνου, την πιθανότητα να πραγματωθεί, τις συνέπειες, τον αριθμό των ατόμων που ενδέχεται να πληγούν και τον αναγκαίο χρόνο για την λήψη μέτρων πρόληψης (ΦΕΚ 11/Α/18-1-1996, 1996).

### **3.1.2. Επανεξέταση και αναθεώρηση**

Η εκτίμηση κινδύνου είναι στην ουσία μία αέναη δραστηριότητα και συνεχώς πρέπει να επανεξετάζεται και αναθεωρείται, ακολουθώντας τις μεταβολές στον εργασιακό χώρο και τις εξελίξεις για τους ακόλουθους λόγους:

- Τα μέτρα προφύλαξης που εισάγονται για την μείωση των κινδύνων μπορεί να επηρεάζουν την διαδικασία εργασίας.
- Η εκτίμηση με την πάροδο του χρόνου μπορεί να μην ισχύει επειδή τα στοιχεία ή οι πληροφορίες στις οποίες στηρίχθηκε δεν είναι πλέον έγκυρες.
- Με την πάροδο του χρόνου μπορεί τα μέτρα πρόληψης και προστασίας που είναι σε ισχύ να κρίνονται πλέον ακατάλληλα και ανεπαρκή.

Η διερεύνηση ατυχημάτων και παρ' ολίγον ατυχημάτων μπορεί να αποκαλύψει την ανάγκη αλλαγών έτσι ώστε να προληφθούν παρόμοια ατυχήματα (ΦΕΚ 11/Α/18-1-1996, 1996).

### 3.2. Γενικά για τη Μελέτη Εκτίμησης Επαγγελματικού Κινδύνου (Μ.Ε.ΕΚ.)

Η Μελέτη Εκτίμησης Επαγγελματικού Κινδύνου δεν θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ως ένα στατικό όργανο ενημέρωσης και περιοδικής πληροφόρησης, αλλά ως ένα δυναμικό, εξελισσόμενο εργαλείο που απαιτεί συχνές επεμβάσεις και ανανεώσεις. Δεν πρέπει να λειτουργεί σαν μέσο αποθήκευσης τεχνικών πληροφοριών που χρησιμεύουν αποκλειστικά για ποσοτικές μεθόδους εκτίμησης, με τη χρήση δεικτών επικινδυνότητας. Τα πληροφοριακά στοιχεία που προέρχονται από την ανάλυση του εργασιακού περιβάλλοντος και των επιπτώσεών του στην υγεία και ασφάλεια, κατάλληλα επεξεργασμένα, συντελούν στη συγκρότηση των παρεμβάσεων πρόληψης που οδηγούν στην προσαρμογή του εργασιακού περιβάλλοντος στις διαστάσεις του εργαζόμενου ανθρώπου (Δρίβας, Ζορμπάς, & Κουκουλάκη, 1997).

Η αναφορά στον «επαγγελματικό κίνδυνο», σημαίνει τον κίνδυνο για την υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων ο οποίος προέρχεται από την επαγγελματική έκθεση στους βλαπτικούς παράγοντες του εργασιακού περιβάλλοντος.

Μπορεί να ειπωθεί ότι ο «επαγγελματικός κίνδυνος» σχετίζεται με την πιθανότητα ή συχνότητα έκθεσης των εργαζομένων σε κάποια πηγή κινδύνου που βρίσκεται στον εργασιακό χώρο (π.χ. θόρυβος, χημικές ουσίες, χειρωνακτική διακίνηση φορτίων, μονότονη ή επαναληπτική εργασία, απροστάτευτα κινούμενα μέρη μηχανών κ.λπ.), καθώς επίσης και με τη σοβαρότητα των συνεπειών, δηλαδή τη βιολογική βλάβη που προκλήθηκε από την έκθεση αυτή. Η συνθετική προσέγγιση της πιθανότητας έκθεσης και της σοβαρότητας των συνεπειών, εκφράζεται από την έννοια της επικινδυνότητας που προσδιορίζει το βαθμό του επαγγελματικού κινδύνου.

Αυτές οι διαφορετικές ερμηνείες της έννοιας του επαγγελματικού κινδύνου σηματοδοτούν όμως και την κυρίαρχη κατεύθυνση της συνισταμένης στην οποία συγκλίνουν. Η προστασία της υγείας και ασφάλειας καθώς επίσης και η πρόληψη των συνεπειών των βλαπτικών παραγόντων του εργασιακού χώρου, αποτελούν τον τελικό στόχο των διαδικασιών εκτίμησης του επαγγελματικού κινδύνου.

Η εκτίμηση του επαγγελματικού κινδύνου του εργασιακού περιβάλλοντος αποτελεί μια σύνθετη, διαχρονική και δυναμική διαδικασία που μέσω της διαρκούς ανάλυσης συντελεί στη συγκρότηση ενός υγιούς και ασφαλούς εργασιακού περιβάλλοντος προσαρμοσμένου στις ανθρώπινες ικανότητες και δυνατότητες.

Αυτές οι παρεμβάσεις πρέπει να είναι ικανές να ανατρέψουν την υπάρχουσα κατάσταση, στοχεύοντας στην απομάκρυνση των ενδογενών κινδύνων κάθε παραγωγικής δραστηριότητας (στόχος εγγενούς ασφάλειας), δηλαδή να μην περιορίζονται μόνο στη διαχείριση του κινδύνου με την τιθάσευσή του (Διαμαντοπούλου, 2006).

Τα οφέλη που προκύπτουν από την εφαρμογή ενός μεθοδικού και συντονισμένου συστήματος διαχείρισης ασφάλειας είναι:

1. ηθική ικανοποίηση από την ελαχιστοποίηση εργατικών ατυχημάτων και επαγγελματικών ασθενειών
2. αύξηση παραγωγικότητας
3. βελτίωση της ποιότητας
4. βελτίωση του ηθικού των εργαζομένων
5. ενίσχυση του αισθήματος της ομαδικής εργασίας
6. βελτίωση της ανταγωνιστικότητας της επιχείρησης

Οι βασικές ενέργειες που πρέπει να ακολουθείτε στη Μελέτη Εκτίμησης Επαγγελματικού Κινδύνου είναι:

1. Εντοπισμό των πηγών κινδύνου
2. Εξακρίβωση των δυνητικών κινδύνων για την υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων, προερχομένων από τις παραγωγικές διαδικασίες
3. Εκτίμηση του μεγέθους του κινδύνου και των επιπτώσεών του στην υγεία και ασφάλεια
4. Προγραμματισμό και διαχείριση των διαδικασιών πρόληψης (Διαμαντοπούλου, 2006).

### 3.2.1. Ταξινόμηση και ορισμός των επαγγελματικών κινδύνων

Οι κίνδυνοι που πηγάζουν από κάθε επαγγελματική δραστηριότητα (π.χ. η έκθεση σε υψηλά επίπεδα θορύβου δημιουργεί τις προϋποθέσεις ώστε να εκδηλωθεί τόσο μια επαγγελματική ασθένεια όσο και να εργατικό ατύχημα) ταξινομούνται σε τρεις ομάδες (Κωστίδου, 2006):

1<sup>η</sup> ομάδα: Κίνδυνοι για την ασφάλεια ή κίνδυνοι εργατικού ατυχήματος που περιλαμβάνουν την πιθανότητα να προκληθεί τραυματισμός ή βιολογική βλάβη στους εργαζόμενους, ως συνέπεια της έκθεσης στην πηγή κινδύνου. Η φύση της πηγής κινδύνου καθορίζει την αιτία και το είδος του τραυματισμού ή της βιολογικής βλάβης, που μπορεί να είναι μηχανική, ηλεκτρική, χημική, θερμική κλπ. Ενδεικτικοί κίνδυνοι μπορεί να οφείλονται:

- στις κτιριακές δομές (π.χ. μη τήρηση των πολεοδομικών και υγειονομικών κανονισμών, ανεπάρκεια εξόδων κινδύνου, ολισθηρά δάπεδα, ελλιπής συντήρηση κατασκευών, απουσία προστατευτικών έναντι πτώσης κ.α.).
- στον εξοπλισμό εργασίας (π.χ. απουσία προστατευτικών διατάξεων επικίνδυνων ζωνών, ελλιπής συντήρηση, χρήση από μη εκπαιδευμένο προσωπικό κ.λπ.).
- στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις (π.χ. μη τήρηση κανονισμού ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, ελλιπής συντήρηση κ.λπ.).
- σε χρήση εύφλεκτων ή/και εκρηκτικών ουσιών (π.χ. μη τήρηση προδιαγραφών ασφαλούς χρήσης και αποθήκευσης των ουσιών, ελλιπής εξαερισμός, ανεπαρκής εξοπλισμός πυρανίχνευσης – συναγερμού – κατάσβεσης κ.λπ.).
- σε χρήση άλλων επικίνδυνων ουσιών όπως τοξικές, διαβρωτικές κ.λπ.
- σε φυσικούς παράγοντες.

2<sup>η</sup> ομάδα: Κίνδυνοι για την υγεία, που περιλαμβάνουν την πιθανότητα να προκληθεί ασθένεια των εργαζομένων. Οι κίνδυνοι αυτοί μπορεί να οφείλονται σε:

- χημικούς παράγοντες (π.χ. υπέρβαση Οριακών Τιμών Έκθεσης).

- φυσικούς παράγοντες (π.χ. υπέρβαση Οριακών Τιμών Έκθεσης).
- βιολογικούς παράγοντες (π.χ. παρουσία βιολογικών ρύπων).

3<sup>η</sup> ομάδα: Κίνδυνοι εργονομικοί ή εγκάρσιοι (για την υγεία και την ασφάλεια), οι οποίοι χαρακτηρίζονται από την αλληλεπίδραση της σχέσης, εργαζόμενου και οργάνωσης εργασίας στην οποία είναι ενταγμένος. Οι κίνδυνοι αυτοί μπορεί να που οφείλονται:

- στην οργάνωση εργασίας (π.χ. εντατικοποίηση, μονοτονία, βάρδιες κλπ.).
- σε ψυχολογικούς παράγοντες (π.χ. άτυπες μορφές εργασίας, ηθική παρενόχληση κλπ.).
- σε εργονομικούς παράγοντες (π.χ. μη εργονομικός σχεδιασμός της θέσης εργασίας κλπ.).
- σε αντίξοες συνθήκες εργασίας (π.χ. εργασίες με ακατάλληλο εξοπλισμό, εργασίες σε αντίξοες κλιματολογικές συνθήκες κλπ.) (Κωστίδου, 2006).

### **3.2.3. Διαδικαστικές φάσεις εκτίμησης του επαγγελματικού κινδύνου**

Η διαδικασία εκτίμησης του επαγγελματικού κινδύνου ακολούθησε βασικές ενέργειες που οδηγούν στον εντοπισμό των πηγών κινδύνου, την εξακρίβωση, καθώς και τον ποσοτικό και ποιοτικό προσδιορισμό των βλαπτικών παραγόντων του εργασιακού περιβάλλοντος (Δρίβας & Παπαδόπουλος, 2020).

#### **1<sup>η</sup> Φάση: Εντοπισμός των πηγών κινδύνου**

Αυτή η φάση περιλαμβάνει μια πλήρη καταγραφή της παραγωγικής διαδικασίας των υπό εξέταση χώρων ή θέσεων εργασίας. Η καταγραφή αφορά:

- Την καταγραφή της παραγωγικής διαδικασίας και ροής, την περιγραφή των μηχανών και των εγκαταστάσεων, των χρησιμοποιούμενων υλών και ουσιών, των διαδικασιών συντήρησης των μηχανών και των εγκαταστάσεων, την επεξεργασία και διάθεση των αποβλήτων καθώς και την εσωτερική και εξωτερική διακίνηση των φορτίων και των προϊόντων.
- Τον προσδιορισμό χρήσης των χώρων εργασίας (π.χ. ορυχεία, εργαστήρια, γραφεία, αποθήκες κ.λπ.).

- Τα κτιριακά χαρακτηριστικά του εργασιακού χώρου (αντισεισμική προστασία, επιφάνεια, χωρητικότητα, ανοίγματα κ.λπ.).
- Τα χαρακτηριστικά των εργαζομένων στα υπό εξέταση τμήματα της παραγωγικής διαδικασίας (αριθμός εργαζομένων, φύλο, βάρδιες εργασίας, εργασιακή ηλικία κ.λπ.).
- Τις πληροφορίες που προέρχονται από την ιατρική παρακολούθηση, αν και εφόσον παρέχεται, καθώς και αυτές που σχετίζονται με τα εργατικά ατυχήματα και τις επαγγελματικές ασθένειες (Δασκαλόγλου, 2013).

### **2η Φάση: Εξακρίβωση των κινδύνων έκθεσης**

Η εξακρίβωση των κινδύνων έκθεσης αποτελεί εκείνη τη διαδικασία η οποία επιτρέπει να προσδιοριστούν ποιοτικά οι βλαπτικοί παράγοντες στους οποίους εκτίθενται οι εργαζόμενοι. Ως εκ τούτου εξετάζονται και καταγράφονται:

- Ο τρόπος λειτουργίας (π.χ. χειροκίνητη, αυτοματοποιημένη, μηχανική, μκτική κ.λπ.).
- Η οργάνωση της παραγωγικής δραστηριότητας στο υπό εξέταση εργασιακό περιβάλλον (π.χ. χρόνος παραμονής στον εργασιακό χώρο).
- Η λήψη ή μη μέτρων προστασίας και πρόληψης για την υγεία και ασφάλεια των εργαζομένων.
- Η άποψη των εργαζομένων για τις συνθήκες που επικρατούν στον εργασιακό χώρο στον οποίο εργάζονται καθώς και οι αναφορές τους για τις επιπτώσεις των βλαπτικών παραγόντων στην κατάσταση της υγείας τους (Κουρπά, 2015).

### **3η Φάση: Εκτίμηση των κινδύνων έκθεσης.**

Η εκτίμηση των κινδύνων έκθεσης που καταγράφηκαν και εξακριβώθηκαν στις δύο προηγούμενες φάσεις ανάλυσης του εργασιακού περιβάλλοντος (1<sup>η</sup> φάση και 2<sup>η</sup> φάση), υλοποιείται δια μέσου:

- Του ελέγχου της εφαρμογής των κανόνων ασφάλειας (π.χ. των μηχανών).



- Του ελέγχου των «αποδεκτών» για την υγεία και ασφάλεια συνθηκών εργασίας (σχετικά με τη φύση των κινδύνων, τη χρονική διάρκεια, τον τρόπο υλοποίησης και τη μορφή των παραγωγικών δραστηριοτήτων).
- Του ποσοτικού προσδιορισμού των βλαπτικών παραγόντων του εργασιακού περιβάλλοντος και των επιπτώσεών του στην υγεία και ασφάλεια των εργαζομένων, με τη διεξαγωγή τόσο στοχευμένων μετρήσεων και ιατρικών εξετάσεων. Το παρόν στάδιο είναι ακόμη σε εξέλιξη (Κουρπά , 2015).

### **3.3. Μέτρα ασφαλείας σε ορυχεία σύμφωνα με τη ισχύουσα νομοθεσία**

Βασική προϋπόθεση για ένα ασφαλές και υγιές περιβάλλον εργασίας είναι η προστασία της ασφάλειας και της υγείας των εργαζομένων με ταυτόχρονη βελτίωση των συνθηκών αυτών. Η προσαρμογή και εφαρμογή της σύννομης και κατάλληλης νομοθεσίας, η υιοθέτηση ενός αποτελεσματικού συστήματος επιθεώρησης εργασίας και η πρόληψη των εργατικών ατυχημάτων και επαγγελματικών ασθενειών θα βοηθήσουν περισσότερο στη προώθηση ενός ασφαλούς περιβάλλον εργασίας. Όσον αφορά τα ορυχεία έχει αναπτυχθεί η παρακάτω νομοθεσία (Liu, Kong, Hao, Wei, & Liu, 2005).

#### **• Συστήματα τεχνικού αερισμού – Αεραγωγοί**

1. Επαρκής αερισμός στις θέσεις εργασίας (τουλάχιστον  $5,66\text{m}^3/\text{λεπτό}$  και εργαζόμενο με αύξηση  $2,0\text{m}^3/\text{λεπτό}$  και ίππο μηχανών εσωτερικής καύσης) και ελάχιστος αερισμός στο μέτωπο  $200\text{ lt/sec}$  και  $\text{m}^2$  της μεγαλύτερης διατομής, όταν γίνεται διάτρηση και χρήση εκρηκτικών. (Άρθρο 16 παρ. 5, 7 & 14 του Π.Δ. 225/89).
2. Μηχανική υποστήριξη με εφεδρική πηγή ηλεκτρισμού. (Άρθρο 17 παρ. 3 του Π.Δ. 225/89).
3. Για την αποφυγή ανακυκλοφορίας του αέρα στην είσοδο σε ενδεχόμενη μόλυνση από το εξερχόμενο ρεύμα με σκόνες και αέρια, εγκατάσταση της

είσοδου του αέρα στον ανεμιστήρα σε απόσταση από την είσοδο. (Άρθρο 16 παρ. 10 του Π.Δ. 225/89).

4. Διαγωνισμός του εισερχόμενου ρεύματος καθαρού αέρα από το εξερχόμενο ρεύμα στο κύκλωμα αερισμού. (Άρθρο 16 παρ. 13 του Π.Δ. 225/89).
5. Έλεγχος τουλάχιστον μία φορά το μήνα και παράλληλα συντήρηση των μονάδων αερισμού από αρμόδιο πρόσωπο. Καταγραφή στο βιβλίο συντήρησης και ελέγχων. (Άρθρο 18 παρ. 1 & 5 του Π.Δ. 225/89).
6. Επέκταση τμήματος αεραγωγού κοντά στο μέτωπο και σε τέτοια απόσταση, ώστε η μέση ταχύτητα του ρεύματος αέρα (V) σε κάθε θέση εργασίας να είναι:  $0,1 \text{ m/sec} \leq V \leq 6 \text{ m/sec}$ . (Άρθρο 16 παρ. 6 του Π.Δ. 225/89).
7. Αποφυγή ατελειών στον αεραγωγό και επισκευή αυτών άμεσα. Συντήρηση από αρμόδιο άτομο και καταγραφή στο αντίστοιχο βιβλίο συντήρησης. (Άρθρο 18 παρ. 5 & 6 του Π.Δ. 225/89).
8. Έλεγχος ποσότητας, ταχύτητας, περιεκτικότητας οξυγόνου (από 19,5% έως 23%) του εισερχόμενου ρεύματος αέρα, καθώς και των επιβλαβή αερίων ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  –  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ). Καταγραφή των ελέγχων στο ειδικό ημερολόγιο τουλάχιστον μία φορά το μήνα. (Άρθρο 18 παρ. 8 & 9 του Π.Δ. 225/89)<sup>1</sup> (Π.Δ. 225/89- Φ.Ε.Κ. 106Α/89, 1989).

#### • Φωτισμός

1. Ένταση φωτισμού σε όλα τα τμήματα του υπόγειου έργου μεγαλύτερη από 120 Lux. (Άρθρο 19 παρ. 2 του Π.Δ. 225/89).

---

<sup>1</sup> Εάν μετρηθεί μεθάνιο ή άλλο εύφλεκτο αέριο > 20% του κατώτερου εκρηκτικού ορίου (LEL) στο χώρο εργασίας ή στην επιστροφή του αέρα εξαερισμού, ο χώρος πρέπει να εκκενωθεί αμέσως και να διακοπεί η παροχή ηλεκτρικού (εκτός από τα μηχανήματα αερισμού) μέχρι το ποσοστό να γίνει < 10%. Αν τα επίπεδα του υδρόθειου ( $\text{H}_2\text{S}$ ) υπερβούν τα 5ppm, οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται 2 φορές σε κάθε βάρδια. Αν υπερβούν τα 10ppm πρέπει να ειδοποιηθούν όλοι οι εργαζόμενοι και οι μετρήσεις πρέπει να είναι συνεχείς. Σε περίπτωση που υπερβούν τα 20ppm πρέπει να υπάρχει ειδοποίηση με ηχητικό σήμα και παράλληλα πρέπει να ληφθούν όλα τα απαραίτητα μέτρα (χρήση αναπνευστικών συσκευών, εκκένωση χώρου κ.λπ.).

2. Τοποθέτηση φωτιστικών σωμάτων προειδοποίησης και ειδικού φωτισμού ενίσχυσης (προβολείς) σε θέσεις, όπου η συνήθης παραγωγική διαδικασία έχει διακοπεί (π.χ. βλάβη εξοπλισμού). (Άρθρο 19 παρ. 2 του Π.Δ. 225/89).
3. Εφεδρικός φωτισμός ασφαλείας με ιδιαίτερα κυκλώματα, αυτόνομη γεννήτρια ή άλλη πηγή ανεξάρτητη και άμεσης απόκρισης (1sec). (Άρθρο 19 παρ. 5 του Π.Δ. 225/89).
4. Ένταση φωτισμού ανάλογη της εργασίας και των μέσων (π.χ. ενίσχυση με προσθήκη προβολέων) σε ειδικές θέσεις εργασίας, εξόρυξης, διάτρησης, αφαίρεσης επικίνδυνων όγκων, υποστύλωσης, σκυροδέτησης. (Άρθρο 19 παρ. 2 του Π.Δ. 225/89).
5. Φωτιστικά σώματα στεγανού τύπου, με κατάλληλες διατάξεις προστασίας από εισροή νερού. (Άρθρο 21 του Π.Δ. 225/89).
6. Καθημερινός έλεγχος, συντήρηση και καθαρισμός των φωτιστικών σωμάτων. (Άρθρο 21 παρ. 5 του Π.Δ. 225/89).
7. Διευθέτηση φωτιστικών σωμάτων, ώστε να εξασφαλίζεται ομοιόμορφα κατανομημένος φωτισμός και να μην προκαλείται θάμβωση. (Άρθρο 19 παρ. 1 του Π.Δ. 225/89) (Π.Δ. 225/89- Φ.Ε.Κ. 106Α/89, 1989).

- **Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις**

1. Εγκατάσταση, λειτουργία, επισκευή ή τροποποίηση όλων των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων υπό τον έλεγχο διπλωματούχου ηλεκτρολόγου (ο οποίος πρέπει να είναι επιτόπου στο έργο και σε κάθε βάρδια). (Άρθρο 21 παρ. 11 του Π.Δ. 225/89). Επαρκής ενιαία γείωση και επιπλέον ηλεκτρονόμος (ρελέ ασφαλείας). (Άρθρο 21 παρ. 6 του Π.Δ. 225/89).
2. Τήρηση των διατάξεων περί «βρεγμένων χώρων» του «Κανονισμού Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων» και των σχετικών τροποποιήσεων της ΔΕΗ. (Άρθρο 21 παρ. 1 του Π.Δ. 225/89).
3. Κατάλληλη επισήμανση ηλεκτρικών γραμμών και γραμμών μεταφοράς αέρα, νερού ή λαδιού υπό πίεση και ανάρτηση σε άγκιστρα στα τοιχώματα της σήραγγας, ώστε να προστατεύονται από τυχαίες συγκρούσεις ή κάμψη ακόμα

και εφελκυσμό, αλλά και από την πιθανή επίδραση του νερού στα δάπεδα. Συνιστάται η τοποθέτηση ηλεκτρικών γραμμών στην αντίθετη πλευρά της σήραγγας από αυτές των άλλων δικτύων. (Άρθρο 21 παρ. 1 του Π.Δ. 225/89).

4. Χρήση κατάλληλων συνδέσμων για τυχόν επεκτάσεις των δικτύων. (Άρθρο 21 παρ. 1 του Π.Δ. 225/89) (Π.Δ. 225/89- Φ.Ε.Κ. 106Α/89, 1989).

• **Εξοπλισμός έκτακτης ανάγκης**

1. Τηλεφωνική ή ασύρματη σύνδεση μετώπου εργασίας ή κάθε άλλης θέσης εργασίας με τις εγκαταστάσεις του εργοταξίου και σύμφωνα με το σχέδιο αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. (Άρθρο 10 παρ. 4 και άρθρο 28 παρ. 2.β του Π.Δ. 225/89).
2. Παροχή πληροφοριών επικοινωνίας και διαδικασιών διάσωσης. (Άρθρο 28 παρ. 3β και άρθρο 23 παρ. 17 του Π.Δ. 225/89).
3. Κατάλληλη επισήμανση της θέσης του εξοπλισμού. (Άρθρο 11 παρ. 1 του Π.Δ. 225/89).
4. Οργάνωση πρώτων βοηθειών. (Άρθρο 31 του Π.Δ. 225/89).
5. Αντιμετώπιση πυρκαγιάς σύμφωνα με τον Ειδικό Κανονισμό Πυρασφάλειας σε συνεργασία με την Πυροσβεστική Υπηρεσία (Π.Υ) και εγκατάσταση των κατάλληλων πυροσβεστήρων. (Άρθρο 28 παρ. 2.ε και άρθρο 23 παρ. 13β του Π.Δ. 225/89).
6. Χορήγηση κατάλληλων συσκευών αυτοδιάσωσης (αναπνευστικές συσκευές) στο μέτωπο εξόρυξης. (Άρθρο 28 παρ. 3δ του Π.Δ. 225/89).
7. Φύλαξη του ειδικού εξοπλισμού διάσωσης σε κατάλληλες θέσεις και κοντά στις θέσεις εργασίας. (Άρθρο 31 παρ. 4 του Π.Δ. 225/89).
8. Άμεση αναγγελία βάσει εγκεκριμένου σχεδίου από την Π.Υ και σήμανση συναγερμού σε περίπτωση πυρκαγιάς. (Άρθρο 23 παρ. 16 του Π.Δ. 225/89) (Π.Δ. 225/89- Φ.Ε.Κ. 106Α/89, 1989).

- **Αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης**

1. Πρώτες βοήθειες και ιατρική βοήθεια. (Άρθρο 28 παρ. 2δ του Π.Δ. 225/89)
  - 1.1. Δεν μετακινείται ο τραυματίας, εφόσον δεν υφίσταται επιπλέον κίνδυνος.
  - 1.2. Η παροχή πρώτων βοηθειών γίνεται από ειδικά εκπαιδευμένα και εξουσιοδοτημένα άτομα.
  - 1.3. Η επέμβαση γίνεται από ειδικά εκπαιδευμένα άτομα σε εργασίες διάσωσης.
  - 1.4. Εάν ο τραυματίας έχει χάσει τις αισθήσεις του, πρέπει το κεφάλι να βρίσκεται γυρισμένο στη μια πλευρά, ώστε να αποφευχθεί ασφυξία.
2. Πρόσβαση σε πληροφορίες για τις Αρχές της περιοχής, Υπηρεσίες και Στρατιωτικά Κλιμάκια. (Άρθρο 28 παρ. 2α του Π.Δ. 225/89).
3. Άμεση χρήση του δικτύου επικοινωνίας για επαφή με το κέντρο του εργοταξίου & του κέντρου του εργοταξίου με Γιατρούς, Νοσοκομεία, Τοπικές αρχές και Αστυνομία. (Άρθρο 22 παρ. 2β του Π.Δ. 225/89).
4. Υλοποίηση του σχεδίου εκκένωσης του χώρου και μεταφοράς των τραυματιών είτε στο πλησιέστερο Νοσοκομείο είτε σε κατάλληλο χώρο για προσωρινή παραμονή τραυματιών. (Άρθρο 28 παρ. 2γ του Π.Δ. 225/89) (Π.Δ. 225/89- Φ.Ε.Κ. 106Α/89, 1989).

### **3.4. Περιπτώσεις κινδύνων που θα αναλυθούν**

Οι κίνδυνοι που εγκυμονούν κατά την εκτέλεση εργασιών σε υπόγεια έργα ποικίλουν ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στον περιβάλλοντα χώρο του έργου. Είναι σημαντικό να γίνει μια ανάλυση κινδύνων σε υπόγεια έργα με έμφαση τις εργασίες σε ορυχεία ώστε να οριστούν κάποιοι από τους κινδύνους αυτούς και να προσδιοριστούν οι λόγοι που μπορεί να οδηγήσουν σε ένα ατύχημα. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία τα συχνότερα ατυχήματα που έχουν συμβεί σε εργασίες που γίνονται σε ορυχεία είναι η έκρηξη μεθανίου, η κατακρήμνιση οροφής, ο εγκλωβισμός μπουλντόζας σε διάκενα και η ανατροπή εκσκαφέα.

Εάν καταφέρουμε να κατανοήσουμε τους λόγους που οδήγησαν στα ατυχήματα είναι πολύ πιθανό να αποφευχθούν κάποια από αυτά. Η εκρηκτική συγκέντρωση μεθανίου μπορεί να οφείλεται στην εκπομπή μεθανίου, στο ανεπαρκές σύστημα εξαερισμού του ορυχείου και στις ξαφνικές εισροές αερίων, όπου μπορεί να αναζωπυρωθεί από μια πηγή ανάφλεξης όπως είναι ο σπινθήρας που δημιουργείται κατά την εξόρυξη.

Στην περίπτωση της κατακρήμνισης βραχομάζας, η οποία είναι ένας από τους πιο συχνούς και σημαντικούς κινδύνους στα υπόγεια ανθρακωρυχεία, μπορεί να οφείλεται στις δύσκολες συνθήκες εξόρυξης (π.χ. σημαντικό βάθος, επίδραση προηγούμενων δραστηριοτήτων εξόρυξης, δονήσεις στη μάζα των βράχων, γεωλογικές συνθήκες) που έχουν ως αποτέλεσμα την πτώση μικρών και ογκώδων οροφών στα ορυχεία. Για να αναβαθμιστεί η ποιότητα εργασίας των ανθρακωρύχων είναι απαραίτητο να λαμβάνονται ασφαλείς πρακτικές στον χώρο εργασίας. Είναι σημαντικό να χρησιμοποιούνται ελεγχόμενες μέθοδοι γεώτρησης και ανατίναξης για να μπορούν να ελαχιστοποιούνται οι ζημιές από εκρήξεις.

Από τα ορυχεία δε λείπουν και οι ειδικές μπουλντόζες που αναλαμβάνουν την κατανομή του λιγνίτη σε όλο το μήκος των στομιών βοηθώντας έτσι και στην αύξηση της χωρητικότητας της στήλης στα λιγνιτωρυχεία. Κατά τη διάρκεια μεταφοράς λιγνίτη από την στήλης παροχής προς τα σημεία που βρίσκονται τα στόμια, μπορεί λόγω λάθος χειρισμών η μπουλντόζα να πλησιάσει πολύ κοντά στην τρύπα που οδηγεί στα στόμια την ώρα που είναι ανοιχτή και να πέσει μέσα σε αυτή. Αυτό μπορεί να οφείλεται κυρίως στην απροσεξία του χειρίστη της μπουλντόζας.

Τέλος, τα φορτηγά είναι τα κύρια μέσα μεταφοράς σε επιφανειακά ανθρακικά, μεταλλικά και μη μεταλλικά ορυχεία. Ο αριθμός των θανατηφόρων ατυχημάτων που συμβαίνουν με φορτηγά είναι υψηλότερος σε σύγκριση με όλους τους άλλους εξοπλισμούς εξόρυξης. Οι δύο πιο κοινές αιτίες αυτών των ατυχημάτων είναι ο ανεπαρκής ή ακατάλληλος προ εγχειρητικός έλεγχος και η κακή συντήρηση των φορτηγών.

## 4. Υπόγεια εξόρυξη άνθρακα (case study 1)

### 4.1. Γενικά - Εξόρυξη Άνθρακα

Υπάρχει μια αξιοσημείωτη προσπάθεια να μειωθούν τα εργατικά ατυχήματα και οι ασθένειες στην υπόγεια εξόρυξη άνθρακα, τις τελευταίες δεκαετίες. Χώρες όπως η Αυστραλία, ο Καναδάς και το Ηνωμένο Βασίλειο αναφέρονται ως οι πιο επιτυχημένοι παγκόσμιοι ηγέτες στις πρακτικές της Υγείας και Ασφάλειας στην Εργασία (Bahn, 2013). Η προληπτική διαχείριση των κινδύνων συμβάλλει σημαντικά στην επιτυχία αυτή.

Η υπόγεια εξόρυξη άνθρακα αποτελεί ένα από τα πιο επικίνδυνα επαγγέλματα στον κόσμο. Αν και υπάρχει αξιοσημείωτη προσπάθεια για μείωση του αριθμού των επαγγελματικών ατυχημάτων και ασθενειών τα τελευταία χρόνια, οι στατιστικές εξακολουθούν να μην είναι ικανοποιητικές. Μεταξύ όλων των τύπων ατυχημάτων στην εξόρυξη, η έκρηξη μεθανίου εμφανίζεται ως η πιο καταστροφική. Το κύριο βήμα για την πρόληψη των εκρήξεων μεθανίου είναι η αναγνώριση των κινδύνων και των ειδικών κινδύνων κάθε ορυχείου και η δημιουργία αποτελεσματικής αξιολόγησης κινδύνου για την εκτίμησή τους.

Ο προσδιορισμός κινδύνου είναι το κύριο βήμα κάθε μελέτης για την Αειφόρο Ανάπτυξη. Η διαδικασία εκτίμησης κινδύνων ξεκινά επίσης με τον προσδιορισμό των κινδύνων στους χώρους εργασίας (Liang, et al., 2017).

Οι κίνδυνοι στην υπόγεια εξόρυξη άνθρακα ποικίλλουν ανάλογα με τη βαρύτητα από πεδίο σε πεδίο, αλλά σύμφωνα με τον Donoghue (2004), οι συνηθέστεροι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη διάρκεια των μελετών αξιολόγησης κινδύνου μπορούν να αναφερθούν ως:

- *Φυσικοί κίνδυνοι:* συμπεριλαμβανομένου του θορύβου, της θερμότητας και της υγρασίας, των κραδασμών, του φωτισμού περιβάλλοντος,
- *Χημικοί κίνδυνοι:* συμπεριλαμβανομένων των επιβλαβών αερίων, έκρηξης σκόνης άνθρακα και μεθανίου, πυρκαγιάς, αυθόρμητης καύσης, έκθεσης σε σωματίδια ντίζελ, σε μερικές περιπτώσεις έκθεση σε κυάνιο, αρσενικό και υδράργυρο,

- *Βιολογικοί κίνδυνοι:* ελονοσία, πυρετός δάγκειου, λεπτοσπείρωση και ανισοστομία,
- *Εργονομικοί κίνδυνοι:* κόπωση, χειρωνακτικός χειρισμός, μυοσκελετικές διαταραχές, τηλεχειρισμός του κινητού εξοπλισμού και
- *Ψυχοκοινωνικοί κίνδυνοι:* μετατραυματικές διαταραχές άγχους, κατάχρηση ναρκωτικών και οινόπνευματων (Donoghue, 2004).

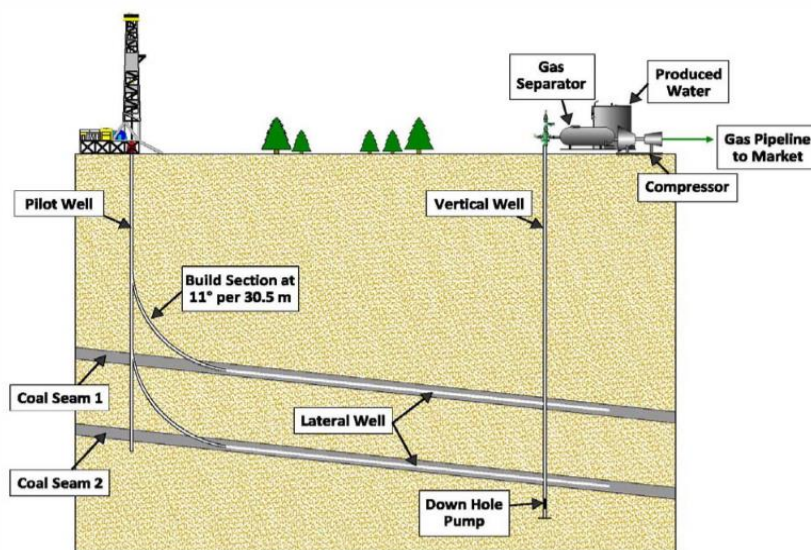
Το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) είναι ένα άχρωμο, άοσμο, εύφλεκτο αέριο. Το ειδικό βάρος του είναι 0,554, το οποίο το καθιστά ελαφρύτερο από τον αέρα, και έτσι συχνά βρίσκεται κοντά στην οροφή του ορυχείου. Καίγεται εύκολα στον αέρα, σχηματίζοντας διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και υδρατμούς. Τα μείγματα μεθανίου και αέρα είναι εκρηκτικά, ενώ το ίδιο το μεθάνιο είναι γενικά πολύ σταθερό. Η ποσότητα του μεθανίου που απελευθερώνεται από τον άνθρακα εξαρτάται από τη γεωλογική ηλικία και τον τύπο του άνθρακα και από το βάθος του κοιτάσματος άνθρακα. Η θερμοκρασία ανάφλεξης του μεθανίου είναι μεταξύ 650-750°C. Δεν αναφλέγεται αμέσως, αλλά μετά από κάποια επαφή με μια πηγή θερμότητας (Kurnia & Mujumdar, 2012).

Στα κοιτάσματα άνθρακα δεν υπάρχει προστατευτικό στρώμα και τα μόνα μέτρα πρόληψης χωρικής έκρηξης που μπορούμε να λάβουμε είναι η αποχέτευση των αερίων με γεώτρηση που διακλαδώνεται με άλλες γεωτρήσεις προς τα κοιτάσματα άνθρακα. Η πίεση αερίου στα κοιτάσματα άνθρακα είναι ένας σημαντικός χωρικός δείκτης ο οποίος βοηθάει στην πρόβλεψη των εκρήξεων, όταν θέλουμε να αξιολογήσουμε το επίπεδο του κινδύνου να σημειωθεί έκρηξη στα κοιτάσματα άνθρακα. Για να αυξηθεί η διαπερατότητα του κοιτάσματος άνθρακα και να μειωθεί η ποσότητα της διάνοιξης γεώτρησης και ο κίνδυνος εκρήξεων, οι ερευνητές μελέτησαν υδραυλικές και τεχνικές μεθόδους. Αυτές οι μέθοδοι περιλαμβάνουν έγχυση νερού στα κοιτάσματα άνθρακα, υδραυλική διάτρηση, υδραυλική κοπή και υδραυλική θραύση υψηλής πίεσης.

Η έγχυση νερού στα κοιτάσματα άνθρακα εφαρμόζεται πρώτα στη σκόνη άνθρακα. Ο ψεκασμός με νερό υιοθετήθηκε ως τρόπος πρόληψης και ελέγχου της έκρηξης αερίου στα κοιτάσματα άνθρακα. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα για



μια πιθανή διαμόρφωση γεωτρήσεων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποστράγγιση αερίου από τον άνθρακα πριν ξεκινήσει η εξόρυξη. Σε αυτό το σχήμα, δύο μαλακά στρώματα θα αποστραγγιστούν με μια διάτρηση ενός πιλοτικού φρεατίου, από το οποίο δύο διάτρητες οπές φρεατίων τρυπιούνται σε κάθε ένα από τα δύο στρώματα. Αφού τοποθετηθούν τα πλευρικά φρεάτια, ανοίγεται ένα άλλο κατακόρυφο φρεάτιο για να διασταυρωθούν τα πλευρικά τοιχώματα (Lin, Lv, Li, & Zhai, 2007).



Σχήμα 4. Γεώτρηση για αποστράγγιση Αερίου από άνθρακα (United Nations, 2010).

Οι τρόποι με τους οποίους τα υδραυλικά μέτρα εξαλείφουν τον κίνδυνο έκρηξης των στρωμάτων άνθρακα συνοψίζονται ως εξής. Πρώτον, τα υδραυλικά μέτρα αυξάνουν τον αριθμό των ρωγμών άνθρακα και βελτιώνουν τη διαπερατότητα των κοιτασμάτων άνθρακα, καθώς και την επίδραση εξαγωγής αερίου (Chen & Liu, 2005) (Zhou & Zhang, 2006). Δεύτερον, το νερό που εγχέεται σε θραύσματα άνθρακα και πόρους κλείνει το κανάλι εκρόφησης του αερίου προσρόφησης και μειώνει την ταχύτητα εκρόφησης του αερίου (Zhu & Li, 1997). Τρίτον, το εγχυμένο νερό καθιστά τον άνθρακα υγρό, βελτιώνοντας τις μηχανικές ιδιότητες του άνθρακα, καθιστώντας τη ζώνη συγκέντρωσης πίεσης και αυξάνοντας το πλάτος του ιμάντα προστασίας από την πίεση (Liu, Chen, & Feng, 2004).



Σχήμα 5. Έκρηξη κάρβουνο σε ορυχείο (QUORA, 2020).



Σχήμα 6. Έκρηξη Μεθανίου σε ορυχείο στην περιοχή Luhansk (nrcu.gov.ua, 2011).

## 4.2. Εύφλεκτη ατμόσφαιρα

Η εκρηκτική συγκέντρωση μεθανίου μπορεί να οφείλεται στην εκπομπή μεθανίου, στο ανεπαρκές σύστημα εξαερισμού του ορυχείου και στις ξαφνικές εισροές αερίων, όπως συμβαίνει από την έκρηξη του μεθανίου. Η εκπομπή μεθανίου (από το υπόγειο στρώμα άνθρακα και τα περιβάλλοντα στρώματα) παριστάνεται ως μια οικεία εκδήλωση, λόγω των γεωλογικών διαδικασιών και των διεργασιών εξόρυξης που εκδηλώνονται με φυσικό τρόπο.

Εδώ εμφανίζεται μια αντίφαση για την αποστράγγιση μεθανίου. Μολονότι αποτελεί μια από τις πρωταρχικές και αποτελεσματικότερες πρακτικές για τη μείωση της ποσότητας μεθανίου στο υπόγειο στρώμα και το περιβάλλον, δεν χαρακτηρίζεται ως άμεση αιτία συσσώρευσης μεθανίου σε αυτή τη μελέτη και δεν προσδιορίζεται ως άμεσο σφάλμα της εκπομπής μεθανίου (από το υπόγειο στρώμα άνθρακα και τα γύρω στρώματα). Στη μελέτη μας δε θεωρείται ως σημαντικός παράγοντας ώστε να εξεταστεί περαιτέρω. Είναι μια τεχνική πρόληψης άλλα ταυτόχρονα λαμβάνεται υπόψη και οι οικονομικές πτυχές της. Μια επιχείρηση μπορεί να έχει την προσέγγιση της "αποτελεσματικής πρακτικής εξουδετέρωσης των ορυχείων χωρίς την ανάγκη αποστράγγισης μεθανίου" στα στάδια πρόληψης κατά του κινδύνου έκρηξης, στις χώρες που από την ισχύουσα νομοθεσία, δεν υποχρεώνουν την πρακτική αποστράγγισης. Ωστόσο, η έλλειψη αποχέτευσης μεθανίου προστίθεται στο δέντρο αστοχιών, κάτω από την ενδιάμεση έκρηξη μεθανίου, λόγω της ζωτικής σημασίας του. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής του δένδρου αστοχιών, το ορυχείο άνθρακα θεωρείται ως επιρρεπής σε εκρήξεις (Li, Zhao, Lu, & Kang, 2009).

#### 4.2.1. Ελλιπής πρακτική εξαερισμού

Ο εξαερισμός του ορυχείου μπορεί να συνοψιστεί ως έλεγχος της κίνησης, της ποσότητας και της κατεύθυνσης του αέρα. Ένα κρίσιμο σημείο για το σχεδιασμό των συστημάτων πρωτογενούς αερισμού είναι ότι πρέπει όχι μόνο να πληρούν τις κανονικές συνθήκες λειτουργίας αλλά και τις ανώμαλες συνθήκες, όπως σε περίπτωση πυρκαγιάς ή διακοπής ρεύματος ή άλλων απειλών. Η διατήρηση ενός βιώσιμου και σωστού αερισμού στο ορυχείο είναι η κύρια απαίτηση για την πρόληψη των εκρήξεων μεθανίου.

Η ανεπαρκής πρακτική αερισμού χωρίζεται σε τέσσερις ομάδες όπως:

- i. ανεπαρκής πρωτογενής εξαερισμός, Σχήμα 7
- ii. ανεπαρκής βοηθητικός αερισμός,
- iii. βλάβη στην παρακολούθηση αερίων και
- iv. οροφή (ως έμμεσος συντελεστής) Σχήμα 8



Σχήμα 7. Σύγχρονο σύστημα πρωτογενή εξαερισμού (TUR CERT, 2020)





Σχήμα 8. Πρακτική Αερισμού Οροφής (Mining Monthly, 2020).



Σχήμα 9. Πρακτική Αερισμού Οροφής Ορυχείου (Minetek, 2020).

Ο ανεπαρκής κύριος αερισμός σε ορυχείο μπορεί να οφείλεται σε ακατάλληλο σχεδιασμό εξαερισμού ή ακατάλληλο ανεμιστήρα κύριου εξαερισμού. Ο εξαερισμός είναι ένας από τους σημαντικότερους προβληματισμούς στην υπόγεια εξόρυξη και

πρέπει να εξεταστεί από τα προκαταρκτικά στάδια. Έτσι, ο σχεδιασμός του βασικού αερισμού πρέπει να επιτευχθεί με προσοχή. Δεν είναι μόνο υπολογισμοί, αλλά και περιοδική παρακολούθηση και αναθεώρηση του συστήματος. Σε αυτή τη μελέτη, οι τύποι ενός ακατάλληλου σχεδιασμού εξαερισμού παρατίθενται ως:

- Έλλειψη μηχανικού αερισμού
- Αντίστροφος αερισμός
- Συστήματα εξαερισμού σε σειρά
- Έλλειψη αεραγωγού επιστροφής (για μολυσμένο αέρα ορυχείου)
- Ανεπαρκής ποσότητα αέρα
- Βραχυκύκλωμα αερισμού (Güygüler & Erdem, 2008).

Ο μηχανικός αερισμός αποτελεί υποχρέωση για τα υπόγεια ανθρακωρυχεία τόσο από μηχανικές όσο και από νομικές πλευρές. Η έλλειψη μηχανικού αερισμού είναι άμεση αιτία συσσώρευσης μεθανίου (ή άλλων επικίνδυνων αερίων), καθώς και παράγοντας ανεπαρκούς καθαρού αέρα για τους εργαζόμενους. Ομοίως, η πρακτική αντίστροφης εξαερισμού μπορεί να οδηγήσει σε ανεπαρκή καταστολή του μεθανίου στο ορυχείο λόγω της αντίφασης μεταξύ της κατεύθυνσης του εξαερισμού και του μικρότερου ειδικού βάρους του μεθανίου σε σύγκριση με τον αέρα. Το κύκλωμα αερισμού σε σειρά μπορεί να προκαλέσει την κυκλοφορία μολυσμένου αέρα στο ορυχείο.

Το μεθάνιο που προέρχεται από ένα σημείο του ορυχείου εισέρχεται σε άλλο σημείο και ενσωματώνεται στο νέο μολυσμένο αέρα. Και πάλι, μπορεί να είναι άμεση αιτία αύξησης της συγκέντρωσης μεθανίου σε σύντομο χρονικό διάστημα. Η έλλειψη αεραγωγού επιστροφής είναι μια σπάνια κατάσταση που συναντάμε στα ορυχεία. Ειδικά στις ανεπτυγμένες χώρες εξόρυξης, είναι ακόμη αδύνατο. Η έλλειψη αεραγωγών επιστροφής σε σημεία ή σε ολόκληρο το ορυχείο συμπεριλαμβάνεται σε αυτό το δέντρο αστοχιών. Ο κατάλληλος εξαερισμός των ορυχείων δεν εμποδίζει μόνο τις εκρήξεις μεθανίου, παρέχει επίσης υγιή αναπνοή στους εργαζομένους.

Συχνά, ο εξαερισμός των ορυχείων πιστεύεται ότι ικανοποιείται μόνο με τη μέτρηση της συγκέντρωσης μεθανίου που διαβάζεται από τον ανιχνευτή που βρίσκεται στον αεραγωγό επιστροφής και αν η συγκέντρωση είναι κάτω από 1%, ο εξαερισμός

αντιμετωπίζεται ως επιτυχής, χωρίς καν να δίνεται προσοχή στους απαιτούμενους υπολογισμούς της ποσότητας αέρα. Συνήθως, η ανησυχία υπακούει ακριβώς στην εθνική νομοθεσία. Οι διαδρομές εισαγωγής και επιστροφής συχνά διασταυρώνονται στο ορυχείο και αυτό μπορεί να προκαλέσει βραχυκύκλωμα του συστήματος.

Οι σφραγισμένες διαδρομές είναι κατασκευασμένες για να διαχωρίζουν και να απομονώνουν διαφορετικές πορείες αέρα σε υπόγεια ορυχεία, όπως ο αέρας εισαγωγής από τον αέρα επιστροφής. Πρόκειται για μόνιμους τοίχους κατασκευασμένους από τούβλα ή άλλα εγκεκριμένα υλικά. Διαφορετικά, οι σφραγισμένες διαδρομές χρησιμοποιούνται για την απομόνωση επεξεργασμένων περιοχών ενός ορυχείου που δεν αερίζονται πλέον (Güyagüler & Erdem, 2008).

Ένας άλλος τύπος ελέγχου αερισμού είναι ρυθμιστές, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της ποσότητας του αέρα που ρέει σε διάφορα τμήματα του ορυχείου (Mevsim, 2016).

Εκτός από τον ακατάλληλο σχεδιασμό εξαερισμού, ο ακατάλληλος ανεμιστήρας κύριου εξαερισμού μπορεί να είναι ο άμεσος λόγος πιθανής βλάβης στην πρακτική του αρχικού αερισμού. Είναι ένας από τους πιο κρίσιμους εξοπλισμούς που χρησιμοποιούνται σε ολόκληρο το χώρο εργασίας. Οι ανεμιστήρες μπορεί να μην είναι εφαρμόσιμοι ως αποτέλεσμα των ακόλουθων τρόπων:

- Έλλειψη ανταλλακτικού ανεμιστήρα πρωτογενούς εξαερισμού
- Έλλειψη αυτόματης ενεργοποίησης (του εφεδρικού ανεμιστήρα)
- Έλλειψη συστήματος προειδοποίησης (σε περίπτωση διακοπών)
- Έλλειψη μονάδας παραγωγής (του ανεμιστήρα σε περίπτωση διακοπών)
- Έλλειψη αυτόματης ενεργοποίησης (της μονάδας παραγωγής).

Πρέπει να ληφθεί υπόψη οποιαδήποτε πιθανότητα μηχανικής ή ηλεκτρικής διακοπής στον ανεμιστήρα του βασικού εξαερισμού. Επιφέρει την υποχρέωση ενεργοποίησης μιας εφεδρικής μονάδας - τόσο του ανεμιστήρα όσο και της μονάδας παραγωγής - σε περίπτωση μη φυσιολογικών συνθηκών. Αυτές οι ανταλλακτικές μονάδες πρέπει να ενεργοποιούνται αυτόματα, όχι χειροκίνητα (Güyagüler & Erdem, 2008).

Ο ισχυρισμός της διοίκησης μπορεί να είναι η πρόσληψη ενός εργαζομένου υπεύθυνου για τις περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης γύρω από τον ανεμιστήρα. Ωστόσο, η σημερινή προσέγγιση της ΥΑΕ δεν έχει εμπιστοσύνη στον ανθρώπινο παράγοντα σε τέτοιες κρίσιμες ενέργειες, αλλά δίνει την ευκαιρία στην τεχνολογία όπου τα πλεονεκτήματά της θα πρέπει να αξιοποιηθούν.

Η ανεπάρκεια του συστήματος εξαερισμού μπορεί επίσης να είναι αποτέλεσμα του ανεπαρκούς βοηθητικού αερισμού. Ο βοηθητικός εξαερισμός χρησιμοποιείται για να παρέχει αρκετή ροή αέρα στις αρχικές ή τις τυφλές άκρες που δεν περιλαμβάνονται στο κύριο σύστημα δικτύου εξαερισμού. Συντελείται από βοηθητικούς ανεμιστήρες και σύστημα αεραγωγών (Güyağüler & Erdem, 2008).

Ο ανεπαρκής βοηθητικός αερισμός σε ένα ορυχείο μπορεί να εμφανιστεί ως αποτέλεσμα των παρακάτω καταγεγραμμένων περιστάσεων:

- Έλλειψη βοηθητικού αερισμού.
- Αυθόρμητη διακοπή λειτουργίας των ανεμιστήρων.
- Αγωγούς μακριά από το πρόσωπο.
- Ελλείψεις στον αέρα.

Παρά την ανάγκη, δεν μπορεί να υπάρχει κάποιο βοηθητικό σύστημα εξαερισμού που να εγκατασταθεί στο ορυχείο. Η έλλειψη βοηθητικού συστήματος εξαερισμού θα οδηγήσει στη συσσώρευση μεθανίου στις περιοχές εργασίας και θα δημιουργήσει μια ατμόσφαιρα ασφυξίας στους εργάτες. Η παρουσία του βοηθητικού συστήματος εξαερισμού δεν είναι ακριβώς λύση. Ένα άλλο ζήτημα που σχετίζεται με τον βοηθητικό αερισμό είναι η αυθαίρετη απενεργοποίηση του κινητήρα του ανεμιστήρα από τους εργάτες. Εκτελείται λόγω του υψηλού επιπέδου θορύβου του κινητήρα και μερικές φορές αισθάνονται κρύο στο πρόσωπο τους κατά τη διάρκεια εργασίας, λόγω του αέρα εξαερισμού, όπως λένε οι εργαζόμενοι. Η απόσταση μεταξύ του σημείου εξόδου του αεραγωγού και του προσώπου του εργαζόμενου είναι μια κρίσιμη απόφαση και δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 10 μέτρα για να ικανοποιήσει την αποτελεσματικότητα της πρακτικής (Güyağüler & Erdem, 2008).

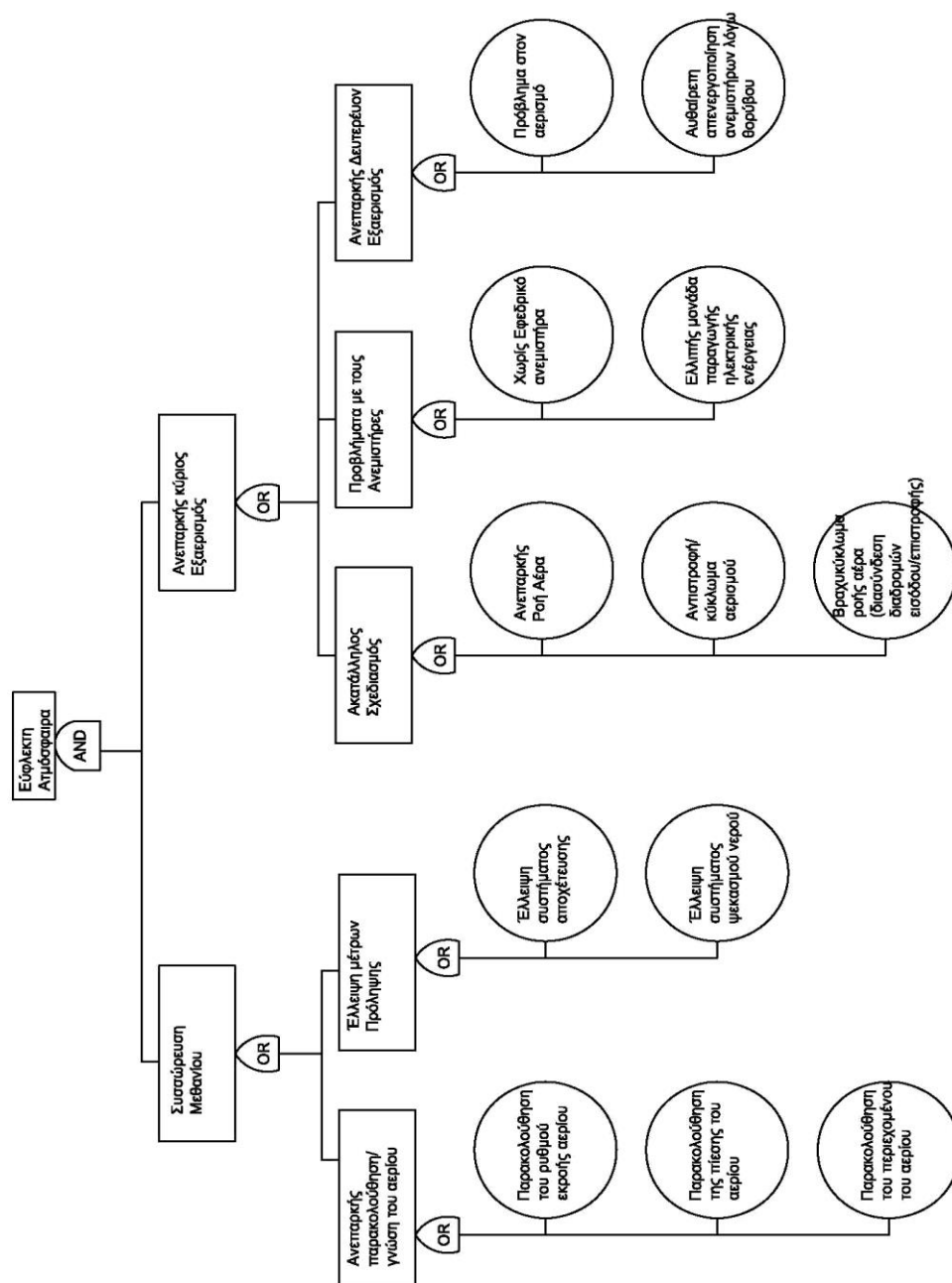


#### 4.2.2. Ανάλυση Δέντρου Αστοχιών

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η εύφλεκτη ατμόσφαιρα που δημιουργείται κατά την εξόρυξη μπορεί να είναι μια αιτία ατυχήματος. Η εύφλεκτη ατμόσφαιρα μπορεί να δημιουργηθεί από τη συσσώρευση μεθανίου στην περιοχή εργασίας η οποία μπορεί να προκαλέσει την έκρηξη μεθανίου και από τον ανεπαρκή εξαερισμό στο χώρο εργασίας. Παρακάτω παρουσιάζεται το δέντρο αστοχιών (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**), το οποίο απεικονίζει την ανάλυση ατυχήματος σε περίπτωση που δημιουργηθεί εύφλεκτη ατμόσφαιρα.

Η συσσώρευση μεθανίου μπορεί να αντιμετωπιστεί με επαρκή παρακολούθηση του ρυθμού εκροής του αερίου, με παρακολούθηση της πίεσης του αερίου και με παρακολούθηση του περιεχομένου του αερίου. Επίσης, πρέπει να υπάρχουν επαρκή μέτρα πρόληψης ώστε να αποφεύγεται η συσσώρευση μεθανίου, με δημιουργία συστήματος αποχέτευσης και με εφαρμογή συστήματος ψεκασμού με νερό σε περίπτωση που υπάρξει καπνός ή φλόγα στην περιοχή εργασίας.

Η έκρηξη μεθανίου μπορεί να αποφευχθεί επίσης με την ύπαρξη επαρκούς συστήματος κύριου εξαερισμού. Ο κατάλληλος σχεδιασμός του συστήματος βοηθάει στην απαγωγή των αερίων που μπορεί να προκαλέσουν εύφλεκτη ατμόσφαιρα. Το σύστημα θα πρέπει να είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει επαρκής ροή αέρα, να μη γίνεται κύκλωμα του αερισμού και να μη γίνεται διασύνδεση των διαδρόμων εισόδου και εξόδου του αέρα. Θα πρέπει να υπάρχει πρόβλεψη ώστε να μη δημιουργούνται προβλήματα με τους ανεμιστήρες, συνεπώς θα πρέπει να υπάρχει εφεδρικός ανεμιστήρας, ο οποίος να τεθεί σε λειτουργία αυτόματα σε περίπτωση εμπλοκής του κύριου ανεμιστήρα και επίσης θα πρέπει να υπάρχει μια επαρκής μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας η οποία να μπορεί να υποστηρίξει τη λειτουργία του συστήματος εξαερισμού. Σίγουρα, η ύπαρξη και ενός συστήματος δευτερεύοντος εξαερισμού είναι απαραίτητη, καθώς μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα στη λειτουργία του κύριου εξαερισμού και να μην μπορούν να επιλυθούν άμεσα ή μπορεί να υπάρξει αυθαίρετη απενεργοποίηση των ανεμιστήρων του κύριου εξαερισμού λόγω θορύβου (Zhou & Zhang, 2006).



Σχήμα 10. Δέντρο αστοχιών (εύφλεκτη - καυτή ατμόσφαιρα)

### 4.3. Πηγες Ανάφλεξης

Το δεύτερο σημαντικό στοιχείο της έκρηξης μεθανίου είναι η πηγή ανάφλεξης. Μια πηγή ανάφλεξης πρέπει να περιέχει επαρκή θερμοκρασία ή ενέργεια για την ανάφλεξη μεθανίου. Το μεθάνιο μπορεί να αναφλεγεί με ελάχιστη θερμοκρασία ανάφλεξης περίπου 540°C (MSHA, 2015). Σε υπόγειες εργασίες εξόρυξης, μπορεί να υπάρχουν διάφορες πηγές φωτιάς, υπερθέρμανσης ή ανοικτής φλόγας που μπορούν να προκαλέσουν την έκρηξη. Μία από τις πιθανές πηγές είναι ο μηχανοποιημένος εξοπλισμός. Η καθημερινή χρήση αυτών των συσκευών δεν αποτελεί κίνδυνο ανάφλεξης. Ωστόσο, όπως τόνισε ο McPherson (2015), η κακή χρήση, η έλλειψη σωστής συντήρησης, η αφαίρεση ή η παράκαμψη των χαρακτηριστικών ασφαλείας, όπως διαγνωστικές συσκευές, περιβαλλοντικές οθόνες ή θερμικοί διακόπτες διακοπής, και η λειτουργία χωρίς επίβλεψη για μεγάλες χρονικές περιόδους, μπορεί να είναι αιτίες έκρηξης (Mc. Person, 2015).

Μια άλλη πηγή ανάφλεξης μπορεί να είναι ηλεκτρική συσκευή. Ο ηλεκτρικός εξοπλισμός μπορεί να προκαλέσει εμπρηστικούς κινδύνους από σπινθήρες και υπερθέρμανση. Προκειμένου να παρασχεθεί μια ηλεκτρολογική εγκατάσταση σε ένα υπόγειο ορυχείο, με τη χρήση επιτρεπόμενου εξοπλισμού, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στα ηλεκτρικά εξαρτήματα και τις συνδέσεις, αποτρέποντας την ηλεκτροστατική εκφόρτιση και την τοποθέτηση κατάλληλων σταθμών φόρτισης στο ορυχείο είναι κρίσιμο σημείο (Mc. Person, 2015).

Η κύρια αιτία ανάφλεξης μεθανίου στις όψεις εργασίας των ανθρακωρυχείων είναι ο σπινθήρα τριβής στα σημεία συλλογής των μηχανών που συλλέγουν άνθρακα. Οι στατιστικές έδειξαν ότι περίπου 75% των αναφλέξεων μεθανίου σε υπόγεια ανθρακωρυχεία προκλήθηκαν από ανάφλεξη τριβής από μηχανήματα εξόρυξης, ενώ επιπλέον 4% προκλήθηκαν από ανάφλεξη τριβών από βλήματα στέγης και πτώσεις οροφής (Kawenski, Stephan, & Price, 1979).

Οι μεταφορείς είναι επίσης ένας πιθανός εξοπλισμός που μπορεί να ξεκινήσει έκρηξη από την τριβή. Αν ο μάντας ακινητοποιηθεί σε οποιοδήποτε σημείο του μήκους του και οι τροχίσκοι κίνησης συνεχίσουν να γυρίζουν, τότε θα δημιουργηθούν υψηλές θερμοκρασίες στην κεφαλή κίνησης. Η πλειοψηφία των

αναφλέξεων που προκαλούνται από τους μεταφορείς μπορεί να προληφθεί με τη χρήση ιμάντων που δεν διαδίδουν φωτιά, τη οργάνωση μετρητών παρακολούθησης θερμοκρασίας ή τους μεταλλάκτες τάσης ιμάντα για την απομόνωση της ηλεκτρικής ενέργειας από την κίνηση του μεταφορέα όταν ανιχνεύεται μια ανώμαλη κατάσταση και τη συλλογή σκόνης ή διαρροής γύρω και κάτω από τους μεταφορείς. Οι είσοδοι του μεταφορέα πρέπει να καθαρίζονται καλά στα ανθρακωρυχεία (Mc. Person, 2015).

Ένα άλλο ιδιαίτερο στοιχείο που αναφέρεται στις νομοθεσίες είναι οι εργασίες συγκόλλησης σε υπόγεια ορυχεία. Όλες οι εργασίες συγκόλλησης που επιτρέπονται υπόγεια πρέπει να διεξάγονται υπό καλώς ελεγχόμενες συνθήκες. Όταν υπάρχει πιθανότητα εμφάνισης μεθανίου ή άλλων εύφλεκτων αερίων, τότε η δοκιμή για τα αέρια αυτά πρέπει να διεξάγεται πριν και κατά τη διάρκεια των εργασιών συγκόλλησης. Επιπλέον, τα εύφλεκτα υλικά όπως άνθρακας, ξύλο, χαρτί και απορρίμματα πρέπει να απομακρύνονται από την περιοχή των εργασιών συγκόλλησης, πρέπει να διατίθενται πυροσβεστήρες στα σημεία όλων των εργασιών συγκόλλησης και οι περιέκτες αερίων που χρησιμοποιούνται στην κοπή οξυακετυλενίου πρέπει να είναι αποθηκεύονται και χρησιμοποιούνται σε ασφαλή όρθια θέση (Mc. Person, 2015).

Τα υλικά καπνίσματος έχουν θεωρηθεί αιτία κάποιων πυρκαγιών και εκρήξεων στα ορυχεία, συνεπώς η μεταφορά τέτοιων υλικών στα υπόγεια ορυχεία είναι παράνομη. Κατά τη διάρκεια των κύκλων εκπαίδευσης και επανεκπαίδευσης, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται κατάλληλα παραδείγματα και έπειτα θα πρέπει να υπάρχει τακτικός μηχανισμός εσωτερικού ελέγχου, για την αποφυγή αυτού του κινδύνου.

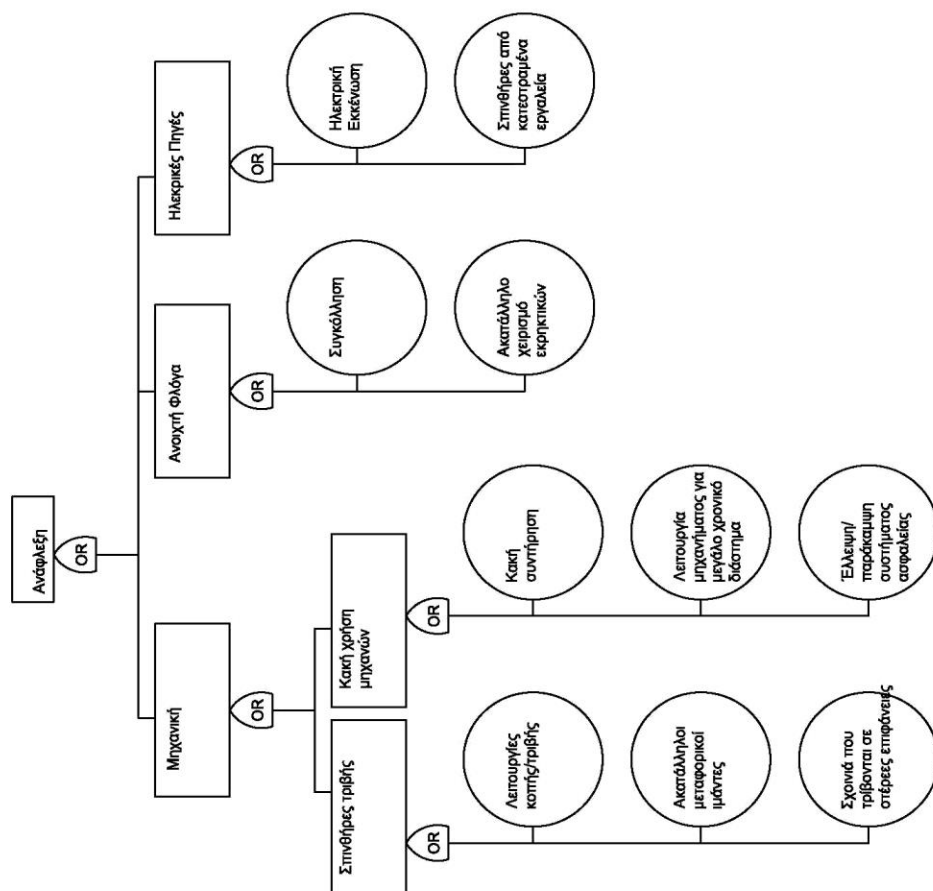
#### 4.3.1. Ανάλυση Δέντρου Αστοχιών

Κατά την υπόγεια εξόρυξη μπορεί να προκληθεί ατύχημα και από τις πηγές ανάφλεξης. Η ανάφλεξη στην περιοχή εργασίας μπορεί να προκληθεί είτε από το μηχανικό εξοπλισμό, είτε από ανοιχτή φλόγα είτε από ηλεκτρικές πηγές. Παρακάτω παρουσιάζεται το δέντρο αστοχιών (Σχήμα 11), το οποίο απεικονίζει την ανάλυση ατυχήματος σε περίπτωση που υπάρξουν ανοιχτές πηγές ανάφλεξης.

Όσον αφορά τον μηχανικό εξοπλισμό, μπορεί να προκληθεί ανάφλεξη από τους σπινθήρες τριβής κατά τις λειτουργίες κοπής, από ακατάλληλους ή μη συντηρημένους ιμάντες μεταφοράς ή από σχοινιά που τρίβονται σε στέρεες επιφάνειες. Η ανάφλεξη μπορεί να αποφευχθεί εάν γίνεται σωστή χρήση των μηχανημάτων, τα οποία θα πρέπει να συντηρούνται επαρκώς και να μην τίθενται σε λειτουργία για μεγάλο χρονικό διάστημα ώστε να αποφεύγεται η υπερθέρμανσή τους. Σημαντική είναι η ύπαρξη συστήματος ασφαλείας όσον αφορά τον μηχανικό εξοπλισμό.

Στην περίπτωση ανοιχτής φλόγας είναι πολύ πιθανό να προκληθεί ανάφλεξη κατά τη διάρκεια υπόγειας εξόρυξης άνθρακα. Οι σπινθήρες που δημιουργούνται κατά την συγκόλληση μπορεί να αποβούν μοιραίοι, όμως μπορεί να υπάρξει ανάφλεξη και από τα εκρηκτικά που χρησιμοποιούνται στα υπόγεια ορυχεία για την διάνοιξη σήραγγας.

Τέλος, σημαντικό είναι ο ηλεκτρικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται να είναι σε καλή κατάσταση και να μη δημιουργείται ηλεκτρική εκκένωσης ή σπινθήρες από κατεστραμμένα εργαλεία, τα οποία είναι αιτίες ανάφλεξης στην περιοχή εργασίας (Elaine & Chao & Alfredo, 2001).



Σχήμα 11. Δέντρο αστοχιών (πηγές ανάφλεξης)

## 5. Κατακρήμνιση Βραχομάζας (case study 2)

### 5.1. Αξιολόγηση κινδύνου

Η ανάλυση του κινδύνου περιλαμβάνεται στη διαχείριση του κινδύνου ενός υπό μελέτη έργου, όπου τα δεδομένα του χρησιμοποιούνται ώστε να εντοπιστούν πιθανοί κίνδυνοι, πριν κάνουν την εμφάνισή τους στο έργο και επηρεάσουν αρνητικά το κόστος και το χρονοδιάγραμμα του έργου.

Υπάρχουν δυο είδη εκτίμησης του κινδύνου για την ανάλυσή του:

- Η ποιοτική εκτίμηση κινδύνου, όπου για την ανάλυση του κινδύνου χρησιμοποιούνται χαρακτηρισμοί όπως υψηλή, μέτρια ή χαμηλή πιθανότητα εμφάνισης συγκεκριμένου γεγονότος.
- Η ποσοτική εκτίμηση κινδύνου, όπου για την ανάλυση του κινδύνου παρουσιάζεται με αριθμούς πχ. Αριθμός θυμάτων ή με πιθανότητα εμφάνισης ενός γεγονότος.

Η κατακρήμνιση βραχομάζας είναι ένας από τους πιο συχνούς και σημαντικούς κινδύνους στα υπόγεια ανθρακωρυχεία, γεγονός που επιβεβαιώθηκε από τα στατιστικά στοιχεία των ανθρακωρυχείων στις ΗΠΑ, την Ινδία και την Πολωνία (Lutz, 1993) (Storey, 1996) (Gaskill & Went, 1996).

Οι δύσκολες συνθήκες εξόρυξης (π.χ. σημαντικό βάθος, επίδραση προηγούμενων δραστηριοτήτων εξόρυξης, δονήσεις στη μάζα των βράχων, γεωλογικές συνθήκες) έχουν ως αποτέλεσμα μικρές και ογκώδεις οροφές στα οχυρά. Οι πτώσεις οροφής προκαλούν ατυχήματα και, όταν σημειώνεται μαζική πτώση οροφής, η διακοπή της λειτουργίας των ορυχείων επηρεάζει δυσμενώς τα οικονομικά αποτελέσματα των ανθρακωρυχείων. Προκειμένου να περιοριστούν οι κίνδυνοι πτώσης οροφής, πριν από την έναρξη της εξόρυξης, είναι σημαντική η τοποθέτηση υποστυλωμάτων για την στήριξη της οροφής. Οι συνθήκες υπολογίζονται με μια εμπειρική μέθοδο που βασίζεται σε μια προσέγγιση που διατυπώθηκε από τον Biliński (Gaskill & Went, 1996).

Άλλοι σημαντικοί παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την εκδήλωση ενός ατυχήματος κατάρρευσης οροφής είναι η παλαιότητα του ορυχείου, η κακή συντήρηση του, οι αλλαγές στη μέθοδο εξόρυξης και τα ελλιπή μέτρα ασφαλείας. Είναι σημαντικό να διερευνηθεί και να τεθεί υπό ανάλυση σαν κύριο γεγονός, με τη μέθοδο των διαγραμμάτων fault tree, η κατακρήμνιση βραχομάζας σε ένα ορυχείο. Άλλα ανεπιθύμητα γεγονότα είναι ο εγκλωβισμός των ανθρακωρύχων μέσα στο ορυχείο, η απουσία διαθέσιμης εξόδου διαφυγής ή μια κατάρρευση όπου θα κινδυνέψουν οι εργαζόμενοι μέσα στο ορυχείο.

Μια κατάρρευση στο ορυχείο, μπορεί να συμβεί από διάφορα ατυχήματα που μπορεί να λάβουν χώρα σε μια ενεργή περιοχή εξόρυξης. Στο Σχήμα 6 και Σχήμα 5 απεικονίζονται τα ατυχήματα αυτά. Οι αστοχίες των περιστατικών κατακρήμνισης αποτελούν τη βάση για το σύστημα ταξινόμησης και όπου γίνεται κατηγοριοποίηση σε στρώματα, έτσι ώστε ένας συνδυασμός μιας ομάδας ταξινομημένων στοιχείων σε διαδοχικά στρώματα να απεικονίζει μια ευρεία εικόνα της πραγματικής αιτίας του περιστατικού.

Μπορεί να ταξινομηθεί το ατύχημα κατακρήμνισης σε ενεργή υποστηριζόμενη περιοχή (δηλ. περιοχή όπου βρίσκονται και εργάζονται ανθρακωρύχοι και υποστηρίζεται με δοκούς ή άλλα εξαρτήματα η περιοχή εξόρυξης) σε δυο κατηγορίες:

1. προκληθείσα ή σκόπιμη, που σημαίνει ότι οι πτώσεις βράχων προκαλούνται σκόπιμα από τη μέθοδο εξόρυξης, όπως σπάζοντας βράχο που βρίσκεται κατά το μήκος του τοίχου, και δημιουργεί κατάρρευση της οροφής, με υποχώρηση χώματος και πυλώνων.
2. μη προγραμματισμένη ή ακούσια, που σημαίνει οποιαδήποτε κατακρήμνιση μπορεί να συμβεί σε ορυχεία όπου οι άνθρωποι θα μπορούσαν να είναι παρόντες. Τα συμβάντα που οφείλονται σε ακούσιες κατακρημνίσεις βραχομάζας συνεπάγονται θανατηφόρες ή μη θανατηφόρες βλάβες σε έναν ανθρακωρύχο ή μια ομάδα ανθρακωρύχων.



Η εξόρυξη (scaling) είναι η συνηθέστερη δραστηριότητα των εργαζομένων τη στιγμή της κατακρήμνισης. Επίσης, ο χειρισμός εκρηκτικών υλικών (handling explosives) αντιπροσωπεύει μεγάλο αριθμό τραυματισμών λόγω της πτώσης οροφής. Τα περισσότερα περιστατικά σημειώνονται ενώ ο εργαζόμενος τοποθετεί εκρηκτικά στην τρύπα ώστε να τα πυροδοτήσει και να γίνει η ανατίναξη.

Οι δραστηριότητες τοποθέτησης αγκίστρων στις οροφές (roof bolting activities) σχετίζονται με μεγάλο αριθμό τραυματισμών από πτώση βράχων, διότι οι ανθρακωρύχοι στην προσπάθειά τους να εγκαταστήσουν τα αγκύρια ώστε να υπάρχει επαρκής υποστήριξη, είναι επιρρεπής σε τραυματισμούς. Η διάτρηση του μετώπου (drilling the face) αντιπροσωπεύει τον μεγαλύτερο αριθμό ατυχημάτων, αφού η γεώτρηση του μετώπου, μπορεί να οδηγήσει σε ατυχήματα κατακρήμνισης και τραυματισμού ενώ τα θύματα αλλάζουν το χάλυβα ή ελέγχουν την ευθυγράμμιση του τρυπανιού.

Η έκρηξη πετρώματος (rockburst) λόγω ολίσθησης ρήγματος μοιάζει με τους φυσικούς σεισμούς. Θραύση ή συντριβή στύλων ή αντερεισμάτων, που προκαλείται από υψηλές τάσεις κοντά στο μέτωπο εξόρυξης, μπορεί να οδηγήσει σε τοπική αστάθεια. Ωστόσο, σε ένα μέτωπο εκμετάλλευσης, μία έκρηξη μετώπου μπορεί να είναι εξίσου καταστροφική με μία έκρηξη ολίσθησης παρακείμενου ρήγματος.

Αυτή η γρήγορη εκτόνωση ενέργειας, είναι μια αστοχία η οποία παρατηρείται σε πολύ σκληρούς βράχους και οφείλεται στις υψηλές τάσεις που επικρατούν σε μεγάλο βάθος. Όταν γίνεται διάνοιξη σήραγγας ή στοάς μέσα σε σκληρό πέτρωμα, δημιουργείται μια ελεύθερη επιφάνεια, η οποία αν δεν αντιστηριχτεί κατάλληλα, λόγω της μείωσης του λόγου  $\sigma_{c,m}/p_0$  (ισοδύναμη αντοχή βραχόμαζας / επιτόπου τάσεις) με το βάθος, υπάρχει περίπτωση να εκδηλωθεί η αστοχία ως εξής : ο σκληρός βράχος μεγάλης αντοχής συγκεντρώνει τάσεις οι οποίες εκτονώνονται απότομα με το πέτρωμα να σπάει σε μικρά κομμάτια, τα οποία εκτοξεύονται προς κάθε κατεύθυνση. Εάν αυτή η διαδικασία δεν αντιμετωπιστεί έγκαιρα ή δεν έχει προβλεφθεί καθόλου, υπάρχει πιθανότητα να γίνει αποκόλληση σημαντικών μαζών και συνεπώς να παρουσιαστεί μια γενικευμένη κατάρρευση που θα οδηγήσει σε μερική ή ολική αστοχία ενός έργου.

Είναι απαραίτητες τεχνικές αναγνώρισης των αναμενόμενων τύπων έκρηξης (Durrheim , 2010) για κάθε σχεδιαζόμενη διάταξη και ακολουθία εξόρυξης, για την επιλογή εκείνης που θα περιορίζει τη συχνότητα των εκρήξεων. Με βάση την υπόθεση ότι οι εκρήξεις πετρώματος οφείλονται σε ασταθή θραύση, στόχοι της ανατίναξης για εκτόνωση, είναι:

- να αυξηθεί ο βαθμός της ανομοιογένειας στη βραχομάζα μέσω του σχηματισμού μικρο-θραύσεων που θα μειώσουν τη δυστροπία της, και
- να προωθήσει την αύξηση της διατμητικής παραμόρφωσης στις υπάρχουσες επιφάνειες θραύσης που θα διαχύσουν ενέργεια μέσω σχηματισμού θρυμμάτων και θέρμανσης. Ο ρυθμός απελευθέρωσης της ενέργειας μπορεί να ελεγχθεί πιο αποτελεσματικά με τον έλεγχο ή περιορισμό της μετατόπισης του πετρώματος πέριξ της εκσκαφής στην περιοχή εξόρυξης. Ο έλεγχος αυτός μπορεί να επιτυγχάνεται με τρόπους, όπως:

**(α)** Παροχή ενεργής υποστήριξης της οροφής σε άμεση γειτνίαση με το μέτωπο χρησιμοποιώντας υδραυλικούς ορθοστάτες, σε συνδυασμό με δέματα (racks) υποστήριξης στο κενό πίσω από αυτούς.

**(β)** Εφαρμογή μερικής εξόρυξης, αφήνοντας τακτικά απέχοντες στύλους καθ' όλο το επίμηκες μέτωπο.

**(γ)** Γόμωση του κενού που εξορύσσετε με απορρίμματα, άμμο ή τέλματα. Η λιθογόμωση είναι μια καλά καθιερωμένη μέθοδος για την παροχή τόσον ευρύτερης όσον και τοπικής υποστήριξης.

Κατά την εκμετάλλευση σε ευθύγραμμα επιμήκη μέτωπα με σκληρό πέτρωμα, η υποστήριξη στα μέτωπα παραγωγής διαφέρει από εκείνη των στοών προσπέλασης. Για την οροφή του δημιουργούμενου κενού κοντά και πίσω από το μέτωπο, η στήριξη περιγράφεται συνήθως ως υποστήριξη του μετώπου. Για τις εκσκαφές πρόσβασης και μεταφοράς, η στήριξη αναφέρεται συνήθως ως υποστήριξη των σηράγγων. Και οι δύο τύποι συστημάτων υποστήριξης δύναται να απαιτούνται για τη σταθεροποίηση της βραχομάζας κάτω από στατικές συνθήκες φόρτισης ώστε να μειώνονται οι κίνδυνοι πτώσης βράχων και έκρηξης κάτω από δυναμικές συνθήκες φόρτισης.

Για να αποφευχθεί, στα ανθρακωρυχεία, η ανεξέλεγκτη κατάρρευση του πετρώματος της οροφής και να προκληθεί αποτελεσματική κατακρήμνιση, απαιτείται υποστήριξη του νέου εκτεθειμένου στρώματος της οροφής αμέσως πίσω από το μέτωπο. Η υποστήριξη αυτή παρέχεται από ορθοστάτες και δοκούς οροφής. Μεμονωμένα στοιχεία ορθοστατών και δοκών χρησιμοποιούνται σήμερα σε επιμήκη μέτωπα περιορισμένης παραγωγής, όπου η εξόρυξη πραγματοποιείται χειρωνακτικά ή η εκμετάλλευση είναι μόνον μερικά εκμηχανισμένα.

## 5.2. Ανάλυση Δέντρου Αστοχιών

Το κύριο γεγονός που θα τεθεί υπό ανάλυση όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι η πτώση οροφής μέσα στο ορυχείο. Η διερεύνηση που θα γίνει είναι αν η κατακρήμνιση οφείλεται σε σκόπιμη ή σε μη προγραμματισμένη διαδικασία.

Σκόπιμη ή προκληθείσα διαδικασία συμπεριλαμβάνει ατυχήματα που οφείλονται σε ανθρώπινη δράση (Human action). Η εξόρυξη (drilling) ξεκινάει με τη διαδικασία της διάτρησης, όπου γίνεται όρυξη διατρημάτων (οπών) με τη βοήθεια ενός διατρητικού φορείου υπογείων από το μέτωπο εκσκαφής εντός της μάζας του πετρώματος ώστε να τοποθετηθούν εκρηκτικά.



Σχήμα 12. Εξόρυξη (IMINCO, 2020).

Ακολουθεί η γόμωση (bolting), που είναι η διαδικασία τοποθέτησης εκρηκτικών υλών στα διατρήματα. Έπειτα γίνεται η πυροδότηση των διατρημάτων, δηλαδή η ανατίναξη των εκρηκτικών υλών ώστε να επιτευχθεί η διάρρηξη της συνοχής του πετρώματος. Στη συνέχεια γίνεται αερισμός της περιοχής, για την απαγωγή των αερίων της ανατίναξης και της αεροφερόμενης σκόνης και η βελτίωση της ποιότητας αέρα στην περιοχή του μετώπου εκσκαφής.



Σχήμα 13. Bolting (Consolidation Coal Company. Bishop Mine, 2020).

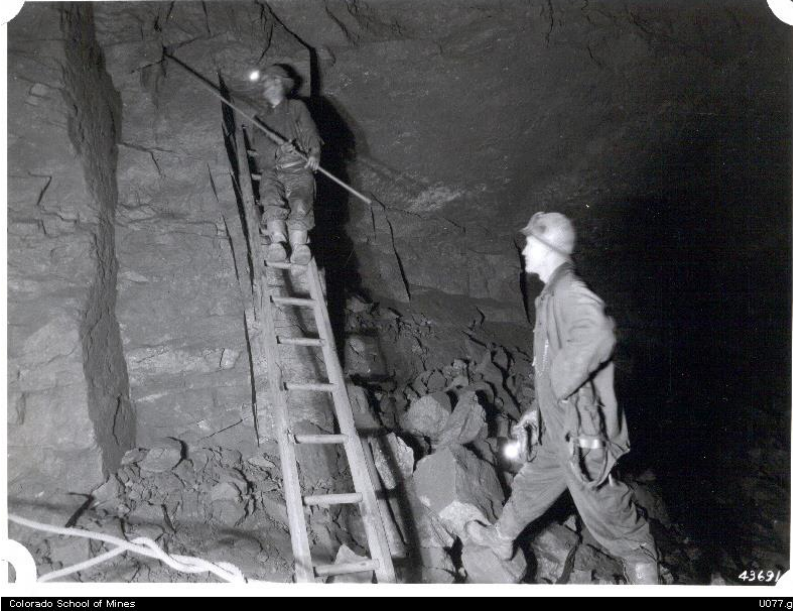
Ο κύκλος της εξόρυξης συνεχίζεται με τη διαδικασία της αποκομιδής (μεταφορά - mucking), δηλαδή της διαδικασίας απομάκρυνσης των προϊόντων της ανατίναξης (θραυσμένου υλικού) από την περιοχή του μετώπου προς την επιφάνεια.



Σχήμα 14. Mucking (Tony Stones, 2020).



Στη συνέχεια ακολουθεί το ξεσκάρωμα (barring down), που είναι η διαδικασία εκούσιας και ελεγχόμενης απόσπασης επισφαλών και ασταθών τμημάτων/όγκων της οροφής ώστε να αποφευχθεί η μη ελεγχόμενη) πτώση τους στο μέλλον.



**Σχήμα 15. Ξεσκάρωμα (Arthur Lakes Librar, 2020).**

Τέλος, πολύ σημαντική είναι η υποστήριξη του μετώπου, όπου εφαρμόζονται τεχνητά μέτρα ενίσχυσης της αντοχής του πετρώματος και κυρίως της οροφής. Γίνεται κυρίως είτε με την κοχλίωση της οροφής (εισαγωγή μεταλλικών ράβδων εντός διατρημάτων) είτε με την εφαρμογή ξύλινων ή μεταλλικών πλαισίων που υποστηρίζουν την διατομή του υπογείου έργου.

Είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη και η λειτουργία του ανθρακωρύχου μέσα στο ορυχείο, οποίος θα πρέπει να έχει λάβει κατάλληλα μέτρα ασφαλείας και θα πρέπει να μην προχωράει σε αλλαγές στη μέθοδο της εξόρυξης.

Μη προγραμματισμένα ή ακούσια ατυχήματα κατά την εξόρυξη είναι ατυχήματα που μπορεί να οφείλονται σε αποτυχία της βραχομάζας, σε αποτυχία του συστήματος υποστήριξης και σε ατυχήματα που οφείλονται σε σεισμική δραστηριότητα.

Η αποτυχία της βραχομάζας μπορεί να προκληθεί είτε από μεγάλο πλάτος οροφής, είτε από εκρήξεις πετρώματος που έχουν περιγράψει παραπάνω, είτε από

κεκλιμένο δάπεδο, είτε από θρυμματισμένα διάσπαρτα στρωσίδια, είτε από άλλη αδυναμία που μπορεί να οφείλεται στην παλαιότητα του ορυχείου.



**Σχήμα 16. Πλάτος στέγης σε ένα ορυχείο (Esterhuizen, 2011)**

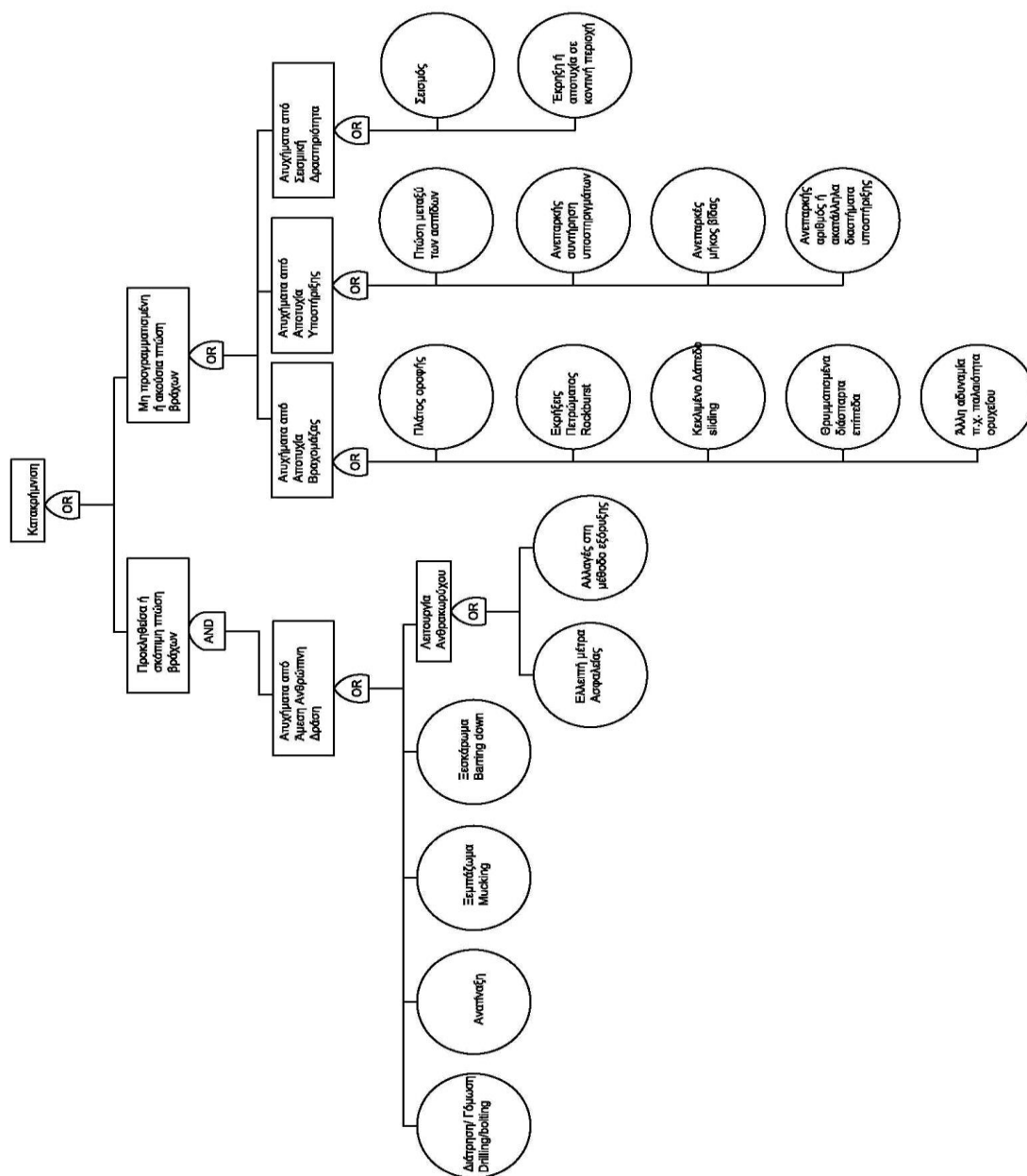
Η κατακρήμνιση είναι δυνατό, επίσης, να προκληθεί και από ατυχήματα που οφείλονται σε αποτυχία του συστήματος υποστήριξης. Εάν το πέτρωμα δεν έχει στηριχθεί σωστά μπορεί να υπάρξει πτώση μεταξύ των ασπίδων. Επίσης η αποτυχία του συστήματος υποστήριξης μπορεί να προέλθει από την ανεπαρκή συντήρηση του συστήματος υποστήριξης. Επίσης, είναι πιθανό να προκληθεί ανεπάρκεια υποστήριξης αν η βίδα που θα χρησιμοποιηθεί έχει μικρότερο μέγεθος από το επιθυμητό. Φυσικά και ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας είναι να υπάρχει επάρκεια αριθμού υποστηριγμάτων και κατάλληλα διαστήματα μεταξύ των υποστηριγμάτων.



**Σχήμα 17. Επισκευή μιας μεγάλης πτώσης στέγης στην οποία θεωρείται ότι η οριζόντια καταπόνηση έχει συμβάλει στην αποτυχία (Estenhuizen, Dolinar, Ellenberger, Prosser, & Iannacchione, 2011).**

Τέλος, είναι πολύ πιθανό να εμφανιστεί φαινόμενο κατακρήμνισης σε περίπτωση σεισμικής δραστηριότητας στην περιοχή ή σε περίπτωση που συμβεί κάποια έκρηξη σε κοντινή περιοχή με αυτήν της περιοχής εξόρυξης.





Σχήμα 18. Δέντρο αστοχιών (κατακρήμνιση) (Estenhuizen, Dolinar, Ellenberger, Prosser, & Iannacchione, 2011)

### 5.3. Προβλήματα από κατακρήμνισεις σε υπόγεια ορυχεία

Κατά τη διάρκεια υπόγειας ανασκαφής μπορούν να πέσουν στο χώρο εργασίας των ανθρακωρύχων, εάν το έδαφος δεν υποστηρίζεται επαρκώς, βράχοι από την πλάτη, τους τοίχους και το μέτωπο. Οι δύο πιο συνηθισμένοι τύποι βράχων που μπορούν να προκαλέσουν πτώση μάζας βράχου είναι:

- Χαλαρά μπλοκ που πέφτουν ή ολισθαίνουν από τις επιφάνειες των βράχων μιας υπόγειας ανασκαφής.
- Εκτόξευση βράχου από τις επιφάνειες των βράχων εξαιτίας της βλάβης της βράχου λόγω των προκαλούμενων από την εξόρυξη τάσεων. Αυτό είναι συνήθως θορυβώδες, ακούγεται εύκολα ο θόρυβος, ο χτύπος και οι κτυπήματα.

Το δυναμικό της κατακρήμνισης μπορεί να αυξηθεί με:

- Σεισμικά συμβάντα
- Έκθεση του βράχου στον αέρα και υγρασία
- Δόνηση, διάτρηση ή κραδασμοί στους οδικούς άξονες
- Αλλαγές στην πίεση του βράχου
- Υποβάθμιση της στήριξης εδάφους

Για να αναβαθμιστεί η ποιότητα εργασίας των ανθρακωρύχων είναι απαραίτητο να λαμβάνονται ασφαλείς πρακτικές στον χώρο εργασίας. Είναι σημαντικό να χρησιμοποιούνται ελεγχόμενες μέθοδοι γεώτρησης και ανατίναξης για να μπορούν να ελαχιστοποιούνται οι ζημιές από εκρήξεις. Για να ελεγχθεί η περιοχή που ανατινάχθηκε πρέπει να υπάρξει επαρκής στήριξη και φωτισμός της οροφής έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί πλήρης επιθεώρηση της επιφάνειας του βράχου στο μέτωπο, τους τοίχους και την πλάτη του.

Είναι επίσης σημαντικό να εντοπιστούν τα επίπεδα αδυναμίας του βράχου (π.χ. ορατές επίπεδες επιφάνειες, ρωγμές ή να περιέχονται μαλακά αργιλώδη υλικά). Σε περίπτωση που υπάρχει συνεχές επίπεδο αδυναμίας για πάνω από 2 m, κατά το μήκος ή το πλάτος της εκσκαφής, θα πρέπει να αντιμετωπίζεται με προσοχή. Συνήθως, μικρά και ενδεχομένως χαλαρά μπλοκ μπορούν να σχηματιστούν από

μικρά μήκη αρμών ή άλλα επίπεδα αδυναμίας. Απότομα βυθισμένα πετρώματα στα πλαϊνά τοιχώματα μπορεί να ανατραπούν ή να πέσουν από τα πλευρικά τοιχώματα, συνεπώς είναι απαραίτητο ο ανθρακωρύχος να γνωρίζει ότι το έδαφος είναι ελεύθερο σε περίπτωση που απαιτηθεί επείγουσα υποχώρηση.

Επισημαίνεται ότι κάποια ασταθή μπλοκ και πλάκες χρειάζονται στήριξη με αγκύρια βράχου, ενώ σε πολύ μεγάλα και ασταθή μπλοκ απαιτείται να χρησιμοποιηθεί τρυπάνι για την απόσπαση και απομάκρυνση τους. Μπορεί να εγκατασταθεί υποστήριξη και προστασία της επιφάνειας με πλέγμα ή σκυρόδεμα πριν εισέλθουν οι ανθρακωρύχοι σε μια περιοχή που δεν υποστηρίζεται.

Καλό είναι φυσικά να αναγνωρίζονται οποιεσδήποτε αλλαγές στις συνθήκες του εδάφους σε όλες τις προσβάσιμες περιοχές και στους χώρους εργασίας (π.χ. εμφάνιση ή εξαφάνιση νερού, φρέσκια ρωγμή ή απροσδόκητο θόρυβο από βράχο) και να αναφέρονται στα εμπλεκόμενα μέρη, καθώς και οποιαδήποτε υποβάθμιση στο έδαφος, όπως διάβρωση, αποτυχημένη στήριξη, ελλείψεις πινακίδων, χαλασμένα πλέγματα, σπασμένους ιμάντες και σκασμένα σκυροδέματα.

Οι κατακρημνίσεις στα υπόγεια ορυχεία στις Η.Π.Α. εξακολουθούν να αποτελούν σημαντική αιτία θανατηφόρων ή μη θανατηφόρων τραυματισμών μεταξύ των ανθρακωρύχων. Τα τελευταία τριάντα χρόνια, ο βελτιωμένος έλεγχος εδάφους, ο σχεδιασμός υποστήριξης και η κατάρτιση σε θέματα ασφάλειας για τους ανθρακωρύχους κατάφεραν να μειώσουν τα περιστατικά κατακρήμνισης και τα συγγενή περιστατικά, αλλά το πρόβλημα παραμένει σημαντικό.

## **6. Εγκλωβισμός μπουλντόζας σε υπόγεια κενά σε λιγνιτωρυχεία (case study 3)**

Τα λιγνιτωρυχεία της ΔΕΗ που υπάρχουν στην Πτολεμαΐδα και τη Μεγαλόπολη εξασφαλίζουν το σημαντικότερο για την ελληνική οικονομία ενεργειακό καύσιμο, το λιγνίτη. Ο λιγνίτης βρίσκεται σε αφθονία στο υπέδαφος της Ελλάδας, στον οποίο βασίστηκε και ο εξηλεκτρισμός της χώρας μας από την ίδρυση της Δ.Ε.Η. Υπάρχουν συνολικά 8 λιγνιτικοί σταθμοί της Δ.Ε.Η. και αποτελούν το 42% της εγκατεστημένης ισχύος και παράγουν το 56% περίπου της καθαρής ηλεκτρικής παραγωγής της (ΔΕΗ, 2020).

Η χρήση του λιγνίτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αποφέρει μεγάλα στην Ελλάδα περίπου 1 δισ. δολάρια ετησίως. Ο λιγνίτης έχει χαμηλό κόστος εξόρυξης, σταθερή και άμεσα ελέγξιμη τιμή και παρέχει σταθερότητα και ασφάλεια στον ανεφοδιασμό καυσίμου.

Η χώρα μας κατέχει τη δεύτερη θέση σε παραγωγή λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση και την έκτη θέση παγκοσμίως. Σύμφωνα με στοιχεία της Δ.Ε.Η., οι υπάρχουσες ποσότητες λιγνίτη επαρκούν για τα επόμενα 45 χρόνια στην Ελλάδα. Μέχρι σήμερα έχουν εξορυχθεί συνολικά 1,3 δισ. τόνοι λιγνίτη ενώ τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα ανέρχονται σε 3,1 δισ. τόνους περίπου. Το 2006 εξορύχθησαν συνολικά 62,5 εκ. τόνοι. Στη Δυτική Μακεδονία, στις περιοχές της Φλώρινα, της Πτολεμαΐδας, της Κοζάνης και της Ελασσόνας βρίσκονται τα μεγαλύτερα αποθέματα λιγνίτη (ΔΕΗ, 2020).



Σχήμα 19. Εργοστάσιο ΔΕΗ (ΔΕΗ, 2020).

Ο λιγνίτης βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους σε βάθος που κυμαίνεται από 60 – 250 μ. περίπου και για να τον εξορύξουμε πρέπει πρώτα να διακινήσουμε τα υλικά που βρίσκονται πάνω από αυτόν, δηλαδή τα υπερκείμενα. Η εξόρυξη των υπερκειμένων και στη συνέχεια του λιγνίτη, γίνεται με μεγάλα ηλεκτροκίνητα μηχανήματα συνεχούς λειτουργίας, τους Καδοφόρους Εκσκαφείς (Κ/Ε). Από τα υλικά που εξορύσσονται, ο λιγνίτης μεταφέρεται στους Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς και τα υπερκείμενα και ενδιάμεσα υλικά, μεταφέρονται και αποτίθενται στις περιοχές στις οποίες έχει προηγηθεί εξόρυξη.

Ο καδοφόρος εκσκαφέας είναι ένας ηλεκτροκίνητος εκσκαφέας μεγάλου μεγέθους και δυναμικότητας και έχει τη δυνατότητα εκλεκτικής κοπής – εξόρυξης των υλικών. Αυτό βοηθάει πάρα πολύ την εξόρυξη του λιγνίτη γιατί στα κοιτάσματα του λιγνίτη εμφανίζονται εναλλαγές λιγνίτη και στείρου υλικού. Το κυριότερο μειονέκτημα του είναι ότι δεν μπορεί να εξορύξει σχηματισμούς με μεγάλη αντοχή δηλαδή σκληρούς σχηματισμούς. Τα υλικά που εξορύσσονται μέσω συστημάτων

ταινιόδρομων μεταφέρονται στην τομοταινία. Η μεταφορά του λιγνίτη και των στείρων υλικών, γίνεται με τους ταινιοδρόμους (Τ/Δ), οι οποίοι μπορούν να μεταφέρουν συνεχώς σε μακρινές αποστάσεις μεγάλες ποσότητες υλικών. Η απόθεση των στείρων υλικών στις περιοχές όπου έχει αποληφθεί ο λιγνίτης, γίνεται με μεγάλα ηλεκτροκίνητα μηχανήματα, τους αποθέτες. Αυτός είναι ο κύκλος για την εξόρυξη και εκμετάλλευση του λιγνίτη. Στη διαδικασία, συμμετέχουν και άλλα μικρότερα μηχανήματα τα οποία υποστηρίζουν τα ηλεκτροκίνητα μηχανήματα στη λειτουργία τους.

Προκειμένου οι ποσότητες λιγνίτη να αποθηκευτούν κατάλληλα για τη μελλοντική επεξεργασία τους και μεταφορά στα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται εγκαταστάσεις προσωρινής αποθήκευσης.

Στις εγκαταστάσεις αυτές, οι λιγνίτες τοποθετούνται σε μεγάλες στοίβες. Για τη μεταφορά τους χρησιμοποιούνται ειδικά μηχανήματα όπως μεγάλοι εκσκαφείς, μπουλντόζες και φορτηγά που μετακινούν τους λιγνίτες στα προκαθορισμένα σημεία όπου δημιουργούν στοίβες. Καθώς αυτές οι στοίβες αλλάζουν συνεχώς μέγεθος και μορφή αυξάνεται η επικινδυνότητα για την εκδήλωση κάποιου σοβαρού ατυχήματος.



Σχήμα 20. Εγκαταστάσεις αποθήκευσης λιγνίτη (ΔΕΗ, 2020).

## 6.1. Πτώση μπουλντόζας στο κενό λιγνιτωρυχείου

Μετά από την δημιουργία της στοίβας λιγνίτη, ειδικές μπουλντόζες αναλαμβάνουν την κατανομή του λιγνίτη σε όλο το μήκος των στομιών βοηθώντας έτσι και στην αύξηση της χωρητικότητας της στήλης. Η χωρητικότητα της περιορίζεται μέσω του ύψους της στοίβας λιγνίτη που δημιουργεί και λόγω του διάκενου μεταξύ των στοιβών και των στομιών. Οι μπουλντόζες επίσης σπρώχνουν τους λιγνίτες προς τα σημεία που βρίσκονται τα στόμια τα οποία υποδεικνύονται μέσω ειδικών φωτεινών σηματοδοτών.

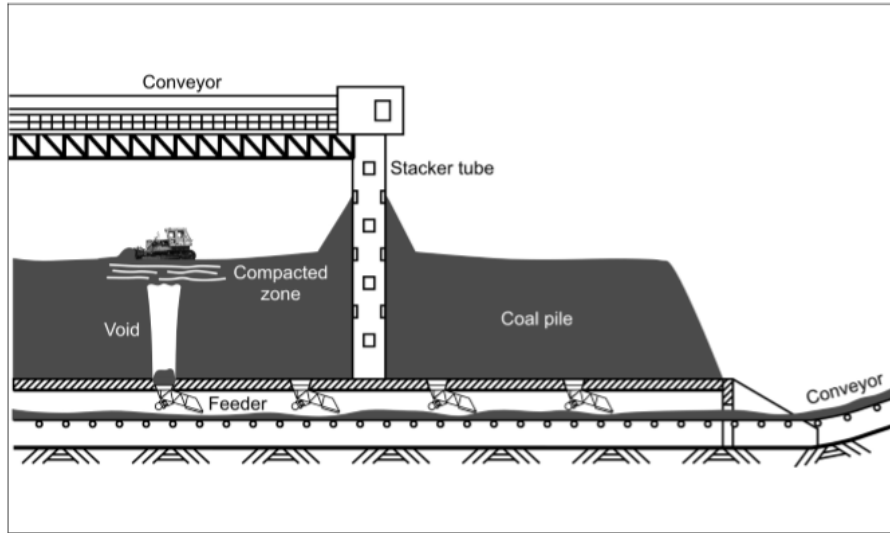
Τα στόμια είναι τεχνητές καταβόθρες οι οποίες βρίσκονται κάτω από την στοίβα λιγνίτη και ανοίγουν ή κλείνουν ανάλογα με την κατάσταση στην οποία θέλουμε να βρίσκεται το σύστημα μας. Μέσω αυτών οι λιγνίτες πέφτουν πάνω σε ειδικό ιμάντα που τους μεταφέρει σε προκαθορισμένη τοποθεσία για μετέπειτα επεξεργασία. Τα στόμια δεν λειτουργούν όλα ταυτόχρονα ώστε να υπάρχει συγκεκριμένη ροή αλλά και για θέμα ασφάλειας όταν λειτουργούν οι μπουλντόζες σε εκείνη την περιοχή.

Στα σημεία που βρίσκονται τοποθετημένα τα στόμια πρέπει να υπάρχει ειδική σήμανση, φωτεινοί σηματοδότες και ταμπέλες. Με αυτό τον τρόπο υποδεικνύουν στους εργοδηγούς, στους πεζούς εργάτες και τους χειριστές των μηχανημάτων την ακριβή τοποθεσία κάτω από την οποία βρίσκονται τα στόμια.

Επίσης είναι σημαντικό να υπάρχουν χαρτογραφημένα ακόμη και σε ψηφιακή μορφή (GPS) τα σημεία ύπαρξης στομιών ώστε να μέσω ειδικού εξοπλισμού οι μπουλντόζες και οι εργάτες να χαράσσουν την ασφαλέστερη πορεία.

Στην περίπτωση που τα στόμια βρίσκονται σε λειτουργία (είναι ανοιχτά) είναι απαραίτητο να υπάρχει ένα σύστημα σήμανσης που να τα δηλώνει και με το τρόπο αυτό να μην υπάρχουν ατυχήματα κατά τη διάρκεια της εργασίας (Χωροπανίτης, 2006).





Σχήμα 21. Τεχνητές Καταβόθρες (Χωροπανίτης, 2006).

Μέσω της παραπάνω διαδικασίας που περιγράψαμε μπορεί να προκληθούν σοβαρά ατυχήματα. Κατά τη διάρκεια μεταφοράς λιγνίτη από την στήλης παροχής προς τα σημεία που βρίσκονται τα στόμια, λόγω λάθος χειρισμών η μπουλντόζα να πλησιάσει πολύ κοντά στην τρύπα που οδηγεί στα στόμια την ώρα που είναι ανοιχτή και να πέσει μέσα σε αυτή. Δεν γίνεται πολύ συχνά και οφείλεται κυρίως στην απροσεξία του χειρίστη της μπουλντόζας.

Η πλειοψηφία των σοβαρών ατυχημάτων είναι όταν δημιουργείται μια επιφανειακή στρώση υλικού κάτω από την οποία όμως υπάρχει κενό. Η μπουλντόζα πλησιάζει αυτή την περιοχή και χωρίς κάποιο εμφανές σημάδι στην επιφάνεια, το έδαφος υποχωρεί λόγω του βάρους του μηχανήματος ή ακόμα και του ανθρώπου σε κάποιες περιπτώσεις και πέφτει μέσα σε αυτό το κενό.





Σχήμα 22. Πτώση μπουλντόζας στο διάκενο (Χωροπανίτης, 2006)

Η σωστή διαδικασία για την εκφόρτωση του λιγνίτη είναι η επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας στην άκρη του λόφου με τη χρήση φορτηγών. Σε αυτούς του λόφους δημιουργούνται απότομες πλαγιές και οι άκρες τους δεν είναι πάντα σταθερές. Κατά την εκφόρτωση τα οχήματα πλησιάζουν με το πίσω μέρος του την άκρη της πλαγιάς με αποτέλεσμα πολλές φορές λόγω λάθος εκτίμησης του χειριστή αλλά και του βάρους του μηχανήματος αλλά και του φορτίου να υποχωρεί η άκρη του λόφου και να συμπαρασύρει μαζί της το φορτηγό και το προσωπικό.

Τα ατυχήματα από τη πτώση του φορτηγού οχήματος κατά την εκφόρτωση μπορούν να αποφευχθούν με διάφορες μεθόδους, όπως:

- Μέσω καλής εκπαίδευσης και εμπειρίας του οδηγού ώστε να τοποθετεί σωστά το φορτίο στην άκρη του λόφου.
- Να γίνεται χρήση δοκού, ο οποίος να τοποθετείται κατά μήκος της άκρης του λόφου και σε ασφαλή απόσταση και να εμποδίζει το φορτηγό να ξεπεράσει αυτό το όριο.
- Το φορτηγό να ξεφορτώνει το φορτίο του πιο μακριά από την άκρη του λόφου και στην συνέχεια ένας εκσκαφέας να σπρώχνει το φορτίο προς την άκρη.

## 6.2. Ανάλυση Δέντρου Αστοχιών

Οι χώροι αποθήκευσης λιγνίτη αποτελούν σημεία υψηλής επικινδυνότητας λόγω των συνθηκών εργασίας, της χρήσης βαρέων οχημάτων και των υλικών που διαχειρίζονται και για αυτό το λόγο είναι πολύ σημαντική η χρήση αυστηρών μέτρων προστασίας, σχεδιασμού και προγραμματισμού για την πρόληψη και αποφυγή σοβαρών εργατικών ατυχημάτων που μπορεί να γίνουν και θανατηφόρα.

Στη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης έχουμε ως κορυφαίο γεγονός τον τραυματισμό ή θάνατο από εγκλωβισμό σε υπόγειο διάκενο. Αυτό μπορεί να συμβεί λόγω λανθασμένων ενεργειών και καταστάσεων.

Κύριες προϋποθέσεις για τη δημιουργία ατυχήματος κατά την πτώση μπουλντόζας είναι η ανεπαρκής προφύλαξη κατά τον εγκλωβισμό και η πτώση της μπουλντόζας σε υπόγειο διάκενο.

Όσο αφορά τη πτώση μπουλντόζας μέσα στο διάκενο μπορεί να συμβεί είτε από τον ίδιο το σχηματισμό του υπογείου διακένου είτε από την τοποθέτηση της μπουλντόζας πάνω από το διάκενο. Κατά την δημιουργία υπογείου διακένου υπάρχει σχηματισμός επιφανειακού τόξου στήριξης που όμως επηρεάζεται από τη χαμηλή θερμοκρασία εδάφους και αυτό οδηγεί στο να παγώνει η επιφάνεια του λιγνίτη που σε συνδυασμό της υγρασίας και των διερχόμενων νερών μπορούν να επηρεάσουν το τόξο στήριξης. Επιπλέον, για τον σχηματισμό του υπογείου διακένου σημαντικό ρόλο λαμβάνουν η συμπίεση μαζών λόγω του βάρους των οχημάτων και της αρκετής υγρασίας στο υπέδαφος. Επίσης, όταν υπάρχουν μειωμένες εργασίες στον σωρό αυτός έχει την τάση να αυξάνει τις πιθανότητες εμφάνισης του φαινομένου του διακένου.

Στην περίπτωση τοποθέτησης μπουλντόζας πάνω από το διάκενο πρέπει, ή να μην υπάρχει παραβίαση διαδικασιών για εργασίες σε αποθεματικούς σορούς ή να είναι επαρκής ο εντοπισμός ενεργητικών στομιών. Για να αποφευχθεί αυτό είναι απαραίτητη η σωστή εκπαίδευση των οδηγών πάνω στις καλές πρακτικές και την τήρηση των μέτρων ασφαλείας αλλά και η εποπτεία αυτών από τον υπεύθυνο ασφαλείας (τεχνικό ασφαλείας) από την αίθουσα ελέγχου μέσω καμερών. Η πτώση μπουλντόζας σε διάκενο μπορεί να προκληθεί από τον ανεπαρκή εντοπισμό

ενεργητικών στομίων, ο οποίος συμβαίνει λόγω ανεπαρκούς επικοινωνία με την αίθουσα ελέγχου, απόσπαση προσοχής ή κούραση, ανεπαρκής ορατότητα ή ανεπαρκής σήμανση στομίων.

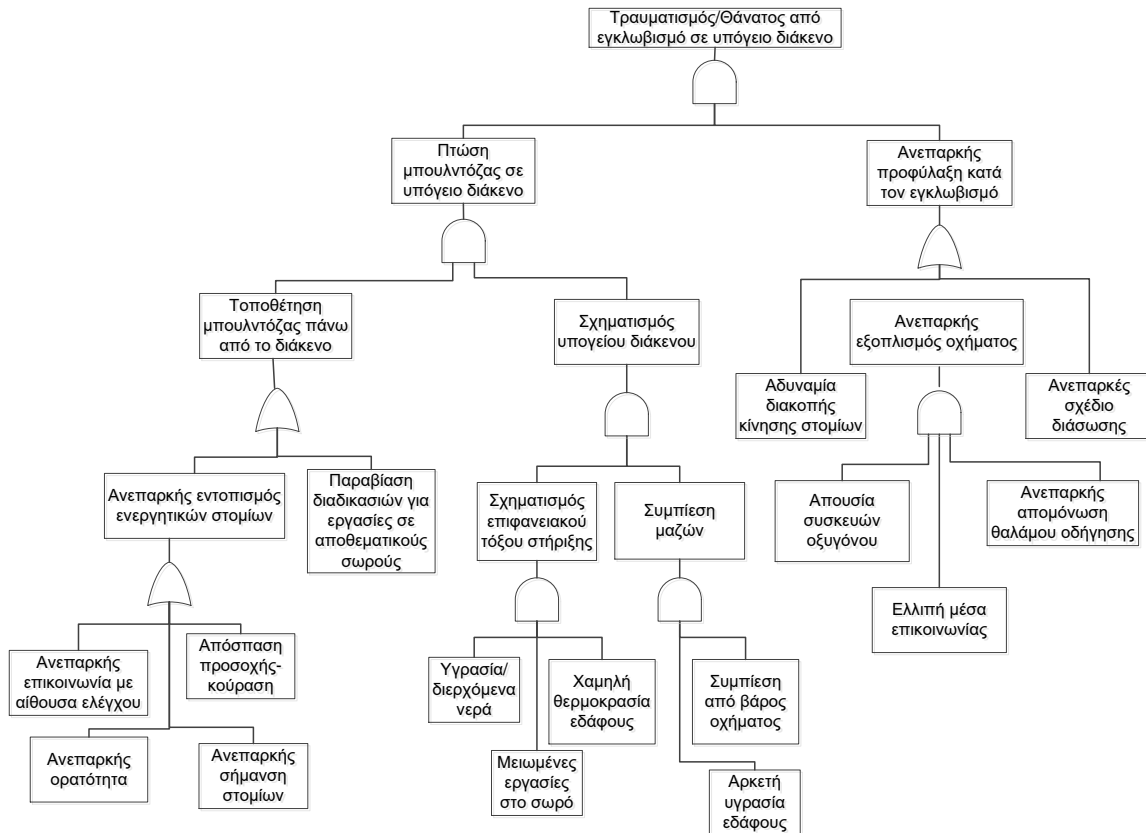
Στην περίπτωση πτώσης μπουλντόζας σε διάκενο μπορεί να προκληθεί ατύχημα και από την ανεπαρκή προφύλαξη κατά τον εγκλωβισμό, λόγω της αδυναμίας διακοπής της κίνησης των στομίων, του ανεπαρκούς σχεδίου διάσωσης, ή του ανεπαρκούς εξοπλισμού του οχήματος.

Η διακοπή κίνησης των στομίων θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί μέσω της χρήσης ενός αυτόματου συστήματος που διαθέτει ο υπεύθυνος ασφαλείας και ο οδηγός του οχήματος. Το σχέδιο διάσωσης θα πρέπει να έχει εκπονηθεί από εξειδικευμένους μηχανικούς και να περιλαμβάνει όλα τα πιθανά σενάρια καθώς επίσης και να έχει γίνει σωστή εκπαίδευση και ασκήσεις σε όλο το προσωπικό για την σωστή εφαρμογή του.

Όσον αφορά τον εξοπλισμό του οχήματος η απουσία συσκευών οξυγόνου, η έλλειψη μέσων επικοινωνίας και η ανεπαρκής απομόνωση του θαλάμου του οδηγού μπορούν να οδηγήσουν στον θάνατο του οδηγού.

Στο ατομικό πακέτο έκτακτης ανάγκης που πρέπει να υπάρχει σε κάθε όχημα περιλαμβάνει η συσκευή οξυγόνου. Η οποία πρέπει να ελέγχεται τακτικά και να γίνεται η συντήρηση της αλλά και εκπαίδευση για την χρήση όλου του πακέτου έκτακτης ανάγκης. Ο θάλαμος πρέπει να διαθέτει άθραυστα τζάμια για να αντέχουν μεγάλες πιέσεις και κρούσεις. Επίσης, θα πρέπει να διατίθεται ασφαλής και αξιόπιστος τρόπος επικοινωνίας σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

Αυτά τα τρία είναι απαραίτητο να συνυπάρχουν ταυτόχρονα ώστε να θεωρείται επαρκής ο εξοπλισμός του οχήματος και έτσι να αυξηθούν οι πιθανότητες επιβίωσης του οδηγού σε περίπτωση εγκλωβισμού (Παπαγιάννης & Ρούσσος , 2012).

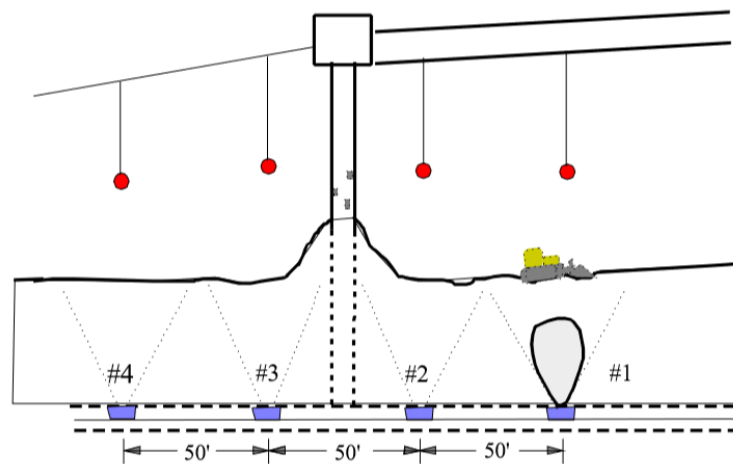


**Σχήμα 23. Δέντρο Αστοχιών τραυματισμός / θάνατος από εγκλωβισμό σε υπόγειο διάκενο**

Στα σημεία που βρίσκονται τοποθετημένα τα στόμια πρέπει να υπάρχει ειδική σήμανση, φωτεινοί σηματοδότες και ταμπέλες. Με αυτό τον τρόπο υποδεικνύουν στους εργοδηγούς, στους πεζούς εργάτες και τους χειριστές των μηχανημάτων την ακριβή τοποθεσία κάτω από την οποία βρίσκονται τα στόμια.

Επίσης είναι σημαντικό να υπάρχουν χαρτογραφημένα ακόμη και σε ψηφιακή μορφή (GPS) τα σημεία ύπαρξης στομιών ώστε να μέσω ειδικού εξοπλισμού οι μπουλντόζες και οι εργάτες να χαράσσουν την ασφαλέστερη πορεία.

Στην περίπτωση που τα στόμια βρίσκονται σε λειτουργία (είναι ανοιχτά) είναι απαραίτητο να υπάρχει ένα σύστημα σήμανσης που να τα δηλώνει και με το τρόπο αυτό να μην υπάρχουν ατυχήματα κατά τη διάρκεια της εργασίας.



Σχήμα 24. Σωστή θέση σηματοδοτών (Χωροπανίτης, 2006).

Όταν οι εργασίες πραγματοποιούνται με μειωμένη ορατότητα είτε κατά τη δύση του ηλίου πρέπει να υπάρχει επαρκής φωτισμός. Τόσο ο κινούμενος όσο και ο σταθερός εξοπλισμός της μονάδας καθώς και τα κτίρια πρέπει να έχουν φωτισμό για τα ίδια όσο και για τον χώρο εργασίας για τη διευκόλυνση της δραστηριότητας. Σημαντικό είναι και οι ίδιοι οι εργάτες να διαθέτουν ειδικό εξοπλισμό για να

γίνονται αντιληπτοί από τα οχήματα αλλά και για να κινούνται με μεγαλύτερη ασφάλεια στο χώρο του εργοταξίου.

Όλα τα μηχανήματα τα οποία χρησιμοποιούνται για την εκφόρτωση – φόρτωση του λιγνίτη είναι απαραίτητο να έχουν ειδικό εξοπλισμό που να τα προστατεύει σε περίπτωση ανατροπής ή της πτώσης μέσα στο διάκενο.

Επιπλέον πρέπει να υπάρχει σύστημα επικοινωνίας μεταξύ του οχήματος και του επιβλέποντα μηχανικού ασφαλείας σε περιπτώσεις ατυχήματος. Σε περίπτωση εγκλωβισμού, το όχημα θα πρέπει να διαθέτει παράθυρα ασφαλείας που να αντέχουν σε μεγάλες πιέσεις και να μην σπάνε υπό το βάρος λιγνίτη αλλά και η καμπίνα να είναι απομονωμένη από το εξωτερικό περιβάλλον.

Είναι πολύ σημαντικό και απαραίτητη η ύπαρξη ένας πακέτου άμεσης ανάγκης (Shell Contained Self Rescued) το οποίο θα επαρκεί ακόμη και στην χειρότερη περίπτωση εγκλωβισμού ώστε να δίνει αρκετό χρόνο στους διασώστες για να απεγκλωβίσουν το προσωπικό. Το πακέτο αυτό θα περιλαμβάνει ένα σύστημα παροχής οξυγόνου, φωτισμό ασφαλείας αλλά και νερό.

Οι οδηγοί καθώς και οι συντηρητές του εργοταξίου θα πρέπει να ελέγχουν καθημερινά την καλή λειτουργία του εξοπλισμού. Προϋπόθεση αυτού είναι να έχουν λάβει και τη σωστή εκπαίδευση για την ορθή του χρήση όλου του εξοπλισμού (μηχανήματα, ιμάντες κ.τ.λ.). Σημαντικό επιπλέον είναι οι διασώστες να έχουν ιμάντα για να τραβήξουν το όχημα από την τρύπα σε περίπτωση πτώσης ή εγκλωβισμού.

Απαραίτητη είναι και η παρουσία ενός συστήματος (πιθανόν κουμπί) ασφαλείας που σε περίπτωση ανάγκης-ατυχήματος να μπορεί είτε ο τεχνικός ασφαλείας, είτε ο εργοδηγός να σταματάει όλες τις λειτουργίες που λαμβάνουν χώρα στο εργοτάξιο εκείνη την στιγμή (Κοϊνάκης, 2010).

## 7. Ανατροπή εκσκαφέα (case study 4)

### 7.1. Γενικά

Τα φορτηγά είναι τα κύρια μέσα μεταφοράς σε επιφανειακά ανθρακικά, μεταλλικά και μη μεταλλικά ορυχεία. Ο αριθμός των θανατηφόρων ατυχημάτων που συμβαίνουν με φορτηγά είναι υψηλότερος σε σύγκριση με όλους τους άλλους εξοπλισμούς εξόρυξης.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε αυτή τη περίπτωση η τεχνική Ανάλυσης Δέντρων αστοχιών (FTA), η οποία αναλύει συστηματικά τα ατυχήματα αυτά. Τα αποτελέσματα της μελέτης θα δείξουν ποιες είναι οι κοινές αιτίες που οφείλονται σε ατυχήματα ανατροπής εκσκαφέα. Οι δύο πιο κοινές αιτίες αυτών των ατυχημάτων είναι ο ανεπαρκής ή ακατάλληλος προ εγχειρητικός έλεγχος και η κακή συντήρηση των φορτηγών.

Σύμφωνα με την καταγραφή που έχει κάνει η διοίκηση ασφάλειας και υγείας των ορυχείων (MSHA, 2015), υπήρχαν 633 θάνατοι από εξόρυξη στις Ηνωμένες Πολιτείες μεταξύ 1995 και 2011 οι οποίοι αποδίδονται στη γενική κατηγορία: Εξοπλισμός (μηχανήματα, μεταφορά και ανύψωση) η οποία υπο-κατηγοριοποιείται και περιλαμβάνει: ιμάντες μεταφοράς, φορτηγά έλξης, φορτωτές, τρυπάνια, ανυψωτικά οχήματα, φόρτωση φορτίου (LHD), διάφορος εξοπλισμός (φτυάρι, γερανός, βυθοκόρος, τρακτέρ, φορτηγό, ατμομηχανή, φορτηγό καυσίμων, κ.λπ.).

Παρά την πρόοδο που έχει επιτευχθεί στη μείωση των θανάτων που σχετίζονται με φορτηγά, ο αριθμός και η σοβαρότητα των ατυχημάτων παραμένουν απαράδεκτα. Επομένως, υπάρχει ανάγκη να κατανοήσουμε καλύτερα τις βασικές αιτίες αυτών των ατυχημάτων.

Η Ανάλυση Δέντρων αστοχιών (FTA) είναι μια από τις πολλές συμβολικές τεχνικές αναλυτικής λογικής. Περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός γραφικού μοντέλου μέσα σε ένα σύστημα που μπορεί να οδηγήσει σε ένα προβλέψιμο, ανεπιθύμητο συμβάν απώλειας, το οποίο αναφέρεται ως το «Top Event», καθώς βρίσκεται στην κορυφή του Fault Tree (FT). Δεν είναι μοντέλο με όλες τις πιθανές αιτίες για αστοχία του συστήματος, αλλά περιλαμβάνει αυτά τα σφάλματα που συνέβαλαν στο



ανεπιθύμητο «Top Event». Το FTA είναι ένα εργαλείο ανάλυσης που προχωρά αφαιρετικά από την εμφάνιση ενός ανεπιθύμητου συμβάντος για τον εντοπισμό των βασικών αιτίων αυτού (Iverson, Kerkering, & Coleman, 2003).

### **7.1.1. Λειτουργία και ασφάλεια αυτόνομου εκσκαφέα**

Μια ομάδα στα τμήματα πληροφορικής και μηχανικής του Πανεπιστημίου του Λάνκαστερ συμμετείχε στην ανάπτυξη ενός εγχειριδίου ασφαλείας για έναν αυτόνομο ρομποτικό εκσκαφέα. Βασίζεται σε ένα εμπορικό μηχανοκίνητο υδραυλικό εκσκαφέα, αλλά διαθέτει ένα ενσωματωμένο σύστημα υπολογιστή στη θέση ενός οδηγού για τον έλεγχο της υδραυλικής και επομένως όλου του μηχανήματος. Το εγχειρίδιο ασφαλείας αναπτύσσεται λαμβάνοντας υπόψη ένα συγκεκριμένο έργο: το σκάψιμο των τάφρων θεμελίωσης σε ένα εργοτάξιο. Ο απώτερος στόχος είναι να αναπτυχθεί ένα σύστημα που θα είναι σε θέση να δέχεται ένα πρόγραμμα τοποθεσιών και διαστάσεων τάφρων και στη συνέχεια να διασχίζει ένα εργοτάξιο και να σκάβει μια σειρά χαρακώματος που πληρούν αυτές τις προδιαγραφές. Αυτό πρέπει να το κάνει αυτόνομα χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης. Θα πρέπει να καθοριστεί η κατάσταση του περιβάλλοντος εργασίας, οι θέσεις των εμποδίων, η δική του θέση κλπ. - και να προβεί σε ενέργειες για να αλλάξει αυτό το περιβάλλον - να μετακινηθεί σε διαφορετική τοποθεσία, να σκάψει τη γη κλπ. ασυνήθιστο στον τομέα της ανάλυσης ασφαλείας, διότι συνεπάγεται άμεση αλληλεπίδραση μεταξύ του συστήματος και ενός ανεπιθύμητου γεγονότος (CoreSafety, 2013). Πολλά ατυχήματα συμβαίνουν, όχι επειδή ο σχεδιασμός και η υλοποίηση αποτυγχάνουν να παρέχουν αξιόπιστα την επιθυμητή λειτουργικότητα, αλλά επειδή προκύπτουν καταστάσεις που δεν έχουν προβλεφθεί και για τις οποίες δεν έχει ακόμη καθοριστεί καμία ενέργεια. Επομένως, η ανάλυση ασφαλείας πρέπει να εφαρμοστεί νωρίς, πριν από την ολοκλήρωση του σχεδιασμού, σε μια προσπάθεια να διασφαλιστεί ότι έχει καθοριστεί μια ασφαλής δράση συστήματος για όλες τις επικίνδυνες καταστάσεις. Παρακάτω παρουσιάζεται ένας αυτόματος εκσκαφέας με βραχίονα μπροστά.

Όλες οι κινήσεις του εκσκαφέα κινούνται υδραυλικά, όπως:



1. Η κίνηση του βραχίονα σε κατακόρυφο επίπεδο, χρησιμοποιώντας δύο έμβολα.
2. Η περιστροφή του κάδου στο άκρο της χούφτας, στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο, χρησιμοποιώντας άλλο έμβολο.
3. Η περιστροφή της καμπίνας στη σύνδεσή της με το υπόστρωμα, παρέχοντας αποτελεσματικά κίνηση για το βραχίονα σε οριζόντιο επίπεδο (στροφή).
4. Η κίνηση προς τα πάνω και κάτω από μια λεπίδα dozer στο μπροστινό μέρος του συστήματος προσγείωσης.
5. Η κίνηση δύο παράλληλων τροχιών κάμπιας ανεξάρτητα, προς τα πίσω και προς τα εμπρός.

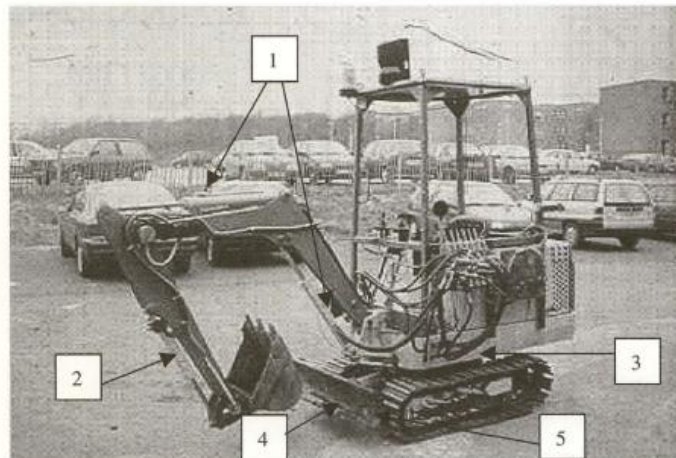


Fig. 1. The autonomous excavator, LUCIE.

#### Σχήμα 25. Ο αυτοματοποιημένος εκσκαφέας Lucie

Ο εκσκαφέας είναι αυτοματοποιημένος εγκαθιστώντας μια κατανομημένη αρχιτεκτονική υπολογιστών για τον έλεγχο της υδραυλικής και συνεπώς όλων των κινήσεων.



θεωρείται χρήσιμο για την ταυτοποίηση των αλληλεπιδράσεων εσωτερικού συστήματος, οι οποίες ενδέχεται να έχουν προκαλέσει το επικίνδυνο συμβάν.

Τα δέντρα αστοχιών αντιπροσωπεύουν την ανάλυση για τον κίνδυνο ανατροπής ενώ ο εκσκαφέας βρίσκεται σε κατάσταση λειτουργίας εκσκαφής.

Η αξιολόγηση της ασφάλειας του εκσκαφέα βασίζεται στις ακόλουθες εργασίες:

- Παρακολούθηση περιβαλλοντικών συνθηκών προκειμένου να γίνει εκτίμηση αξιοπιστίας άλλων αισθητηριακών δεδομένων, όπως μέτρηση απόστασης και ανίχνευση εμποδίων.
- Προσδιορισμός της απόστασης εμποδίων και της τροχιάς του εκσκαφέα.
- Προσδιορισμός πιθανής παρεμβολής μεταξύ τροχιάς εμποδίων και τροχιάς εκσκαφέα και επομένως καθορισμού ασφαλών ζωνών εκσκαφής.
- Προσδιορισμός των τάσεων κλίσης εδάφους και αξιολόγηση των πιθανών συνθηκών ανατροπής.

### **7.2.1. Εκσκαφείς και οι σχετικοί κίνδυνοι**

Υπάρχουν κίνδυνοι που σχετίζονται με το περιβάλλον κατασκευής στο οποίο λειτουργεί ένας εκσκαφέας, και είναι η επαφή με καλώδια ηλεκτρικού ρεύματος και η πρόκληση κατολίσθησης σε ανοιχτές τάφρους (St. John Holt, 2005). Οι εκσκαφείς παρουσιάζουν ορισμένους μοναδικούς κινδύνους. Μεταξύ αυτών είναι οι κίνδυνοι από τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται σε βοηθητικό εξοπλισμό (όπως κάδοι ή διακόπτες) εάν χρησιμοποιούνται σύνδεσμοι ταχείας σύνδεσης (Edwards & Holt, 2008).

Οι λόγοι που αναφέρονται ως συμβολή στην ανατροπή των οχημάτων περιλαμβάνουν: εργασία σε ολισθηρό, μαλακό, ή πεσμένο έδαφος, ελιγμός με φυσικά εμπόδια και μηχανήματα που υπερφορτώνονται ή είναι άνισα φορτωμένα (HSE, 2005).

Οι κατασκευαστές εκσκαφέων γνωρίζουν αυτόν τον κίνδυνο αστάθειας και, για παράδειγμα, έχουν εισαγάγει αντίβαρα σε ορισμένα μηχανήματα σε μια

προσπάθεια αντιμετώπισης αυτών των ζητημάτων σταθερότητας (Edwards & Holt, 2010).

### **7.2.2. Περιστατικά ανατροπής**

Πιο αντικειμενική έρευνα σχετικά με την ανατροπή εκσκαφέα θα μπορούσε να δώσει καλύτερη κατανόηση εάν γίνει διερεύνηση ποσοτικών πτυχών όπως: βάρος μηχανήματος, διαμόρφωση μηχανήματος, ικανότητα χειριστή (προσόντα / χρόνια εμπειρίας), γωνία κλίσης επιφάνειας εργασίας και φέρουσα ικανότητα εδάφους, αυτό όμως είναι κάτι που απαιτεί λεπτομερή περιγραφή δεδομένων μετά το συμβάν. Μόνο εκπαιδευμένοι και αρμόδιοι χειριστές θα επιτρέπεται να λειτουργούν τον εκσκαφέα. Είναι σημαντική η συνεχής εκπαίδευση των χειριστών, οι οποίοι πρέπει να επιδείξουν ικανότητα απόδοσης σε θέματα ασφαλούς χρήσης εκσκαφέα. Φυσικά, οι διαχειριστές των κατασκευαστικών θα πρέπει να αξιοποιήσουν τα θέματα που αφορούν την διαχείριση της υγείας σε της ασφάλειας κατά τη λειτουργία ενός εκσκαφέα και να βοηθήσουν στην επιβολή της ασφαλούς εργασίας, αξιολογώντας επαρκώς τους κινδύνους της εργασίας και της αυστηρής τήρησης των ελέγχων κινδύνου.

Αυτόματη ένδειξη ασφαλούς φόρτωσης σημαίνει μια συσκευή που προορίζεται να τοποθετηθεί σε έναν εκσκαφέα που δίνει αυτόματα στον ηχείο μια ηχητική και ορατή προειδοποίηση ότι ο εκσκαφέας πλησιάζει το φορτίο εργασίας του και ότι δίνει αυτόματα μια περαιτέρω ηχητική και ορατή προειδοποίηση όταν έχει ξεπεραστεί το ασφαλές φορτίο εργασίας του (Αλεξανδρή, 2005).

### **7.3. Ασφαλής Λειτουργία Εκσκαφέα**

Οι εκσκαφείς χρησιμοποιούνται συχνά σε πλαγιές, σε ανώμαλο έδαφος ή σε μαλακό έδαφος. Προκειμένου να αποφευχθεί η αστάθεια και η ανατροπή ενός εκσκαφέα σε τέτοιες επιφάνειες εργασίας, πρέπει να ληφθούν μέτρα όπως η ισοπέδωση ή η συμπίεση του εδάφους, ή η παροχή φερόντων στηριγμάτων, ανάλογα με την περίπτωση, πριν μετακινηθεί ο εκσκαφέας στη θέση του.

Πριν τη λειτουργία του εκσκαφέα ο χειριστής πρέπει να διαβάσει και να κατανοήσει τις πληροφορίες ασφαλείας που σχετίζονται με τον εκσκαφέα από το σχετικό εγχειρίδιο του κατασκευαστή. Είναι σημαντικό ο χειριστής, εκτός από την κατοχή των απαραίτητων προσόντων, να διαθέτει επαρκείς γνώσεις σχετικά με ασφαλείς διαδικασίες και προφυλάξεις ασφαλείας κατά τη λειτουργία του εκσκαφέα. Επίσης, θα πρέπει να γίνει αναφορά στα σχετικά αρχεία συντήρησης για να επαληθευτεί εάν ο εκσκαφέας είναι σε κατάσταση κατάλληλη για χρήση.

Καλό είναι ο χειριστής να πραγματοποιήσει επιθεώρηση του εκσκαφέα σε ασφαλή θέση, ακολουθούμενο από δοκιμή λειτουργίας. Ο χειριστής πρέπει να σταματήσει να λειτουργεί τον εκσκαφέα και να αναφέρει στον επόπτη του εάν ο εκσκαφέας δεν λειτουργεί κανονικά ή αν έχει κάποιο πρόβλημα λειτουργίας.

Επίσης, ο χειριστής πρέπει να ελέγξει το χώρο εργασίας για να λάβει πληροφορίες που αφορούν :

- τη θέση της πλαγιάς, του ανοίγματος, της τάφρου και της προεξοχής,
- την κατάσταση του εδάφους, δηλαδή κατά πόσο είναι συμπαγές και
- την παρουσία ατόμων, εμποδίων και υπηρεσιών κοινής ωφέλειας.

Ο έλεγχος του χώρου εργασίας παρέχει πληροφορίες που βοηθούν τον χειριστή να κάνει μια τελική αξιολόγηση της ασφάλειας της μεθόδου και των διαδικασιών εργασίας. Σε περίπτωση που αποκαλυφθεί οποιαδήποτε μη αναμενόμενη ή μη ασφαλής κατάσταση, ο χειριστής πρέπει να αναφέρει στον επόπτη του, ώστε να ξεκινήσει η αναθεώρηση της μεθόδου και των διαδικασιών εργασίας.

Κατά τη λειτουργία, ο χειριστής πρέπει να χειρίζεται σταθερά τα χειριστήρια του εκσκαφέα και να αποφεύγει ξαφνική ή απότομη λειτουργία. Επίσης, πρέπει να ακολουθεί τις διαδικασίες λειτουργίας του εκσκαφέα όπως συνιστάται στο εγχειρίδιο του κατασκευαστή.

Να σημειωθεί ότι, ο εκσκαφέας δεν πρέπει να φορτώνεται πέρα από το ασφαλές φορτίο λειτουργίας του. Κατά το χειρισμό φορτίου με το εξάρτημα του εκσκαφέα, το βάρος του εξαρτήματος και του βραχίονα προσάρτησης, θα πρέπει να θεωρείται ως μέρος της φόρτωσης στον εκσκαφέα. Προσάρτημα σημαίνει μια αφαιρούμενη συσκευή (εργαλείο εργασίας) τοποθετημένη είτε απευθείας στον σύνδεσμο είτε σε

ένα βραχίονα σύνδεσης ενός εκσκαφέα για την εκπλήρωση της κύριας λειτουργίας του εκσκαφέα.

Σε περίπτωση που ο χειριστής του εκσκαφέα δεν έχει καθαρή οπτική του εξαρτήματος κατά τη διάρκεια της εργασίας, πρέπει να διατίθεται ένας σηματοδότης για να δίνει σήματα στον χειριστή.

Πριν κλείσει τον εκσκαφέα, ο χειριστής πρέπει να χαμηλώσει το προσάρτημα στο έδαφος. Ο εκσκαφέας θα πρέπει να είναι σταθμευμένος σε επίπεδο και σταθερό έδαφος με τον κινητήρα του σταματημένο, να έχει ενεργοποιηθεί το χειρόφρενο και να έχει κλειδωθεί η πόρτα της καμπίνας. Η θέση στην οποία ο εκσκαφέας είναι σταθμευμένος δεν πρέπει να προκαλεί εμπόδιο στην κυκλοφορία ή στην προβολή των πινακίδων κυκλοφορίας σε οδηγούς άλλων οχημάτων.

### **7.3.1. Λειτουργία σε Πλαγιά**

Εάν είναι απαραίτητο για έναν εκσκαφέα να εργαστεί ή να ταξιδέψει σε μια πλαγιά, χειριστής θα πρέπει να ανακαλύψει τη γωνία κλίσης της περιοχής εργασίας και να βεβαιωθεί από τα εγχειρίδια του κατασκευαστή ή, εάν δεν προσδιορίζεται, τότε από τον ίδιο τον κατασκευαστή τη συνιστώμενη μέγιστη γωνία εργασίας του εκσκαφέα. Ο χειριστής πρέπει να ακολουθεί αυστηρά τις προφυλάξεις που συνιστώνται στα εγχειρίδια ασφαλείας του κατασκευαστή ώστε ο εκσκαφέας να εργάζεται και να ταξιδεύει σε πλαγιές, μόνο εάν η περιοχή εργασίας βρίσκεται εντός της αποδεκτής γωνίας κλίσης. Εάν η γωνία κλίσης του χώρου εργασίας είναι μεγαλύτερη από τη συνιστώμενη τιμή, τότε ο χειριστής δεν επιτρέπεται να θέσει σε λειτουργία τον εκσκαφέα έως ότου ισοπεδωθεί η περιοχή εργασίας. Κατά την πορεία ενός εκσκαφέα υπό κλίση, ο χειριστής πρέπει να διατηρεί την ταχύτητα κίνησης σε χαμηλή ταχύτητα.

Για να αποφευχθεί η ολίσθηση ενός εκσκαφέα κατά τη λειτουργία σε μια κλίση εντός της αποδεκτής γωνίας κλίσης, οι τροχοί πρέπει να είναι στραμμένοι στην κατηφορική πλευρά. Επίσης, για να αποφευχθεί η ανατροπή του σε μια πλαγιά, ο χειριστής θα πρέπει να προσέχει ιδιαίτερα όταν σβήνει την μπούμα του εκσκαφέα.



Όταν ένας εκσκαφέας πρέπει να δουλέψει κοντά στην άκρη ενός αναχώματος, ο διαχειριστής του έργου θα πρέπει να λαμβάνει προληπτικά μέτρα, όπως η παροχή ενός σηματοδότη ή η ανέγερση περιφράξεων, προειδοποιητικών σημάνσεων στην άκρη για να ειδοποιείται ο χειριστής (Diocles. Civil.Duth, 2020).



Σχήμα 27. Λειτουργία Εκσκαφέα σε πλαγιά (Depositphotos, 2020).

### 7.3.2. Διάφορες προφυλάξεις ασφαλείας

Οποιοσδήποτε εισέρχεται ή εξέρχεται από την καμπίνα του χειριστή ενός εκσκαφέα θα πρέπει να κάνει χρήση των σκαλοπατιών και των χειρολαβών του μηχανήματος που έχουν σχεδιαστεί γι' αυτό το σκοπό. Είναι σημαντικό να γνωρίζουν οι χειριστές ότι, όταν εκδίδεται προειδοποίηση για κεραυνούς, δε θα πρέπει κανείς να παραμένει κοντά ή μέσα στον εκσκαφέα. Ο διαχειριστής του έργου, θα πρέπει να αναστείλει τη λειτουργία του εκσκαφέα και ο χειριστής πρέπει να μεταβεί σε ασφαλές μέρος.

Σε περίπτωση που, ένας εκσκαφέας λειτουργεί σε μια περιοχή με ανεπαρκή φυσικό φωτισμό ή χαμηλή ορατότητα, ο διαχειριστής του έργου πρέπει να παρέχει τεχνητό

φωτισμό για να συμπληρώνει τα φώτα που είναι τοποθετημένα στον εκσκαφέα. Επίσης, εάν η περιοχή εργασίας δεν διαθέτει επαρκή φυσικό αερισμό, ο διαχειριστής του έργου θα πρέπει να λαμβάνει μέτρα για την πρόληψη βλαβών λόγω συσσώρευσης τοξικών αερίων ή αναθυμιάσεων. Όταν ο εκσκαφέας κινείται, ο χειριστής πρέπει να χαμηλώσει τη χούφτα για να έχει καλύτερη ορατότητα και για να αυξήσει τη σταθερότητα του μηχανήματος.

Ανάλογα με την κατάσταση εργασίας, ο διαχειριστής του έργου, θα πρέπει να εξετάσει την ανάγκη κατάλληλου ατομικού προστατευτικού εξοπλισμού για τον χειριστή του εκσκαφέα και τους συναφείς εργαζόμενους. ο εξοπλισμός αυτός θα πρέπει να παρέχεται από τον διαχειριστή του έργου, ο οποίος είναι υποχρεωμένος να διασφαλίζει τη χρήση του από τον χειριστή και τους υπόλοιπους εργαζόμενους.



Σχήμα 28. Λειτουργία Εκσκαφέα (Depositphotos, 2020).

Οι μη ασφαλείς πρακτικές στη χρήση εκσκαφέα δημιουργούν περιττούς κινδύνους όχι μόνο για τον χειριστή, αλλά και για τους εργαζόμενους που βρίσκονται κοντά. Προκειμένου να αποφευχθούν ατυχήματα, ο διαχειριστής του έργου πρέπει να λάβει μέτρα για να διασφαλίσει ότι ο χειριστής ενός εκσκαφέα δεν εκτελεί τις ακόλουθες πρακτικές:



- Δεν αφήνει τον εκσκαφέα χωρίς επιτήρηση με τον κινητήρα του σε λειτουργία.
- Δεν αφήνει τον εκσκαφέα χωρίς επίβλεψη με το προσάρτημά του προς τα πάνω.
- Δεν τοποθετείται πλευρικό φορτίο στο βραχίονα του εκσκαφέα κατά τη διάρκεια της εργασίας.
- Δεν γίνεται εκσκαφή σε ασταθή επιφάνεια.
- Δεν τοποθετείται ο εκσκαφέας πολύ κοντά στην άκρη πλαγιάς ή τάφρου.
- Δεν γίνεται ανύψωση του εκσκαφέα με τον βραχίονα για να διασφαλιστεί η ευστάθεια του μηχανήματος.
- Δεν χτυπάει ο χειριστής με τον κάδο του εκσκαφέα πάνω στην επιφάνεια εργασίας.
- Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται ο κάδος του εκσκαφέα για πλατφόρμα εργασίας ή μεταφορέα επιβατών.

Τέλος, δεν πρέπει να χρησιμοποιείται ο κάδος του εκσκαφέα για μεταφορά υλικών και αντικειμένων που δεν μπορούν να συγκρατηθούν με ασφάλεια στον κάδο μέσα, όπως σωλήνες, σανίδες ξυλείας και κάγκελα.



Σχήμα 29. Ανατροπή Εκσκαφέα (E- Ptolemeos, 2020).

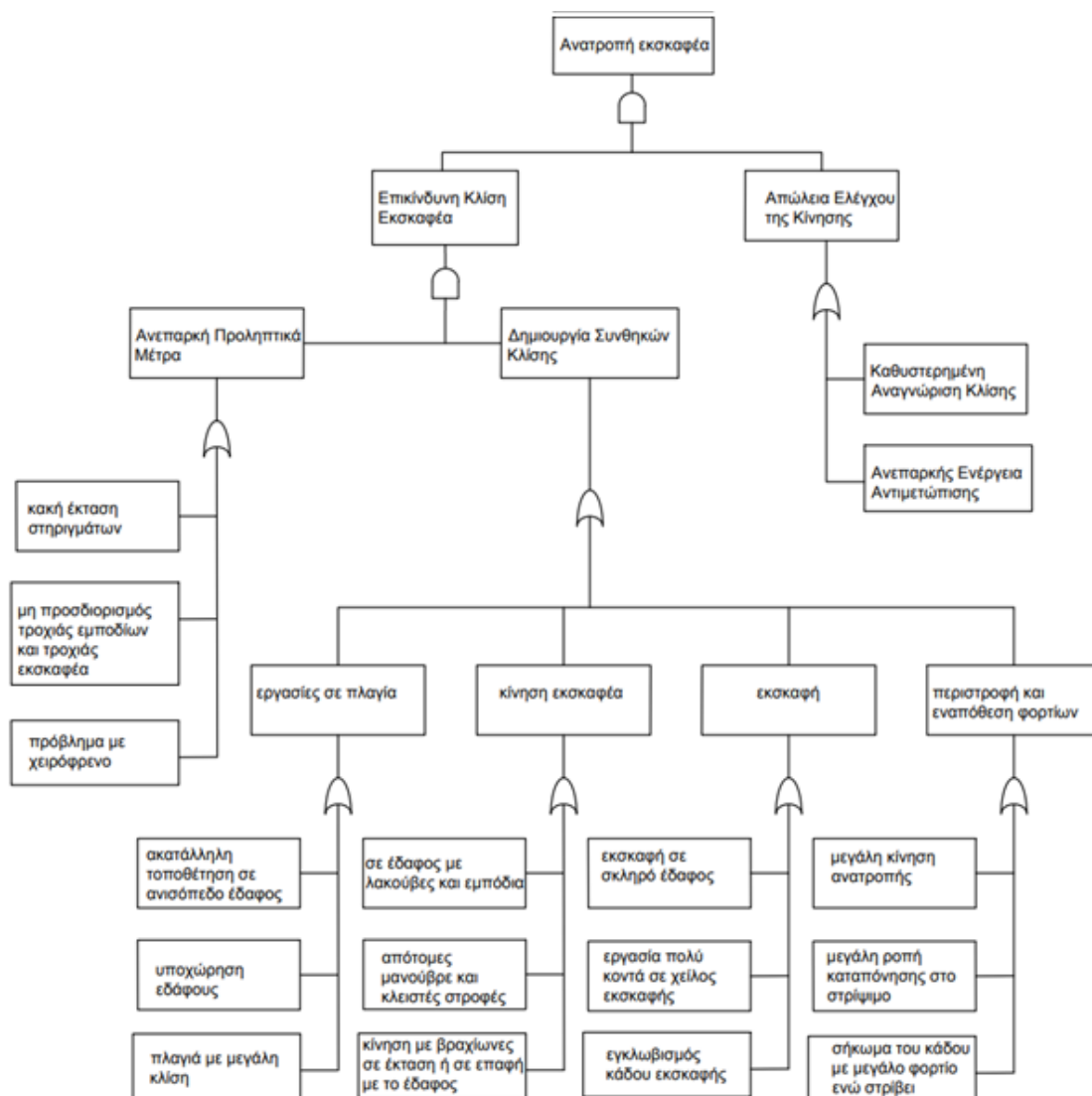
#### **7.4. Ανάλυση Δέντρου Αστοχιών**

Το κύριο γεγονός που θα τεθεί υπό ανάλυση όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι η ανατροπή εκσκαφέα. Θα τεθούν υπό ανάλυση δύο περιπτώσεις: η επικίνδυνη κλίση του εκσκαφέα και η απώλεια ελέγχου της κίνησης.

Σε περίπτωση που υπάρχει απώλεια ελέγχου της κίνησης αυτό μπορεί να οφείλεται είτε σε καθυστερημένη αναγνώριση της κίνησης του εκσκαφέα είτε σε ανεπαρκή αντιμετώπιση της κατά την διάρκεια της ανατροπής.

Σε περίπτωση που υπάρξει ανατροπή εκσκαφέα η οποία οφείλεται σε επικίνδυνη κλίση, αυτό μπορεί να οφείλεται σε ανεπαρκή προληπτικά μέτρα σχετικά με την εφαρμογή της επέκτασης των στηριγμάτων του εκσκαφέα, σε μη προσδιορισμό πιθανής παρεμβολής μεταξύ της τροχιάς εμποδίων και της τροχιάς του εκσκαφέα ή σε πρόβλημα με χειρόφρενο το οποίο δεν αναγνωρίστηκε.

Σε περίπτωση που υπάρξει ανατροπή εκσκαφέα η οποία οφείλεται σε επικίνδυνη κλίση, πρέπει να διερευνηθούν και οι συνθήκες κλίσης. Οι εργασίες σε πλαγιά δε βοηθούν την πορεία του εκσκαφέα και έτσι μπορεί να υπάρξει ανατροπή σε περίπτωση που το έδαφος είναι ανισόπεδο ή υπάρχει υποχώρηση εδάφους ή η πλαγιά έχει μεγάλη κλίση. Επίσης, υπάρχει ενδεχόμενο ανατροπής σε περίπτωση που το έδαφος έχει λακκούβες και εμπόδια, ή ο χειριστής του εκσκαφέα κάνει απότομες μανούβρες ή εάν κινείται ο εκσκαφέας με τους βραχίονες σε έκταση ή σε επαφή με το έδαφος. Η ανατροπή εκσκαφέα μπορεί να συμβεί και σε περίπτωση που γίνεται εκσκαφή σε σκληρό έδαφος, ή εάν η εργασία εκτελείται πολύ κοντά στο χείλος της εκσκαφής ή εάν εγκλωβιστεί ο κάδος του εκσκαφέα σε κάποιο σημείο στην περιοχή εκσκαφής. Τέλος, ενδεχόμενο ανατροπής μπορεί να υπάρξει σε περίπτωση που γίνεται περιστροφή και εναπόθεση φορτίων με μεγάλη κίνηση ανατροπής, ή με μεγάλη ροπή κατά το στρίψιμο ή αν ο κάδος είναι γεμάτος με βαρύ φορτίο ενώ στρίβει. Παρακάτω φαίνεται το δέντρο αστοχιών που αποτυπώνει όλα τα παραπάνω.



Σχήμα 30. Δέντρο αστοχιών για την ανατροπή εκσκαφέα

Το FTA είναι μια χρήσιμη και αποτελεσματική μέθοδος αναγνώρισης της ρίζας της αιτίας ορισμένων ατυχημάτων. Σε αυτή τη μελέτη, το FTA χρησιμοποιήθηκε για να δείξει πώς τα βασικά αίτια, τα οποία είναι επίσης τα βασικά συμβάντα στο FT, αλληλοεπιδράσαν για να προκαλέσουν το θανατηφόρο ατύχημα (κορυφαίο συμβάν του FT). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι δύο πιο κοινές αιτίες ατυχήματα ανατροπής εκσκαφέα είναι η επικίνδυνη κλίση που βρισκόταν ο εκσκαφέας και η απώλεια ελέγχου της κίνησης. Η επικίνδυνη κλίσης στην οποία βρισκόταν ο εκσκαφέας μπορεί να οφείλεται σε ανεπαρκή προληπτικά μέτρα ή σε δημιουργία συνθηκών κλίσης από τον ίδιο τον εκσκαφέα.

Πρέπει να υπάρχει ιδιαίτερη προσοχή και να διατίθενται επαρκής πόροι για τη συντήρηση φορτηγών, και να βεβαιώνεται ότι ο προκαταρτικός έλεγχος διεξάγεται επαρκώς και σωστά και ότι εκπαιδεύονται σωστά οι νέοι χειριστές.

Ο προκαταρτικός έλεγχος πρέπει να διεξάγεται στον εκσκαφέα πριν τεθεί σε λειτουργία και να ώστε να εντοπιστούν τυχόν ελαττώματα, τα οποία θα πρέπει να διορθωθούν αμέσως. Η μηχανική αστοχία είναι συχνό αποτέλεσμα συνδυασμού ανεπαρκούς ή ακατάλληλου προκαταρτικού ελέγχου και κακής συντήρησης. Τα συστήματα πέδησης, ειδικότερα, πρέπει πάντα να διατηρούνται σε είναι καλό επίπεδο (Fesak, Breland, & Spadaro, 1996).

## 8. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν τέσσερις μελέτες περιπτώσεων και αναλύθηκαν με τη μέθοδο δέντρων αστοχιών. Αρχικά γίνεται ο ορισμός του προβλήματος που αποτελείται από τον καθορισμό του κορυφαίου γεγονότος και οι οριακές συνθήκες ανάλυσης, οι οποίες είναι απαραίτητες για τη σύνδεση του δέντρου αστοχιών. Στη συνέχεια γίνεται η επίλυση των διαφόρων αστοχιών και η ανάλυση τους σε κατώτερα επίπεδα με σκοπό να γίνουν βασικό γεγονός.

Η διερεύνηση ατυχημάτων και παρ' ολίγον ατυχημάτων μπορεί να αποκαλύψει την ανάγκη αλλαγών έτσι ώστε να προληφθούν παρόμοια ατυχήματα. Η Μελέτη Εκτίμησης Επαγγελματικού Κινδύνου δεν θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ως ένα στατικό όργανο ενημέρωσης και περιοδικής πληροφόρησης, αλλά ως ένα δυναμικό, εξελισσόμενο εργαλείο που απαιτεί συχνές επεμβάσεις και ανανεώσεις. Η εκτίμηση του επαγγελματικού κινδύνου του εργασιακού περιβάλλοντος αποτελεί μια σύνθετη, διαχρονική και δυναμική διαδικασία που μέσω της διαρκούς ανάλυσης συντελεί στη συγκρότηση ενός υγιούς και ασφαλούς εργασιακού περιβάλλοντος προσαρμοσμένου στις ανθρώπινες ικανότητες και δυνατότητες.

Κατά την πρώτη μελέτη περίπτωσης το βασικό γεγονός είναι η υπόγεια εξόρυξη, η οποία όμως μπορεί να προκαλέσει δυο ειδών ατυχήματα. Η υπόγεια εξόρυξη άνθρακα είναι ένα από τα πιο επικίνδυνα επαγγέλματα στον κόσμο η οποία μπορεί να δημιουργήσει έκρηξη μεθανίου. Το πρώτο ατύχημα αναλύεται σε δέντρο αστοχιών και αφορά την εύφλεκτη ατμόσφαιρα που δημιουργείται από την εξόρυξη, ενώ το δεύτερο ατύχημα αναλύεται σε δέντρο αστοχιών και αφορά την ανάφλεξη που μπορεί να συμβεί κατά την εξόρυξη. Η εκρηκτική συγκέντρωση μεθανίου μπορεί να οφείλεται στην εκπομπή μεθανίου, στο ανεπαρκές σύστημα εξαερισμού του ορυχείου και στις ξαφνικές εισροές αερίων, όπως συμβαίνει από την έκρηξη του μεθανίου. Η έλλειψη αποχέτευσης μεθανίου προστίθεται στο δέντρο αστοχιών, κάτω από την ενδιάμεση έκρηξη μεθανίου, λόγω της ζωτικής σημασίας του. Το κύκλωμα αερισμού μπορεί να προκαλέσει την κυκλοφορία μολυσμένου αέρα στο ορυχείο. Το δεύτερο σημαντικό στοιχείο της έκρηξης μεθανίου είναι η πηγή ανάφλεξης. Μια πηγή ανάφλεξης πρέπει να περιέχει επαρκή θερμοκρασία ή

ενέργεια για την ανάφλεξη μεθανίου. Σε υπόγειες εργασίες εξόρυξης, μπορεί να υπάρχουν διάφορες πηγές φωτιάς, υπερθέρμανσης ή ανοικτής φλόγας που μπορούν να προκαλέσουν την έκρηξη. Μία από τις πιθανές πηγές είναι ο μηχανοποιημένος εξοπλισμός.

Κατά την δεύτερη μελέτη περίπτωσης το βασικό γεγονός είναι η κατακρήμνιση οροφής που μπορεί να συμβεί στην υπόγεια εξόρυξη και να προκαλέσει ατύχημα. Η εξόρυξη είναι η συνηθέστερη δραστηριότητα των εργαζομένων τη στιγμή της κατακρήμνισης. Επίσης, ο χειρισμός εκρηκτικών υλικών αντιπροσωπεύει μεγάλο αριθμό τραυματισμών λόγω της πτώσης οροφής. Τα περισσότερα περιστατικά σημειώνονται ενώ ο εργαζόμενος τοποθετεί εκρηκτικά στην τρύπα ώστε να τα πυροδοτήσει και να γίνει η ανατίναξη. Η διερεύνηση που έγινε ήταν αν η κατακρήμνιση οφείλεται σε σκόπιμη ή σε μη προγραμματισμένη διαδικασία. Είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη και η λειτουργία του ανθρακωρύχου μέσα στο ορυχείο, οποίος θα πρέπει να έχει λάβει κατάλληλα μέτρα ασφαλείας και θα πρέπει να μην προχωράει σε αλλαγές στη μέθοδο της εξόρυξης. Η αποτυχία της βραχομάζας μπορεί να προκληθεί είτε από μεγάλο πλάτος οροφής, είτε από εκρήξεις πετρώματος, είτε από κεκλιμένο δάπεδο, είτε από θρυμματισμένα διάσπαρτα στρωσίδια, είτε από άλλη αδυναμία που μπορεί να οφείλεται στην παλαιότητα του ορυχείου. Τέλος, είναι πολύ πιθανό να εμφανιστεί φαινόμενο κατακρήμνισης σε περίπτωση σεισμικής δραστηριότητας στην περιοχή ή σε περίπτωση που συμβεί κάποια έκρηξη σε κοντινή περιοχή με αυτήν της περιοχής εξόρυξης.

Κατά την τρίτη μελέτη περίπτωσης το βασικό γεγονός είναι ο εγκλωβισμός μπουλντόζας σε υπόγεια κενά σε λιγνιτωρυχεία. Για τη μεταφορά του λιγνίτη χρησιμοποιούνται ειδικά μηχανήματα όπως μεγάλοι εκσκαφείς, μπουλντόζες και φορτηγά που μετακινούν τους λιγνίτες στα προκαθορισμένα σημεία όπου δημιουργούν στοίβες. Στην περίπτωση τοποθέτησης μπουλντόζας πάνω από το διάκενο πρέπει, ή να μην υπάρχει παραβίαση διαδικασιών για εργασίες σε αποθεματικούς σορούς ή να είναι επαρκής ο εντοπισμός ενεργητικών στομιών. Για να αποφευχθεί αυτό είναι απαραίτητη η σωστή εκπαίδευση των οδηγών πάνω στις καλές πρακτικές και την τήρηση των μέτρων ασφαλείας αλλά και η εποπτεία

αυτών από τον υπεύθυνο ασφαλείας (τεχνικό ασφαλείας) από την αίθουσα ελέγχου μέσω καμερών. Το σχέδιο διάσωσης θα πρέπει να έχει εκπονηθεί από εξειδικευμένους μηχανικούς και να περιλαμβάνει όλα τα πιθανά σενάρια καθώς επίσης και να έχει γίνει σωστή εκπαίδευση και ασκήσεις σε όλο το προσωπικό για την σωστή εφαρμογή του. Στο ατομικό πακέτο έκτακτης ανάγκης που πρέπει να υπάρχει σε κάθε όχημα περιλαμβάνει η συσκευή οξυγόνου. Η οποία πρέπει να ελέγχεται τακτικά και να γίνεται η συντήρηση της αλλά και εκπαίδευση για την χρήση όλου του πακέτου έκτακτης ανάγκης. Ο θάλαμος πρέπει να διαθέτει άθραυστα τζάμια για να αντέχουν μεγάλες πιέσεις και κρούσεις. Επίσης, θα πρέπει να διατίθεται ασφαλής και αξιόπιστος τρόπος επικοινωνίας σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

Αυτά τα τρία είναι απαραίτητο να συνυπάρχουν ταυτόχρονα ώστε να θεωρείται επαρκής ο εξοπλισμός του οχήματος και έτσι να αυξηθούν οι πιθανότητες επιβίωσης του οδηγού σε περίπτωση εγκλωβισμού.

Κατά την τέταρτη μελέτη περίπτωσης το βασικό γεγονός είναι το ατύχημα από ανατροπή εκσκαφέα. Τα φορτηγά είναι τα κύρια μέσα μεταφοράς σε επιφανειακά ανθρακικά, μεταλλικά και μη μεταλλικά ορυχεία. Ο αριθμός των θανατηφόρων ατυχημάτων που συμβαίνουν με φορτηγά είναι υψηλότερος σε σύγκριση με όλους τους άλλους εξοπλισμούς εξόρυξης. Οι δύο πιο κοινές αιτίες των ατυχημάτων που συμβαίνουν με φορτηγά είναι ο ανεπαρκής ή ακατάλληλος προκαταρκτικός έλεγχος και η κακή συντήρηση των φορτηγών. Οι εκσκαφείς χρησιμοποιούνται συχνά σε πλαγιές, σε ανώμαλο έδαφος ή σε μαλακό έδαφος. Προκειμένου να αποφευχθεί η αστάθεια και η ανατροπή ενός εκσκαφέα σε τέτοιες επιφάνειες εργασίας, πρέπει να ληφθούν μέτρα όπως η ισοπέδωση ή η συμπίεση του εδάφους, ή η παροχή φερόντων στηριγμάτων, ανάλογα με την περίπτωση, πριν μετακινηθεί ο εκσκαφέας στη θέση του. Εάν είναι απαραίτητο για έναν εκσκαφέα να εργαστεί ή να ταξιδέψει σε μια πλαγιά, χειριστής θα πρέπει να ανακαλύψει τη γωνία κλίσης της περιοχής εργασίας και να βεβαιωθεί από τα εγχειρίδια του κατασκευαστή ή, εάν δεν προσδιορίζεται, τότε από τον ίδιο τον κατασκευαστή τη συνιστώμενη μέγιστη γωνία εργασίας του εκσκαφέα. Σε περίπτωση που, ένας εκσκαφέας λειτουργεί σε



μια περιοχή με ανεπαρκή φυσικό φωτισμό ή χαμηλή ορατότητα, ο διαχειριστής του έργου πρέπει να παρέχει τεχνητό φωτισμό για να συμπληρώνει τα φώτα που είναι τοποθετημένα στον εκσκαφέα. Επίσης, εάν η περιοχή εργασίας δεν διαθέτει επαρκή φυσικό αερισμό, ο διαχειριστής του έργου θα πρέπει να λαμβάνει μέτρα για την πρόληψη βλαβών λόγω συσσώρευσης τοξικών αερίων ή αναθυμιάσεων. Σε περίπτωση που, ένας εκσκαφέας λειτουργεί σε μια περιοχή με ανεπαρκή φυσικό φωτισμό ή χαμηλή ορατότητα, ο διαχειριστής του έργου πρέπει να παρέχει τεχνητό φωτισμό για να συμπληρώνει τα φώτα που είναι τοποθετημένα στον εκσκαφέα. Επίσης, εάν η περιοχή εργασίας δεν διαθέτει επαρκή φυσικό αερισμό, ο διαχειριστής του έργου θα πρέπει να λαμβάνει μέτρα για την πρόληψη βλαβών λόγω συσσώρευσης τοξικών αερίων ή αναθυμιάσεων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι δύο πιο κοινές αιτίες ατυχήματα ανατροπής εκσκαφέα είναι η επικίνδυνη κλίση που βρισκόταν ο εκσκαφέας και η απώλεια ελέγχου της κίνησης. Η επικίνδυνη κλίση στην οποία βρισκόταν ο εκσκαφέας μπορεί να οφείλεται σε ανεπαρκή προληπτικά μέτρα ή σε δημιουργία συνθηκών κλίσης από τον ίδιο τον εκσκαφέα.

## Βιβλιογραφία

- Arthur Lakes Librar. (2020, November Sunday). *Colorado School of Mines*. Ανάκτηση από <https://mountainscholar.org>: <https://mountainscholar.org/handle/11124/7919>
- Bahn, S. (2013). Workplace hazard identification and management: The case of an underground mining operation. *Safety Science*, 129-137.
- CCPS. (2000). *Guidelines for chemical process quantitative risk analysis*. Center for chemical process safety. NY: American Institute for Chemical Engineers.
- Chen, B., & Liu, W. (2005). Controlling Analysis of Underground Casualty Accidents Based on Fault Tree Analysis (FTA). *West-china Exploration Engineering*, 15-18.
- Consolidation Coal Company. Bishop Mine. (2020, November Sunday). *West Virginia History*. Ανάκτηση από West Virginia History: <https://wvhistoryonview.org/catalog/002992>
- CoreSafety. (2013). *Safety Modifications for Coal Storage Pile Mobile Equipment and Procedures for Access to Coal Storage Piles*. CoreSafety.
- Depositphotos. (2020, November Sunday). *depositphotos*. Ανάκτηση από depositphotos: <https://gr.depositphotos.com/stock-photos/%CE%B5%CE%BA%CF%83%CE%BA%CE%B1%CF%86%CE%AD%CE%B1%CF%82.html?qview=6185124>
- Diocles. Civil.Duth. (2020, November Sunday). *diocles.civil.duth*. Ανάκτηση από <http://diocles.civil.duth.gr>: [http://diocles.civil.duth.gr/links/home/veltiomeno/nees/Domikes\\_Michanes/Ekskafeis\\_genikhs\\_Xrhshs.pdf](http://diocles.civil.duth.gr/links/home/veltiomeno/nees/Domikes_Michanes/Ekskafeis_genikhs_Xrhshs.pdf)
- Donoghue, A. M. (2004). Occupational health hazards in mining: an overview. . *Occupational Medicine*, 283-289.
- Durrheim , R. J. (2010). Mitigating the risk of rockbursts in the deep hard rock mines of South Africa: 100 years of research. *Symposium Society for Mining Metallurgy* (σσ. 156-171). South Africa: J. Brune.

- Edwards, D. J., & Holt, G. D. (2008). Health and safety issues relating to construction excavators and their attachments. *Construction and Architectural Management*, 321-335.
- Edwards, D. J., & Holt, G. D. (2010). Case study analysis of construction excavator H&S overturn incidents. *OUCI*, 493-511.
- Elaine, L., & Chao & Alfredo, S. (2001). *Stockpiling Safety*. U.S: U.S Department of Labor.
- Estenhuizen, G., Dolinar, D., Ellenberger, J., Prosser, L., & Iannacchione, A. (2011). Roof Stability Issues in Underground Limestone Mines in the United States . *NIOSH*, 1-8.
- Esterhuizen, G. (2011). Pillar and roof span design guidelines for underground stone mines. *NIOSH*, 1-64.
- Fesak, G., Breland, R., & Spadaro, J. (1996). *Analysis of surface powered haulage accidents – January 1990 to July 1996. Holmes Safety Association Bulletin*. Washington, DC,: Mine Health and Safety Administration.
- Gaskill, S. P., & Went, S. G. (1996). Safety Issues in modern applications of robots. *Reliability Engineering and System Safety*, 301-307.
- Güyagüler, T., & Erdem. (2008). Mine Ventilation Engineering. *METU Mining Engineering Department Printed in Middle East Technical University, Ankara*, 19-63.
- HSE. (2005). *Workplace Transport Safety*. London: An Employer;s Guide.
- IMINCO. (2020, November Sunday). *iminco*. Ανάκτηση από <http://iminco.net: http://iminco.net/blast-hole-driller-d65-21-roster-perth-wa-iminco/>
- Iverson, S., Kerkerling, C., & Coleman, P. (2003). *Using Fault Tree Analysis to focus mine safety research*.
- Kawenski, E. M., Stephan, C. R., & Price, G. C. (1979). *Frictional ignition of methane by continuous mining machines in underground coal mines*. Washington, D. C: Mine Safety and Health Administration Informational Report : U.S. Government PRINTING OFFICE.

- Kurnia, J., & Mujumdar, A. S. (2012). *Best practice for methane and dust control in underground coal mines*. Singapore: National University of Singapore, Minerals, Metals and Materials Technology Centre.
- Li, X. H., Zhao, Y., Lu, Y. Y., & Kang, Y. (2009). The mechanism of self-excited oscillation jet to improve soft coal seam permeability. *Journal of Liaoning Technical University*, 202-205.
- Liang, C., Zhaolong, G., Binwei, X., Qian, L., Jiren, T., Yugang, C., & Shaojie, Z. (2017). *Research on Hydraulic Technology for Seam Permeability Enhancement in Underground Coal Mines in China*. Chongqing: Energies.
- Lin, B. Q., Lv, Y. C., Li, B. Y., & Zhai, C. (2007). LinBQ,LvYC,LiBY,ZhaiC.High-pressure abrasive hydraulic cutting seam technology and its application in outbursts prevention. *Journal of China coal society*, 959-963.
- Liu, M. J., Kong, L. A., Hao, F. C., Wei, G. Y., & Liu, Y. W. (2005). Application of hydraulic flushing technology in severe outburst coal. *Journal of China coal society*, 451-454.
- Liu, Y., Chen, R., & Feng, X. (2004). Fault tree analysis of roof falling accident in the mine. *Express Information of Mining Industry*, 2729.
- Lutz, R. R. (1993). *Analyzing Software Requirements Errors in Safety-Critical, Embedded Systems*. In: *IEEE International Symposium on Requirements Engineering*, . IEEE Computer Society Press.
- Mc. Person, M. J. (2015, November 19). *Centre for Excellence in Mine Motivation*. Ανάκτηση από Subsurface fires and explosions. : [http://www.minewiki.org/index.php/SVEE\\_Subsurface\\_fires\\_and\\_explosions](http://www.minewiki.org/index.php/SVEE_Subsurface_fires_and_explosions)
- Meng, Z., Kecojevic, V., & Komljenovic, D. (2014). Investigation of haul truck-related fatal accidents in surface mining using fault tree analysis. *Safety Science*, 106-117.
- Mevsim, R. (2016). Risk assessment by fault tree analysis of methane explosions in Turkish hard coal enterprises underground mines. *Graduate School of Natural and Applied Sciences, Theses*.

- Minetek. (2020). *minetek*. Ανάκτηση από <https://www.minetek.com:https://www.minetek.com/wp-content/uploads/2018/05/mining-ventilation.jpg>
- Mining Monthly. (2020). *miningmonthly*. Ανάκτηση από <https://www.miningmonthly.com:https://www.miningmonthly.com/sustainability/news/1267866/wa-ventilation-code-released>
- MSHA. (2015, November 11). *arlweb.msha*. Ανάκτηση από [http://arlweb.msha.gov :http://arlweb.msha.gov/Fatals/2010/UBB/PerformanceCoalUBB.asp](http://arlweb.msha.gov:http://arlweb.msha.gov/Fatals/2010/UBB/PerformanceCoalUBB.asp)
- nrcu.gov.ua. (2011, August 11). *miningsafety*. Ανάκτηση από <https://www.miningsafety.co.za:https://www.miningsafety.co.za/newscontent/232/methane-explosion-at-mine-in-luhansk-region-likely-caused-by-smoking>
- QUORA. (2020, November Monday). *quora*. Ανάκτηση από <https://www.quora.com:https://www.quora.com/Is-it-true-that-coal-explodes-when-burnt-in-mines-If-yes-why-doesnt-it-explode-when-we-use-it-in-barbeque>
- Sewardu , D., Paceu, C., Morreyb, R., & Sommervilleb, I. (2000). Safety analysis of autonomous excavator functionallty. *University of Lancaster*.
- St. John Holt, A. (2005). *Principles of Construction Safety*. Oxford: Blackwell.
- Stamatelatos, M., Vesely, W., Dugan, J., Fragola, J., Minarisk, J., & Railsback, J. (2002). *Fault Tree Handbook with Aerospace Applications*. USA: NASA: Office of Safety and Mission Assurance.
- Storey, N. (1996). *Safety critical computer systems*. Addison-Wesley.
- Tony Stones. (2020, November Sunday). *BKIDS*. Ανάκτηση από <kids.britannica.com:https://kids.britannica.com/students/assembly/view/119136>
- United Nations. (2010, February Monday). <https://www.unece.org>. Ανάκτηση από UNESE: [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/cmm/pub/BestPractGuide\\_MethDrain\\_es31.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/cmm/pub/BestPractGuide_MethDrain_es31.pdf)

Vesely, W. (1981). *Fault Tree Handbook (NUREG-0492)* U.S. . USA: Nuclear Regulatory Commission.

Zhou, S., & Zhang, Z. (2006). Hazard analysis of the side fall roof in mine. *Modern Coal Mines*, 32-33.

Zhu, Q., & Li, D. (1997). Genetic mechanism and control of blasting working face roof Accident. *Mine Safety*, 28-30.

Αλεξανδρής, Α. Π. (2005). Ερπυστριοφόρα Μηχανήματα Έργων σε Μαλακά Εδάφη: Θεωρήσεις Σχεδιασμού. *ΤΕΕ*, 1-11.

Δασκαλόγλου, Γ. (2013). *ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑ ΣΤΑ ΕΡΓΟΤΑΞΙΑ – ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ. Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΚΑΤΑ ΤΟΥ ΕΡΓΑΤΙΚΟΥ ΑΤΥΧΗΜΑΤΟΣ*. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης.

ΔΕΗ. (2020, Νοέμβριος Κυριακή). <https://www.dei.gr>. Ανάκτηση από ΔΕΗ: <https://www.dei.gr/el/i-dei/i-etairia/tomeis-drastiriotitas/oruxeia>

Διαμαντοπούλου, Ε. (2006). *Ασφάλεια και Υγιεινή της Εργασίας νέοι ψυχοκοινωνικοί Κίνδυνοι στην Εργασία: Το άγχος και η Ηθική Παρενόχληση*. Αθήνα: Εθνικό Κέντρο Δημόσιας Διοίκησης & Αυτοδιοίκησης.

Δρίβας, Σ., & Παπαδόπουλος, Μ. (2020, Νοέμβριος Κυριακή). <https://www.elinyae.gr>. Ανάκτηση από elinyae: [https://www.elinyae.gr/sites/default/files/2019-06/\\_Ektimisi.1113226784021.pdf](https://www.elinyae.gr/sites/default/files/2019-06/_Ektimisi.1113226784021.pdf)

Δρίβας, Σ., Ζορμπάς, Κ., & Κουκουλάκη, Θ. (1997). *Μεθοδολογικός οδηγός για την εκτίμηση και πρόληψη του επαγγελματικού κινδύνου*. Αθήνα: ISBN.

E- Ptolemeos. (2020, November Sunday). *e-ptolemeos*. Ανάκτηση από <https://e-ptolemeos.gr>: [https://e-ptolemeos.gr/wp-content/uploads/2016/09/14344344\\_10210406653509834\\_8077928871841353201\\_n.jpg](https://e-ptolemeos.gr/wp-content/uploads/2016/09/14344344_10210406653509834_8077928871841353201_n.jpg)

Κοϊνάκης, Χ. (2010). *Αξιολόγηση και Στρατηγικός Σχεδιασμός Δημοσίων Υποδομών - Εφαρμογή στον Τομέα των Υποδομών Υγείας*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

- Κοντογιάννης , Θ. (2017). *Εργονομικές Προσεγγίσεις στην διοίκηση και διαχείριση της ασφάλειας*. Θεσσαλονική: Τζιόλα.
- Κουρπά , Ι. (2015). *Μοντελοποίηση της διαδικασίας αναγνώρισης των επαγγελματικών κινδύνων και εκτίμησης της επικινδυνότητας σε θέσεις εργασίας που χαρακτηρίζονται από βλαπτικούς παράγοντες σε ένα ευρύ πεδίο τυπικών κινδύνων διαφορετικού Τύπου*. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Κουφιδάκης , Ε. (2009). *Μοντελοποίηση Οργανωτικών Παραγόντων και Συστημάτων Διαχείρισης Ασφάλειας με Έμφαση στη Διακίνηση Επικίνδυνων Ουσιών* . Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης: Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης.
- Κωστίδου, Α. (2006). *Ανάλυση επικινδυνότητας και ασφάλειας σε εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας από βιοαέριο*. Θεσσαλονική : Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας.
- Π.Δ. 225/89- Φ.Ε.Κ. 106Α/89. (1989). «Υγιεινή και Ασφάλεια στα Υπόγεια Τεχνικά έργα». *Εφημερίδα της Κυβερνήσεως*.
- Παπαγιάννης , Α., & Ρούσσοις , Δ. (2012). *ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΠΟΜΠΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΞΟΡΥΞΗ ΛΙΓΝΙΤΗ*. Αθήνα: ΕΜΠ.
- Ρουχωτάς, Ε. (2012). *ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΜΒΑΣΕΩΝ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥΣ*. Αθήνα: ΕΜΠ.
- Σύνδεσμος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων. (2020, Σεπτέμβριος Δευτέρα). Τα ορυκτά αλλάζουν τη ζωή μας. Αθήνα, Αττικής , Ελλάδα.
- Τουμπέλης , Γ. (2010). *Ενεργειακή και Περιβαλλοντική Μελέτη της Λειτουργίας των Βιομηχανιών Εξόρυξης μεταλλευμάτων. Μεταλλεία Χαλκιδικής*. Καβάλα: ΤΕΙ Καβάλας: Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Ηλεκτρολογίας.
- ΦΕΚ 11/Α/18-1-1996. (1996). *Μέτρα για βελτίωση ασφάλειας και υγείας εργαζομένων σύμφωνα με οδηγίες της ΕΟΚ*. Αθήνα.
- (2011). *ΦΕΚ 1227/β/14-6-2011*. Αθήνα: Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.



Χωροπανίτης, Ι. (2006). *Ανάλυση συνδυασμένης λειτουργίας καδοφόρου εκσκαφέα και ντιζελοκίνητου εξοπλισμού στο ορυχείο του Νοτίου Πεδίου*. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης: Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.