



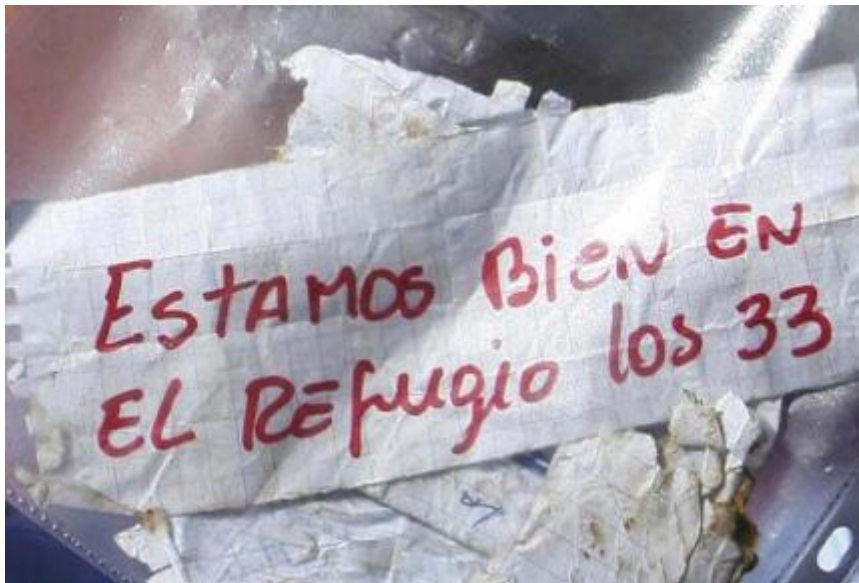
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Δ.Π.Μ.Σ. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανάλυση ατυχήματος στο ορυχείο San José - Χιλή



ΣΑΡΑΝΤΙΝΟΣ ΙΣΙΔΩΡΟΣ – ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Επιβλέπων καθηγητής : Καλιαμπάκος Δημήτριος, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιανουάριος 2011

Θα ήθελα να ευχαριστήσω προσωπικά τον Καθηγητή κ. Καλιαμπάκο για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το χώρο των μεταλλείων και την ανάλυση κινδύνου, καθώς και τον Λέκτορα κ. Μπενάρδο για τη σημαντική συμβολή του στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Τέλος, αφιερώνω αυτήν την εργασία σε όσους έχουν σταθεί δίπλα μου, αρωγοί στη συνεχή προσπάθειά μου, όλα αυτά τα χρόνια της φοίτησής μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Με τιμή,

Σαραντινός Ισίδωρος - Νικόλαος

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η ανάλυση του πρόσφατου ατυχήματος στο ορυχείο San José στη Χιλή και μέσω αυτής η επισήμανση της επικινδυνότητας των υπόγειων μεταλλείων.

Σε πρώτη φάση, έγινε αναφορά και σχολιασμός – όπου αυτό κατέστη δυνατό – κάποιων αξιοσημείωτων ατυχημάτων που εξελίχθηκαν είτε με επιθυμητό τρόπο (διάσωση μεταλλωρύχων), είτε με ανεπιθύμητο (πολύνεκρα ατυχήματα).

Σε δεύτερη φάση, έγινε ενδελεχής έρευνα πάνω στο πρόσφατο ατύχημα στο ορυχείο San José της Χιλής, όπου 33 μεταλλωρύχοι παγιδεύτηκαν υπογείως για 69 ημέρες μέχρι τη διάσωσή τους, δίνοντας κυρίως βάση στα τεχνικά χαρακτηριστικά του ορυχείου και στα γεγονότα πριν και μετά την κατάρρευση της οροφής. Έπειτα, αφού σημειώθηκαν τα σημαντικότερα γεγονότα σχετικά με την ανεύρεση και τη διάσωση των μεταλλωρύχων, έγινε σχολιασμός επί των λύσεων που επιλέχθηκαν από τους υπεύθυνους διάσωσης κι εντοπίστηκαν τα αίτια του ατυχήματος.

Σε τρίτη φάση, έγινε ανάλυση των συλλεχθέντων δεδομένων με τη βοήθεια των δένδρων σφαλμάτων (fault trees), αφού παρουσιάστηκαν πρώτα τα κύρια χαρακτηριστικά της μεθόδου αυτής. Κατ' αυτόν τον τρόπο, εξήχθησαν συμπεράσματα σχετικά με την αλληλεπίδραση των αιτίων του ατυχήματος, ενώ έγινε προσπάθεια να εντοπιστούν οι λόγοι της αποτελεσματικής διάσωσης των μεταλλωρύχων, καθώς και οι προληπτικές ενέργειες που ήταν ικανές να αποτρέψουν την εκδήλωση του ατυχήματος.

Εν κατακλείδι, η συνολική έρευνα που έλαβε χώρα ώστε να δοθεί φως στο εν λόγω ατύχημα, το αποτέλεσμα της οποίας είναι η παρούσα εργασία, αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για κάποιον που επιθυμεί να γνωρίσει ή/και να κατανοήσει καλύτερα τους κινδύνους που ελλοχεύουν στα υπόγεια μεταλλεία, ενώ παράλληλα παρουσιάζεται ένας ενδεικτικός τρόπος προσέγγισης κατά την ανάλυση ατυχημάτων.

Πίνακας περιεχομένων

1. Μεταλλευτικά ατυχήματα.....	6
1.1. Κίνδυνοι στα υπόγεια μεταλλεία	6
1.2. Στατιστικά ατυχημάτων	7
2. Αξιοσημείωτα μεταλλευτικά ατυχήματα	11
2.1. Τα 10 πιο πολύνεκρα μεταλλευτικά ατυχήματα στην ιστορία	11
2.1.1. Ανθρακωρυχείο Benxihu (Honkeiko), Κίνα, 1942	11
2.1.2. Ορυχείο Courrières, Γαλλία, 1906	12
2.1.3. Ανθρακωρυχείο Mitsubishi Hojyo, Kyūshū, Ιαπωνία, 1914	14
2.1.4. Ανθρακωρυχείο Laobaidong, Datong, Κίνα, 1960	14
2.1.5. Ανθρακωρυχείο Wankie, Ροδεσία (σημ. Ζιμπάμπουε), 1972	14
2.1.6. Ανθρακωρυχείο Mitsui Miike, Omuta, Ιαπωνία, 1963.....	16
2.1.7. Ανθρακωρυχείο Senghenydd, Ουαλία, 1913	17
2.1.8. Ορυχείο Coalbrook, Clydesdale, Νότια Αφρική, 1960	19
2.1.9. Ανθρακωρυχείο New Yubari, Yubari, Hokkaidō, Ιαπωνία, 1914,	20
2.1.10. Ανθρακωρυχείο Zeche Monopol Schacht Grimberg 3/4, Bergkamen, Δυτική Γερμανία, 1946.....	21
2.2. Το ατύχημα στο Lengede	22
2.2.1. Η κάψουλα Dahlbusch-Bombe	25
2.3. Η διάσωση στο ορυχείο Quecreek	27
2.4. Σχολιασμός ατυχημάτων	32
3. Το ατύχημα στο ορυχείο San José της Χιλής	34
3.1. Μεταλλευτική ιστορία της Χιλής.....	34
3.2. Ιστορικό μεταλλευτικών ατυχημάτων στη Χιλή.....	34
3.3. Ορυχείο San José	37
3.4. Γεωλογία περιοχής	39
3.5. Στοιχεία παραγωγής του ορυχείου San José	40
3.6. Το ατύχημα.....	42
3.7. Γεγονότα-κλειδιά του ατυχήματος.....	43
3.8. Εντοπισμός των μεταλλωρύχων.....	45
3.8.1. Λήψη αποφάσεων για τον εντοπισμό των μεταλλωρύχων	47

3.9.	Διάσωση των μεταλλωρύχων	50
3.9.1.	Λήψη αποφάσεων για τον απεγκλωβισμό των μεταλλωρύχων	53
3.9.2.	Τα 3 σχέδια διάσωσης.....	55
3.9.3.	Πρόοδος γεωτρήσεων.....	61
3.9.4.	Σχολιασμός επιλογής λύσης διάσωσης.....	65
3.9.5.	Χαρακτηριστικά της κάψουλας διάσωσης.....	65
3.9.6.	Επένδυση της γεώτρησης.....	67
3.10.	Αίτιο κατάρρευσης	68
4.	Ανάλυση ατυχήματος San José με διαγράμματα fault trees.....	70
4.1.	Ανάλυση κινδύνου.....	70
4.1.1.	Διερεύνηση ατυχημάτων	74
4.2.	Η ανάλυση με διαγράμματα δένδρων σφαλμάτων (fault trees) για ατυχήματα.....	75
4.2.1.	Ιστορικά στοιχεία.....	76
4.2.2.	Χρησιμότητα των διαγραμμάτων fault trees	77
4.2.3.	Χαρακτηριστικά της ανάλυσης με διαγράμματα fault trees.....	78
4.2.4.	Παράδειγμα ανάλυσης με διάγραμμα fault tree	86
4.3.	Διάγραμμα fault tree για το San José.....	89
4.3.1.	Περιγραφή τρόπου κατάρρευσης του διαγράμματος.....	91
4.4.	Ανάλυση ατυχήματος	98
4.4.1.	Αιτίες ατυχήματος.....	98
4.4.2.	Τι θα μπορούσε να είχε γίνει ώστε να αποφευχθεί το ατύχημα;	100
4.4.3.	Γιατί σώθηκαν οι μεταλλωρύχοι;.....	102
5.	Συμπεράσματα.....	104
6.	Βιβλιογραφία	107
7.	Παράρτημα.....	113
7.1.	Μέθοδοι υπόγειας εκμετάλλευσης	113
7.2.	Το χρονικό του ατυχήματος (μέρα με τη μέρα).....	115
7.3.	Αποτελέσματα ανάλυσης με διάγραμμα fault tree	135
7.3.1.	Minimal Cut Sets	135
7.3.2.	Probabilities Analysis.....	136
7.3.3.	Monte Carlo Simulation.....	139

1. Μεταλλευτικά ατυχήματα

1.1. Κίνδυνοι στα υπόγεια μεταλλεία

Ο ετήσιος αριθμός των θυμάτων από ατυχήματα σε μεταλλεία κυμαίνεται μεταξύ μερικών εκατοντάδων έως λίγων χιλιάδων, ιδιαίτερα στα σημεία εξόρυξης άνθρακα ή πιο σκληρών πετρωμάτων όπως χρυσός, χαλκός και ψευδάργυρος. Υπάρχει μια αβεβαιότητα που οφείλεται κυρίως στην τάση απόκρυψης των πραγματικών στοιχείων των ατυχημάτων από μερικές κυβερνήσεις, όπως αυτή της Κίνας [LaFraniere, 2009]. Οι περισσότεροι θάνατοι σημειώνονται στις αναπτυσσόμενες χώρες, αλλά και σε αγροτικές περιοχές ανεπτυγμένων χωρών.

Οι αιτίες των μεταλλευτικών ατυχημάτων ποικίλουν :

- διαρροές δηλητηριωδών αερίων, όπως το υδρόθειο ή το μονοξείδιο του άνθρακα, ή φυσικών εκρηκτικών αερίων, όπως το μεθάνιο,
- εκρήξεις σκόνης (συνήθως άνθρακα),
- καταρρεύσεις μεταλλευτικών στοών λόγω αστοχίας οροφής ή στύλων ή τεχνητής υποστήριξης,
- εισροές υδάτων,
- “σεισμικότητα” προκαλούμενη από τη μεταλλευτική δραστηριότητα,
- εσφαλμένη χρήση ή δυσλειτουργία του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού,
- χρήση ακατάλληλων εκρηκτικών υλών, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν εκρήξεις μεθανίου και σκόνης άνθρακα ή ζημιές στο σύστημα υποστήριξης,
- άγνοια ή εσφαλμένη εκτίμηση κινδύνου από τους σχεδιαστές και τους υπεύθυνους ασφαλείας,
- έλλειψη σχεδίου εκκένωσης του χώρου και γνώσης αντιμετώπισης κρίσεων.

1.2. Στατιστικά ατυχημάτων

Η αύξηση της εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων από το τέλος του 19^{ου} αιώνα σε συνδυασμό με την αρχικά περιορισμένη τεχνογνωσία και τις επισφαλείς εργασιακές συνθήκες οδήγησαν σε μεγάλο αριθμό ατυχημάτων, με μέγιστο αριθμό θυμάτων το 1908. Σε αυτά τα πρώτα βήματα της εκτεταμένης εκμετάλλευσης των φυσικών υπογείων αποθεμάτων σε μετάλλευμα, σημειώθηκαν πολλά ατυχήματα.

Από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, το επίπεδο ασφαλείας έχει βελτιωθεί, ο εξοπλισμός έχει εξελιχθεί και η τεχνογνωσία που προκύπτει από την έρευνα και την εμπειρία είναι σαφώς μεγαλύτερη, με αποτέλεσμα να μειώνεται ο αριθμός ατυχημάτων και θυμάτων, χωρίς βέβαια τα νούμερα αυτά να θεωρούνται αμελητέα. Οι κανονισμοί ασφαλείας της κάθε χώρας καθορίζουν τα νούμερα αυτά, σε συνδυασμό πάντα με την πολιτική που ακολουθούν οι ιδιοκτήτες των εταιρειών που εκμεταλλεύονται τα ορυχεία. Το πρόβλημα των μεταλλευτικών ατυχημάτων εντοπίζεται κυρίως στα ανθρακωρυχεία, όπου η εκδήλωση ενός ατυχήματος μπορεί να προκαλέσει ζημιές σε μεγάλη έκταση κι έχει πολύ σοβαρές συνέπειες.

Βάσει του δείκτη ατομικού κινδύνου IRPA (Individual Risk Per Annum) που ορίζεται ως ο λόγος του παρατηρούμενου αριθμού θανάτων προς το συνολικό αριθμό εργαζομένων ανά έτος έκθεσης, ο μεταλλευτικός τομέας είναι από τους πλέον επικίνδυνους, με δείκτη IRPA $109 \cdot 10^{-6}$. Για να υπάρχει κάποιο μέτρο σύγκρισης, αναφέρεται ότι ο τομέας των κατασκευών έχει $59 \cdot 10^{-6}$ και η παροχή υπηρεσιών μόλις $3 \cdot 10^{-6}$, δηλαδή περίπου 2 και 35 φορές μικρότερη συχνότητα εμφάνισης, αντίστοιχα, από τον μεταλλευτικό τομέα [HSE, 2001].

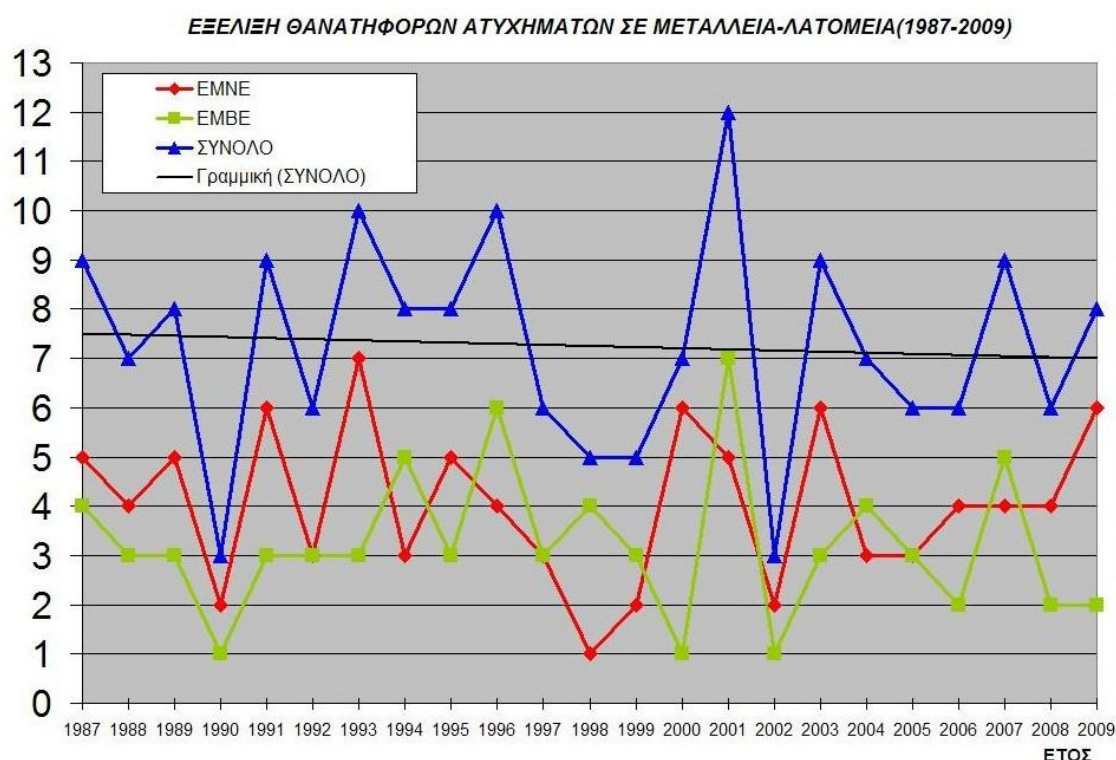
Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία [Coleman et al.], στις Η.Π.Α. την περίοδο 1983 – 2004, χάθηκαν περισσότερες από 3 εκ. εργατοώρες λόγω ατυχημάτων. Η πιθανότητα τραυματισμού με αποτέλεσμα 10 ή περισσότερες χαμένες εργατοώρες σε ανθρακωρυχείο ήταν 0,52%, ενώ σε άλλου είδους μεταλλείο ήταν 0,35%. Από το 2002, τα ατυχήματα σε ανθρακωρυχεία και οι συνολικοί θάνατοι μειώθηκαν σημαντικά σε όλες τις χώρες που δραστηριοποιούνται σε αυτόν τον τομέα.

Στην Κίνα, η αναφορά του 2005 έδειξε μια αύξηση των ατυχημάτων κατά 253%, παρά τα σκληρά μέτρα ασφαλείας που είχαν επιβληθεί, με αποτέλεσμα να κλείσουν 12.000 ορυχεία στη χώρα. Ακόμα, κάθε χρόνο στην Κίνα, 5.000 μεταλλωρύχοι χάνουν τη ζωή τους σύμφωνα με στοιχεία που παρέχει η κυβέρνηση, ενώ κάποιοι κάνουν λόγο για τετραπλάσιο αριθμό θυμάτων. Συνολικά, την περίοδο 2001 – 2004, σημειώθηκαν 188 ατυχήματα με πάνω από 10 θύματα, με συχνότητα ενός ατυχήματος ανά 7,4 μέρες [Xiaohui et al., 2004].

Στις Η.Π.Α., από το 1976 έχουν σημειωθεί μόλις 19 ατυχήματα άνω των 5 θυμάτων, ενώ τα πρώτα 25 χρόνια του 20^{ου} αιώνα είχαν σημειωθεί συνολικά 356 ατυχήματα. Επίσης, ενώ την πενταετία 1936 – 1940 ο ετήσιος αριθμός θυμάτων ήταν 1.546, 60 χρόνια μετά, αυτός είχε μειωθεί σε 62. Πλέον σήμερα, ατυχήματα με πάνω από 5 θύματα δεν είναι συνήθη [MSHA].

Από τα προαναφερθέντα ατυχήματα με πάνω από 5 θύματα, περίπου το 95% σημειώθηκε σε ανθρακωρυχεία, αναδεικνύοντας την ιδιαίτερη επικινδυνότητά αυτών σε σχέση με τα υπόλοιπα ορυχεία. Χαρακτηριστικά, σημειώνεται ότι 9 από τα 10 πιο πολύνεκρα μεταλλευτικά ατυχήματα όλων των εποχών συνέβησαν σε ανθρακωρυχεία (βλ. Κεφ. 2 Αξιοσημείωτα μεταλλευτικά ατυχήματα).

Στην Ελλάδα, όπου η μεταλλευτική δραστηριότητα δεν είναι τόσο ανεπτυγμένη όσο σε άλλες χώρες, τα τελευταία 20 χρόνια παρατηρείται ένας μέσος ετήσιος όρος των 7 θανατηφόρων τραυματισμών στα μεταλλεία και λατομεία της χώρας, με σχετικά πτωτική τάση και με μέγιστο αριθμό τους 12 νεκρούς το 2001, (βλ. Διάγραμμα 1.1).



Διάγραμμα 1.1. Διάγραμμα χρονικής (1987-2009) και χωρικής (Νότια και Βόρεια Ελλάδα) κατανομής ατυχημάτων στην Ελλάδα (Πηγή : Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, ΥΠΕΚΑ).

Στην περίπτωση ατυχημάτων, η αντιμετώπιση χαρακτηρίζεται μάλλον “ηθικοπλαστική”, παραπέμποντας σε άρθρα του Κανονισμού Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών (ΚΜΛΕ). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ένα θανατηφόρο ατύχημα που συνέβη τον Ιανουάριο του 2009 και στην μονοσέλιδη αναφορά του γίνεται παραπομπή σε 3 άρθρα του ΚΜΛΕ, το οποίο ακολουθεί αυτούσιο, όπως δημοσιεύτηκε (βλ. Εικόνα 1.2) [ΥΠΕΚΑ, 2009].

Από αυτό το παράδειγμα, καθίσταται σαφές ότι η αντιμετώπιση των ατυχημάτων είναι προβληματική· μετά από την εκδήλωση των ατυχημάτων, αντί να δοθεί βάση στην επίλυση των αιτιών που εμπόδισαν τη διάσωση των μεταλλωρύχων ή ακόμα και την αποτροπή του ατυχήματος και να επιβληθούν κυρώσεις στους υπεύθυνους, παρουσιάζονται στην αναφορά του ατυχήματος παραπομπές και ίσως μερικές αναθεωρήσεις σε κεφάλαια του εκάστοτε κανονισμού ασφαλείας της κάθε χώρας, λαμβάνοντας έναν “ηθικοπλαστικό”, παρά έναν ουσιώδη χαρακτήρα. Η αναφορά θα ήταν πιο αποτελεσματική, εάν γίνονταν αναλύσεις σχετικά με τις αιτίες που οδήγησαν στο ατύχημα, την οποία θα ακολουθούσαν συστάσεις και κυρώσεις προς τους υπεύθυνους ασφαλείας του έργου όπου συνέβη το εκάστοτε ατύχημα. Για παράδειγμα, στις Η.Π.Α. [MSHA, 2010] όπου γίνονται οι εν λόγω αναλύσεις, οι συστάσεις πολλές φορές περιστρέφονται γύρω από γενικότητες όπως : “Το ατύχημα συνέβη λόγω ανεπάρκειας της διαχείρισης, των διαδικασιών και των απαραίτητων ελέγχων”, η οποία επαναλαμβάνεται συχνά στη σύνοψη των αναφορών του οργανισμού. Με λίγα λόγια, δεν γίνεται ποιοτική ή ποσοτική ανάλυση κινδύνου με σύγχρονες μεθόδους ποσοτικοποίησης των αποτελεσμάτων.

Προληπτικά, πρέπει να γίνουν νομικές κινήσεις που θα υποχρεώνουν το κάθε μεταλλευτικό έργο να έχει ολοκληρώσει μια ανάλυση κινδύνου πριν την εκκίνηση των εργασιών, η οποία θα ανανεώνεται δυναμικά μέσα στο χρόνο ανάλογα με τις ανάγκες που προκύπτουν. Ακόμα, πρέπει η επιθεώρηση ασφαλείας να γίνει πιο αυστηρή, υποχρεώνοντας τους υπεύθυνους κάθε έργου να συμμορφώνονται με τον Κανονισμό. Τέλος, μια αμφίδρομη σχέση και συνεργασία μεταξύ των υπευθύνων του κάθε έργου και των επιθεωρητών ασφαλείας, θα διασφάλιζε τις σωστές εργασιακές συνθήκες για τους απασχολούμενους και θα μείωνε σημαντικά τον αριθμό των ατυχημάτων.

ΘΑΝΑΤΗΦΟΡΟ ΑΤΥΧΗΜΑ - ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2009



Την Παρασκευή 16 Ιανουαρίου του 2009, ένας χειριστής φορτωτή, 28 ετών, με 3 μήνες εμπειρία στη συγκεκριμένη εργασία, τραυματίστηκε θανάσιμα σε λατομείο.

Το θύμα χειριζόταν έναν ελαστικοφόρο φορτωτή. Κάποια στιγμή, όπως δούλευε πλησίον του μετώπου του λατομείου, ύψους άνω των 50 μέτρων, μια μεγάλη πέτρα αποσπάστηκε και έπεσε στην καμπίνα του χειριστή με αποτέλεσμα να τον τραυματίσει θανάσιμα.

ΒΑΣΙΚΕΣ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΟΥ Κ.Μ.Λ.Ε.

1. Άρθρο 20 παρ. 8 : «Απαγορεύεται ο χειρισμός ή η επέμβαση (συντήρηση - επισκευή) σε μηχανήματα, μηχανικές και ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, καθώς και η εκτέλεση των εργασιών του άρθρου 104, από άτομα που δεν έχουν την απαιτούμενη, σε κάθε περίπτωση, άδεια...».

2. Άρθρο 80 παρ. 1 : «Κάθε εκσκαφή, για την ασφαλή και ορθολογική εκτέλεση της εργασίας, πρέπει να υποδιαιρείται σε βαθμίδες ύψους, το πολύ, 15 Μ. ...».

3. Άρθρο 13 παρ. 2 : «Όλοι οι νεοπροσλαμβανόμενοι, πριν απ' την ανάληψη εργασίας, πρέπει να παρακολουθούν πρόγραμμα προκαταρκτικής εκπαίδευσης. Στο πρόγραμμα αυτό πρέπει να περιέχονται και τα παρακάτω:

α) Ανάλυση των σχετικών διατάξεων του ΚΜΛΕ.

β) Ανάλυση και επεξήγηση εγγράφων οδηγιών...

Εικόνα 1.2. Παράδειγμα αναφοράς θανατηφόρου ατυχήματος (Πηγή : ΥΠΕΚΑ)

2. Αξιοσημείωτα μεταλλευτικά ατυχήματα

Όπως προκύπτει από το προηγούμενο κεφάλαιο, τίθεται σημαντικό ζήτημα ασφαλείας στις περιοχές εκμετάλλευσης υπόγειων κοιτασμάτων, όπου η αμέλεια, η άγνοια κινδύνου ή/και η καταστρατήγηση των κανονισμών ασφαλείας οδηγεί συχνά σε πολύνεκρα ατυχήματα. Ακολουθούν τα σημαντικότερα ατυχήματα από πλευράς αριθμού θυμάτων, αλλά και αυτά που είναι ιδιάζουσας σημασίας, όσο αφορά στη διάσωση των επιζώντων μεταλλωρύχων, όπως το ατύχημα στο Lengede και το ατύχημα στο ορυχείο Quecreek. Όπου αυτό κατέστη δυνατό, θα γίνεται και μια μικρή ανάλυση των γεγονότων.

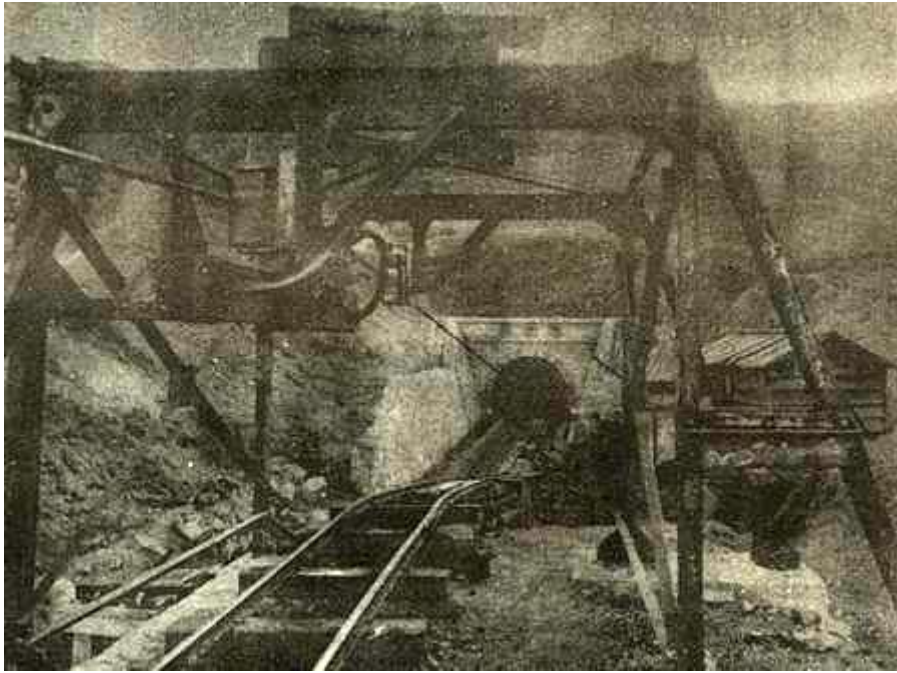
2.1. Τα 10 πιο πολύνεκρα μεταλλευτικά ατυχήματα στην ιστορία

Ακολουθούν τα 10 πιο πολύνεκρα ατυχήματα στην μεταλλευτική ιστορία, όπου αναφέρονται και σχετικές πληροφορίες – όπου βρέθηκαν – όπως το αίτιο ατυχήματος και οι επιζώντες από την επιχείρηση διάσωσης (εάν αυτή πραγματοποιήθηκε). Τα ατυχήματα αυτά καλύπτουν χρονικά σχεδόν τα 3/4 του 20^{ου} αιώνα και αριθμούν συνολικά 6.650 θύματα.

2.1.1. Ανθρακωρυχείο Benxiyu (Honkeiko), Κίνα, 1942

Στις 26 Απριλίου 1942, έλαβε χώρα το πιο καταστροφικό μεταλλευτικό ατύχημα όλων των εποχών σε αυτό το ορυχείο εξόρυξης άνθρακα και σιδήρου της – τότε κατεχόμενης από τους Ιάπωνες – Μαντζουρίας, με απολογισμό 1.549 νεκρούς μεταλλωρύχους, το 34% των συνολικών εργατών εκείνης της ημέρας. Εκεί, οι Κινέζοι εργάτες αντιμετωπίζονταν ως “υπάνθρωποι” σκλάβοι από τους Ιάπωνες εργοδότες τους, οι οποίοι φέρουν μεγάλη ευθύνη γι’ αυτήν την καταστροφή [Wikipedia].

Αίτιο ατυχήματος : Μετά την εκδήλωση φωτιάς εντός του ορυχείου, η οποία έστειλε φλόγες ως την είσοδο, σημειώθηκε έκρηξη σκόνης άνθρακα. Οι Ιάπωνες φύλακες που φρουρούσαν την περιοχή του ορυχείου, με σκοπό να περιορίσουν την εξάπλωση της φωτιάς, απενεργοποίησαν το σύστημα αερισμού κι έπειτα έφραξαν την είσοδο του ορυχείου (βλ. Εικόνα 2.1), πριν προλάβουν όλοι οι μεταλλωρύχοι να αποδράσουν, οι οποίοι είτε πέθαναν από ασφυξία, είτε από δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα.



Εικόνα 2.1. Η είσοδος του ανθρακωρυχείου Benxiyu (Honkeiko). (Πηγή : Διαδίκτυο)

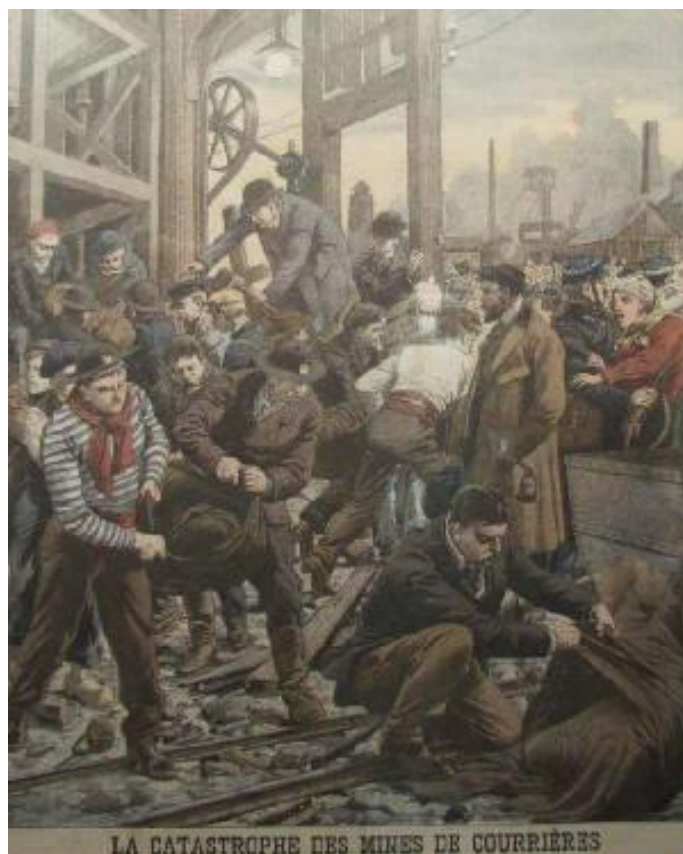
Διάσωση και επιζώντες : Από τη στιγμή που έκλεισε η είσοδος στο ορυχείο ήταν αδύνατο να βρεθούν επιζώντες. Χρειάστηκαν 10 ημέρες για να ολοκληρωθεί η συλλογή όλων των πτωμάτων εντός του ορυχείου (31 Ιάπωνες και οι υπόλοιποι Κινέζοι).

2.1.2. Ορυχείο Courrières, Γαλλία, 1906

Ήταν 10 Μαρτίου του 1906, όταν σημειώθηκε έκρηξη στο ορυχείο Courrières που βρίσκεται στην επαρχία Pas-de-Calais, η οποία μάλιστα ήταν τόσο ισχυρή που εκτόξευσε τους ανελκυστήρες των στοών στην επιφάνεια, καταστρέφοντας, παράλληλα, σχεδόν ολοκληρωτικά τις εγκαταστάσεις εντός κι εκτός του ορυχείου (βλ. Εικόνα 2.2). Το αποτέλεσμα αυτής της καταστροφής ήταν 1.099 εργάτες (περίπου τα 2/3 των εργαζομένων εκείνη τη στιγμή) να πεθάνουν από τις αναθυμιάσεις αλλά και τις επιμέρους καταρρεύσεις [Wikipedia]. Το ασυνήθιστα πυκνό δίκτυο στοών εντός του ορυχείου βοήθησε στην ταχεία εξάπλωση της σκόνης άνθρακα, η οποία επεκτάθηκε σε συνολικά 110 χιλιόμετρα στοών.

Αίτιο ατυχήματος : Μέχρι σήμερα δεν έχει αποσαφηνιστεί τι προκάλεσε την έκρηξη, αλλά πιθανολογείται ότι αυτή οφείλεται σε ανθρώπινο λάθος στο χειρισμό

των χρησιμοποιούμενων εκρηκτικών υλών που οδήγησε σε έκρηξη σκόνης άνθρακα ή σε ανάφλεξη μεθανίου από τη γυμνή φλόγα των λυχνιών των εργατών.



Εικόνα 2.2. Γκραβούρα της εποχής όπου απεικονίζονται σκηνές από την καταστροφή στο ορυχείο Courrières. (Πηγή : Le Petit Journal)

Διάσωση και επιζώντες : 600 εργάτες κατάφεραν να σωθούν φτάνοντας στην επιφάνεια, με σοβαρά εγκαύματα και αναπνευστικά προβλήματα, τις πρώτες ώρες μετά το ατύχημα. Η εμπειρία των σωμάτων διάσωσης ήταν μικρή κι έπρεπε να αναμένουν ξένη βοήθεια, ωστόσο, 20 μέρες μετά, στις 30 Μαρτίου, εντοπίστηκαν 13 επιζώντες. Όσο για την ανεύρεση των πτωμάτων, αυτή καθυστέρησε χαρακτηριστικά. Μέχρι, την 1^η Απρίλη μόνο 194 άψυχα σώματα είχαν βρεθεί.

2.1.3. Ανθρακωρυχείο Mitsubishi Hojyo, Kyūshū, Ιαπωνία, 1914

Στις 15 Δεκεμβρίου 1914, 687 εργάτες έχασαν τη ζωή τους από έκρηξη αερίων στο πιο καταστροφικό ατύχημα που έχει σημειωθεί μέχρι σήμερα στην μεταλλευτική ιστορία της Ιαπωνίας. Δεν υπάρχουν στοιχεία σχετικά με τις λεπτομέρειες του ατυχήματος, διότι οι κυβερνήσεις της χώρας δεν άφηναν στοιχεία να διαρρεύσουν στη δημοσιότητα, την περίοδο πριν τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, με συνέπεια πολλά από αυτά να έχουν χαθεί στο πέρασμα του χρόνου.

2.1.4. Ανθρακωρυχείο Laobaidong, Datong, Κίνα, 1960

Η έκρηξη μεθανίου της 9^{ης} Μαΐου του 1960 στο ανθρακωρυχείο Laobaidong της Κίνας, κρατήθηκε κρυφή από τον υπόλοιπο κόσμο ως κρατικό μυστικό μετά από εντολή της τότε κυβέρνησης και είδε το φως της δημοσιότητας 32 χρόνια μετά [Jianjun, 2007]. Στο εν λόγω ατύχημα, 682 εργάτες σκοτώθηκαν από την εξάπλωση της σκόνης άνθρακα εντός του ορυχείου, στο δεύτερο ως σήμερα πιο καταστροφικό μεταλλευτικό ατύχημα που έχει σημειωθεί ποτέ στην Κίνα.

2.1.5. Ανθρακωρυχείο Wankie, Ροδεσία (σημ. Ζιμπάμπουε), 1972

Το ανθρακωρυχείο Wankie ήταν η μοναδική πηγή άνθρακα στη Ροδεσία. Το πρώτο σημάδι της καταστροφής φάνηκε όταν, στις 19 Ιουνίου 1972, ένας ανελκυστήρας εκτοξεύτηκε από το #2 φρέαρ του ορυχείου, ο οποίος αφού έκαψε αρκετά δέντρα στη διαδρομή του, προσγειώθηκε 50 μέτρα μακριά από την είσοδο [Wikipedia]. Η έκρηξη που σημειώθηκε εντός του ορυχείου, το γέμισε χαλάσματα, τα οποία σε συνδυασμό με τις επικίνδυνες συγκεντρώσεις αερίων, κόστισαν τη ζωή σε συνολικά 472 εργάτες διαφόρων εθνικοτήτων – ντόπιων αλλά και γειτονικών χωρών. Αξίζει να αναφερθεί ότι πριν την καταστροφή είχαν συμβεί δύο περιστατικά ανάφλεξης μεθανίου και είχαν προταθεί μέτρα αντιμετώπισης από τον επιθεωρητή των ορυχείων της χώρας, τα οποία δεν ακολουθήθηκαν στο σύνολό τους.

Αίτιο ατυχήματος : Η λανθασμένη χρήση δυναμίτιδας σε διάτρημα το οποίο πυροδότησε την ανάφλεξη της σκόνης άνθρακα, είναι το πιο πιθανό να προκάλεσε την καταστροφή στο ορυχείο, όπου παγιδεύτηκαν εργάτες σε βάθος εκατοντάδων μέτρων [Livingstone – Blevins]. Όπως αποδείχτηκε αργότερα, όσοι επέζησαν από την κατάρρευση των τοιχωμάτων των στοών, πέθαναν λόγω δηλητηρίασης από τις

υψηλές συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου που απελευθερώθηκαν από την έκρηξη.

Διάσωση και επιζώντες : Καταλυτικό ρόλο έπαιξε η κίνηση των διασωστών να διοχετεύσουν αέρα υπό πίεση εντός του ορυχείου, ώστε να στείλουν τα επικίνδυνα αέρια βαθύτερα και να είναι δυνατή η είσοδος των συνεργείων στο ορυχείο. Το γεγονός αυτό μείωσε δραματικά τις πιθανότητες να βρεθεί κανείς ζωντανός μέσα στο ορυχείο. Μετά το πέρας της διάσωσης, η οποία διήρκεσε 3 μέρες, κανείς επιζώντας δε βρέθηκε. Όπως δήλωσε και ο ιδιοκτήτης του ορυχείου, οι εργατές πέθαναν σχεδόν ακαριαία. Πολλά πτώματα δε βρέθηκαν ποτέ.



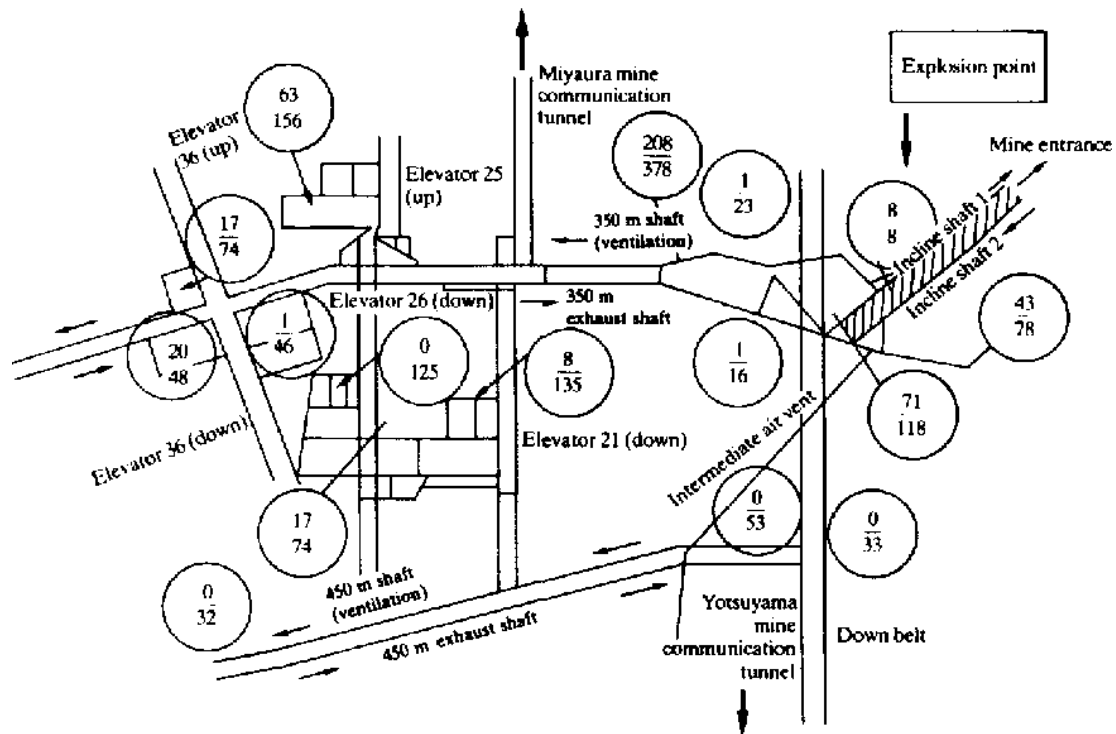
Εικόνα 2.3. Πρωτοσέλιδο Ροδεσιανής εφημερίδας την 7^η Ιουνίου 1972, όπου αναφέρεται η καταστροφή της προηγούμενης ημέρας. (Πηγή : Διαδίκτυο)

2.1.6. Ανθρακωρυχείο Mitsui Miike, Omuta, Ιαπωνία, 1963

Την 9^η Νοεμβρίου του 1963, στις 3 το μεσημέρι, μια τρομερή έκρηξη συγκλόνισε το ορυχείο Mitsui Miike του νησιού Omuta της Ιαπωνίας. Σε απόσταση 1,2 km περίπου από την είσοδο, ένα βαγόνι συρμού που μετέφερε άνθρακα στην επιφάνεια εκτροχιάστηκε με συνέπεια να σπάσει η αλυσίδα που συνέδεε τα βαγόνια μεταξύ τους. 8 βαγόνια ανέπτυξαν μεγάλη ταχύτητα και μετά από 350 μέτρα σταμάτησαν πάνω σε πλαίσια αντιστήριξης του ορυχείου τα οποία και καταστράφηκαν, ενώ τα βαγόνια ανατράπηκαν. Από την προκληθείσα έκρηξη 20 εργάτες σκοτώθηκαν ακαριαία λόγω κατάρρευσης της οροφής σε διάφορα σημεία, ενώ 438 έχασαν τη ζωή τους λόγω δηλητηρίασης από μονοξείδιο του άνθρακα. Ήταν το πιο καταστροφικό μεταλλευτικό ατύχημα στην Ιαπωνία μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο.

Αίτιο ατυχήματος : Είτε οι σπίθες λόγω τριβής των βαγονιών με τις ράγες είτε ο πιθανός τραυματισμός των καλωδίων υψηλής τάσης ήταν το έναυσμα που πυροδότησε τη σκόνη άνθρακα που μετέφεραν τα βαγόνια, η οποία αναμίχθηκε με τον αέρα κι εξαπλώθηκε [Nakao et al.]. Όπως αποδείχτηκε, η μεταλλευτική εταιρεία Mitsui δεν είχε γνώση για την ανάφλεξη της σκόνης άνθρακα. Πίστευαν μάλιστα πως ο μοναδικός λόγος έκρηξης στο ανθρακωρυχείο ήταν το μεθάνιο και συνεπώς αγνοούσαν τον κίνδυνο, αφού οι συγκεντρώσεις μεθανίου ήταν εξαιρετικά μικρές. Παράλληλα, διαδίδοντας τον παραπάνω “μύθο” στους εργάτες, δεν τους ενημέρωσε σχετικά με τον κίνδυνο δηλητηρίασης από αέρια [Yoshiro Hoshino et al.].

Διάσωση και επιζώντες : Δεν έγινε καμία άμεση απόπειρα διάσωσης των εργατών από πλευράς της εταιρείας – παρά μόνο μετά από 2 ώρες μετά το ατύχημα όπου κι εμφανίστηκαν οι πρώτοι επιζώντες – υπό τη δικαιολογία ότι η κατάσταση ήταν αβέβαια εντός του ορυχείου. Κατ' αυτόν τον τρόπο, πολλοί εργάτες οι οποίοι δε γνώριζαν για την έκρηξη και δεν είχαν δυνατότητα επικοινωνίας με την επιφάνεια, αφέθηκαν να πεθάνουν από ασφυξία. Στο οριζόντιο επίπεδο των 350 m δεν υπήρχε πρόβλεψη προς αποφυγή επικίνδυνων συγκεντρώσεων αερίων και το σύστημα αερισμού που λειτουργούσε (το οποίο η εταιρεία λανθασμένα δε σταμάτησε), επιδείνωσε την κατάσταση με τους εργάτες να μην έχουν γνώση του κινδύνου που διατρέχουν.



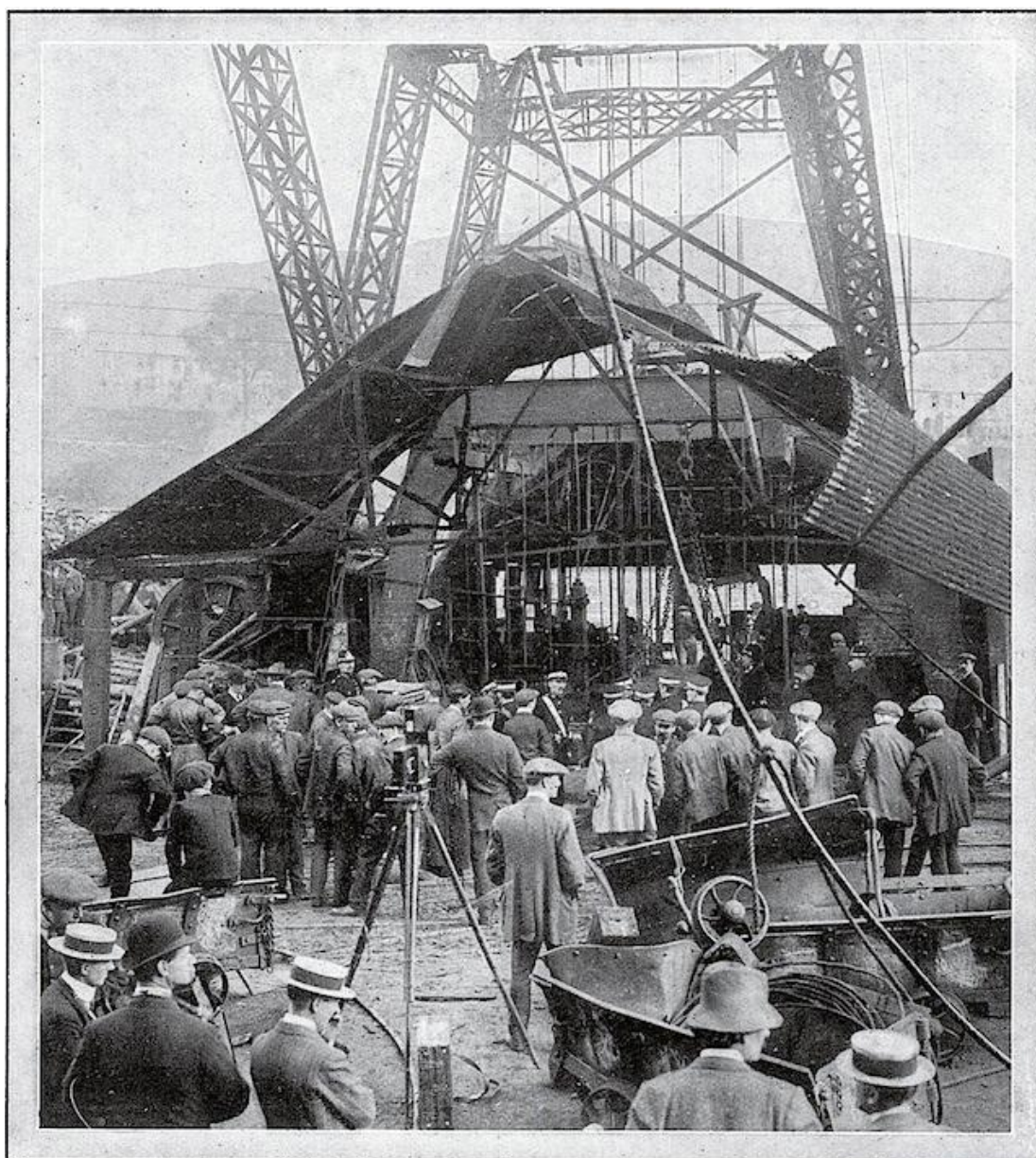
Σχήμα 2.4. Άποψη του ανθρακωρυχείου Mitsui Miike . Σε κύκλο είναι ο αριθμός νεκρών προς το συνολικό αριθμό ατόμων σε εκείνο το σημείο τη στιγμή της έκρηξης. (Πηγή : Yoshiro Hoshino et al.)

Σημειώνεται ότι στο επίπεδο των 450 m κανείς δεν έχασε τη ζωή του, αφού εκεί γινόταν κυκλοφορία αέρα από το διπλανό ορυχείο Yotsuyama (βλ. Σχήμα 2.4). Τέλος, τραγικής σημασίας ήταν η λανθασμένη διάσωση των δηλητηριασμένων ατόμων από μονοξείδιο του άνθρακα (έπρεπε να βγουν πρώτα αυτοί που φαίνονταν σε καλύτερη κατάσταση, αφού αυτοί είναι στο χειρότερο στάδιο δηλητηρίασης και δεν έπρεπε να περπατήσουν) καθώς και η χρήση των ιδίων ατόμων για τη διάσωση των υπολοίπων εργατών. Αυτό συνετέλεσε στην κατακόρυφη αύξηση του τελικού αριθμού των θυμάτων. 939 εργάτες επέζησαν από την καταστροφή, από τους οποίους, οι 839 υπέφεραν από τις συνέπειες του μονοξειδίου του άνθρακα. Πολλοί κατάφεραν να διαφύγουν μέσω των συνδετήριων σηράγγων με τα γειτονικά ορυχεία Yotsuyama και Miyagura.

2.1.7. Ανθρακωρυχείο Senghenydd, Ουαλία, 1913

Το πιο καταστροφικό ατύχημα όλων των εποχών στο Ηνωμένο Βασίλειο συνέβη στις 14 Οκτωβρίου 1913, στο ανθρακωρυχείο Senghenydd της Ουαλίας όπου 439 εργάτες έχασαν τη ζωή τους. Εκείνη την περίοδο η παραγωγή άνθρακα ήταν σε έξαρση, καθώς ήταν περιζήτητος ως καύσιμο για τις ατμομηχανές. Αξίζει να

σημειωθεί ότι το 1901 είχε συμβεί παρόμοια έκρηξη που εξαπλώθηκε και στα δύο φρέατα (Lancaster / York), με 81 από τους 82 εργάτες τότε να σκοτώνονται. Το 1913, 950 άτομα ήταν το ενεργό ανθρώπινο δυναμικό εντός του ορυχείου, όταν μια έκρηξη εκτόξευσε τον ανελκυστήρα από τη στοά Lancaster του ορυχείου στην επιφάνεια καταστρέφοντας τις εγκαταστάσεις (βλ. Εικόνα 2.5). Ο ιδιοκτήτης κλήθηκε να πληρώσει συνολικά £24 ως πρόστιμο για παραβλέψεις ασφαλείας [Smith].



THE PIT-HEAD WRECKED BY THE EXPLOSION

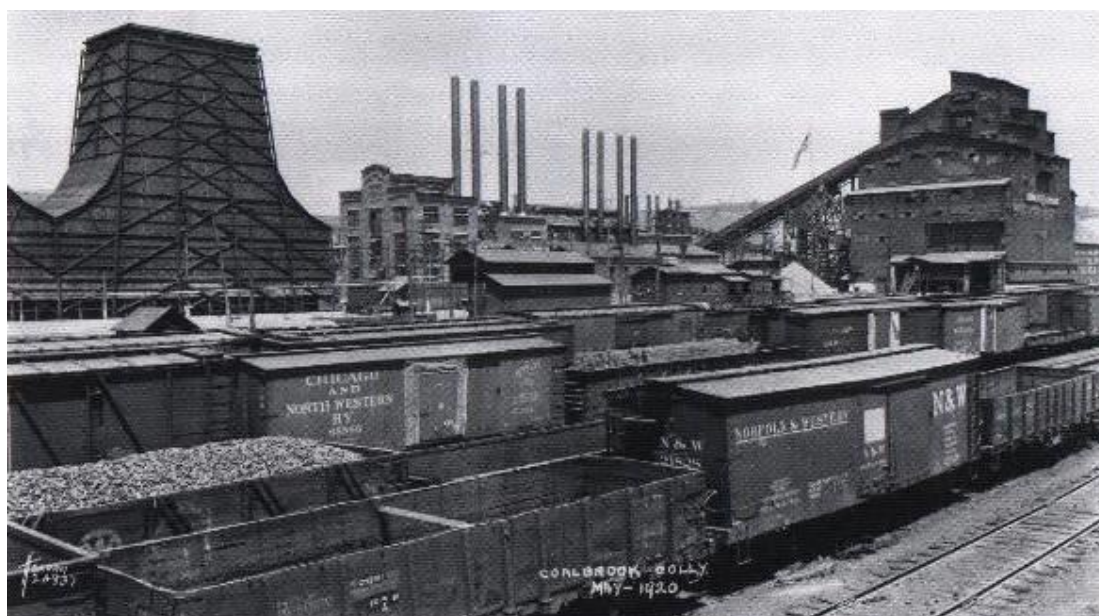
Εικόνα 2.5. Η κατεστραμμένη είσοδος της στοάς Lancaster μετά την έκρηξη. (Πηγή : Διαδίκτυο)

Αίτιο ατυχήματος : Η έκρηξη οφειλόταν σε ανάφλεξη μεθανίου από σπίθα ηλεκτρικής σηματοδότησης πιθανότατα ή από πτώση βράχων, η οποία ήταν το έναυσμα για την πυροδότηση της σκόνης άνθρακα που εξαπλώθηκε αλυσιδωτά μέσα στο ορυχείο.

Διάσωση και επιζώντες : Το φρέαρ York (ανόδου) ήταν σε καλή κατάσταση, οπότε ήταν δυνατή η κατάβαση των διασωστών έστω και με δυσκολίες (φωτιές, καπνός και καταπτώσεις). Εντοπίστηκαν μεμονωμένες ομάδες ατόμων, περίπου 20 σε διάφορα σημεία του ορυχείου, αλλά το έργο των συνεργείων ήταν πολύ δύσκολο. Μετά το πέρας της δεύτερης ημέρας, δεν εντοπίστηκαν επιζώντες παρά μόνο άψυχα σώματα. 3 εβδομάδες μετά, μόλις το 1/3 των αγνοουμένων είχε βρεθεί.

2.1.8. Ορυχείο Coalbrook, Clydesdale, Νότια Αφρική, 1960

Μετά από την κατάρρευση μεγάλου τμήματος της οροφής του ορυχείου Coalbrook North Colliery που ήταν κατασκευασμένο με την μέθοδο των θαλάμων και στύλων, στις 21 Ιανουαρίου 1960, 437 εργάτες παγιδεύτηκαν σε βάθος περίπου 180 m εντός του ορυχείου.



Εικόνα 2.6. Άποψη του ανθρακωρυχείου Clydesdale. (Πηγή : Διαδίκτυο)

Δεν υπήρχε καμία έξοδος και καμία δυνατότητα διάσωσής τους, αφού στη χώρα δεν υπήρχε μηχανήμα ικανό να ανοίξει μια σήραγγα ώστε να δραπετεύσουν οι ανθρακωρύχοι. Μετά από το ατύχημα – το οποίο είναι και το πιο καταστροφικό μεταλλευτικό ατύχημα στην ιστορία της Αφρικής – οι υπεύθυνοι εξόρυξης της χώρας, προμηθεύτηκαν κατάλληλο εξοπλισμό για τέτοιες περιπτώσεις.

Αίτιο ατυχήματος : Η κατάρρευση περίπου 900 στύλων (οι οποίοι διαμορφώνονταν πρόχειρα κι εμπειρικά) ισοπέδωσε μια περιοχή επιφάνειας περίπου 3 km². Αιτία της κατάρρευσης είναι η λανθασμένη εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας των στύλων με συνέπεια, μετά την κατάρρευση του πρώτου στύλου, ο ένας να αστοχεί μετά τον άλλον (φαινόμενο του “ντόμινο”).

Διάσωση και επιζώντες : Τη στιγμή του ατυχήματος, 1000 περίπου εργάτες βρίσκονταν στο ορυχείο, οι μισοί εκ των οποίων δραπέτευσαν μέσω μιας κεκλιμένης στοάς [Poggrund, 2010]. Οι διασώστες εισήλθαν στο κύριο φρέαρ του ορυχείου, αλλά βρέθηκαν αντιμέτωποι με χαλάσματα κι επικίνδυνες συγκεντρώσεις μεθανίου στον αέρα. Συνεπώς, άρχισαν οι εργασίες διάνοιξης ακριβώς πάνω από εκεί που πίστευαν ότι είχαν παγιδευτεί οι εργάτες, ενώ παράλληλα ξεκίνησε διάνοιξη φρέατος διαμέτρου 3,6 m σε άλλο σημείο. Η διάνοιξη στο πρώτο σημείο έγινε γρήγορα και μόλις ολοκληρώθηκε, ένα μικρόφωνο κατέβηκε ώστε να υπάρξει επαφή με τυχόν επιζώντες. Κάτι τέτοιο δε συνέβη δυστυχώς, αφού το μοναδικό που ακούστηκε ήταν η συνεχής ροή του νερού και η κύρια στοά εγκαταλείφθηκε και εν συνεχεία σφραγίστηκε, με αποτέλεσμα τα άψυχα σώματα να μη βρεθούν ποτέ.

2.1.9. Ανθρακωρυχείο New Yubari, Yubari, Hokkaidō, Ιαπωνία, 1914,

Η πόλη Yubari του νησιού Hokkaidō της Ιαπωνίας ήταν μια πόλη που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων άνθρακα που υπήρχαν άφθονα στην περιοχή στην αρχή του 20^{ου} αιώνα, αλλά στη συνέχεια, μετά τη δεκαετία του '60, άρχισε να εξελίσσεται σε “πόλη – φάντασμα” λόγω των πολλών ατυχημάτων που συνέβησαν στα ορυχεία της. Σε ένα από αυτά, στα πρώτα ακόμα χρόνια της εκμετάλλευσης, στις 28 Νοεμβρίου 1914, 422 εργάτες έχασαν τη ζωή τους υπό αδιευκρίνιστες συνθήκες, αφού το καθεστώς της Ιαπωνίας (μαζί με αυτό της Κίνας) είχαν ως τακτική να μην αποκαλύπτουν λεπτομέρειες σχετικά με τα μεταλλευτικά ατυχήματα, ειδικά έως το τέλος του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου.



Εικόνα 2.7. Το σημείο όπου ανακαλύφθηκε το πρώτο κοίτασμα άνθρακα στο Yubari το 1888. (Πηγή : Διαδίκτυο)

2.1.10. Ανθρακωρυχείο Zeche Monopol Schacht Grimberg 3/4, Bergkamen, Δυτική Γερμανία, 1946

Έπειτα από έκρηξη στις 20 Φεβρουαρίου 1946, 405 εργάτες σκοτώθηκαν από έκρηξη σε βάθος περίπου 950 m στο χειρότερο μέχρι σήμερα μεταλλευτικό ατύχημα στη Γερμανία. Είχε μάλιστα προηγηθεί παρόμοιο ατύχημα με 107 νεκρούς 2 χρόνια πριν.

Αίτιο ατυχήματος : Δεν έχει αποσαφηνιστεί μέχρι σήμερα το αίτιο της έκρηξης, η οποία οφείλεται είτε στην παρουσία μεθανίου εντός του ορυχείου είτε στη σκόνη άνθρακα.

Διάσωση και επιζώντες : 64 άτομα κατάφεραν να δραπετεύσουν μέσω της συνδετήριας σήραγγας διαφυγής που κατασκευάστηκε από τους διασώστες και συνέδεσε τη στοά Kwitt με το ορυχείο Grimberg, όπου είχαν παγιδευτεί οι μεταλλωρύχοι.



Εικόνα 2.8. Κατασκευή εις μνήμην των μεταλλωρύχων που έχασαν τη ζωή τους στο ατύχημα του 1946. (Πηγή : Διαδίκτυο)

2.2. Το ατύχημα στο Lengede

Το Lengede είναι μια πόλη της επαρχίας της Κάτω Σαξονίας στη Γερμανία, 40 km νοτιοανατολικά του Ανόβερου. Μεγάλες ποσότητες νερού απαιτούνταν ώστε να ξεπλένεται το εξορυσσόμενο υλικό από το ορυχείο σιδήρου Mathilde στην πόλη Lengede της Γερμανίας. Γι' αυτόν το σκοπό, είχαν δημιουργηθεί πολλές τεχνητές λίμνες ακριβώς πάνω από το ορυχείο.

Στις 24 Οκτωβρίου του 1963, νερό και λάσπη από μια από αυτές τις λίμνες βρήκε δίοδο μεταξύ των επιπέδων 60 και 100 m του ορυχείου την ώρα που 129 μεταλλωρύχοι εργάζονταν στο ορυχείο. 79 κατάφεραν να αποδράσουν από την αρχή, ενώ μια ομάδα 7 ατόμων σώθηκε από μια γεώτρηση που τους εντόπισε, οι οποίοι τελικά αποφάσισαν για τους εαυτούς τους και μέσω της υποχώρησης του νερού επέπλευσαν έως την έξοδο του ορυχείου.

Ακόμα, 4 μεταλλωρύχοι βρήκαν καταφύγιο σε μια υπερυψωμένη γαλαρία όπου αν και βρισκόταν κάτω από το επίπεδο της στάθμης του νερού, ο θύλακας αέρα δεν επέτρεψε σε αυτό να εισέλθει σε εκείνο το σημείο. Έγιναν γεωτρήσεις προς εκείνη την κατεύθυνση (βάθος 79 m) με πεπιεσμένο αέρα ώστε να διατηρηθεί η πίεση εντός του θύλακα και να μην επιτραπεί η είσοδος του νερού. Αφού εντοπίστηκαν οι εργάτες, τους στάλθηκαν μαζί με νερό και τρόφιμα, παιχνίδια και φωτογραφίες των δικών τους και τους επιβλήθηκε ειδική δίαιτα. Μετά από 6 μέρες, την 1^η Νοεμβρίου, τρεις από αυτούς ανέβηκαν στην επιφάνεια εντός μιας κάψουλας διαμέτρου μόλις 38,5 cm, ονόματι Dahlbusch-Bombe ["Grubeninglück und Rettung, 1963"].

Παράλληλα, 21 μεταλλωρύχοι είχαν διαφύγει σε ένα εγκαταλειμμένο και ασταθές σημείο του ορυχείου, υπό την ονομασία "Old man" όπου ήδη μέρος της οροφής είχε καταρρεύσει. Μερικοί από αυτούς σκοτώθηκαν από τα κομμάτια βράχου που έπεφταν, ενώ ο αερισμός ήταν πτωχός. Η διαχείριση του ορυχείου είχε αποφασίσει την παύση των ερευνών όταν κάποιοι εργάτες πρότειναν ότι μέρος των μεταλλωρύχων ίσως να έχει καταφύγει εκεί. Πράγματι, αφού μια διερευνητική γεώτρηση έφτασε στο σημείο βάθους 56 m, εντοπίστηκαν οι μεταλλωρύχοι, οι οποίοι χτύπησαν την κεφαλή του γεωτρήσανου για να ακουστούν. Όπως και στο ατύχημα της Χιλής, νερό και τρόφιμα εστάλησαν μέσω της γεώτρησης (διαμέτρου 6 cm περίπου), καθώς και ένα μικρόφωνο. Έπειτα, ξεκίνησε η διεύρυνση της διαμέτρου ώστε να γίνει η διάσωση των μεταλλωρύχων μέσω της κάψουλας. Λόγω της πτωχής ποιότητας της βραχώμαζας, αποφασίστηκε μετά τα πρώτα 40 m να γίνει διάνοιξη ξηρού τύπου με πεπιεσμένο αέρα υπό το φόβο ότι η εισροή νερού στη γεώτρηση ίσως συντελούσε σε περαιτέρω κατάρρευση στο σημείο που είχαν καταφύγει οι μεταλλωρύχοι. Στις 7 Νοεμβρίου – 14 ημέρες μετά το ατύχημα – 11 από αυτούς ανελκύστηκαν στην επιφάνεια εντός της κάψουλας Dahlbusch-Bombe [Der Spiegel, 1963].

Οι υπόλοιποι 29 μεταλλωρύχοι έχασαν τη ζωή τους – 19 αμέσως μετά την εκδήλωση του ατυχήματος και άλλοι 10 καθώς περίμεναν τη διάσωσή τους. Η συμβολή της κάψουλας Dahlbusch-Bombe μείωσε δραστικά τις ανθρώπινες

απώλειες. Όταν εντοπίστηκαν τα άψυχα σώματα, διαπιστώθηκε ότι μερικοί από αυτούς είχαν επιβιώσει για αρκετές μέρες, αλλά ήταν αδύνατο με τα τότε διαθέσιμα μέσα να εντοπιστούν έγκαιρα.



*Εικόνα 2.9. Σκίτσο της εποχής με στιγμιότυπο από την ανέλκυση των μεταλλωρύχων στην επιφάνεια.
(Πηγή : Helmuth Ellgaard)*

Το ατύχημα στο Lengede ήταν το πρώτο ατύχημα που προβλήθηκε και καλύφθηκε εκτενώς σε καθημερινή βάση από τα διεθνή μέσα μαζικής ενημέρωσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι τότε είχαν σπεύσει στο σημείο 365 άτομα, μέλη συνεργείων και 83 δημοσιογράφοι. Ο τότε καγκελάριος της Γερμανίας Ludwig Erhard είχε επισκεφθεί το σημείο και είχε επικοινωνήσει προσωπικά με τους παγιδευμένους μεταλλωρύχους. Ακόμα, ήταν ένα ατύχημα στο οποίο πολλοί φορείς ένωσαν τις δυνάμεις τους ώστε να σωθούν οι μεταλλωρύχοι. Κατασκευαστικές εταιρείες προσέφεραν τα μηχανήματά τους, κοντινά ορυχεία διέθεσαν τον εξοπλισμό και τους υπαλλήλους τους για να συμμετέχουν στη διάσωση και πανεπιστημιακοί φορείς συνέβαλαν στη διάσωση με εξειδικευμένη τεχνογνωσία της εποχής. Σημαδιακά ατυχήματα σαν κι αυτό στο Lengede αποτέλεσαν οδηγό για την αντιμετώπιση μετέπειτα παρομοίων ατυχημάτων, όπως αυτά στο ορυχείο Quecreek των Η.Π.Α. και το San José της Χιλής.

2.2.1. Η κάψουλα Dahlbusch-Bombe

Τον Μάιο του 1955 στο ανθρακωρυχείο Zeche Dahlbusch της πόλης Gelsenkirchen της περιοχής του Ρουρ της Γερμανίας 3 εργάτες παγιδεύτηκαν σε βάθος 855 m μετά από κατάρρευση της οροφής. Ο μηχανικός Eberhard Au σχεδίασε σε ένα κομμάτι χαρτί την ιδέα του για τη σωτηρία των ανθρακωρύχων, η οποία και εφαρμόστηκε με επιτυχία [Der Spiegel, 1963]. Το χαρακτηριστικό της κάψουλας αυτής ήταν η εξαιρετικά μικρή διάμετρός της : 38,5 cm μέσα στην οποία μετά βίας χωρούσε ένας άνθρωπος (βλ. Εικόνα 2.10). Διανοίχτηκε μια κατακόρυφη γεώτρηση βάθους 42 m από το αμέσως προηγούμενο επίπεδο του ορυχείου και μέσω της κάψουλας διασώθηκαν οι παγιδευμένοι ανθρακωρύχοι.



Εικόνα 2.10. Η πρωτότυπη κάψουλα διάσωσης Dahlbusch-Bombe, όπως βρίσκεται στο Εθνικό Μουσείο του Μονάχου. (Πηγή : Wikipedia, the free encyclopedia)

Η κάψουλα χρησιμοποιήθηκε σε παρόμοιες επιχειρήσεις διάσωσης το 1957 και το 1958, αλλά προβλήθηκε ιδιαίτερα από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης στο ατύχημα του ορυχείου σιδήρου στο Lengede, όπου διασώθηκαν 11 μεταλλωρύχοι μετά από 14 ημέρες παραμονής κάτω από το έδαφος (βλ. Εικόνα 2.11).



Εικόνα 2.11. Φωτογραφία της εποχής με έναν διασωθέντα από το ατύχημα του 1963 εντός της κάψουλας Dahlbusch-Bombe. (Πηγή : Deutsches Bergbau-Museum)

Σύμφωνα με τα παραπάνω, δίκαια θεωρείται ο πρόγονος της κάψουλας που χρησιμοποιήθηκε στη διάσωση στο ορυχείο Quecreek τον Ιούλιο του 2002 και της κάψουλας Φένιχ που χρησιμοποιήθηκε στη διάσωση των 33 μεταλλωρύχων στο ατύχημα στο ορυχείο San José της Χιλής, με τη γνωστή θετική εξέλιξη του απεγκλωβισμού των παγιδευμένων μεταλλωρύχων.

2.3. Η διάσωση στο ορυχείο Quecreek

Το ανθρακωρυχείο Quecreek βρίσκεται στην επαρχία Somerset της Pennsylvania, στις Η.Π.Α., είναι κατασκευασμένο με τη μέθοδο θαλάμων και στύλων, λειτουργεί από το 1913 και ανήκει στην εταιρεία Black Wolf Coal Company.

Στις 24 Ιουλίου του 2002, 2 ομάδες των 9 μεταλλωρύχων η καθεμία, βρίσκονταν σε βάθος 75 m, όταν η μια ομάδα χτύπησε το τοίχωμα ενός εγκαταλειμμένου γειτονικού ορυχείου ονόματι Saxman Coal / Harrison #2, με αποτέλεσμα να εισέλθουν στη στοά τους περίπου 190 εκ. λίτρα νερού. Και τα δύο αυτά ορυχεία εκμεταλλεύονταν το κοίτασμα άνθρακα Upper Kittanning πάχους περίπου 1 m και βρίσκονται σε ένα αντίκλινο, με το ορυχείο Saxman Coal / Harrison #2 να βρίσκεται σε υψηλότερο σημείο από το ορυχείο Quecreek. Αμέσως ειδοποίησαν την άλλη ομάδα που εργαζόταν σε χαμηλότερο επίπεδο του ορυχείου να εξέλθει του ορυχείου, όπως κι έγινε (βλ. Εικόνα 2.13). Όμως, οι 9 μεταλλωρύχοι δεν κατάφεραν όμοια να αποδράσουν, γιατί η στοά τους πλημμύριζε πολύ γρήγορα. Δύο φορές προσπάθησαν να φτάσουν στη στοά εξόδου, όμως ήδη είχε γεμίσει ως την οροφή με νερό. Με σκοπό να φτιάξουν ένα εμπόδιο για το νερό που θα καθυστερήσει τον αποκλεισμό τους, κατασκεύασαν τοίχους με τσιμεντόλιθους.

Η κινητοποίηση των αρχών ήταν άμεση και άρχισε να γίνεται η αναζήτηση μηχανήματος που θα μπορούσε να διανοίξει μια σήραγγα διαφυγής αρκετά μεγάλη ώστε να βγουν οι ανθρακωρύχοι, η οποία εντοπίστηκε στη West Virginia. Πρώτο μέλημα των σωστικών συνεργείων ήταν η εξασφάλιση αέρα και οξυγόνου για τους παγιδευμένους μεταλλωρύχους κι έπειτα η άντληση νερού μέσα από το ορυχείο. Μια διερευνητική γεώτρηση διαμέτρου 17 cm, ξεκίνησε με στόχο τη χορήγηση οξυγόνου και 2 ώρες μετά ξετρύπησε μέσα στο ορυχείο. Το γεωτρύπανο εισπίεσε αέρα στο ορυχείο μέσω της γεώτρησης και τότε ακούστηκαν 9 χτύποι πάνω στη σωλήνα του αέρα που δήλωναν ότι όλοι οι μεταλλωρύχοι ήταν ζωντανοί [Post-Gazette, 2002].

Εν τω μεταξύ, το νερό συνέχιζε να εισρέει με γρήγορο ρυθμό εντός του ορυχείου, ενώ οι είσοδοι του ορυχείου είχαν σχεδόν γεμίσει με νερό και ήταν απροσπέλαστες (βλ. Εικόνα 2.12).



Εικόνα 2.12. Η κατάσταση που επικρατούσε στις εισόδους του ορυχείου Quecreek μετά τη διάρρηξη του μετώπου και την είσοδο του νερού σε αυτό. (Πηγή : Διαδίκτυο)

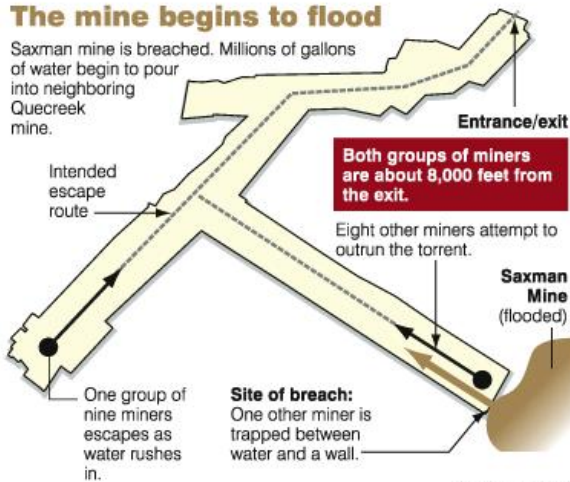
Τότε εφαρμόστηκε η πρόταση ενός ειδικού σε θέματα αερισμού της MSHA (Mine Safety Health Administration), να δημιουργηθεί ένας θύλακας αέρα υπό πίεση ώστε να μην επιτραπεί η είσοδος του νερού στο σημείο που είχαν καταφύγει οι μεταλλωρύχοι. Αυτό βέβαια θα είχε και συνέπειες στην υγεία των μεταλλωρύχων με πιο σημαντική την προσωρινή απώλεια ακοής λόγω του μεγάλου θορύβου από την εισροή αέρα, καθώς και της υψηλής πίεσης.

Παράλληλα, εγκαταστάθηκαν αντλίες νερού την επόμενη μέρα του ατυχήματος στην είσοδο του ορυχείου, ενώ κι άλλες έρχονταν για να συνδράμουν στο έργο της άντλησης, καθώς διανοίγονταν καινούριες αποστραγγιστικές στοές, με προσοχή όμως να μη διαταραχτεί ο θύλακας αέρα (βλ. Εικόνα 2.13). Παρά τη συνεχή άντληση του νερού, το σημείο όπου βρισκόταν η αντλία αέρα πλημμύρισε και οι μεταλλωρύχοι κατέφυγαν στο υψηλότερο σημείο του ορυχείου, 100 m από το προηγούμενο σημείο που βρίσκονταν, περιμένοντας τη διάσωσή τους σε περιβάλλον με θερμοκρασία 10°C.

Facing the problems

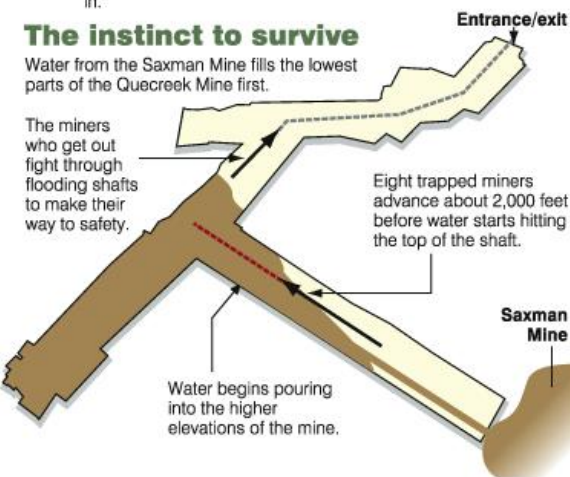
The mine begins to flood

Saxman mine is breached. Millions of gallons of water begin to pour into neighboring Quecreek mine.



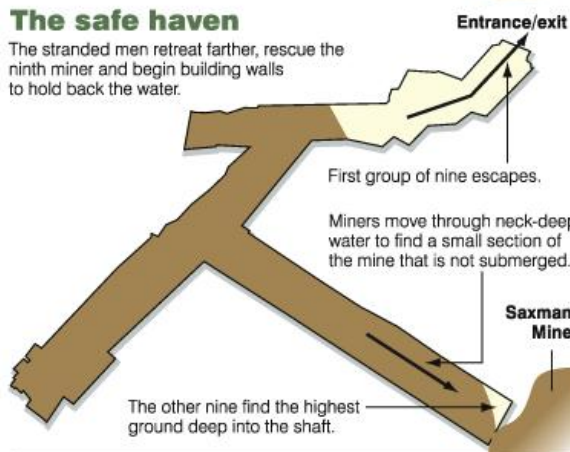
The instinct to survive

Water from the Saxman Mine fills the lowest parts of the Quecreek Mine first.



The safe haven

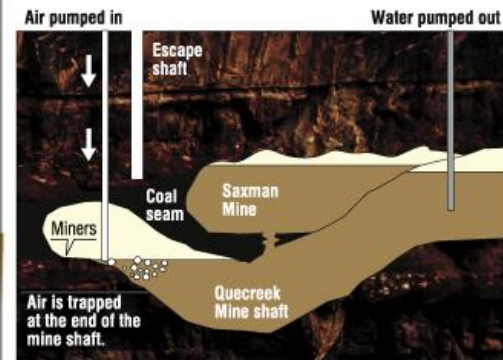
The stranded men retreat farther, rescue the ninth miner and begin building walls to hold back the water.



The situation

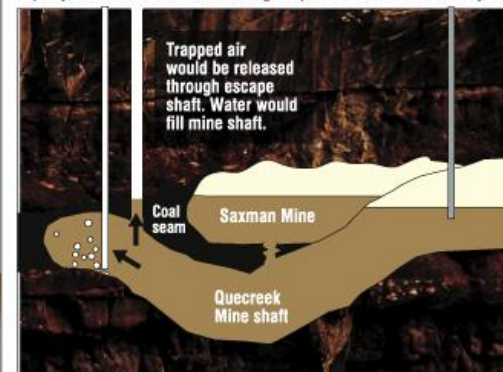
Nine miners are trapped 245 feet underground in a flooded shaft, but breathing because air is being pumped to them.

Graphics not to scale. Schematic only.



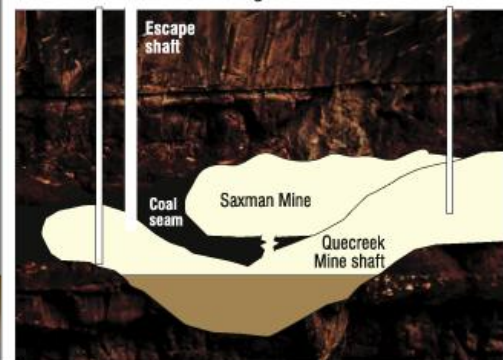
The peril

If a "super drill" trying to reach the men enters the shaft too rapidly, the miners' life-sustaining air pocket could be destroyed.



The solution

Rescuers pump water from the mine. Water recedes and pressure is relieved as air pocket expands. The drill can now continue without fear of flooding the shaft.



Sources: Pa. Dept. of Environmental Protection, Christopher J. Bise/Penn State professor of mining and geoenvironmental engineering, accounts of miners

James Hilston, Stacy Innerst, Steve Thomas/Post-Gazette

Εικόνα 2.13. Σχεδιάγραμμα που απεικονίζει την εξάπλωση του νερού μέσα στο ορυχείο και τη διαδικασία διάνοιξης της σήραγγας διάσωσης. (Πηγή : Post-Gazette)

Το μηχάνημα IR RD20 που θα έκανε τη διάνοιξη της σήραγγας διάσωσης ήταν εξοπλισμένο με μια περιστροφική κεφαλή κι έφτασε στο σημείο την επόμενη μέρα (25 Ιουλίου) ξεκινώντας τις εργασίες του πολύ κοντά στο σημείο που ήταν η γεώτρηση με την αντλία αέρα [Sigmund]. Η προχώρηση γινόταν αρκετά γρήγορα, αλλά υπήρξε μια καθυστέρηση 18 ωρών, όταν το κοπτικό της κεφαλής του μηχανήματος καταστράφηκε και μέρος του κόλλησε εντός της γεώτρησης. Η κεφαλή αντικαταστάθηκε με μια καινούρια (QL200) με σφύρες “down the hole” κι έπειτα συνεχίστηκε η γεώτρηση με νέο πρόβλημα να παρουσιάζεται και τελικά να αποφασίζεται η αλλαγή διαμέτρου από 75 cm σε 66 cm, στην οποία θα χωρούσε η κάψουλα διάσωσης. Αξίζει να σημειωθεί η συμμετοχή της εταιρείας CRI (Center Rock Inc.) στη διάσωση, της οποίας η ειδική κεφαλή ήταν αυτή που διάνοιξε τη σήραγγα διάσωσης των μεταλλωρύχων στο ορυχείο San José της Χιλής.

Σχετικά με τη διάσωση, εκφράζονταν φόβοι από τους διασώστες για την πιθανή προσβολή των μεταλλωρύχων από την ασθένεια της αποσυμπίεσης, λόγω διαφοράς πίεσης του ατμοσφαιρικού αέρα και του θύλακα αέρα εντός του ορυχείου. Γι’ αυτόν το λόγο προτάθηκε αεροστεγές κλείσιμο της σήραγγας διάσωσης και δωμάτια υπερπίεσης, αλλά τίποτα από τα δύο δε χρειάστηκε εν τέλει, αφού η διαφορά πίεσης αποδείχτηκε αμελητέα.



Εικόνα 2.14. Ένας εκ των μεταλλωρύχων φτάνει στην επιφάνεια μέσα στην κάψουλα διάσωσης.
(Πηγή : Διαδίκτυο)

Το μηχάνημα ολοκλήρωσε τη διάνοιξη του φρέατος στις 28 Ιουλίου και μετά από μερικές απαραίτητες προετοιμασίες, οι 9 μεταλλωρύχοι έφτασαν στην επιφάνεια μέσα στην κάψουλα ύψους 2,5 m (βλ. Εικόνα 2.15) [Quecreek Mine Disaster Timeline].



Εικόνα 2.15. Η κάψουλα μέσω της οποίας έφτασαν οι 9 ανθρακωρύχοι σώοι στην επιφάνεια. (Πηγή : Διαδίκτυο)

Αίτιο ατυχήματος : Η έρευνα σχετικά με το ατύχημα στο ορυχείο κατέδειξε ότι γινόταν χρήση ενός μη έγκυρου χάρτη από τους ανθρακωρύχους, όπου δεν παρουσιαζόταν η τελική κατάσταση του διπλανού ορυχείου [Pauley et al., 2003]. Η χρήση του παλαιού χάρτη οδήγησε σε αυτό το ατύχημα και ασκήθηκε δίωξη στην εταιρεία που είχε το ορυχείο Quecreek, η οποία μάλιστα είχε υποπέσει σε 25 παραβάσεις των κανονισμών. Σύμφωνα με την τελική αναφορά, η διάσωση της πρώτης ομάδας των 9 μεταλλωρύχων οφείλεται καθαρά στην έγκαιρη ειδοποίησή τους από την άλλη ομάδα που δούλευε στο μέτωπο όπου έγινε η διάρρηξη.

2.4. Σχολιασμός ατυχημάτων

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω στοιχεία, τα 10 πιο πολύνεκρα μεταλλευτικά ατυχήματα έχουν συμβεί σε ανθρακωρυχεία. Σχεδόν όλα τα ατυχήματα τοποθετούνται πριν τη δεκαετία του '70 (εκτός από το ατύχημα στο ανθρακωρυχείο Wankie το 1972), όταν οι συνθήκες εργασίας των ανθρακωρύχων και οι κανονισμοί ασφαλείας ήταν ακόμα σε σχετικά πρώιμο στάδιο. Ακόμα, η γνώση γύρω από τη διάνοιξη των στοών ήταν περιορισμένη με συνέπεια τα λάθη στο σχεδιασμό, αλλά και την προβληματική εκτέλεση των εργασιών εντός του ορυχείου (ανεπαρκές πάχος υποστηρικτικών στύλων, μεγάλα ανοίγματα στις στοές, λανθασμένη χρήση εκρηκτικών υλών).

Πέρα από τις λανθασμένες εκτιμήσεις στο σχεδιασμό, υπήρχε και η άγνοια των υπεύθυνων μηχανικών ή και των εργατών, σχετικά με τους κινδύνους που εγκυμονούσαν τα ορυχεία στα οποία εξορυσσόταν το εκάστοτε μέταλλευμα. Η παρουσία του μεθανίου που μπορεί να αναφλεχθεί πολύ εύκολα, καθώς και να οδηγήσει σε αλυσιδωτή έκρηξη σκόνης άνθρακα στα ορυχεία, αρκετές φορές δε λαμβανόταν υπόψη, ηθελημένα και μη, σε βάρος των εργατών. Σε πολλά ορυχεία δεν υπήρχε σύστημα ανίχνευσης του μονοξειδίου του άνθρακα, ενώ μερικοί εργάτες εργάζονταν υπό το φως γυμνής φωτιάς.

Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να συμβούν τα παραπάνω ατυχήματα, των οποίων οι απώλειες σε ανθρώπινες ζωές ενισχύθηκαν από την έλλειψη ενός σχεδίου αντιμετώπισης τέτοιων έκτακτων περιπτώσεων, καθώς και από το γεγονός ότι σε πολλά ορυχεία, οι ανθρώπινες ζωές έμπαιναν σε δεύτερη μοίρα πίσω από την παραγωγή. Χαρακτηριστικά, στο ατύχημα στο ανθρακωρυχείο Benxihu στην Κίνα, μέσα στον πανικό τους, οι υπεύθυνοι έφραξαν την είσοδο για να μην εξαπλωθεί η φωτιά εντός κι εκτός του ορυχείου, στερώντας από τους εργάτες την ευκαιρία να

δραπετεύσουν. Οι υπεύθυνοι θεώρησαν αυτόν τον τρόπο κατάλληλο να περιορίσει την καταστροφή. Ακόμα όμως κι αν δεν είχαν προβεί σ' αυτήν την ενέργεια, η προηγούμενη κίνησή τους να απενεργοποιήσουν το σύστημα αερισμού του ορυχείου (για τον ίδιο με πριν σκοπό) είχε ήδη καταδικάσει τους εργάτες. Η απουσία άλλης εξόδου διαφυγής αλλά και σχεδίου εκκένωσης συνετέλεσε στην έκταση αυτού του ατυχήματος.

Με το πέρας των ετών και την απόκτηση τεχνογνωσίας σε όλους τους τομείς (μελέτη και κατασκευή), η ασφάλεια στα υπόγεια μεταλλεία αυξήθηκε σε ικανοποιητικό επίπεδο, χωρίς όμως να καταφέρει να εξαλείψει τελείως τον κίνδυνο ατυχήματος. Παραδείγματα αποτελούν τα πιο "σύγχρονα" ατυχήματα στα ορυχεία Lengede και Quecreek, όπου παρά την κρισιμότητα της κατάστασης, βρέθηκε έγκαιρα μια λύση, ώστε να σωθούν οι μεταλλωρύχοι.

3. Το ατύχημα στο ορυχείο San José της Χιλής

3.1. Μεταλλευτική ιστορία της Χιλής

Η Χιλή έχει μακρά παράδοση στην εξόρυξη μεταλλευμάτων, η οποία αναπτύχθηκε μέσα στον 20^ο αιώνα. Ο μεταλλευτικός τομέας είναι ένας από του στυλοβάτες της Χιλιανής οικονομίας, καθώς μόνο η εξόρυξη χαλκού αποφέρει περίπου 15% του ΑΕΠ της χώρας [Central Bank of Chile, 2009]. Η εκμετάλλευση των κοιτασμάτων συγκεντρώνεται κυρίως στην περιοχή Norte Grande που απλώνεται στην έρημο Atacama (το ξηρότερο μέρος στη Γη).

Τα διαθέσιμα μεταλλεύματα στη Χιλή περιλαμβάνουν χαλκό, χρυσό, άργυρο, μολυβδαίνιο, σίδηρο και άνθρακα. Οι ποσότητες που παράγει η Χιλή είναι αρκετά μεγάλες, με συνέπεια η χώρα να κρατάει τα ηνία της παγκόσμιας παραγωγής χαλκού. Παρά τις αυξομειώσεις της ζήτησης χαλκού στην αγορά, η παραγωγή χαλκού είχε ένα μέσο ποσοστό 7% ετήσιας αύξησης. Ακόμα, το 5% της παραγωγής χρυσού στο δυτικό ημισφαίριο του πλανήτη μας εντοπίζεται στη Χιλή, από το οποίο το 41% είναι υποπροϊόν της παραγωγής χαλκού [Wikipedia].

Στη χώρα δραστηριοποιούνται διάφορες εθνικές, διεθνείς και πολυεθνικές εταιρείες, καθώς και η κρατική εταιρεία χαλκού Codelco, η οποία παρουσιάζει και τη μεγαλύτερη παραγωγή απ' όλες τις υπόλοιπες. Επίσης, έχει συσταθεί ταμείο σταθεροποίησης του χαλκού (Copper Stabilization Fund), το οποίο προστατεύει τις επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στον τομέα εξόρυξης χαλκού από τις αυξομειώσεις των τιμών του χαλκού στη διεθνή αγορά.

3.2. Ιστορικό μεταλλευτικών ατυχημάτων στη Χιλή

Το ιστορικό ατυχημάτων στη Χιλή είναι βεβαρυμμένο, αφού από το 2000 μέχρι σήμερα 34 άνθρωποι χάνουν τη ζωή τους κατά μέσο όρο κάθε χρόνο σε μεταλλευτικά ατυχήματα, με υψηλότερο αριθμό τους 43 το 2008, σύμφωνα με τη SERNAGEOMIN (Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile / Εθνική Υπηρεσία Γεωλογίας και Εξόρυξης της Χιλής).

Σε γενικές γραμμές, το επίπεδο ασφαλείας είναι ικανοποιητικό στα μεγάλα ορυχεία, που ως εκ των πλείστων βρίσκονται υπό τον έλεγχο της κρατικής επιχείρησης χαλκού της Χιλής, Codelco, ή άλλων πολυεθνικών εταιρειών. Ως εκ

τούτου, στα μεγάλα ορυχεία παρατηρείται μικρός αριθμός ατυχημάτων. Αντίθετα, στα μικρότερα ορυχεία, όπως αυτό του San José, η ασφάλεια τίθεται συχνά σε δεύτερη μοίρα, γεγονός το οποίο αντισταθμίζεται από τους υψηλούς μισθούς που προσφέρονται ως δέλεαρ στους εργαζομένους. Βέβαια, η λειτουργία ή μη, των μικρότερων ορυχείων καθορίζεται και από τη διεθνή ζήτηση του εκάστοτε μετάλλου και δη του χαλκού, ο οποίος βρίσκεται σε αφθονία στο υπέδαφος της Χιλής. Συνεπώς, όταν η τιμή του χαλκού ανεβαίνει στην αγορά, τα μικρότερα ή ακόμα κι εγκαταλειμμένα ορυχεία τίθενται σε επαναλειτουργία από τις εταιρείες, χωρίς να πληρούνται απαραίτητα οι βασικοί κανόνες ασφαλείας και χωρίς τη βασική συντήρηση, με σκοπό το γρήγορο κέρδος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η πλειονότητα των ατυχημάτων να παρατηρείται στα μικρά ορυχεία.

Ακόμα, έχει διαπιστωθεί, δυστυχώς εκ του αποτελέσματος, ότι η στελέχωση και η χρηματοδότηση των υπηρεσιών εφαρμογής των κανονισμών δεν ακολούθησε την ταχεία ανάπτυξη της βιομηχανίας εξόρυξης τα τελευταία 20 χρόνια, η οποία έχει κοστίσει τις ζωές εκατοντάδων μεταλλωρύχων. Λόγω των διάφορων περιορισμών στον προϋπολογισμό τη Χιλής, υπήρχαν συνολικά 16 επιθεωρητές για περισσότερα από 4.500 μεταλλωρυχεία της χώρας και 3 επιθεωρητές ασφαλείας για τα 884 ορυχεία της περιοχής Atacama, όπου ανήκει το ορυχείο San José [Govan et al., 2010].

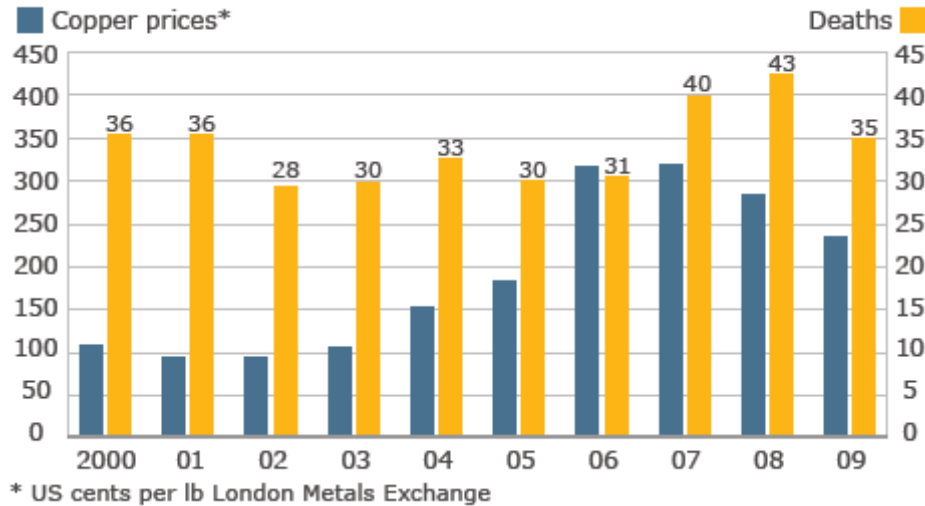
Στο Διάγραμμα 3.1, γίνεται καταγραφή των τιμών του χαλκού στη διεθνή αγορά και των θανάτων σε μεταλλευτικά ορυχεία χαλκού στη Χιλή ανά έτος για τα τελευταία 10 χρόνια. Παρατηρούνται τα εξής :

- Τις χρονιές 2006 – 2008, όπου παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση (300% σε σχέση με το 2002) στις τιμές του χαλκού, γίνεται μια αύξηση στους θανάτους μεταλλωρύχων με καθυστέρηση απόκρισης ενός ή δύο ετών.

- Τις χρονιές 2002 και 2003, όπου οι τιμές του χαλκού ήταν χαμηλές, υπήρχε μικρός αριθμός θανάτων.

- Το 2000 και 2001 όπου η τιμή του χαλκού είχε πτωτική τάση προερχόμενη από υψηλότερες τιμές, υπήρχε αριθμός θανάτων άνω του μέσου όρου, γεγονός που συνάδει με την καθυστερημένη απόκριση στην αύξηση των τιμών του χαλκού που αναφέρθηκε προηγουμένως.

Mining deaths in Chile v copper prices



Διάγραμμα 3.1. Διάγραμμα συσχέτισης τιμής του χαλκού και θανάτων από μεταλλευτικά ατυχήματα.
(Πηγή : SERNAGEOMIN)

Από τα παραπάνω εξάγεται λοιπόν ως συμπέρασμα ότι όταν η τιμή του χαλκού αυξάνει, όμοια αυξάνουν και τα ατυχήματα που οδηγούν και σε θανάτους μεταλλωρύχων, ιδιαίτερα σε μεσαίου και μικρού μεγέθους ορυχεία. Πράγματι, μια μικρομεσαία εταιρεία έχει τη δυνατότητα να εισέλθει στην αγορά, όταν η τιμή του χαλκού βρίσκεται σε υψηλό σημείο, με συνέπεια το άνοιγμα και την επαναλειτουργία ορυχείων που δεν απέδιδαν κέρδος με τα προηγούμενα δεδομένα. Το επίπεδο ασφαλείας όμως συνήθως παραμένει στο ίδιο σημείο με το αντίστοιχο, πριν κλείσει το ορυχείο.

Το γεγονός αυτό αντιτίθεται στην κοινή λογική που προτείνει τη διαφύλαξη της “περιουσίας” της ιδιοκτήτριας εταιρείας, η οποία θα έπρεπε να επιβάλλει αυξημένα μέτρα ασφαλείας από τη στιγμή που τα έσοδά της αυξάνονται σημαντικά.

Αντίθετα, όταν η τιμή του χαλκού πέφτει, τα μικρά ορυχεία κλείνουν αφού οι εταιρείες που τα ελέγχουν δεν έχουν τη δυνατότητα να τα συντηρήσουν, με μοναδικές εξαιρέσεις τις πολυεθνικές εταιρείες όπως η BHP Billiton, η Anglo American, η Xstrata και η κρατική εταιρεία χαλκού της Χιλής, Codelco.

Παρ’ όλα αυτά το επίπεδο ασφαλείας στα ορυχεία της Χιλής συνεχώς βελτιώνεται, όπως προκύπτει από σχετική έρευνα της SERNAGEOMIN, όπου και παρατηρήθηκε ότι για κάθε 1 εκ. εργαζώρες σημειώνονταν :

- 0,41 θάνατοι τη δεκαετία του ‘80
- 0,28 θάνατοι τη δεκαετία του ‘90

- 0,13 θάνατοι τη δεκαετία του '00

Στη Χιλή, σύμφωνα με τη SERNAGEOMIN, ο μέσος αριθμός ατυχημάτων ανά 100 εργαζομένους είναι μικρότερος στη μεταλλευτική βιομηχανία (2,2), σε σύγκριση με την κατασκευαστική βιομηχανία (5,7) και τη γεωργία και την αλιεία (7,2), γεγονός που οφείλεται κυρίως στις διεθνείς εταιρείες που δραστηριοποιούνται στο χώρο της Χιλής, οι οποίες επιβάλλουν αυστηρά μέτρα ασφάλειας στα δικά τους ορυχεία [Long, 2010]. Βάσει στατιστικών στοιχείων, η μεταλλευτική δραστηριότητα συγκαταλέγεται στις πιο ασφαλείς στη Χιλή, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι ο κίνδυνος έχει εξαλειφθεί εξ' ολοκλήρου. Το 2010, μέχρι και την εκδήλωση του ατυχήματος στο ορυχείο San José, 31 Χιλιανοί μεταλλωρύχοι είχαν χάσει τη ζωή τους σε διάφορα ατυχήματα (καταρρεύσεις, ηλεκτροπληξία, εκρήξεις, ασφυξία και πτώσεις).

3.3. Ορυχείο San José

Το ορυχείο San José βρίσκεται 45 km βόρεια της πόλης Κοριάρό στη Χιλή και περίπου 800 km βόρεια της πρωτεύουσας της Χιλής, Santiago (βλ. Εικόνα 3.2). Πρόκειται για ένα ορυχείο εξόρυξης χαλκού, αργύρου και χρυσού, το οποίο υπάρχει περισσότερο από 100 χρόνια. Το ορυχείο διαχειρίζεται τα τελευταία χρόνια η Χιλιανή μεταλλευτική εταιρεία Compañía Minera San Esteban Primera.



Εικόνα 3.2. Τοποθεσία του ορυχείου San José σε σχέση με την πρωτεύουσα της Χιλής, Santiago.

(Πηγή : Wikipedia, the free encyclopedia)

Το ορυχείο βρίσκεται σε μια περιοχή πλούσια σε μέταλλευμα όπου υπάρχουν και άλλα ορυχεία που ελέγχει η ίδια εταιρεία (βλ. Εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.3. Πανοραμική φωτογραφία των ορυχείων που ελέγχει η εταιρεία San Esteban στη περιοχή.
(Πηγή : Compañía Minera San Esteban)

Η εταιρεία Compañía Minera San Esteban έχει πτωχό ιστορικό ασφαλείας, με 8 νεκρούς τα τελευταία 12 χρόνια και πολλούς τραυματίες από εκρήξεις και κατολισθήσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι από το 2004 έως το 2010, η εταιρεία έλαβε 42 πρόστιμα για παραβίαση των κανονισμών ασφαλείας και έκθεση των εργατών της σε κίνδυνο [Govan et al., 2010]. Το ορυχείο San José είχε προβλήματα ασφαλείας και μάλιστα έκλεισε μετά από ένα ατύχημα το 2007, όταν οι συγγενείς ενός βοηθού γεωλόγου που έχασε τη ζωή του από έκρηξη, μήνυσαν τους υπεύθυνους της εταιρείας και μετά από σχετική έρευνα, η εταιρεία κλήθηκε να τοποθετήσει σκάλες σε εξόδους διαφυγής για την περίπτωση κατάρρευσης του

φρέατος του ορυχείου. Παρά την αδυναμία συμμόρφωσης με το σύνολο των κανονισμών (γεγονός που ακόμα τελεί υπό έρευνα), το ορυχείο επαναλειτούργησε το Μάιο του 2008. Εάν η εταιρεία είχε τοποθετήσει σκάλες στην έξοδο διαφυγής του ορυχείου, οι 33 μεταλλωρύχοι θα είχαν την ευκαιρία να δραπετεύσουν από το ορυχείο.

Ο V. Tobar, πρώην υπεύθυνος ασφαλείας της San Esteban – ιδιοκτήτριας εταιρείας του ορυχείου – ο οποίος ισχυρίζεται ότι οι ιδιοκτήτες της εταιρείας πάντα έθεταν την παραγωγή πάνω από την ασφάλεια των εργατών, παραιτήθηκε το 2009, αφού η εταιρεία αποτύγχανε διαρκώς να συμμορφωθεί ακόμα και με τους πιο θεμελιώδεις κανονισμούς ασφαλείας, ενώ δεν του παρείχε βασικά εργαλεία για το έργο του, όντας ο μοναδικός αναλυτής κινδύνου [Barrioueno, 2010]. Σημειώνεται ότι μια κυβερνητική έκθεση είχε προειδοποιήσει την εταιρεία τον Ιούλιο του 2010 ότι η απαραίτητη ενίσχυση της οροφής είχε αποτύχει, εβδομάδες πριν την κατάρρευσή της.

3.4. Γεωλογία περιοχής

Στην περιοχή του ορυχείου επικρατεί σκληρή βραχώμαζα με ενστρώσεις κορεσμένης αργίλου σε διάφορα σημεία. Κοντά στην επιφάνεια του ορυχείου επικρατεί διορίτης πολύ καλής αντοχής, ο οποίος είναι ένα πυριγενές βαθυγενές πέτρωμα μέσης σκληρότητας που ανήκει στα πλουτωνικά. Χαρακτηριστικά του γνωρίσματα είναι ότι αλλοιώνεται από ατμοσφαιρικούς παράγοντες (σερικιτίωση) και μοιάζει αρκετά στη συμπεριφορά του με το γρανίτη.

Στην περιοχή όπου γίνεται η εκμετάλλευση επικρατούν μέσες τιμές τάσεων : $\sigma_1 = 20 - 30$ MPa και $\sigma_3 = 10 - 12$ MPa, ενώ δεν έχει εντοπιστεί σε καμία περίπτωση υδροφόρος ορίζοντας [Compañía Minera San Esteban, 2009].

Η ζώνη εκμετάλλευσης (φλέβα) είναι μέσης αντοχής, περιέχει ασβεσίτη και η γεωτεχνική της συμπεριφορά εξαρτάται από τις ασυνέχειες του πετρώματος.

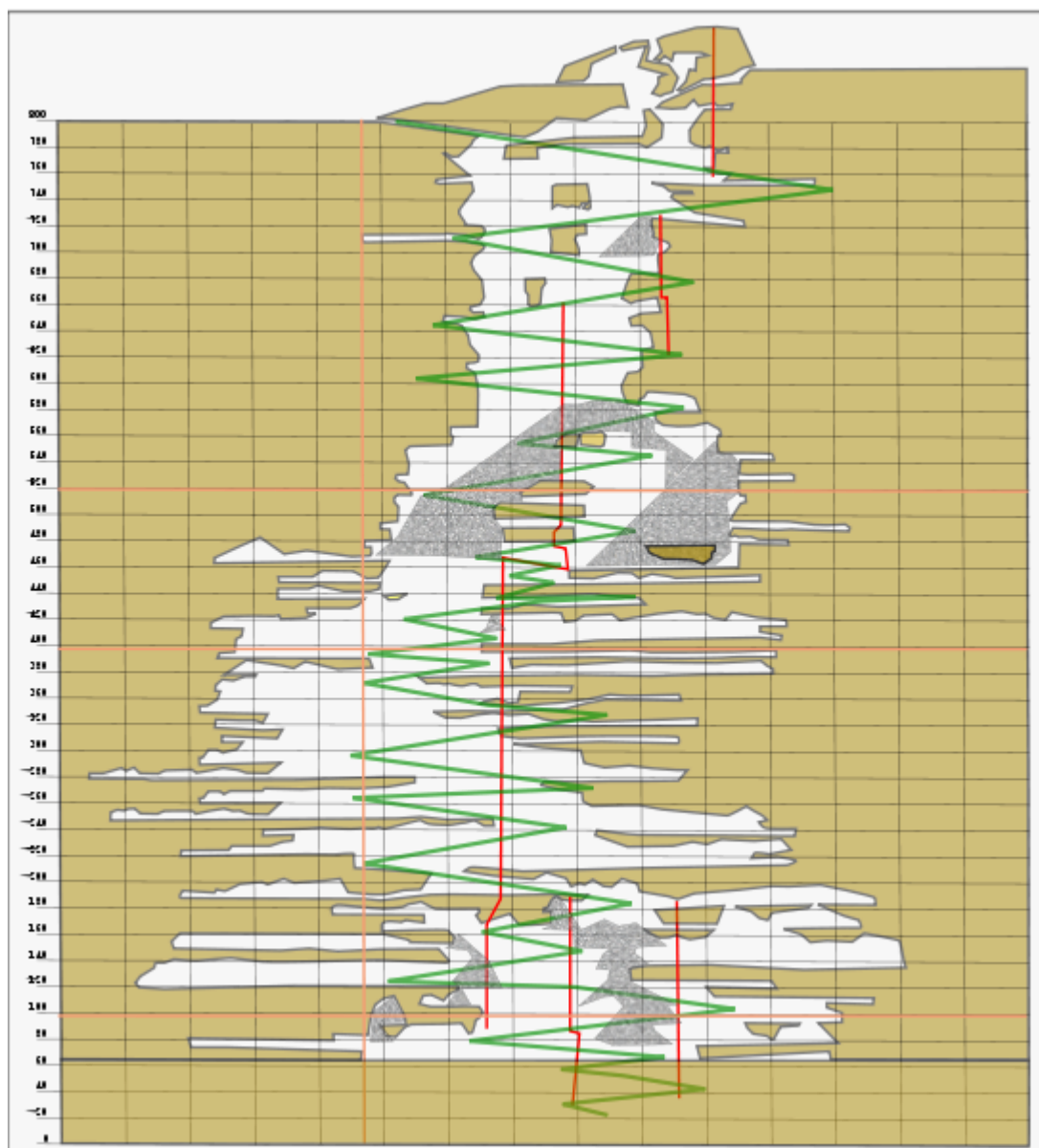
Μεταξύ της ζώνης εκμετάλλευσης και του διορίτη υπάρχει ζώνη διάτμησης με ένα κύριο κι ένα δευτερογενές ρήγμα πτωχής γεωτεχνικής συμπεριφοράς, πάχους μερικών εκατοστών έως και 2 μέτρων.

Ακόμα, σημειώνεται ότι σε όλη την περιοχή της ακτογραμμής κατά μήκος του Ειρηνικού Ωκεανού εμφανίζονται σεισμικές δονήσεις, αφού η τεκτονική πλάκα

Ναζκα που καλύπτεται από τον Ειρηνικό Ωκεανό βυθίζεται κάτω από την τεκτονική πλάκα της Νοτίου Αμερικής. Σε αυτήν την κίνηση των τεκτονικών πλακών οφείλεται η ορογένεση της Χιλής και του Περού, καθώς και η έντονη σεισμικότητά τους.

3.5. Στοιχεία παραγωγής του ορυχείου San José

Το μέγιστο βάθος του ορυχείου ξεπερνάει τα 750 m (βλ. Σχήμα 3.4).



Σχήμα 3.4. Όψη του ορυχείου San José σε τομή που ξεκινάει από τα +800 m περίπου και φτάνει στο επίπεδο της θάλασσας (με βήμα 20 m). Με πράσινο χρώμα είναι το ελικοειδές κεκλιμένο και με κόκκινο τα φρέατα αερισμού. Με γκρι χρώμα διακρίνονται οι λιθογομώσεις σε διάφορα σημεία.

(Πηγή : Compañía Minera San Esteban, 2009)

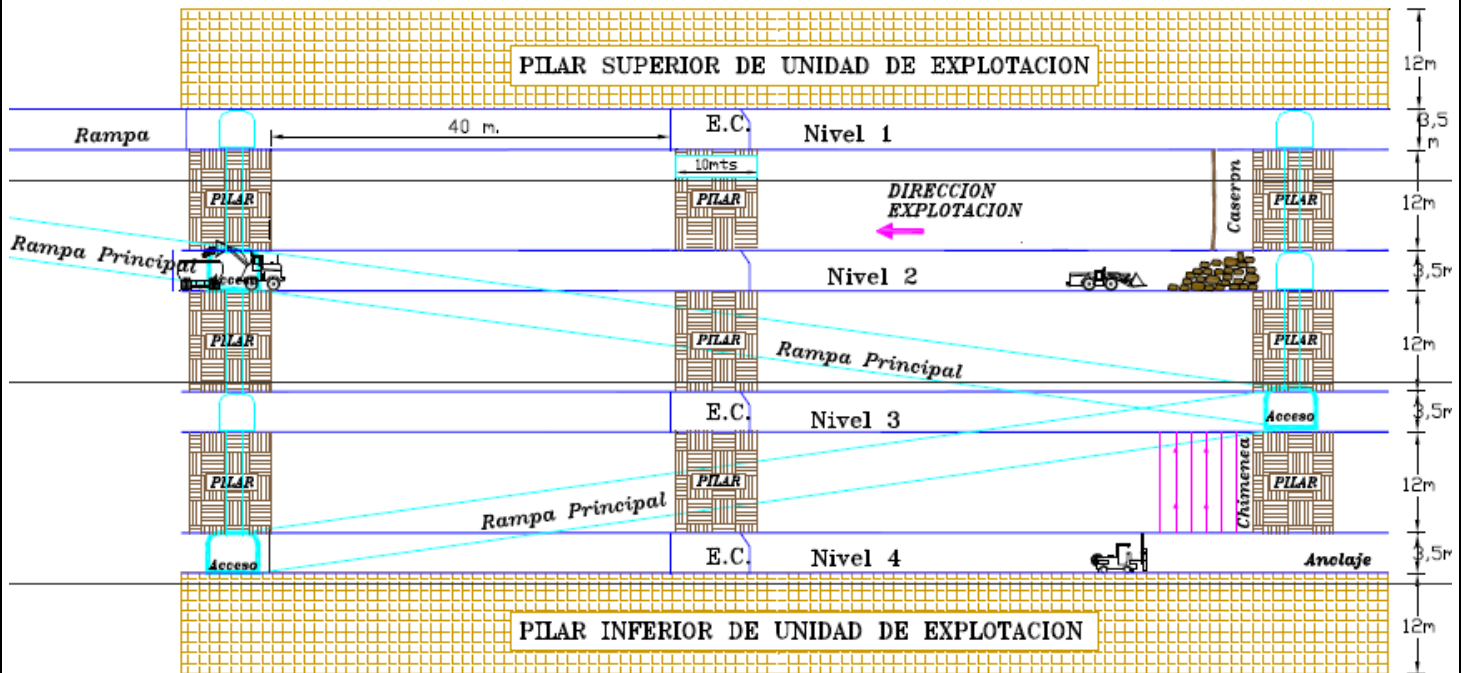
Το βασικό προσπελαστικό έργο του μεταλλείου είναι ένα ελικοειδές κεκλιμένο (ράμπα) που διατρέχει το κοίτασμα καθ' όλο το βάθος του. Το μήκος του είναι περίπου 9 km ενώ η κλίση του είναι περί τις 10° (17%).

Σημειώνεται η έλλειψη δεύτερου προσπελαστικού έργου που ενώνει τα υπόγεια μέτωπα με την επιφάνεια. Αντί αυτού υπάρχει μια πληθώρα μικρών εσωτερικών φρεάτων και κεκλιμένων τα οποία καταλήγουν ή εκκινούν από την ράμπα τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως για αερισμό.

Το ορυχείο απασχολεί συνολικά περίπου 300 εργαζόμενους, έχοντας μια ετήσια παραγωγή περί τα 100.000 tn μεταλλεύματος από όπου ανακτώνται περίπου 600 tn χαλκού (Cu) και 170 kg χρυσού (Au). Ο χαλκός βρίσκεται σε περιεκτικότητα 0,60% στη φλέβα εκμετάλλευσης και ο χρυσός σε περιεκτικότητα 1,70 gr/tn. Το ολικό κοίτασμα που εκμεταλλεύεται το ορυχείο εκτιμάται γύρω στους 3 εκ. tn μεταλλεύματος [Compañía Minera San Esteban, 2009].

Παλαιότερα, η μέθοδος εκμετάλλευσης του κοιτάσματος ήταν αυτή του συμπυκνόμενου μετώπου (shrinkage stoping mining method - βλ. Κεφ. 7.1), αλλά η μέθοδος είχε ως αποτέλεσμα τη αποκόλληση τεμαχίων από τις παρειές των περιβαλλόντων πετρωμάτων, την αύξηση της αραίωσης (πρόσμιξης) στο εξορυσσόμενο μέταλλευμα καθώς και προβλήματα ασφάλειας. Για να γίνει πιο αποτελεσματική η εξόρυξη, από τη δεκαετία του '80, ακολουθείται μια νέα μέθοδος εκμετάλλευσης, η οποία βασίζεται στις αρχές μέθοδο των κενών μετώπων με διαδοχικούς ορόφους (sub level open stoping - SLOS). Επιτεύχθηκε η αύξηση της απόδοσης εκμετάλλευσης, όμως, λόγω των μεγάλων κενών που άφηνε η εν λόγω μέθοδος άρχισαν να εκφράζονται ανησυχίες για την ευστάθεια του ορυχείου [Minería Chilena, 2010]. Έτσι, αποφασίστηκε η λιθογόμωση με στείρο εξορυσσόμενο υλικό που δημιουργούταν σε νέα σημεία εξόρυξης. Αυτό μπορεί να φανεί σε κάποια σημεία της τομής του ορυχείου με γκρι χρώμα (βλ. Σχήμα 3.5 ή συνημμένο σχέδιο). Τέλος, η μέθοδος εκμηχανίστηκε, με την είσοδο των διατηρητικών φορείων (Jumbo) και των μηχανημάτων LHD (Load – Haul – Dump) που είχαν μεγαλύτερες δυνατότητες διάτρησης και μεταφοράς, αντίστοιχα.

PROYECTO DE EXPLOTACION
EN REALCE POR SUBNIVELES



Σχήμα 3.5. Μέθοδος εξόρυξης των ορυχείων της εταιρείας San Esteban. (Πηγή : Compañía Minera San Esteban, 2009)

Σήμερα, η μέθοδος εξόρυξης που ακολουθείται από την εταιρεία σε όλα τα ορυχεία της ευρύτερης περιοχής υπό τον έλεγχό της, είναι – όπως προκύπτει από τα διαθέσιμα στοιχεία – μια παραλλαγή των μεθόδων μεθόδου SLOS (sub-level open storing) και λιθογόμωσης (cut-and-fill). Η εκμετάλλευση γίνεται κατά λωρίδες σε υποορόφους των 15,5m περίπου, όπου η κυρίως παραγωγή γίνεται με την όρυξη και ανατίναξη ανιόντων διατηρημάτων σε ένα πάχος 12m (βλ. Σχήμα 3.5).

3.6. Το ατύχημα

Στις 5 Αυγούστου του 2010, γύρω στις 14:00, έγινε κατάρρευση σε ένα μεγάλο και παλιό τμήμα του ορυχείου San José, στο υψόμετρο +325 m και η οροφή κατέρρευσε καταστρέφοντας το ελικοειδές κεκλιμένο σε διάφορα σημεία, παγιδεύοντας με αυτόν τον τρόπο 33 μεταλλωρύχους 700 m περίπου κάτω από το έδαφος και σε απόσταση 5 km από την είσοδο του ορυχείου. Οι μεταλλωρύχοι εργάζονταν κάτω από το επίπεδο των +180 m, συνεπώς ήταν πολύ πιθανό να μην κινδύνευαν άμεσα από την κατάρρευση της οροφής του ορυχείου, η οποία έγινε

πολλά μέτρα πάνω από αυτούς. Ένας μεταλλωρύχος ο οποίος ανέβαινε προς την έξοδο του ορυχείου τη στιγμή του ατυχήματος, έφτασε έγκαιρα στην επιφάνεια.

Αμέσως έγινε κινητοποίηση των υπευθύνων του ορυχείου για να ξεκινήσει η επιχείρηση διάσωσης των παγιδευμένων μεταλλωρύχων. Η πρώτη προσπάθεια διάσωσης έγινε στις 6 Αυγούστου, μέσω του ελικοειδούς κεκλιμένου, όμως απέτυχε, αφού αυτό ήταν κατεστραμμένο, ενώ την επόμενη ημέρα, μια ακόμα κατάρρευση εμπόδισε τους διασώστες να προσεγγίσουν τους μεταλλωρύχους μέσω του φρέατος αερισμού. Έτσι αποφασίστηκε η διάνοιξη δοκιμαστικών γεωτρήσεων με στόχο το καταφύγιο σε βάθος περίπου 700 m, όπου λογικά θα βρίσκονταν οι μεταλλωρύχοι εάν είχαν επιζήσει από την κατάρρευση. Στις 22 Αυγούστου, μετά από διάφορες αποτυχημένες προσπάθειες εντοπισμού των μεταλλωρύχων, οι διασώστες έρχονται σε επαφή μαζί τους.

Μετά την ανεύρεση των επιζώντων, ξεκίνησε η τροφοδοσία τους με τα απαραίτητα εφόδια, ώστε να επιβιώσουν ως τη στιγμή του απεγκλωβισμού τους. Η όλη επιχείρηση αποκτά διεθνή χαρακτήρα και καλύπτεται εκτενώς από όλα τα ΜΜΕ του κόσμου. Η κυρίαρχη σκέψη των διασωστών ήταν η δημιουργία μιας σήραγγας διάσωσης, μέσω της οποίας θα γινόταν η ανέλκυση των μεταλλωρύχων εντός μιας κάψουλας (βλ. Κεφ. 2.2 Το ατύχημα στο Lengede). Τρία σχέδια διάσωσης τέθηκαν σε εφαρμογή, με το δεύτερο να αποδεικνύεται το γρηγορότερο ολοκληρώνοντας τις εργασίες του στις 9 Οκτωβρίου. Στις 13 Οκτωβρίου όλοι οι μεταλλωρύχοι ανελκύστηκαν στην επιφάνεια μετά από 69 ημέρες, το οποίο αποτελεί και ρεκόρ παραμονής σε υπόγειο χώρο.

3.7. Γεγονότα-κλειδιά του ατυχήματος

Παρακάτω ακολουθούν τα κυριότερα γεγονότα που συνέβησαν στο ορυχείο San José, από τη στιγμή της κατάρρευσης έως και τη διάσωση των μεταλλωρύχων [Ministerio de Minería, 2010].

- 5 Αυγούστου : 33 μεταλλωρύχοι παγιδεύονται εντός του ορυχείου San José, μετά από κατάρρευση της οροφής

- 6 Αυγούστου : Γίνεται η πρώτη απόπειρα εντοπισμού των μεταλλωρύχων από μια ομάδα διασωστών, η οποία αναγκάζεται να σταματήσει 2 km από την είσοδο του ορυχείου όπου το ελικοειδές κεκλιμένο είχε καταστραφεί ολοσχερώς

- 7 Αυγούστου : Μια νέα κατάρρευση στο φρέαρ αερισμού αποτρέπει ομάδα διασωστών να προσεγγίσουν τους μεταλλωρύχους
- 8 Αυγούστου : 9 γεωτρήματα ξεκινούν τη διάνοιξη διερευνητικών γεωτρήσεων μικρής διαμέτρου (15 cm) με στόχο τον εντοπισμό των μεταλλωρύχων
- 19 Αυγούστου : Μια διερευνητική γεώτρηση φτάνει στο ορυχείο, αλλά δεν καταφέρνει να εντοπίσει τους μεταλλωρύχους
- 22 Αυγούστου : Μετά από 17 ημέρες έρευνας γίνεται επαφή των διασωστών με τους 33 μεταλλωρύχους, οι οποίοι δηλώνουν μέσω ενός σημειώματος ότι είναι καλά στην υγεία τους και βρίσκονται στο καταφύγιο
- 24 Αυγούστου : Εμπειρογνώμονες της NASA και στελέχη του Χιλιανού ναυτικού, φτάνουν στην περιοχή ώστε να βοηθήσουν τους παγιδευμένους σε θέματα ψυχολογίας και διατροφής
- 25 Αυγούστου : Ανακοινώνεται ότι η διάσωση αναμένεται να διαρκέσει 3-4 μήνες
- 30 Αυγούστου : Το πρώτο σχέδιο διάσωσης (A) τίθεται σε εφαρμογή και το μηχάνημα Raise Borer “Strata 950” ξεκινάει τη διάνοιξη της πιλοτικής σήραγγας
- 5 Σεπτεμβρίου : Ξεκινάει τις εργασίες του το μηχάνημα “Schramm T-130 XD” του σχεδίου B, διευρύνοντας αρχικά μια από τις γεωτρήσεις που είχαν εντοπίσει τους μεταλλωρύχους
- 13 Σεπτεμβρίου : Το “Schramm T-130 XD” κολλάει στη γεώτρηση και γίνεται προσπάθεια ανάκτησης της κεφαλής
- 14 Σεπτεμβρίου : Γίνεται ανάκτηση της κεφαλής του “Schramm T-130 XD” και αυτό επαναλειτουργεί κανονικά
- 19 Σεπτεμβρίου : Τίθεται και το τρίτο σχέδιο διάσωσης σε εφαρμογή με το γεωτρήματα “RIG-421” να ξεκινάει τη διάνοιξη της σήραγγας διάσωσης μεμιάς στην τελική διάμετρο, ενώ το “Schramm T-130 XD” του σχεδίου B ξεκινάει τη διάνοιξη στην τελική διάμετρο
- 25 Σεπτεμβρίου : Όλα τα περιουσιακά στοιχεία της εταιρείας San Esteban δεσμεύονται μετά από απόφαση δικαστηρίου της χώρας
- 28 Σεπτεμβρίου : 270 km νότια του ορυχείου San José, στην πόλη La Higuera εκδηλώνεται σεισμός μεγέθους 5,0 χωρίς να επηρεάσει την ισορροπία εντός του ορυχείου
- 7 Οκτωβρίου : Γίνεται επιτυχημένη άσκηση διάσωσης και όλοι βρίσκονται σε ετοιμότητα
- 9 Οκτωβρίου : Το μηχάνημα “Schramm T-130 XD” ξετρυπάει εντός του ορυχείου και η τελική διάσωση των μεταλλωρύχων πιθανολογείται για τις 13 του μήνα

- 11 Οκτωβρίου : Δοκιμάζεται με επιτυχία η κάψουλα διάσωσης "Fénix 2" ώστε να διασφαλιστεί η ομαλή της κύλιση εντός της σήραγγας με τα πρώτα 56 m να είναι επενδυμένα με αγωγούς

- 13 Οκτωβρίου : 22 ώρες μετά την αρχή της επιχείρησης, ολοκληρώνεται η ανέλκυση και των 33 μεταλλωρύχων στην επιφάνεια του εδάφους

Κάπου εδώ, πρέπει να σημειωθεί ότι η ανάγκη για ανεύρεση κι έπειτα απεγκλωβισμό των μεταλλωρύχων προέκυψε από το γεγονός ότι οι δύο προσπάθειες άμεσου εντοπισμού μέσω του ελικοειδούς κεκλιμένου και του φρέατος αερισμού αποδείχτηκαν άκαρπες. Η οροφή του ορυχείου είχε καταρρεύσει εμποδίζοντας την κατάβαση σε μεγαλύτερο βάθος και υπήρξε κατάρρευση στο φρέαρ αερισμού, όταν οι διασώστες επιχείρησαν από εκεί να πλησιάσουν τους μεταλλωρύχους. Η επικοινωνία με τους 33 μεταλλωρύχους είχε διακοπεί και συνεπώς, από τη στιγμή που οι δύο κύριοι άξονες πρόσβασης ήταν κλειστοί, χωρίς ακόμα να είναι γνωστή η κατάσταση των μεταλλωρύχων και αφού η διάνοιξη σήραγγας άμεσης διάσωσης έθετε την επιχείρηση εκτός του αυστηρού χρονικού πλαισίου – 3 μήνες είχε υπολογιστεί πως θα χρειαζόνταν περίπου οι διασώστες για να διανοίξουν απ' ευθείας σήραγγα – αποφασίστηκε σωστά η επιχείρηση διάσωσης να χωριστεί σε δύο φάσεις : α) τον εντοπισμό κι έπειτα β) τον απεγκλωβισμό των μεταλλωρύχων.

3.8. Εντοπισμός των μεταλλωρύχων

Μετά την κατάρρευση της οροφής, άρχισαν οι διαδικασίες εντοπισμού των μεταλλωρύχων εντός του ορυχείου. Το γεγονός ότι οι μεταλλωρύχοι εργάζονταν σε μεγαλύτερο βάθος από το σημείο της κατάρρευσης έδινε ελπίδες στους διασώστες ότι είναι πιθανό να έχουν επιζήσει. Μάλιστα, το καταφύγιο είχε προμήθειες για 3 μέρες (νερό και τρόφιμα), συνεπώς οι μεταλλωρύχοι θα είχαν τη δυνατότητα να αντέξουν μερικές μέρες κάτω από το έδαφος, μέχρι τη στιγμή που θα τους εντόπιζαν τα σωστικά συνεργεία, σε βάθος 700 m περίπου.

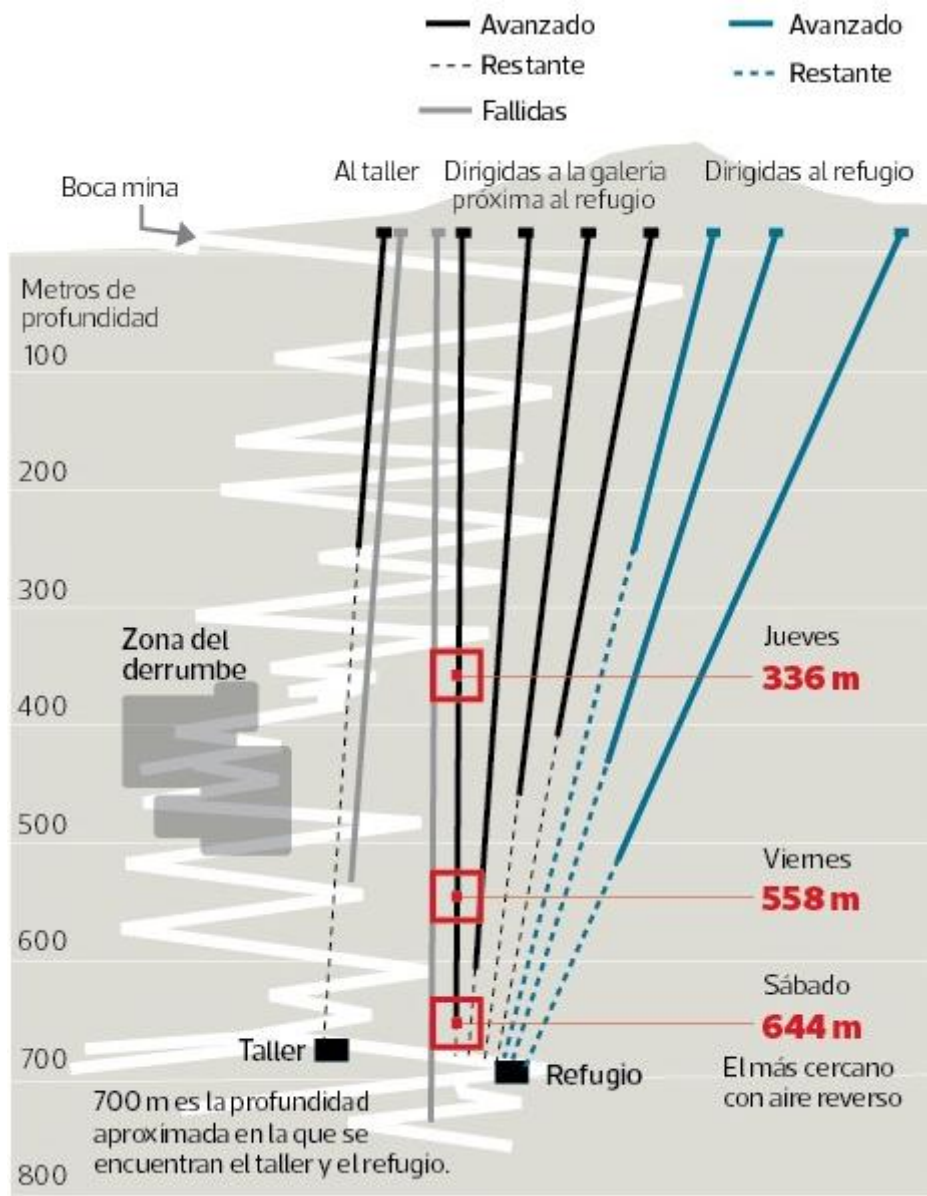
Η πρώτη απόπειρα εντοπισμού έγινε στις 6 Αυγούστου από μια πεζή ομάδα διασωστών, η οποία εισήλθε στο ορυχείο από την είσοδο του ορυχείου και κατάφερε να φτάσει μέχρι τα πρώτα 2 km του ελικοειδούς κεκλιμένου. Σε εκείνο το σημείο ήταν αδύνατη η προσπέλαση, αφού η ράμπα είχε καταστραφεί. Η πρώτη

κίνηση αντιμετώπισης ατυχημάτων σε ορυχεία με ελικοειδές κεκλιμένο όπως αυτό του San José, είναι να γίνει αποκατάσταση της ράμπας, αλλά κάτι τέτοιο αποδείχτηκε αδύνατο.

Αφού η πρώτη προσπάθεια εντοπισμού των επιζώντων ήταν αποτυχημένη, στις 7 Αυγούστου μια άλλη ομάδα αποπειράθηκε να κατέβει στο ορυχείο από το φρέαρ αερισμού διαμέτρου 1 - 1,5 m, αλλά η επιχείρηση διακόπηκε στο επίπεδο με υψόμετρο +268 m, όπου παρατηρήθηκε κατάπτωση βράχων και η δίοδος προς τα κάτω γέμισε με βράχους και οι διασώστες αναγκάστηκαν να εγκαταλείψουν, ενώ μερικοί τραυματίστηκαν. Υπό τον φόβο περαιτέρω διατάραξης της περιοχής και πρόκλησης νέας κατάρρευσης, η λύση του φρέατος αερισμού εγκαταλείφθηκε. (Στη συνέχεια, αφού εντοπίστηκαν οι μεταλλωρύχοι, θα διαπιστωνόταν ότι και αυτοί είχαν προσπαθήσει να διαφύγουν από τον αγωγό αερισμού, όμως έλειπε η σκάλα.)

Συνεπώς, από τη στιγμή που δεν ήταν δυνατή η ανεύρεση των επιζώντων μέσω του φρέατος αερισμού, αλλά ούτε και μέσω της ράμπας προσπέλασης, αποφασίστηκε να γίνει επιχείρηση εντοπισμού των μεταλλωρύχων μέσω διερευνητικών γεωτρήσεων μικρής διαμέτρου (περίπου 15 cm), ώστε σε περίπτωση που αυτοί βρεθούν, να είναι δυνατόν να τους δοθούν τα είδη πρώτης ανάγκης (νερό και τρόφιμα), ενώ παράλληλα θα εφαρμόζεται το σχέδιο διάσωσης των επιζώντων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, χρησιμοποιήθηκαν 9 γεωτρήματα ώστε να μπορέσουν να διερευνήσουν τμήματα του ορυχείου. Ένα μηχάνημα θα έκανε μια γεώτρηση με στόχο το εργαστήριο που είχε στηθεί στο επίπεδο των +170 m, ενώ από τα υπόλοιπα 8, τα 3 θα προσπαθούσαν να φτάσουν στο καταφύγιο – όπου εκτιμήθηκε ότι εκεί θα έχουν καταφύγει οι μεταλλωρύχοι εάν έχουν επιζήσει – το οποίο βρίσκεται στο επίπεδο των +120 m και τα υπόλοιπα 5 θα επιχειρούσαν να φτάσουν στη γαλαρία κοντά στο καταφύγιο (βλ. Σχήμα 3.6). Τις εργασίες των γεωτρήσεων δυσχέραινε το γεγονός ότι οι διαθέσιμοι χάρτες του ορυχείου δεν ήταν ενημερωμένοι, καθώς και το μεγάλο βάθος της γεώτρησης, το οποίο σε συνδυασμό με το σκληρό διατρούμενο βράχο, οδηγούσε σε μεγαλύτερες αποκλίσεις από τις συνηθισμένες. Τελικά, στις 22 Αυγούστου οι διασώστες ακούν χτύπους στην κεφαλή του γεωτρήσανου και όταν την ανασύρουν ανακαλύπτουν ένα γραπτό σημείωμα, όπου οι 33 μεταλλωρύχοι δήλωναν ζωντανοί. Η πρώτη φάση της επιχείρησης διάσωσης είχε μόλις ολοκληρωθεί με επιτυχία.



Σχήμα 3.6. Η πρόοδος των γεωτρήσεων εντοπισμού των μεταλλωρύχων, όπως είχε το Σάββατο 21 Αυγούστου 2010 (με γκρι χρώμα είναι οι γεωτρήσεις που απέτυχαν να τους εντοπίσουν, με συνεχή γραμμή αυτές που ήταν σε εξέλιξη εκείνη την ημέρα και με διακεκομμένη η υπόλοιπη απαιτούμενη απόσταση μέχρι τον κάθε στόχο). Διακρίνεται η περιοχή της κατάρρευσης (σκιασμένη περιοχή). (Πηγή : La Tercera)

3.8.1. Λήψη αποφάσεων για τον εντοπισμό των μεταλλωρύχων

Όσο αφορά στην ανεύρεση των παγιδευμένων μεταλλωρύχων, υπήρξαν διάφοροι παράγοντες που οδήγησαν στην απόφαση για διάνοιξη διερευνητικών γεωτρήσεων :

- ο χρόνος εντοπισμού των μεταλλωρύχων. Ο πιο κρίσιμος παράγοντας στην όλη επιχείρηση ήταν η έγκαιρη ανεύρεση των 33 παγιδευμένων εντός του ορυχείου, οι οποίοι βρίσκονταν σε βάθος 700 m. Οι μεταλλωρύχοι είχαν πιθανότατα καταφύγει στον ειδικά σχεδιασμένο χώρο για έκτακτες περιπτώσεις που ήταν εφοδιασμένος με νερό και τρόφιμα για 2-3 ημέρες, ενώ είχαν στη διάθεσή τους τα τελευταία 2 km του ελικοειδούς κεκλιμένου. Συνεπώς, έπρεπε να βρεθεί ένας γρήγορος τρόπος εντοπισμού των εγκλωβισμένων, ο οποίος θα εξασφάλιζε παράλληλα και την τροφοδοσία τους μέχρι τη στιγμή του απεγκλωβισμού τους.

- το βάθος στο οποίο βρίσκονταν οι μεταλλωρύχοι τη στιγμή του ατυχήματος. 700 m υπογείως και με τους δύο άξονες πρόσβασης (ελικοειδές κεκλιμένο και φρέαρ αερισμού) φραγμένους και κατεστραμμένους σε μεγάλη έκταση – σύμφωνα πάντα με τις ενδείξεις – η φυσική πρόσβαση των διασωστών ήταν ανέφικτη σε μικρό χρονικό διάστημα.

- η κατάσταση της βραχώμαζας στην περιοχή του ορυχείου μετά την κατάρρευση. Όπως ήταν λογικό, μετά την εκδήλωση του ατυχήματος εκφράζονταν φόβοι για την ευστάθεια του σχηματισμού που περιέβαλε την ευρύτερη περιοχή του ορυχείου και το σημείο όπου βρίσκονταν οι μεταλλωρύχοι. Οποιαδήποτε λύση επιλεγόταν, θα έπρεπε να μην επηρεάσει, αλλά ούτε και να επηρεαστεί ιδιαίτερα από τις τοπικές συνθήκες.

- η ψυχολογία των μεταλλωρύχων. Έπρεπε με κάποιο τρόπο, να γίνει γνωστό στους μεταλλωρύχους ότι η επιχείρηση διάσωσης βρίσκεται σε εξέλιξη, γεγονός που θα έδινε ψυχολογικό κίνητρο στους παγιδευμένους να αντέξουν παραπάνω χρόνο μέχρι την ανεύρεσή τους.

- η τροφοδοσία των μεταλλωρύχων. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα εφόδια στο καταφύγιο αρκούσαν για λίγες ημέρες και η τροφοδοσία αποτελούσε καίριο ζήτημα άμεσα συνδεδεμένο με το χρόνο εντοπισμού των μεταλλωρύχων. Οποιαδήποτε καθυστέρηση μπορούσε να αποδειχτεί κρίσιμη για τη ζωή τους.

- το κόστος της επιχείρησης. Σε αυτήν την πολύ κρίσιμη φάση, η οικονομική πλευρά του εγχειρήματος δε θα έπαιζε τόσο μεγάλο ρόλο, συνεπώς θα μπορούσε να επιλεγεί μια ακριβή, αλλά αποτελεσματική λύση.

Με βάση τους προαναφερθέντες παράγοντες, οι διασώστες οδηγήθηκαν μέσω μονόδρομου – καμία άλλη λύση δε θα ήταν τόσο αποτελεσματική όσο αυτή που επιλέχτηκε – στην επιλογή των διερευνητικών γεωτρήσεων, οι οποίες ήταν δύο τύπων : περιστροφικής γεώτρησης με απλή αδαμαντοκορώνα και με ανάστροφη κυκλοφορία αέρα. Η δεύτερη είχε μεγαλύτερη ακρίβεια στη διάνοιξη, επομένως ήταν πιο αποτελεσματική, αλλά η προχώρηση γινόταν σε πιο αργούς ρυθμούς και ήταν πιο κοστοβόρα. Τελικά, αυτή ήταν και η μέθοδος με την οποία το μηχάνημα Schramm T685 WS διάνοιξε τη γεώτρηση, η οποία έφτασε κοντά στο χώρο του καταφυγίου εντοπίζοντας τους μεταλλωρύχους στις 22 Αυγούστου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι έγιναν πολλές αποτυχημένες γεωτρήσεις, οι οποίες είτε απέκλιναν κατά τη διάτρηση και δεν έβρισκαν στόχο, είτε συναντούσαν εμπόδια και αναγκάζονταν να ξεκινήσουν από την αρχή. Συνεπώς, είναι κατανοητό ότι και η τύχη έπαιξε σημαντικό ρόλο, αφού ήταν αδύνατο για τους διασώστες να προβλέψουν την κάθε λεπτομέρεια όταν ο στόχος βρισκόταν σε τόσο μεγάλο βάθος. Εάν οι διασώστες είχαν καθυστερήσει μερικές ημέρες παραπάνω, υπήρχε σημαντική πιθανότητα να μην προλάβαιναν να τους εντοπίσουν όλους ζωντανούς για τον εξής λόγο : στον κάθε μεταλλωρύχο αντιστοιχούσε 1,5 λίτρο νερό (50 λίτρα ήταν διαθέσιμα στο καταφύγιο). Εάν κατανάλωναν το νερό από τα ψυγεία των μηχανημάτων και εντόπιζαν και φλέβα νερού (στην κατά τα άλλα πιο ξηρή περιοχή του κόσμου) – όπως και έγινε – το προσδόκιμο της ζωής τους βρισκόταν γύρω στις 20 ημέρες υπό αυτές τις συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Έχει υπολογιστεί ότι ένας άνθρωπος με 10 λίτρα νερού διαθέσιμα, μπορεί να επιζήσει περίπου 20 ημέρες σε περιβάλλον 20°C, χάνοντας 15% του βάρους του στη χειρότερη περίπτωση [Survival topics]. Οι μεταλλωρύχοι όταν εντοπίστηκαν, είχαν χάσει 8-10 κιλά κατά μέσο όρο, που σημαίνει ότι είχαν φτάσει στο 10% της απώλειας βάρους του μέσου ανθρώπου. Εάν λοιπόν η διάσωση είχε καθυστερήσει μερικές ημέρες ακόμα, ήταν πιθανόν να υπήρχαν και θύματα.

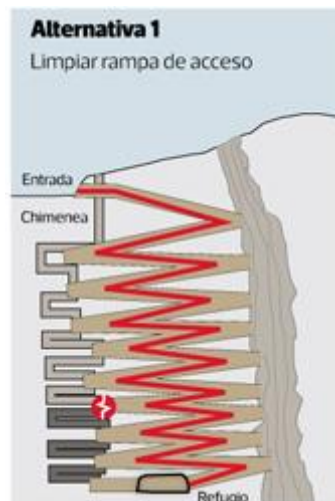
Ακόμα, η όλη επιχείρηση βασίστηκε στην αισιόδοξη υπόθεση ότι οι μεταλλωρύχοι είχαν επιζήσει της κατάρρευσης και όντως βρισκόνταν στο καταφύγιο όπου και κατευθύνονταν οι γεωτρήσεις. Η αβεβαιότητα ήταν παρούσα σε πολλά σημεία της επιχείρησης, αλλά ευτυχώς για τους 33 μεταλλωρύχους, οι υποθέσεις των διασωστών ήταν σωστές.

Μετά την ολοκλήρωση της επιχείρησης εντοπισμού, σειρά έλαβε το δεύτερο κομμάτι, η τελική διάσωση των παγιδευμένων.

3.9. Διάσωση των μεταλλωρύχων

Για να γίνει η τελική διάσωση (απεγκλωβισμός) των επιζώντων, μελετήθηκαν διάφορες σκέψεις / προτάσεις από τους υπεύθυνους διάσωσης [Ministerio de Minería, 2010], οι οποίες ακολουθούν :

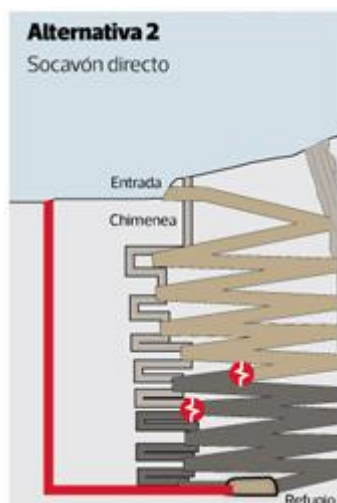
1. αποκατάσταση του κατεστραμμένου ελικοειδούς κεκλιμένου στη ζώνη κατάρρευσης, ώστε οι διασώστες να φτάσουν τελικά στους επιζώντες (βλ. Σχήμα 3.7α).



Σχήμα 3.7α. Η πρώτη πρόταση διάσωσης των μεταλλωρύχων : αποκατάσταση της ράμπας. (Πηγή : La Tercera)

Αυτή η λύση είχε ένα πολύ σημαντικό μειονέκτημα ότι κανείς δε γνώριζε ποια ήταν η ακριβής έκταση της κατάρρευσης εντός του ορυχείου. Η διαδικασία αποκατάστασης του ελικοειδούς κεκλιμένου θα ήταν πολύ δύσκολη και δε θα είχε εγγυημένα αποτελέσματα, αφού αυτή θα γινόταν υπό το φόβο νέας κατάρρευσης λόγω της αστάθειας της περιοχής που θα είχε επέλθει μετά την πρώτη κατάρρευση, γεγονός το οποίο θα έθετε σε κίνδυνο τη ζωή των διασωστών.

2. κατασκευή εξαρχής νέου προσπελαστικού έργου (φρέαρ) που θα φτάσει στο καταφύγιο όπου βρίσκονται οι επιζώντες (βλ. Σχήμα 3.7β).

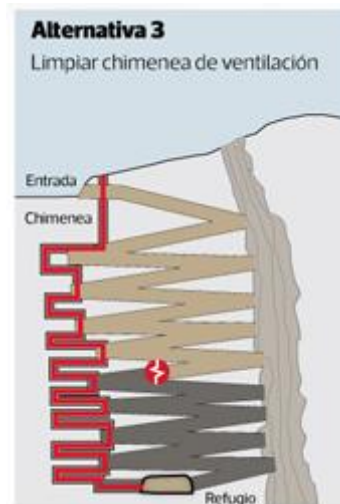


Σχήμα 3.7β. Η δεύτερη πρόταση διάσωσης των μεταλλωρύχων : Κατασκευή νέου προσπελαστικού έργου από την επιφάνεια. (Πηγή : La Tercera)

Η συγκεκριμένη λύση πρότείνει την κατασκευή ενός νέου προσπελαστικού έργου (φρέαρ) από το οποίο θα έβγαιναν οι μεταλλωρύχοι. Τα μειονεκτήματα αυτού του σχεδίου ήταν ότι δεν υπήρχε περιθώριο λάθους στον προσανατολισμό της διάνοιξης και ότι το επιθυμητό βάθος ήταν ασυνήθιστο για κοινά μηχανήματα. Ακόμα, το σχέδιο αυτό προϋπέθετε τη συμμετοχή των μεταλλωρύχων κατά την έξοδό τους και δεν ήταν γνωστό αν θα βρίσκονταν όλοι τους σε τέτοια θέση μετά την παραμονή πολλών ημερών μέσα στο ορυχείο.

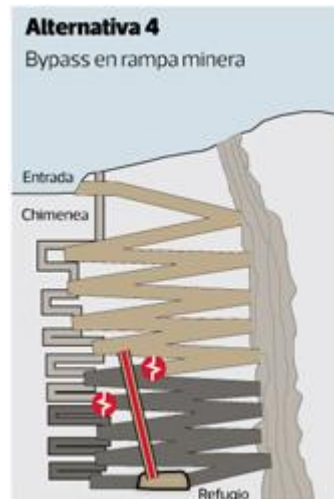
3. αποκατάσταση του φρέατος αερισμού και διάσωση των επιζώντων (βλ. Σχήμα 3.7γ).

Η εν λόγω λύση ήταν επίφοβη αφού το υπάρχον φρέαρ αερισμού είχε ήδη αποδειχτεί ασταθές και παρ' ολίγο να τραυματιστούν σοβαρά οι διασώστες. Περαιτέρω όχληση στο σημείο ίσως προκαλούσε κι άλλη κατάρρευση και σε συνδυασμό με τον περιορισμένο χώρο, το έργο θα ήταν εξαιρετικά δύσκολο και θα έθετε τους διασώστες σε κίνδυνο. Ακόμα, υπήρχε και το εμπόδιο της απουσίας σκάλας στα τελευταία μέτρα του φρέατος, ενώ, όπως και το σχέδιο 2, προϋπέθετε τη συμμετοχή των μεταλλωρύχων κατά την έξοδό τους.



Σχήμα 3.7γ. Η τρίτη πρόταση διάσωσης των μεταλλωρύχων : Καθαρισμός φρέατος αερισμού. (Πηγή : La Tercera)

4. “παράκαμψη” του σημείου κατάρρευσης από το πρώτο σημείο όπου παρατηρήθηκε η κατάρρευση με διάνοιξη σήραγγας διάσωσης που θα φτάσει στο καταφύγιο (βλ. Σχήμα 3.7δ)



Σχήμα 3.7δ. Η τέταρτη πρόταση διάσωσης των μεταλλωρύχων : Κατασκευή σήραγγας διάσωσης μέσα από το ορυχείο. (Πηγή : La Tercera)

Με αυτήν τη λύση, οι διασώστες θα κέρδιζαν αρκετές δεκάδες μέτρα γεώτρησης με τα μειονεκτήματα του περιορισμένου χώρου και του γεγονότος ότι η διάνοιξη θα γινόταν πολύ κοντά στην περιοχή κατάρρευσης. Ακόμα, αν η διάνοιξη

γινόταν σε δύο φάσεις με τη γνωστή μέθοδο down-boring / up-reaming, η συνεργασία των μεταλλωρύχων θα ήταν απαραίτητη, καθώς θα έπρεπε να καθαρίζουν το σημείο όπου θα έφτανε η γεώτρηση στο ορυχείο κατά τη διεύρυνση αυτής.

5. κατασκευή σήραγγας που θα συνδέσει το γειτονικό ορυχείο San Antonio με αυτό του San José, η οποία θα απαιτούσε τουλάχιστον 3 μήνες για να κατασκευαστεί

Σύμφωνα με εκτιμήσεις, η σήραγγα θα είχε μήκος περίπου 1.200 m θα απαιτούσε τουλάχιστον 3 μήνες για να κατασκευαστεί. Εδώ, τίθεται το θέμα του κόστους, το οποίο ήταν δυσθεώρητο σε σχέση με τις υπόλοιπες λύσεις, ενώ πάλι ήταν άγνωστης αποτελεσματικότητας, καθώς δε γνώριζε κανείς τι θα συναντούσε η σήραγγα μέχρι να φτάσει στους μεταλλωρύχους.

3.9.1. Λήψη αποφάσεων για τον απεγκλωβισμό των μεταλλωρύχων

Αφού εντοπίστηκαν οι μεταλλωρύχοι ζωντανοί, ξεκίνησε η δεύτερη φάση της επιχείρησης διάσωσης, αυτή του απεγκλωβισμού. Οι παράγοντες που επηρέασαν την τελική επιλογή κι εφαρμογή των τριών σχεδίων διάσωσης που αναφέρθηκαν παραπάνω, ήταν οι ακόλουθοι :

- ο χρόνος απεγκλωβισμού. Από τη στιγμή που είχαν εντοπιστεί ζωντανοί οι μεταλλωρύχοι και είχε εγκατασταθεί δίαυλος επικοινωνίας και τροφοδοσίας με αυτούς, η πίεση του χρόνου είχε υποχωρήσει χωρίς όμως να μην παραμένει ορατή, λόγω των παρακάτω παραγόντων :

✓ η υγεία των μεταλλωρύχων. Οι επικρατούσες συνθήκες ήταν ανθυγιεινές, ενώ μερικοί μεταλλωρύχοι αντιμετώπιζαν προβλήματα υγείας και ένας από αυτούς ακολουθούσε φαρμακευτική αγωγή.

✓ ο ψυχολογικός παράγοντας των μεταλλωρύχων. Οι μεταλλωρύχοι θα έμεναν παγιδευμένοι για αρκετές ημέρες ακόμα και βρίσκονταν ήδη σε ευαίσθητη ψυχολογική κατάσταση, γεγονός που υποχρέωνε τους διασώστες να επισπεύσουν την επιχείρηση.

- το βάθος στο οποίο βρίσκονταν οι μεταλλωρύχοι. Έπρεπε να γίνει επιλογή μιας λύσης η οποία είχε δυνατότητα να φτάσει σε τόσο μεγάλο βάθος με μεγάλη διάμετρο ικανή να περάσει ένας άνθρωπος από αυτή.

- η κατάσταση της βραχώμαζας στην περιοχή του ορυχείου και ιδιαίτερα κοντά στο καταφύγιο μετά την κατάρρευση. Ήταν άγνωστη η κατάσταση του πετρώματος και το αντίκτυπο οποιασδήποτε επέμβασης στην περιοχή ίσως ήταν αρκετά μεγάλο. Έπρεπε να επιλεγεί λύση που να μη διαταράξει την εύθραυστη ισορροπία στην περιοχή.

- η συμμετοχή των μεταλλωρύχων. Εάν κρινόταν απαραίτητη η συμμετοχή των μεταλλωρύχων, υπήρχε η δυνατότητα αυτή; Όταν ανέκαμπταν μέσω της διατροφής τους, θα ήταν πιθανό να βρίσκονταν σε θέση να βοηθήσουν σε κάποια σημεία τους διασώστες. Επίσης, είναι προφανές ότι άλλο ποσοστό συμμετοχής θα είχαν οι μεταλλωρύχοι στην ανέλκυσή τους μέσω κάψουλας διάσωσης και διαφορετικό εάν καλούνταν να ανέβουν οι ίδιοι στην επιφάνεια μέσω του φρέατος αερισμού ή ενός νέου προσπελαστικού έργου.

- η ασφάλεια των διασωστών. Σίγουρα ήταν επιθυμητή η διάσωση των παγιδευμένων, αλλά από την άλλη έπρεπε να εξασφαλιστεί ότι δε θα κινδυνεύσουν κι άλλοι άνθρωποι κατά την εξέλιξη της επιχείρησης.

- το κόστος της επιχείρησης. Σε αυτήν τη δεύτερη φάση της επιχείρησης διάσωσης, έπρεπε να γίνει τεχνικοοικονομική ανάλυση ώστε να επιλεγθούν γρήγορες κι αποτελεσματικές λύσεις, χωρίς όμως να έχουν υπέρογκο κόστος.

Τελικά, για τον εντοπισμό των μεταλλωρύχων, επιλέχθηκε μια παραλλαγή της τέταρτης πρότασης, με τη διαφορά ότι η διάνοιξη της σήραγγας διάσωσης θα γινόταν από την επιφάνεια, ώστε να μπορούν να επιστρατευτούν βαρύτερα μηχανήματα μεγαλύτερων δυνατοτήτων. Μετά τη διάνοιξη της σήραγγας διάσωσης, η επιχείρηση θα ολοκληρωνόταν με την ανέλκυση των μεταλλωρύχων μέσω ειδικής κάψουλας. Γι' αυτόν το σκοπό, εφαρμόστηκαν τρία σχέδια της μεθόδου αυτής, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω :

3.9.2. Τα 3 σχέδια διάσωσης

Παρακάτω γίνεται παρουσίαση και μια μικρή ανάλυση των τριών εναλλακτικών μεθόδων διάνοιξης της σήραγγας διάσωσης που εφαρμόστηκαν με σκοπό τον απεγκλωβισμό των 33 μεταλλωρύχων :

3.9.2.1. Σχέδιο A (Plan A)

Το συγκεκριμένο σχέδιο διάσωσης προέβλεπε τη χρησιμοποίηση του Αυστραλιανού μηχανήματος Raise Borer “Strata 950” (βλ. Εικόνα 3.8), το οποίο θα διάνοιγε αρχικά μια πιλοτική σήραγγα μικρής διαμέτρου (20-35 cm) κι έπειτα θα τη διεύρυνε στην επιθυμητή διάμετρο [Ministerio de Minería, 2010]. Το μηχάνημα, το οποίο βρισκόταν ανενεργό στη Χιλή, ήταν μια προσφορά της μεταλλευτικής εταιρείας Murray & Roberts με έδρα τη Νότια Αφρική.



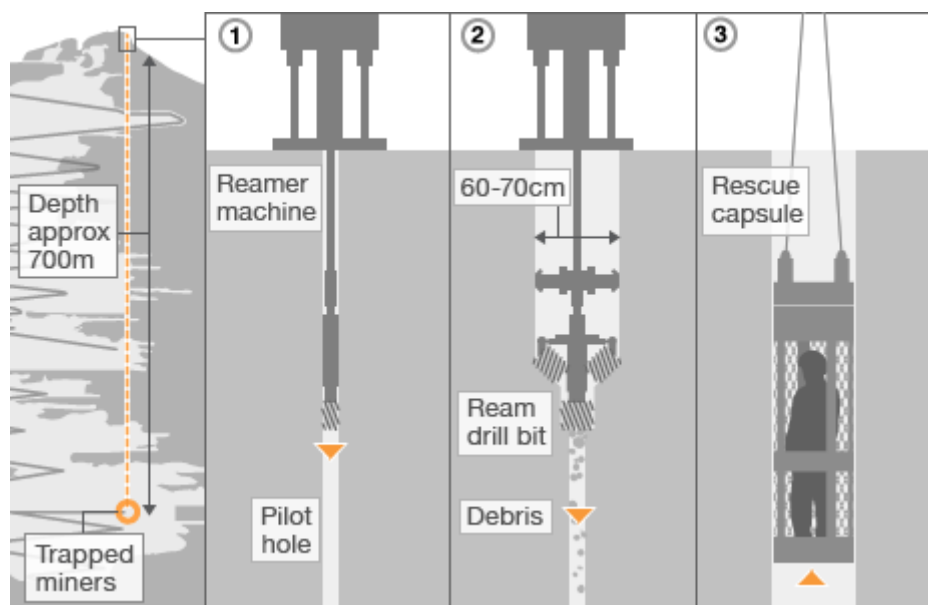
Εικόνα 3.8. Το μηχάνημα Raise Borer “Strata 950” του σχεδίου A. (Πηγή : Διαδίκτυο)

Το εν λόγω μηχάνημα πακτώνεται σε πλάκα τσιμέντου και χρησιμοποιείται για διάνοιξη φρεάτων μέχρι και 8 m σε διάμετρο. Η προχώρηση του κυμαίνεται μεταξύ 15 και 25 m ημερησίως για την πιλοτική σήραγγα και 10 έως 15 m για την

διεύρυνση αυτής, ανάλογα με τον τύπο της βραχώμαζας, ενώ έχουν διανοιχτεί σήραγγες βάθους μέχρι και 800 m με αυτήν τη μέθοδο.

Σύμφωνα με τη μέθοδο θα γίνονταν η όρυξη γεώτρησης και εν συνεχεία θα πραγματοποιούνταν η διεύρυνση της διατομής της (ream-down). Η συμβατική μέθοδος του “raise boring” η οποία προβλέπει τη διάνοιξη πιλοτική σήραγγας και στη συνέχεια, μετά την προσάρτηση κοπτικής κεφαλής μεγαλύτερης διαμέτρου στο μηχάνημα, τη διεύρυνση αυτής από κάτω προς τα πάνω (βλ. Εικόνα 3.9), ήταν αδύνατο να εφαρμοστεί. Γι’ αυτό το λόγο, αναγκαστικά επιλέχθηκε η “αντισυμβατική” διεύρυνση της πιλοτικής σήραγγας από την επιφάνεια προς το ορυχείο (ream-down). Το μήκος της γεώτρησης που καλούσαν το μηχάνημα να διανοίξει ήταν περίπου 700 m με κατακόρυφη κλίση.

Ακόμα, το εν λόγω σχέδιο προϋπέθετε συμμετοχή από την πλευρά των μεταλλωρύχων οι οποίοι θα καλούνταν να συλλέγουν και να απομακρύνουν το υλικό που θα έπεφτε κατά τη δεύτερη φάση διάνοιξης της σήραγγας μέσα από την πιλοτική (βλ. Εικόνα 20).



Εικόνα 3.9. Οι δύο φάσεις διάνοιξης (πιλοτική σήραγγα και τελική διατομή) που ακολουθήθηκαν στο σενάριο διάσωσης Α. (Πηγή : La Tercera)

Το σχέδιο αυτό είχε εκτιμώμενο χρόνο ολοκλήρωσης τους 3 έως 4 μήνες, με κύριο πλεονέκτημά του τη γνώση ότι η τεχνική αυτή έχει αποδεδειγμένα αποτελέσματα σε σκληρό βράχο. Από την άλλη, οι πιθανότητες να γίνει μια μερική

κατάρρευση και να κολλήσει η κεφαλή ήταν αυξημένες, λόγω του ότι η σήραγγα δε θα είχε επένδυση.

Οι εργασίες του ξεκίνησαν στις 26 Αυγούστου και σταμάτησαν στις 9 Οκτωβρίου στα 598 m από τα 702 m της πιλοτικής σήραγγας, όταν το μηχάνημα “Schramm T-130 XD” του σχεδίου Β ξετρύπησε στο σημείο που βρίσκονταν οι μεταλλωρύχοι.

3.9.2.2. Σχέδιο Β (Plan B)

Σε αυτό το σχέδιο διάσωσης το μηχάνημα “Schramm T-130 XD” κατασκευασμένο από την εταιρεία Schramm Inc., το οποίο προσέφερε η εταιρεία Geotec S.A. [Ministerio de Minería, 2010], θα αναλάμβανε τη διεύρυνση μιας από τις τρεις ήδη υπάρχουσες γεωτρήσεις που είχαν φτάσει στους μεταλλωρύχους και τους προμήθευαν μέσω αυτών με εφόδια.



Εικόνα 3.10. Το μηχάνημα “Schramm T-130 XD” του σχεδίου διάσωσης Β. (Πηγή : Διαδίκτυο)

Το μηχάνημα “Schramm T-130 XD” προσαρμόζεται σε φορτηγό (βλ. Εικόνα 3.10) και χρησιμοποιείται κυρίως σε βαθιές γεωτρήσεις πηγαδιών νερού. Η προχώρησή του κυμαίνεται μεταξύ 1 και 3 m για κάθε ώρα εργασιών, ανάλογα με τον τύπο του βράχου. Έχοντας τη δυνατότητα επιλογής μεταξύ κανονικής και ανάστροφης κυκλοφορίας αέρα, έχει επιτύχει βάθη γεωτρήσεων έως και 1000 m.

Αρχικά, προβλεπόταν η διεύρυνση της διαμέτρου μιας εκ των τριών γεωτρήσεων που τροφοδοτούσαν τους 33 παγιδευμένους μεταλλωρύχους, από τα 13 στα 30 cm (first reaming) και στη συνέχεια η διεύρυνση αυτής σε διάμετρο 66 cm περίπου (second reaming). Στην πρώτη διεύρυνση της σήραγγας χρησιμοποιήθηκε μια “down the hole” κεφαλή CR 120 και στη δεύτερη τέθηκε σε εφαρμογή μια ειδική κεφαλή LP Drill (Low Profile Drill) με 5 επιμέρους σφύρες (βλ. Εικόνα 3.11), η οποία δεν είχε ξαναλειτουργήσει στη Χιλή. Η κεφαλή κατασκευάστηκε από την εταιρεία CRI (Center Rock Inc.) η οποία είχε συμμετέχει και στη διάσωση στο ορυχείο Quecreek, το 2002.



Εικόνα 3.11. Η ειδική κεφαλή LP Drill του “Schramm T-130 XD” του σχεδίου διάσωσης Β. (Πηγή : Διαδίκτυο)

Το μηχάνημα βρισκόταν στη Χιλή τη στιγμή του ατυχήματος, αλλά πρόσθετος εξοπλισμός ήταν απαραίτητος (ειδικές κεφαλές), ο οποίος έφτασε από τις Η.Π.Α μερικές ημέρες αργότερα. Το “Schramm T-130 XD”, κλήθηκε να διανοίξει 638 m γεώτρησης με κλίση 82°. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου ήταν το γεγονός ότι δεν είχε ξαναδοκιμαστεί η συγκεκριμένη κεφαλή στο σκληρό βράχο της Χιλής και

όπως και στο σχέδιο Α, η γεώτρηση θα έμενε ανεπένδυτη. Και σε αυτό το σχέδιο ήταν απαραίτητη η συμμετοχή των μεταλλωρύχων, αφού κατά τις εργασίες του εν λόγω μηχανήματος, θα έπρεπε να μεταφέρουν περίπου 500 kg εξορυσσόμενο υλικού την ώρα.

Ο χρόνος ολοκλήρωσης αυτού του σχεδίου υπολογιζόταν στους 3 μήνες και το σχέδιο τέθηκε σε εφαρμογή στις 5 Σεπτεμβρίου εκτίμηση η οποία αποδείχτηκε συντηρητική – παρά τις πολλές καθυστερήσεις λόγω φθοράς των άκρων αλλά και κολλήματος σε δομικά στοιχεία του ορυχείου – αφού 33 ημέρες μετά, στις 9 Οκτωβρίου, το μηχάνημα ξετρύπησε εντός του ορυχείου ανοίγοντας το δρόμο για τον απεγκλωβισμό των 33 μεταλλωρύχων.

3.9.2.3. Σχέδιο Γ (Plan C)

Την εγκατάσταση ενός τεράστιου γεωτρύπανου (βλ. Εικόνα 3.12), του Καναδικού “RIG-421” της εταιρείας Precision Drilling Corporation, το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως στην εξόρυξη πετρελαίου και φυσικού αερίου, προέβλεπε το σχέδιο διάσωσης Γ [Ministerio de Minería, 2010].



Εικόνα 3.12. Το γεωτρύπανο “RIG-421” του σχεδίου διάσωσης Γ. (Πηγή : Διαδίκτυο)

Το μηχάνημα ήταν διαθέσιμο στη Χιλή, αλλά λόγω του όγκου του (ήταν μεγαλύτερο από τα δύο προηγούμενα) απαιτούνταν αρκετές ημέρες για τη μεταφορά και τη συναρμολόγηση / εγκατάστασή του. Είναι χαρακτηριστικό ότι για το συγκεκριμένο γεωτρύπανο ύψους 43 m, το οποίο διανοίγει κατ' ευθείαν την επιθυμητή τελική διάμετρο, χρειάστηκαν 37 φορτηγά να μεταφέρουν τα μέρη του και 10000 m³ βράχου να καθαριστούν ώστε να δημιουργηθεί η πλατφόρμα εγκατάστασης επιφάνειας 500 m², ενώ συνήθως απαιτείται περίπου ένα στρέμμα (1000 m²). Η μέση προχώρηση του είναι 15 m γεώτρησης ημερησίως, ενώ έχει τη δυνατότητα διάνοιξη σήραγγας βάθους 3,2 km.



Εικόνα 3.13. Η κεφαλή του "RIG-421". (Πηγή : Διαδίκτυο)

Η διάνοιξη της σήραγγας διάσωσης θα γινόταν μεμιάς, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, σε διάμετρο 60 cm, η οποία όντας επενδυμένη με αγωγούς στο σύνολο των 597 m μήκους της, θα προστατευόταν από πιθανές μετακινήσεις / πτώσεις βράχων. Επιπρόσθετα, αυτό ήταν το μοναδικό σχέδιο το οποίο δεν προϋπέθετε τη συμμετοχή των παγιδευμένων μεταλλωρύχων στη διάνοιξη της σήραγγας, αφού το γεωτρύπανο κατά τη διάνοιξη, η οποία γινόταν σε μια φάση, απορροφά το εξορυσσόμενο υλικό στην επιφάνεια.

Το “RIG-421” ξεκίνησε τις εργασίες του στις 19 Σεπτεμβρίου και αντιμετώπισε αρκετά προβλήματα στην επίτευξη του σωστού προσανατολισμού της γεώτρησης, με αποκορύφωμα την παύση εργασιών για να γίνει αλλαγή μεγέθους και επανατοποθέτηση της κεφαλής, αφού το γεωτρύπανο είχε εκτραπεί από την πορεία του.

Ο προβλεπόμενος χρόνος ολοκλήρωσης της σήραγγας διαφυγής ήταν 2 έως 3 μήνες – εκτίμηση η οποία αποδείχτηκε συντηρητική – με το γεωτρύπανο να έχει συμπληρώσει 497 m της διαδρομής μέσα σε 2 εβδομάδες (83% του συνολικού απαιτούμενου μήκους), όταν το “Schramm T-130 XD” ξετρύπησε στις 9 Οκτωβρίου.

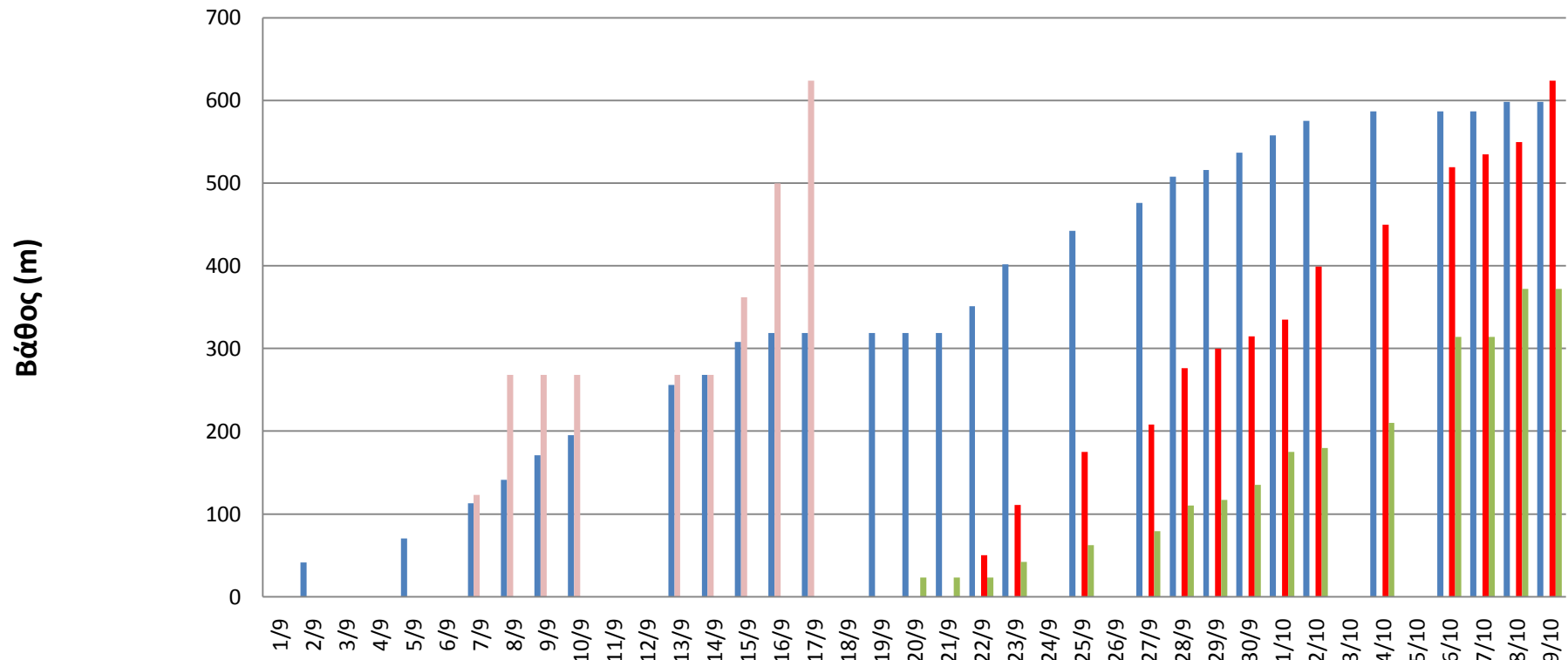
3.9.3. Πρόοδος γεωτρήσεων

Για καλύτερη εποπτεία των αποτελεσμάτων του κάθε μηχανήματος, παρακάτω παρουσιάζεται συγκεντρωτικά σε ένα διάγραμμα η χρονική πρόοδος των τριών σχεδίων διάσωσης. Σε όποια σημεία η καμπύλη είναι στάσιμη, αυτό υποδηλώνει είτε παύση εργασιών είτε απουσία διαθέσιμων σχετικών στοιχείων.

Στο διάγραμμα 3.14α, παρουσιάζονται τα τρία σχέδια διάσωσης και η ημερήσια πρόοδος των εργασιών των μηχανημάτων τους. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα, το μηχάνημα “Strata 950” του σχεδίου Α (μπλε γραμμή) βρίσκεται ακόμα στη διάνοιξη της πιλοτικής σήραγγας στο τέλος του διαγράμματος. Το μηχάνημα “Schramm T-130 XD” του σχεδίου Β έχει δύο φάσεις εργασιών με την πρώτη (ροζ γραμμή) διεύρυνση να ολοκληρώνεται στις 17/9 και τη δεύτερη και τελική (κόκκινη γραμμή) στις 9/10, όταν το γεωτρύπανο “RIG-421” του σχεδίου Γ (πράσινη γραμμή) βρισκόταν πολύ κοντά στο στόχο του. Στα χρονικά διαστήματα 8 – 14 Σεπτεμβρίου και 16 – 21 του ίδιου μήνα, φαίνεται μια στάση των εργασιών του σχεδίου Β και Α, αντίστοιχα, για επισκευή των κεφαλών των μηχανημάτων, λόγω του ότι είχαν συναντήσει δοκούς υποστήριξης του ορυχείου κατά την διάνοιξη της σήραγγας.

Στο διάγραμμα 3.14β παρουσιάζεται η χρονική πρόοδος των εργασιών των μηχανημάτων των σχεδίων σε μορφή καμπύλης, από την κλίση της οποίας φαίνεται η απόδοση του εν λόγω σχεδίου διάσωσης. Με διακεκομμένη γραμμή σημειώνεται το βάθος – στόχος του κάθε μηχανήματος, ανάλογα με το χρώμα του σχεδίου στο οποίο ανήκει. Από την απότομη κλίση της ροζ (πρώτη διεύρυνση – first reaming) και κόκκινης καμπύλης (δεύτερη διεύρυνση – second reaming) του μηχανήματος “Schramm T-130 XD”, φαίνεται η πολύ καλή απόδοση του σχεδίου διάσωσης Β, το οποίο κατάφερε εντός 33 ημερών από την εκκίνηση των εργασιών του να επιτύχει το στόχο του, καταρρίπτοντας κάθε πρόβλεψη. Το γεωτρύπανο “RIG-421” του σχεδίου Γ, το οποίο άνοιξε τη σήραγγα απευθείας στην τελική διάμετρο, έχει κι αυτό αρκετά καλή απόδοση, με την κλίση της καμπύλης προόδου των εργασιών του να είναι παραπλήσια με αυτήν του μηχανήματος Raise Borer “Strata 950” του σχεδίου Α, το οποίο όμως έκανε διάνοιξη σε δύο φάσεις και βρισκόταν ακόμα στη διάνοιξη της πιλοτικής σήραγγας. Εξάγεται λοιπόν το συμπέρασμα, ότι τα σχέδια διάσωσης Β και Γ, απέδωσαν εξαιρετικά στο σκληρό πέτρωμα της περιοχής του ορυχείου, ενώ κάτι τέτοιο δεν μπορεί να λεχθεί και για το σχέδιο Α, οι εργασίες του οποίου βρισκόνταν ακόμα στην διάνοιξη της πιλοτικής σήραγγας όταν το σχέδιο Β ολοκλήρωσε τις εργασίες του.

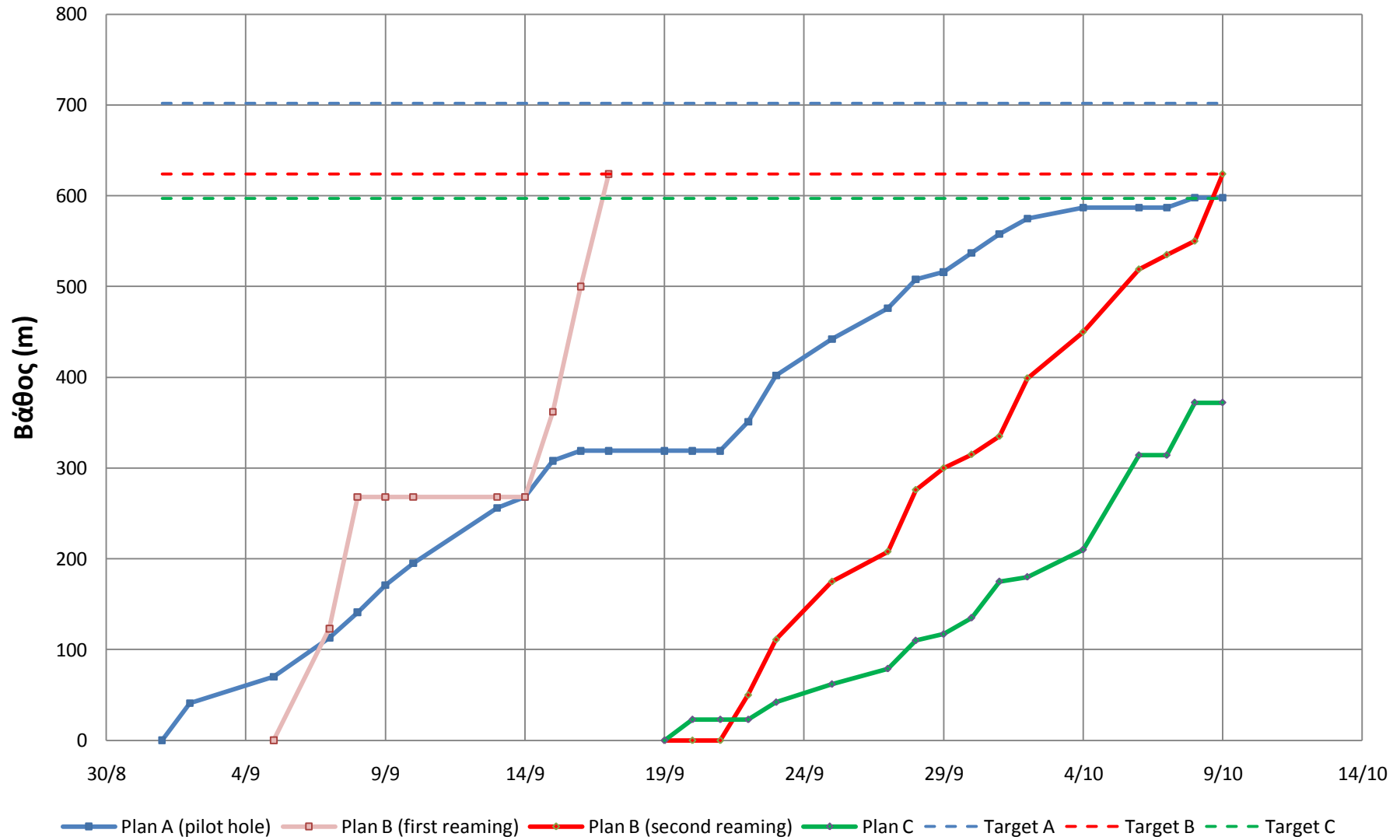
Ημερήσια πρόοδος των σχεδίων διάσωσης



	1/9	2/9	5/9	7/9	8/9	9/9	10/9	13/9	14/9	15/9	16/9	17/9	19/9	20/9	21/9	22/9	23/9	25/9	27/9	28/9	29/9	30/9	1/10	2/10	4/10	6/10	7/10	8/10	9/10
■ Plan A (pilot hole)	0	41	70	113	141	171	195	256	268	308	319	319	319	319	351	402	442	476	508	516	537	558	575	587	587	587	598	598	
■ Plan B (first reaming)			0	123	268	268	268	268	362	500	624																		
■ Plan B (second reaming)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	111	175	208	276	300	315	335	399	450	519	535	550	624	
■ Plan C													0	23	23	23	42	62	79	110	117	135	175	180	210	314	314	372	372

Διάγραμμα 3.14α. Η ημερήσια πρόοδος των μηχανημάτων των 3 σχεδίων διάσωσης.

Χρονική πρόοδος των σχεδίων διάσωσης



Διάγραμμα 3.14β. Η χρονική πρόοδος των μηχανημάτων των 3 σχεδίων διάσωσης.

3.9.4. Σχολιασμός επιλογής λύσης διάσωσης

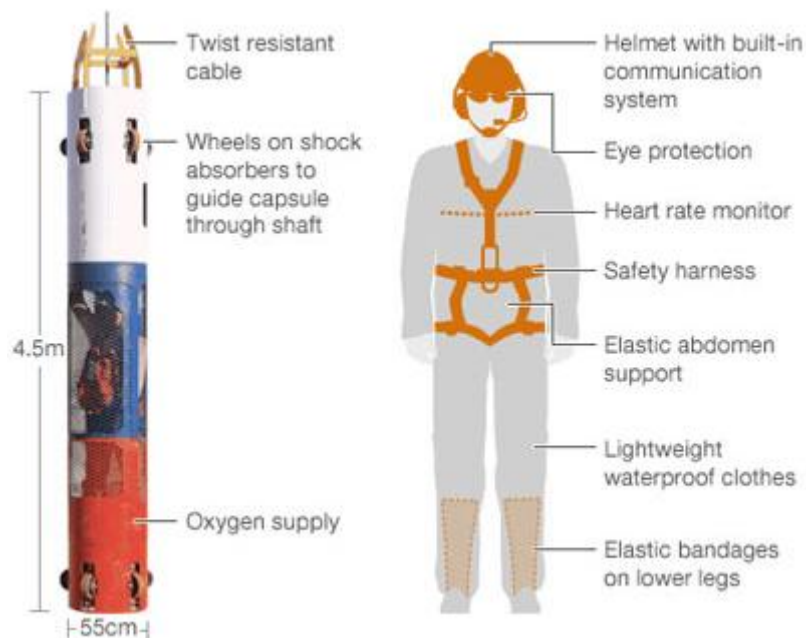
Η λύση της διάνοιξης σήραγγας διάσωσης ήταν ορθή (όπως αποδείχτηκε εκ των υστέρων) από τεχνική άποψη. Υπήρχε ήδη η εμπειρία και η γνώση της κατάστασης της βραχώμαζας από τις προηγούμενες γεωτρήσεις που έγιναν για τον εντοπισμό των μεταλλωρύχων, οπότε υπήρχε ένα σημαντικό πλεονέκτημα. Αν προστεθεί σε αυτό και η ασφάλεια των διασωστών κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια της επιχείρησης, εξαιρώντας βέβαια την κατάβαση των διασωστών για το συντονισμό της ανέλκυσης. Από οικονομικής απόψεως, γι' αυτά που προσέφερε το σχέδιο, ήταν και πάλι το αρτιότερο, αφού είχε τη μεγαλύτερη πιθανότητα επιτυχίας από τα προτεινόμενα. Πράγματι, το σχέδιο ξεπέρασε τη συντηρητική πρόβλεψη των 3 μηνών από την έναρξη των εργασιών και σε ένα περίπου μήνα η διάνοιξη είχε ολοκληρωθεί και οι μεταλλωρύχοι βγήκαν στην επιφάνεια.

Το μηχάνημα Raise Borer "Strata 950" του σχεδίου Α αποδείχτηκε πιστό στην πρόβλεψη των 3 μηνών, αφού όταν έγινε το ξετύπωμα του "Schramm T-130 XD" (σχέδιο Β), αυτό βρισκόταν κοντά στην ολοκλήρωση της πιλοτικής σήραγγας. Το μηχάνημα του σχεδίου Β προχώρησε εξαιρετικά γρήγορα και μαζί με το γεωτρήπανο "RIG-421" (σχέδιο Γ) ξεπέρασαν τις συντηρητικές προβλέψεις. Όπως φάνηκε, το γεωτρήπανο "RIG-421" του σχεδίου Γ ήταν και η δικλίδα ασφαλείας που είχαν θέσει οι διασώστες, καθώς ήταν αναμφίβολα αποτελεσματικό και ικανό να διανοίξει την απαιτούμενη σήραγγα, όμως ήταν αντιοικονομικό από πλευράς κόστους και χρόνου συναρμολόγησης (χρειάστηκε περίπου 2 εβδομάδες να στηθεί ώστε να ξεκινήσει τις εργασίες του). Στις 13 Οκτωβρίου, όταν η επιχείρηση ολοκληρώθηκε με επιτυχία, το σχέδιο Γ χρειαζόταν περίπου μια εβδομάδα ακόμα ώστε να τελειώσει και αυτό με τη σειρά του επιτυχώς τη διάνοιξη της σήραγγας διαφυγής.

3.9.5. Χαρακτηριστικά της κάψουλας διάσωσης

Οι 3 χαλύβδινες κάψουλες διάσωσης που κατασκευάστηκαν για το ατύχημα της Χιλής, σχεδιάστηκαν από το Χιλιανό ναυτικό σε συνεργασία με τη NASA. Οι ειδικά ενισχυμένες στην οροφή κάψουλες είχαν συνολικά 8 ρόδες με ανάρτηση, στο πάνω και κάτω μέρος τους για να κυλήσουν ομαλά εντός της σήραγγας διάσωσης διαμέτρου 66 cm. Ακόμα, ήταν εξοπλισμένες με εξάρτυση για τον "επιβάτη" της κάψουλας, με φωτισμό, με απόθεμα οξυγόνου και με μικρόφωνο, βίντεο και ηχεία ώστε να διατηρείται η επικοινωνία με τους διασώστες. Στις κάψουλες δόθηκαν

συμβολικά τα ονόματα Fénix 1, 2 και 3 – κατά το μυθικό πουλί φοίνικα το οποίο αναγεννιόταν μέσα από τις στάχτες του.



Εικόνα 3.15. Η κάψουλα διάσωσης και η εξάρτυση του επιβαινόντα. (Πηγή : Διαδίκτυο)

Η κάψουλα Fénix 1, η πρώτη που κατασκευάστηκε, είχε μεγαλύτερη διάμετρο από τις άλλες δύο και χρησιμοποιήθηκε κυρίως σε δοκιμές, όπως και στη σήραγγα που διάνοιξε το μηχάνημα “Schramm T-130” (σχέδιο Β), όπου και κατέβηκε σε βάθος 610 m.

Η κάψουλα Fénix 2 χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά κατά τη διάσωση των μεταλλωρύχων και είχε διάμετρο 54 cm (21’), ύψος 4,50 m και βάρος 460 kg. Από τους ειδικούς κοστολογείται στο 1 εκ. \$ περίπου [Wikipedia, 2010].

Η τρίτη κάψουλα Fénix 3, ήταν όμοια με τη δεύτερη και κρατήθηκε ως ρεζέρβα κατά τη διάρκεια της διάσωσης και δε χρησιμοποιήθηκε καθόλου. Κατασκευάστηκε και μία τέταρτη η οποία τελικά δεν εστάλη στο σημείο του ατυχήματος.

Όσο αφορά στην επιλογή της κάψουλας διάσωσης για τον απεγκλωβισμό, σημειώνεται ότι υπάρχει μια σχετική προϊστορία (βλ. Κεφ. 2.2 Το ατύχημα στο Lengede και 2.3 Η διάσωση στο ορυχείο Quecreek) με επιτυχημένες διασώσεις. Οι κάψουλες Fénix θεωρούνται απόγονοι της αντίστοιχης (Dahlbusch-Bombe) που είχε

χρησιμοποιηθεί το 1963 στο επονομαζόμενο “θαύμα” του Lengede στη Γερμανία (βλ. Κεφ. 2.2 Το ατύχημα στο Lengede). Η εμπειρία και η γνώση των αποτελεσμάτων της συγκεκριμένης μεθόδου – η οποία τείνει να επικρατήσει σε τέτοιες περιπτώσεις – σίγουρα έπαιξε ένα ρόλο στην επιλογή των γεωτρήσεων ως τελικό σχέδιο διάσωσης των 33 μεταλλωρύχων.

3.9.6. Επένδυση της γεώτρησης

Ένα άλλο ζήτημα που απασχόλησε τους διασώστες ήταν το εάν θα έπρεπε να επενδυθεί η σήραγγα διαφυγής με αγωγούς και αν ναι, με ποιο υλικό από τα εξής : χάλυβα ή PVC [Ministerio de Minería, 2010]. Η επιλογή της όποιας λύσης θα γινόταν με βάση την κατάσταση της διανοιχθείσας σήραγγας και άλλες τεχνικές λεπτομέρειες, όπως την καλή κύλιση της κάψουλας διάσωσης εντός της σήραγγας (επενδυμένης ή μη).

Αναφέρεται ότι οι αγωγοί από PVC είναι πιο ελαφριοί και οικονομικοί, με το μειονέκτημα της μικρής τους δυσκαμψίας.



Εικόνα 3.16. Οι αγωγοί επένδυσης φτάνουν στο εργοτάξιο του ορυχείου. (Πηγή : Διαδίκτυο)

72 αγωγοί μέσου μήκους 10 m, πάχους 5 cm και διαμέτρου 61 cm, έφτασαν στο εργοτάξιο του ορυχείου, αλλά τελικά χρησιμοποιήθηκαν μόνο για τα πρώτα 56 m της σήραγγας διαφυγής, αφού δεν κρίθηκε απαραίτητη η συνολική επένδυση

αυτής, έπειτα από τις σχετικές δοκιμές κύλισης της κάψουλας διάσωσης εντός της σήραγγας.

3.10. Αίτιο κατάρρευσης

Μερικοί σημαντικοί παράγοντες που συνετέλεσαν στην εκδήλωση του ατυχήματος ήταν η παλαιότητα του ορυχείου (πάνω από 100 ετών), η κακή συντήρηση τα πρώτα χρόνια λειτουργίας του ορυχείου, οι αλλαγές στην μέθοδο εξόρυξης και τα ελλιπή μέτρα ασφαλείας.

Σύμφωνα με τον Oscar Melo, ο οποίος είναι πρώην εργαζόμενος στο ορυχείο, η πιθανότερη μορφή αστοχίας είναι η ολική κατάρρευση των πλακών σε σχήμα “χωνιού” εντός του ορυχείου. Ο ίδιος δηλώνει ότι παρόμοια αστοχία είχε συμβεί στο γειτονικό ορυχείο του San Antonio με την καθίζηση να γίνεται αντιληπτή μέχρι και την επιφάνεια [Minería Chilena, 2010]. Μάλιστα, οι πρώτες έρευνες που έγιναν στο ορυχείο συνηγορούν υπέρ του.

Κατά πάσα πιθανότητα, η κατάρρευση οφείλεται σε αστοχία λόγω ακαριαίας διάρρηξης πετρωμάτων, γνωστό ως “φαινόμενο rockburst”. 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 $\sigma_{c,m}/\rho_0$ (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. Πράγματι, στο San José, με το σκληρό πέτρωμα υψηλής αντοχής σε συνδυασμό με τα μεγάλα μήκους και ύψους κενά που αφήνονται λόγω της εκμετάλλευσης του πετρώματος, ειδικά στα παλαιότερα κομμάτια του ορυχείου (βλ. Σχήμα 3.4), είναι πιθανή η εμφάνιση του “φαινομένου rockburst”.

Την παραπάνω εύλογη υπόθεση έρχεται να ενισχύσει η κατάθεση του κ. Villegas (οδηγός του εργοταξίου), ο οποίος είχε μόλις φορτώσει το φορτηγό του με

εξορυγμένο υλικό σε βάθος 600 m περίπου και κατευθυνόταν προς την έξοδο, όταν άρχισε να εκδηλώνεται η αστοχία. Όπως αναφέρει, άκουσε ένα μεγάλο θόρυβο αρχικά, “σαν κάτι να σπάει”, αλλά δεν έδωσε σημασία και συνέχισε να ανεβαίνει το ελικοειδές κεκλιμένο. Μάλιστα, το ανέφερε και σε 2 από τους 33 μετέπειτα παγιδευμένους μεταλλωρύχους που συνάντησε στο δρόμο. Ξαφνικά, όταν βρισκόταν κοντά στην έξοδο, ένα σύννεφο σκόνης συνεπήρε αυτόν και το φορτηγό του εμποδίζοντας την όρασή του, παρ’ όλα αυτά κατάφερε ακολουθώντας το φως να βγει σώος από το ορυχείο, ενώ η κατάρρευση εντός του ορυχείου βρισκόταν σε πλήρη εξέλιξη. “Ένωσα ένα διαχυτικό κύμα, όπως όταν εκρήγνυται δυναμίτης.” [The Star, 2010]. Τα παραπάνω συνηγορούν στο ότι το σκληρό πέτρωμα διερρήχθη με ιδιαίτερα βίαιο τρόπο (“rockburst”), λόγω του μεγάλου βάθους και πιθανότατα της ελλιπούς αντιστήριξης, γι’ αυτό και προκλήθηκε τόσο εκτεταμένη ζημιά στο ορυχείο.

4. Ανάλυση ατυχήματος San José με διαγράμματα fault trees

4.1. Ανάλυση κινδύνου

Η επιστήμη που ασχολείται με την εκτίμηση των πιθανοτήτων εμφάνισης ενός επικίνδυνου γεγονότος και την αξιολόγηση αυτών (είτε ποσοτικά, είτε σπανιότερα ποιοτικά), ονομάζεται ανάλυση κινδύνου και χρησιμοποιείται πολύ συχνά στο επάγγελμα του μηχανικού.

Η ανάλυση κινδύνου συνήθως περιλαμβάνεται στη διαχείριση κινδύνου ενός έργου υπό μελέτη, κατασκευή ή λειτουργία, τα δεδομένα του οποίου θα χρησιμοποιηθούν ώστε να εντοπιστούν πιθανά ζητήματα και ορατοί ή/και μη, κίνδυνοι, πριν αυτά παρουσιαστούν επηρεάζοντας αρνητικά το κόστος ή/και το χρονοδιάγραμμα του έργου. Συνήθως συγκαλείται μια αρμόδια ολιγομελής επιτροπή που συνεδριάζει σχετικά με την εκτίμηση κινδύνου, η οποία αποτελείται από άτομα σε διαφορετικές θέσεις, ώστε να καλυφθούν όλα τα πιθανά ζητήματα απ' όλες τις πλευρές. Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης προκύπτουν από την ικανότητα της ομάδας να αξιολογήσει τα στοιχεία του έργου που υποθάλπουν κινδύνους, ανάλογα με τις συνέπειες αυτών στην πορεία του έργου.

Βέβαια, επειδή η διαχείριση κινδύνου είναι μια δυναμική διαδικασία, η ανάλυση κινδύνου πρέπει να είναι συνεχής και να ανανεώνει τα αποτελέσματά της ανάλογα με τα νέα δεδομένα που προκύπτουν σε ένα έργο. Αυτό επιτυγχάνεται με τακτικές συνεδριάσεις της προαναφερθείσας ομάδας σε καμπές της πορείας του έργου, με σκοπό την άμβλυση των πιθανοτήτων κινδύνου μέσω αλλαγών και βελτιώσεων στο υπάρχον μοντέλο κινδύνου. Η διαδικασία αυτή – αν και κοστοβόρα – μπορεί να αποτρέψει εκδήλωση αστοχιών με μεγαλύτερες συνέπειες στο κόστος του έργου και όχι μόνο.

Κατά την ανάλυση, ο κίνδυνος ορίζεται και ποσοτικοποιείται (εάν χρειαστεί) από τα εξής μεγέθη :

α. τη σοβαρότητα των πιθανών δυσμενών συνεπειών από την εκδήλωση ατυχήματος σχετικού με τον εν λόγω κίνδυνο και

β. την πιθανότητα της εκδήλωσης της κάθε παραπάνω συνέπειας.

Για το σκοπό της ανάλυσης κινδύνου, υπάρχουν δύο είδη εκτίμησής του [Stamatelatos, 2000] :

- η ποιοτική εκτίμηση κινδύνου, όπου τα αποτελέσματα της ανάλυσης που παρουσιάζονται – δηλαδή οι συνέπειες και οι πιθανότητες εμφάνισης του υπό ανάλυση γεγονότος – εκφράζονται με χαρακτηρισμούς όπως υψηλή, μέτρια και χαμηλή (σοβαρότητα ή πιθανότητα, αντίστοιχα) και

- η ποσοτική ή πιθανοτική εκτίμηση κινδύνου, όπου οι συνέπειες παρουσιάζονται με αριθμούς (π.χ. ο αριθμός των θυμάτων) όπως και οι πιθανότητες εμφάνισης του γεγονότος. Το γινόμενο αυτών των δύο ποσοτήτων δίνουν τη συνολική εκτίμηση του κινδύνου.

Ακόμα, υπάρχει και μια τρίτη μέθοδος εκτίμησης του κινδύνου, η ημιποσοτική, που είναι ενδιάμεση των δύο προαναφερθέντων ειδών. Αυτή εφαρμόζεται όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα στατιστικά στοιχεία ώστε να ποσοτικοποιηθεί με σχετική ακρίβεια η πιθανότητα εμφάνισης ενός ή περισσοτέρων γεγονότων βάσει της ποσοτικής εκτίμησης κινδύνου, αλλά από την άλλη, η συχνότητα εμφάνισης εκφράζεται ικανοποιητικά με τους χαρακτηρισμούς που χρησιμοποιούνται στην ποιοτική εκτίμηση κινδύνου. Έτσι, γίνεται μια “πρόχειρη” αντιστοίχιση των συχνοτήτων εμφάνισης των γεγονότων με μια τιμή πιθανότητας. Αυτή η τιμή εκφράζεται σε τάξεις μεγέθους ($10^{-1,2,3,4,\dots}$), ώστε στο τέλος οι αναλυτές να έχουν μια “χονδρική” εικόνα της πιθανότητας εμφάνισης του υπό μελέτη κύριου γεγονότος.

Κατά την εκτέλεση μιας ανάλυσης κινδύνου σε ένα σύστημα / έργο, οι αναλυτές κινδύνου ακολουθούν συνήθως τα εξής βήματα :

- ορίζεται ο κίνδυνος ή η απειλή κι εντοπίζονται οι συνέπειες αυτών, οι οποίες πρέπει να αποφευχθούν ή να μειωθούν,

- ορίζονται τα κύρια γεγονότα που έχουν συγκεκριμένες συνέπειες,

- εκτιμάται η συχνότητα του κάθε κύριου γεγονότος και

- εντοπίζονται οι πιθανοί συνδυασμοί που οδηγούν σε συγκεκριμένο ανεπιθύμητο αποτέλεσμα, υποθέτοντας ότι το κύριο γεγονός έχει συμβεί.

Παράλληλα, μέσα στην ανάλυση προκύπτουν τα εξής 3 σημαντικά ερωτήματα τα οποία εάν απαντηθούν, γίνεται καλύτερη κατανόηση του συστήματος :

1. Τι μπορεί να μη λειτουργήσει επιθυμητά στο σύστημα υπό ανάλυση ή ποια είναι τα ανεπιθύμητα γεγονότα που οδηγούν σε δυσμενείς συνέπειες;
2. Ποιες είναι οι πιθανές βλάβες και πόσο μεγάλη είναι η σοβαρότητα τους;
3. Ποια είναι η πιθανότητα ή συχνότητα εμφάνισης των ανεπιθύμητων συνεπειών;

Αφού ολοκληρωθούν τα ανωτέρω βήματα κι έχει επιλεγεί η μέθοδος εκτίμησης του κινδύνου (συνήθως ποσοτική ή ημιποσοτική), υπολογίζεται η πιθανότητα εκδήλωσης του κάθε συνδυασμού. Έπειτα, οι πιθανότητες όλων των διαθέσιμων διαδρομών προς ένα συγκεκριμένο αποτέλεσμα προστίθενται μεταξύ τους και πολλαπλασιάζονται επί τη συχνότητα εμφάνισης του κύριου γεγονότος, καταλήγοντας στην τελική πιθανότητα εμφάνισής του.

Η εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης ενός γεγονότος είναι δυνατή μέσω αναλύσεων λογικών διαγραμμάτων, όπως event trees (δένδρα γεγονότων) και fault trees (δένδρα σφαλμάτων), στις οποίες άλλοτε χρησιμοποιείται η αιτιοκρατική (deterministic) εκτίμηση κινδύνου που παρέχει συγκεκριμένη τιμή πιθανότητας εμφάνισης ενός γεγονότος ή η πιθανολογική ανάλυση (PRA), η οποία παρέχει ένα εύρος τιμών της πιθανότητας, ενώ άλλες φορές χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι Monte Carlo και HRA. Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των μεθόδων αυτών :

- Event trees (δένδρα συμβάντων). Σύμφωνα με αυτήν την “επαγωγική” τεχνική, κατασκευάζεται μια γραφική αναπαράσταση του λογικού μοντέλου που εντοπίζει και ποσοτικοποιεί όλες τις πιθανές εκβάσεις ενός κύριου γεγονότος. Η μέθοδος παρέχει μια επαγωγική προσέγγιση στην εκτίμηση της αξιοπιστίας ενός συστήματος κατασκευάζοντας ένα δένδρο με κατεύθυνση προς τα εμπρός, όπου οι όποιες δικλείδες ασφαλείας είναι γνωστές κι εμποδίζουν την εκδήλωση του υπό ανάλυση γεγονότος.

- Fault trees (δένδρα σφαλμάτων). Σε αυτήν την “παραγωγική” μέθοδο που επιλύεται από πάνω (κύριο γεγονός) προς τα κάτω (βασικά γεγονότα), το σύστημα αναλύεται διεξοδικά και προσδιορίζονται οι συνδυασμοί αστοχιών που το οδηγούν σε κατάρρευση. Μάλιστα, λόγω της “συγγενείας” τους με τα event trees, συχνά

χρησιμοποιούνται για να ποσοτικοποιήσουν γεγονότα του συστήματος που είναι μέρη της ακολουθίας των event trees.

- Human reliability analysis (ανάλυση αξιοπιστίας προσωπικού), η οποία χρησιμοποιείται για να αξιολογηθούν τα ανθρώπινα λάθη που παίζουν σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη ενός γεγονότος. Οι αναλυτές υπολογίζουν την πιθανότητα ενός λάθους κατά την εκδήλωση ενός ατυχήματος, αναλόγως την εκπαίδευση και την ικανότητα του προσωπικού για αντιμετώπιση εκτάκτων καταστάσεων.

- Μέθοδος Monte Carlo, η οποία είναι στατιστική ανάλυση και χρησιμοποιείται για να υπολογίζει τους κινδύνους κι επιτρέπει στους αναλυτές να λάβουν υπόψη τους διακυμάνσεις του κάθε συντελεστή στην ανάλυση, την έλλειψη πληροφοριών, καθώς και τους διάφορους τρόπους που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους οι εν λόγω συντελεστές.

- Αιτιοκρατική ανάλυση κινδύνου (deterministic) η οποία δίνει μονοσήμαντο αποτέλεσμα στην εκτίμηση πιθανότητας εκδήλωσης ενός γεγονότος, όντας απλή και γρήγορη σε σχέση με την πιθανολογική ανάλυση.

- Πιθανολογική ανάλυση κινδύνου (Probabilistic risk assessment) η οποία είναι η πλέον σύγχρονη μέθοδος ανάλυσης κινδύνου για πολλά διαφορετικά έργα και χρησιμοποιεί κατανομές πιθανοτήτων για να χαρακτηρίσει την μεταβλητότητα και την αβεβαιότητα στην εκτίμηση κινδύνου [U.S. EPA, 2009]. Συνήθως, οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση συνδέονται με μια κατανομή πιθανοτήτων παρά με ένα συγκεκριμένο αριθμό, ενώ το αποτέλεσμα της ανάλυσης ορίζεται εντός ενός εύρους πιθανοτήτων. Κύριο πλεονέκτημα της εν λόγω ανάλυσης είναι ότι παρέχει ποσοτική περιγραφή του βαθμού της μεταβλητότητας ή/και της αβεβαιότητας σε εκτιμήσεις κινδύνου, γεγονός που προσφέρει καλύτερη κατανόηση του κινδύνου σε σχέση με ένα μονοσήμαντο αποτέλεσμα από ένα αιτιοκρατικό (deterministic) μοντέλο ανάλυσης. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι η πρόσθετη πληροφορία και ευελιξία που παρέχει στον αναλυτή όταν χειρίζεται κινδύνους υψηλής κρισιμότητας, θέτοντας ένα άνω όριο στο ποσοστό τους, συχνά μεταξύ 90 και 99,9%. Όμως, η πιθανολογική εκτίμηση κινδύνου δεν είναι κατάλληλη για κάθε ανάλυση, αφού απαιτεί πολύ παραπάνω χρόνο, περισσότερους πόρους και εξειδίκευση από την πλευρά του αναλυτή, σε σχέση με μια ντετερμινιστική ανάλυση.

4.1.1. Διερεύνηση ατυχημάτων

Σε ένα ατύχημα συντελούν πολλοί διαφορετικοί παράγοντες, όπως η ανθρώπινη συμπεριφορά, το περιβάλλον, ο εξοπλισμός και η τροφοδοσία. Η αδυναμία τους να αντιδράσουν ή να συμπεριφερθούν κατά τα αναμενόμενα, οδηγεί σε ανεπιθύμητα γεγονότα (ατυχήματα, σχετικά με το έργο ή τους εργαζόμενους σε αυτό), τα αίτια εκδήλωσης των οποίων προσδιορίζονται μέσω της διερεύνησης κι ανάλυσης ατυχημάτων.

Μετά την ανάλυση ενός ατυχήματος, είναι δυνατός ο προσδιορισμός των βασικών, των έμμεσων και των άμεσων αιτιών εκδήλωσης του ατυχήματος. Γνωρίζοντας τα παραπάνω αίτια και απαλείφοντας ένα ή περισσότερα από αυτά, η πιθανότητα εμφάνισης ενός ατυχήματος μειώνεται έως και μηδενίζεται. Μέσω αυτής της διαδικασίας, είναι πιθανό να συμβεί μείωση στην πιθανότητα εμφάνισης κι ενός άλλου ανεπιθύμητου γεγονότος.

Κατά τη διερεύνηση ενός ατυχήματος ακολουθούνται συνήθως τα εξής βήματα [MSHA, 1990] :

- ορίζεται ο σκοπός της διερεύνησης,
- επιλέγονται οι ερευνητές δίνοντας συγκεκριμένες αρμοδιότητες στον καθένα,
- παρουσιάζεται μια ενημέρωση στην ομάδα αναλυτών όπου περιέχονται τα εξής :
 - περιγραφή του ατυχήματος, με εκτιμήσεις ζημιών
 - οι φυσιολογικές διαδικασίες λειτουργιών
 - χάρτες (ειδικοί και γενικοί)
 - περιοχή του ατυχήματος
 - λίστα των αυτόπτων μαρτύρων
 - γεγονότα που προηγήθηκαν του ατυχήματος
- γίνεται επίσκεψη της ομάδας στην τοποθεσία του ατυχήματος για να λάβουν πρόσθετες πληροφορίες,
- γίνεται επιθεώρηση στην τοποθεσία του ατυχήματος, αποκλείοντας την περιοχή και λαμβάνοντας τα απαραίτητα σκαριφήματα και φωτογραφίες,

- γίνονται συνεντεύξεις στα θύματα και τους αυτόπτες μάρτυρες (αν υπάρχουν), καθώς και σε όσους ήταν παρόντες λίγο πριν και μετά το ατύχημα στην περιοχή,

- προσδιορίζεται τι δεν ήταν φυσιολογικό πριν το ατύχημα, πού και πώς συνέβη η όποια ανωμαλία, πότε παρατηρήθηκε για πρώτη φορά κι έπειτα γίνεται ανάλυση των δεδομένων που συλλέχτηκαν,

- προσδιορίζεται ο λόγος εκδήλωσης του ατυχήματος, η πιθανή ακολουθία των γεγονότων που οδήγησαν σε αυτό και οι επιμέρους αιτίες, καθώς και οι εναλλακτικές διαδρομές που δυνητικά έχουν το ίδιο αποτέλεσμα, οι οποίες αναλύονται σύμφωνα με το προηγούμενο βήμα,

- προσδιορίζεται η πιο πιθανή ακολουθία γεγονότων χρησιμοποιώντας κάποια από τις προαναφερθείσες μεθοδολογίες (event/fault trees, Monte Carlo, PRA) και

- συντίθεται και διανέμεται στους ενδιαφερόμενους μια ενημέρωση μετά την ανάλυση και μια περίληψη του ατυχήματος, προτείνοντας διάφορες ενέργειες ώστε να αποτραπεί κάτι παρόμοιο στο μέλλον.

4.2. Η ανάλυση με διαγράμματα δένδρων σφαλμάτων (fault trees) για ατυχήματα

Η ανάλυση με δένδρα σφαλμάτων (fault trees) είναι μια ανάλυση που συνήθως χρησιμεύει ως προληπτικό εργαλείο για πρόβλεψη πιθανών αιτίων που οδηγούν σε ανεπιθύμητα γεγονότα. Αυτό συχνά γίνεται κατά το σχεδιασμό ενός νέου συστήματος. Ακόμα, αποτελεί κι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται για να εντοπιστούν τα πρωταρχικά αίτια που οδήγησαν σε ένα ανεπιθύμητο γεγονός, μια ανωμαλία ή σε ένα ατύχημα το οποίο έχει ήδη συμβεί. Ήδη η εν λόγω μέθοδος μετράει πάνω περίπου 5 δεκαετίες εφαρμογής και αποτελεί ένα διεθνώς αναγνωρισμένο εργαλείο στο σχεδιασμό και στην ανάπτυξη συστημάτων.

4.2.1. Ιστορικά στοιχεία

Η ανάλυση με fault trees ξεκίνησε από τον H. A. Watson των εργαστηρίων Bell σε συνεργασία με την Πολεμική Αεροπορία των Η.Π.Α. ώστε να μελετηθεί το σύστημα ελέγχου της εκτόξευσης του πυρηνικού πυραύλου Minuteman στις αρχές της δεκαετίας του '60 [Ericson II, 1999]. Έπειτα, ο Dave Haas, ο οποίος εργαζόταν τότε στην εταιρεία Boeing, αναγνωρίζοντας την αξία αυτού του εργαλείου, οδήγησε μια ομάδα στην εφαρμογή διαγραμμάτων fault trees σε ολόκληρο το πυραυλικό σύστημα Minuteman. Λόγω των πολύ καλών αποτελεσμάτων, και άλλα παραρτήματα της Boeing άρχισαν να χρησιμοποιούν τη μέθοδο των fault trees στο σχεδιασμό των πολιτικών αεροπλάνων και το 1965, στο πρώτο Συνέδριο Συστημάτων Ασφαλείας των Η.Π.Α. παρουσιάστηκαν διάφορες δημοσιεύσεις που αφορούσαν στην ανάλυση με fault trees, για την οποία άρχισε να εκδηλώνεται διεθνές ενδιαφέρον.

Ακολουθώντας το παράδειγμα της αεροναυτιλίας, η μεθοδολογία των fault trees πέρασε στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη των πυρηνικών εργοστασίων. Μέσα από την πυρηνική βιομηχανία, η θεωρία των διαγραμμάτων fault trees εξελίχθηκε, όπως και τα σχετικά λογισμικά.

Για να εξελιχθεί όμως η εν λόγω μέθοδος, έπαιξε σημαντικό ρόλο η χρήση της στη διερεύνηση ατυχημάτων. Όπως συμβαίνει αρκετές φορές σε διάφορα έργα, δε δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην ασφάλεια, μέχρι να συμβεί ένα ατύχημα ή ένα ανεπιθύμητο γεγονός. Μετά από την εκδήλωσή του ατυχήματος, τα συστήματα ασφαλείας εφαρμόζονται αυστηρά ώστε να διερευνηθεί το ατύχημα, με τη συμμετοχή και εξωτερικών συνεργατών. Τα ακόλουθα ατυχήματα καθιέρωσαν την ανάλυση με fault trees ως αποτελεσματική μεθοδολογία προσέγγισης :

- εκδήλωση φωτιάς στη βάση εκτόξευσης του Apollo 1 τον Ιανουάριο του 1967. Η εταιρεία Boeing κλήθηκε από τη NASA να εφαρμόσει ένα νέο σύστημα ασφαλείας για όλο το πρόγραμμα Apollo. Ήταν η πρώτη εφαρμογή των fault trees σε ένα τόσο σημαντικό πρόγραμμα και κάπως έτσι βγήκε στο εθνικό προσκήνιο.

- το ατύχημα στο πυρηνικό εργοστάσιο Three Mile Island τον Μάρτιο του 1979. Μετά το συγκεκριμένο ατύχημα πολλές μελέτες επί των αιτίων έγιναν με fault trees, βασισμένες στην μελέτη WASH-1400 του 1976 πάνω στο σχεδιασμό των πυρηνικών εργοστασίων, ώστε να διαβεβαιώσει τον κόσμο ότι η πιθανότητα πυρηνικού ατυχήματος είναι πολύ μικρή.

- η καταστροφή του διαστημόπλοιου Challenger τον Ιανουάριο του 1986. Μια ανεξάρτητη ομάδα μελετητών χρησιμοποίησε τα διαγράμματα fault trees ώστε να αξιολογήσει τις κύριες μηχανές λειτουργίας του διαστημοπλοίου και να εξασφαλίσει ότι υπήρχε επαρκής ασφάλεια σύμφωνα με το σχεδιασμό.

Αν και η κατάστρωση και αξιολόγηση ενός διαγράμματος fault tree είναι σχετικά απλή διαδικασία, όταν το δέντρο μεγαλώνει και γίνεται πιο σύνθετο, η επίλυσή του καθίσταται δυσκολότερη. Η ικανότητα λοιπόν αξιολόγησης των διαγραμμάτων fault trees είναι άμεσα συνυφασμένη με το μέγεθος και την πολυπλοκότητά του, καθώς και από την ικανότητα του υπολογιστικού συστήματος που θα το επιλύσει. Γι' αυτόν το λόγο, στις αρχές της μεθόδου, όπου και οι υπολογιστικές δυνατότητες ήταν σαφώς περιορισμένες σε σχέση με σήμερα, γινόταν μεγάλη έρευνα στην ανάπτυξη υπολογιστικά ελαφρύτερων αλγορίθμων. Με αυτόν τον τρόπο, σήμερα όπου δεν υπάρχουν πια οι περιορισμοί της μνήμης και ταχύτητας των υπολογιστών, τα διαγράμματα fault trees έχουν γίνει πιο φιλικά προς το χρήστη, κρατώντας το πλεονέκτημα των πρώτων απλών αλγορίθμων σε συνδυασμό με τις αυξημένες επιδόσεις των υπολογιστικών συστημάτων. Οι πιο σημαντικές βελτιώσεις στη διαδικασία ανάλυσης με fault trees μέσα στο πέρασμα του χρόνου είναι οι εξής :

- μετάβαση του σχεδιασμού των διαγραμμάτων από το χέρι, στον Η/Υ
- μετάβαση του σχεδιασμού από κεντρικές μονάδες (υπολογιστές, εκτυπωτές) σε προσωπικό εξοπλισμό
- φιλικό προς το χρήστη λογισμικό
- μετάβαση από απλά αρχεία κειμένου σε γραφικό περιβάλλον σχεδίασης
- οικονομικά πακέτα σχεδίασης
- βελτίωση υπολογισμού λόγω αλγορίθμων, μεγέθους και ταχύτητας

4.2.2. Χρησιμότητα των διαγραμμάτων fault trees

Πλέον σήμερα, η εν λόγω μέθοδος χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς, μεταξύ των οποίων είναι οι ακόλουθοι κλάδοι [Ericson II, 1999] :

- η αεροναυτιλία,
- τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας,
- τα μεταφορικά συστήματα,
- το διάστημα,

- η βιομηχανία αυτοκινήτων,
- η βιομηχανία χημικών,
- τα οπτικά συστήματα,
- ο σιδηρόδρομος,
- η ρομποτική,
- αυτοματοποιημένα συστήματα
- πλατφόρμες εξόρυξης πετρελαίου

Τα διαγράμματα fault trees συνήθως χρησιμοποιούνται σε υψηλού κινδύνου εφαρμογές, όπου απαιτείται ο προσδιορισμός της πιθανότητας εμφάνισης ενός γεγονότος. Παρ' όλα αυτά, η μέθοδος έχει αποδειχτεί ότι είναι κατάλληλη για ποσοτικές, αλλά και ποιοτικές εφαρμογές. Οι εφαρμογές όπου η μεθοδολογία αυτή έχει χρησιμοποιηθεί είναι οι εξής :

- απαίτηση ποσοτικής επαλήθευσης
- εντοπισμός κρίσιμων συνιστωσών ασφαλείας
- πιστοποίηση προϊόντος
- εκτίμηση κινδύνου προϊόντος
- ανάλυση ατυχήματος / γεγονότος
- αξιολόγηση αλλαγής σχεδιασμού
- οπτικά διαγράμματα γεγονότων υπό μορφή αιτίου-αποτελέσματος
- συνήθης ανάλυση αιτίων

4.2.3. Χαρακτηριστικά της ανάλυσης με διαγράμματα fault trees

Η θεμελιώδης ιδέα της ανάλυσης με fault trees είναι η “μετάφραση” της συμπεριφοράς ενός φυσικού συστήματος κατά την εκδήλωση ενός ατυχήματος σε ένα οπτικό και ορθολογιστικό μοντέλο. Το διάγραμμα παρέχει ένα οπτικό μοντέλο όπου παρουσιάζονται οι συσχετισμοί μεταξύ γεγονότων και αιτίων μέσα από τις “διαδρομές” αστοχίας, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ποιοτική αλλά και ποσοτική ανάλυση και αξιολόγηση. Η ανάλυση με fault trees βασίζεται στη θεωρία της αξιοπιστίας (reliability theory), στην άλγεβρα Boole και στη θεωρία πιθανοτήτων. Με απλούς κανόνες και σύμβολα, ο μηχανισμός των διαγραμμάτων fault trees ενδείκνυται για ανάλυση πολυσύνθετων συστημάτων και συσχετίσεων μεταξύ υλικών εξοπλισμών, χρησιμοποιούμενων λογισμικών και ανθρώπων.

4.2.3.1. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα της ανάλυσης με fault trees είναι ότι πρόκειται για μια πολύ αποτελεσματική μεθοδολογία για τον εντοπισμό πρωταρχικών αιτίων. Τα αποτελέσματα που παράγονται από την ανάλυση επιτρέπουν την αξιολόγηση και τη βελτίωση της συνολικής αξιοπιστίας του συστήματος. Συν τις άλλους, το fault tree είναι ένα εύχρηστο μοντέλο, το οποίο είναι κατανοητό και από άτομα που δε γνωρίζουν απαραίτητα την μεθοδολογία, το σχεδιασμό του υπό ανάλυση συστήματος ή τις συνθήκες του ατυχήματος.

Μειονέκτημα της μεθόδου είναι ο περιορισμός που τίθεται αφού το ανεπιθύμητο γεγονός που βρίσκεται υπό ανάλυση πρέπει να έχει προβλεφθεί, όπως και όλες οι κύριες συνιστώσες που οδηγούν στην αστοχία. Αυτή η προσπάθεια εντοπισμού μπορεί να αποδειχθεί εξαιρετικά χρονοβόρα και ακριβή. Εν τέλει, η συνολική επιτυχία της ανάλυσης με τα διαγράμματα fault trees επαφίεται στην ικανότητα του αναλυτή. Βάσει των όσων αναφέρθηκαν προηγουμένως, η ανάλυση με διαγράμματα fault trees αποδίδει τα μέγιστα στις εξής περιπτώσεις [Clemens et al., 1993] :

- όταν διακρίνεται υψηλός κίνδυνος με σημαντικές απώλειες στην περίπτωση εκδήλωσης ατυχήματος
- όταν υπάρχουν πολλές διαφορετικές συνιστώσες σε ένα ανεπιθύμητο γεγονός
- όταν το υπό ανάλυση σύστημα περιέχει πολυσύνθετες διαδικασίες που περιλαμβάνουν πολλά στοιχεία
- όταν το κύριο γεγονός προς ανάλυση έχει ήδη εντοπιστεί
- όταν τα αίτια μιας καταστροφής είναι δυσδιάκριτα

4.2.3.2. Αστοχία και βλάβη συστήματος

Πριν γίνει αναφορά στη δομή των διαγραμμάτων fault trees, πρέπει να γίνουν σαφείς οι έννοιες της αστοχίας και της βλάβης. Όλες οι αστοχίες μιας λειτουργίας οδηγούν σε βλάβες, αλλά το αντίστροφο δεν ισχύει πάντα.

Έτσι λοιπόν, βλάβη ονομάζεται μια ανωμαλία ή μια ανεπιθύμητη κατάσταση του συστήματος ή μέρους αυτού, η οποία προκλήθηκε από μια λανθασμένη εντολή ή από την απουσία της κατάλληλης ή από μια αστοχία. Συνεπώς, ένα σύστημα το

οποίο τέθηκε εκτός λειτουργίας από το σύστημα ασφαλείας, δεν παρουσιάζει βλάβη.

Αστοχία ονομάζεται η απώλεια ενός συστήματος ή μέρους αυτού, ικανότητας να λειτουργήσει όπως προβλέπεται. Για παράδειγμα εάν η ασφάλεια στον ηλεκτρικό πίνακα δεν πέσει σε περίπτωση βραχυκυκλώματος, τότε πρόκειται για περίπτωση αστοχίας και υπάρχει κίνδυνος να “καούν” όσες συσκευές βρίσκονται σε λειτουργία εκείνη τη στιγμή. Εάν όμως λειτουργήσει, δεν υπάρχει αστοχία, άρα ούτε προκαλούνται βλάβες. Πρωταρχική αστοχία ονομάζεται η αστοχία στοιχείου το οποίο δεν εκτέθηκε σε περιβαλλοντικές ή λειτουργικές πιέσεις εκτός του ονομαστικού χρόνου ζωής του, ο οποίος εάν ξεπεραστεί από το στοιχείο και συμβεί αστοχία, αυτή ονομάζεται δευτερεύουσα αστοχία. Μερικά από τα συνήθη αίτια που οδηγούν σε μια αστοχία ή βλάβη είναι τα εξής [Clemens, 1993] :

- διακοπή παροχής ενέργειας
- υγρασία
- διάβρωση
- σεισμική δραστηριότητα
- σκόνη ή σκουριά
- ακραίες θερμοκρασίες
- ηλεκτρομαγνητική διαταραχή
- απροσεξία χειριστή

Μερικές μέθοδοι περιορισμού των παραπάνω βλαβών είναι οι εξής :

- διαχωρισμός και απομόνωση των στοιχείων του συστήματος
- χρήση παραπάνω στοιχείων με διαφορετικές αρχές λειτουργίας
- ξεχωριστή τροφοδοσία και συντήρηση των στοιχείων του συστήματος
- χρήση ανεξάρτητων χειριστών και επιβλεπόντων

4.2.3.3. Δομή διαγραμμάτων fault trees

Τα διαγράμματα fault trees είναι δομημένα ως εξής : ξεκινούν από το κύριο γεγονός ή τις ανεπιθύμητες συνέπειες αυτού και συνεχίζουν προς τα κάτω, παρουσιάζοντας τα αίτια / προϋποθέσεις που οδήγησαν στο υπό ανάλυση γεγονός. Τα γεγονότα κάθε επιπέδου συνδέονται με τα προηγούμενα και τα επόμενα – εάν υπάρχουν – μέσω των λογικών συμβόλων που θα αναφερθούν παρακάτω. Με

αυτήν τη διαδικασία είναι δυνατό να υπολογίσει κανείς την πιθανότητα του κύριου γεγονότος, εάν γνωρίζει τις επιμέρους πιθανότητες των αιτίων με στόχο την κατανόηση των αιτίων και την πρόληψη παρομοίων ανεπιθύμητων συμβάντων.

Οι σχέσεις μεταξύ διαφόρων γεγονότων και τα γεγονότα – ανάλογα με τη θέση τους στο δένδρο σφαλμάτων και την επιρροή τους στο κύριο γεγονός – εκφράζονται μέσω συγκεκριμένων συμβόλων κατά την κατάστρωση του fault tree, τα οποία ακολουθούν (βλ. Σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1. Βασικά σύμβολα των διαγραμμάτων fault trees. (Πηγή : Texas Department of Insurance)

AND : σύμβολο που δηλώνει το συνδυασμό δύο ή περισσότερων γεγονότων που βρίσκονται κάτω από αυτό και όλα μαζί είναι απαραίτητα για να οδηγηθούμε στο επόμενο γεγονός.

OR : σύμβολο που δηλώνει ότι αρκεί ένα και μόνο γεγονός από τα συνδεδεμένα κάτω από αυτό, ώστε να οδηγηθούμε στο επόμενο.

XOR : σύμβολο που δηλώνει ότι ένας κόμβος επαληθεύεται, εάν και μόνο εάν, ένα από τα συνδεδεμένα γεγονότα κάτω από αυτό επαληθεύεται.

Κύκλος : Εντός του συμβόλου αυτού, τοποθετούνται τα βασικά γεγονότα τα οποία διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση του κύριου γεγονότος, δεν αναλύονται περαιτέρω και βρίσκονται στο κάτω μέρος του διαγράμματος.

Ορθογώνιο παραλληλόγραμμο : Εντός του συμβόλου αυτού τοποθετούνται γεγονότα που απεικονίζουν αστοχίες. Τοποθετείται στην κορυφή του διαγράμματος, αλλά και μέσα σε αυτό.

Τραπέζιο (ή μερικές φορές ρόμβος) : Εντός του συμβόλου αυτού – με το οποίο είναι δυνατόν να κλείσει ένας κλάδος του διαγράμματος – τοποθετούνται γεγονότα/αστοχίες που δεν αναλύονται παραπάνω, είτε γιατί η συνέπειά τους είναι ασήμαντη, είτε γιατί πληροφορίες περί αυτών δεν είναι διαθέσιμες. Για παράδειγμα, σε μια ανάλυση συστήματος που αποτελείται από προσωπικό,

διαδικασίες και μηχανήματα, εάν ο αναλυτής επιλέξει να επικεντρωθεί στο ανθρώπινο κομμάτι του συστήματος και όχι στο μηχανικό εξοπλισμό και τις όποιες διαδικασίες, θα χρησιμοποιήσει τραπέζια ή ρόμβους για να παρουσιάσει τα τελευταία ως μη ανεπτυγμένα τελικά γεγονότα.

Ελλειψοειδές : Το σύμβολο αυτό αναπαριστά μια ειδική κατάσταση που μπορεί να συμβεί μόνο εάν πληρωθούν συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Ένα παράδειγμα θα μπορούσε να ήταν ότι για να συμβεί μια ενέργεια πρέπει να κατέβουν κάποιοι συγκεκριμένοι διακόπτες.

Τρίγωνο : Το εν λόγω σύμβολο υποδηλώνει μια μεταφορά από ένα σημείο του διαγράμματος fault tree σε ένα άλλο σημείο στο ίδιο διάγραμμα πάντα. Σε αυτήν την περίπτωση, το τρίγωνο συνδέεται μέσω βέλους με ένα μέρος του διαγράμματος και όλα τα στοιχεία που βρίσκονται κάτω από το σημείο σύνδεσης μεταφέρονται σε μια άλλη περιοχή του διαγράμματος. Αυτή η περιοχή σημαίνεται με ένα αντίστοιχο τρίγωνο το οποίο συνδέεται με το fault tree μέσω μιας κάθετης γραμμής. Γράμματα, αριθμοί ή σχήματα προσδιορίζουν την κάθε ομάδα μεταφοράς. Λόγω της εγγενούς πολυπλοκότητας του εν λόγω συμβόλου, συνίσταται γενικώς να αποφεύγεται η χρήση του, εκτός σπάνιων περιπτώσεων.

4.2.3.4. Διαδικασία κατασκευής ενός διαγράμματος fault tree

Η διαδικασία κατάστρωσης ενός διαγράμματος fault tree περιλαμβάνει και προϋποθέτει τα παρακάτω βήματα [Texas Department of Insurance, 1990] :

1. Καθορισμός του κύριου γεγονότος / ατυχήματος και τοποθέτησή του στην κορυφή του διαγράμματος

Για να καθοριστεί το κύριο γεγονός, πρέπει πρώτα να καθοριστεί ο τύπος αστοχίας που θα μελετηθεί – εάν πρόκειται για προληπτική ανάλυση. Αυτό μπορεί να είναι το τελικό αποτέλεσμα ενός πιθανού ανεπιθύμητου γεγονότος. Σε αντίθετη περίπτωση, όταν έχει συμβεί το ατύχημα, ο καθορισμός του κύριου γεγονότος είναι το ατύχημα αυτό καθ' αυτό ή οι συνέπειές του.

2. Καθορισμός όλων των ανεπιθύμητων γεγονότων κατά τη λειτουργία ενός συστήματος

Σε αυτό το στάδιο, αφού εντοπιστούν όλα τα ανεπιθύμητα γεγονότα του συστήματος, πρέπει αυτά να χωριστούν σε ομάδες με κοινά χαρακτηριστικά. Είναι

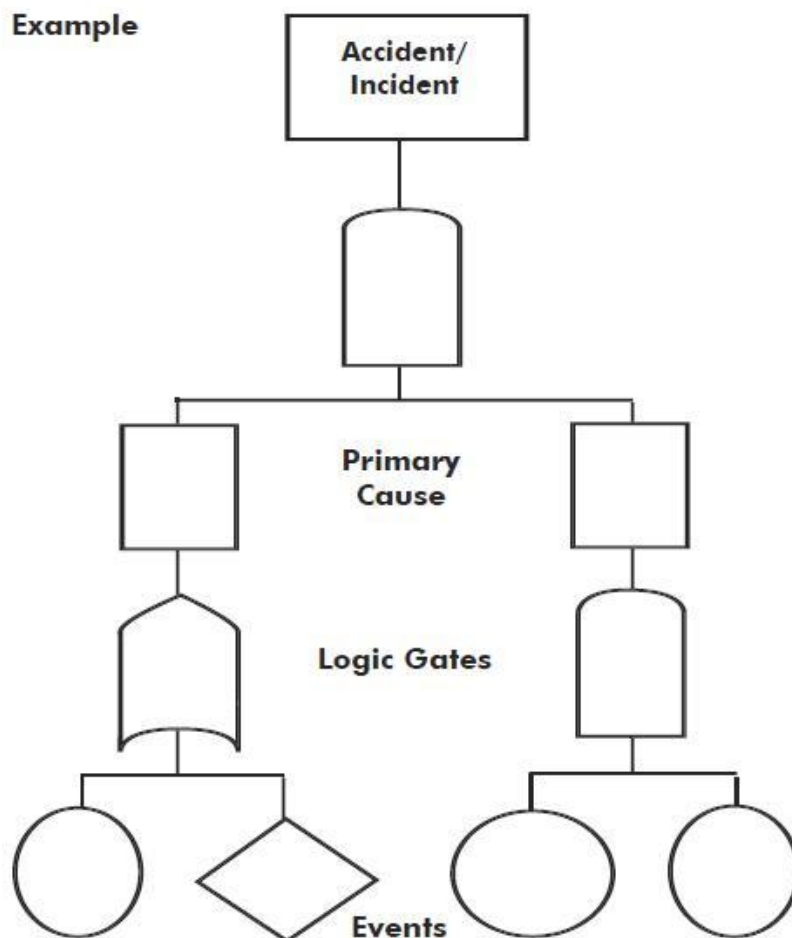
πιθανό να χρειαστούν περισσότερα από ένα δένδρα σφαλμάτων ώστε να γίνει εξ' ολοκλήρου η μελέτη ενός συστήματος. Στο τέλος, ένα γεγονός που θα αναπαριστά όλα τα γεγονότα της ομάδας του, θα ξεχωρίσει και θα τεθεί υπό ανάλυση.

3. Γνώση του υπό ανάλυση συστήματος

Όλη η απαραίτητη και διαθέσιμη πληροφορία γύρω από το σύστημα και το περιβάλλον του πρέπει να έχει συλλεχθεί και μελετηθεί πριν την εκκίνηση της ανάλυσης.

4. Κατασκευή του διαγράμματος fault tree

Σε αυτό το στάδιο – το οποίο είναι ίσως και το απλούστερο της όλης διαδικασίας – γίνεται καταγραφή των κύριων και δευτερευόντων αιτίων που συντελούν στην εκδήλωση του κύριου γεγονότος και σύνδεση αυτών μεταξύ τους με τη βοήθεια των συμβόλων AND, OR και XOR.



Σχήμα 4.2. Παράδειγμα δομής διαγράμματος fault tree. (Πηγή : Διαδίκτυο)

Το αποτέλεσμα πρέπει να παραμείνει απλό κρατώντας μια λογική, ενιαία και συνεχή διάταξη σε κάθε γραμμή του διαγράμματος (βλ. Σχήμα 4.2). Οι τίτλοι των γεγονότων και των αιτίων πρέπει να είναι συνοπτικοί και σαφείς, ενώ τα λογικά σύμβολα που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να είναι σχεδόν αποκλειστικά τα AND και OR, πλην ελαχίστων περιπτώσεων. Προτείνεται η αποφυγή χρήσης του τριγώνου μεταφοράς, καθώς καθιστά το διάγραμμα πιο πολύπλοκο. Όσο για το ελλειψοειδές σχήμα γεγονός και το τραπέζιο ή ο ρόμβος, αυτά πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο όταν κρίνεται απαραίτητο. Επίσης, σημαντικός κανόνας είναι ότι τα λογικά σύμβολα δε γίνονται να συνδέονται απευθείας μεταξύ τους, πράγμα που ισχύει και για τα γεγονότα. Τέλος, τα βασικά γεγονότα τα οποία κλείνουν το διάγραμμα πρέπει να είναι στατιστικά ανεξάρτητα μεταξύ τους.

5. Έγκριση του διαγράμματος

Το συγκεκριμένο βήμα απαιτεί την έγκριση του δένδρου σφαλμάτων από κάποιον που έχει γνώση της διαδικασίας αξιολόγησης ενός διαγράμματος από πλευράς ακρίβειας και πληρότητας.

6. Αξιολόγηση του διαγράμματος

Σε αυτό το στάδιο το διάγραμμα περνάει από εξονυχιστικό έλεγχο για τις περιοχές όπου είναι δυνατόν να γίνουν βελτιώσεις στην ανάλυση, αλλά και όπου παρουσιάζεται ευκαιρία υλοποίησης εναλλακτικών λύσεων προς μείωση του κινδύνου.

7. Μελέτη συνδυασμών γεγονότων

Οποιαδήποτε εναλλακτική λύση εντοπίστηκε στο προηγούμενο βήμα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω και να αξιολογηθεί. Αυτό βοηθάει τους μελετητές στον εντοπισμό προβλημάτων σχετικών με τη νέα διαδικασία, πριν αυτή τεθεί σε πλήρη εφαρμογή.

8. Εξέταση εναλλακτικών λύσεων και πρόταση δράσεων

Σε αυτό το τελικό στάδιο της ανάλυσης, γίνονται οι προτάσεις για διορθωτικές κινήσεις στο υπάρχον σύστημα ή για εφαρμογή εναλλακτικών μέτρων.

4.2.3.5. Διαδικασία ανάλυσης ενός διαγράμματος fault tree

Μετά την μόρφωση του διαγράμματος fault tree, τίθενται ερωτήσεις αξιολόγησης των αποτελεσμάτων, όπως [Andrews, 1998] :

- Ποια είναι η πιθανότητα να συμβεί το ανεπιθύμητο γεγονός που έχει τοποθετηθεί ως κύριο στο διάγραμμα;
- Ποια ομάδα αιτίων επηρεάζει περισσότερο την πιθανότητα εκδήλωσης του κύριου γεγονότος;

Απαντώντας τις παραπάνω ερωτήσεις, μπορεί να δοθεί φως σε διάφορα σημεία που αγνοούσε ο αναλυτής μέχρι εκείνη τη στιγμή και εξάγονται συμπεράσματα τα οποία βοηθούν στην αντιμετώπιση και πρόληψη δυσάρεστων καταστάσεων. Ακόμα, με την ανάλυση είναι δυνατή η καλύτερη κατανόηση του τι συνέβη και προκλήθηκε το ανεπιθύμητο υπό μελέτη γεγονός.

Η ανάλυση με διαγράμματα fault trees παράγει κυρίως τα εξής αποτελέσματα:

- Γραφική απεικόνιση των αλληλουχιών γεγονότων και συνθηκών που οδηγούν σε ένα κύριο γεγονός
- Προσδιορισμό των κρίσιμων πιθανών συνιστωσών της αστοχίας
- Διασαφήνιση των χαρακτηριστικών του συστήματος
- Ποσοτική / ποιοτική εκτίμηση της πιθανότητας του κύριου υπό ανάλυση γεγονότος
- Καθοδήγηση ανασύνταξης διαφόρων πόρων του συστήματος ώστε να βελτιστοποιηθεί ο έλεγχος του κινδύνου
- Καταγραφή αναλυτικών αποτελεσμάτων

Μια διαδικασία που βοηθάει στην ανάλυση των αποτελεσμάτων και την καλύτερη κατανόηση του μηχανισμού αστοχίας ενός συστήματος είναι ο προσδιορισμός όλων των διαδρομών αστοχίας (cut sets) και η κατασκευή μιας λίστας με όλες τις πιθανές αλληλουχίες γεγονότων. Σε αυτήν τη λίστα, είναι εύκολο κανείς να αναγνωρίσει τα γεγονότα που εμφανίζονται σε περισσότερους συνδυασμούς, τα οποία παίζουν σημαντικότερο ρόλο από τα υπόλοιπα κι επομένως είναι πιο κρίσιμη η συμβολή τους στην αστοχία. Ο περιορισμός αυτών των γεγονότων ή η πλήρης απαλοιφή τους είναι μια αποτελεσματική προσέγγιση στον

έλεγχο του κινδύνου. Ακόμα, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός των μικρότερων κρίσιμων διαδρομών με τα λιγότερα γεγονότα (minimal cut sets), τα οποία είναι τα πρώτα που πρέπει να αντιμετωπιστούν από τον αναλυτή, αφού συνεισφέρουν σημαντικά στην εκδήλωση της αστοχίας.

Η συνολική πιθανότητα εκδήλωσης του κύριου γεγονότος υπολογίζεται βάσει των κανόνων της άλγεβρας Boole : οι πιθανότητες των γεγονότων που συνδέονται με το σύμβολο AND πολλαπλασιάζονται μεταξύ τους, ενώ για το σύμβολο OR οι πιθανότητες προστίθενται μεταξύ τους. Γενικά, επειδή τα γεγονότα που τοποθετούνται στα διαγράμματα fault trees είναι σχεδόν πάντα ανεξάρτητα, η τομή τους αγνοείται συστηματικά. Ακόμα, ισχύουν τα εξής :

$$A + A = A$$

$$A \cdot A = A$$

$$A + A \cdot B = A$$

Με βάση τους παραπάνω κανόνες, μετά τον υπολογισμό της ολικής πιθανότητας του κύριου γεγονότος, το διάγραμμα μπορεί να μετατραπεί σε ένα πιο απλό ακολουθώντας την αντίστροφη διαδικασία, ξεκινώντας από την πιθανότητα του κύριου γεγονότος και μεταφράζοντας τα + και · σε AND και OR σύμβολα.

4.2.4. Παράδειγμα ανάλυσης με διάγραμμα fault tree

Ακολουθεί ένα παράδειγμα ανάλυσης ενός ανεπιθύμητου γεγονότος η οποία θα γίνει με τη βοήθεια ενός διαγράμματος fault tree. Το ανεπιθύμητο γεγονός ορίζεται ως η καθυστέρηση στην αφύπνιση ενός υπαλλήλου με αποτέλεσμα την αργοπορία προσέλευσης στην εργασία του [Clemens et al., 1993]. Βάση θα δοθεί κυρίως στις μηχανικές δυσλειτουργίες που συντελούν στην καθυστέρηση αυτή.

Ανάλυση :

Για να συμβεί η καθυστέρηση στην αφύπνιση του υπαλλήλου είναι αρκετό να ικανοποιηθεί κάποιο από τα δύο ακόλουθα γεγονότα :

α) αδιαφορία του υπαλλήλου, ή

β) απουσία εναύσματος για να ξυπνήσει ο υπάλληλος.

Το δεύτερο γεγονός (απουσία εναύσματος για να ξυπνήσει ο υπάλληλος) μπορεί να αναλυθεί σε δύο απαραίτητες συνιστώσες :

α) χαμηλοί βιορυθμοί (κόπωση) του υπαλλήλου με αποτέλεσμα τη συνέχιση του ύπνου και

β) αστοχία διαδικασίας τεχνητής αφύπνισης.

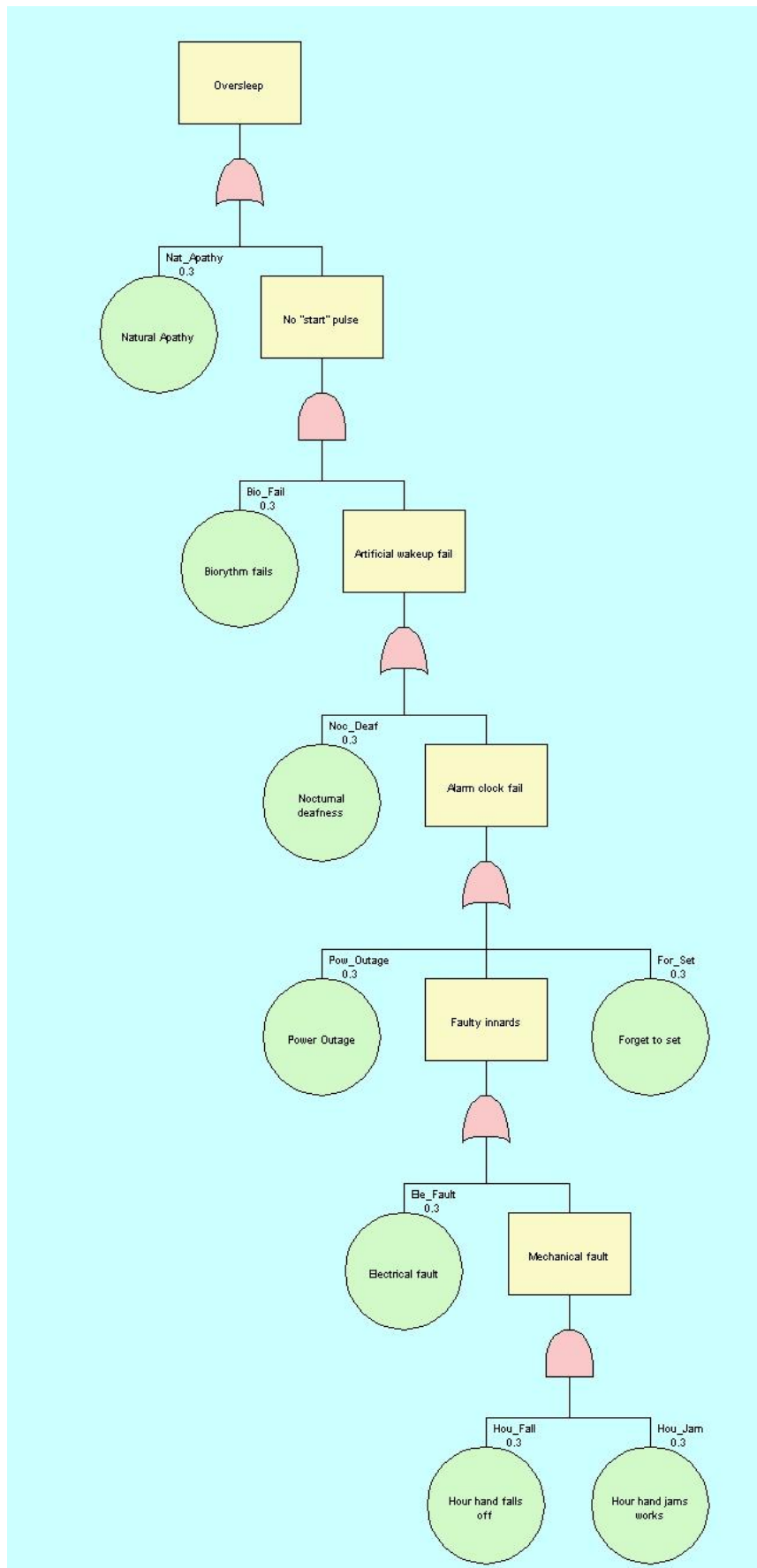
Μέχρι στιγμής, έχουμε ως κύριο γεγονός την καθυστέρηση στην αφύπνιση και βασικά γεγονότα – που δε θα αναλυθούν περαιτέρω – την αδιαφορία και τους χαμηλούς βιορυθμούς του υπαλλήλου. Σε αυτό που θα δοθεί βάση είναι η αστοχία της διαδικασίας τεχνητής αφύπνισης. Για να συμβεί κάτι τέτοιο δεν πρέπει να λειτουργήσουν το/τα ξυπνητήρι/α, αλλά και να μην ακούσει τίποτα ο υπάλληλος (νυκτερινή κώφωση). Έστω λοιπόν, ότι υπάρχει μόνο ένα ξυπνητήρι. Για να μη λειτουργήσει, πρέπει να έχει συμβεί κάτι από τα εξής :

α) να μην έχει ενέργεια ώστε να λειτουργήσει, ή

β) να ξεχάσει ο υπάλληλος να το ρυθμίσει, ή

γ) να παρουσιάσει βλάβη, η οποία είναι πιθανό να οφείλεται σε ηλεκτρική ή μηχανική βλάβη (αστοχία ωροδείκτη που οφείλεται σε πτώση ή εμπλοκή).

Από τη στιγμή που το κύριο γεγονός έχει καθοριστεί και υπάρχει πλήρης γνώση του συστήματος αφύπνισης του υπαλλήλου, είναι δυνατή η κατάστρωση του διαγράμματος fault tree (βλ. Σχήμα 4.3 ή συνημμένα σχέδια).



Σχήμα 4.3. Το διάγραμμα fault tree για την καθυστέρηση αφύπνισης του υπαλλήλου.

Από το παραπάνω δένδρο σφαλμάτων είναι εύκολο να προσδιοριστούν οι αιτίες που υπό προϋποθέσεις ευθύνονται για την καθυστέρηση της αφύπνισης ενός υπαλλήλου. Για να αποτραπεί λοιπόν το ανεπιθύμητο γεγονός στην κορυφή του διαγράμματος (καθυστέρηση αφύπνισης του υπαλλήλου), αρκεί κάποιος να μην είναι αδιάφορος ή απαθής σχετικά με τη δουλειά του. Εάν κάτι τέτοιο δεν ισχύει, πρέπει η κόπωση του υπαλλήλου να είναι έκδηλη και να συνδυαστεί με την αστοχία της τεχνητής αφύπνισης. Αυτό θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί με την προσθήκη ενός δεύτερου ξυπνητηριού, όπου τότε οι πιθανότητες για αστοχία και των δύο θα ήταν σημαντικά μικρότερες. Μια άλλη λύση θα ήταν η τακτική συντήρηση του ξυπνητηριού ώστε να διασφαλιστεί η απρόσκοπτη λειτουργία του. Κάτι τέτοιο όμως, θα ήταν κοστοβόρο σε σχέση με την απόκτηση ενός δεύτερου ξυπνητηριού, χωρίς απαραίτητα την τακτική τους συντήρηση.

Το τελικό συμπέρασμα είναι ότι η αφύπνιση του υπαλλήλου εξαρτάται σημαντικά από την κατάσταση του ξυπνητηριού και η προσθήκη ενός δεύτερου είναι η προτεινόμενη λύση για εξασφάλιση της αποφυγής του κύριου γεγονότος.

4.3. Διάγραμμα fault tree για το San José

Για την ανάλυση του ατυχήματος στο San José, επιλέχθηκε η μέθοδος των διαγραμμάτων fault trees, με ημιποσοτική εκτίμηση των πιθανοτήτων του κάθε γεγονότος. Από τη στιγμή που ουσιαστικά η παρούσα εργασία ασκεί διερεύνηση ατυχήματος το οποίο έχει εξελιχθεί πλήρως κι έχει τερματιστεί, είναι γνωστό το κύριο γεγονός που θα τεθεί υπό ανάλυση : ο εγκλωβισμός των μεταλλωρύχων εντός του ορυχείου.

Απαντώντας στα ερωτήματα που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο της Ανάλυσης κινδύνου (βλ. Κεφ. 4.1 Ανάλυση κινδύνου), ως αρχικά ανεπιθύμητο γεγονός κρίνεται προφανώς ο εγκλωβισμός των μεταλλωρύχων εντός του ορυχείου (κύριο γεγονός). Άλλα ανεπιθύμητα γεγονότα είναι η απουσία διαθέσιμης εξόδου διαφυγής από το ορυχείο σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης ή μια κατάρρευση από την οποία θα κινδυνεύσουν οι εργαζόμενοι στο ορυχείο, αλλά και το έργο αυτό καθ' αυτό.

Όσο αφορά στις συνέπειες μιας κατάρρευσης στο ορυχείο, αναλόγως το μέγεθός της, μπορεί να προκληθούν σημαντικές υλικές ζημιές στο έργο, απειλώντας την ακεραιότητα και τη ευστάθειά του, ενώ ακόμα ίσως προκαλέσει το σοβαρό

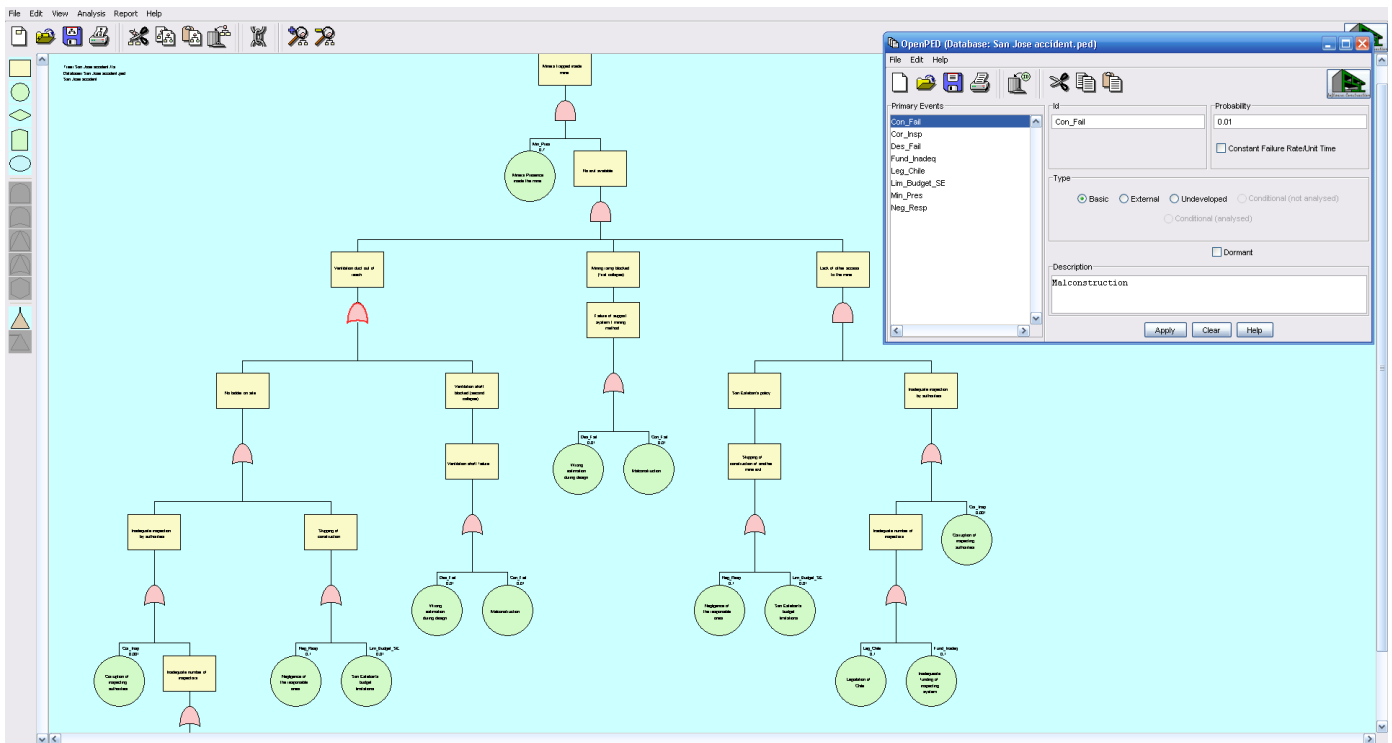
τραυματισμό των παρόντων μεταλλωρύχων στην περιοχή επιρροής. Επίσης, εάν δεν υπάρχουν οι απαραίτητες εγκαταστάσεις στο ορυχείο, όπως καταφύγιο για έκτακτη ανάγκη ή σκάλα διαφυγής στο φρέαρ αερισμού, οι πιθανότητες ατυχήματος με τραυματισμό ή θάνατο αυξάνονται σημαντικά.

Σχετικά με τις πιθανότητες εμφάνισης των ανεπιθύμητων συνεπειών, αυτές εκτιμήθηκαν ημιποσοτικά με βάση την κοινή λογική, λόγω απουσίας σχετικών στοιχείων (βλ. Πίνακα 4.4). Μέσω εύλογων ημιποσοτικών παραδοχών πιθανοτήτων κατέστη δυνατή η εκτίμηση πιθανότητας εκδήλωσης του κυρίου γεγονότος, ήτοι του εγκλωβισμού των μεταλλωρύχων εντός του ορυχείου.

Γεγονός	Πιθανότητα εμφάνισης
Βέβαιο - Σίγουρο	1
Συχνό - Πολύ πιθανό	0,1
Πιθανό	0,01
Περιστασιακό - Μετρίως πιθανό	0,001
Σπάνιο	0,0001
Απίθανο	0,00001
Εξαιρετικά απίθανο	0,000001

Πίνακας 4.4. Αντιστοιχία ποιοτικής – ποσοτικής εκτίμησης πιθανότητας εμφάνισης γεγονότος.

Για την επίλυση του διαγράμματος fault tree, χρησιμοποιήθηκε το open source software (ελεύθερα διακινούμενο λογισμικό) OpenFTA (βλ. Εικόνα 4.5), το οποίο έχει κατασκευαστεί από την εταιρεία Aunation και διατίθεται στο διαδίκτυο μέσω της ιστοσελίδας OpenFTA στον ακόλουθο σύνδεσμο : <http://www.openfta.com/default.aspx>. Πρόκειται για ένα εύχρηστο πρόγραμμα με βασικές δυνατότητες σχεδιασμού δένδρων σφαλμάτων, το οποίο παρέχει στο χρήστη δύο επιλογές επίλυσης, την κλασική μέθοδο των minimal cut sets (αιτιοκρατική ανάλυση) και την μέθοδο Monte Carlo (στατιστική ανάλυση).



Εικόνα 4.5. Screenshot του προγράμματος OpenFTA.

4.3.1. Περιγραφή τρόπου κατάστρωσης του διαγράμματος

Κατά τα προηγούμενα, άρχισε η “παραγωγική” διαδικασία της κατάστρωσης του δένδρου σφαλμάτων για το ατύχημα στο San José, οδηγούμενοι από το κύριο προς τα βασικά γεγονότα. Στη συνέχεια, για καλύτερη εποπτεία του αναγνώστη, η περιγραφή του τρόπου κατασκευής του διαγράμματος θα χωριστεί σε 4 Σειρές (I, II, III, IV) που αντιστοιχούν στις 4 πρώτες (από πάνω) σειρές του δένδρου.

Σειρά I. Εγκλωβισμός μεταλλωρύχων στο ορυχείο

Ως κύριο ανεπιθύμητο γεγονός ορίστηκε ο εγκλωβισμός των μεταλλωρύχων στο ορυχείο. Τοποθετήθηκε στην κορυφή του διαγράμματος και αναλύθηκε περαιτέρω σε δύο γεγονότα – προϋποθέσεις (βλ. Σχήμα 9) : την παρουσία των μεταλλωρύχων εντός του ορυχείου και την απουσία διαθέσιμης εξόδου διαφυγής από αυτό.

Σειρά II. Παρουσία μεταλλωρύχων – Απουσία εξόδου

1. Η παρουσία των μεταλλωρύχων ήταν πολύ πιθανή, καθώς υπήρχαν δύο 12-ωρες βάρδιες κάθε ημέρα με εκτιμώμενη πιθανότητα 5 εργάσιμες / εβδομάδα ≈ 70%. Ως βασικό γεγονός δεν αναλύεται περαιτέρω.

2. Όμως, η απουσία διαθέσιμης εξόδου διαφυγής από το ορυχείο μπορεί να προκληθεί από το συνδυασμό των εξής 3 γεγονότων – προϋποθέσεις : την έλλειψη προσβασιμότητας του φρέατος αερισμού, το φράξιμο της ράμπας και την απουσία άλλης εξόδου διαφυγής από το ορυχείο.

Σειρά III. Έλλειψη προσβασιμότητας φρέατος αερισμού – Φράξιμο ράμπας – Απουσία άλλης εξόδου διαφυγής

2α. Για να τεθεί εκτός πρόσβασης το φρέαρ αερισμού – δηλαδή να μην είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί από τους μεταλλωρύχους για να διαφύγουν από το ορυχείο, αλλά ούτε και από τα διασωστικά συνεργεία για να προσεγγίσουν τους παγιδευμένους – θα πρέπει είτε να μην υπάρχει σκάλα διαφυγής, είτε το φρέαρ να έχει φραχθεί λόγω κατάρρευσης που το θέτει εκτός λειτουργίας.

2β. Το ελικοειδές κεκλιμένο ήταν το βασικό προσπελαστικό έργο του ορυχείου και για να φραχθεί, θα έπρεπε να συμβεί κατάρρευση λόγω αστοχίας του συστήματος υποστήριξης της βραχομάζας κατά την μέθοδο εκμετάλλευσης.

2γ. Η απουσία άλλης εξόδου διαφυγής από το ορυχείο – εκτός της ράμπας και του φρέατος αερισμού – μπορεί να οφείλεται είτε στην πολιτική της ιδιοκτήτριας εταιρείας San Esteban, είτε στην ανεπαρκή επιθεώρηση από την πλευρά της πολιτείας.

Σειρά IV. Απουσία σκάλας διαφυγής – Φράξιμο φρέατος αερισμού – Αστοχία συστήματος υποστήριξης – Πολιτική San Esteban – Ανεπαρκής επιθεώρηση

2α – i. Η απουσία σκάλας διαφυγής μπορεί να οφείλεται είτε στην ανεπαρκή επιθεώρηση από τους αρμόδιους, είτε στην εσκεμμένη παράλειψη της κατασκευής της (λόγω αδιαφορίας των υπευθύνων ή οικονομικών περιορισμών από την πλευρά της εταιρείας San Esteban).

2α – ii. Για να φραχθεί το φρέαρ αερισμού, ισχύουν τα ίδια με το ελικοειδές κεκλιμένο (β2). Θα πρέπει δηλαδή να συμβεί αστοχία του συστήματος υποστήριξης της βραχόμαζας κατά την μέθοδο εκμετάλλευσης.

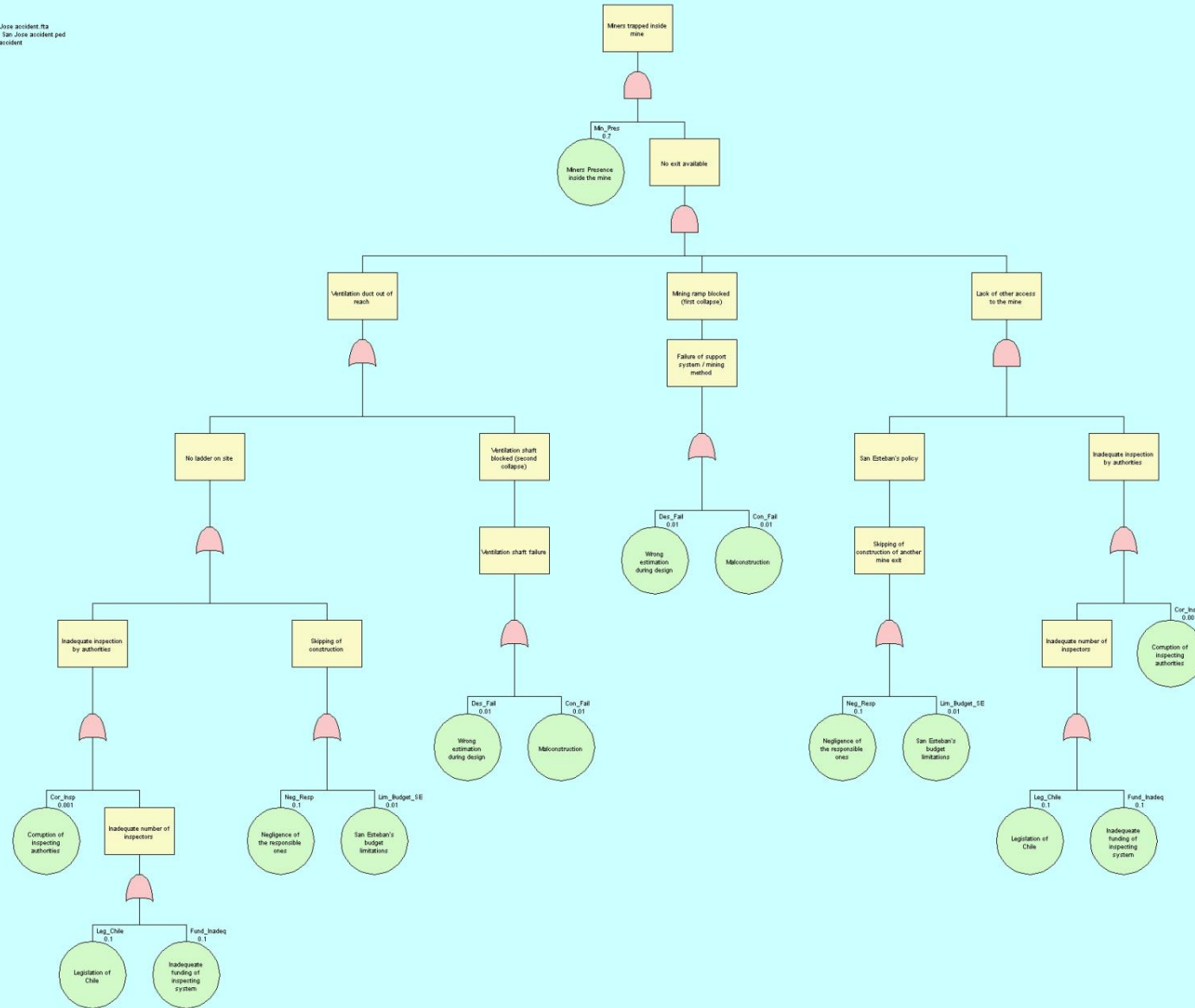
2β – i. Η αστοχία του συστήματος υποστήριξης της στοάς μπορεί να οφείλεται είτε σε κακή εκτίμηση από τον μελετητή, είτε σε κακή εφαρμογή των προβλεπόμενων από την μελέτη διατάξεων κατά την κατασκευή.

2γ – i. Η εταιρεία San Esteban φέρει ευθύνες για την αποφυγή κατασκευής μιας ακόμα εξόδου διαφυγής από το ορυχείο. Είναι πιθανή η αδιαφορία της για το επίπεδο ασφαλείας των ορυχείων της ή πιθανόν να είχαν τεθεί περιορισμοί στον προϋπολογισμό της αποκλείοντας πρόσθετες κατασκευές.

2γ – ii. Η ανεπαρκής επιθεώρηση από τις αρμόδιες αρχές οφείλεται είτε στον μικρό αριθμό επιθεωρητών είτε στη πιθανή διαφθορά αυτών.

Παρακάτω ακολουθεί το διάγραμμα fault tree όπως προέκυψε από την ανάλυση και τον εντοπισμό των βασικών αιτίων (βλ. Σχήμα 4.6 ή συνημμένα σχέδια).

Tree: San_Jose_accident.fta
 Database: San_Jose_accident.fta
 San_Jose_accident



Σχήμα 4.6. Διάγραμμα Fault tree για το ατύχημα στο ορυχείο του San José.

Αφού καταστρώθηκε το δένδρο σφαλμάτων για το ατύχημα στο ορυχείο του San José (βλ. Σχήμα 9), ορίστηκαν βάσει του Πίνακα 4.4 πιθανότητες εμφάνισης στο κάθε βασικό γεγονός :

- Η παρουσία των μεταλλωρύχων ήταν πολύ πιθανή, καθώς υπήρχαν δύο 12-ωρες βάρδιες κάθε ημέρα. Η εκτιμώμενη πιθανότητα προκύπτει : 5 εργάσιμες / εβδομάδα $\approx 70\%$.

- Η διαφθορά του σώματος επιθεώρησης είναι ένα γενικό φαινόμενο σε όλα τα κράτη – αλλού περισσότερο, αλλού λιγότερο – και με αυτό το σκεπτικό κρίθηκε ως περιστασιακή / μετρίως πιθανή και τέθηκε σ' αυτό το γεγονός τιμή πιθανότητας 10^{-3} .

- Τα νομοθετικά κενά της Χιλής σε ότι αφορά στη σύσταση των σωμάτων επιθεωρητών φάνηκαν μέσω του μικρού αριθμού επιθεωρητών των ορυχείων και της απουσίας οργάνωσης στον τομέα της επίβλεψης. Ακόμα, θα έπρεπε να επιβάλλονται αυστηρές κυρώσεις σε ορυχεία με βεβαρυμμένο ιστορικό ασφαλείας όπως αυτό του San José. Σαν γεγονός κρίθηκε ως πολύ πιθανό με τιμή πιθανότητας 10^{-1} .

- Η ελλιπής χρηματοδότηση συνδέεται κατά έναν τρόπο με την ισχύουσα νομοθεσία της Χιλής, αλλά και από τις αποφάσεις του υπουργού Εξόρυξης, ο οποίος θα είχε τη δυνατότητα να αλλάξει την κατάσταση αυτή με αποφάσεις του. Το γεγονός αυτό έλαβε τιμή πιθανότητας εμφάνισης 10^{-1} ως πολύ πιθανό.

- Όσο αφορά στην αδιαφορία των υπευθύνων της εταιρείας San Esteban, έχουν δοθεί πολλά στοιχεία στη δημοσιότητα με τις παραλείψεις τους (απουσία σκάλας διαφυγής στο φρέαρ αερισμού) σχετικά με τους κανονισμούς ασφαλείας, αλλά και σχετικά με τη συμμόρφωσή τους με αυτούς μετά από την εκδήλωση ατυχημάτων και τις συστάσεις που τα ακολουθούσαν. Συνεπώς, ως γεγονός κρίνεται πολύ πιθανό με τιμή πιθανότητας εμφάνισης 10^{-1} .

- Από την άλλη, είναι πιθανός ο περιορισμός του προϋπολογισμού της εταιρείας η οποία δε διέθετε κεφάλαια για την αύξηση του επιπέδου ασφαλείας των εργαζομένων στο ορυχείο κατασκευάζοντας πρόσθετα μέτρα προστασίας όπως για παράδειγμα άλλη μια έξοδο διαφυγής από το ορυχείο, θέτοντας το κέρδος σε μεγαλύτερη προτεραιότητα από τις ανθρώπινες ζωές.

- Ένα άλλο πιθανό γεγονός είναι η κακή μελέτη της μεθόδου εκμετάλλευσης και η εκτίμηση της ευστάθειας αυτής κατά την εφαρμογή της. Η μέθοδος εκμετάλλευσης ήταν μια αυτοσχέδια παραλλαγή της μεθόδου sublevel open storing με στοιχεία της cut & fill, χωρίς να υπάρχει κάτι τέτοιο στη βιβλιογραφία. Ακόμα, δεν αποκλείεται η λανθασμένη εκτίμηση της μεθόδου υποστήριξης κατά τη διάνοιξη των στοών. Η τιμή της πιθανότητας αυτού του γεγονότος τέθηκε στο 10^{-1} .

- Η εφαρμογή στην πράξη (κατασκευή) των παραπάνω είναι πιθανό να έγινε με λανθασμένο τρόπο κι επομένως η τιμή της πιθανότητας λαμβάνεται 10^{-1} .

Στη συνέχεια, έγινε έλεγχος της εγκυρότητας του δένδρου μέσω της επιλογής “validate” που προσφέρει το πρόγραμμα κι έπειτα υπολογίστηκαν οι μικρότερες δυνατές αλληλουχίες γεγονότων (minimal cut sets) οι οποίες είναι και οι πιο κρίσιμες στην εκδήλωση του κύριου γεγονότος (εγκλωβισμός μεταλλωρύχων στο ορυχείο). Από τον υπολογισμό αυτό, προέκυψαν οι τιμές πιθανοτήτων της κάθε αλληλουχίας ξεχωριστά, αλλά και η τελική τιμή πιθανότητας εμφάνισης του κυρίου γεγονότος. Ακόμα, το πρόγραμμα παρέχει και το ποσοστό συμμετοχής του κάθε βασικού γεγονότος ξεχωριστά στην πιθανότητα του πρωταρχικού γεγονότος (βλ. Κεφ. 6.3 Αποτελέσματα ανάλυσης fault tree).

Τελικά, η πιθανότητα εμφάνισης του κυρίου γεγονότος υπολογίστηκε (βλ. Κεφ. 7.3 Αποτελέσματα ανάλυσης) :

α. με την μέθοδο των minimal cut sets $3 \cdot 10^{-4}$ και

β. με την μέθοδο Monte Carlo : $8 \cdot 10^{-5}$.

Και οι δύο τιμές βρίσκονται εκτός του συνήθους αποδεκτού “ψυχολογικού” ορίου (εξαιρετικά απίθανο γεγονός : 10^{-6}). Η τάξη μεγέθους της πιθανότητας που προκύπτει από τις δύο μεθόδους είναι σχεδόν 2 φορές μεγαλύτερη από το 10^{-6} και σύμφωνα με την ημιποσοτική κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε, ο εγκλωβισμός των μεταλλωρύχων κατατάσσεται ως σπάνιο γεγονός (10^{-4})(βλ. Πίνακα 4.4), αλλά όχι και εξαιρετικά απίθανο (10^{-6}) (βλ. Πίνακα 4.4).

Σε αυτές τις πιθανότητες εμφάνισης του κύριου γεγονότος, τα βασικά γεγονότα συνεισφέρουν στην αστοχία με κάποιο ποσοστό, το οποίο υπολογίζεται συγκρίνοντας τη συνολική πιθανότητα του κάθε γεγονότος απ’ όλα τα minimal cut sets στα οποία αυτό συμμετέχει με την τελική ολική πιθανότητα του κύριου

γεγονότος, κατά την αιτιοκρατική μέθοδο των minimal cut sets. Κατ' αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατό να προκύψουν και ποσοστά άνω του 100% κατά την επίλυση του δένδρου σφαλμάτων στο OpenFTA. Τα γεγονότα με τα μεγαλύτερα ποσοστά ακολουθούν :

- η παρουσία των μεταλλωρύχων στο ορυχείο : 107%. Αυτό είναι πολύ λογικό, αφού εάν δεν υπάρχουν μεταλλωρύχοι στο ορυχείο δε γίνεται να υπάρξει εγκλωβισμός αυτών. Το ποσοστό αυτό είναι μεγαλύτερο του 100%, επειδή η συνολική συνεισφορά του γεγονότος – απ' όλες τις διαδρομές αστοχίες στις οποίες αυτό συμμετέχει – στην τελική πιθανότητα του κύριου γεγονότος είναι μεγαλύτερη από $3 \cdot 10^{-4}$.

- η αδιαφορία των υπευθύνων του ορυχείου : 97.13%. Οι παραλείψεις και η μη συμμόρφωση με τους κανονισμούς καθιστά φυσιολογικά αυτό το αίτιο ως το αμέσως επόμενο από άποψη βαρύτητας στην εκδήλωση του κύριου γεγονότος.

- τα λάθη στην μελέτη και το σχεδιασμό της μεθόδου εκμετάλλευσης και του συστήματος υποστήριξης : 53.42%.

- η νομοθεσία της Χιλής και η ανεπαρκής χρηματοδότηση των σωμάτων επιθεώρησης : 53.15%.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, εξάγονται κάποια συμπεράσματα σε σχέση με τους τρόπους αντιμετώπισης και περιορισμού του κύριου γεγονότος. Εάν μειωθούν οι πιθανότητες των βασικών γεγονότων που συμμετέχουν κατά μεγάλο ποσοστό στον εγκλωβισμό των μεταλλωρύχων, τότε θα μειωθεί και η πιθανότητά του. Η πιθανότητα της παρουσίας των μεταλλωρύχων εντός του ορυχείου έχει να κάνει με τα ωράρια εργασίας τους και δεν μπορεί να μειωθεί χωρίς αντίκτυπο στην παραγωγικότητα του ορυχείου. Συνεπώς, περνάμε στο επόμενο γεγονός.

Εάν οι ιδιοκτήτες του ορυχείου και οι υπεύθυνοι ασφαλείας έδειχναν περισσότερο ενδιαφέρον σχετικά με την ασφάλεια του ορυχείου εγκαθιστώντας τη σκάλα διαφυγής ή κατασκευάζοντας ακόμα ένα προσπελαστικό έργο στο ορυχείο, η πιθανότητα παγίδευσης θα μειωνόταν, ενώ πιθανόν είναι να μην υπήρχε καν ο εγκλωβισμός των μεταλλωρύχων. Ακόμα, εάν δινόταν περισσότερη προσοχή στην επιλογή της μεθόδου εκμετάλλευσης, χωρίς να είχαν συμβεί τόσες αλλαγές σε αυτήν, ίσως να μην είχε εκδηλωθεί ποτέ η αστοχία.

Βάσει της ανάλυσης στο δένδρο σφαλμάτων που συντάχθηκε, το συμπέρασμα είναι ότι εάν η αδιαφορία των υπευθύνων μειωνόταν “λογιστικά” κατά μια τάξη μεγέθους, από 10^{-1} σε 10^{-2} , η πιθανότητα εκδήλωσης του ατυχήματος, θα μειωνόταν στο $5 \cdot 10^{-5}$ (σπάνιο έως απίθανο γεγονός). Η λογιστική μείωση μεταφράζεται στην πραγματικότητα ως υπευθυνότητα από την πλευρά των ιδιοκτητών σχετικά με τα μέτρα ασφαλείας του ορυχείου και των εργασιακών συνθηκών των μεταλλωρύχων. Είναι σαφές λοιπόν, το πόσο κρίσιμο είναι το γεγονός των παραλείψεων των ιδιοκτητών και των υπευθύνων ασφαλείας του ορυχείου.

4.4. Ανάλυση ατυχήματος

Αρχικά, θα γίνει μια τελική καταγραφή των κυριότερων αιτιών που οδήγησαν στο ατύχημα του San José κι έπειτα θα γίνει μια προσπάθεια επισήμανσης των κινήσεων που εάν είχαν γίνει πριν την κατάρρευση της οροφής, το ατύχημα στο ορυχείο του San José δε θα είχε λάβει τόσο μεγάλη έκταση, καθώς και των κυριότερων γεγονότων που οδήγησαν στην επιτυχημένη διάσωση των μεταλλωρύχων.

4.4.1. Αιτίες ατυχήματος

Όπως προκύπτει από όλα όσα έχουν καταγραφεί μέχρι αυτό το σημείο αλλά και από το παραπάνω διάγραμμα, υπάρχουν διάφορες αιτίες που οδήγησαν στο ατύχημα στο ορυχείο του San José, οι οποίες είναι ετερόκλητες και οι περισσότερες συνέπειες αυτών – αν όχι όλες – ήταν δυνατό να αποφευχθούν. Παρακάτω θα γίνει μια προσπάθεια περαιτέρω ανάλυσης αυτών :

- απουσία εξόδου διαφυγής. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την παρουσία των μεταλλωρύχων εντός του ορυχείου τη στιγμή της κατάρρευσης είχε ως αποτέλεσμα την παγίδευσή τους στο ορυχείο. Παρά την καταστροφή του ελικοειδούς κεκλιμένου σε διάφορα σημεία και τη φραγή αυτού, θα έπρεπε να υπάρχουν και άλλες λύσεις διαφυγής. Μία ήταν το φρέαρ αερισμού – το οποίο σημειώνεται ότι δεν αποτελεί έξοδο κινδύνου, αλλά σε έκτακτες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμεύσει ως τέτοια – η πρόσβαση στο οποίο όμως έγινε αδύνατη μετά από την κατάρρευση κατά την προσπάθεια προσέγγισης των συνεργείων. Καμία άλλη έξοδος κινδύνου δεν υπήρχε, όπως πρόσταζαν οι κανονισμοί ασφαλείας της

Χιλής. Ήταν επόμενο λοιπόν, με τις δύο προσβάσεις αχρηστευμένες, να παγιδευτούν οι μεταλλωρύχοι στο ορυχείο.

- πρώτη κατάρρευση (ελικοειδές κεκλιμένο). Η κατάρρευση η οποία έγινε σε μια έκταση ύψους περίπου 100 m προκλήθηκε κατά πάσα πιθανότητα από ακαριαία διάρρηξη πετρώματος (φαινόμενο “rockburst”). Κάτι τέτοιο προϋποθέτει σκληρή βραχόμαζα σε μεγάλο βάθος, από τη μια πλευρά και από την άλλη, ασθενή μέτρα υποστήριξης. Σε αυτήν την περίπτωση, πιθανόν να έχουμε να κάνουμε με κακή μελέτη ή/και κατασκευή των μέτρων υποστήριξης.

- απουσία σκάλας διαφυγής στο φρέαρ αερισμού. Το φρέαρ αερισμού, όπως αναφέρθηκε και πριν, ήταν δυνατό να χρησιμεύσει και ως έξοδος κινδύνου σε έκτακτη ανάγκη. Οι μεταλλωρύχοι θα είχαν την ευκαιρία να αποδράσουν από το ορυχείο μέσω του φρέατος, ίσως και πριν ακόμα το προσπαθήσουν οι διασώστες, εάν η σκάλα διαφυγής ήταν στη θέση της.

- δεύτερη κατάρρευση (φρέαρ αερισμού). Κατά την απόπειρα διάσωσης μέσω του φρέατος αερισμού συνέβη δεύτερη κατάρρευση, η οποία εμπόδισε τους διασώστες να φτάσουν στο επίπεδο των μεταλλωρύχων. Σε αυτό το σημείο, μετά τη γενικευμένη κατάρρευση στην περιοχή του ορυχείου, η ισορροπία της βραχόμαζας ήταν αμφίβολη και οποιαδήποτε κίνηση μπορούσε να αποδειχτεί κρίσιμη. Όμως, όταν η μοναδική έξοδος κινδύνου ήταν το φρέαρ αερισμού, θα έπρεπε να δοθεί μεγαλύτερη βάση στην ενίσχυση του νευραλγικού αυτού σημείου κατά την μελέτη, αλλά και την κατασκευή.

- παράβλεψη κανονισμών. Οι ιδιοκτήτες του ορυχείου είναι υπεύθυνοι για διάφορες παραβλέψεις των κανονισμών (απουσία σκάλας από το φρέαρ αερισμού, απουσία εξόδου κινδύνου, μέτρα υποστήριξης). Αυτό συνέβη είτε λόγω άγνοιας των κανονισμών, είτε εσκεμμένα, για οικονομικούς λόγους με στόχο την μεγιστοποίηση του κέρδους από το ορυχείο. Συνεπώς, τα μέτρα ασφαλείας πέρασαν σε δεύτερη μοίρα με τους μεταλλωρύχους να τίθενται σε αυξημένο κίνδυνο ατυχήματος. Δεν είναι τυχαίο ότι πριν το συγκεκριμένο ατύχημα είχαν συμβεί κι άλλα ατυχήματα με σοβαρούς τραυματισμούς έως και θανάτους εργαζομένων.

- ελλιπής επιθεώρηση. Το υπουργείο εξόρυξης της Χιλής, είναι επιφορτισμένο με την ανάθεση επίβλεψης της τήρησης των κανόνων ασφαλείας σε επιθεωρητές ασφαλείας. Αυτοί όμως είναι πολύ λίγοι ώστε να καλύψουν αποτελεσματικά τα

εκατοντάδες ορυχεία που λειτουργούν στη Χιλή, με συνέπεια την έμμεση παροχή στους ιδιοκτήτες των ορυχείων της δυνατότητας υπεκφυγής των κανόνων ασφαλείας.

- οικονομικοί λόγοι. Η μεγιστοποίηση του κέρδους από την πλευρά των υπευθύνων του ορυχείου ήταν μια πολύ σημαντική αρχική αιτία η οποία οδήγησε σε πολλές παραβλέψεις των κανονισμών ασφαλείας και πτωχή μελέτη/κατασκευή στο ορυχείο. Από την πλευρά της κυβέρνησης, η χρηματοδότηση των επιθεωρητών ασφαλείας ήταν ελλιπής, με τον αριθμό τους να είναι δυσανάλογα μικρός σε σχέση με τα ορυχεία υπό την επίβλεψη του κάθε επιθεωρητή.

4.4.2. Τι θα μπορούσε να είχε γίνει ώστε να αποφευχθεί το ατύχημα;

Για να είχε αποφευχθεί ο εγκλωβισμός των 33 μεταλλωρύχων που διήρκεσε 70 περίπου ημέρες, θα μπορούσαν να είχαν γίνει μία ή περισσότερες από τις εξής κινήσεις :

- εγκατάσταση σκάλας διαφυγής στο φρέαρ αερισμού. Εάν υπήρχε η σκάλα, οι μεταλλωρύχοι θα είχαν σίγουρα μια ευκαιρία να διαφύγουν από το ορυχείο. Βέβαια, ο κίνδυνος κατάρρευσης στο φρέαρ ήταν ορατός – όπως φάνηκε από την απόπειρα των διασωστών – αλλά όπως είναι κατανοητό, ίσως το ατύχημα να μην είχε εξελιχθεί κατ' αυτόν τον τρόπο. Οι υπεύθυνοι του ορυχείου δεν προέβησαν σε αυτήν τη ζωτικής σημασίας εγκατάσταση παραβιάζοντας κανόνες ασφαλείας, ενώ η επιθεώρηση χαρακτηρίζεται ελλιπής.

- ανεξαρτητοποίηση του υπάρχοντος φρέατος αερισμού από το ελικοειδές κεκλιμένο του ορυχείου. Το φρέαρ αερισμού, πέρα από την προφανή λειτουργία του, χρησιμεύει και ως έξοδος κινδύνου σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Εάν η ακεραιότητά του δεν ήταν συνυφασμένη με αυτήν της ράμπας, τότε, μετά την κατάρρευση της οροφής, θα ήταν δυνατή η διαφυγή των μεταλλωρύχων από αυτήν, παρουσία της απαραίτητης σκάλας. Το ορυχείο έχοντας ηλικία μεγαλύτερη των 100 χρόνων, με πολλές διακοπές κι επανεκκινήσεις εργασιών κατά την αξιοποίησή του και χωρίς μια σταθερή διεύθυνση, δεν είχε ένα συγκεκριμένο σχέδιο πρόληψης επικίνδυνων καταστάσεων. Το φρέαρ αερισμού ήταν εντός της ζώνης επιρροής του ελικοειδούς κεκλιμένου και ήταν διακεκομμένο με τμήματα της ράμπας να αποτελούν μέρος της διαδρομής του αερισμού. Λόγω του μικρού μεγέθους του ορυχείου και της άμεσης σύνδεσης της λειτουργίας του με τις εκάστοτε τιμές του

χαλκού, δεν υπήρχε ένα σχέδιο μακροπρόθεσμης εκμετάλλευσης του κοιτάσματος. Επομένως, όποτε το ορυχείο άνοιγε και συνεχιζόταν η εκμετάλλευση του κοιτάσματος προς μεγαλύτερα βάθη, ήταν πιο οικονομική λύση η συνέχιση του φρέατος από σημείο της ράμπας, παρά η ανεξάρτητη κατασκευή ενός καινούριου. Βέβαια, το γεγονός αυτό μειώνει την αποτελεσματικότητα του αερισμού, αφού ποσοστό καθαρού αέρα χανόταν στη διαδρομή προς τα βάθη του ορυχείου και χαμήλωνε το επίπεδο ασφάλειας του ορυχείου, αφού ακόμα μια και μόνο κατάρρευση σε ένα σημείο του ορυχείου αρκούσε υπό προϋποθέσεις για να εγκλωβίσει εργαζόμενους μεταλλωρύχους μέσα στο ορυχείο, πόσο μάλλον μια γενικευμένη κατάρρευση όπως αυτή που συνέβη.

- κατασκευή νέου φρέατος αερισμού. Πέρα από το αναποτελεσματικό υπάρχον φρέαρ αερισμού, θα μπορούσε να είχε δρομολογηθεί η κατασκευή ενός νέου φρέατος έξω από τη ζώνη επιρροής της ράμπας. Κατ' αυτόν τον τρόπο, το επίπεδο ασφαλείας θα αύξανε σημαντικά και πιθανόν οι μεταλλωρύχοι να είχαν αποδράσει από την πρώτη κιάλας ημέρα του ατυχήματος. Το κόστος ήταν αυτό που απέτρεψε τους υπεύθυνους του ορυχείου να προχωρήσουν στην κατασκευή ενός καινούριου φρέατος, το οποίο όμως ήταν δυσανάλογα μικρό σε σύγκριση με το συνολικό κόστος της επιχείρησης διάσωσης των παγιδευμένων μεταλλωρύχων.

- αλλαγή μεθόδου υποστήριξης. Για να συμβεί κατάρρευση τόσο μεγάλης έκτασης, έχουμε να κάνουμε με ολική αστοχία της υποστήριξης που δεν μπορεί παρά να οφείλεται σε κακή εκτίμηση των συνθηκών κατά την μελέτη των μέτρων υποστήριξης, αλλά και πιθανώς κατά την κατασκευή. Μικρές αστοχίες συμβαίνουν σε πολλά έργα, αλλά όχι τόσο εκτεταμένα. Στην περίπτωση του San José, το λάθος είναι μεγάλης κλίμακας. Είχαν συμβεί και παλαιότερα ατυχήματα στο εν λόγω ορυχείο με τραυματίες και νεκρούς, παρ' όλα αυτά, δεν έγινε καμιά αλλαγή στα μέτρα υποστήριξης ή ακόμα και στη μέθοδο εκμετάλλευσης, ενώ απολύθηκε και ο υπεύθυνος ασφαλείας της εταιρείας, ο οποίος είχε επανειλημμένα εκδηλώσει τις σχετικές ανησυχίες του.

- καλύτερη χρηματοδότηση σώματος επιθεώρησης εργασίας. Το κράτος είχε δυσανάλογα μικρό αριθμό επιθεωρητών συγκριτικά με τον αριθμό των ορυχείων στη χώρα, με συνέπεια να μην είναι δυνατή η συχνή και αποτελεσματική επίβλεψη του κάθε ορυχείου. Έτσι, ο κάθε υπεύθυνος του ορυχείου μπορούσε να προχωρήσει σε παραλείψεις χωρίς ιδιαίτερο πρόβλημα, εις βάρος της ασφαλείας των εργαζομένων. Εάν το σώμα επιθεώρησης κι επίβλεψης των ορυχείων είχε οργανωθεί και στελεχωθεί με περισσότερα άτομα με εξακριβωμένη αξιοπιστία,

πολλές παραλείψεις θα είχαν αποκατασταθεί με τις απαραίτητες κυρώσεις στους ιδιοκτήτες, καθιστώντας με αυτόν τον τρόπο μια αξιόπιστη μηχανή επίβλεψης στη Χιλή. Πράγματι, μετά το ατύχημα, ο πρόεδρος της Χιλής αντιλαμβανόμενος το προκύπτον ζήτημα, υποσχέθηκε αναδιάρθρωση στο τομέα ασφάλειας των ορυχείων της χώρας του.

4.4.3. Γιατί σώθηκαν οι μεταλλωρύχοι;

Από την παγίδευση έως την επιτυχημένη διάσωση, κάποιοι παράγοντες έπαιξαν σημαντικό ρόλο ώστε να οδηγηθούμε στο επιθυμητό αποτέλεσμα του απεγκλωβισμού των μεταλλωρύχων. Οι κυριότεροι ήταν οι εξής :

- ο έγκαιρος εντοπισμός τους. Το πιο κρίσιμο σημείο της επιχείρησης διάσωσης των μεταλλωρύχων ήταν η έγκαιρη ανεύρεσή τους, υπό την πίεση του περιορισμένου χρόνου, ο οποίος έτρεχε εις βάρος των παγιδευμένων. Εάν οι μεταλλωρύχοι είχαν επιζήσει από την κατάρρευση της οροφής, θα είχαν μεταφερθεί στο καταφύγιο, όπου και θα ανέμεναν τον εντοπισμό τους από τους διασώστες. Με αυτό το σενάριο κινήθηκαν οι διασώστες και ξεκίνησαν τις διερευνητικές γεωτρήσεις έχοντας την ελπίδα ότι μια από αυτές θα ξετρυπήσει κοντά στο καταφύγιο, ενώ παράλληλα δόθηκε κίνητρο στους παγιδευμένους μεταλλωρύχους να κάνουν υπομονή, αφού ήταν πλέον πιθανό να ακούν τον ήχο από τα μηχανήματα που τους πλησίαζαν. Η επιθυμητή “ανακάλυψη” των μεταλλωρύχων έγινε στις 22 Αυγούστου, 17 ημέρες μετά το ατύχημα. Εάν αυτό είχε συμβεί μερικές ημέρες πιο μετά, ίσως να ήταν πολύ αργά για ένα ποσοστό των 33 παγιδευμένων. Από τη στιγμή που έγινε η ανεύρεση των επιζώντων, ήταν πλέον κυρίως θέμα χρόνου η επιτυχημένη ολοκλήρωση της επιχείρησης, η οποία είχε αναχθεί σε τεχνολογική πρόκληση με τις επιδόσεις των επιλεγμένων μηχανημάτων να ελέγχουν τη χρονική εξέλιξη του ατυχήματος.

- η περιοχή της κατάρρευσης. Εάν η κατάρρευση είχε εξελιχθεί σε μικρότερο υψομετρικά επίπεδο, οι πιθανότητες για επιρροή στην περιοχή που βρίσκονταν οι μεταλλωρύχοι και συνεπώς για θανάσιμο τραυματισμό μέρους της παγιδευμένης ομάδας, θα ήταν αρκετά αυξημένες. Βέβαια η αστοχία συνέβη στο παλαιό τμήμα του ορυχείου όπου είχαν εκφραστεί ανησυχίες σχετικά με την ευστάθεια της εκεί χρησιμοποιούμενης μεθόδου εκμετάλλευσης.

- η διαθεσιμότητα νερού στην περιοχή. Σκάπτοντας τα τοιχώματα του ορυχείου με τη βοήθεια των διαθέσιμων μηχανημάτων, οι μεταλλωρύχοι είχαν πρόσβαση σε πόσιμο νερό καθ' όλη τη διάρκεια των κρίσιμων πρώτων ημερών, όταν περίμεναν να τους εντοπίσουν οι διασώστες. Ακόμα και αν ο εντοπισμός τους είχε γίνει αργότερα, οι μεταλλωρύχοι έχοντας καθημερινά επαρκή ποσότητα νερού, υπό την προϋπόθεση ότι η τροφή τους είχε εξαντληθεί, θα άντεχαν χωρίς φαγητό περίπου 30 ημέρες. Αντίθετα, εάν δεν υπήρχε τέτοια δυνατότητα, η επιβίωση με μικρή ποσότητα νερού θα ήταν δυνατή για 2 περίπου εβδομάδες, δηλαδή η ανεύρεσή τους θα ήταν χρονικά οριακή.

- η προχώρηση των μηχανημάτων. Παρά τις αρχικές συντηρητικές προβλέψεις για διάρκεια απεγκλωβισμού περίπου 3 μηνών, το μηχάνημα του σχεδίου Β, προσπέρασε με επιτυχία τις όποιες δυσκολίες που βρέθηκαν στη διαδρομή και χρειάστηκε ένα μήνα περίπου για να ολοκληρώσει τις εργασίες του. Το ίδιο χρονικό διάστημα έδειξε πως θα χρειαζόταν και το μηχάνημα του σχεδίου Γ, βάσει της προχώρησής του, όταν το Schramm T-130 ξετρυπούσε στις 9 Οκτωβρίου 2010.

- η επιτυχημένη ανέλκυση. Ποτέ άλλοτε δεν έχει συμβεί ανέλκυση ανθρώπων από τόσο μεγάλο βάθος.

- η ποιότητα της βραχώμαζας. Μια μικρή μετακίνηση στη σήραγγα διάσωσης αρκούσε ώστε να μην είναι δυνατή η ομαλή κύλιση της κάψουλας. Αυτό όμως δε συνέβη παρά τη διατάραξη που είχε υποστεί η βραχώμαζα από την κατάρρευση αρχικά κι έπειτα από τη διάνοιξη των γεωτρήσεων και των 3 σηράγγων διαφυγής.

- η άμεση κινητοποίηση. Το στήσιμο της επιχείρησης άρχισε λίγες ώρες μετά το ατύχημα και ο συντονισμός των κινήσεων και της κατάστροφωσης των σχεδίων διάσωσης έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην επιθυμητή εξέλιξη.

- η συνολική προσφορά. Κράτη κι ιδιωτικές εταιρείες απ' όλο τον κόσμο προσέφεραν εξοπλισμό και τεχνογνωσία δημιουργώντας μια μαζική και πολυεθνική συμμετοχή στην επιχείρηση διάσωσης, το κόστος της οποίας καλύφθηκε κατά 1/3 από ιδιωτικές δωρεές, ενώ τα υπόλοιπα δοθήκαν από το κράτος της Χιλής και την κρατική εταιρεία Codelco.

- η διεθνής προβολή. Όλα τα μέσα μαζικής ενημέρωσης προέβαλλαν καθημερινά νέα από την εξέλιξη της διάσωσης, ασκώντας άθελά τους ένα μοχλό πίεσης στους υπεύθυνους της διάσωσης.

5. Συμπεράσματα

Μετά από την κατάστρωση των διαγραμμάτων fault trees για το ατύχημα στο ορυχείο San José της Χιλής, τον εντοπισμό των κυριότερων αιτιών που οδήγησαν στον εγκλωβισμό των 33 μεταλλωρύχων για περισσότερο από 2 μήνες στο ορυχείο του San José και την επισήμανση μερικών τρόπων μετρίασης της έκτασης του ατυχήματος, βρισκόμαστε σε κατάλληλη θέση ώστε να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα γύρω από το εν λόγω ατύχημα και όχι μόνο.

Σε γενικές γραμμές, το ατύχημα στο ορυχείο του San José, προκλήθηκε και μεγεθύνθηκε από μια σειρά παραβλέψεων και λανθασμένων εκτιμήσεων που οφείλονται κυρίως στους υπεύθυνους του ορυχείου, αλλά και στο καθεστώς της Χιλής σε ότι αφορά στον τομέα της μεταλλευτικής δραστηριότητας. Οι παραβλέψεις των κανόνων ασφαλείας σε συνδυασμό με την ελλιπή επιθεώρηση, άφησαν τους μεταλλωρύχους απροστάτευτους. Όταν ένα ορυχείο έχει βεβαρυμμένο ιστορικό ατυχημάτων με τραυματισμούς αλλά και θύματα, θα έπρεπε να υπάρχουν μηχανισμοί που να τίθενται σε λειτουργία από την πλευρά του κράτους και να επιβάλλουν κυρώσεις οι οποίες θα αναγκάζουν τους ιδιοκτήτες του ορυχείου να συμμορφωθούν. Στη Χιλή, δυστυχώς δεν έγινε κάτι τέτοιο, συνεπώς η διαχείριση του ορυχείου συνέχισε να αγνοεί τους κανονισμούς θέτοντας το κέρδος υψηλότερα από τις ζωές των εργαζομένων σε αυτό, με τραγικά αποτελέσματα σε βάρος τους.

Η διάσωση των μεταλλωρύχων ολοκληρώθηκε μετά από μια αλληλουχία ευτυχών συγκυριών μετά την κατάρρευση της οροφής του ορυχείου και τον εγκλωβισμό τους σε βάθος 700 m. Η διεθνής κινητοποίηση βοήθησε σε μέγιστο βαθμό στην επίτευξη του τελικού επιθυμητού αποτελέσματος, όμως χωρίς τη βοήθεια της τύχης, οι μεταλλωρύχοι δε θα είχαν εντοπιστεί τόσο σύντομα (γεγονός το οποίο ήταν και το κλειδί της επιτυχίας της επιχείρησης διάσωσης) και τώρα ίσως να μιλούσαμε για άλλο ένα τραγικό δυστύχημα. Ακόμα, εάν το ορυχείο είχε κοιτάσματα άνθρακα, τότε θα μιλούσαμε κατά πάσα πιθανότητα για άλλο ένα ατύχημα με πολλούς νεκρούς, αφού μια κατάρρευση σε ανθρακωρυχείο έχει σαφέστατα δυσμενέστερες συνέπειες (έκρηξη σκόνης άνθρακα) σε σχέση με τα υπόλοιπα ορυχεία.

Όπως έχει προκύψει από τη συγκέντρωση των γεγονότων κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας, οι παραλείψεις στους κανονισμούς ασφαλείας ήταν πράγματι αρκετές και σημαντικές, άποψη την οποία έρχονται να ενισχύσουν, πέρα από το προφανές – την εκδήλωση του ατυχήματος δηλαδή – και οι αριθμοί που ποσοτικοποιούν τον κίνδυνο, δίνοντας μια αρκετά υψηλή τιμή πιθανότητας

εμφάνισης του εγκλωβισμού των μεταλλωρύχων στο ορυχείο, γεγονός με σοβαρές συνέπειες, οι οποίες ευτυχώς δεν προέκυψαν.

Στη διεθνή βιβλιογραφία εντοπίστηκαν λίγες εκτενείς αναφορές ατυχημάτων, με μόνη εξαίρεση τις Η.Π.Α., όπου η MSHA έχει αναπτύξει τμήμα γι' αυτόν το σκοπό. Επισημαίνεται ότι για τα 10 πιο πολύνεκρα μεταλλευτικά ατυχήματα, βρέθηκαν μόνο 3 επίσημες αναφορές, ενώ πουθενά δε βρέθηκε δημοσιευμένη ανάλυση με fault trees ή άλλη μέθοδο. Κάτι τέτοιο θα αποτελούσε μια πρό(σ)κληση γνώσης προς τους αναλυτές και όχι μόνο, ανά τον κόσμο. Ακόμα, τη στιγμή της έκδοσης αυτής της εργασίας δεν είχε εκδοθεί καμία επίσημη αναφορά ή ανάλυση για το ατύχημα στο ορυχείο του San José. Αναμένονται με ενδιαφέρον η επίσημη αναφορά από την κυβέρνηση της Χιλής, καθώς και οι κυρώσεις που θα επιβληθούν σε συνδυασμό με τις αλλαγές στον μεταλλευτικό τομέα που υποσχέθηκε ο πρόεδρος της χώρας.

Κάτι που θα ήθελα να τονίσω σε αυτό τη σημείο είναι τα αδύναμα αντανακλαστικά από πολλούς φορείς της Χιλής και όχι μόνο. Από τις δεκάδες ηλεκτρονικές επιστολές που εστάλησαν από το γράφοντα προς διάφορους φορείς (δημόσιες υπηρεσίες, πανεπιστήμια, επιστημονικά περιοδικά, διαδικτυακά fora κτλ.), κατά την προσπάθεια συλλογής των στοιχείων και δεδομένων σχετικά με το ατύχημα και τα αίτιά του, μόνο μία απαντήθηκε. Αυτό προκάλεσε τον έντονο προβληματισμό μου, καθώς γεννήθηκαν υποψίες μιας εσωστρέφειας μετά το ατύχημα στη Χιλή.

Σχετικά με την ανάλυση του ατυχήματος που έγινε με τη μέθοδο των διαγραμμάτων fault trees, αυτή βοήθησε στον εντοπισμό αιτιών που αγνοούσαμε προηγουμένως κι ακόμα, είναι ένα καλό εργαλείο ώστε να δει ο αναλυτής μέσω των μεθόδων υπολογισμού των πιθανοτήτων, την βαρύτητα ενός βασικού γεγονότος. Στην περίπτωσή μας, αποδεικνύεται πως η αδιαφορία των υπευθύνων του ορυχείου είχε εξαιρετική σημασία και αν η κατάσταση ήταν διαφορετική, πιθανόν το ατύχημα να είχε αποφευχθεί.

Εν κατακλείδι, η διάσωση στο ορυχείο της Χιλής αποτελεί ένα παράδειγμα προς μίμηση όσο αφορά στην αλληλεγγύη μεταξύ των ανθρώπων ανεξαρτήτως εθνικότητας. Η συνεργασία ανθρώπων απ' όλο τον κόσμο με ένα κοινό στόχο ήταν τουλάχιστον συγκινητική. Από την άλλη, όμως, πρέπει να γίνει σαφές ότι πρόκειται για μια εξαίρεση στον κανόνα των μεταλλευτικών ατυχημάτων που έχουν αφήσει πίσω τους πολλές χιλιάδες θύματα και τραυματίες κατά τη διάρκεια της σύγχρονης μεταλλευτικής δραστηριότητας. Υπενθυμίζω το γεγονός ότι πολύ κοντά χρονικά με

το ατύχημα στο San José, σημειώθηκαν δύο καταστροφικά ατυχήματα σε ορυχεία στην Κίνα και στη Νέα Ζηλανδία, με πολλούς νεκρούς. Από τη στιγμή που η τεχνογνωσία έχει πλέον φτάσει σε πολύ καλό επίπεδο, είναι επιτακτικό να θεσπιστούν αυστηροί κανόνες, σε διεθνές επίπεδο, οι οποίοι θα ελαχιστοποιήσουν τις πιθανότητες εκδήλωσης μεταλλευτικών ατυχημάτων, υπό την προϋπόθεση ότι αυτοί θα ακολουθούνται από τους υπεύθυνους των ορυχείων και θα γίνεται ο αντίστοιχος απαραίτητος έλεγχος από τις αρμόδιες αρχές.

6. Βιβλιογραφία

“Mining accident.” Wikipedia, the free encyclopedia. 31 Δεκεμβρίου 2010.
http://en.wikipedia.org/wiki/Mining_accident

“Mining in Chile.” Wikipedia, the free encyclopedia. 28 Δεκεμβρίου 2010.
http://en.wikipedia.org/wiki/Mining_in_Chile

“2010 Copiapó mining accident”. Wikipedia, the free encyclopedia. 5
Ιανουαρίου 2011.
http://en.wikipedia.org/wiki/2010_Copiap%C3%B3_mining_accident

“Fénix capsules”. Wikipedia, the free encyclopedia. 22 Δεκεμβρίου 2010.
http://en.wikipedia.org/wiki/F%C3%A9nix_capsules?

“Compañía Minera San Esteban Primera”. Wikipedia, the free encyclopedia. 17
Δεκεμβρίου 2010. http://en.wikipedia.org/wiki/San_Esteban_Mining_Company

“Wunder von Lengede”. Wikipedia, the free encyclopedia. 3 Νοεμβρίου 2010.
http://en.wikipedia.org/wiki/Wunder_von_Lengede

“Quecreek Mine Rescue”. Wikipedia, the free encyclopedia. 12 Δεκεμβρίου
2010. http://en.wikipedia.org/wiki/Quecreek_Mine_Rescue

“Benxihu (Honkeiko) Colliery”. Wikipedia, the free encyclopedia. 4 Ιανουαρίου
2011. http://en.wikipedia.org/wiki/Benxihu_Colliery

“Senghenydd Colliery Disaster”. Wikipedia, the free encyclopedia. 4
Δεκεμβρίου 2010. http://en.wikipedia.org/wiki/Senghenydd_Colliery_Disaster

Pogrand, Benjamin. “The 435 SA miners who didn't make it.” The Times, South
Africa. 14 Οκτωβρίου 2010.
<http://www.timeslive.co.za/opinion/article705954.ece/The-435-SA-miners-who-didnt-make-it>

Gobierno de Chile. Ministerio de Minería. “Rescate en la Mina San José.”
Σεπτέμβριος – Οκτώβριος 2010. <http://www.minmineria.cl/574/w3-propertyvalue-2615.html>

Gobierno de Chile. Ministerio de Minería. “Cronología de la exitosa "Operación
San Lorenzo". 21 Οκτωβρίου 2010. <http://www.minmineria.cl/574/w3-article-15622.html>

Gobierno de Chile. Ministerio de Minería. "San José Mine Rescue Operation." 7 Σεπτεμβρίου 2010. http://www.minmineria.cl/574/articles-7093_recurso_2.pdf

The Texas Department of Insurance, Division of Workers' Compensation (TDI/DWC). "Fault Tree Analysis". <http://www.tdi.state.tx.us/pubs/videoresource/stpfaulttree.pdf>

Ericson II, Clifton A. "Fault tree analysis – A history." 1999. Proceedings of the 17th International System Safety Conference. <http://www.fault-tree.net/papers/ericson-fta-history.pdf>

Dr Andrews, John. "Tutorial – Fault Tree Analysis". 1998. Proceedings of the 16th International System Safety Conference. <http://www.fault-tree.net/papers/andrews-fta-tutor.pdf>

Clemens, Pat L. and Jacobs Sverdrup. "Fault Tree Analysis (4th Edition)". Μάιος 1993. <http://www.fault-tree.net/papers/clemens-fta-tutorial.pdf>

Johnson, Chris. "Failure in Safety-Critical Systems : A Handbook of Incident and Accident Reporting". Glasgow University Press. Οκτώβριος 2003. <http://www.dcs.gla.ac.uk/~johnson/book/>

Pauley, Ellsworth et al., "Quecreek No. 1 Mine. Report of investigation". Commonwealth of Pennsylvania. Department of Environmental Protection. Bureau of Deep Mine Safety. 22 Ιουλίου 2003. <http://www.dep.state.pa.us/dep/deputate/minres/dms/website/accidents/quecreek/InvestigationReportFinal/InvestigationReportFinal.pdf>

Hoshino, Yoshiro and Nobuko Iijima. "The Miike Coal-mine Explosion". 1975. http://d-arch.ide.go.jp/je_archive/pdf/book/jes5_d06.pdf

Nakao, Masayuki. "Coal dust explosion at Mitsui Miike coal mine, November 9, 1963". JST Failure Knowledge Database. <http://shippai.jst.go.jp/en/Detail?fn=2&id=CA1000611>

Livingstone – Blevins, G. J. "Four days in June. The Wankie Disaster and the aftermath." http://www.rhodesiana.com/archives/documents/wankie_mine_disaster_report.pdf

Κολοβός, Ι. Νέστορας, "Τεχνική γεωτρήσεων." <http://www.kozani.net/tei/geotriseis/t1.pdf>

Faber, M. H. "Risk Assessment in Engineering : Principles, System Representation & Risk Criteria." JCSS (Joint Committee on Structural Safety). Ιούνιος 2008, http://www.jcss.ethz.ch/publications/JCSS_RiskAssessment.pdf

United States Environmental Protection Agency (U.S.EPA). "Chapter 31 : Probabilistic Risk Assessment." Απρίλιος 2004. http://www.epa.gov/ttn/fera/data/risk/vol_1/chapter_31.pdf

United States Nuclear Regulatory Commission (U.S.NRC). "Probabilistic Risk Assessment." Οκτώβριος 2007. <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/probabilistic-risk-asses.pdf>

Daneshkhah, A.R. "Uncertainty in Probabilistic Risk Assessment: A Review." The University of Sheffield, Bayesian Elicitation of Expert's Probabilities. 9 Αυγούστου, 2004 . <http://www.sheffield.ac.uk/content/1/c6/03/09/33/risk.pdf>

Rausand, Marvin. "System Analysis, Event Tree Analysis." Norwegian University of Science and Technology, Department of Production and Quality Engineering. 7 Οκτωβρίου 2005. <http://www.ntnu.no/ross/srt/slides/eta.pdf>

"Mineros atrapados. Especial multimedia. Infografias multimedia." La Tercera. 2010. http://especiales.latercera.com/especiales/2010/mineros_atrapados/infografias.html

"Chile mine rescue. Timeline / Drilling operation." BBC News. 2010. <http://www.bbc.co.uk/news/world-latin-america-11469025>

"Trapped Chilean miners : rescue efforts boosted by capsule arrival." Guardian. 2010. <http://www.guardian.co.uk/world/gallery/2010/sep/27/chile-mining#/?picture=367083852&index=0>

"Complete coverage : Chile Mine collapse." CBS News. 2010. http://www.cbsnews.com/2718-202_162-747.html?tag=wc6802279

Compañía Minera San Esteban. "Info for mine and exploitation method." 2009. http://www.minakorea.cl/mina/pdf/san_esteban_26_enero_2008.pdf

Barrionuevo, Alexei. "A Relieved Chile Braces for a Long Mine Rescue". The New York Times. 24 Αυγούστου 2010.

<http://www.nytimes.com/2010/08/25/world/americas/25chile.html?pagewanted=all>

“From collapse to rescue : Inside the Chile mine disaster”. The Star. 2010. <http://www.thestar.com/news/world/chile/article/873382>

“Risk analysis (engineering)”. Wikipedia, the free encyclopedia. 19 Δεκεμβρίου 2010. http://en.wikipedia.org/wiki/Risk_analysis_%28engineering%29

“Probabilistic risk assessment”. Wikipedia, the free encyclopedia. 23 Νοεμβρίου 2010. http://en.wikipedia.org/wiki/Quantitative_risk_analysis

United States. Department of Labor. Mine Safety & Health Administration (MSHA). “Accident Investigation”. <http://www.labtrain.noaa.gov/osea600/refer/menu16a.pdf>

Jianjun, Tu. “Coal Mining Safety: China’s Achilles’ Heel”. China Security Vol 3, No 2, Spring, pp. 36-53. World Security Institute. 2007. http://www.wsichina.org/cs6_3.pdf

Xiaohui, Zhao and Jiang Xueli. “Coal mining: Most deadly job in China.” China daily. 13 Νοεμβρίου 2004. http://www.chinadaily.com.cn/english/doc/2004-11/13/content_391242.htm

Τερεζόπουλος, Νικόλαος. Μέθοδοι υπαιθρίων εκμεταλλεύσεων. Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2003.

LaFraniere, Sharon. “Graft in China Covers Up Toll of Coal Mines.” New York Times. 2009. http://www.nytimes.com/2009/04/11/world/asia/11coal.html?_r=2

United States. Department of Labor. Mine Safety & Health Administration (MSHA). “Historical Data on Mine Disasters in the United States.” <http://www.msha.gov/MSHAINFO/FactSheets/MSHAFCT8.HTM>

United States. Department of Labor. Mine Safety & Health Administration (MSHA). “Injury Trends in Mining.” <http://www.msha.gov/MSHAINFO/FactSheets/MSHAFCT2.HTM>

Ελλάδα. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ). “Θανατηφόρο ατύχημα – Ιανουάριος 2009.” 2009. <http://www.latomet.gr/ypan/Hypertrak/BinaryContent.aspx?pagenb=9717>

Smith, J. H. "Universal Colliery, Senghenydd. c.1912."
<http://www.welshcoalmines.co.uk/Photo.htm>

"Die Dahlbusch-Bombe." Der Spiegel. 13 Νοεμβρίου 1963.
<http://www.spiegel.de/spiegel/print/d-64924470.html>

"Lengede / Katastrophen : Aus Der Gruft." Der Spiegel. 13 Νοεμβρίου 1963.
<http://www.spiegel.de/spiegel/print/d-29083847.html>

"Grubenungluck und Rettung 1963."
<http://geschichtsatlas.de/~gb2/rettung.htm#Das%20Wunder%20von%20Lengede>

"Quecreek Mine Disaster Timeline." <http://www.quecreeknine.com/>

"'All Nine Alive!' The story of the Quecreek Mine rescue." Post-Gazette. 4
Αυγούστου 2002. <http://www.post-gazette.com/localnews/20020804all9indexp9.asp>

"Zeche Monopol Schacht Grimberg ¾." Wikipedia, the free encyclopedia. 13
Οκτωβρίου 2010.
http://de.wikipedia.org/wiki/Zeche_Monopol_Schacht_Grimberg_3/4

"Yubari: From the culture of coal to the cult of caramel."
<http://spikejapan.wordpress.com/spike-hokkaido-2/yubari-from-the-culture-of-coal-to-the-cult-of-caramel/>

Central Bank of Chile . "Producto interno bruto por clase de actividad
económica, a precios corrientes. Apos 2003-2009." 2009.
http://si2.bcentral.cl/Basededatoseconomicos/951_417.asp?m=CN_B03_25&f=A&i=E

Govan, Fiona et al. "Families of trapped Chilean miners to sue mining firm."
The telegraph. 26 Αυγούστου 2010.
<http://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/southamerica/chile/7966590/Families-of-trapped-Chilean-miners-to-sue-mining-firm.html>

Long, Gideon. "Mining Safety: What Lies Beneath?" bUSiness Chile. Οκτώβριος
2010. <http://www.businesschile.cl/en/news/mining/mining-safety-what-lies-beneath>

Jianjun, Tu. "The Shanxi Coal Mine Blast and the Failure of Safety Governance in China." China Brief. Volume 9. Issue 10. 15 Μαΐου 2009. [http://www.jamestown.org/single/?no_cache=1&tx_ttnews\[tt_news\]=34991](http://www.jamestown.org/single/?no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=34991)

"Los razones detrás del derrumbe." Mineria Chilena, #351. Σεπτέμβριος 2010. http://www.mch.cl/revistas/index_neo.php?id=1440

Morgan, Dan. "The miners rescue : a view from Chile." Postside. Οκτώβριος 2010. http://www.firstpeoplesfirst.in/admin/pdf/63_The%20Miners.pdf

"Sublevel Open Stopping – SLOS." Atlas Copco. 10 Σεπτεμβρίου 2002. [http://194.132.104.144/Websites%5CRDE%5Cwebsite.nsf/\\$All/3545BB612F06FB8B4125674D004AC13E?OpenDocument](http://194.132.104.144/Websites%5CRDE%5Cwebsite.nsf/$All/3545BB612F06FB8B4125674D004AC13E?OpenDocument)

Stamatelatos, Michael. "Probabilistic Risk Assessment : What is it and Why is it worth performing it?" 4 Μαΐου 2000. National Aeronautics and Space Administration (NASA). Office of Safety and Mission Assurance. <http://www.hq.nasa.gov/office/codeq/qnews/pr.a.pdf>

Coleman, Patrick J. and John C. Kerkerling. "Measuring mining safety with injury statistics: lost workdays as indicators of risk." National Institute for Occupational Safety and Health, Spokane Research Laboratory. <http://www.cdc.gov/Niosh/mining/pubs/pdfs/mmswi.pdf>

United States. Department of Labor. Mine Safety & Health Administration (MSHA). "Report of investigation. Underground Metal Mine (Uranium)." 2010. <http://www.msha.gov/fatals/2010/ftl10m08.pdf>

Sigmund, Pete. "Industry Mobilizes to Rescue PA's 'Miracle Miners'." Construction Guide Equipment. <http://www.constructionequipmentguide.com/Industry-Mobilizes-to-Rescue-PAs-Miracle-Miners/2477/>

"Reducing risks, protecting people: HSE's decision-making process." Health & Safety Executive (HSE). 2001. <http://www.hse.gov.uk/risk/theory/r2p2.pdf>

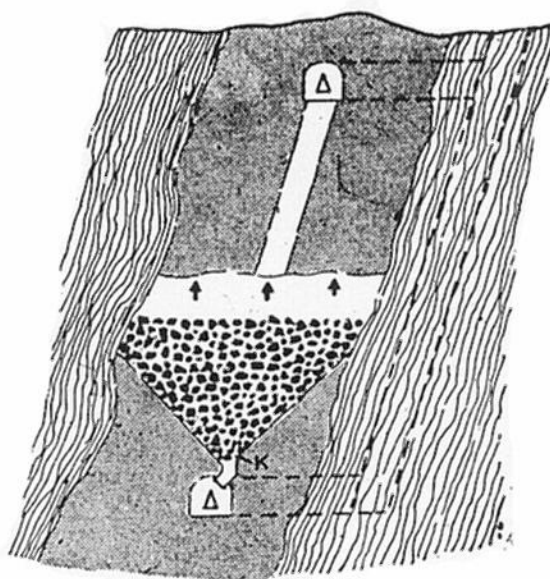
Survival topics. <http://www.survivaltopics.com/survival/how-long-can-you-survive-without-water/>

7. Παράρτημα

7.1. Μέθοδοι υπόγειας εκμετάλλευσης

Ακολουθούν λεπτομέρειες σχετικά με τις μεθόδους εκμετάλλευσης ορυχείων στις οποίες έχει γίνει αναφορά μέσα στην εργασία :

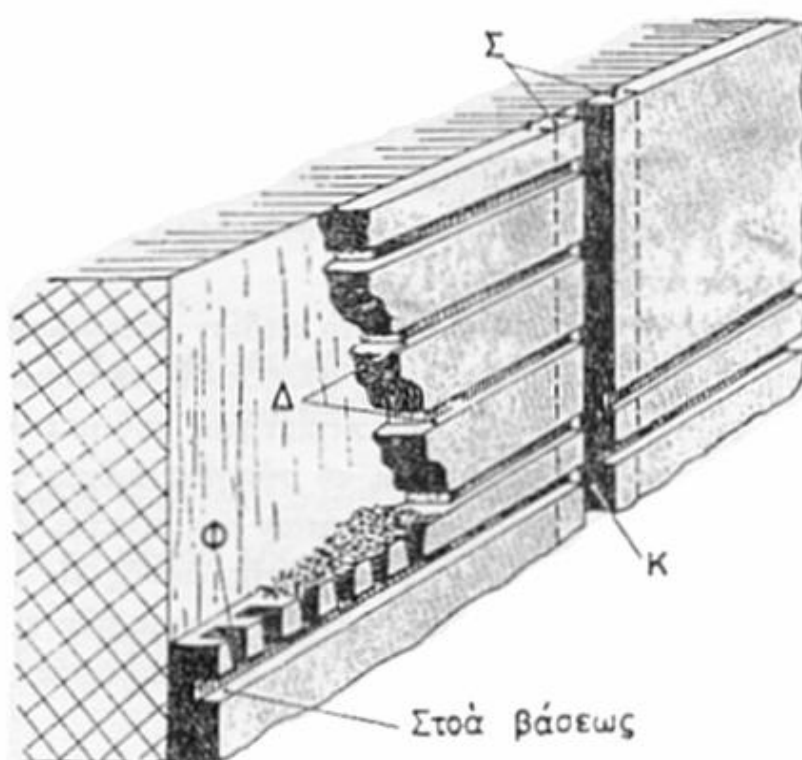
α) Συμπυκνόμενο μέτωπο (*shrinkage stoving*). Σε αυτή την μέθοδο η επιφάνεια προσβολής διευθετείται οριζόντια, κινούμενη από κάτω προς τα πάνω, με μέρος των προϊόντων εξόρυξης να αφήνονται μέσα στο μέτωπο, σχηματίζοντας κατ' αυτόν τον τρόπο το δάπεδο εργασίας για τον επόμενο κύκλο εξόρυξης. Στο τέλος, η αποκομιδή του μεταλλεύματος γίνεται από στοιά μεταφοράς κάτω από το χώρο όπου βρίσκεται το εξορυγμένο πέτρωμα, μέσω ειδικού φρέατος εξαγωγής σε σχήμα χοάνης. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται συνήθως σε ανθεκτικά πετρώματα καλής αντοχής και σε μεγάλης κλίσης φλεβοειδή και στρωματοειδή κοιτάσματα [Τερεζόπουλος, 2003].



Εικόνα 7.1. Μέθοδος συμπυκνόμενου μετώπου (*shrinkage stoving*). (Πηγή : Τερεζόπουλος, 2003)

β) Μέθοδος των διαδοχικών ορόφων (*sub-level stoving*). Η εξόρυξη λαμβάνει χώρα μέσα σε σειρά οριζόντιων παράλληλων διευθυντικών στοών (διαδοχικών ορόφων) με το εξορυσσόμενο μέταλλευμα να καταπίπτει μέσα στον κενό χώρο. Η

εξόρυξη ξεκινάει από τον κατώτερο όροφο κι έπειτα συνεχίζεται προς τα πάνω. Μεταξύ των ορόφων, αφήνονται κατακόρυφοι και οριζόντιοι (crown pillars) στύλοι για να υποστηρίξουν την οροφή και τα ελεύθερα τοιχώματα, αντίστοιχα. Μέσω της βαρύτητας, το εξορυσσόμενο υλικό φτάνει στα φρέατα εξαγωγής – ειδικά σχεδιασμένα σαν χοάνες ώστε να μη χαθεί υλικό – που βρίσκονται πάνω από τη στοά βάσεως και από εκεί γίνεται η αποκομιδή του υλικού. Συχνά, μετά την εξόρυξη του πετρώματος γίνεται πλήρωση του κενού χώρου με υλικό, για να εξασφαλιστεί η ευστάθεια του ορυχείου [Τερεζόπουλος, 2003].



Εικόνα 7.2. Μέθοδος διαδοχικών ορόφων (sub-level stoping). (Πηγή : Τερεζόπουλος, 2003)

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε πετρώματα με μέτρια έως μεγάλη ανθεκτικότητα και συνήθως σε φλεβοειδή ή στρωματοειδή κοιτάσματα πάχους 1 – 2 m.

7.2. Το χρονικό του ατυχήματος (μέρα με τη μέρα)

Ακολουθεί μια καταγραφή των σημαντικότερων γεγονότων που συνέβησαν στο ορυχείο San José, από τη στιγμή της εκδήλωσης του ατυχήματος έως και τη διάσωση των εγκλωβισμένων μεταλλωρύχων :

5 Αυγούστου 2010 : Η οροφή του ορυχείου San José καταρρέει σε βάθος παγιδεύοντας 33 μεταλλωρύχους 700 μέτρα κάτω από τη Γη.

6 Αυγούστου 2010 : Τα μέσα ενημέρωσης σε όλον τον κόσμο μεταδίδουν την καταστροφή. Δεν έχει υπάρξει επικοινωνία με τους 33 μεταλλωρύχους, αλλά εκφράζονται ελπίδες από τους υπεύθυνους ότι αυτοί θα είναι ασφαλείς στο καταφύγιο του ορυχείου, όπου υπάρχουν αποθέματα νερού και φαγητού καθώς και οξυγόνο. 130 άτομα δουλεύουν με σκοπό τον απεγκλωβισμό των μεταλλωρύχων.

Ο υπουργός εξόρυξης της Χιλής, Laurence Golborne, επιστρέφει από το Εκουαδόρ για να επιβλέψει την επιχείρηση διάσωσης των μεταλλωρύχων.

7 Αυγούστου 2010 : Μια νέα κατάρρευση αποτρέπει τους διασώστες να ολοκληρώσουν την επιχείρηση διάσωσης μέσω του φρέατος αερισμού, η οποία ξεκίνησε την προηγούμενη ημέρα κι έτσι η πιθανότητα μιας άμεσης διάσωσης απομακρύνεται.

Ο πρόεδρος της χώρας, Sebastian Pinera, επιστρέφει από την Κολομβία κι επισκέπτεται τον καταυλισμό “Ελπίδα” (camp hope) που έχει στηθεί στο χώρο του ορυχείου, όπου έχουν κατασκηνώσει όσοι ασχολούνται με τη διάσωση καθώς και συγγενικά πρόσωπα των μεταλλωρύχων. Σε δηλώσεις του, τονίζει πως θα γίνει ότι είναι ανθρωπίνως δυνατό ώστε να βγουν ζωντανοί από το ορυχείο οι εγκλωβισμένοι μεταλλωρύχοι.

8 Αυγούστου 2010 : Ξεκινούν οι εργασίες των 8 γεωτρήσεων που θα διανοίξουν διερευνητικές γεωτρήσεις διαμέτρου 15 cm περίπου με σκοπό τον εντοπισμό των μεταλλωρύχων.



Εικόνα 7.3. Ο καταυλισμός “Ελπίδα” όπου είχαν κατασκηνώσει οι διασώστες, οι δημοσιογράφοι και οι συγγενείς των μεταλλωρύχων. (Πηγή : Διαδίκτυο)

9 Αυγούστου 2010 : Οι διασώστες έχοντας αποτύχει να προσεγγίσουν τους μεταλλωρύχους μέσω του φρέατος αερισμού, δίνουν βάση στις γεωτρήσεις που συνεχίζουν τη διάνοιξη μικρών διατρημάτων, ώστε να τους εντοπίσουν και να τους στείλουν προμήθειες.

11 Αυγούστου 2010 : Ο πρόεδρος της Χιλής απολύει τους επικεφαλής της εθνικής υπηρεσίας και υπόσχεται αναδιάρθρωση των κλιμακίων επίβλεψης σχετικά με την ασφάλεια των εργαζομένων στα ορυχεία.

12 Αυγούστου 2010 : Ανακοινώνεται δια στόματος του υπουργού εξόρυξης ότι οι πιθανότητες εύρεσης των μεταλλωρύχων είναι αρκετά μικρές.

14 Αυγούστου 2010 : Ο πρόεδρος της Χιλής επισκέπτεται τους συγγενείς των θυμάτων στο σημείο του ατυχήματος, ανακοινώνει ότι υπάρχουν ακόμα ελπίδες εάν οι μεταλλωρύχοι έχουν μεταφερθεί στο καταφύγιο και υπόσχεται ότι οι υπεύθυνοι για το ατύχημα θα τιμωρηθούν.

15 Αυγούστου 2010 : Ειδικός εξοπλισμός και ρομποτικά εξαρτήματα φτάνουν στο σημείο του ατυχήματος για να βοηθήσουν στο τελευταίο στάδιο της προσπάθειας ανεύρεσης των μεταλλωρύχων.

16 Αυγούστου 2010 : Μια από τις διερευνητικές γεωτρήσεις με στόχο το καταφύγιο βρίσκει μια κοιλότητα εκτός των σχεδίων και αποσύρεται, ξεκινώντας νέα γεώτρηση από την αρχή.

18 Αυγούστου 2010 : Μια από τις διερευνητικές γεωτρήσεις με στόχο το καταφύγιο του ορυχείου έχει φτάσει στα 600 m και την επόμενη αναμένεται να ξετρυπήσει.

19 Αυγούστου 2010 : Η μεγαλύτερη σε μήκος ως εκείνη τη στιγμή γεώτρηση φτάνει στο επίπεδο του ορυχείου όπου οι διασώστες πίστευαν πως βρίσκονται οι μεταλλωρύχοι, αλλά δεν εντοπίζει το καταφύγιο και δε συναντάει κανένα ίχνος τους.

22 Αυγούστου 2010 : Οι εργαζόμενοι στο γεωτρήσιμο Schramm T685 WS που μόλις έχει τελειώσει τη διάνοιξη ενός διατρήματος διαμέτρου 15 cm (ήταν η όγδοη συνολικά γεώτρηση) έχοντας φτάσει στο ορυχείο σε βάθος 688 μέτρων και σε απόσταση 20 μέτρων από το καταφύγιο, ακούν μεταλλικούς κτύπους στην κεφαλή και όταν την ανασύρουν στην επιφάνεια βρίσκουν πάνω της ένα σημείωμα κολλημένο που γράφει : “Είμαστε καλά στο καταφύγιο. Οι 33.” (βλ. Εικόνα 27).

ÉSTAMOS BIEN EN EL REFUGIO LOS 33

Εικόνα 7.4. Η Το σημείωμα των μεταλλωρύχων που έλαβαν οι διασώστες όταν έφεραν την κεφαλή του γεωτρήπανου στην επιφάνεια. (Πηγή : Διαδίκτυο)

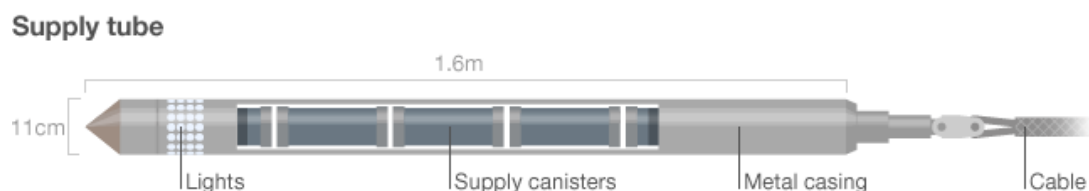
Μερικές ώρες αργότερα, αφού ο πρόεδρος της χώρας είχε ανακοινώσει στα μέσα ενημέρωσης τον εντοπισμό των μεταλλωρύχων 17 μέρες μετά το ατύχημα, παρουσιάζοντας το χειρόγραφο σημείωμά τους, στάλθηκε βιντεοκάμερα μέσα από το διάτρημα, ώστε να καταγράψει την κατάσταση στην οποία βρίσκονταν οι μεταλλωρύχοι.



Εικόνα 7.5. Η εικόνα αυτή αποτέλεσε την πρώτη οπτική επαφή των διασωστών με τους 33 μεταλλωρύχους. (Πηγή : Wikipedia, the free encyclopedia)

Ο υπουργός εξόρυξης Laurence Golborne, μαζί με το συντονιστή της διάσωσης Andre Sougarret (υπεύθυνος του ορυχείου El Teniente που ανήκει στην κρατική εταιρεία εξόρυξης χαλκού Codelco) ανακοινώνουν ότι για να ολοκληρωθεί η διάσωση των μεταλλωρύχων θα απαιτηθούν 3 με 4 μήνες.

23 Αυγούστου 2010 : Αποστέλλονται στους μεταλλωρύχους μέσω του παλαιού κι ακόμα ενός νέου διατρήματος, κατάλληλα συσκευασμένα μέσα σε κάψουλα (βλ. Εικόνα 29), φαγητά, νερό και φάρμακα, που είχαν σχεδόν τελειώσει στο καταφύγιο.



Εικόνα 7.6. Η κάψουλα μέσω της οποίας αποστέλλονταν προμήθειες στους παγιδευμένους μεταλλωρύχους. (Πηγή : Διαδίκτυο)

24 Αυγούστου 2010 : Εμπειρογνώμονες της NASA και στελέχη του τμήματος των υποβρυχίων του Χιλιανού ναυτικού, φτάνουν στην περιοχή ώστε να βοηθήσουν τους παγιδευμένους σε θέματα ψυχολογίας. Ακόμα, δεν έχει ανακοινωθεί στους μεταλλωρύχους το εκτιμώμενο χρονικό διάστημα ως τον απεγκλωβισμό τους.

25 Αυγούστου 2010 : Ανακοινώνεται στους μεταλλωρύχους ότι η διάσωσή τους μπορεί να διαρκέσει μήνες, ενώ επιτρέπεται για πρώτη φορά η αλληλογραφία με συγγενικά τους πρόσωπα. Αυτοί ζητούν διάφορα αντικείμενα (χαρτιά, θρησκευτικά αντικείμενα, σημαίες) τα οποία θα τους δώσουν δύναμη να επιβιώσουν.

26 Αυγούστου 2010 : Δεσμεύονται περίπου 2 εκατομμύρια δολάρια από τα περιουσιακά στοιχεία των ιδιοκτητών του ορυχείου προς χρήση μελλοντικών αποζημιώσεων.

27 Αυγούστου 2010 : Το πρώτο βίντεο διάρκειας 25 λεπτών, όπου οι περισσότεροι μεταλλωρύχοι φαίνονται σε καλή ψυχολογική κατάσταση, δίνεται σε δημοσιότητα. Πιθανολογείται ότι κάποιοι που δεν παρουσιάζονται στο βίντεο έχουν πέσει σε κατάθλιψη. Οι υπεύθυνοι για την υγεία των μεταλλωρύχων τους επιτρέπουν για πρώτη φορά την κατανάλωση στέρεας τροφής. Παράλληλα,

ανακοινώνεται ότι οι διασώστες πέρα από ένα αρχικό σχέδιο (A), επεξεργάζονται κι ένα δεύτερο (B).

28 Αυγούστου 2010 : Ανακοινώνονται λεπτομέρειες σχετικά με το σχέδιο διάσωσης B, το οποίο προβλέπει τη διεύρυνση ήδη υπάρχουσας γεώτρησης με ειδικό μηχάνημα, ώστε να απεγκλωβιστούν οι μεταλλωρύχοι. Η όλη επιχείρηση ονομάζεται “St. Lorenzo operation”, που είναι και ο προστάτης των μεταλλωρύχων στη Χιλή.

29 Αυγούστου 2010 : Για πρώτη φορά μετά τον εντοπισμό τους, οι μεταλλωρύχοι έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνήσουν άμεσα με τα συγγενικά τους πρόσωπα. Επίσης, μεταφέρουν τη βάση τους σε στεγνότερο και ψυχρότερο σημείο σε μεγαλύτερο βάθος εντός του ορυχείου σε απόσταση 200 m από το καταφύγιο.

30 Αυγούστου 2010 : Το σχέδιο διάσωσης A τίθεται σε ισχύ και το μηχάνημα “Strata 950” ξεκινάει τη διάνοιξη πιλοτικής γεώτρησης διαμέτρου 30 cm με στόχο το καταφύγιο του ορυχείου, την οποία έπειτα θα διευρύνει στην τελική διάμετρο των 65 cm περίπου.

31 Αυγούστου 2010 : Οι μεταλλωρύχοι από σήμερα είναι οι άνθρωποι που έχουν επιζήσει υπό το έδαφος για το μεγαλύτερο αριθμό ημερών.

1 Σεπτεμβρίου 2010 : Από σήμερα οι μεταλλωρύχοι λαμβάνουν ζεστά γεύματα υψηλής θερμιδικής αξίας, παρόμοια με αυτά των αστροναυτών.

2 Σεπτεμβρίου 2010 : Οι εμπειρογνώμονες της NASA παρακολουθούν στενά την ψυχολογική και διατροφική κατάσταση των μεταλλωρύχων και αύριο αναμένεται η έκθεσή τους.

Το σχέδιο A βρίσκεται στα 41 μέτρα γεώτρησης, όπου έχει συναντήσει ένα γεωλογικό ρήγμα, το οποίο ενισχύεται για να συνεχιστούν οι εργασίες.

Το σχέδιο Β θα τεθεί σε ισχύ την Κυριακή 5 Σεπτεμβρίου.

3 Σεπτεμβρίου 2010 : Καταφτάνει στην περιοχή το μηχάνημα “Schramm T-130” του σχεδίου διάσωσης Β.

4 Σεπτεμβρίου 2010 : Για πρώτη φορά οι μεταλλωρύχοι επικοινωνούν πρόσωπο με πρόσωπο με τους συγγενείς τους μέσω βιντεοκλήσης. Οι εμπειρογνώμονες της NASA συνιστούν καθημερινή άσκηση και προγραμματισμό του ύπνου. Οι τελευταίες δουλειές γίνονται για να ολοκληρωθεί η εγκατάσταση του μηχανήματος “Schramm T-130” (σχέδιο Β) που θα ξεκινήσει τις εργασίες του την επόμενη μέρα.

5 Σεπτεμβρίου 2010 : Το σχέδιο Β ξεκινάει τις εργασίες του, ενώ το μηχάνημα “Strata-950” (σχέδιο Α) βρίσκεται στα 70 m.

7 Σεπτεμβρίου 2010 : Η ψυχολογική κατάσταση των μεταλλωρύχων παραμένει καλή, η διατροφή τους είναι πλέον πλήρης. Ο υπουργός εξόρυξης παρουσιάζει στο κοινό τα τρία σχέδια διάσωσης των παγιδευμένων.

Το μηχάνημα του σχεδίου Α έχει φτάσει σε βάθος 113 m.

Το σχέδιο Β ξεπερνάει κάποιες τεχνικές δυσκολίες και το μηχάνημα συνεχίζει τις εργασίες του προχωρώντας συνολικά 123 m.

Το σχέδιο Γ βρίσκεται στο στάδιο εγκατάστασης της πλατφόρμας όπου θα τοποθετηθεί το γεωτρύπανο “RIG-421” που χρησιμοποιείται σε εξορύξεις πετρελαίου.

8 Σεπτεμβρίου 2010 : Οι μεταλλωρύχοι είχαν τη δυνατότητα να παρακολουθήσουν τον φιλικό αγώνα ποδοσφαίρου της εθνικής τους ομάδας με την αντίστοιχη της Ουκρανίας.

Το “Strata-950” βρίσκεται στα 141 m.

Το “Schramm T-130” έχει διανοίξει τα πρώτα 268 m της πιλοτικής σήραγγας.

Η πλατφόρμα του σχεδίου Γ είναι κατά 95% έτοιμη.



Εικόνα 7.7. Πανοραμικό σχέδιο της επιφάνειας που καταλάμβανε το γεωτρήπανο “RIG-421”. (Πηγή : Διαδίκτυο)

9 Σεπτεμβρίου 2010 : Το μηχάνημα “Schramm T-130” σταματάει τις εργασίες του.

Το σχέδιο Α έχει φτάσει σε βάθος 171 m.

Το σχέδιο Β έχει διανοίξει τα πρώτα 268 m της πιλοτικής σήραγγας.

Η πλατφόρμα που θα υποδεχτεί το γεωτρήπανο “RIG-421” (σχέδιο Γ) είναι έτοιμη.

10 Σεπτεμβρίου 2010 :

Το σχέδιο Α έχει φτάσει σε βάθος 195 m.

Το μηχάνημα “Schramm T-130” (σχέδιο Β) έχει σταματήσει τη λειτουργία του για εργασίες αποκατάστασης της κεφαλής.

Ξεκινάει η συναρμολόγηση του γεωτρύπανου “RIG-421” (σχέδιο Γ) με πολλά από τα μέρη του να βρίσκονται ακόμα στο δρόμο.

13 Σεπτεμβρίου 2010 : Όλοι οι μεταλλωρύχοι βρίσκονται σε καλή κατάσταση υγείας με την ειδική διατροφή που τους έχει επιβληθεί. Ένα ακόμη σχέδιο διάσωσης το οποίο βρισκόταν υπό συζήτηση δε θα εφαρμοστεί, αφού χαρακτηρίζεται ως παράτολμο κι επικίνδυνο.

Το “Strata-950” του σχεδίου Α έχει φτάσει σε βάθος 256 m.

Το μηχάνημα “Schramm T-130” (σχέδιο Β) έχει “κολλήσει” στα 268 m και γίνονται εργασίες αποκατάστασης της κατεστραμμένης κεφαλής.

Συνεχίζεται η συναρμολόγηση του γεωτρύπανου “RIG-421” (σχέδιο Γ).

14 Σεπτεμβρίου 2010 : Ένας από τους μεταλλωρύχους γίνεται πατέρας και δίνει το όνομα Esperanza (Ελπίδα) στην κόρη του. Λόγω βελτίωσης του συστήματος αερισμού εντός του ορυχείου που βρίσκονται παγιδευμένοι οι μεταλλωρύχοι, τους επιτρέπεται να καπνίσουν και τους αποστέλλουν τσιγάρα.

Το Raise-borer του σχεδίου Α βρίσκεται ακόμα σε βάθος 268 m.

Η κεφαλή του μηχανήματος “Schramm T-130” (σχέδιο Β) απεγκλωβίζεται από τις δοκούς του ορυχείου στις οποίες έχει κολλήσει και γίνεται η επαναλειτουργία του.

Συνεχίζεται η συναρμολόγηση (45%) του γεωτρύπανου “RIG-421” (σχέδιο Γ).

15 Σεπτεμβρίου 2010 : Οι υπεύθυνοι μηχανικοί δηλώνουν πως η διάσωση των μεταλλωρύχων θα ολοκληρωθεί στις αρχές του Νοεμβρίου, 6 εβδομάδες νωρίτερα από την αρχική τους εκτίμηση.

Το μηχάνημα “Strata-950” του σχεδίου Α βρίσκεται σε βάθος 308 m.

Η κεφαλή του μηχανήματος “Schramm T-130” (σχέδιο Β) φτάνει στα 362 m.

Η συναρμολόγηση του γεωτρύπανου “RIG-421” (σχέδιο Γ) έχει φτάσει στο 70%.

16 Σεπτεμβρίου 2010 : Ο υπουργός εξόρυξης της Χιλής επιβλέπει την εγκατάσταση του γεωτρήπανου ύψους 45 m του σχεδίου διάσωσης Γ.

Το “Strata-950” του σχεδίου Α έχει φτάσει σε βάθος 319 m.

Το μηχάνημα “Schramm T-130” (σχέδιο Β) βρίσκεται στα 500 m περίπου.

Η συναρμολόγηση του γεωτρήπανου “RIG-421” (σχέδιο Γ) έχει φτάσει στο 80%.

17 Σεπτεμβρίου 2010 : Ο Laurence Golborne ανακοινώνει ότι το μηχάνημα “Schramm T-130” του σχεδίου Β έφτασε στο εργαστήριο των μεταλλωρύχων που ήταν και ο προορισμός του, έχοντας διανοίξει την πιλοτική του σήραγγα μήκους 624 m και διαμέτρου 15” (38 cm περίπου). Απομένει το δεύτερο στάδιο της γεώτρησης όπου θα γίνει η διεύρυνση του διατρήματος στις 25”.

Το μηχάνημα του σχεδίου Α έχει διακόψει τη λειτουργία του για εργασίες συντήρησης.

Η συναρμολόγηση του “RIG-421” (σχέδιο Γ) ολοκληρώθηκε και σε 2 μέρες θα ξεκινήσει τη διάτρηση.

18 Σεπτεμβρίου 2010 : Οι 33 μεταλλωρύχοι γιορτάζουν τα 200 χρόνια από την ανεξαρτησία της Χιλής έχοντας περάσει 44 ημέρες παγιδευμένοι υπογείως.

19 Σεπτεμβρίου 2010 : Ο υπουργός εξόρυξης της Χιλής επιβλέπει τις εργασίες των τριών πλάνων διάσωσης των 33 μεταλλωρύχων.

Οι εργασίες του σχεδίου Α έχουν μείνει στάσιμες λόγω κάποιων δοκών που έχουν συναντηθεί στη διαδρομή προς το καταφύγιο.

Το σχέδιο Β ξεκινάει τη δεύτερη φάση της διάτρησης.

Το μηχάνημα του σχεδίου Γ ξεκινάει τις εργασίες του τρυπώντας κατ’ ευθείαν στην τελική διάμετρο.

20 Σεπτεμβρίου 2010 : Οι συγγενείς των παγιδευμένων κατηγορούν τον πρόεδρο της χώρας για πολιτικά παιχνίδια στην πλάτη των μεταλλωρύχων, ώστε να ανεβάσει τη δημοτικότητά του. Οι εργασίες και των τριών μηχανημάτων συνεχίζονται χωρίς εμπόδια.



Εικόνα 7.8. Το “RIG-421” καθώς συνεχίζει τις εργασίες του και το βράδυ. Στο βάθος φαίνεται και το “Schramm T-130 XD”. (Πηγή : Διαδίκτυο)

22 Σεπτεμβρίου 2010 : Οι μεταλλωρύχοι ακολουθώντας πιστά το πρόγραμμα που τους έχει επιβληθεί βρίσκονται σε καλή ψυχολογική και σωματική κατάσταση, ενώ γίνεται ειδική προετοιμασία αυτών από ψυχολόγους σχετικά με την προβολή τους από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης.

Το Raise-borer “Strata-950” του σχεδίου Α έχει φτάσει σε βάθος 351 m.

Το μηχάνημα “Schramm T-130” (σχέδιο Β) βρίσκεται στα 50 m του τελικού διατρήματος, αλλά σταματάει τη λειτουργία του λόγω απώλειας ενός κοπτικού άκρου.

Το γεωτρύπανο “RIG-421” (σχέδιο Γ) έχει διανοίξει τα πρώτα 23 m της τελικής διατομής.

23 Σεπτεμβρίου 2010 : Οι αρχές της περιοχής, το νοσοκομείο, καθώς και ελικόπτερα της πολεμικής αεροπορίας βρίσκονται σε κατάσταση επιφυλακής έχοντας περάσει επιτυχώς τις όποιες ασκήσεις ετοιμότητας.

Το σχέδιο Α έχει προχωρήσει στα 402 m.

Η προχώρηση του μηχανήματος “Schramm T-130” (σχέδιο Β) έχει φτάσει στα 111 m, ενώ πάλι αντιμετωπίζει προβλήματα και διακοπεί ξανά τη λειτουργία του.

42 m έχουν διανοιχτεί στο διάτρημα του σχεδίου Γ.

25 Σεπτεμβρίου 2010 : Όλα τα περιουσιακά στοιχεία της εταιρείας San Esteban δεσμεύονται από δικαστήριο της χώρας, ενώ οι διασώστες παραλαμβάνουν την κάψουλα διάσωσης.

Οι εργασίες του Raise-borer “Strata-950” (σχέδιο Α) έχουν φτάσει στα 442 m.

175 m είναι το βάθος που βρίσκεται η κεφαλή του “Schramm T-130” (σχέδιο Β).

Στα 62 m έχει φτάσει το γεωτρύπανο “RIG-421” (σχέδιο Γ).

26 Σεπτεμβρίου 2010 : Γίνεται παραλαβή των αγωγών που θα επενδύσουν τη σήραγγα διαφυγής των μεταλλωρύχων.

27 Σεπτεμβρίου 2010 : Παρουσιάστηκε στους συγγενείς των μεταλλωρύχων η κάψουλα διάσωσης.

Το “Strata-950” του σχεδίου Α βρίσκεται σε βάθος 476 m.

Η κεφαλή του μηχανήματος “Schramm T-130” (σχέδιο Β) φτάνει στα 208 m.

Το “RIG-421” (σχέδιο Γ) έχει διανοίξει τα πρώτα 79 m της τελικής διατομής.



Εικόνα 7.9. Η κάψουλα διάσωσης Fénix 1 καταρτάνει στο εργοτάξιο του ορυχείου San José και παρουσιάζεται στο ευρύ κοινό. (Πηγή : Διαδίκτυο)

28 Σεπτεμβρίου 2010 : 270 km νότια του ορυχείου στην πόλη La Higuera εκδηλώνεται σεισμός μεγέθους 5,0, χωρίς να επηρεαστεί η κατάσταση εντός του ορυχείου. Τα τρία ενεργά πλάνα διάσωσης συνεχίζονται κανονικά.

Στο σχέδιο Α, η διάτρηση της πιλοτικής σήραγγας βρίσκεται στα 508 m.

Το μηχάνημα “Schramm T-130” (σχέδιο Β) βρίσκεται στα 276 m του τελικού διατρήματος.

110 m έχουν διανοιχτεί από το “RIG-421” (σχέδιο Γ).

29 Σεπτεμβρίου 2010 : Οι μεταλλωρύχοι άρχισαν να επιδίδονται σε ειδικές ασκήσεις ώστε να αντέξουν κατά τη διάρκεια της διάσωσης εντός της κάψουλας.

Το Raise-borer “Strata-950” του σχεδίου Α έχει φτάσει στα 516 m.

Το μηχάνημα “Schramm T-130” (σχέδιο Β) ξεπέρασε τα 300 m του τελικού διατρήματος.

Το γεωτρήπανο “RIG-421” (σχέδιο Γ) έχει διανοίξει 117 m.

30 Σεπτεμβρίου 2010 : Γίνονται επιτυχημένες δοκιμές κύλισης της κάψουλας εντός των αγωγών, ώστε όλα να είναι έτοιμα τη στιγμή της διάσωσης. Οι οικογένειες των 29 από τους 33 μεταλλωρύχους μηνύουν την εταιρεία San Esteban ζητώντας συνολικά 12 εκ. \$ ως αποζημίωση.

Τα 537 m έχει φτάσει το μηχάνημα του σχεδίου A.

Το “Schramm T-130” βρίσκεται στα 315 m.

Το “RIG-421” (σχέδιο Γ) έχει διανοίξει τα πρώτα 135 m της τελικής διατομής.

1 Οκτωβρίου 2010 : Το σχέδιο Β προχωράει με γρήγορους ρυθμούς και ο υπουργός εξόρυξης της Χιλής, Laurence Golborne, δηλώνει πως η απόπειρα να απεγκλωβιστούν οι μεταλλωρύχοι υπολογίζεται να γίνει στο δεύτερο μισό του Οκτωβρίου – πολύ νωρίτερα απ’ ότι είχε αρχικά εκτιμηθεί.

Στο σχέδιο Α, η διάτρηση της πιλοτικής σήραγγας έχει φτάσει στα 558 m.

Το μηχάνημα “Schramm T-130” (σχέδιο Β) βρίσκεται στα 335 m της δεύτερης φάσης.

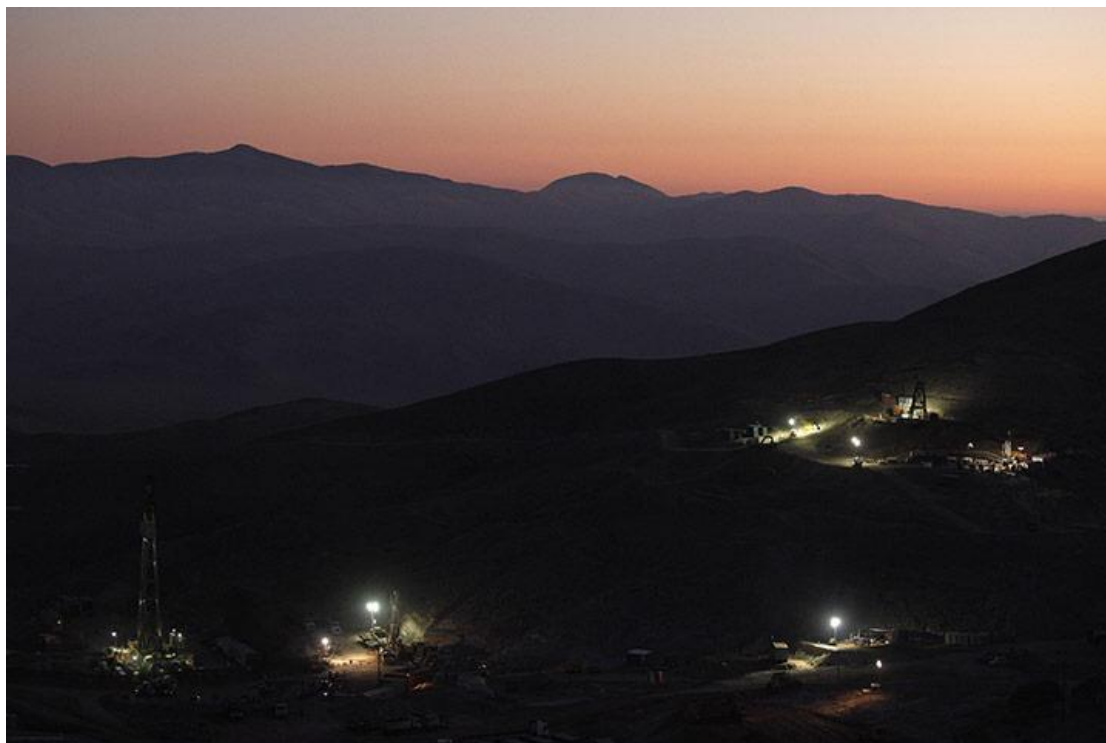
175 m έχουν διανοιχτεί από το “RIG-421” (σχέδιο Γ).

2 Οκτωβρίου 2010 : Τα 3 ενεργά πλάνα διάσωσης συνεχίζουν κανονικά τις εργασίες τους.

Το “Strata-950” του σχεδίου Α έχει φτάσει σε βάθος 575 m.

Το μηχάνημα “Schramm T-130” (σχέδιο Β) βρίσκεται στα 399 m του τελικού διατρήματος.

Το γεωτρύπανο “RIG-421” (σχέδιο Γ) έχει διανοίξει τα πρώτα 180 m της τελικής διατομής.



*Εικόνα 7.10. Τα τρία μηχανήματα σε πανοραμικό πλάνο την ώρα της δύσης του ηλίου.
(Πηγή : Διαδίκτυο)*

3 Οκτωβρίου 2010 : Αρχίζει το στήσιμο των δύο κτιρίων (πρώτων βοηθειών και συνάντησης με τα συγγενικά τους πρόσωπα) που θα φιλοξενήσουν τους 33 μεταλλωρύχους, αφού βγουν από το ορυχείο.

4 Οκτωβρίου 2010 : Μηχανικοί που συμμετέχουν στη διάσωση εκτιμούν ότι η επιχείρηση απεγκλωβισμού των μεταλλωρύχων ίσως λάβει χώρα στο τέλος της εβδομάδας. Ο υπεύθυνος φυσικής κατάστασης των μεταλλωρύχων, Jean Romagnoli, δηλώνει πως όλοι τους είναι ικανοί σωματικά και ψυχολογικά να αντέξουν τη δοκιμασία της ανέλκυσής τους από τα βάθη του ορυχείου στην επιφάνεια.

Τα 587 m έχει φτάσει το μηχάνημα του σχεδίου Α, όπου και έχει σταματήσει.

Το “Schramm T-130” βρίσκεται στα 450 m, όπου έγινε αντικατάσταση του σφυριού λόγω φθοράς.

Το “RIG-421” (σχέδιο Γ) έχει διανοίξει τα πρώτα 210 m της τελικής διατομής. Έγινε αλλαγή διατομής στις 17” ώστε να επανέλθει στη σωστή κατεύθυνση η διάτρηση, αφού εφαρμόζεται πλέον ένα εναλλακτικό σχέδιο προσέγγισης.

6 Οκτωβρίου 2010 : Δύο ακόμα κάψουλες διάσωσης καταφτάνουν στην περιοχή. Παρουσιάζεται η ομάδα των 16 ατόμων που θα συμμετέχουν στη τελική διαδικασία της διάσωσης των μεταλλωρύχων.

Στο σχέδιο Α, η διάτρηση της πιλοτικής σήραγγας έχει σταματήσει στα 587 m.

Το μηχάνημα “Schramm T-130” (σχέδιο Β) βρίσκεται στα 519 m της δεύτερης φάσης.

314 m έχουν διανοιχτεί από το “RIG-421” (σχέδιο Γ).



Εικόνα 7.11. Εικόνα από τη δοκιμαστική κύλιση της κάψουλας εντός των σωλήνων επένδυσης. (Πηγή : Διαδίκτυο)

7 Οκτωβρίου 2010 : Έγινε επιτυχημένη άσκηση διάσωσης. Το πρώτο σχέδιο έχει σταματήσει τις εργασίες του.

Το Raise-borer “Strata-950” του σχεδίου Α παραμένει στα 587 m.

Το μηχάνημα “Schramm T-130” (σχέδιο Β) έχει ξεπεράσει τα 535 m του τελικού διατρήματος και πλέον απομένουν λιγότερα από 100 m.

Το γεωτρύπανο “RIG-421” (σχέδιο Γ) έχει διανοίξει τα πρώτα 314 m της τελικής διατομής και παραμένει εκεί προσωρινά.

8 Οκτωβρίου 2010 : Λίγες ώρες απομένουν για το ξετρύπημα της γεώτρησης του σχεδίου Β. Κάποιες επιπλοκές στην υγεία δύο μεταλλωρύχων ξεπερνώνται και είναι πλέον έτοιμοι για τη διάσωση, κατά τη διάρκεια της οποίας κι έπειτα θα φορούν γυαλιά που θα τους προστατεύσουν από όλες τις επιβλαβείς ακτίνες του ηλίου.

Το “Strata-950” (σχέδιο Α) τέθηκε ξανά σε λειτουργία φτάνοντας τα 598 m.

Το μηχάνημα του σχεδίου Β ξεπέρασε τα 550 m, αλλά σταμάτησε για 20 ώρες ώστε να ενισχυθούν οι σφύρες στην κεφαλή του.

372 m έχουν διανοιχτεί από το “RIG-421” (σχέδιο Γ).

9 Οκτωβρίου 2010 : Το μηχάνημα “Schramm T-130” (σχέδιο Β) φτάνει στον προορισμό του έχοντας διανοίξει 624 m εντός 34 ημερών και σειρήνες ηχούν στην κατασκήνωση “Ελπίδα”. Αποφασίζεται πως ο πρώτος διασώστης που θα κατέβει στο ορυχείο θα είναι ο Manuel Gonzalez και ο πρώτος από τους μεταλλωρύχους που θα ανέβει στην επιφάνεια θα είναι ο Florencio Ávalos.

10 Οκτωβρίου 2010 : Η επένδυση των πρώτων 54 m της σήραγγας διαφυγής ολοκληρώνεται.



Εικόνα 7.12. Η χαλύβδινη επένδυση της σήραγγας διαφυγής. (Πηγή : Διαδίκτυο)

11 Οκτωβρίου 2010 : Δοκιμάζεται με επιτυχία η κάψουλα διάσωσης "Fénix 2" ώστε να διασφαλιστεί η ομαλή της κύλιση εντός της σήραγγας. Τα πρώτα 56 m έχουν επενδυθεί με χαλύβδινους αγωγούς, ενώ το υπόλοιπο μήκος έχει αφεθεί γυμνό. Εγκαθίσταται ο μηχανισμός ανέλκυσης της κάψουλας και ο Andres Sougarret, υπεύθυνος της διάσωσης των μεταλλωρύχων ανακοινώνει στα μέσα μαζικής ενημέρωσης ότι η διάσωση θα ξεκινήσει το ξημέρωμα της Τετάρτης.

Το σχέδιο Α έχει εγκαταλειφθεί.

Αποσύρεται το μηχάνημα "Schramm T-130" (σχέδιο Β) ώστε να γίνει η επένδυση της σήραγγας και να ξεκινήσει η διάσωση.

Το "RIG-421" (σχέδιο Γ) έχει διανοίξει 497 m από τα συνολικά 597 m.

12 Οκτωβρίου 2010 : Ο πρόεδρος της Χιλής ανακοινώνει ότι το ορυχείο θα παραμείνει κλειστό μέχρι να εξασφαλιστούν τα απαραίτητα μέτρα προστασίας της ζωής των μεταλλωρύχων. Στις 23:20 (τοπική ώρα Χιλής), ξεκινάει η επιχείρηση San Lorenzo.



Εικόνα 7.13. Οι μεταλλωρύχοι λίγες ώρες πριν τη διάσωσή τους. (Πηγή : Διαδίκτυο)

13 Οκτωβρίου 2010 : Ο Florencio Άναλος, είναι ο πρώτος από τους 33 μεταλλωρύχους που φτάνει στην επιφάνεια στις 0:11 (τοπική ώρα Χιλής). Αφού συναντηθούν με τους συγγενείς τους, οι μεταλλωρύχοι περνούν στο κτίριο περίθαλψης για τις πρώτες εξετάσεις κι έπειτα διακομίζονται στο νοσοκομείο. Η διάσωση συνεχίζεται κανονικά και στις 21:56 (τοπική ώρα Χιλής), τελευταίος ο Luis Urzua, ο αρχηγός της βάρδιας η οποία κράτησε 69 ημέρες αντί για 12 ώρες, βγαίνει από το ορυχείο (βλ. Εικόνα 37).



Εικόνα 7.14. Ο Luis Urzua φτάνει στην επιφάνεια και η επιχείρηση διάσωσης των 33 μεταλλωρύχων ολοκληρώνεται με επιτυχία. (Πηγή : Διαδίκτυο)

7.3. Αποτελέσματα ανάλυσης με διάγραμμα fault tree

Παρατίθενται τα αποτελέσματα της ανάλυσης με το πρόγραμμα OpenFTA :

7.3.1. Minimal Cut Sets

Tree : San Jose accident.fta

Method : Algebraic

No. of primary events = 8

Minimal cut set order = 1 to 8

Order 1:

Order 2:

Order 3:

Order 4:

- 1) Con_Fail Cor_Insp Lim_Budget_SE Min_Pres
- 2) Con_Fail Cor_Insp Min_Pres Neg_Resp
- 3) Con_Fail Fund_Inadeq Lim_Budget_SE Min_Pres
- 4) Con_Fail Fund_Inadeq Min_Pres Neg_Resp
- 5) Con_Fail Leg_Chile Lim_Budget_SE Min_Pres
- 6) Con_Fail Leg_Chile Min_Pres Neg_Resp
- 7) Cor_Insp Des_Fail Lim_Budget_SE Min_Pres
- 8) Cor_Insp Des_Fail Min_Pres Neg_Resp
- 9) Des_Fail Fund_Inadeq Lim_Budget_SE Min_Pres
- 10) Des_Fail Fund_Inadeq Min_Pres Neg_Resp
- 11) Des_Fail Leg_Chile Lim_Budget_SE Min_Pres

12) Des_Fail Leg_Chile Min_Pres Neg_Resp

Order 5:

Order 6:

Order 7:

Order 8:

Qualitative Importance Analysis:

Order	Number
1	0
2	0
3	0
4	12
5	0
6	0
7	0
8	0
ALL	12

7.3.2. Probabilities Analysis

Tree : San Jose accident.fta

Number of primary events = 8

Number of minimal cut sets = 12

Order of minimal cut sets = 8

Unit time span = 1.000000

Minimal cut set probabilities :

- 1 Con_Fail Cor_Insp 7.000000E-008
Lim_Budget_SE Min_Pres
- 2 Con_Fail Cor_Insp Min_Pres 7.000000E-007
Neg_Resp
- 3 Con_Fail Fund_Inadeq 7.000001E-006
Lim_Budget_SE Min_Pres
- 4 Con_Fail Fund_Inadeq Min_Pres 7.000000E-005
Neg_Resp
- 5 Con_Fail Leg_Chile 7.000001E-006
Lim_Budget_SE Min_Pres
- 6 Con_Fail Leg_Chile Min_Pres 7.000000E-005
Neg_Resp
- 7 Cor_Insp Des_Fail 7.000000E-008
Lim_Budget_SE Min_Pres
- 8 Cor_Insp Des_Fail Min_Pres 7.000000E-007
Neg_Resp
- 9 Des_Fail Fund_Inadeq 7.000001E-006
Lim_Budget_SE Min_Pres
- 10 Des_Fail Fund_Inadeq Min_Pres 7.000000E-005
Neg_Resp
- 11 Des_Fail Leg_Chile 7.000001E-006
Lim_Budget_SE Min_Pres
- 12 Des_Fail Leg_Chile Min_Pres 7.000000E-005
Neg_Resp

Probability of top level event (minimal cut sets up to order 8 used):

1 term +3.095400E-004 = 3.095400E-004 (upper bound)
2 terms -2.054338E-005 = 2.889966E-004 (lower bound)
3 terms +9.812153E-007 = 2.899778E-004 (upper bound)
4 terms -2.838781E-007 = 2.896940E-004 (lower bound)
5 terms +4.170593E-008 = 2.897357E-004 (upper bound)
6 terms -2.079418E-008 = 2.897149E-004 (lower bound)
7 terms +6.249590E-009 = 2.897212E-004 (upper bound)
8 terms -1.058399E-009 = 2.897201E-004 (lower bound)
9 terms +1.539999E-010 = 2.897203E-004 (upper bound)
10 terms -4.619996E-011 = 2.897202E-004 (lower bound)
11 terms +8.399999E-012 = 2.897202E-004 (upper bound)
12 terms -6.999999E-013 = 2.897202E-004 (lower bound)

Exact value: 2.897202E-004

Primary Event Analysis:

Event	Failure contrib.	Importance
Con_Fail	1.547700E-004	53.42%
Cor_Insp	1.540000E-006	0.53%
Des_Fail	1.547700E-004	53.42%
Fund_Inadeq	1.540000E-004	53.15%
Leg_Chile	1.540000E-004	53.15%

Lim_Budget_SE	2.814000E-005	9.71%
Min_Pres	3.095400E-004	106.84%
Neg_Resp	2.814000E-004	97.13%

7.3.3. Monte Carlo Simulation

Tree : San Jose accident.fta

Note: Only runs with at least one component failure are simulated

Number of primary events = 8

Number of tests = 10000

Unit Time span used = 1.000000

Number of system failures = 1

Probability of at least = 7.880078E-001 (exact)

one component failure

Probability of top event = 7.880078E-005 (+/- 7.880078E-005)

Rank	Failure mode	Failures	Estimated Probability	Importance
1	Des_Fail	1	7.880078E-005 (+/- 7.880078E-005)	100.00%
	Fund_Inadeq			
	Min_Pres Neg_Resp			

Compressed:

Rank	Failure mode	Failures	Estimated Probability	Importance
1	Des_Fail	1	7.880078E-005 (+/- 7.880078E-005)	100.00%
	Fund_Inadeq			
	Min_Pres Neg_Resp			

Primary Event Analysis:

Event	Failure contrib.	Importance
Con_Fail	0.000000E+000	0.00%
Cor_Insp	0.000000E+000	0.00%
Des_Fail	7.880078E-005	100.00%
Fund_Inadeq	7.880078E-005	100.00%
Leg_Chile	0.000000E+000	0.00%
Lim_Budget_SE	0.000000E+000	0.00%
Min_Pres	7.880078E-005	100.00%
Neg_Resp	7.880078E-005	100.00%