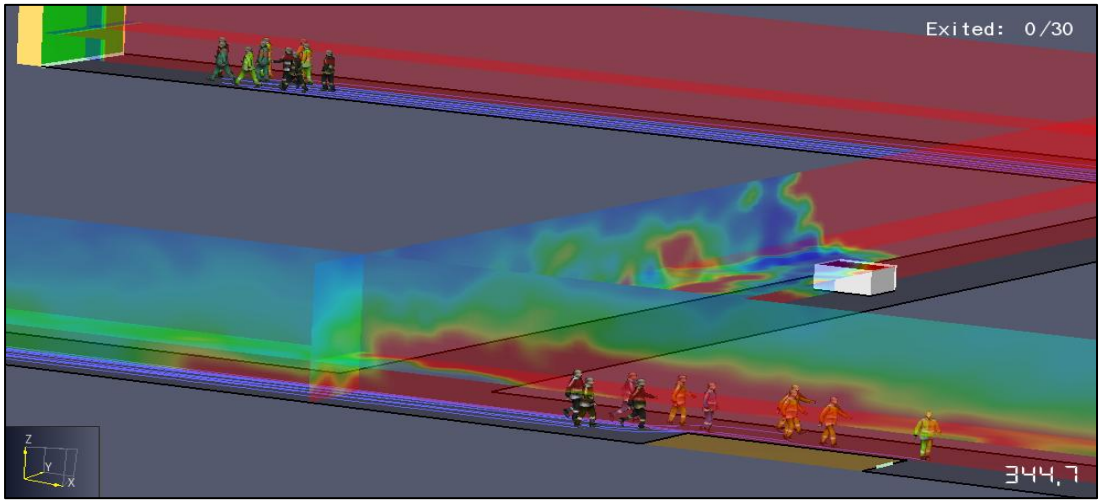
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΧΕΔΙΩΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ



Μελισσάρης Δημήτριος

Επιβλέπων: Επίκ. καθηγητής Δρ. Μπενάρδος Ανδρέας

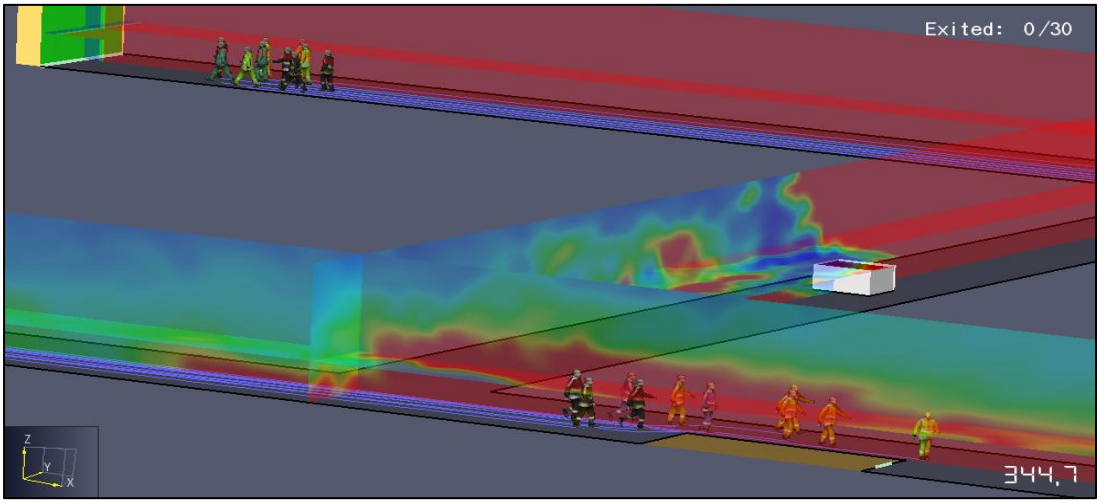
Αθήνα,

Μάρτιος, 2017

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΧΕΔΙΩΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ



Μελισσάρης Δημήτριος

Επιβλέπων: Επίκ. καθηγητής Δρ. Μπενάρδος Ανδρέας

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 14/03/2017

Α.Μπενάρδος, Επ.Καθ.ΕΜΠ

Μ.Μενεγάκη, Επ.Καθ.ΕΜΠ

Θ.Μιχαλακόπουλος, Αναπλ.Καθ.ΕΜΠ

Αθήνα,

Μάρτιος, 2017

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το θέμα της παρούσης διπλωματικής εργασίας, αφορά την ασφάλεια και την υγεία στις υπόγειες μεταλλευτικές εγκαταστάσεις. Πιο συγκεκριμένα, σκοπός ήταν να μελετηθεί και να διερευνηθεί το πλαίσιο βάσει του οποίου σχεδιάζονται και λειτουργούν οι εγκαταστάσεις αυτές, καθώς και να αξιολογηθεί η ασφάλεια ενός τέτοιου χώρου με την χρήση των προγραμμάτων PyroSim και Pathfinder της εταιρίας Thunderhead Engineering Consultants.inc. Με την χρήση των προγραμμάτων αυτών δόθηκε η δυνατότητα να εξεταστούν λεπτομερώς ενδεχόμενες καταστάσεις έκτακτης ανάγκης όπως αναλύονται παρακάτω.

Πρώτα απ’ όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Επίκουρο Καθηγητή κ. Ανδρέα Μπενάρδο, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια της δουλειάς μου. Επίσης, είμαι ευγνώμων στον Δρ. Αναστάσιο Καλλιανιώτη για όλη την καθοδήγηση που μου έδωσε για τα προγράμματα προσομοιώσεων καθώς και στην επίλυση πολλών προβλημάτων που προέκυψαν κατά την διάρκεια της μελέτης. Ακόμα ιδιαιτέρες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στους μηχανικούς της εταιρίας ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ Α.Ε. κ.κ. Μπαραφάκα Αθανάσιο και Χατζηευστρατίου Βασίλειο για την βοήθειά τους και την παροχή κρίσιμων στοιχείων που βοήθησαν στην διενέργεια της εργασίας. Ευχαριστώ επίσης την εταιρία Thunderhead Engineering Consultants.inc, η οποία προσέφερε δωρεάν τα προγράμματα προσομοιώσεων PyroSim και Pathfinder για την εκπόνηση της εργασίας αυτής. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την απαράμιλλη στήριξη και καθοδήγηση που μου έχουν δώσει καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η σημαντικότητα της ασφάλειας και της υγείας των εργαζομένων στις υπόγειες μεταλλευτικές εγκαταστάσεις έχει διαχρονικά αναδειχθεί εξαιτίας της επικινδυνότητας που είναι συνυφασμένη με την υπόγεια μεταλλευτική δραστηριότατα. Σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας αποτελεί η εξεύρεση κατάλληλων εργαλείων για την εμπεριστατωμένη αξιολόγηση της εκκένωσης των εργαζομένων καθώς και των αντιδράσεων τους στις καταστάσεις στις οποίες υποβάλλονται στην περίπτωση εκδήλωσης κατάστασης έκτακτης ανάγκης σε έναν υπόγειο μεταλλευτικό χώρο. Συνδυάζοντας την προϋπάρχουσα έρευνα για τις καταστάσεις αυτές καθώς και την νομοθεσία που αφορά στους υπόγειους μεταλλευτικούς χώρους στην Ελλάδα και διεθνώς, δημιουργήθηκαν σενάρια για την αξιολόγηση των συνθηκών ασφαλείας. Ως μελέτη περίπτωσης επιλέχτηκε τμήμα των υπογείων εγκαταστάσεων του μεταλλείου Μαύρων Πετρών της ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ Α.Ε. στο Στρατώνι Χαλκιδικής. Στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε επιλέχθηκαν κατάλληλα λογισμικά για την προσομοίωση πυρκαγιάς και εκκένωσης σε ένα τμήμα του υπόγειου μεταλλευτικού χώρου και αναλύθηκαν τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την αξιολόγηση της εκκένωσης και των ενεργειών που είναι συνυφασμένες με αυτήν. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει ένα πακέτο πληροφορίας κατάλληλο να αξιοποιηθεί όχι μόνο με σκοπό την εύρεση των κύριων παραμέτρων που επηρεάζουν τις καταστάσεις έκτακτης ανάγκης υπογείως αλλά και για εκπαιδευτικούς σκοπούς που αφορούν την ασφάλεια των εργαζομένων.

ABSTRACT

The importance of the safety and health of workers in underground mining facilities has emerged over time because of the risk inherent in the underground mining activities. The purpose of this thesis is to find suitable tools for a thorough evaluation of the evacuation of workers and their reactions to situations that they incur in case of an emergency in an underground mining area. Combining the existing research on these conditions and the regulations on underground mining areas in Greece and internationally, scenarios were created for the evaluation of safety conditions. As a case study a section of the underground facilities of the mine Mavres Petres of HELLAS GOLD S.A. in Stratoni of Chalkidiki was selected. In the survey conducted the appropriate software for fire simulation and evacuation were selected and tests were conducted in a section of the underground mining area and the results obtained were analyzed for the evaluation of evacuation and the actions inherent in it. Thereby resulting an information package suitable for use not only to find the main parameters that influence emergencies underground but also for educational purposes relating to the safety of workers.

Περιεχόμενα Σελίδες

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ 1
2. ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΣΧΕΔΙΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ 5
   2.1 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ Η.Π.Α. ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ 7
   2.2 ΤΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΣΩΣΕΙΣ 13
3. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ 18
   3.1 ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑ ΔΙΕΘΝΩΣ 20
   3.2 ΜΕΤΡΑ ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ 20
   3.3 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ 24
   3.4 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΥΤΟΔΙΑΣΩΣΗΣ (SELF-RESCUERS) 27
   3.5 ΚΑΤΑΦΥΓΙΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ (SAFE-HAVENS, REFUGE ALTERNATIVES) 31
   3.6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ 34
4. ΠΙΘΑΝΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ ΣΤΑ ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ 39
   4.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΔΥΝΗΤΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ 41
   4.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΕΚΤΑΚΤΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ 43
   4.3 ΣΤΑΔΙΑ ΤΗΣ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ 49
   4.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ 52
   4.5 ΤΥΠΟΙ ΕΚΚΈΝΩΣΗΣ 53
   4.6 ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ 55
   4.7 ΧΡΟΝΟΙ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ 56
5. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ 71
   5.1 PYROSIM ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ 77
   5.2 PATHFINDER ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ 79
   5.3 ΣΥΝΟΨΗ ΕΠΙΛΟΓΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ 80
6. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ 81
   6.1 ΣΤΟΧΟΙ 81
   6.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ 82

6.3 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΤΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΕΙΡΑΜΜΑΤΩΝ 91
7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 101
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 121
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 124
9. Παραρτημα 1 128
10. Παράρτημα 2 134

Πίνακας Πινάκων και Σχημάτων	Σελίδα
Σχήμα 1.1: Αριθμός απασχολούμενων εργαζομένων	1
Σχήμα 1.2: Θανατηφόρα και μη θανατηφόρα ατυχήματα ανά κλάδο απασχόλησης	2
Σχήμα 1.3: Ετήσιος κίνδυνος ατυχήματος από για εργαζόμενους σε διάφορους κλάδους	3
Σχήμα 2.1: Αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων για τον κλάδο των μεταλλικών και μη μεταλλικών πρώτων υλών στις Η.Π.Α	8
Σχήμα 2.2: Ποσοστό που καταλαμβάνουν τα μη θανατηφόρα ατυχήματα ανά κατηγορία εργασίας για τα έτη 2010-2014	9
Σχήμα 2.3.: Εξέλιξη θανατηφόρων ατυχημάτων σε Μεταλλεία-Λατομεία 1987-2013	10
Πίνακας 2.1: Δείκτης συχνότητας ατυχημάτων 2009-2015	11
Πίνακας 2.2.: Δείκτης σοβαρότητας ατυχημάτων 2009-2015	11
Πίνακας 2.3: Δείκτης θανατηφόρων ατυχημάτων 2009-2015	12
Πίνακας 2.4.: Δέκα σημαντικότερα ατυχήματα	14
Σχήμα 2.4.: Η πρωτότυπη κάψουλα διάσωσης Dahlbusch-Bombe	16
Σχήμα 2.5.: Φωτογραφία της εποχής με έναν διασωθέντα από το ατύχημα του 1963 εντός της κάψουλας Dahlbusch-Bombe	17
Πίνακας 3.1.: Μέσα πυρόσβεσης ανά κατηγορία	23
Πίνακας 3.2: Οριακές τιμές έκθεσης για το μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	25
Σχήμα 3.1: Φωτογραφία συσκευής αυτοδιάσωσης (self-rescuer)	28
Σχήμα 3.2.: Φωτογραφία καταφυγίου ασφαλείας (safe-haven)	31
Σχήμα 3.3:Διατομή παρόχου διαρροής(leaky-feeder system)	37
Σχήμα 3.4: Λειτουργία του συστήματος ΤΤΕ	37
Σχήμα 4.1:Τυπικά στάδια εξέλιξης μίας κρίσης	44
Πίνακας 4.1.: Περιεχόμενα σχεδίου έκτακτης ανάγκης	45
Σχήμα 4.2.: Στάδια διαδικασίας εκκένωσης	49
Σχήμα 4.3: Αποφάσεις που μπορεί να προβούν οι ένοικοι-χρήστες	55
Πίνακας 4.2.: Χρόνος ASET ανά περίπτωση ατυχήματος	57
Σχήμα 4.4: Χρόνος ASET, RSET και επιμέρους χρόνοι	60
Πίνακας 4.3: παράγοντες που επηρεάζουν τους συντελεστές του χρόνου	61

εκκένωσης RSET	
Πίνακας 4.4: Σύγκριση υπόγειων μεταλλευτικών και υπέργειων εγκαταστάσεων όσον αφορά κάποια χαρακτηριστικά της εκκένωσης	62
Πίνακας 4.5: χρόνοι tdet ανά κατηγορία συστήματος ανίχνευσης	63
Πίνακας 4.6: Χρόνοι tal ανά κατηγορία συναγερμού	64
Πίνακας 4.7: Ταχύτητα ενοίκων-χρηστών με ειδικές ανάγκες	68
Πίνακας 4.8: Επιρροή του καπνού στην ταχύτητα σε σχέση με την ορατότητα	69
Σχήμα 5.1: Προσομοίωση εκκένωσης με την χρήση του προγράμματος Pathfinder	71
Σχήμα 5.2: Προσομοίωση στο πρόγραμμα PyroSim για αίθουσα κινηματογράφου	73
Σχήμα 5.3: Τυπική εξέλιξη της θερμοκρασίας πλησίον της πυρκαγιάς σε οδικό τούνελ	73
Πίνακας 5.1: προγράμματα προσομοίωσης εκκένωσης και πυρκαγιάς	75
Σχήμα 5.4: Προσομοίωση εξέλιξης πυρκαγιάς σε αίθριο κτηρίου	76
Σχήμα 5.5:Προσομοίωση ανάπτυξης καπνού σε τούνελ	77
Σχήμα 6.1: Τοποθεσίες της Ελληνικός Χρυσός Α.Ε	83
Σχήμα 6.2:Σχέδιο έκτακτης ανάγκης Μεταλλείο Μαύρων Πετρών	84
Σχήμα 6.3:Χώρος μελέτης πυρκαγιάς και εκκένωσης	85
Σχήμα 6.4: Μοντέλο του χώρου προσομοίωσης	86
Σχήμα 6.5: Μεγέθυνση του μοντέλου του χώρου προσομοίωσης, κέντρο η θέση της εστίας της πυρκαγιάς, αριστερά καταφύγιο ασφαλείας	87
Σχήμα 6.6: Στοιχεία δικτύων-Meshes	88
Σχήμα 6.7: Meshes στοά Exploration +142	89
Σχήμα 6.8: Τοποθέτηση επιφανειών Slices	90
Σχήμα 6.9: Στοιχεία επιφάνειας πυρκαγιάς, ρυθμός έκλυσης θερμότητας ανά μονάδα επιφανείας, ρυθμός ανάπτυξης της ισχύος	92
Σχήμα 6.10: Στοιχεία χημικής σύνθεσης καυσίμου	93
Σχήμα 6.11: Στοιχεία παραπροϊόντων του καυσίμου	94
Πίνακας 6.1: Μετρήσεις ταχύτητας αέρα στα σημεία ενδιαφέροντος Q18 και Q19	95
Πίνακας 6.2: Σενάρια πειραμάτων αερισμού	96

Πίνακας 6.3: Σενάρια εκκένωσης	97
Πίνακας 6.4: Τα 9 σενάρια πειραμάτων	98
Σχήμα 6.12: Αναλωθής χρόνος για την προσομοίωση	99
Σχήμα 6.13: Αναλωθής χρόνος για την προσομοίωση	100
Πίνακας 7.1: Στοιχεία για την αξιολόγηση του χρόνου ASET	101
Σχήμα 7.1: Προφίλ ορατότητας στα 200 sec	103
Σχήμα 7.2: Προφίλ ορατότητας στα 600 sec	104
Σχήμα 7.3: Προφίλ ορατότητας στα 900 sec	105
Σχήμα 7.4: Προφίλ συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) στα 200 sec	107
Σχήμα 7.5: Προφίλ συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) στα 600 sec	108
Σχήμα 7.6: Προφίλ συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) στα 900 sec	109
Σχήμα 7.7: Προφίλ της θερμοκρασίας στα 200 sec	111
Σχήμα 7.8: Προφίλ της θερμοκρασίας στα 600 sec	112
Σχήμα 7.9: Προφίλ της θερμοκρασίας στα 900 sec	113
Σχήμα 7.10: συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα (CO) σενάριο αερισμού Π1 πλησίον του καταφυγίου ασφαλείας	115
Σχήμα 7.11: συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα (CO) σενάριο αερισμού Π3 πλησίον του καταφυγίου ασφαλείας	115
Σχήμα 7.12: Σενάριο εκκένωσης 1 ρυθμός ροής από τις επιλεγμένες εξόδους	116
Σχήμα 7.13: Σενάριο εκκένωσης 2 ρυθμός ροής από τις επιλεγμένες εξόδους	116
Σχήμα 7.14: Σενάριο εκκένωσης 3 ρυθμός ροής από τις επιλεγμένες εξόδους	117
Σχήμα 7.15:Οι θέσεις στα 225 sec της ομάδας 1 και της ομάδας 2	118
Σχήμα 7.16: Η θέση στα 330 sec της ομάδας 3	119
Πίνακας 7.2: Σύνολο χρόνων πειραματικών σεναρίων	120
Σχήμα Π2.1.:Μοντέλα προσομοίωσης εκκένωσης	135
Πίνακας Π2.1.: Υπόμνημα Σχήματος Π2.1	136

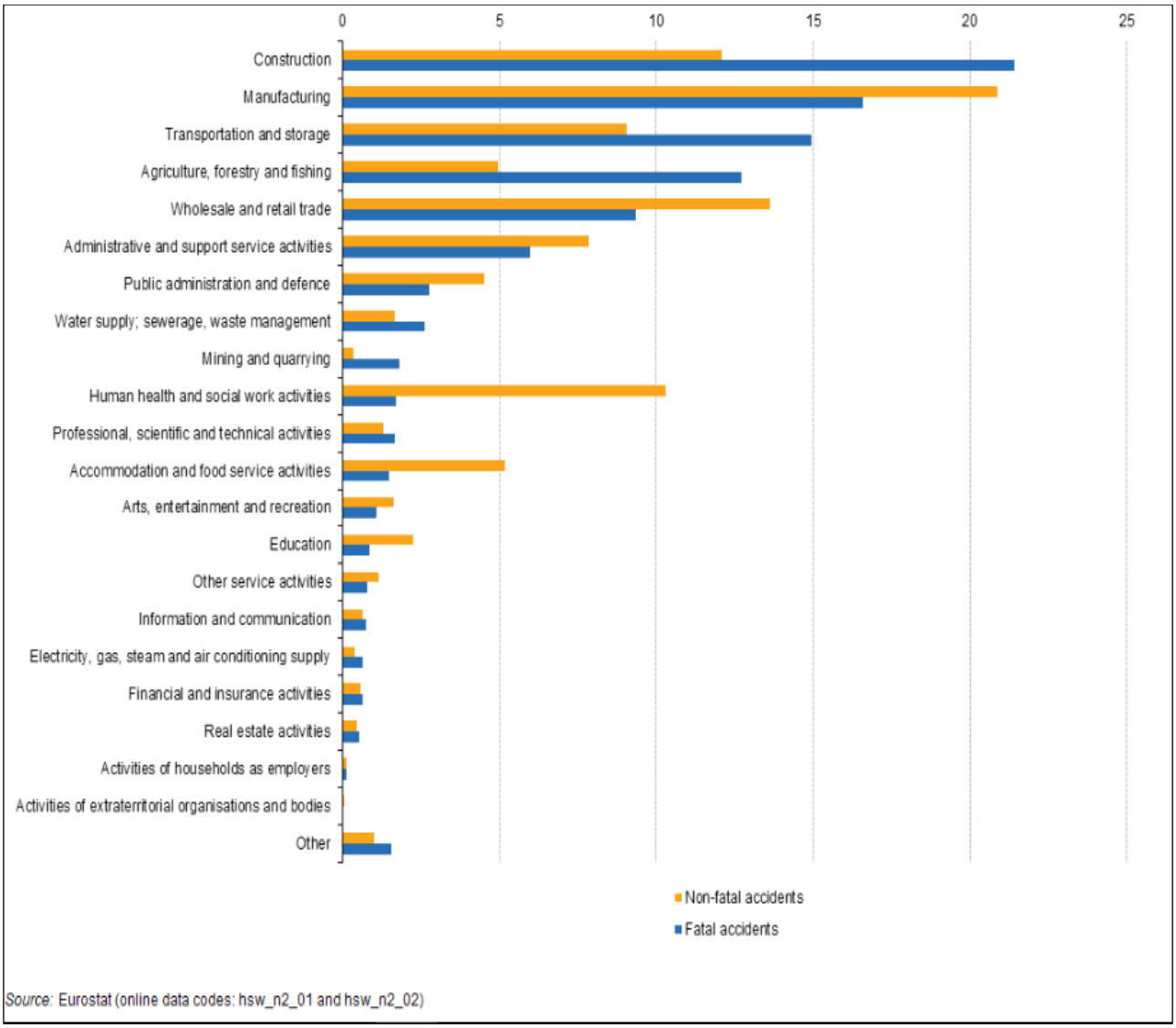
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αναγκαιότητα ύπαρξης μέτρων ασφαλείας και υποδομών για την διασφάλιση της ασφάλειας, καθώς και της υγείας των εργαζομένων στους υπόγειους μεταλλευτικούς χώρους έχει διαχρονικά αποδειχθεί εξαιτίας της επικινδυνότητας των συνθηκών που επικρατούν στους χώρους αυτούς. Η επικινδυνότητα αυτή αναδεικνύεται από τα στατιστικά στοιχεία της ευρωπαϊκής στατιστικής αρχής (Eurostat) στα οποία παρατίθενται ο αριθμός των εργαζομένων ανά κλάδο εργασίας στην ευρωπαϊκή ένωση Σχήμα 1.1 και το πλήθος των θανατηφόρων και μη θανατηφόρων ατυχημάτων ανά κλάδο εργασίας Σχήμα 1.2.

	Mining & quarrying	Manu-facturing	Electricity, gas, steam & air con. supply	Water supply, waste & remedia-tion	Con-struction	Distribu-tive trades	Transport & storage	Accommo-dation & food services	Informa-tion & communi-cation	Real estate activities	Profes-sional, scientific & technical activities	Admini-strative & support services	Repair: computer, personal & h'hold goods
EU-28	*583.4*	*29 700.0*	*1 216.3*	*1 500.0*	*12 238.1*	*32 451.0*	*10 521.3*	*10 398.9*	*6 076.5*	*2 742.2*	*11 713.5*	*13 514.6*	*390.4*
Belgium	2.7	514.3	20.2	27.3	314.1	621.3	215.0	173.9	126.0	63.6	274.0	352.2	5.3
Bulgaria	24.6	524.0	32.8	34.1	145.5	497.1	155.5	137.6	77.2	35.1	93.4	102.0	5.8
Czech Republic	33.0	1 212.5	33.5	53.5	376.4	706.7	262.9	161.3	116.6	61.3	248.3	206.9	13.9
Denmark	4.4	354.1	11.3	10.4	164.9	416.8	147.3	70.5	115.0	35.8	161.2	105.4	4.0
Germany	61.1	7 220.3	219.9	206.6	1 971.1	5 965.4	2 062.4	1 898.4	1 113.2	512.0	2 224.7	2 975.4	37.8
Estonia	5.1	104.6	5.2	3.3	44.2	88.0	37.8	20.8	19.9	10.5	26.1	34.4	0.9
Ireland (¹)	3.6	161.7	10.3	6.4	63.1	337.3	79.9	153.7	71.7	23.5	111.2	101.5	2.2
Greece	5.8	289.2	20.5	10.2	193.6	758.2	166.6	277.4	70.1	8.6	203.5	117.1	9.9
Spain	21.0	1 736.7	39.0	152.6	982.1	2 894.5	824.6	1 200.2	402.5	174.8	907.7	1 189.0	50.2
France	24.1	3 006.0	181.3	158.9	1 706.0	3 393.9	1 378.5	979.8	798.8	324.4	1 414.4	1 854.9	74.9
Croatia	13.8	261.7	15.5	23.2	106.2	228.6	77.2	92.1	38.0	10.8	79.9	45.6	4.0
Italy	31.2	3 733.7	87.9	182.6	1 445.5	3 381.3	1 059.7	1 308.6	542.1	299.1	1 173.8	1 118.0	44.3
Cyprus (²)	0.6	28.8	2.5	1.7	21.3	59.8	17.9	35.2	9.0	1.4	20.4	8.7	0.4
Latvia	3.1	120.8	11.1	7.6	61.2	151.3	74.9	29.8	24.2	29.0	38.8	30.5	2.0
Lithuania	2.6	197.9	13.8	13.0	96.8	245.5	108.7	39.4	26.4	20.5	53.5	48.2	3.1
Luxembourg	0.3	33.6	1.4	1.2	41.1	49.0	19.8	18.6	16.4	3.6	30.2	28.0	0.3
Hungary	4.3	664.7	24.6	40.0	187.9	548.0	216.3	125.1	110.5	64.1	203.3	194.4	10.6
Malta	:	:	:	:	10.2	29.8	9.9	17.2	6.2	1.3	10.3	12.3	0.3
Netherlands	10.4	681.6	27.1	32.8	450.1	1 464.1	409.0	403.1	267.7	78.7	634.4	872.0	13.0
Austria	6.1	617.4	29.4	20.0	283.2	645.4	206.8	284.3	105.3	54.7	236.3	214.2	4.0
Poland	171.5	2 347.5	140.0	127.6	830.7	2 152.2	720.8	233.8	289.2	171.4	537.7	450.2	32.9
Portugal	9.6	637.4	8.9	29.9	307.9	723.5	147.8	265.7	82.7	45.3	211.4	375.7	8.0
Romania	51.8	1 166.3	77.4	87.8	378.3	899.6	337.5	157.7	149.9	45.2	197.0	276.3	10.8
Slovenia	2.4	188.8	8.9	9.8	60.9	113.1	43.4	33.7	24.0	4.9	54.7	27.7	1.6
Slovakia	7.4	440.5	17.9	21.8	144.5	333.9	121.9	57.7	53.0	20.2	104.0	74.7	4.3
Finland	6.5	352.0	13.7	7.9	190.2	303.0	148.0	68.9	90.2	21.6	118.6	139.9	3.9
Sweden	10.9	635.8	31.3	20.0	353.6	649.7	270.0	181.6	208.2	81.1	292.2	288.0	5.4
United Kingdom	65.6	2 482.9	129.5	164.7	1 301.5	4 803.2	1 205.1	1 972.8	1 118.4	539.8	2 055.3	2 271.5	36.4
Norway	70.0	235.4	15.9	8.0	218.5	366.8	153.4	92.8	90.7	27.0	128.2	131.1	2.4
Switzerland	4.4	685.8	28.7	13.5	317.0	592.0	209.5	211.2	134.9	35.5	270.9	238.3	2.7
Bosnia and Herzegovina (³)	*19.9*	*120.9*	*17.3*	*13.0*	*35.0*	*104.1*	*31.7*	*7.1*	*18.7*	*2.3*	:	*9.0*	*0.6*

(¹) Construction and repair of computer, personal and household goods: 2011.
(²) Mining and quarrying and electricity, gas, steam and air conditioning supply: 2010.
(³) 2012.

Σχήμα 1.1: Αριθμός απασχολούμενων εργαζομένων (σε χιλιάδες), (Eurostat, 2016)



Σχήμα 1.2:Θανατηφόρα και μη θανατηφόρα ατυχήματα ανά κλάδο απασχόλησης (Eurostat, 2016)

Industry sector	Annual risk	Annual risk per million	Basis of risk and source
Fatalities to employees	1 in 125 000	8	GB 1996/97 to 2000/01*
Fatalities to the self-employed	1 in 50 000	20	GB 1996/97 to 2000/01*
Mining and quarrying of energy producing materials	1 in 9 200	109	GB 1996/97 to 2000/01*
Construction	1 in 17 000	59	GB 1996/97 to 2000/01*
Extractive and utility supply industries	1 in 20 000	50	GB 1996/97 to 2000/01*
Agriculture, hunting, forestry and fishing (not sea fishing)	1 in 17 200	58	GB 1996/97 to 2000/01*
Manufacture of basic metals and fabricated metal products	1 in 34 000	29	GB 1996/97 to 2000/01*
Manufacturing industry	1 in 77 000	13	GB 1996/97 to 2000/01*
Manufacture of electrical and optical equipment	1 in 500 000	2	GB 1996/97 to 2000/01*
Service industry	1 in 333 000	3	GB 1996/97 to 2000/01*

Σχήμα 1.3:Ετήσιος κίνδυνος ατυχήματος από για εργαζόμενους σε διάφορους κλάδους της αγοράς, (HSE, 2001)

Από τα παραπάνω στοιχεία μπορούμε να συμπεράνουμε ότι, παρά το γεγονός ότι στον κλάδο της μεταλλευτικής απασχολούνται συνολικά 583.400 άτομα στην Ευρώπη των 28 αποτελώντας έναν μικρό σχετικά κλάδο (κατασκευαστικός κλάδος: 12.236.100 άτομα) κατέχει ποσοστό 2% των συνολικών θανατηφόρων ατυχημάτων. Τέλος από τα στοιχεία της επιτροπής υγείας και ασφάλειας του Ηνωμένου Βασιλείου Σχήμα 1.3., η επικινδυνότητα στους κλάδους της εξορυκτικής βιομηχανίας και των κατασκευαστικών έργων καταλαμβάνουν τις πρώτες θέσεις. (REDUCING RISKS, PROTECTING PEOPLE HSE, 2001)

Στην περίπτωση των υπόγειων μεταλλευτικών εγκαταστάσεων οι κίνδυνοι από το περιβάλλον εργασίας, τον βαρύ εξοπλισμό και τις διεργασίες, όπου εκτελούνται είναι δύσκολο να προληφθούν στο σύνολο τους. Γι αυτόν τον λόγο δίνεται μεγάλη έμφαση στην συνεχή εκπαίδευση των εργαζομένων για τις υπόγειες εγκαταστάσεις, στην ύπαρξη προληπτικών σχεδίων έκτακτης ανάγκης, καθώς και στον έλεγχο πληθώρας παραμέτρων εντός των υπόγειων μεταλλευτικών εγκαταστάσεων.

Όταν ζητείται από έναν μηχανικό στην Ελλάδα, να εκπονήσει ένα σχέδιο έκτακτης ανάγκης για υπόγειους μεταλλευτικούς χώρους, οι κύριες οδηγίες και προδιαγραφές που πρέπει να πληροί το σχέδιο αυτό βρίσκονται εντός του Κανονισμού Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών (Κ.Μ.Λ.Ε.), καθώς και παραπομπών εντός του σε άλλες κοινές υπουργικές αποφάσεις. Παρόλα αυτά συναντάται δυσκολία στην εκπόνηση ενός τέτοιου σχεδίου ασφαλείας για τους υπόγειους μεταλλευτικούς χώρους. Αυτό οφείλεται στην πληθώρα κινδύνων που υπάρχουν, στις σύνθετες εγκαταστάσεις και τη δυναμική ενός υπόγειου μεταλλείου καθ' όλη την διάρκεια λειτουργίας του. Συνοψίζοντας, η μεγάλη επικινδυνότητα των μεταλλευτικών χώρων και οι απρόβλεπτοι κίνδυνοι που μπορεί να προκύψουν σε έναν υπόγειο μεταλλευτικό χώρο ενισχύουν την σημασία εκπόνησης σχεδίων έκτακτης ανάγκης.

2. ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΣΧΕΔΙΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ

Προτού αναγνωρισθούν οι κίνδυνοι και οι τρόποι με τους οποίους μπορούν να περιορίζονται και να καταστέλλονται οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης σε έναν υπόγειο μεταλλευτικό χώρο, είναι αναγκαίο να εξεταστούν οι λόγοι για τους οποίους ο εκ των προτέρων σχεδιασμός της εκκένωσης σε τέτοιους επισφαλείς χώρους είναι απαραίτητος.

Αρχικά οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης είναι καταστάσεις οι οποίες είναι δύσκολο να προβλευθούν και να κατασταλούν, ιδιαίτερα λόγω της φύσης των υπόγειων μεταλλευτικών εγκαταστάσεων. Σε αυτού του τύπου εγκαταστάσεις, δηλαδή την βαριά βιομηχανική δραστηριότητα της εξόρυξης πρώτων υλών, οι συνθήκες εργασίας είναι ιδιαιτέρες, ενώ παράλληλα όλες οι δραστηριότητες αυτές είναι συνδεδεμένες με την αβεβαιότητα των γεωτεχνικών συνθηκών. Πιο συγκεκριμένα, ένας τέτοιος χώρος σε αντίθεση με ένα κτήριο, είναι ένα τεχνητό περιβάλλον, όπου ο αερισμός και ο φωτισμός είναι τεχνητοί, ενώ παράλληλα η αίσθηση του προσανατολισμού είναι μειωμένη. Επίσης είναι σαφές ότι, μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης σε έναν υπόγειο μεταλλευτικό χώρο μπορεί να καταστήσει αδύνατη την υποστήριξη της ζωής (αερισμός, άντληση υδάτων) υπογείως ακόμα και με την ύπαρξη του εξοπλισμού για την δημιουργία κατάλληλου περιβάλλοντος. Στην περίπτωση αυτή η λύση για την προστασία των εργαζομένων βρίσκεται στην άμεση και αποτελεσματική εκκένωση των υπόγειων μεταλλευτικών εγκαταστάσεων.

Στην Ελλάδα, η νομοθεσία που καλύπτει τις καταστάσεις έκτακτης ανάγκης σε μεταλλευτικές εγκαταστάσεις εμπεριέχεται εντός του Κ.Μ.Λ.Ε.. Στο άρθρο 4 όπου, αναφέρονται οι γενικές υποχρεώσεις του εκμεταλλευτή και πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά τις καταστάσεις έκτακτης ανάγκης στην παράγραφο 2.γ. επισημαίνεται η υποχρέωση του να ετοιμάζει ένα σχέδιο έκτακτης ανάγκης ειδικό για κάθε έργο για την αντιμετώπιση λογικά προβλέψιμων βιομηχανικών και φυσικών καταστροφών, καθώς και τα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται για την ασφάλεια και την υγεία των εργαζομένων.

Σύμφωνα με την εκδοθείσα οδηγία για την διαμόρφωση ενός κατανοητού εγχειριδίου για τον σχεδιασμό των μέτρων ετοιμότητας έκτακτων καταστάσεων σε υπόγειες μεταλλευτικές επιχειρήσεις, η υπηρεσία αρμόδια για την υγεία, την ασφάλεια και την εκπαίδευση των μεταλλωρύχων, της Δυτικής Βιρτζίνια καθώς και το πανεπιστήμιο της Δυτικής Βιρτζίνια (West Virginia office of Miners Health and Safety and training, 2008), συνοψίζουν τις επιπτώσεις των έκτακτων καταστάσεων μείζονος σημασίας και τα οφέλη του σχεδιασμού μέτρων ετοιμότητας, ως εξής:

Οι επιπτώσεις είναι:

1. Αυξανόμενη πολυπλοκότητα συντονισμού όλων των ανθρώπινων και μη πόρων σε τέτοιες καταστάσεις.
2. Δημιουργία σύγχυσης και αδυναμία λήψης δράσεων.
3. Πληθώρα ενεργειών που είναι αναγκαίο να εκτελεστούν άμεσα.

Τα οφέλη σχεδιασμού μέτρων ετοιμότητας είναι:

1. Άρση της σύγχυσης που δημιουργείται.
2. Μείωση των επιπτώσεων της κατάστασης εξαιτίας την αμεσότερης λήψης αποφάσεων.
3. Αξιολόγηση των κινδύνων, της ανάληψης ρίσκου και των απαραίτητων μέτρων για προστασία της ασφάλειας και της υγείας των εργαζομένων.
4. Αποτροπή ύπαρξης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης.

2.1 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ Η.Π.Α. ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Σύμφωνα με το γραφείο απασχόλησης και στατιστικής των Η.Π.Α. (Mine Safety and Health Administration-MSHA), αναφέρονται διαχρονικά οι τάσεις των ατυχημάτων στην μεταλλευτική αγορά των Η.Π.Α. ενώ παράλληλα παρουσιάζονται οι χρονιές και δεκαετίες, όπου επιτεύχθηκαν σημαντικές απώλειες καθώς και βελτιώσεις.

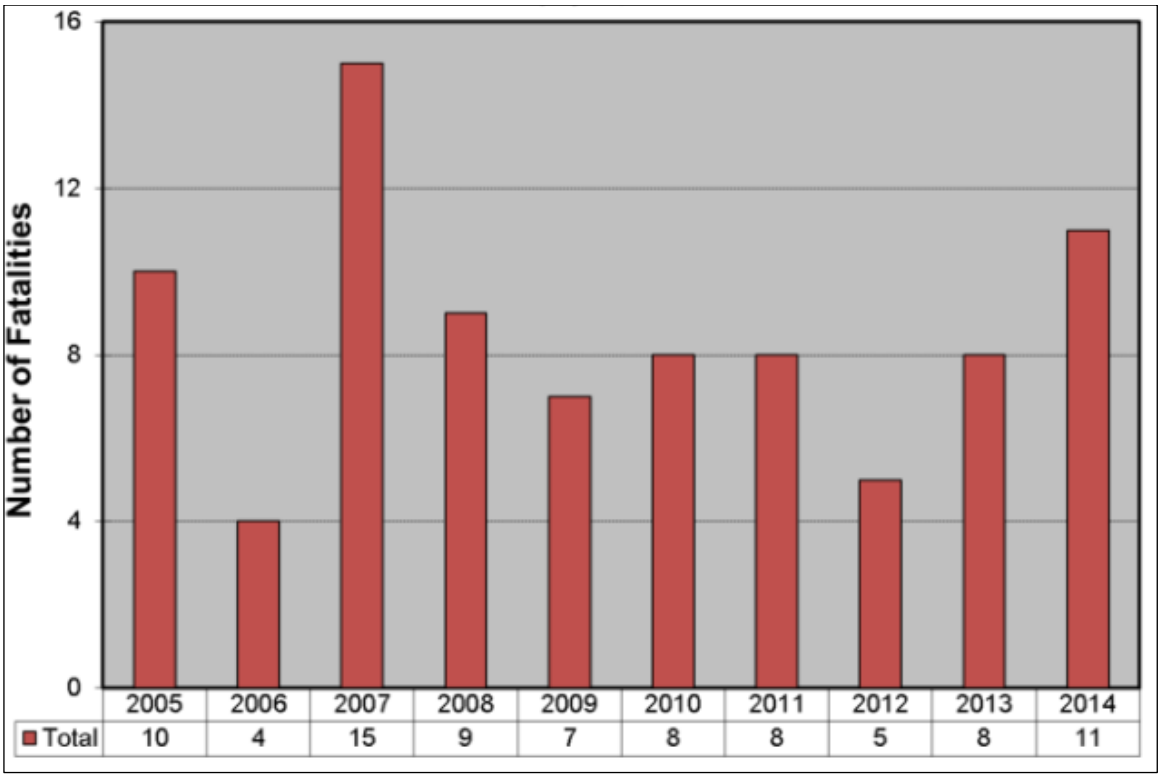
Από τις νεότερες ημέρες της μεταλλευτικής, η δουλεία του σκαψίματος για άνθρακα και άλλα χρήσιμα ορυκτά από την γη έχει θεωρηθεί μία από τις πιο επικίνδυνες του κόσμου. Κατά τον 20^{ο} αιώνα η δημόσια ανησυχία για το αντίκτυπο των θανάτων, των τραυματισμών και των καταστροφών στα μεταλλευτικά ατυχήματα έδειξαν τον δρόμο προς την απαραίτητη νομοθεσία για την ασφάλεια, καθώς ενέτεινε και την έρευνα για ασφαλέστερες μεθόδους και βελτίωσε τις πρακτικές της εκπαίδευσης και την τεχνολογία.

Σήμερα η νομοθεσία για την ασφάλεια και υγεία στα μεταλλεία και η πρόοδος της τεχνολογίας και της εκπαίδευσης, έχουν μειώσει, σε σχέση με παλαιότερα, τα υψηλά επίπεδα σε θανάτους στα μεταλλεία. Παρόλα αυτά οποιοσδήποτε θάνατος ή τραυματισμός είναι ακόμα απαράδεκτος.

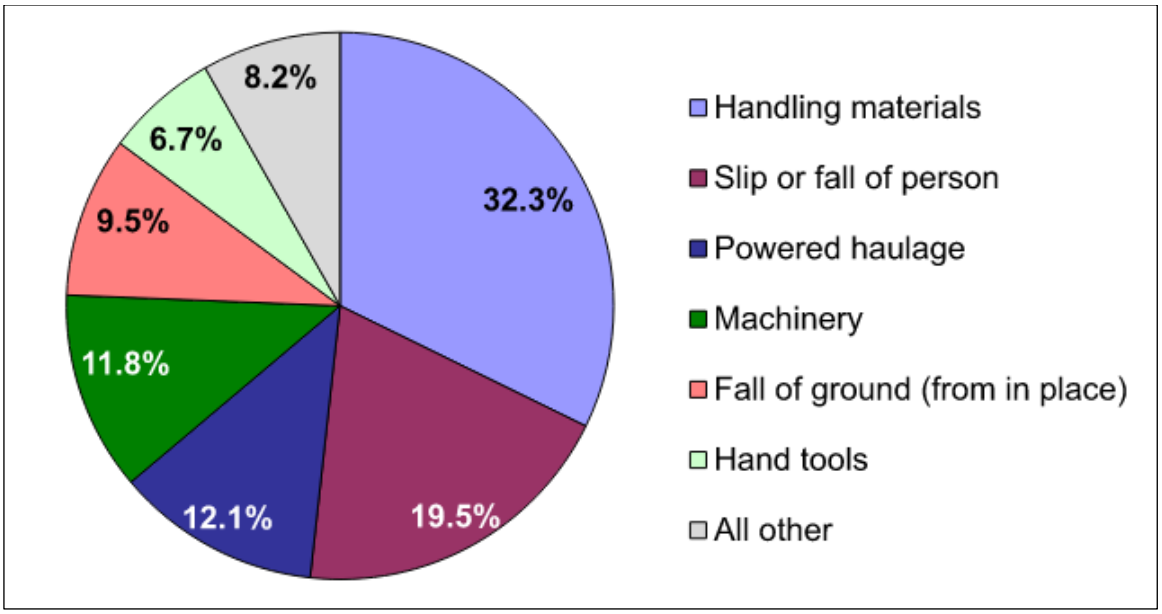
Από το 1880 έως το 1910, οι εκρήξεις στα μεταλλεία και άλλα ατυχήματα ήταν υπεύθυνα για χιλιάδες θύματα. Το πιο θανατηφόρο έτος στην ιστορία της αμερικάνικης εξόρυξης ανθράκων, ήταν το 1907, όταν υπήρξαν σύμφωνα με υπολογισμούς 3,242 θάνατοι. Εκείνον τον χρόνο η χειρότερη έκρηξη σε μεταλλείο πήρε τις ζωές 358 ανθρώπων κοντά στην περιοχή Μόνονγκαχ. Από την άλλη μεριά τα μεταλλεία μεταλλικών και μη μεταλλικών-μη ανθρακούχων κοιτασμάτων ήταν λιγότερο θανατηφόρα. Διαθέσιμα στοιχεία για αυτήν την εποχή υποδεικνύουν ότι και αυτή είχε υψηλά επίπεδα κινδύνου. Φωτιές, εκρήξεις και καταπτώσεις οροφής, ήταν η αιτία πολλών θανάτων και τραυματισμών. Ένα από τα πιο θανατηφόρα ατυχήματα για μη

ανθρακούχα μεταλλεία αφορά μια φωτιά σε ένα μεταλλείο στην Μοντάνα, που σκότωσε 163 μεταλλωρύχους το 1917 (Mine Safety and Health Administration-MSHA).

Ένα κριτήριο, που εντείνει την σημασία της πρόβλεψης για σχέδια έκτακτης ανάγκης αποτελούν τα ατυχήματα, θανατηφόρα και μη που προκύπτουν εξαιτίας των συνθηκών εργασίας. Η διακύμανση των δεικτών αυτών υποδεικνύει την κατάσταση την οποία βρίσκεται ο κλάδος των μεταλλευτικών επιχειρήσεων, όσον αφορά την λήψη μέσων προστασίας, τον τρόπο σχεδίασης της ανταπόκρισης σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και την επάρκεια σε μέσα ατομικής προστασίας. Στα σχήματα που παρατίθενται παρακάτω φαίνεται η εξέλιξη των θανατηφόρων ατυχημάτων για τα υπόγεια μεταλλεία (Σχήμα 2.1), καθώς και το ποσοστό που καταλαμβάνουν τα μη θανατηφόρα ατυχήματα ανά κατηγορία εργασίας (Σχήμα 2.2).

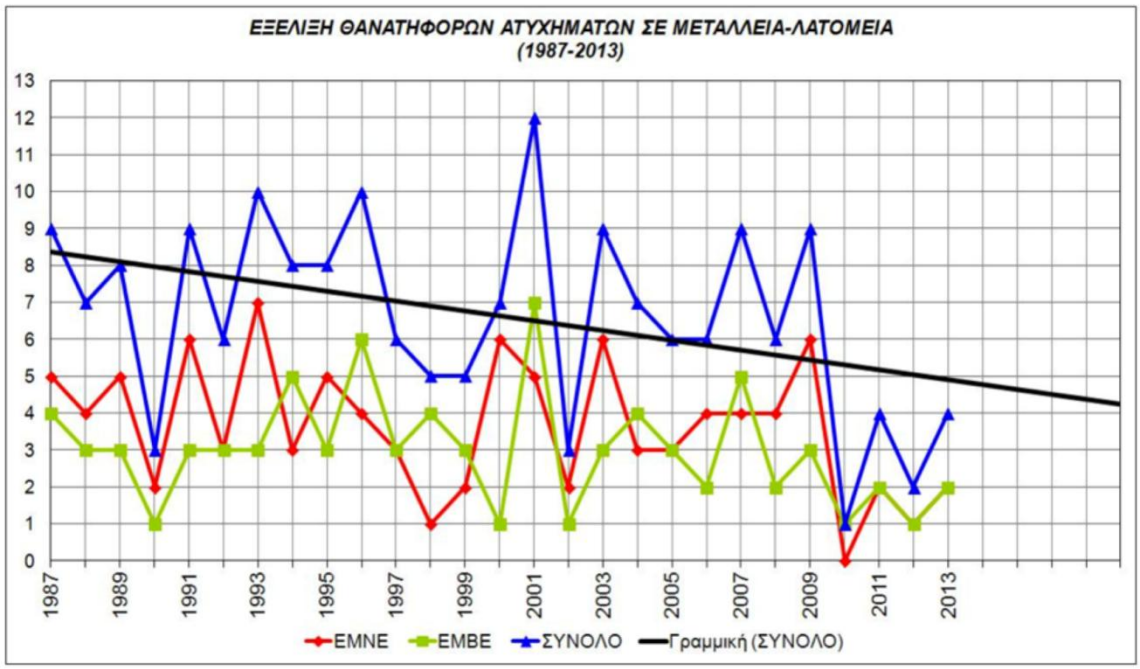


Σχήμα 2.1: Αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων για τον κλάδο των μεταλλικών και μη μεταλλικών πρώτων υλών στις Η.Π.Α. 2005-2015 (CDC,2014)



Σχήμα 2.2: Ποσοστό που καταλαμβάνουν τα μη θανατηφόρα ατυχήματα ανά κατηγορία εργασίας για τα έτη 2010-2014(CDC,2014)

Στο Σχήμα 2.3 παρατηρείται η τάση που έχουν ακολουθήσει τα θανατηφόρα ατυχήματα από το 1987 έως το 2013, στην Ελλάδα. Τα ατυχήματα διαχωρίζονται χρωματικά ανάλογα με την περιοχή όπου πραγματοποιήθηκε το συμβάν, με πράσινη γραμμή από την επιθεώρηση μεταλλείων Βορείου Ελλάδος και με κόκκινη γραμμή από την επιθεώρηση μεταλλείων Νοτίου Ελλάδος. Με μαύρη γραμμή είναι αποτυπωμένη η υπολογισθείσα τάση απωλειών πέντε ετών.



Σχήμα 2.3.: Εξέλιξη θανατηφόρων ατυχημάτων σε Μεταλλεία-Λατομεία 1987-2013, πηγή (www.latomet.gr)

Παρακάτω παρατίθενται τα στατιστικά στοιχεία του Συνδέσμου Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων για τους δείκτες συχνότητας (Πίνακας 2.1), σοβαρότητας και θανατηφόρων ατυχημάτων για την περίοδο 2009-2015(Πίνακας 2.2) και ο πίνακας του δείκτη ατυχημάτων (Πίνακας 2.3),(ΣΜΕ, 2015). Για να γίνονται κατανοητά τα στατιστικά στοιχεία που παρατίθεται στην συνέχεια είναι αναγκαίο να ορίσουμε τους παρακάτω δείκτες.

1) $\textit{Δείκτης Συχνότητας ατυχημάτων} = \frac{\textit{Αριθμός Ατυχημάτων} x 10^6}{\textit{Σύνολο ωρών έκθεσης στην εργασία}}$

2) $\textit{Δείκτης Σοβαρότητας ατυχημάτων} = \frac{\textit{Χαμένες ημέρες} \times 10^6}{\textit{Σύνολο ωρών έκθεσης στην εργασία}}$

3) $\textit{Δείκτης Ατυχημάτων} = \frac{\textit{Αριθμός ατυχημάτων} \times 10^6}{\textit{Ετήσια παραγωγή σε τόνους}}$

Πίνακας 2.1: Δείκτης συχνότητας ατυχημάτων 2009-2015 (ΣΜΕ, 2015)

ΕΤΟΣ	ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ
2009	**6,39**
2010	**5,067**
2011	**6,15**
2012	**5,48**
2013	**4,56**
2014	**5,14**
2015	**5,11**

Πίνακας 2.2.: Δείκτης σοβαρότητας ατυχημάτων 2009-2015 (ΣΜΕ, 2015)

ΕΤΟΣ	ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑΣ
2009	**158,34**
2010	**133,106**
2011	**127,17**
2012	**137,59**
2013	**130,86**
2014	**141,77**
2015	**181,64**

Πίνακας 2.3: Δείκτης θανατηφόρων ατυχημάτων 2009-2015 (ΣΜΕ, 2015)

ΕΤΟΣ	ΔΕΙΚΤΗΣ ΘΑΝΑΤΗΦΟΡΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ
2009	**1/2533**
2010	**0**
2011	**1/3955**
2012	**1/6009**
2013	**1/4149**
2014	**1/2567**
2015	**1/4426**

2.2 ΤΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΣΩΣΕΙΣ

Όπως αναφέρει στην διπλωματική του εργασία για την «Ανάλυση ατυχήματος στο ορυχείο San José-Χιλή», (Σαραντινός, 2011), για τα μεταλλευτικά ατυχήματα κάποιες από τις αιτίες των μεταλλευτικών ατυχημάτων είναι:

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

Αν και οι κίνδυνοι στα ανθρακωρυχεία, όσον αφορά την περίπτωση εμφάνισης φωτιάς είναι σαφώς μεγαλύτεροι συγκριτικά με αυτούς σε μεταλλεία μεταλλικών μη ανθρακούχων κοιτασμάτων, έχουν ωθήσει τους οργανισμούς που είναι υπεύθυνοι για την ασφάλεια και υγεία να υιοθετήσουν μέτρα για τον περιορισμό της πιθανότητας πυρκαγιάς στους υπόγειους μεταλλευτικούς χώρους. Παρόλα αυτά εξαιτίας της σοβαρότητας των ατυχημάτων στα ορυχεία ανθράκων, οι προδιαγραφές για την ασφάλεια και την υγεία στους υπόγειους μεταλλευτικούς χώρους έχουν την τάση να γίνονται όλο και πιο αυστηρές και να υπάρχει μια συνεχής τάση προς βελτίωση.

Σύμφωνα με τα στοιχεία που παραθέτει ο Σαραντινός, Ι , τα δέκα πιο σημαντικά ατυχήματα σε μεταλλεία και λιγνιτωρυχεία παγκοσμίως βάσει του αριθμού ζωών που χάθηκαν παραθέτονται στον παρακάτω πίνακα χρονολογικά (Πίνακας 2.4).

Πίνακας 2.4.: Δέκα σημαντικότερα ατυχήματα (Σαραντινός, 2011)

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΕΤΟΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΝΕΚΡΩΝ
Ορυχείο Courrières, Γαλλία	1906	1.099 νεκροί
Ανθρακωρυχείο Senghenydd, Ουαλία	1913	439 νεκροί
Ανθρακωρυχείο New Yubari, Yubari, Hokkaidō, Ιαπωνία	1914	422 νεκροί
Ανθρακωρυχείο Mitsubishi Hojyo, Kyūshū, Ιαπωνία	1914	687 νεκροί
Ανθρακωρυχείο Benxihu (Honkeiko), Κίνα	1942	1.549 νεκροί
Ανθρακωρυχείο Zeche Monopol Schacht Grimberg 3/4, Bergkamen, Δυτική Γερμανία	1946	405 νεκροί
Ανθρακωρυχείο Laobaidong, Datong, Κίνα	1960	682 νεκροί
Ορυχείο Coalbrook, Clydesdale, Νότια Αφρική	1960	437 νεκροί
Ανθρακωρυχείο Mitsui Miike, Omuta, Ιαπωνία	1963	438 νεκροί
Ανθρακωρυχείο Wankie, Ροδεσία (σημερινή. Ζιμπάμπουε)	1972	472 νεκροί

Διαχρονικά ο κλάδος της μεταλλευτικής και γενικότερα των εξορύξεων έχει αποδειχθεί ότι αποτελεί έναν από τους πλέον επισφαλείς. Παρόλα αυτά αν και κατά την αρχή του 20^{ου} αιώνα το πλήθος και η σοβαρότητα των ατυχημάτων ήταν πολύ μεγαλύτερος από ότι παρατηρήθηκε κατά τις δεκαετίες του 1990 και κατά τον 21^{ο} αιώνα είναι αναγκαίο να τονίσουμε ότι εξαρτάται περισσότερο από τις νομικές και τεχνικές προϋποθέσεις που θέτει το κάθε κράτος παρά από την πρόοδο της τεχνολογίας. Ειδικότερα με την υιοθέτηση, εφαρμογή και ανανέωση κατά τακτά χρονικά διαστήματα των προδιαγραφών που πρέπει να ικανοποιούν οι δραστηριότητες μειώνεται ο αριθμός των θανατηφόρων ατυχημάτων σε πολύ μεγάλο βαθμό.

Τα τελευταία χρόνια έχουν παρατηρηθεί διάφορα μικρής και μεγάλης κλίμακας ατυχήματα σε μεταλλευτικές επιχειρήσεις ανά τον κόσμο όπως για παράδειγμα το ατύχημα που συνέβη στο ορυχείο Σάγκο στην επαρχία Ούψχουρ της δυτικής Βιρτζίνια στις Η.Π.Α. στις 2 Ιανουαρίου του 2006, το οποίο οφειλόταν σε μια έκρηξη εντός του ορυχείου. Ακόμα στις 5 Απριλίου του 2010 πάλι σε ένα ανθρακωρυχείο ονόματι Upper Big Branch στην επαρχία Λέσλι, στο Κεντάκυ πραγματοποιήθηκε έκρηξη σκόνης άνθρακα με αποτέλεσμα να χάσουν την ζωή τους 29 από τους 30 ανθρώπους στο συμβάν. Επίσης στις 5 Αυγούστου του 2010 συνέβη άλλο ένα ατύχημα κοντά στο Κοπιαπό της Χιλής στο μεταλλείο του Σαν Χοσέ που βρίσκεται στην έρημο Ατακάμα κατά το οποίο 33 μεταλλωρύχοι παγιδεύτηκαν 700 μέτρα κάτω από την γη ως αποτέλεσμα μιας εκτενούς κατάρρευσης.

Ευτυχώς στην περίπτωση του ατυχήματος στην Χιλή, οι υπεράνθρωπες προσπάθειες των συνεργείων διάσωσης απέδωσαν και οι 33 μεταλλωρύχοι εκκένωσαν με ασφάλεια τον χώρο στον οποίο είχαν παγιδευτεί μέσω της διάνοιξης γεώτρησης κατάλληλου διαμετρήματος για την ανέλκυση των παγιδευμένων. Το εγχείρημα αυτό διήρκησε 69 μέρες και πρόκειται για το μεγαλύτερο διάστημα που έχουν επιβιώσει άνθρωποι παγιδευμένοι υπογείως.

Σε πολλές περιπτώσεις ατυχημάτων η ανάγκη διάσωσης παγιδευμένων ανθρώπων από υπόγειες εγκαταστάσεις μεταλλείων οδήγησε με την συνεργασία πολλών ειδικών να αναπτύξουν τις κάψουλες διάσωσης. Σύμφωνα με τον Σαραντινό,(2011), η πρώτη εξ αυτών ήταν η κάψουλα Dahlbush-Bombe. Πιο συγκεκριμένα τον Μάιο του 1955, όταν στο ανθρακωρυχείο Zeche Dahlbush της πόλης Gelsenkirchen της περιοχής Ρούρ της Γερμανίας, παγιδεύτηκαν σε βάθος 855 μέτρων 3 εργάτες. Τότε ο μηχανικός Eberhard A. σχεδίασε την ιδέα του για την διάσωση των ανθρακωρύχων και εφαρμόστηκε με επιτυχία. Η διάσωση έγινε από το αμέσως παραπάνω επίπεδο, από όπου ανοίχθηκε κατακόρυφη γεώτρηση 42 μέτρα και διαμέτρου 38,5 εκατοστά και μέσω της κάψουλας έγινε η ανέλκυση των ανθρακωρύχων. Στο Σχήμα 2.4 φαίνεται η πρωτότυπη κάψουλα διάσωσης Dahlbush-Bombe.

Σχήμα 2.4.: Η πρωτότυπη κάψουλα διάσωσης Dahlbusch-Bombe (Deutsches Bergbau Museum)

Η κάψουλα Dahlbush χρησιμοποιήθηκε σε παρόμοιες επιχειρήσεις διάσωσης τα επόμενα χρόνια ενώ η σημασία της αναγνωρίστηκε ιδιαίτερα κατά το ατύχημα του ορυχείου σιδήρου στο Lengede, όπου διασώθηκαν 11 μεταλλωρύχοι μετά από 14 ημέρες παραμονής υπογείως (Σχήμα 2.5).

Σχήμα 2.5.: Φωτογραφία της εποχής με έναν διασωθέντα από το ατύχημα του 1963 εντός της κάψουλας Dahlbusch-Bombe (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 Fénix 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.

3. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η νομοθεσία η οποία καλύπτει την αδειοδότηση, την δραστηριότητα και την λειτουργία των μεταλλευτικών επιχειρήσεων έχει προβλευθεί στον Κανονισμό Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών ΥΑ2223 ΦΕΚ 122714/06/11. Όσον αφορά την ασφάλεια και την υγεία των εργαζομένων οι εργοδότες είναι υποχρεωμένοι να έχουν συνθέσει το έγγραφο ασφάλειας και υγείας, να έχουν κάνει εκτίμηση επαγγελματικών κινδύνων και να έχουν λάβει πιστοποιητικό πυρασφάλειας, από την αρμόδια Πυροσβεστική Υπηρεσία, σύμφωνα με την ΚΥΑ των Υπουργών Δημοσίας Τάξης και Βιομηχανίας Ενέργειας και Τεχνολογίας, με αριθμό Δ7/Φ1/4817/15-3-1990 (ΦΕΚ Β΄ 188 "Λήψη μέτρων πυροπροστασίας στις εγκαταστάσεις μεταλλείων και λατομείων"), όπως ισχύει καθώς και για τις επιμέρους εγκαταστάσεις. Οι απαιτήσεις σε μέτρα ασφαλείας, καθώς και επιτρεπτά όρια που αφορούν την έκθεση σε θόρυβο (άρθρο 3 του ΠΔ 149/2006 (ΦΕΚ 139/Α)), την σκόνη, την δόνηση, την θερμική καταπόνηση, την έκθεση σε χημικούς παράγοντες καθώς και μέτρα ασφαλείας για τον φωτισμό, τον αερισμό, την διαχείριση του εξοπλισμού και την καταγραφή των συνθηκών και των κινδύνων εντός του μεταλλείου ορίζονται ρητά εντός του Κ.Μ.Λ.Ε..

Όσον αφορά την εκπόνηση σχεδίου έκτακτης ανάγκης ο Κ.Μ.Λ.Ε. αναφέρει ότι στις υποχρεώσεις του εκμεταλλευτή ή του εργοδότη-διευθυντή του έργου να προετοιμάζει ένα σχέδιο έκτακτης ανάγκης, ειδικό για κάθε έργο, για την αντιμετώπιση λογικά προβλέψιμων βιομηχανικών και φυσικών καταστροφών. Επίσης, γίνεται αναφορά στην ανάγκη να καταγράφονται και να εκτιμώνται οι κίνδυνοι στους οποίους εκτίθενται οι εργαζόμενοι στο χώρο εργασίας τους, σε κάθε θέση εργασίας και να προβλέπει ανάλογα με τα εγκεκριμένα μέτρα πυρασφάλειας ατομικά μέσα προστασίας, κατάλληλα να βοηθήσουν τον εργαζόμενο να απομακρυνθεί από το μέτωπο σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης (π.χ. φωτιά σε μηχάνημα).

Επιπροσθέτως, στο Παράρτημα 1 του Κ.Μ.Λ.Ε. υπάρχει μια ενδεικτική διάρθρωση του εγγράφου υγείας και ασφάλειας και στο Παράρτημα 2 του Κ.Μ.Λ.Ε. βρίσκονται οδηγίες για την Εκτίμηση Επαγγελματικών Κίνδυνων (σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 43 του Ν. 3850/2010 (ΦΕΚ 84/Α/2.6.2010), όπως ισχύει). Από την μια μεριά στο έγγραφο ασφάλειας και υγείας όπως αναφέρεται στο Παράρτημα 1 του Κ.Μ.Λ.Ε., οι υπεύθυνοι υπογράφοντες περιγράφουν, όλα τα μέτρα που λαμβάνονται με σκοπό την διασφάλιση της ασφάλειας των εργαζομένων καθώς και περιοίκων ή/και διερχομένων. Ενώ από την άλλη μεριά στην μελέτη εκτίμησης κινδύνου (άρθρο 43 του Ν. 3850/2010) εκτιμώνται οι κίνδυνοι που υπάρχουν σε σχέση με κάθε παράμετρο της εργασίας τους λαμβάνοντας όλα τα απαραίτητα μέτρα προστασίας. Στην μελέτη εκτίμησης κινδύνου ορίζονται οι όροι της πηγής κινδύνου, του κινδύνου και της εκτίμηση κινδύνου (ΕΚ) ενώ δίνονται και οδηγίες για την σωστή διαμόρφωση της (ΚΜΛΕ, 2011).

1. Πηγή κινδύνου: Είναι οτιδήποτε μπορεί να προκαλέσει σωματική βλάβη (π.χ. υλικά εργασίας, εξοπλισμός, μέθοδοι ή πρακτικές εργασίας).

2. Κίνδυνος: Είναι το ενδεχόμενο, με μεγάλη ή μικρή πιθανότητα, να υποστεί κάποιος σωματική ή άλλη βλάβη από κάποια πηγή κινδύνου.

3. Εκτίμηση κινδύνου (ΕΚ): Είναι η διαδικασία αξιολόγησης των κίνδυνων για την ασφάλεια και την υγεία των εργαζομένων, που προκύπτουν από υπαρκτές πήγες κινδύνου. Πρόκειται για μια συστηματική εξέταση όλων των πτυχών της εργασίας, που αναλύεται στη συνέχεια.

3.1 ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑ ΔΙΕΘΝΩΣ

Σε πολλές χώρες του εξωτερικού, όπως ο Καναδάς, οι Η.Π.Α., η Αυστραλία και η Αγγλία οι οδηγίες και η νομοθεσία που καλύπτει, όχι μόνο τα σχέδια έκτακτης ανάγκης αλλά και γενικότερα την ασφάλεια και την υγεία των εργαζομένων στους υπόγειους μεταλλευτικούς χώρους έχει αναπτυχθεί με αντίστοιχο τρόπο ώστε να ικανοποιεί τις ειδικές απαιτήσεις των μεταλλευτικών χώρων, όπως και στην Ελλάδα. Παράλληλα με όλα τα παραπάνω, στις οδηγίες οι οποίες εκδίδονται από τους αρμόδιους οργανισμούς, γίνεται αναφορά και σε υποδομές (π.χ. μεθόδων επικοινωνίας, μέσων πυρόσβεσης, μέσων ειδοποίησης), δίνοντας έτσι την απαραίτητη πληροφορία για τις διαθέσιμες τεχνολογίες που εφαρμόζονται στους μεταλλευτικούς χώρους. Με αυτόν τον τρόπο, παραμένουν τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται εκσυγχρονισμένα και διαθέσιμα για τους υπεύθυνους μηχανικούς ή άλλο εξειδικευμένο προσωπικό προσφέροντας πολλές απαραίτητες πληροφορίες για την διαχείριση της πολυπλοκότητας που έχει η σύνθεση ενός σχεδίου έκτακτης ανάγκης.

3.2 ΜΕΤΡΑ ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Σύμφωνα με την εθνική ένωση πυροπροστασίας των Η.Π.Α., έχει εκδοθεί μια συγκεκριμένη οδηγία έκδοσης του 2000 για τα μέτρα πυροπροστασίας στα υπόγεια μεταλλικά και μη μεταλλικά μεταλλεία (NFPA, 2000). Σύμφωνα με την οδηγία αυτή ορίζονται οι ελάχιστες προϋποθέσεις για την μείωση των απωλειών ζωής και περιουσίας από φωτιές σε υπόγεια μεταλλικά και μη μεταλλικά μεταλλεία. Πιο συγκεκριμένα η οδηγία αυτή καλύπτει την αποθήκευση και μεταφορά εύφλεκτων υγρών καθώς και τον ντιζελοκίνητο εξοπλισμό, όσον αφορά την πυροπροστασία. Εξαιτίας της ιδιαιτερότητας των υπόγειων μεταλλευτικών εγκαταστάσεων, οι προϋποθέσεις της οδηγίας αυτής δύναται να διαφέρουν από συνήθη αποδεκτά πρότυπα και οδηγίες διαμορφωμένες για

άλλων τύπων δραστηριότητες και εγκαταστάσεις. Σύμφωνα με το πρότυπο αυτό, ορίζεται η ανάγκη για τα εξής ελάχιστα μέτρα πυροπροστασίας ενώ όπου το επίπεδο ρίσκου κρίνεται ακόμα υψηλότερο, θα πρέπει ο αρμόδιος να προβεί σε πρόσθετα μέτρα.

Τα πρόσθετα αυτά μέτρα είναι:

- Συγκεκριμένων προδιαγραφών δεξαμενές αποθήκευσης για τα εύφλεκτα υγρά
- Μέσα πυρόσβεσης για τις αποθήκες εύφλεκτων υγρών (φορητοί πυροσβεστήρες, μάνικες πυρόσβεσης χειρός, άλλα συστήματα πυρόσβεσης)
- Τοποθέτηση πυροσβεστήρων στον ντιζελοκίνητο εξοπλισμό καθώς και άν τυχόν απαιτείται παραπάνω μέτρα πυρόσβεσης ή και αυτόματα συστήματα πυρόσβεσης
- Αισθητήρες εντοπισμού φωτιάς πάνω στον ντιζελοκίνητο εξοπλισμό
- Συντήρηση, εκπαίδευση και ανανέωση όλων των παραπάνω

Κατά τον ίδιο τρόπο μέτρα πυροπροστασίας και παραπομπές σε άλλες οδηγίες δίνονται και από τον κώδικα ομοσπονδιακών κανονισμών για τις ορυκτές πρώτες ύλες των Η.Π.Α. καλύπτοντας όλο το εύρος της υπόγειας μεταλλευτικής δραστηριότητας.

Με παρόμοιο τρόπο στα αντίστοιχα πρότυπα άλλων χωρών βρίσκουμε τα μέτρα πυροπροστασίας καθώς και οδηγίες για την διαχείριση του κινδύνου αυτού στα υπόγεια μεταλλεία μεταλλικών πρώτων υλών (Department of industry and resources, 1997). Ειδικότερα εντός της οδηγίας αυτής βρίσκουμε την αναγνώριση πιθανών επικίνδυνων σημείων εντός των υπόγειων μεταλλείων.

Αναφορικά μερικά από αυτά τα σημεία είναι:

- Θέσεις φόρτισης μπαταριών
- Κύριες και ομάδων εργασίας αποθήκες εκρηκτικών
- Περιοχές με ξυλοδεσία ιδιαίτερα φρέατα
- Συνεργεία όπου υπάρχουν (λιπαντικά, διαλυτικά, χρώματα)
- Αποθήκες πετρελαίου και καυσίμων
- Παλιές παραγωγικές στοές
- Θάλαμοι ασφαλείας, τραπέζια ανάπαυσης
- Αντλίες και Ανεμιστήρες

Τέλος στον Κ.Μ.Λ.Ε. όπως έχει προαναφερθεί τα μέτρα πυροπροστασίας καλύπτονται από την ΚΥΑ Δ7/Φ1/4817/1990(ΦΕΚ 188/Β/21-3-1990) «Λήψη μέτρων πυροπροστασίας στις εγκαταστάσεις μεταλλείων και λατομείων». Σε αυτή την υπουργική απόφαση αναφέρονται:

1. Τα σημεία υψηλού κινδύνου.
2. Οι απαιτήσεις στους χώρους αυτούς για μόνιμα εγκατεστημένα μέσα πυρόσβεσης (ανά κατηγορία).
3. Οι απαιτήσεις για την τοποθέτησή των μέσων αυτών στις κατάλληλες θέσεις.
4. Οι διαφορετικοί τύποι εξοπλισμού για κάθε κατηγορία.

Στον Πίνακα:3.1. φαίνονται οι απαιτήσεις σε φορητούς πυροσβεστήρες ανά κατηγορία επικινδυνότητας των εγκαταστάσεων για πυρκαγιά.

Πίνακας 3.1.: Μέσα πυρόσβεσης ανά κατηγορία, (ΦΕΚ188/Β/21-3-1990)

Κατηγορία επικινδυνότητας	**Επιφάνεια κατανομής πυροσβεστήρων(m^2)**	**Αριθμός πυροσβεστήρων**	**Μέγιστη διαδρομή προσέγγισης πυροσβεστήρων (m)**
Αα: Ομάδα μικρού κινδύνου	500	1-2	35
Αβ: Ομάδα μεσαίου κινδύνου	350	2	25
Cγ: Ομάδα υψηλού κινδύνου	100	2	15

3.3 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ

Όπως είναι γνωστό, η διάνοιξη υπόγειων εκσκαφών μεγάλου βάθους και μήκους καθιστούν την κυκλοφορία του αέρα στο εύρος τους αδύνατη χωρίς πρόσθετα μέσα. Εξαιτίας του παραπάνω λόγου καθώς και επειδή στο περιβάλλον αυτό εισέρχονται εργαζόμενοι και μηχανολογικός εξοπλισμός, ο οποίος έχει συνήθως και αυτός εκπομπές καυσαερίων, υπάρχει η ανάγκη να δημιουργείται μια τεχνητή ατμόσφαιρα, τέτοια ώστε να υποστηρίζει όλες τις δραστηριότητες των υπόγειων μεταλλείων .

Η ατμόσφαιρα αυτή δημιουργείται με την τοποθέτηση ανεμιστήρων στις εισόδους και εξόδους των μεταλλείων καθώς και φραγμάτων, μετά από μελέτη του κυκλώματος αερισμού και των συνθηκών που επικρατούν. Παράλληλα με την λειτουργία και την ανάπτυξη των κυκλωμάτων αυτών είναι αναγκαία και η παρακολούθησή τους και η διασφάλιση της ποιότητας του αέρα. Τέλος, στην περίπτωση που το κύκλωμα δεν λειτουργεί όπως πρέπει είναι απαραίτητο να εκκενώνεται το εκάστοτε μεταλλείο μέχρις ότου επανέλθει ο αερισμός στα ασφαλή και προβλεπόμενα από τους κανονισμούς επίπεδα.

Στα άρθρα του Κ.Μ.Λ.Ε. 75 και 76 δίνονται οι απαιτήσεις για τον αερισμό των υπόγειων μεταλλείων ενώ πιο συγκεκριμένα στο άρθρο 77 αναφέρεται στις απαιτήσεις για ελέγχους του αερισμού. Πιο συγκεκριμένα στο άρθρο 77 παρ.3 αναφέρεται ότι σε κάθε υπόγεια εργασία, οι ελάχιστοι έλεγχοι που πρέπει να πραγματοποιούνται είναι του διοξειδίου και μονοξείδιου του άνθρακα, του διοξειδίου του θείου και διοξειδίου του αζώτου. Τέλος, στην περίπτωση όπου στο υπόγειο μεταλλείο παρατηρείται κάποια πρόσθετη ανάγκη για ελέγχους με σκοπό την εξασφάλιση της ασφάλειας και της υγείας των εργαζομένων, είναι υποχρεωμένος ο εκμεταλλευτής να ανταποκριθεί στις πρόσθετες απαιτήσεις. Ενδεικτικά παραθέτονται στον Πίνακα 3.2. οι οριακή και η ανώτατη οριακή τιμή έκθεσης σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO).

Πίνακας 3.2: Οριακές τιμές έκθεσης για το μονοξείδιο του άνθρακα (CO).(Π.Δ.90/1999)

ΧΗΜΙΚΗ ΟΥΣΙΑ	ΤΥΠΟΣ	ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ ΕΚΘΕΣΗΣ (ppm)	ΑΝΩΤΑΤΗ ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ ΕΚΘΕΣΗΣ (ppm)
Μονοξείδιο του άνθρακα	CO	50	300

Εκτός από τα παραπάνω στο περιβάλλον των υπόγειων μεταλλείων ελέγχονται και οι εξής παράγοντες για την προστασία των εργαζομένων :

- Επίπεδο έκθεσης σε σκόνες και ορυκτές σκόνες
- Επίπεδο έκθεσης σε ατμούς
- Επίπεδο έκθεσης σε καπνούς μετάλλων και ενώσεων τους
- Επίπεδο έκθεσης σε χημικούς παράγοντες
- Επίπεδο έκθεσης σε θερμική καταπόνηση
- Έκθεση σε ραδιενεργές σκόνες και ιοντίζουσες ακτινοβολίες
- Επίπεδο έκθεσης σε κραδασμούς (ανάλογα με την θέση εργασίας)

Τέλος στο άρθρο 24 του Κ.Μ.Λ.Ε., αναγνωρίζεται η υποχρέωση καταγραφής και καταχώρησης των μετρήσεων αυτών ενυπόγραφα μαζί με τα λοιπά στοιχεία (μέθοδοι, όργανα, χρόνοι μετρήσεων κ.λπ.) σε ειδικά θεωρημένα από οποιαδήποτε δημόσια αρχή βιβλία.

Σύμφωνα με το τμήμα εμπορίου και επιχειρηματικότητας της Νέας Νότιας Ουαλίας της Αυστραλίας (NSW Department of Trade and Investment, 2015) τα συστήματα επίβλεψης και προειδοποίησης για τον αέρα έχουν μεγάλη σημασία εξαιτίας των έκτακτων καταστάσεων που δύναται να δημιουργηθούν από την επιμόλυνση του αέρα του μεταλλείου. Γι' αυτόν τον λόγο, ο διαχειριστής του μεταλλείου οφείλει να εξετάσει την τοποθέτηση πρόσθετου συστήματος που να δίνει έγκαιρη προειδοποίηση για κάποια επιμόλυνση εκτός των μηχανημάτων που δημιουργούν και παρακολουθούν την λειτουργία των ανεμιστήρων. Παράλληλα είναι απαραίτητο να σημειωθεί ότι ο έλεγχος της ατμόσφαιρας γίνεται όχι μόνο εντός του μεταλλείου αλλά και έξω και εντός των καταφυγίων ασφαλείας. Κατά την δημιουργία ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης που θα σηματοδοτήσει την εκκένωση του μεταλλείου, ο διαχειριστής του μεταλλείου πρέπει να λάβει υπόψη:

1. Ένα σύστημα παρακολούθησης επαρκώς σχεδιασμένο, συντηρημένο και βαθμονομημένο
2. Τα σημεία εντοπισμού-ελέγχου και συναγερμού να είναι να είναι τοποθετημένα στις κατάλληλες τοποθεσίες
3. Βαθμολογημένες ρυθμίσεις συναγερμού με κλιμακούμενες ενέργειες για καταστάσεις που επιδεινώνονται
4. Συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης συνυφασμένα με πρωτόκολλα και διαδικασίες λήψης αποφάσεων
5. Την διαθεσιμότητα ικανών ατόμων να λειτουργούν συστήματα και να αναλύουν αποτελέσματα

Κατά την διάρκεια μιας έκτακτης ανάγκης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα πρόσθετα συστήματα παρακολούθησης καθώς και η φυσική τους ακεραιότητα. Τα επίπεδα ενεργοποίησης της έγκαιρης προειδοποίησης πρέπει :

1. Να αναγνωρίζουν τις κανονικές και τις συνθήκες στο υπόβαθρο
2. Να είναι ικανά να μετρήσουν και να παρατηρήσουν τα επίπεδα και σε απόλυτες τιμές αλλά και σε σχετικές τιμές, όπως για παράδειγμα σε κατάλληλες μονάδες και ως ποσοστά σε σχέση με την κανονική κατάσταση ή την κατάσταση του υποβάθρου.
3. Να είναι συνεπή με τις απαιτήσεις των κανονισμών
4. Να είναι σχετικά με τον εκτιμώμενο κίνδυνο
5. Να είναι άμεσα συνδεδεμένα με συγκεκριμένες ενέργειες ανταπόκρισης

3.4 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΥΤΟΔΙΑΣΩΣΗΣ (SELF-RESCUERS)

Στον Κ.Μ.Λ.Ε., η μόνη αναφορά σε πρόσθετα μέτρα για την χρήση αναπνευστικού μηχανισμού ή πρόσθετου αναπνευστικού μηχανισμού με φίλτρα δέσμευσης σωματιδίων γίνεται στην περίπτωση εργασίας σε χώρους επιμολυσμένους με αμίαντο (Π.Δ 396/1994), στην περίπτωση υπέρβασης των οριακών τιμών έκθεσης για κάποια χημικά στοιχεία σύμφωνα με το Προεδρικό Διάταγμα 90/1999, καθώς και στην περίπτωση εργασίας σε εύφλεκτα μεταλλεία η λιγνιτωρυχεία ή στην εκδήλωση έκτακτης ανάγκης.

Σε οδηγία που έχει εκδοθεί από το τμήμα εμπορίου και επιχειρηματικότητας της Νέας Νότιας Ουαλίας της Αυστραλίας MDG 1020 (Mines Rescue Working Group and Mine Safety Operations Division of Industry and Investment NSW, 2010), δηλώνεται η υποχρέωση να παρέχεται στα άτομα που βρίσκονται υπογείως συσκευή αναπνευστικής προστασίας, ώστε να επιτρέπεται η ασφαλής πρόσβαση προς την έξοδο από το μεταλλείο διαμέσου οποιασδήποτε μη αναπνεύσιμης και ερεθιστικής ατμόσφαιρας, που δύναται να αντιμετωπιστεί. Παρακάτω παρατίθεται στο Σχήμα 3.1 ,μια εικόνα συσκευής αυτοδιάσωσης.

Σχήμα 3.1: Φωτογραφία συσκευής αυτοδιάσωσης (self-rescuer) ,(http://us.msasafety.com/Air-Purifying-Respirators-%28APR%29/Escape-Respirators/W65-Self-Rescuer-Respirator/p/000270000500001501)

Όπου οι συσκευές αυτοδιάσωσης που φοριούνται στην ζώνη είναι τύπου φίλτρου του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), κρύπτες με επαρκείς αριθμούς συσκευών αυτοδιάσωσης πρέπει να είναι έτοιμες προς διάθεση στα σημεία αλλαγής (change-over

point). Η πρώτη κρύπτη πρέπει να είναι τοποθετημένη πλησίον της ζώνης κινδύνου και να βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από τα μέτωπα εργασίας. Οι τοποθεσίες των ακόλουθων κρυπτών προσδιορίζονται μέσω "δοκιμών περιπάτησης προς τις εξόδους" από το μεταλλείο. Αυτό περιλαμβάνει την εξέταση της ονομαστικής διάρκειας της υπό εξέτασης συσκευής αυτοδιάσωσης.

Επίσης το σχέδιο διαφυγής πρέπει να συνοδεύεται από την αξιολόγηση του κινδύνου που λαμβάνοντας υπόψη τις συστάσεις των κατασκευαστών για τον εκάστοτε εξοπλισμό μαζί με τα αποτελέσματα οποιασδήποτε αξιόπιστης δημοσιευμένης δοκιμής του εξοπλισμού, ενώ η εκτίμηση του κινδύνου θα πρέπει να διαμορφωθεί προσδίδοντας έναν συντελεστή ασφαλείας στην ονομαστική διάρκεια των συσκευών.

Επιπρόσθετα σύμφωνα με την οδηγία επισημαίνονται κάποιοι κύριοι κίνδυνοι που είναι συνυφασμένοι με την ύπαρξη των συσκευών αυτών :

1. Οι περιορισμοί της επιλεγμένης συσκευής αυτοδιάσωσης δεν είναι κατανοητοί
2. Η συσκευή αυτοδιάσωσης δεν είναι προορισμένη για την χρήση την οποία έχει επιλεχθεί να χρησιμοποιηθεί
3. Οι αποστάσεις μεταξύ κρυπτών δεν επιτρέπουν στο διαφυγόν άτομο να προσεγγίσει και να φορέσει μια νέα συσκευή προτού αυτή που ήδη φοράει εξαντληθεί
4. Οι κρύπτες δεν έχουν επαρκή αριθμό συσκευών
5. Το προσωπικό των υπογείων δεν είναι ιατρικά υγιές για να φορέσει την συσκευή αυτοδιάσωσης
6. Η ακεραιότητα της συσκευής αυτοδιάσωσης επιδεινώνεται και δεν μπορεί πλέον να προστατεύσει επαρκώς/καθόλου
7. Όπου οι συσκευές αποθηκεύονται σε μέσα μεταφοράς η αλλοίωση τους εξαιτίας των δονήσεων δεν έχει ληφθεί υπ' όψιν.

Τέλος όπως αναφέρεται σε παράδειγμα εντός της οδηγίας, επισημαίνοντας την σημασία της εκπαίδευσης, σε εξέταση του ατυχήματος στο Σάγκο (Η.Π.Α.) 12 άτομα άφησαν τις συσκευές αυτοδιάσωσης τους διότι δεν τις καταλάβαιναν. Έχει αναφερθεί ότι όταν μεταλλωρύχοι έρχονται να κάνουν επανεκπαίδευση για τον χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό η ικανότητά τους να χειριστούν τον μηχανισμό μπορεί να τους δυσκολεύει εξαιτίας της ανεπαρκούς συχνότητας της επανεκπαίδευσης. Οι συσκευές αυτοδιάσωσης πρέπει να φοριούνται τουλάχιστον μία φορά κάθε τρείς μήνες, ενώ η ικανότητα να ενεργοποιήσουν και να χρησιμοποιήσουν τις συσκευές αυτοδιάσωσης πρέπει να επιδεικνύονται από τους μεταλλωρύχους ως μεμονωμένη άσκηση ή ως κομμάτι μεγαλύτερης άσκησης ετοιμότητας.

3.5 ΚΑΤΑΦΥΓΙΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ (SAFE-HAVENS, REFUGE ALTERNATIVES)

Σύμφωνα με την οδηγία του Health and Safety Executive του Ηνωμένου Βασιλείου (Escape and Rescue Operations in Mines Working Group, 2007) το καταφύγιο ασφαλείας ορίζεται ως ένα μέρος με εγκαταστάσεις που συμπεριλαμβάνουν μία ανεξάρτητη παροχή αέρα για την διατήρηση της ατμόσφαιρας του σε θετική πίεση (μεγαλύτερη από την περιβάλλουσα ατμόσφαιρα), έτσι ώστε να μπορούν να περιμένουν εκεί οι άνθρωποι με ασφάλεια μέχρι να καταφθάσει η διάσωση. ενδεικτική εικόνα παρατίθεται στο Σχήμα 3.2.

Σχήμα 3.2.: Φωτογραφία καταφυγίου ασφαλείας (safe-haven) αριστερά εσωτερική άποψη του καταφυγίου ασφαλείας, δεξιά εξωτερική άποψη του καταφυγίου ασφαλείας, (http://ourvoice.newmont.com/2014/08/05/underground-chambers-provide-safe-haven-for-miners-in-emergencies/)

Ο κυριότερος λόγος ύπαρξης αυτών των καταφυγίων είναι, ότι δεν είναι πάντα ανθρωπίνως δυνατό σε μία κατάσταση έκτακτης ανάγκης να ανέλθουν όλοι στην επιφάνεια και πολλές φορές χρειάζεται ένα σκαλοπάτι παραπάνω χρόνου ώστε οι οργανωμένες ομάδες της επιφάνειας να δράσουν για την διάσωση των παγιδευμένων ατόμων ή για τους διαφυγόντες το μεταλλείο να πάρουν δυνάμεις για να συνεχίσουν την πορεία τους προς την επιφάνεια που είναι η πρωταρχική προτεραιότητα. Υπάρχουν όμως δύο τύποι καταλυμάτων ασφάλειας, τα σφραγισμένα που έχουν αεροφράκτες

καθώς και κατάλληλο σύστημα επίβλεψης του περιβάλλοντος, δίνοντας την δυνατότητα παραμονής με ασφάλεια χωρίς την χρήση συσκευών αυτοδιάσωσης, ενώ από την άλλη πλευρά τα ήμι-σφραγισμένα που δίνουν την δυνατότητα είτε παραμονής στον χώρο με την χρήση συσκευής αυτοδιάσωσης ή αλλαγής των συσκευών αυτών.

Παράλληλα όσον αφορά τον χώρο του μεταλλείου τα στοιχεία που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την ασφαλή τοποθέτηση του καταφυγίου ασφάλειας είναι αρχικά να βρίσκεται στον συνηθισμένο δρόμο που ακολουθούν οι εργαζόμενοι από και προς τα πόστα εργασίας τους, εύκολα προσβάσιμο και εκτενώς επισημασμένο. Επίσης είναι απαραίτητο να είναι τοποθετημένο σε απόσταση προσβάσιμη με ρυθμό περπατήματος λιγότερο από το 50% της διάρκειας της συσκευής αυτοδιάσωσης καθώς και κατά μέγιστο 1000-1500m από τις θέσεις εργασίας. Τέλος είναι αναγκαίο κατά την τοποθέτηση να έχουν ληφθεί υπόψη παράγοντες όπως, η διαθεσιμότητα διπλών παροχών (για αέρα), οι αποστάσεις από τις θέσεις εργασίας προς τον καθαρό αέρα, η ζέστη, η υγρασία και η ορατότητα, οι κλίσεις και η απόσταση που πρέπει να καλυφθεί, η σωματική και διανοητική προσπάθεια που χρειάζεται η απόδραση (εκκένωση) και η απόσταση από το κατώτερο μέρος του μεταλλείου.

Τα κύρια μέτρα που είναι απαραίτητο να έχουν τα καταφύγια ασφαλείας είναι:

- Διατήρηση μιας ασφαλούς ατμόσφαιρας είτε με ανεξάρτητη ακέραια παροχή ή εναλλακτικά με πεπιεσμένο οξυγόνο και φίλτρα μονοξειδίου και διοξειδίου
- Διατήρηση τουλάχιστον ενός διαύλου επικοινωνίας με την επιφάνεια
- Ύπαρξη κουτιού πρώτων βοηθειών σχεδιασμένο για τραυματισμούς σε υπόγεια και ένα φορείο
- Πόσιμο νερό και εφόδια για εύλογο χρονικό διάστημα (συνήθως 36 ώρες) καθώς και για τον προβλεπόμενο αριθμό ατόμων που ενδέχεται να χρησιμοποιήσουν το καταφύγιο

- Πυρανθεκτικά και μονωτικά τοιχώματα με τουλάχιστον 3m απόσταση από πιθανά εύφλεκτα υλικά και ανοιχτού χρώματος εσωτερικά πλαϊνά τοιχώματα και οροφή
- Φωτισμό εσωτερικά κατ' ελάχιστον 200lux
- Εφοδιασμένο με πινακίδες που να επισημαίνουν τις διαδικασίες επικοινωνίας, την διαδικασία του καταφυγίου και κατάλληλα σχέδια για την απόδραση και τον αερισμό σε περίπτωση που οι εργαζόμενοι παραγγελθούν να φύγουν από το καταφύγιο κατά την διάρκεια ή μετά από μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης
- Δυνατότητα άντλησης υδάτων από το εσωτερικό του
- Ύπαρξη κρύπτης με επαρκούς αριθμού συσκευές αυτοδιάσωσης
- Δυνατότητα να σφραγίζεται για την αποτροπή εισροής αερίων, αν όχι δυνατότητα διατήρησης υπό πίεση
- Συντηρημένη σε καθαρή υγιεινή κατάσταση ανά πάσα στιγμή

(Department of industry and resources, 1997)

3.6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ

Τα συστήματα επικοινωνίας και παρακολούθησης στα υπόγεια μεταλλεία αφορούν όχι μόνο τις περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης αλλά και την καθημερινή διαχείριση της παραγωγής και ασφάλειας των εγκαταστάσεων. Πιο συγκεκριμένα είναι απαραίτητο να υπάρχει και αξιοπιστία στα μέσα επικοινωνίας και επίσης να χρησιμοποιούνται τουλάχιστον δυο μέσα επικοινωνίας. Παράλληλα είναι σημαντικό μαζί με την χρήση των μέσων επικοινωνίας να έχουν συνδυαστεί μέσα ειδοποίησης για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης καθώς και μετρητικά συστήματα που διαμέσου των διαύλων επικοινωνίας στέλνουν δεδομένα στην επιφάνεια, απαραίτητα για την γνώση της παρούσας κατάστασης εντός του μεταλλείου. Τα συστήματα επικοινωνίας πρέπει να είναι σχεδιασμένα και εφαρμοσμένα κατά τέτοιον τρόπο, ώστε να βρίσκονται, όπου βρίσκονται οι εργαζόμενοι σε μια περίπτωση έκτακτης ανάγκης, όπως για παράδειγμα σε καταφύγια ασφαλείας, κρύπτες (με συσκευές αυτοδιάσωσης), διαδρομές διαφυγής καθώς και κινητές εγκαταστάσεις.

Μεγάλη σημασία έχει, να λαμβάνονται υπόψη, όλα τα παραπάνω, κατά την τοποθέτηση των συστημάτων αυτών, ώστε να είναι τοποθετημένα όσο το δυνατόν σε μέρη που δεν επηρεάζονται από κινδύνους συνυφασμένους με την έκτακτη ανάγκη. Τέλος η τεχνική μελέτη για την βελτίωση των συστημάτων επικοινωνίας για τα υπόγεια μεταλλεία συνεχίζεται και με κάθε πρόοδο των τεχνολογιών αυτών είναι απαραίτητο να αξιολογείται η πιθανή συνεισφορά τους στα μεταλλεία.

Μια από τις πιο απλές προσεγγίσεις για την επικοινωνία εντός των μεταλλείων είναι η χρήση της λάμπας του κράνους κάνοντας σινιάλα για την επικοινωνία με κάποιον σε μικρή εμβέλεια. Όπως είναι προφανές όμως η μέθοδος αυτή περιορίζεται από την ευθύγραμμη διάδοση του φωτός, κάνοντας την αδύνατο να εφαρμοστεί μεταξύ δύο ατόμων που δεν έχουν οπτική επαφή. Κατά τον ίδιο τρόπο και συστήματα ειδοποίησης με οπτικά σήματα καθώς και σειρήνες μειονεκτούν στο

περιβάλλον του μεταλλείου, αφού υπάρχουν συχνά υψηλά επίπεδα θορύβου και τα οπτικά σήματα αδυνατούν να φτάσουν αξιόπιστα σε όλους τους ενδιαφερόμενους.

Μια ακόμα μέθοδος επικοινωνίας στα μεταλλεία είναι η χρήση ενσύρματων δικτύων με τηλεφωνικές γραμμές, παρόμοιο με το εμπορικό δίκτυο τηλεφωνίας αλλά εντελώς απομονωμένο με αποκλειστική χρήση για το μεταλλείο. Τα δίκτυα αυτά επιτρέπουν προσωπικές συζητήσεις μεταξύ ατόμων με την χρήση πληκτρολογούμενων κωδικών, προσωπικών για το κάθε άτομο αλλά απαιτείται να γνωρίζει ο ενδιαφερόμενος τον κωδικό του ατόμου που θέλει να επικοινωνήσει. Τέλος σε γενικές γραμμές τα τηλεφωνικά δίκτυα αυτά δεν είναι πολύ ανθεκτικά καθώς τα κυκλώματά τους αποκόπτονται πολλές φορές από καταπτώσεις μαζών (rockfalls-Fall Of Ground).

Προτού αναφερθούν οι επιμέρους τεχνολογίες είναι απαραίτητο να οριστεί η διαφορά μεταξύ συρμάτινων και ασύρματων επικοινωνιών καθώς και η διαφορά μεταξύ πρωτευόντων και δευτερευόντων μέσων επικοινωνίας για τα μεταλλεία. Αρχικά σύμφωνα με το Εθνικό ινστιτούτο για την εργασιακή ασφάλεια και υγεία (Η.Π.Α.) (National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) Mining Division, 2011), είναι αναγκαίο να ορίσουμε ότι, τα ασύρματα δίκτυα έχουν έναν αποκλειστικό φυσικό σύνδεσμο. Πιο συγκεκριμένα, ο ορισμός αυτός αποσαφηνίζεται εξηγώντας πως ακόμα και το κινητό τηλέφωνο που έχει εισχωρήσει στην καθημερινότητα μας δεν αποτελεί πάντα ασύρματη επικοινωνία σε όλο το εύρος της, επειδή ακριβώς για την αποστολή του σήματος χρησιμοποιεί ενσύρματα δίκτυα (κινητό-κεραία-ενσύρματοο δίκτυο-κεραία-κινητό).

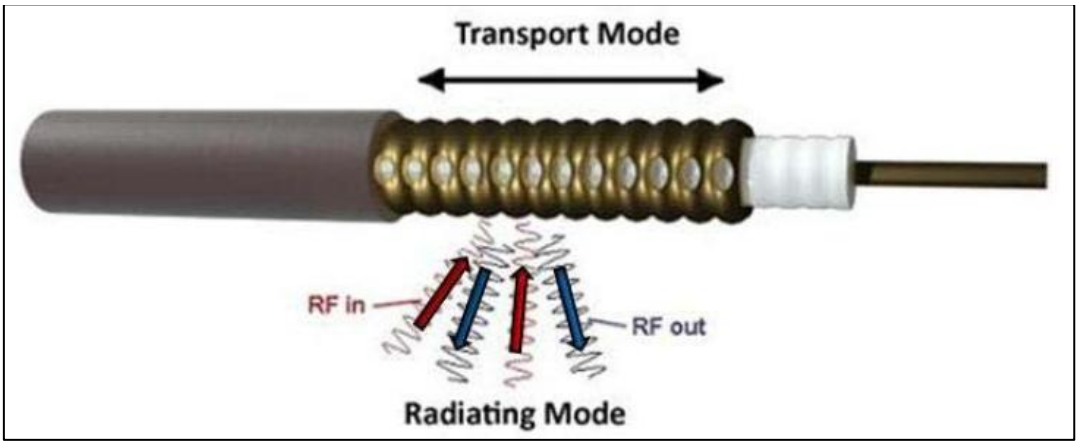
Συνεχίζοντας τα πρωτεύοντα συστήματα επικοινωνιών στα μεταλλεία χαρακτηρίζονται τα συστήματα που έχουν έναν πομποδέκτη αρκετά μικρό ώστε να φοριέται (κουβαλιέται) από έναν μεταλλωρύχο καθ' όλη την διάρκεια της βάρδιάς του. Τα πρωτεύοντα αυτά μέσα επικοινωνιών λειτουργούν τυπικά σε συχνότητες επικοινωνίας των ασύρματων τηλεφώνων, χρησιμοποιώντας μικρές κεραίες και έχοντας αρκετή διάρκεια μπαταρίας, ενώ παράλληλα παρέχουν αρκετά κανάλια, καλύπτοντας τις

γενικές λειτουργίες του μεταλλείου. Οι τεχνολογίες που κατατάσσονται στα πρωτεύοντα δίκτυα επικοινωνιών είναι τα συστήματα παρόχου διαρροής (leaky-feeder systems) καθώς και τα συστήματα βασισμένα σε κόμβους (node-based systems).

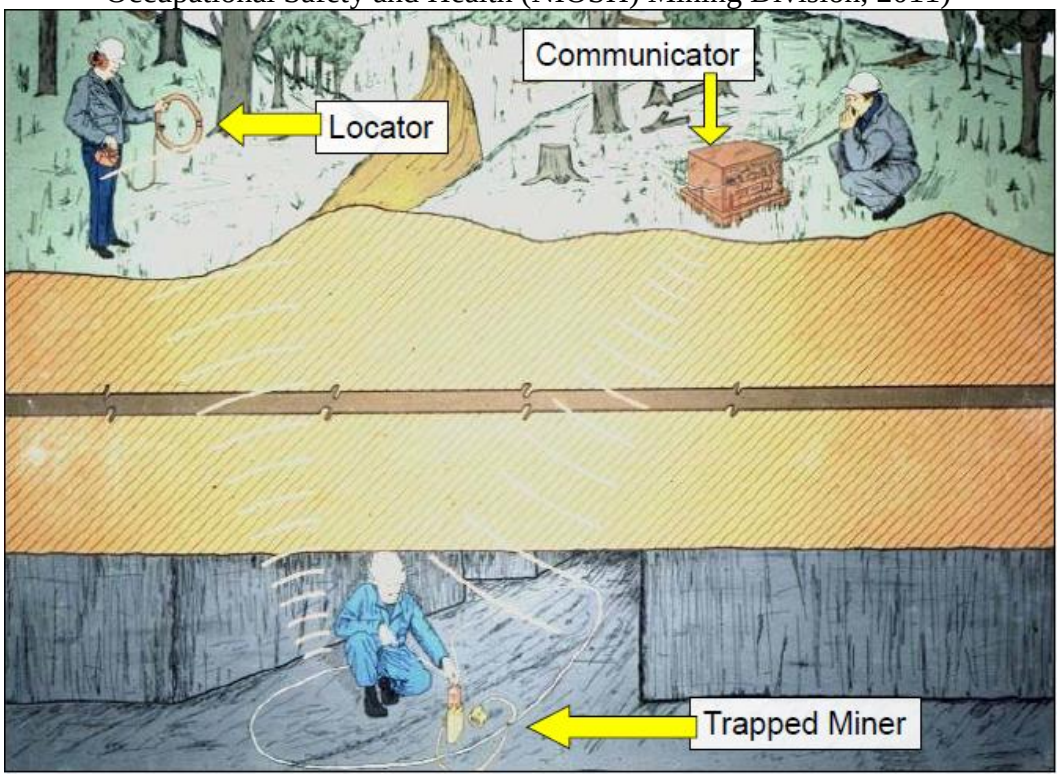
Από την άλλη πλευρά τα δευτερεύοντα συστήματα επικοινωνιών απαιτούν μεγαλύτερες και βαρύτερες κεραίες, κάνοντας τα λιγότερο βολικά για να φοριούνται κατά την διάρκεια της βάρδιας αλλά και πάλι σχετικά φορητά. Τα δευτερεύοντα συστήματα επικοινωνιών τυπικά λειτουργούν σε χαμηλότερες, όχι τόσο συμβατικές ραδιοσυχνότητες ενώ γενικά έχουν αποκλειστικά ένα κανάλι επικοινωνίας κάνοντας την απόδοσή τους ανεπαρκή για τις γενικές λειτουργίες. Αναφορικά κάποια δευτερεύοντα συστήματα επικοινωνίας είναι τα συστήματα επικοινωνιών διαμέσου της Γης (Through The Earth (TTE) communication) καθώς και τα συστήματα επικοινωνίας μεσαίας συχνότητας (medium frequency-MF). Επιγραμματικά μερικά μέσα επικοινωνιών στα μεταλλεία πρωτεύοντα και δευτερεύοντα είναι τα εξής :

- Ασύρματα τηλέφωνα αμφίδρομης επικοινωνίας, σύστημα παρόχου διαρροής (two-way radios ,leaky feeder systems)
- Τηλεφωνικές συσκευές σε συγκεκριμένες τοποθεσίες
- Συσκευή προσωπικού συστήματος έκτακτης ανάγκης (αποστολή μηνύματος με την λάμπα του κράνους)
- Wi-Fi systems
- Ασύρματο με σύστημα VOIP (Voice Over IP)
- Σύστημα προειδοποίησης με δύσοσμα αέρια (stench gas systems)
- TTE (Through The Earth)
- RFID

Παρακάτω παραθέτονται σχήματα με την διατομή του παρόχου διαρροής (leaky-feeder) Σχήμα 3.3, καθώς και παραστατική απεικόνιση του τρόπου λειτουργίας ενός συστήματος TTE (through the earth) Σχήμα 3.4.



Σχήμα 3.3:Διατομή παρόχου διαρροής(leaky-feeder system) (National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) Mining Division, 2011)



Σχήμα 3.4: Λειτουργία του συστήματος TTE, (Yenchek)

Όσον αφορά τα συστήματα παρακολούθησης της θέσης των εργαζομένων η ανάγκη αρχικά καλύφθηκε με λίστες των εργαζομένων που κατέβαιναν στα υπόγεια καθώς και με πίνακες με καρτέλες, όπου όποιος κατεβαίνει στα υπόγεια τοποθετεί την καρτέλα του στον πίνακα και υπογράφει την ώρα που μπαίνει, κατά την εκκίνηση της βάρδιας του καθώς και ενημερώνοντας τον υπεύθυνό του σε περίπτωση αλλαγής θέσης. Σήμερα τα συστήματα παρακολούθησης έχουν αποκτήσει μεγαλύτερη ακρίβεια, καθώς η θέση των εργαζομένων μπορεί να προσδιοριστεί ανά πάσα στιγμή με την χρήση των προαναφερόμενων συστημάτων τηλεπικοινωνιών.

Τέλος μείζονος σημασίας είναι να υπάρχει ένας χώρος στην επιφάνεια, όπου να συλλέγονται οι απαραίτητες πληροφορίες, όχι μόνο για την κατάσταση των εργαζομένων αλλά συνολικά του συστήματος των υπόγειων μεταλλευτικών εγκαταστάσεων. Αυτός ο χώρος λέγεται δωμάτιο ελέγχου (Control room) και αν και η σημασία του καθημερινά μπορεί να είναι απλά διαδικαστική συλλέγοντας και καταγράφοντας στοιχεία για τις λειτουργίες του μεταλλείου, κατά την εμφάνιση όμως μιας έκτακτης ανάγκης αναλαμβάνεται σε αυτόν τον χώρο από τους υπεύθυνους να εφαρμόσουν τα πρωτόκολλα απαραίτητα για την ασφαλή εκκένωση των εργαζομένων, για την σωστή μεταβίβαση πληροφοριών και εντολών καθώς και την διαχείριση όλων των πιθανών ενεργειών που προετοιμάζονται και εκτελούνται στην επιφάνεια.

4. ΠΙΘΑΝΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ ΣΤΑ ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ

Τα είδη των καταστάσεων έκτακτης ανάγκης μπορούν να προσδιοριστούν σε κάποιους επί μέρους κινδύνους αλλά δεν περιορίζονται απαραίτητα στα ακολούθως αναφερόμενα, όπως αναφέρει το τμήμα εμπορίου και επενδύσεων της Νέας Νότιας Ουαλίας (NSW Department of Trade and Investment, 2015). Πιθανές καταστάσεις έκτακτης ανάγκης σε μεταλλεία:

- Προσωπικός τραυματισμός
- Μη προγραμματισμένη έκρηξη
- Φωτιές συμπεριλαμβανομένου από ελαστικά και εξαιτίας ανατίναξης εκρηκτικών
- Αστοχία στο έδαφος ή στην βραχομάζα
- Παγίδευση ή απώλεια εργατών
- Πλημμυρικά φαινόμενα ή εισροή υδάτων
- Εκρηκτική αστοχία της βραχομάζας (rockburst)
- Δηλητηριώδεις ή ακατάλληλες για εισπνοή ατμόσφαιρες
- Συμβάντα που αφορούν επικίνδυνα υλικά
- Συμβάντα που αφορούν εκρηκτικά
- Ατυχήματα με εξοπλισμό ή οχήματα
- Παράσυρση από άνεμο, αέρα ή ωστικό κύμα
- Σημαντική αστοχία στον αερισμό
- Μηχανικός ή ηλεκτρολογικός εξοπλισμός μη ελεγμένος
- Φυσικές καταστροφές όπως πυρκαγιές, πλημύρες, σεισμοί, κυκλώνες
- Κοινωνικές αναταραχές ή παράνομες δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένων των απειλών για βομβιστικές επιθέσεις
- Ιατρική έκτακτη ανάγκη (π.χ. έμφραγμα)

- Αυτανάφλεξη
- Δομική αστοχία (κτηριακές εγκαταστάσεις)
- Απώλεια ραδιενεργών πηγών μόλυνσης

Προτού προχωρήσουμε σε αναλύσεις επί των κινδύνων που εμφανίζονται, τους τρόπους αξιολόγησής τους και τις αντίστοιχες υποδομές που τους περιορίζουν είναι απαραίτητο να οριστούν συγκεκριμένοι όροι που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή έκτακτων καταστάσεων, όπως έχουν διαμορφωθεί από την Ευρωπαϊκή οδηγία CFPA-E No19:2009 (European Guideline, CFPA-E No19: 2009), που αφορά την πυρασφάλεια και την εκκένωση από κτηριακές εγκαταστάσεις. Όταν αναφερόμαστε στον χρόνο που χρειάζεται μια εκκένωση καθώς και για τον διαθέσιμο χρόνο για την εκκένωση είναι απαραίτητοι οι δύο όροι που περιγράφονται παρακάτω.

1)Διαθέσιμος χρόνος ασφαλούς εξόδου-available safe egress time (ASET)

Είναι ο υπολογιζόμενος διαθέσιμος χρόνος μεταξύ της ανάφλεξης μιας πυρκαγιάς και την ώρα κατά την οποία σημειώνεται υπέρβαση των κριτηρίων ορθότητας (tenability) σε ένα συγκεκριμένο χώρο σε ένα κτίριο. Στην περίπτωση αυτή ο χρόνος αυτός αφορά τις υπόγειες μεταλλευτικές εγκαταστάσεις. (European Guideline, CFPA-E No19: 2009),

2) Απαιτούμενος χρόνος για ασφαλή έξοδο-required safe egress time (RSET)

Είναι ο χρόνος που υπολογίζεται ως ο χρόνος που απαιτείται από την αρχή της ανάφλεξης έως την ανίχνευση και τον χρόνο εντός του οποίου ολοκληρώνεται η εκκένωση. (European Guideline, CFPA-E No19: 2009),

4.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΔΥΝΗΤΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ

Σύμφωνα με το τμήμα εμπορίου και επιχειρηματικότητας της Νέας Νότιας Ουαλίας της Αυστραλίας έχουν ορίσει μία διαδικασία τεσσάρων βημάτων για την αξιολόγηση των δυνητικών καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. Σαν κομμάτι της διαδικασίας αξιολόγησης ο εκμεταλλευτής του μεταλλείου οφείλει να εξετάσει διάφορους παράγοντες.

- Ποιό είναι το κατώφλι για ένα συμβάν ώστε να θεωρηθεί έκτακτη κατάσταση σε ένα μεταλλείο
- Σε τι εύρος οφείλει το σχέδιο έκτακτης ανάγκης να εφαρμοστεί για κάθε δυνητικό συμβάν (δηλ. πλήρης ή μερική εφαρμογή)
- Η πιο πιθανή έκβαση κάθε εν δυνάμει έκτακτης ανάγκης
- Το μέγιστο αποτέλεσμα που θα μπορούσε εύλογα να αναμένεται ότι θα προκύψει για κάθε έκβαση έκτακτης ανάγκης

Αυτή η διαδικασία τεσσάρων βημάτων βοηθάει στην αναγνώριση δυνητικών καταστάσεων έκτακτης ανάγκης που έχουν παρόμοια αποτελέσματα (NSW Department of Trade and Investment, 2015).

Με παρόμοιο τρόπο και στην μελέτη εκτίμησης επαγγελματικών κινδύνων στο Παράρτημα 2 του Κ.Μ.Λ.Ε.(2011) περιγράφεται η μεθοδολογία με την οποία γίνεται η εκτίμηση αυτή και περιγράφεται σε 5 βήματα (για μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις):

- Βήμα 1. Προσδιορισμός των πηγών κινδύνων καθώς και των ατόμων που απειλούνται από αυτές.
- Βήμα 2. Αξιολόγηση της επικινδυνότητας και καθορισμός προτεραιοτήτων
- Βήμα 3. Λήψη αποφάσεων σχετικά με προληπτική δράση
- Βήμα 4. Ανάληψη δράσης
- Βήμα 5. Παρακολούθηση και αναθεώρηση

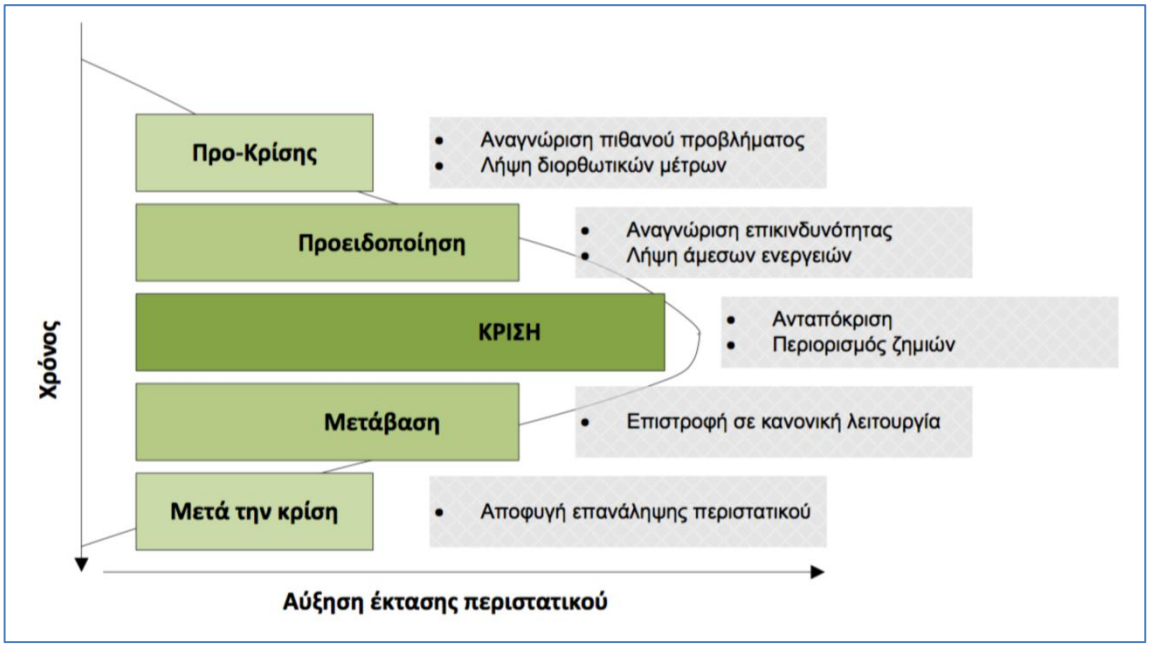
4.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΕΚΤΑΚΤΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Η αντιμετώπιση των έκτακτων καταστάσεων στις υπόγειες μεταλλευτικές εγκαταστάσεις αποτελεί ένα αναπόσπαστο κομμάτι των μελετών που είναι συνυφασμένες με την μελέτη, την λειτουργία και την συνέχιση ενός τέτοιου έργου. Ένα αναπόσπαστο ενδεχόμενο μιας έκτακτης κατάστασης είναι όμως η εκκένωση. Στην καθημερινότητα η εκκένωση χώρων εργασίας ή κατοικιών σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο για την προστασία των ανθρωπίνων ζωών, πράγμα το οποίο κάνει τον σχεδιασμό των κτηρίων να οδεύουν σε όλο και ασφαλέστερα σχέδια και προδιαγραφές για να εξασφαλίζουν την άμεση και αποδοτική εκκένωση.

Στην περίπτωση των υπόγειων μεταλλευτικών επιχειρήσεων η σημασία της προετοιμασίας, του σχεδιασμού, της εκπαίδευσης και της βελτίωσης των σχεδίων αυτών είναι καίρια για την αποφυγή θανάτων και υλικών ζημιών. Πιο συγκεκριμένα στους χώρους αυτούς το καταρτισμένο προσωπικό αναλαμβάνει να εκτελέσει τις διαδικασίες που έχουν οριστεί σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, να διαχειριστεί την πληροφορία που έχει διαθέσιμη όσον αφορά το συμβάν και να δράσει εντός των πλαισίων που έχουν οριστεί. Η ίδια η φύση των καταστάσεων έκτακτης ανάγκης είναι μη προβλέψιμη και γι' αυτόν τον λόγο θέτει σε κίνδυνο τις ζωές των εργαζομένων καθώς και τον υλικό εξοπλισμό του έργου. Συνεπώς ο σχεδιασμός όσον αφορά τις καταστάσεις έκτακτης ανάγκης οφείλει να είναι περιεκτικός ενώ παράλληλα και απλός στην κατανόηση του για να αποτρέπεται η σύγχυση κατά την διαχείριση τέτοιων περιστατικών.

Στο Σχήμα 4.1, απεικονίζεται η χρονική εξέλιξη μιας ενδεχόμενης κρίσης είτε αυτή διαρκεί λίγο είτε πολύ. Κατά την εξέλιξη μιας κρίσης υπάρχει δυνατότητα να αναγνωριστούν στάδια κατά τα οποία μια πιθανή επέμβαση να επιδρούσε κατασταλτικά στην ανάπτυξη της. Οι καταλληλότεροι άνθρωποι για να παρατηρήσουν ενδείξεις και

προειδοποιητικά φαινόμενα μιας ενδεχόμενης μελλοντικής κρίσης είναι πιθανότερα οι εργαζόμενοι και οι διαχειριστές των εγκαταστάσεων όπου πραγματοποιείται η κρίση και όχι άλλοι πιθανοί ελεγκτές κάποιου κυβερνητικού ή ασφαλιστικού φορέα.



Σχήμα 4.1:Τυπικά στάδια εξέλιξης μίας κρίσης (Καλλιανιώτης, 2015)

Κατά τον σχεδιασμό για τις καταστάσεις αυτές στους υπόγειους μεταλλευτικούς χώρους λαμβάνονται πληθώρα παραμέτρων για την διαμόρφωση του σχεδίου έκτακτων καταστάσεων ενώ υπολογίζονται οι δυνητικοί κίνδυνοι και αναθεωρούνται κατά την λειτουργία των εγκαταστάσεων αν τυχόν παρατηρηθεί ανάγκη για να ενισχυθεί το επίπεδο ασφαλείας σε κάποιο επί μέρους τμήμα ή ακόμα και στο σύνολο των διεργασιών που έχουν εφαρμοστεί.

Σύμφωνα με τις οδηγίες που έχουν εκδοθεί από τις Καναδικές αρχές τα στοιχεία που πρέπει να περιλαμβάνονται εντός του σχεδίου έκτακτων καταστάσεων είναι τα εξής (Πίνακας 4.1):

Πίνακας 4.1.: Περιεχόμενα σχεδίου έκτακτης ανάγκης, (Ministry of Energy, 2013)

1) Οδηγία Πολιτικής	**11) Απογραφή του εξοπλισμού διάσωσης του μεταλλείου**
2) Συντονιστής του σχεδίου έκτακτης ανάγκης μεταλλείου και ομάδα σχεδιασμού αναγνώριση έκτακτων καταστάσεων, πρόληψη και προστασία	**12) Συμφωνία αμοιβαίας βοήθειας (μεταξύ γειτνιαζόντων μεταλλευτικών εγκαταστάσεων)**
3) Καθήκοντα και αρμοδιότητες του προσωπικού	**13) Διαβούλευση άμεσης επέμβασης**
4) Σχέδιο ειδοποίησης έκτακτης ανάγκης	**14) Υπηρεσίες επικοινωνίας**
5) Διαχείριση περιστατικών έκτακτης ανάγκης για το κέντρο διοίκησης επιχειρήσεων έκτακτης ανάγκης	**15) Δημόσιες σχέσεις και σχέσεις με τα μέσα μαζικής επικοινωνίας**
6) Διαδικασίες έκτακτης ανάγκης	**16) Σχέδιο εκπαίδευσης**
7) Σχέδια Δράσης	**17) Σχέδιο ασκήσεων ετοιμότητας**
8) Σχέδια λειτουργίας και χάρτες μεταλλείου	**18) Εξέταση σχεδίου και επικυροποίηση**
9) Σχέδιο εκκένωσης και χάρτης των οδών διαφυγής	**19) Κόστη**
10) Διαδικασία εισόδου/εξόδου (check-in / check-out) για επείγουσες επιχειρήσεις	

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα παραπάνω είναι αναγκαίο να αναφέρονται σύμφωνα με κάποιες βασικές αρχές οι πληροφορίες, οι οποίες παρέχονται στα σχέδια αυτά και να περιλαμβάνουν τα εξής στοιχεία όπως έχουν αναφερθεί και από τον Καλλιανιώτη(2015):

- Καθορισμό ατόμων με εξουσία ώστε να μπορούν να δώσουν εντολή για εκκένωση
- Σαφή προσδιορισμό των ρόλων και των ευθυνών
- Ανάπτυξη καταλλήλων και ευέλικτων σχεδίων
- Αποτελεσματικό σύστημα προειδοποίησης και ενημέρωσης
- Εξασφάλιση δυνατότητας μετακίνησης (οδεύσεις διαφυγής)
- Δημιουργία και διατήρηση της εμπιστοσύνης και της συνεργασίας όλων των επηρεαζόμενων φορέων
- Κατάλληλη εκπαίδευση και συντονισμός ασκήσεων, πάνω στα ανεπτυγμένα σχέδια εκκένωσης.

Επειδή οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης είναι καταστάσεις, όπου από την φύση τους είναι τεταμένες είναι σημαντικό να προσδίδεται η πρέπουσα σημασία όχι μόνο στον σχεδιασμό της εκκένωσης αλλά και στον τρόπο με τον οποίο διεξάγεται η εκκένωση. Είναι αναγκαίο να εκτελείται η εκκένωση σωστά για να αποφεύγονται οι κίνδυνοι για τους εργαζομένους που είναι συνυφασμένοι με τις έκτακτες ανάγκες, όπως περίπτωση ποδοπατήματος εξαιτίας πανικού ή ακόμα και καρδιακής προσβολής εξαιτίας του στρες (της έντασης) της κατάστασης αυτής. Παράλληλα άλλοι κίνδυνοι που δυνητικά μπορεί να προκύψουν αφορούν τα φυσικά χαρακτηριστικά και τον εξοπλισμό των εγκαταστάσεων και των εργασιών που εκτελούνται (π.χ. στενά περάσματα,

απότομες σκάλες, μπλοκαρισμένα περάσματα εξόδου).

Με την πάροδο των χρόνων η ασφάλεια για τους χώρους διαβίωσης και εργασίας έχει αναγνωρίσει κάποια απαραίτητα στοιχεία που είναι αναγκαίο να πληρούνται για την προστασία από απώλεια υλικής περιουσίας και ανθρώπινων ζωών. Πιο συγκεκριμένα τα στοιχεία αυτά είναι η ύπαρξη τουλάχιστον δύο μέσων επικοινωνίας και ειδοποίησης, η ύπαρξη διακριτών και αναγνωρίσιμων πρωτευόντων και δευτερευόντων οδεύσεων διαφυγής και τέλος να έχουν διαμορφωθεί εναλλακτικά σημεία συγκέντρωσης από ειδικά εξειδικευμένο προσωπικό εξασφαλίζοντας:

- Την συνεχή επικοινωνία (π.χ. όσον αφορά την κυκλοφορία του προσωπικού για την αποφυγή παρεμβολών με οχήματα έκτακτης ανάγκης)
- Τη σωστή καταμέτρηση του προσωπικού στα σημεία συγκέντρωσης
- Τον εντοπισμό και την αναγνώριση προσωπικού που έχει εκκενώσει την εγκατάσταση για απολύμανση, πρώτες βοήθειες και άλλου είδους ιατρική περίθαλψη
- Τη μετακίνηση των ατόμων σε άλλους εντός ή εκτός των εγκαταστάσεων προσωρινούς χώρους στέγασης και παροχής, τροφής, νερού και υγιεινής

Σύμφωνα με το υπουργείο ενέργειας και πρώτων υλών του Καναδά (Ministry of Energy, 2013), ένα δείγμα έκτακτων διαδικασιών για υπόγειο μεταλλείο διαρθρώνεται ως εξής:

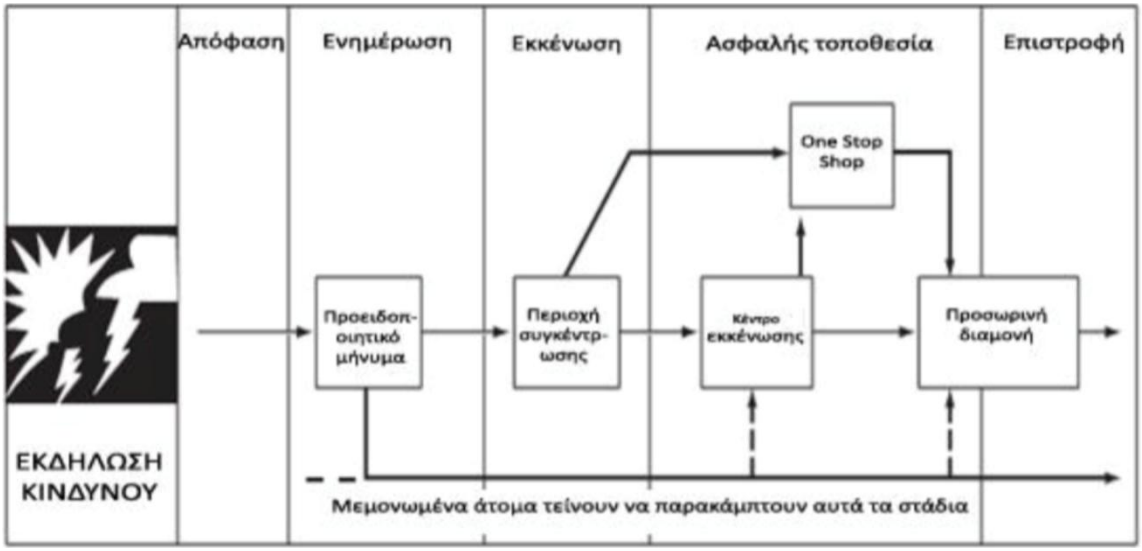
1. Εκκένωση σύμφωνα με την διαμορφωμένη διαδικασία της εταιρίας, μέτρηση ατόμων και επιβεβαίωση τοποθεσίας των ατόμων που μετρήθηκαν και η επιβεβαίωση των ατόμων των οποίων δεν μετρήθηκαν.
2. Ενημέρωση του επιβλέποντα ή του αρμόδιου.
3. Οποιοσδήποτε εργαζόμενος εντοπίζει καπνό ή μια φωτιά η οποία δεν είναι δυνατό να κατασβηστεί, οφείλει να ενημερώνει τον επιβλέποντα ή τον αρμόδιο στην επιφάνεια.
4. Ο αρμόδιος ειδοποιεί όλους τους εργαζομένους υπογείως χρησιμοποιώντας το σύστημα δύσοσμων αερίων ή άλλο εγκεκριμένο σύστημα προειδοποίησης.
5. Κατά την λήψη της ειδοποίησης, όλοι οι εργαζόμενοι υπογείως οφείλουν να προχωρήσουν σε μια προκαθορισμένη τοποθεσία, όπως δηλώνεται από τις διαδικασίες εκκένωσης.
6. Οι εργαζόμενοι που χρειάζεται να προχωρήσουν σε ένα καταφύγιο ασφαλείας θα ακολουθήσουν τις διαδικασίες που έχουν διαμορφωθεί για το συγκεκριμένο καταφύγιο ασφαλείας.
7. Οι εργαζόμενοι που χρειάζεται να προχωρήσουν προς ένα φρέαρ ή έναν σταθμό καθαρού αέρα θα ακολουθήσουν τις κατάλληλες διαδικασίες εκκένωσης.

Στην περίπτωση των υπόγειων μεταλλευτικών εγκαταστάσεων θα πρέπει σε κάθε περίπτωση και θέση να έχει διαρθρωθεί ένα σχέδιο έκτακτης ανάγκης και εκκένωσης προσαρμοσμένο στην κάθε περίπτωση.

4.3 ΣΤΑΔΙΑ ΤΗΣ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ

Η διαδικασία εκκένωσης όπως φαίνεται και στο παρακάτω Σχήμα 4.2, περιλαμβάνει πέντε στάδια:

- Εντολή - Απόφαση έναρξης εκκένωσης
- Προειδοποίηση–Ενημέρωση
- Απομάκρυνση των ενοίκων σε ασφαλή τοποθεσία
- Επιλογή τοποθεσίας αναφοράς
- Επιστροφή στις εγκαταστάσεις



Σχήμα 4.2.: Στάδια διαδικασίας εκκένωσης (Emergency management Australia, 2005)

Πιο αναλυτικά, η απόφαση για την έναρξη της εκκένωσης είναι το πρώτο στάδιο της διαδικασίας της εκκένωσης. Για να ληφθεί η απόφαση εκκένωσης πρέπει να έχουν ληφθεί και επεξεργαστεί διάφορες πληροφορίες ενώ παράλληλα είναι δυνατόν να υπάρχει και ανάγκη για αναζήτηση κάποιας πληροφορίας για το εύρος και την έκταση

προτού ληφθεί η απόφαση εκκένωσης. Επειδή όμως σε μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης δεν είναι πάντα δυνατό να βρεθεί όλη η απαραίτητη πληροφορία και να επεξεργαστεί εγκαίρως, υπάρχει ανάγκη πολλές φορές να ληφθεί η απόφαση με μεγαλύτερη αμεσότητα για την αποφυγή χειρότερων συνθηκών ή απωλειών ζωών. Τέλος είναι σημαντικό να τηρούνται τα πρότυπα και οι κανονισμοί εξασφαλίζοντας την ομαλή και αποδοτική λειτουργία του σχεδίου εκκένωσης.

Στη συνέχεια ακολουθεί στο δεύτερο στάδιο, η προειδοποίηση-ενημέρωση και καλύπτει το κομμάτι της διάδοσης των πληροφοριών στους εργαζομένους, με τη μορφή συμβουλών και οδηγιών κατεύθυνσης. Μια σωστή προειδοποίηση-ενημέρωση εξασφαλίζει την αποδοτικότητα και την έγκαιρη ενημέρωση των εργαζομένων, ενώ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την δόμηση και την σαφήνεια του μηνύματος για εκκένωση. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την εκκένωση είναι, ο χρόνος, η απόσταση, η οπτική επαφή με το σήμα της προειδοποίησης, τα χαρακτηριστικά της κατάστασης έκτακτης ανάγκης, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο θα μεταδοθεί η ενημέρωση από το αρμόδιο προσωπικό.

Κατά το τρίτο στάδιο γίνεται η απομάκρυνση των εργαζομένων σε ασφαλή τοποθεσία. Στο στάδιο αυτό ορισμένα σημαντικά στοιχεία είναι ο έλεγχος και ο συντονισμός της δράσης αυτής, που μπορεί να μην αποτελεί υποχρέωση ενός οργανισμού μόνο αλλά συνεργασία οργανισμών ή ομάδων εργαζομένων, επίσης οι προτεραιότητες κατά την εκκένωση περιορίζονται από τον διαθέσιμο χρόνο και την κατανομή των πόρων.

Στο τέταρτο στάδιο επιλέγεται η τοποθεσία συγκέντρωσης και περιλαμβάνει την παροχή ασφάλειας για τους εργαζομένους ενώ παράλληλα παρέχονται και καλύπτονται οι βασικές ανάγκες τους. Τέλος στο πέμπτο στάδιο σκοπεύει στην επιστροφή στις εγκαταστάσεις και παράλληλα εκτιμώνται οι συνθήκες που επικρατούν στην πληγείσα περιοχή έτσι ώστε να κριθεί αν είναι ασφαλής η επιστροφή σε αυτές. Αν τυχόν παρατηρηθούν δυνητικές ειδικές τροποποιήσεις, τότε η επιβολή τους σκοπεύει στην βελτίωση και την αποτροπή να συμβεί ένα νέο τέτοιο συμβάν.

Παράλληλα είναι σημαντικό να αναγνωρίζονται οι ρόλοι και οι αρμοδιότητες από όλες τις ομάδες που εμπλέκονται με την προειδοποίηση και να έχουν σαφή γνώση του ρόλου και της ευθύνης τους. Εξαιτίας της παραπάνω ανάγκης πολλές χώρες έχουν ενσωματώσει στην νομοθεσία τους τις ευθύνες των υπεύθυνων για την διατήρηση της ασφάλειας. Τέλος, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τις ομάδες που είναι αναγκαίο να ενημερωθούν είτε στο σύνολό τους είτε επί μέρους.

- Οι ένοικοι του χώρου που εξελίσσεται η έκτακτη ανάγκη (συμπεριλαμβανομένων ΑΜΕΑ)
- Τα Μ.Μ.Ε.
- Οι ομάδες και οι υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης
- Οι δημόσιες υπηρεσίες

Η διαδικασία προειδοποίησης είναι απαραίτητο να έχει σαφήνεια να μην δημιουργεί ενδοιασμούς να μην κρίνεται η αξιοπιστία της πηγής από τον οποία προέρχεται. Επίσης, είναι σημαντικό να συμπεριλαμβάνεται κάποιο σημείο-ελέγχου ή επιβεβαίωσης καθώς και ένας αναπαραγόμενος μηχανισμός.

Τέλος, στην περίπτωση που οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης εξελίσσονται σε μεγάλης έκτασης οργανισμούς ή σε εγκαταστάσεις με πολλούς τομείς είναι αναγκαίο κατά την προειδοποίηση να συμπεριλαμβάνονται κάποιες επιπλέον πληροφορίες. Αναφορικά κάποιες από τις πρόσθετες πληροφορίες είναι η εκδίδουσα αρχή της προειδοποίησης, η ακριβής περιγραφή του φαινομένου, η πιθανή επηρεαζόμενη ζώνη από τον κίνδυνο καθώς και τα μέσα ατομικής προστασίας (ΜΑΠ) που πρέπει να πάρουν μαζί τους οι ένοικοι, ενώ παράλληλα πρέπει να γίνεται και αναφορά σε αυτά που πρέπει να αφήσουν πίσω (π.χ. κάποιος εξοπλισμός)

4.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ

Κατά τον σχεδιασμό της εκκένωσης οι απαραίτητες αρχές που πρέπει να τηρούνται και να προσδιορίζονται, όπως αναφέρονται και στην διδακτορική διατριβή του Καλλιανιώτη (2015) είναι:

1. Καθορισμός των ατόμων με εξουσία που δύναται να δώσουν εντολή για εκκένωση
2. Σαφής προσδιορισμός των ρόλων και των ευθυνών των εμπλεκόμενων στο συμβάν ατόμων
3. Ανάπτυξη καταλλήλων και ευέλικτων σχεδίων
4. Η ύπαρξη αποτελεσματικού συστήματος προειδοποίησης και ενημέρωσης
5. Εξασφάλιση της δυνατότητας μετακίνησης, η ύπαρξη δηλαδή διόδων διαφυγής
6. Δημιουργία και διατήρηση της εμπιστοσύνης και της συνεργασίας όλων των επηρεαζόμενων ατόμων και φορέων
7. Κατάλληλη εκπαίδευση και ο συντονισμός ασκήσεων, εφαρμοσμένες στα ανεπτυγμένα σχεδία εκκένωσης κατά την πραγματοποίηση υπαρχόντων σεναρίων.

4.5 ΤΥΠΟΙ ΕΚΚΈΝΩΣΗΣ

Οι τύποι της εκκένωσης διαχωρίζονται από δύο παράγοντες από τους οποίους εξαρτώνται, τον χρόνο εκκένωσης και τον τρόπο διεξαγωγής της εκκένωσης. Όπως έχουν αναφερθεί και από τον Καλλιανιώτη (2015) οι χρονικοί τύποι εκκένωσης διαχωρίζονται σε άμεσες εκκενώσεις και προειδοποιημένες.

Η Άμεση εκκένωση πρόκειται για εκκένωση ως λογικό επακόλουθο ατυχήματος, απαιτεί άμεση αντίδραση και ως αποτέλεσμα επιτρέπει μικρή ή καθόλου προειδοποίηση, ενώ ο διαθέσιμος χρόνος προετοιμασίας για το συμβάν είναι περιορισμένος. Οι πιθανές καταστάσεις που απαιτούν τέτοιου είδους άμεση αντίδραση για εκκένωση είναι η διαρροή επικίνδυνων υλικών, εκδήλωση ανεξέλεγκτης φωτιάς, σεισμός κα..

Η προειδοποιημένη Εκκένωση πρόκειται για εκκένωση που προκύπτει από ένα γεγονός στο οποίο έχει προηγηθεί κάποια προειδοποίηση και δεν περιορίζει το χρόνο προετοιμασίας. Παραδείγματα αυτού του τύπου γεγονότων είναι κυρίως ακραία καιρικά φαινόμενα όπως πλημμύρες, κυκλώνες και άλλα. Στην περίπτωση όμως των υπόγειων μεταλλευτικών εγκαταστάσεων ένα παράδειγμα προειδοποιημένης εκκένωσης μπορεί να προκύψει από την συστηματική παρακολούθηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος του μεταλλείου.

Σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση του εγχειριδίου του αυστραλιανού οργανισμού για την διαχείριση έκτακτων καταστάσεων (Emergency management Australia, 2005), διακρίνονται σε:

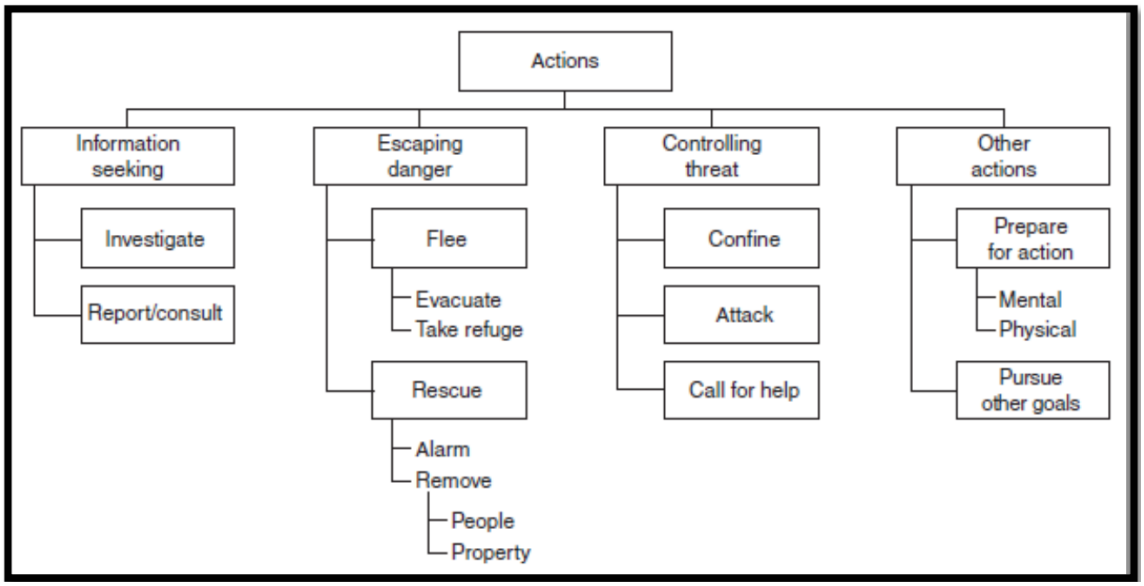
Μερική Εκκένωση: Σε μια μερική εκκένωση, οι εργαζόμενοι οι όποιοι επηρεάζονται άμεσα, ή των οποίων η ασφάλεια μπορεί να τεθεί σε κίνδυνο από την κατάσταση έκτακτης ανάγκης, πρέπει να μεταφερθούν από την απειλουμένη περιοχή σε ασφαλή χώρο. Αυτός ο ασφαλής χώρος μπορεί να βρίσκεται είτε εντός της εγκατάστασης είτε μακριά από αυτή.

Πλήρης Εκκένωση: Σε μια πλήρη εκκένωση, όλοι οι εργαζόμενοι πρέπει να εκκενώσουν τις εγκαταστάσεις. Σε ορισμένες περιπτώσεις, και πάλι ανάλογα με τη φύση και την αμεσότητα της έκτακτης ανάγκης, μελή της ομάδας επέμβασης μπορεί να παραμείνουν πίσω για να εξασφαλιστεί ότι όλοι οι άλλοι ένοικοι έχουν εκκενώσει το χώρο και να εξετάσει η κατάσταση του.

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον καθορισμό του τύπου εκκένωσης που πρέπει να διεξαχθεί. Αναφορικά, παράγοντες που δύναται να επηρεάσουν την εκκένωση, είναι η φύση της κατάστασης έκτακτης ανάγκης (φωτιά, απώλεια αερισμού κ.α.) καθώς και οι δυνητικοί κίνδυνοι για την ασφάλεια και την υγεία των ατόμων, οι οποίοι καθορίζονται σε συνάρτηση με το εύρος και την σοβαρότητα του περιστατικού που οδήγησε στην κατάσταση έκτακτης ανάγκης. Ο προσδιορισμός όσο το δυνατόν περισσότερων παραγόντων που επηρεάζουν την εκκένωση καθορίζει την αμεσότητα της εκκένωσης και είναι αναγκαίος για την εκπόνηση των σχεδίων εκκένωσης.

4.6 ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ

Σύμφωνα με όσα αναφέρονται εντός του εγχειριδίου του SFPE (society of fire protection engineers) (2002) η αμεσότητα στην λήψη απόφασης κατά την εκδήλωση ενός έκτακτου περιστατικού είναι πολύ σημαντική, αλλά παρόλα αυτά τα άτομα και οι ομάδες ατόμων φαίνεται να καθυστερούν στην λήψη απόφασης μέχρι η δράση να κρίνεται απαραίτητη. Το παραπάνω φαινόμενο μπορεί να περιοριστεί με την επαρκή και εντατικοποιημένη εκπαίδευση των ατόμων. Παρακάτω στο σχήμα Σχήμα 4.3 φαίνονται οι τύποι ενεργειών που μπορεί να προβούν τα εμπλεκόμενα άτομα.



Σχήμα 4.3: Αποφάσεις που μπορεί να προβούν οι ένοικοι-χρήστες (Mowrer, 2002)

4.7 ΧΡΟΝΟΙ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ

Γενικά, η ασφάλεια των ζωών των ατόμων κατά την εμφάνιση έκτακτης κατάστασης εξασφαλίζεται εφόσον ο απαιτούμενος χρόνος (RSET) για ασφαλή έξοδο είναι μικρότερος από τον διαθέσιμο χρόνο (ASET) για ασφαλή έξοδο.

ASET

Όταν ο χρόνος ASET που είναι ο χρόνος κατά τον οποίο οι συνθήκες που αναπτύσσονται σε ένα χώρο καθίστανται μη βιώσιμες, αφορά μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης από πυρκαγιά ,προσδιορίζεται ακριβέστερα με την χάραξη καμπυλών που αφορούν τις συνθήκες στον χώρο. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζεται η βιωσιμότητα του χώρου συναρτήσει των συγκεντρώσεων των τοξικών ουσιών, της περιεκτικότητα σε οξυγόνο, της θερμοκρασίας, του καπνού και του χρόνου. Πιο συγκεκριμένα οι καμπύλες αυτές δύναται να χαραχθούν με την δημιουργία σεναρίων φωτιάς καθώς και με την σχεδίαση χώρων έρευνας και την εισαγωγή τους σε προγράμματα προσομοίωσης που υπολογίζουν την διάδοση της φωτιάς, της θερμότητας και του καπνού στον χώρο. Με τον τρόπο αυτό προκύπτουν αποτελέσματα που λαμβάνουν υπόψη την γεωμετρία του χώρου, την φύση του καιώμενου υλικού και των παραγόμενων προϊόντων της φωτιάς δίνοντας την ευκαιρία να τα συγκρίνουμε με αρχικά κριτήρια διαβίωσης που έχουμε θέσει για την έρευνα. Τέλος στα προγράμματα αυτά υπάρχουν και άλλες παράμετροι που μπορούν να εισαχθούν, όπως τα συστήματα πυρόσβεσης, αερισμού, και αισθητήρων.

Στον Πίνακα 4.2, όπως αναφέρονται από τον Κυρίτση (2010) παραθέτονται οι διαφορετικοί διαθέσιμοι χρόνοι ASET που απαιτούνται για ολοκλήρωση της διαδικασίας εκκένωσης για περιπτώσεις υπόγειων έργων, για διάφορες δυνητικές καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

Πίνακας 4.2.: Χρόνος ASET ανά περίπτωση ατυχήματος (Κυρίτσης, 2010)

ΕΙΔΟΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΟΣ	**ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ASET ΣΕ ΛΕΠΤΑ (min)**	
ΠΥΡΚΑΓΙΑ	Χωρίς ιδιαίτερη πρόληψη	15
	Με πρόσθετο σύστημα αερισμού έκτακτης ανάγκης	30
	Με εσωτερικούς διαχωρισμούς-Θύρες ασφαλείας	45
Διαρροή τοξικών ουσιών	Με ύπαρξη μόνο ανιχνευτών	15
	Με πρόσθετο σύστημα αερισμού έκτακτης ανάγκης	30
Πλημύρα-εισροή υδάτων	45	
Γενική απειλή (π.χ. βόμβα)	15-30	
Σεισμός	30	
Βλάβη στο σύστημα αερισμού	Εξαρτάται	

RSET

Ο διαθέσιμος χρόνος RSET χωρίζεται σε διακριτά χρονικά διαστήματα, το άθροισμα των οποίων συγκροτούν τον συνολικό όπως φαίνεται παρακάτω από την εξίσωση: υπολογισμός απαιτούμενου χρόνου RSET (Mowrer, 2002):

Εξίσωση: Υπολογισμός απαιτούμενου χρόνου εκκένωσης RSET

$$RSET = t_{det} + t_{al} + t_o + t_i + t_e$$

Όπου:

t_{det}: ο χρόνος από την ανάφλεξη της φωτιάς έως την ανίχνευση

t_{al}: ο χρόνος από τον εντοπισμό της φωτιάς έως την ειδοποίηση των ατόμων για την πυρκαγιά

t_o: ο χρόνος από την γνωστοποίηση της πυρκαγιάς έως την απόφαση των ατόμων να λάβουν μέτρα

t_i: ο χρόνος από την απόφαση για δράση έως την έναρξη της διαδικασίας εκκένωσης

t_e: ο χρόνος από την έναρξη της εκκένωσης έως την ολοκλήρωση της διαδικασίας εκκένωσης

Στους επιμέρους χρόνους που απαρτίζουν τον χρόνο RSET, περιλαμβάνονται ουσιαστικά οι χρόνοι που απαιτούνται για να δράσουν τα άτομα, οι ομάδες ατόμων και συστήματα όπως συσκευές πυρανίχνευσης και συναγερμού. Οι επιμέρους χρόνοι του RSET αφορούν επίσης τις ατομικές και συλλογικές δράσεις των ατόμων (π.χ. πυρόσβεση) και των συστημάτων από την έναρξη της εκκένωσης, μέχρι την ολοκλήρωσή της.

Σύμφωνα με όσα έχει αναφέρει η Αρβελάκη(2014), γενικά ο πραγματικός χρόνος διαφυγής υπερβαίνει το χρόνο που προκύπτει από την ανάλυση. Δεδομένου ότι ο χρόνος εκκένωσης που προκύπτει από την ανάλυση είναι μια προσέγγιση που βασίζεται σε δεδομένα από ασκήσεις εκκένωσης και εμπειρία σε περιπτώσεις αντιμετώπισης πυρκαγιάς, είναι πιθανό να υπερβαίνει τον πραγματικό χρόνο εκκένωσης. Η διαφορά μεταξύ του υπολογισμένου με βάση την ανάλυση χρόνου εκκένωσης και του πραγματικού χρόνου εκκένωσης μπορεί να εκφραστεί με όρους φαινομενικής αποδοτικότητας της εκκένωσης χρησιμοποιώντας την παρακάτω σχέση πραγματικός χρόνος εκκένωσης (Mowrer, 2002). Ακόμα στο Σχήμα 4.4. εμφανίζονται οι χρόνοι ASET, RSET καθώς και οι επιμέρους χρόνοι.

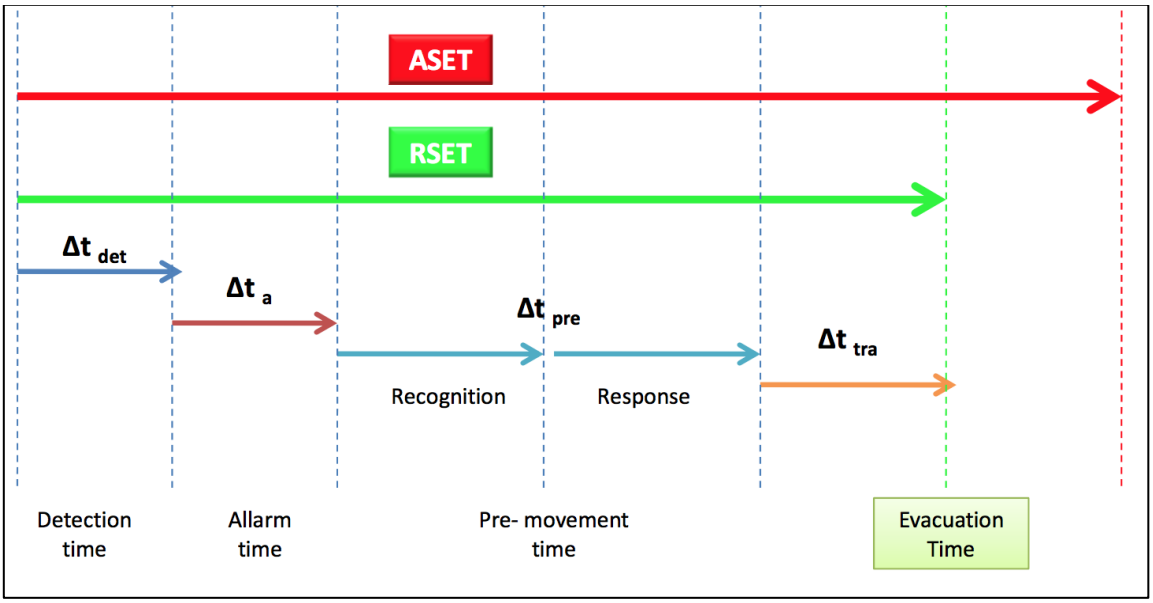
Σχέση: πραγματικός χρόνος εκκένωσης

$$t_e = t_{me} \times e$$

όπου,

t_{me}: Ο χρόνος κίνησης βάση της ανάλυσης

e: Η φαινομενική αποδοτικότητα



Σχήμα 4.4: Χρόνος ASET, RSET και επιμέρους χρόνοι (European Guideline, CFPA-E No19: 2009),

Ακόμα όσον αφορά τον απαιτούμενο χρόνο RSET όπως αναφέρεται και από τον Καλλιανιώτη (2015), οι επιμέρους χρόνοι του, επηρεάζονται από παράγοντες που αφορούν την χρήση του χώρου (πυκνότητα πληθυσμού) υλικοτεχνικό εξοπλισμό (αισθητήρες, μέσα πυρόσβεσης) και την κατάσταση των εργαζομένων (εκπαίδευση, επαγρύπνηση). Τα παραπάνω δύναται να επηρεάσουν τον χρόνο από την ανάφλεξη μέχρι τον εντοπισμό της φωτιάς, τον χρόνο ειδοποίησης, και αντίληψης της κατάστασης έκτακτης ανάγκης και τον χρόνο αντίδρασης και ολοκλήρωσης της εκκένωσης. Στον Πίνακα 4.3 παρατίθενται οι παράγοντες που επηρεάζουν τους συντελεστές του χρόνου RSET.

Πίνακας 4.3: παράγοντες που επηρεάζουν τους συντελεστές του χρόνου εκκένωσης RSET (Proulx, 2002) (European Guideline, CFPA-E No19: 2009)

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΡΟΝΟΥ	**ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟΥΣ ΧΡΟΝΟΥΣ**
$\mathbf{t_{det}+t_{al}}$	1. Ανιχνευτές 2. Αισθητήρες 3. Πυκνότητα ενοίκων 4. Θερμοκρασία ενεργοποίησης 5. Χώρος επιρροής-κάλυψη αισθητήρων 6. Είδος δραστηριότητας ενοίκων-χρηστών 7. Χαρακτηριστικά της πυρκαγιάς
$\mathbf{t_{pre}}$	1. Εκπαίδευση των ενοίκων 2. Συστήματα συναγερμού 3. Βαθμός εξοικείωσης των ενοίκων-χρηστών
$\mathbf{t_e}$	1. Θέση πυρκαγιάς 2. Αριθμός εξόδων 3. Μήκη διαδρομών διαφυγής 4. Πληθυσμός 5. Πλάση οδεύσεων διαφυγής 6. Συμπεριφορές των ενοίκων-χρηστών 7. Ταχύτητα των ενοίκων 8. Διατάξεις διάσωσης 9. Ύψος υπερκειμένων για τον υπόγειο χώρο

Ακόμα είναι απαραίτητο να αναφερθούν μερικές ουσιώδεις διαφορές μεταξύ υπόγειων μεταλλευτικών χώρων και λοιπών εγκαταστάσεων, όσον αφορά την εκκένωση όπως έχουν συγκεντρωθεί από τον Κυρίτση (2010) και προσαρμοστεί για υπόγειες μεταλλευτικές εγκαταστάσεις όπως παρατίθενται στον Πίνακα 4.4.

Πίνακας 4.4: Σύγκριση υπόγειων μεταλλευτικών και υπέργειων εγκαταστάσεων όσον αφορά κάποια χαρακτηριστικά της εκκένωσης

ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ	**ΥΠΕΡΓΕΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ**
Πορεία σε μη ομαλό έδαφος με πιθανή ύπαρξη υδάτων και λάσπης και μεγάλες διαδρομές	Καθοδική πορεία στα κλιμακοστάσια
Ο καπνός κινείται προς τις εξόδους του αέρα, σύμφωνα με το κύκλωμα αερισμού	Ο καπνός κινείται προς το πλησιέστερο άνοιγμα, παράθυρο κτλ.
Η θερμοκρασία αυξάνεται πιο γρήγορα για την ίδια καύσιμη ύλη, τα θερμά αέρια κινούνται εντός της στοάς	Η θερμοκρασία αυξάνεται με μικρότερο ρυθμό για την ίδια καύσιμη ύλη, τα θερμά αέρια κινούνται προς την πλησιέστερη δίοδο διαφυγής (πόρτα, παράθυρο)
Μικρή αίσθηση προσανατολισμού για τους ένοικους-χρήστες, μη ύπαρξη μόνιμου φωτισμού	Ο προσανατολισμός είναι καλύτερος και πιθανόν φυσικός φωτισμός
Τάση των ενοίκων-εργαζομένων για έξοδο από την διαδρομή που εισήλθαν στον χώρο	Οι ένοικοι-εργαζόμενοι έχουν την τάση να ακολουθούν την σήμανση και τις πινακίδες
Καθυστέρηση εκκίνησης της εκκένωσης	Η εκκίνηση της εκκένωσης δεν καθυστερεί
Μεγαλύτερη κόπωση των ενοίκων-χρηστών λόγω διάβασης από ανοδικές ράμπες και σκάλες	Η κόπωση των ενοίκων είναι μικρότερη

Χρόνος Εντοπισμού t_{det}

Σε μία κατάσταση έκτακτης ανάγκης από πυρκαγιά, η στιγμή της ανάφλεξης είναι η στιγμή "εκκίνησης" του περιστατικού της πυρκαγιάς. Από την στιγμή αυτή υπολογίζεται ο εντοπισμός του περιστατικού. Ο χρόνος αυτός μπορεί να διαρκέσει από μερικά δευτερόλεπτα έως και ώρες, αφού εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της φωτιάς

(π.χ. με καπνό, χωρίς καπνό), και τους αισθητήρες που έχουν τοποθετηθεί στις εγκαταστάσεις. Με σκοπό να καθοριστεί αυτός ο χρόνος στην Ευρωπαϊκή οδηγία CFPA-E (No19: 2009), χωρίστηκαν οι χρόνοι εντοπισμού σε τρείς κατηγορίες ανάλογα με το εκάστοτε εφαρμοζόμενο σύστημα ανίχνευσης. Παράλληλα ο Καλλιανιώτης (2015) αναφέρει, ότι σε ένα αυτόματο σύστημα εντοπισμού μιας φωτιάς, ο χρόνος εντοπισμού εξαρτάται από την ευαισθησία του συστήματος, με αποτέλεσμα να προκύπτει από τις προδιαγραφές του συστήματος χωρίς ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης. Διαφορετικά ο χρόνος εντοπισμού εξάγεται από τον σχεδιασμό των σεναρίων πυρκαγιάς. Παρακάτω στον Πίνακα 4.5 παρατίθενται οι χρόνοι tdet ανά κατηγορία συστήματος ανίχνευσης

Πίνακας 4.5: χρόνοι tdet ανά κατηγορία συστήματος ανίχνευσης (European Guideline, CFPA-E No19: 2009)

ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ	**ΧΡΟΝΟΣ tdet (min)**
Με αυτόματο σύστημα ανίχνευσης	1
Χωρίς ύπαρξη αυτόματου συστήματος ανίχνευσης	2

Χρόνος Συναγερμού t_{al}

Ο χρόνος που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί ο συναγερμός είναι μεταβλητός από σύστημα σε σύστημα. Πιο συγκεκριμένα ο Κυρίτσης(2010) έχει διαχωρίσει σε τρείς κατηγορίες τα συστήματα συναγερμού αναλόγως με το επίπεδο αυτοματοποίησης των διεργασιών λήψης αποφάσεων και αποστολής του σήματος εκκένωσης, όπως παραθέτονται στον παρακάτω πίνακα. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την αμεσότητα του συναγερμού είναι από την μια μεριά η λήψη της

απόφασης για εκκένωση του χώρου και τα μέσα με τα οποία θα εκπεμφθεί το σήμα (σειρήνες, οπτικά σήματα, λεκτικές ή γραπτές εντολές) και από την άλλη πλευρά ο βαθμός στον οποίο η λήψη απόφασης για εκκένωση μπορεί να ληφθεί από κεντρικό υπολογιστή που δέχεται σήμα από τους τοποθετημένους αισθητήρες. Η κατηγορία 1 συμπεριλαμβάνει τις εγκαταστάσεις με σύστημα αισθητήρων ρυθμισμένων να εντοπίζουν θερμότητα, τοξικές ουσίες και καπνό και να στέλνουν τα δεδομένα σε κεντρικό υπολογιστή, ο οποίος διερμηνεύοντας τις πληροφορίες αυτές αποφασίζει για την εκκένωση ή όχι του χώρου. Σε αυτήν την κατηγορία ο χρόνος από την εντόπιση μέχρι τον συναγερμό είναι αμελητέος.

Στην κατηγορία 2 υπάρχει σύστημα αισθητήρων και κεντρικού υπολογιστή που λαμβάνει τα δεδομένα αλλά ο συναγερμός δεν είναι άμεσος. Η απόφαση γενικού συναγερμού ή όχι προκύπτει μέσα από την στρατηγική του σχεδίου εκκένωσης.

Στην κατηγορία 3 το σύστημα συναγερμού είναι ενεργοποιούμενο χειρωνακτικά μέσω χειριστηρίου πλησίον του συμβάντος από κάποιον εργαζόμενο που βρίσκεται στον χώρο μετά την αντίληψη της καταστάσεως έκτακτης ανάγκης. Στην κατηγορία αυτή το εύρος του χρόνου που απαιτείται για την αντίληψη της κατάστασης και την σήμανση του συναγερμού ποικίλει ανάλογα με την ηλικία την εκπαίδευση, το αν είναι μόνιμος εργαζόμενος η επισκέπτης καθώς και από άλλους παράγοντες (Πινάκας 4.6).

Πίνακας 4.6: Χρόνοι t_{al} ανά κατηγορία συναγερμού (Κυρίτσης, 2010)

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ	**ΧΡΟΝΟΣ t_{al} (min)**
Κατηγορία 1	1
Κατηγορία 2	2-5
Κατηγορία 3	5: για μόνιμους εργαζόμενους
	6: για επισκέπτες

Κατά την σήμανση του συναγερμού έχει αναφερθεί ότι υπάρχουν παράγοντες για την αναγνώριση και ανταπόκριση στον συναγερμό. Όταν ο εργαζόμενος αναγνωρίζει τον συναγερμό, συνεχίζει να απασχολείται με την δραστηριότητα που έκανε προτού λάβει το σήμα. Κάποιες μεθοδολογίες για τον περιορισμό του φαινομένου αυτού είναι:

1. Το εκάστοτε εγκατεστημένο σύστημα να προσφέρει σαφείς οδηγίες για κάθε τύπο εκκένωσης.
2. Η σήμανση του συναγερμού να γίνεται μαζί με ηχητικές εντολές ώστε να αποσπάται η προσοχή του ενοίκου-χρήστη.
3. Οι μαγνητοφωνημένες οδηγίες να είναι προσαρμοσμένες σε κάθε τύπο εκκένωσης.
4. Η ειδοποίηση των εργαζομένων υπεύθυνων για την εκκένωση, με σκοπό την ανάληψη δράσης σε ειδικούς χώρους όπως είναι οι υπόγειοι χώροι.

Όταν ο εργαζόμενος ανταποκρίνεται στον συναγερμό, παρόλο ότι αντιδρά, δεν έχει ξεκινήσει ακόμα την διαδικασία εκκένωσης. Κάποια παραδείγματα των δράσεων και τον συμπεριφορών των ενοίκων-χρηστών σε αυτό το χρονικό διάστημα είναι:

- Ο προσδιορισμός της προέλευσης του συναγερμού, της αξιοπιστίας του και το επίπεδο σημαντικότητάς του.
- Η παύση της λειτουργίας των μηχανημάτων (π.χ. φορτωτές, μηχανή διάτρησης)
- Η συγκέντρωση των ενοίκων-εργαζομένων σε ομάδες
- Η αντίδραση για την καταπολέμηση φωτιάς από κάποιους εργαζόμενους
- Ο προσδιορισμός του κατάλληλου δρόμου διαφυγής
- Η ενημέρωση και η ειδοποίηση άλλων ενοίκων-εργαζομένων

Χρόνος πριν τη μετακίνηση t_i

Ο χρόνος πριν την μετακίνηση t_i, δηλαδή ο χρόνος από την απόφαση για δράση μέχρι την εκκίνηση της μετακίνησης είναι αυτός που διαφοροποιείται πιο πολύ, ιδιαίτερα στην περίπτωση ενός υπόγειου έργου. Συνεπώς σημαντικό ρόλο στον χρόνο αντίδρασης έχουν και τα χαρακτηριστικά των ατόμων, όπως το φύλο, και η ηλικία εκτός από το μέγεθος του πληθυσμού των ατόμων. Μερικές παραδοχές που διευκολύνουν την μελέτη του χρόνου αυτού είναι:

- Η παύση της λειτουργίας των μηχανημάτων και των εργασιών των ατόμων πριν την εκκένωση
- Η μη ύπαρξη ατόμων με κινητικές ή πνευματικές ανάγκες
- Η εγρήγορση όλων των ενοίκων-χρηστών
- Ύπαρξη συγκεκριμένων αρμοδιοτήτων στους ενοίκους-χρήστες, ώστε να εξασφαλίζεται καλή ανταπόκριση στον συναγερμό
- Η εμπιστοσύνη στον συναγερμό (σπανιότητα λανθασμένων συναγερμών)
- Η Εξοικείωση και εκπαίδευση όσον αφορά τις διαδικασίες εκκένωσης και αντιμετώπισης έκτακτων καταστάσεων

Χρόνος κίνησης για εκκένωση t_e

Πρόκειται στην ουσία για τον πραγματικό χρόνο που διαρκεί από την έναρξη της κίνησης έως ότου εκκενώσουν όλοι οι εργαζόμενοι τον χώρο προς μια ασφαλή τοποθεσία. Ο χρόνος αυτός επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως το πλήθος και τον τύπο (ηλικίες, φύλο) των εργαζομένων, καθώς και από τα χαρακτηριστικά του χώρου (πλάτος οδεύσεων διαφυγής, μήκος διαδρομής, πλάτος εξόδων σκάλες, ράμπες κ.α.). Σύμφωνα με τον Κυρίτση (2010) για να είναι ολοκληρωμένη η ανάλυση για τον προσδιορισμό του χρόνου εκκένωσης είναι απαραίτητο να αναφερθούν κάποια

σημαντικά στοιχεία που εντοπίζονται σε πολλαπλές έρευνες και εστιάζουν στην κίνηση ατόμων κατά την εκκένωση.

- Ο πανικός είναι ένα σχετικά σπάνιο γεγονός κατά την εμφάνιση φωτιάς. Συνήθως κατά την εκκένωση επικρατούν κανονικές συμπεριφορές και λαμβάνονται σωστές επιλογές διαφυγής.
- Επικρατεί λογική και αλτρουιστική συμπεριφορά των ατόμων.
- Συχνά αγνοείται ο συναγερμός, σημάδια καπνού και οσμών καθώς και άλλα σημάδια και δαπανάται χρόνος στην διερεύνηση της αιτίας και της σοβαρότητας της κατάστασης. Στους υπόγειους χώρους τα άτομα τείνουν να έχουν εμπιστοσύνη στο σήμα του συναγερμού (αίσθηση ανασφάλειας στους υπόγειους χώρους) και δεν δαπανούν τόσο χρόνο στην εκτίμηση της σοβαρότητας και της αιτίας.
- Στις έντονες καταστάσεις ο χρόνος λήψης απόφασης είναι μικρότερος και έτσι τα άτομα πιθανότερα επιλέγουν την πιο οικεία δίοδο διαφυγής.
- Κατά την ανταπόκριση σε μια έκτακτη ανάγκη ή ένα ατύχημα τα άτομα τείνουν να ομαδοποιούνται και να διαφεύγουν με τα πιο οικεία σε αυτά άτομα (πρόκειται για μια κοινωνική αντίδραση).
- Διάφορα προβλήματα που εμφανίζονται κατά την ομαλή λειτουργία του χώρου και δεν δημιουργούν καταστάσεις έκτακτης ανάγκης (χαλασμένα μέσα επικοινωνίας, προβλήματα κυκλοφορίας, εμφράξεις σε διόδους και εξόδους), τείνουν να προκαλούν έντονα και επικίνδυνα προβλήματα αν εμφανιστούν παράλληλα με μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης.

Συνυπολογίζοντας όλα τα παραπάνω και με την χρήση εμπειρικών μαθηματικών μοντέλων καταφέρνουμε να υπολογίσουμε τον χρόνο κίνησης την ταχύτητα βαδίσματος καθώς και τον τρόπο που ο καπνός, σε περίπτωση πυρκαγιάς θα επηρεάσει την κίνηση. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.7) παρουσιάζονται στοιχεία από μελέτη της ταχύτητας κίνησης ατόμων και ατόμων με κινητικές δυσκολίες σε οριζόντιες επιφάνειες

(European Guideline, CFPA-E No19: 2009). Όπως αναφέρεται και στην προαναφερθείσα ευρωπαϊκή οδηγία (2009) για τα άτομα τα οποία δεν έχουν ειδικές ανάγκες ή κάποια δυσκολία, στην διεθνή βιβλιογραφία η τιμή που παίρνει η ταχύτητα βαδίσματος είναι 1,20-1,25m/s.

Πίνακας 4.7: Ταχύτητα ενοίκων-χρηστών με ειδικές ανάγκες (European Guideline, CFPA-E No19: 2009)

ΤΥΠΟΣ ΟΜΑΔΑΣ (πλήθος)	**ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ (m/s)**	**ΑΠΟΚΛΙΣΗ (m/s)**	**ΕΥΡΟΣ (m/s)**
Όλοι: Άτομα με ειδικές ανάγκες (π=107)	1.00	0.42	0.10-1.77
Άτομα με κινητικές δυσκολίες (π=101)	0.80	0.37	0.10-1.68
Χωρίς βοήθεια (π=52)	0.95	0.32	0.24-1.68
Με πατερίτσες (π=6)	0.94	0.30	0.63-1.35
Με μπαστούνι (π=33)	0.81	0.38	0.26-1.60
Με Π (π=10)	0.57	0.29	0.10-1.02
Χωρίς κινητική δυσκολία (π=6)	1.25	0.32	0.82-1.77
Με ηλεκτρικό καροτσάκι (π=2)	0.89	-	0.85-0.93
Με χειροκίνητο καροτσάκι (π=12)	0.69	0.35	0.13-1.35
Με χειροκίνητο καροτσάκι με βοήθεια (π=16)	1.30	0.34	0.84-1.98
Με φορείο (π=18)	0.78	0.34	0.21-1.40

Όταν παράλληλα με την εκκένωση λαμβάνει χώρα και πυρκαγιά, ο καπνός και η θερμότητα που εκλύεται επηρεάζει ψυχολογικά και σωματικά τους ενοίκους-χρήστες. Μέσα από μελέτη της επίδρασης του καπνού έχει προκύψει ο Πίνακας 4.8., που καθορίζει χονδρικά την επίδραση της μείωσης της ορατότητας στην ταχύτητα κίνησης των ενοίκων-χρηστών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι στην εμφάνιση πυκνού καπνού που μειώνει την ορατότητα κάτω από τα 8 m το 30% των ατόμων γυρνάνε πίσω.

Πίνακας 4.8: Επιρροή του καπνού στην ταχύτητα σε σχέση με την ορατότητα (European Guideline, CFPA-E No19: 2009)

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΚΑΠΝΟΥ **ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ (m)**	**ΜΕΙΩΣΗ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (m)**	**ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ (m/s)**
30	0	Ταχύτητα μη επηρεασμένη 1.2m/s
18-28	2-12	Ταχύτητα περιορισμένη 0.3m/s
8-18	12-22	Ταχύτητα περιορισμένη 0.3m/s
3-8	22-28	Το 30% των ενοίκων-χρηστών γυρνάνε πίσω

Χρόνος Ασφαλείας: t_{safety}

Ο χρόνος αυτός πρόκειται για την διαφορά μεταξύ του διαθέσιμου χρόνου ASET και του απαιτούμενου χρόνου RSET. Μετά τον υπολογισμό του ASET και RSET, η διαφορά ASET–RSET> 0, μας δίνει τον χρόνο ασφαλείας. Στην περίπτωση όπου αντί για την χρήση παραδοχών για τον διαθέσιμο χρόνο ASET (Πίνακας 4.2), έχει υπολογιστεί ως αποτέλεσμα προσομοιώσεων των συνθηκών σε μοντέλο για φωτιά και αν έχουν ληφθεί υπόψη οι δυσμενέστερες συνθήκες, τότε ο χρόνος ασφαλείας θα αποδίδει με πραγματική προσέγγιση το περιθώριο ασφαλείας.

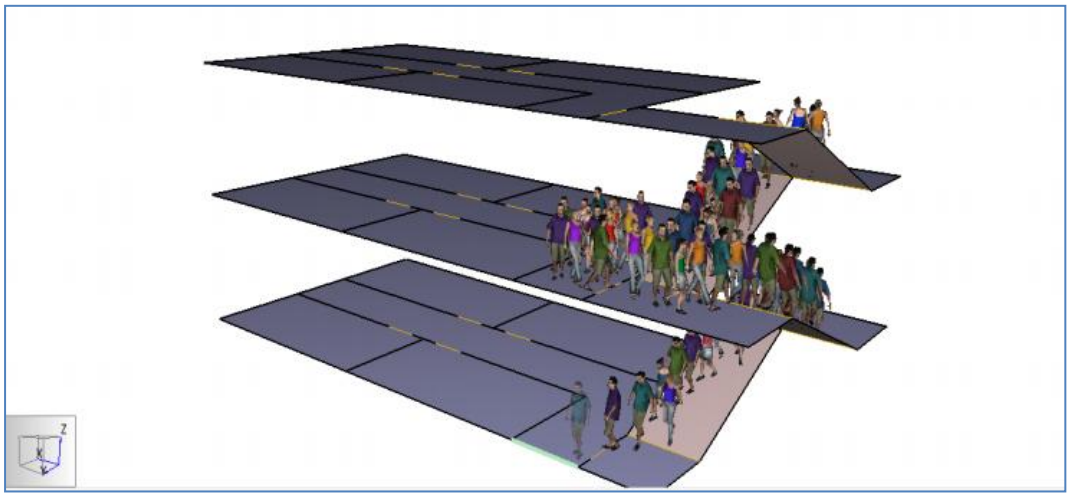
5. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

ΓΕΝΙΚΑ

Από την αρχή της δημιουργίας τους και εδώ και περίπου τριάντα χρόνια, οι έρευνες, οι μελέτες καθώς και τα προγράμματα προσομοιώσεων που έχουν αναπτυχθεί καλύπτουν ένα μεγάλο φάσμα χώρων μελέτης και σεναρίων. Συνοπτικά οι εφαρμογές αφορούν:

- Την κίνηση πεζών ατόμων καθώς και ατόμων με κινητικές δυσκολίες
- Την προσομοίωση της εκκένωσης ατόμων
- Την προσομοίωση της εξάπλωσης πυρκαγιών σε συνάρτηση με το καιόμενο υλικό και την γεωμετρία του ερευνώμενου χώρου

Ένα παράδειγμα προσομοίωσης εκκένωσης σε κτήριο με κλιμακοστάσιο με την χρήση του προγράμματος προσομοίωσης εκκένωσης Pathfinder παραθέτεται στο Σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.1: Προσομοίωση εκκένωσης με την χρήση του προγράμματος Pathfinder (Pathfinder, 2016)

Οι παραπάνω εφαρμογές κατά την μελέτη τους δημιούργησαν την ανάγκη για όλο και πιο σύνθετα μοντέλα υπολογισμού των αναπτυσσόμενων φαινομένων. Έτσι για να αξιολογήσουμε το πόσο ανεπτυγμένο είναι ένα πρόγραμμα είναι απαραίτητο να αναφέρουμε ότι:

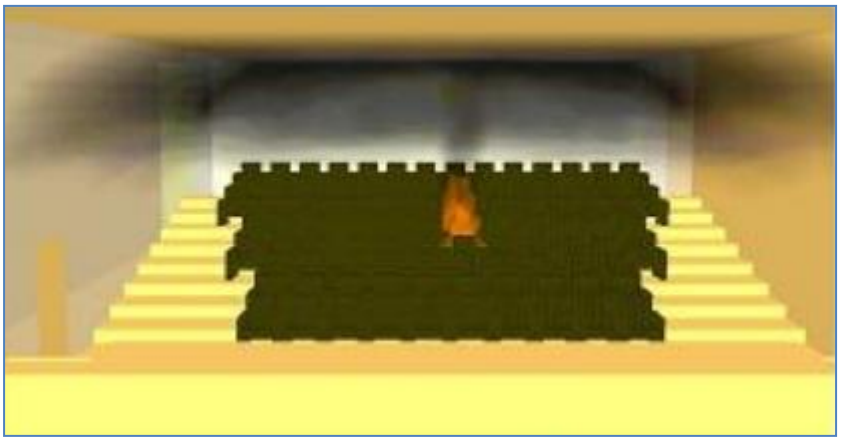
- Κατά την αρχική εμφάνιση τα προσομοιώματα λειτουργούσαν εφαρμόζοντας απλές παραδοχές και αποδίδοντας περιγραφικά τα αποτελέσματά τους.
- Μετέπειτα εμφανίστηκαν μοντέλα για χρήση σε Η/Υ και με χρήση υδραυλικών μοντέλων για την μελέτη του φαινομένου.
- Στην συνέχεια εμφανίστηκαν λογισμικά που κάνουν χρήση εξελιγμένων εξισώσεων σε Η/Υ και αποδίδουν αποτελέσματα για τα άτομα σε πραγματικό χρόνο.
- Τέλος σήμερα υπάρχουν πολυπαραγοντικά μοντέλα Η/Υ τελευταίας τεχνολογίας με την δυνατότητα εισαγωγής και ανάλυσης πολλών παραμέτρων (πυρκαγιάς, κίνησης ατόμων, διασπορά σωματιδίων, συστήματα αερισμού).

Κάποιοι από τους παράγοντες που μπορούν να ληφθούν υπόψη σε ένα μοντέλο εκκένωσης (evacuation modeling) και σε ένα μοντέλο προσομοίωσης πυρκαγιάς (FDS) (Fire Dynamic Simulation) είναι:

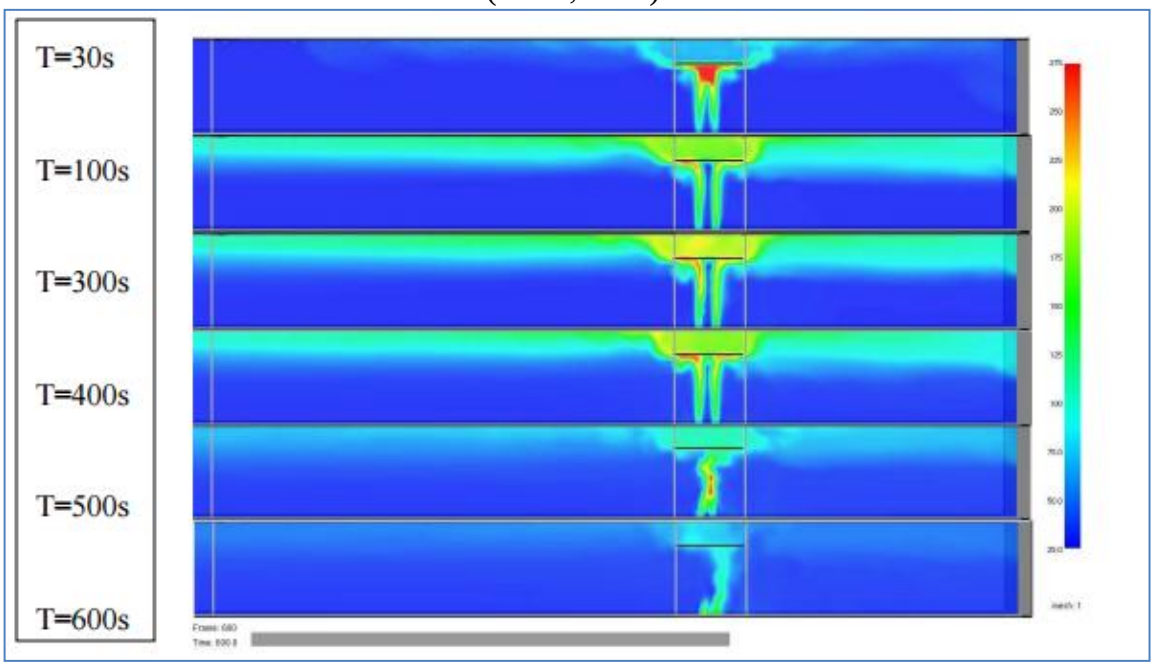
- Η γεωμετρία του προς μελέτη χώρου (μήκος διόδων διαφυγής, αριθμός εξόδων κ.α.).
- Διαδικασίες που εκτελούνται κατά την εκκένωση ή την εμφάνιση πυρκαγιάς (τρόπος συναγερμού, επίπεδο εκπαίδευσης, συστήματα αισθητήρων, συστήματα πυρόσβεσης, συστήματα αερισμού κ.α.).
- Οι συνθήκες του περιβάλλοντος (ποσοστό υγρασίας, εμφάνιση καπνού, ορατότητα κ.α.).

- Στοιχεία συμπεριφορών των ενοίκων-χρηστών (ανταπόκριση της ταχύτητας σε διάφορους παράγοντες όπως καπνό και κλίση, επιλογή διαδρομής διαφυγής, ταχύτητα αναγνώρισης του κινδύνου).

Ενδεικτικές εικόνες του οπτικού αποτελέσματος, που προκύπτει από τα προγράμματα προσομοίωσης FDS παρατίθεται παρακάτω στα Σχήματα 5.2 και 5.3.



Σχήμα 5.2: Προσομοίωση στο πρόγραμμα PyroSim για αίθουσα κινηματογράφου, (Glasa, 2012)



Σχήμα 5.3: Τυπική εξέλιξη της θερμοκρασίας πλησίον της πυρκαγιάς σε οδικό τούνελ (Μικρώνης, 2013)

Η ανάγκη δημιουργίας μοντέλων όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικών ώθησαν τους ερευνητές μακριά από την λήψη παραδοχών και στο να αναπτύξουν προσομοιώσεις σε υπολογιστές. Έτσι η επιλογή του καταλληλότερου λογισμικού για την προσομοίωση βασίζεται στην διαφοροποίηση τους όσον αφορά τις δυνατότητες που δίνουν στον ερευνητή και την λογική λειτουργίας τους. Στην αγορά υπάρχουν πολλά μοντέλα προσομοιώσεων και η επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου για την κάθε περίπτωση δεν είναι εύκολη υπόθεση. Γενικά όσο πιο πολλές παραμέτρους λαμβάνει υπόψη το κάθε μοντέλο προσομοίωσης τόσο πιο απαιτητικό θα είναι σε κατανάλωση επεξεργαστικής ισχύος του Η/Υ. Συνεπώς η πολυπλοκότητα του μοντέλου έρχεται να συμβιβαστεί με τον χρόνο που απαιτείται για την παράθεση των αποτελεσμάτων. Αναφορικά μερικά από τα βασικά κριτήρια για την επιλογή τους είναι:

- Η διαθεσιμότητα πληροφοριών που συνοδεύουν το πρόγραμμα.
- Οι δυνατότητες εφαρμογής του σε ποικιλία χώρων και εφαρμογών.
- Η μέθοδος προσομοίωσης, η χρήση δηλαδή μοντέλων συμπεριφορών ή όχι, τα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή φυσικών φαινομένων (πυρκαγιά, αερισμός, διασπορά σωματιδίων, διάχυση της θερμότητας κ.α.) και η δυνατότητα για τεχνητή νοημοσύνη.
- Η δυνατότητα συνεργασίας με άλλα προγράμματα (π.χ. συνδυασμός προγραμμάτων προσομοίωσης πυρκαγιάς και εκκένωσης).
- Η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων(2D, 3D, Augumented Reality, Virtual reality).
- Η ύπαρξη ή όχι επικυρωμένων ελέγχων από άλλες εφαρμογές ή άλλους ερευνητές.

Συνοψίζοντας απαραίτητο είναι ο χρήστης του λογισμικού να έχει διαθέσιμο χρόνο για να εξοικειωθεί με τα προγράμματα προσομοίωσης. Από την χρήση των μοντέλων αυτών επιδιώκουμε να αντλήσουμε ποσοτικοποιημένα στοιχεία για τον χρόνο

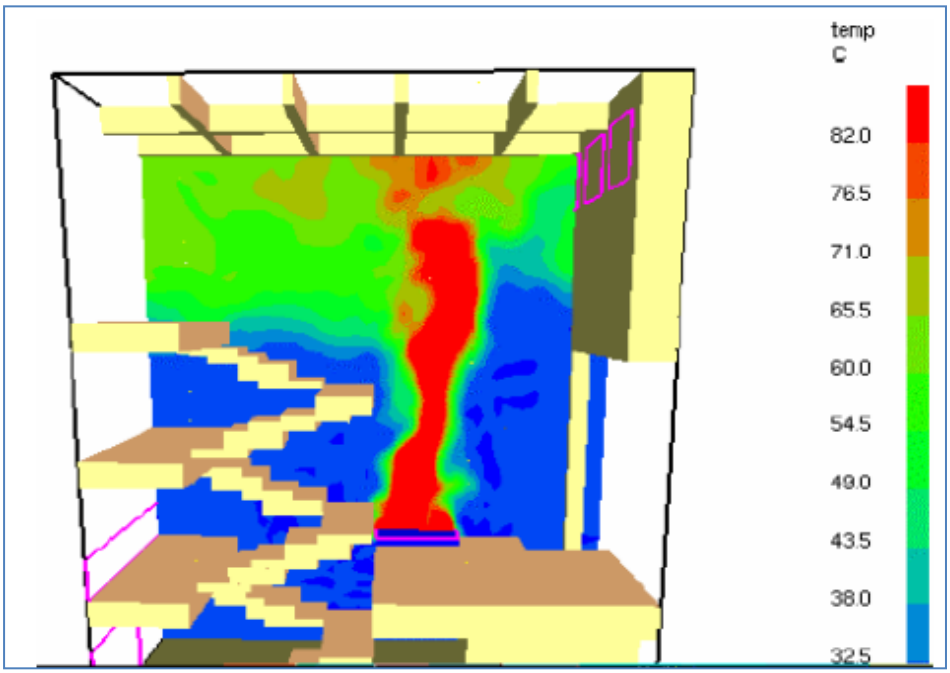
RSET και ASET, συνεπώς από την προσομοίωση αντίστοιχα της εκκένωσης υπολογίζεται ο χρόνος t_e που είναι μέρος του RSET και από την προσομοίωση της πυρκαγιάς προκύπτει ο χρόνος ASET για τον χώρο μελέτης. Τέλος απαραίτητο είναι να υπολογίζονται και οι όποιες πιθανές αποκλίσεις στους χρόνους αυτούς λαμβάνοντας υπόψη όσο το δυνατόν περισσότερες συνιστώσες.

Τα τελευταία χρόνια οι περισσότεροι από τους προαναφερόμενους παράγοντες έχουν ενσωματωθεί και μπορούν να μοντελοποιηθούν για την προσομοίωση, ενώ οι προσομοιώσεις αποδίδουν τα αποτελέσματά τους όχι μόνο ως αρχείο αλλά και σε οπτικό υλικό (τρισδιάστατη απεικόνιση). Κάποια από τα προγράμματα που υπάρχουν για την προσομοίωση πυρκαγιάς και εκκένωσης αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.1), κάποια από αυτά υπάρχει περίπτωση να έχουν αλλάξει όνομα, να έχουν ενσωματωθεί σε κάποιο νέο ή να έχουν αποσυρθεί.

Πίνακας 5.1: προγράμματα προσομοίωσης εκκένωσης και πυρκαγιάς (FDS Graphical User Interfaces (GUIs), 2016), (Kuligowski, 2005)

Προγράμματα προσομοίωσης εκκένωσης	**Προγράμματα προσομοίωσης πυρκαγιάς (FDS)**
EXODUS	ASPIRE smoke detection simulation
STEPS	BlenderFDS
Pathfinder	CYPE
Legion	Project Scorch (αποσύρθηκε))
EXITT	PyroSim

Τα παραπάνω προγράμματα έχουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους ενώ πολλές φορές η συνεργασία μεταξύ τους δεν είναι πάντοτε δυνατή για να ληφθούν υπόψη τα προσομοιώματα συγκέντρωσης, κίνησης καπνού, φωτιάς και άλλων αερίων κατά την προσομοίωση της εκκένωσης. Για την απόκτηση μιας γενικής εικόνας για τα προγράμματα εκκένωσης και τα χαρακτηριστικά τους όπως αναφέρεται και η Ευρωπαϊκή οδηγία CFPA-E (No19:2009) παρατίθεται στο παράρτημα 2 που συμπεριλαμβάνει στοιχεία για τα προγράμματα αυτά. Στα επόμενα σχήματα 5.4 και 5.5 παρατηρούνται ενδεικτικές εικόνες από την μελέτη με την χρήση των παραπάνω προγραμμάτων για διάφορες περιπτώσεις χώρων.



Σχήμα 5.4: Προσομοίωση εξέλιξης πυρκαγιάς σε αίθριο κτηρίου (Chang,2003)

Σχήμα 5.5:Προσομοίωση ανάπτυξης καπνού σε τούνελ (Weisenpacher, 2011)

5.1 PYROSIM ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Το πρόγραμμα PyroSim είναι ένα γραφικό περιβάλλον για τον χρήστη (Graphical User Interface), το οποίο τρέχει το πρόγραμμα FDS (Fire Dynamics Simulator), δίνοντας έτσι την δυνατότητα να προβλευθούν οι συγκεντρώσεις του καπνού, του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και άλλων ουσιών κατά την διάρκεια μιας πυρκαγιάς, όπως επίσης και τα προφίλ των θερμοκρασιών για έναν χώρο. Το πρόγραμμα PyroSim έχει αναπτυχθεί από την εταιρεία Thunderhead Engineering ενώ το FDS έχει αναπτυχθεί από το NIST (National Institute of Standards and Technology).

Το αναφερόμενο πρόγραμμα (FDS) πρόκειται για ένα μοντέλο προσομοίωσης με υπολογιστή, της δυναμικής θερμικά ωθούμενων ροών ρευστών (CFD, Computational Fluid Dynamics). Πιο συγκεκριμένα το FDS επιλύει μια μορφή των εξισώσεων του Navier-Stokes, κατάλληλες για χαμηλής ταχύτητας και θερμικά ωθούμενες ροές, δίνοντας έμφαση στην κίνηση του καπνού και της θερμότητας από την φωτιά. Το

πρόγραμμα Smokeview είναι ένα ξεχωριστό πρόγραμμα οπτικοποίησης, που χρησιμοποιείται για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης του FDS. Τέλος είναι αναγκαίο να αναφερθεί ότι τα προγράμματα προσομοίωσης φωτιάς είναι βασισμένα στην εφαρμογή που έχει αναπτυχθεί από τον εθνικό οργανισμό πιστοποίησης και τεχνολογίας των Η.Π.Α. (NIST, National Institute of Standards and Technology) και επιδιώκουν στην δημιουργία ενός καλύτερου οπτικού περιβάλλοντος για τον χρήστη, με σκοπό την ευκολότερη ανάπτυξη των εφαρμογών για το πρόγραμμα FDS (PyroSim, 2014). (McGrattan, 2013)

Η πρώτη έκδοση του FDS απελευθερώθηκε στο κοινό για πρώτη φορά τον Φεβρουάριο του 2000. Μέχρι σήμερα το πρόγραμμα έχει εφαρμοστεί κατά το ήμισυ για τον σχεδιασμό συστημάτων διαχείρισης καπνού, καθώς και για την μελέτη συστημάτων αισθητήρων και πυρόσβεσης (sprinklers) και την δράση τους σε συνάρτηση με μια πυρκαγιά. Το υπόλοιπο μισό των μελετών αποτελεί την αναπαράσταση φωτιάς, οικιακών και βιομηχανικών χώρων. Καθ’ όλη την ανάπτυξη του FDS στόχος ήταν η επίλυση πρακτικών προβλημάτων πυρκαγιάς στο πλαίσιο της μηχανικής πυροπροστασίας, ενώ παράλληλα προσφέροντας ένα εργαλείο για την μελέτη των βασικών παραγόντων της δυναμικής της πυρκαγιάς και της καύσης. (McGrattan, 2013)

Ο κύριος αλγόριθμος, βάσει του οποίου λειτουργεί το FDS είναι ένα ρητό σχέδιο πρόβλεψης-διόρθωσης, δεύτερης τάξης ακριβείας στον χώρο και τον χρόνο (explicit predictor-corrector scheme, second order accurate in space and time). Η αναταραχή αντιμετωπίζεται μέσω των μεγάλων προσομοιώσεων Eddy (Large Eddy Simulation). Το πρόγραμμα είναι εφικτό να εκτελέσει και απευθείας αριθμητική προσομοίωση (Direct Numerical Simulation ,DNS), εφόσον το υποκείμενο αριθμητικό δικτύωμα/κάναβος είναι αρκετά λεπτό, αν και συνήθως δεν προτιμάται λόγω της μεγάλης χρονικής διάρκειας που χρειάζεται για να προκύψουν τα αποτελέσματα. Η προσομοίωση LES είναι η προεπιλεγμένη λειτουργία του προγράμματος.

Το μοντέλο της καύσης στις περισσότερες εφαρμογές των προγραμμάτων FDS χρησιμοποιεί μια χημική αντίδραση ενός βήματος με έλεγχο της μίξης και χρησιμοποιώντας τρία συγκεντρωμένα είδη (ένα είδος αντιπροσωπεύοντας μια ομάδα

ειδών). Τα τρία είδη αυτά είναι ο αέρας, το καύσιμο και τα προϊόντα. Από προεπιλογή τα δύο τελευταία είδη υπολογίζονται ρητώς από τον υπολογιστή. Επιλογές εντός του προγράμματος μας δίνουν την δυνατότητα δημιουργίας πολλαπλών αντιδράσεων, που να μην είναι απαραίτητα ελεγχόμενες από την μίξη του καυσίμου.

Η μεταφορά της θερμικής ακτινοβολίας εμπεριέχεται στο μοντέλο μέσω της επίλυσης της εξίσωσης μεταφοράς της θερμικής ακτινοβολίας για φαιά αέρια (gray gas) και σε μερικές περιορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο λευκής ζώνης (white-band model). Η εξίσωση επιλύεται χρησιμοποιώντας μια τεχνική παρόμοια με την μέθοδο πεπερασμένων όγκων για μεταφορά με συναγωγή και έτσι λαμβάνει το όνομα μέθοδος πεπερασμένου όγκου (Finite Volume Method (FMV)) (McGrattan, 2013).

5.2 PATHFINDER ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Το Pathfinder είναι μια μηχανή προσομοίωσης βασιζόμενη σε παράγοντες, που χρησιμοποιεί συμπεριφορές διεύθυνσης για την μοντελοποίηση της κίνησης των ενοίκων-χρηστών. Αποτελείται από τρία μέρη, ένα γραφικό περιβάλλον αλληλεπίδρασης για τον χρήστη, την μηχανή προσομοίωσης και την μηχανή οπτικοποίησης των 3D αποτελεσμάτων.

Στην τεχνική αναφορά για τον πρόγραμμα επισημαίνεται ότι, το Pathfinder παρέχει δύο κύριες επιλογές για την κίνηση των ενοίκων-χρηστών (Pathfinder, 2016). Κατά την μια επιλογή εφαρμόζονται οι γενικές ιδέες που εμπεριέχονται στο εγχειρίδιο του SPFE (2002), (SFPE Handbook of Fire Protection Engineering) (Mowrer, 2002). Στην περίπτωση αυτού του μοντέλου ροής, η ταχύτητα βαδίσματος καθορίζεται από την πυκνότητα των ενοίκων-(εργαζομένων) του κάθε δωματίου και η ροή μέσα από πόρτες καθορίζεται από το πλάτος τους. Στην δεύτερη περίπτωση (Steering mode) το μοντέλο της κίνησης είναι βασισμένο στην γενική ιδέα των αντίστροφων συμπεριφορών κίνησης.

Οι συμπεριφορές κίνησης παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά στην εργασία του Craig Reynold "Steering Behaviors For Autonomous Characters"(1999) και αργότερα τελειοποιήθηκε σε αντίστροφες συμπεριφορές κίνησης στην εργασία του Heni Ben Amor et. al. (2006). Η επιλογή αυτή στο Pathfinder επιτρέπει πιο σύνθετες κινήσεις να αναδειχτούν φυσικά ως παραπροϊόν των αλγορίθμων κίνησης εξαλείφοντας την ανάγκη υπολογισμού πυκνότητας (ενοίκων-χρηστών) και ουρών στις πόρτες. Τέλος στο Παράρτημα 2 βρίσκεται πίνακας για την αξιολόγηση πολλών διαθέσιμων λογισμικών προσομοίωσης κίνησης ατόμων, βάσει των δυνατοτήτων τους.

5.3 ΣΥΝΟΨΗ ΕΠΙΛΟΓΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Τα προγράμματα PyroSim και Pathfinder πρόκειται για δύο λογισμικά ανεπτυγμένα από την ίδια εταιρία και διαθέσιμα για ακαδημαϊκούς λόγους για εύλογο χρονικό διάστημα. Τα προγράμματα αυτά έχουν την δυνατότητα προσομοίωσης πληθώρας παραγόντων ενώ δίνουν την δυνατότητα και συγκερασμού των αποτελεσμάτων για πιο πολυπαραγοντικές προσεγγίσεις. Τέλος είναι απαραίτητο να επισημάνουμε ότι κάποιες από τις δυνατότητες που μας προσφέρει ο συνδυασμός προγραμμάτων αφορούν, τις αποφάσεις των ατόμων, τις αποφάσεις για αντιστροφή η όχι του αερισμού, την απόκριση συστημάτων αισθητήρων, την επιρροή πιθανών στενώσεων η εμφράξεων των υπόγειων σηράγγων, την επιρροή των προϊόντων της πυρκαγιάς στους ενοίκους-χρήστες και την εφαρμογή σύνθετων πρωτοκόλλων κατά την εκκένωση (διεργασίες υπό την μορφή της κίνησης παύση σε ένα σημείο και συνέχιση). Επιπλέον, μέσα στις λειτουργίες τους είναι και η εμφάνιση των τρισδιάστατων απεικονίσεων της διαδικασίας εκκένωσης και των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης πυρκαγιάς με την εξαγωγή τους σε οπτικό υλικό (video).

6. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

6.1 ΣΤΟΧΟΙ

Ο σκοπός της μελέτης περίπτωσης ήταν να δημιουργηθεί ένας χώρος μελέτης στα προγράμματα προσομοίωσης, τέτοιος ώστε να μπορεί να αποδώσει οπτικά την διαδικασία εκκένωσης παράλληλα με την εκδήλωση πυρκαγιάς. Ακόμα δημιουργήθηκαν τα απαραίτητα στοιχεία που αφορούν την προσομοίωση του περιβάλλοντος του μεταλλείου (αερισμός), των χώρων και της δημιουργούμενης έκτακτης ανάγκης από πυρκαγιά. Με τον τρόπο αυτό επιτεύχθηκε η οπτική απεικόνιση της εξέλιξης της κατάστασης έκτακτης ανάγκης παράλληλα με την δράση της εκκένωσης.

Χρησιμοποιώντας με αυτόν τον τρόπο τα λογισμικά που έχουν προαναφερθεί καταφέραμε να έχουμε ποσοτικοποιημένα μεγέθη για πληθώρα στοιχείων που αφορούν την εκκένωση καθώς και την ασφάλεια και υγεία των προσομοιούμενων εργαζομένων. Επιπροσθέτως με την λήψη παραδοχών για τον τρόπο δράσης των ομάδων των εργαζομένων, όσον αφορά τους επιμέρους χρόνους του απαιτούμενου χρόνου για εκκένωση (RSET) καθώς και άλλων ενεργειών, όπως την αναστροφή του αερισμού ή την μερική εκκένωση προς το καταφύγιο ασφαλείας (safe haven), καταφέραμε να συγκρίνουμε τα διαφορετικά αποτελέσματα και να αξιολογήσουμε τις διαφορετικές επιδράσεις που δύναται να προκύψουν για τους εργαζόμενους με την αλλαγή των παραμέτρων αυτών.

Στα ακόλουθα κεφάλαια αναλύονται εκτενώς ο χώρος μελέτης που επιλέχτηκε και το πως προσομοιώθηκε, οι παραδοχές που χρειάστηκε να ληφθούν για την προσομοίωση και τα διαφορετικά σενάρια για την εκκένωση, τον αερισμό και το σενάριο πυρκαγιάς.

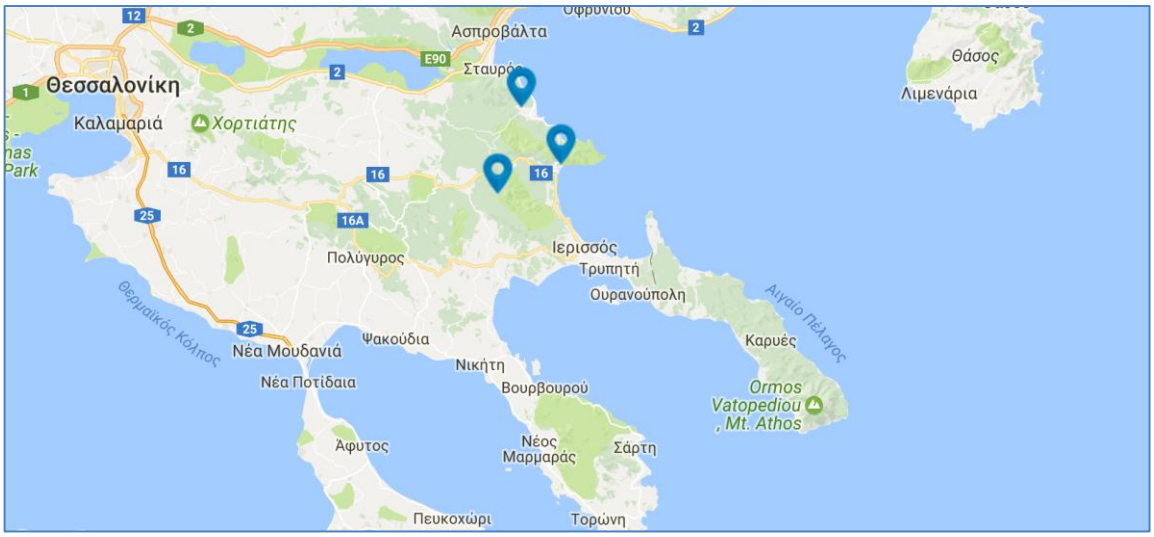
6.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο χώρος μελέτης που επιλέχτηκε, μετά την προσφορά στοιχείων για τις εκμεταλλεύσεις της ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ.Α.Ε. είναι εντός του μεταλλείου των Μαύρων Πετρών στο Στρατώνι Χαλκιδικής. Η περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής παρουσιάζει έντονο κοιτασματολογικό-μεταλλευτικό ενδιαφέρον εξαιτίας των μεγάλων κοιτασμάτων θειούχων βασικών και πολύτιμων μετάλλων, των κοιτασμάτων μαγγανίου και εξαιτίας των εμφανίσεων πολλών άλλων μεταλλικών ορυκτών.

Το Μεταλλείο Μαύρων Πετρών βρίσκεται ανατολικά και κάτω από τον οικισμό της Στρατονίκης του Δήμου Αριστοτέλη. Το σύνολο της περιοχής των ΜΕΣ (Μεταλλευτικών Εγκαταστάσεων Στρατωνίου) αποτελεί μεταλλειοκτησία της Ελληνικός Χρυσός Α.Ε. Τα κύρια έργα προσπέλασης του μεταλλείου περιλαμβάνουν τις στοές στα υψόμετρα +216 , +360, +224, το φιρέ Μαύρων Πετρών και τη συνδετήρια κεκλιμένη στοά-ράμπα +300/+120. Η μεταλλοφορία που απαντάται στην περιοχή των ΜΕΣ κατατάσσεται στην κατηγορία των συμπαγών κοιτασμάτων Pb-Zn-Ag υδροθερμικής αντικατάστασης.

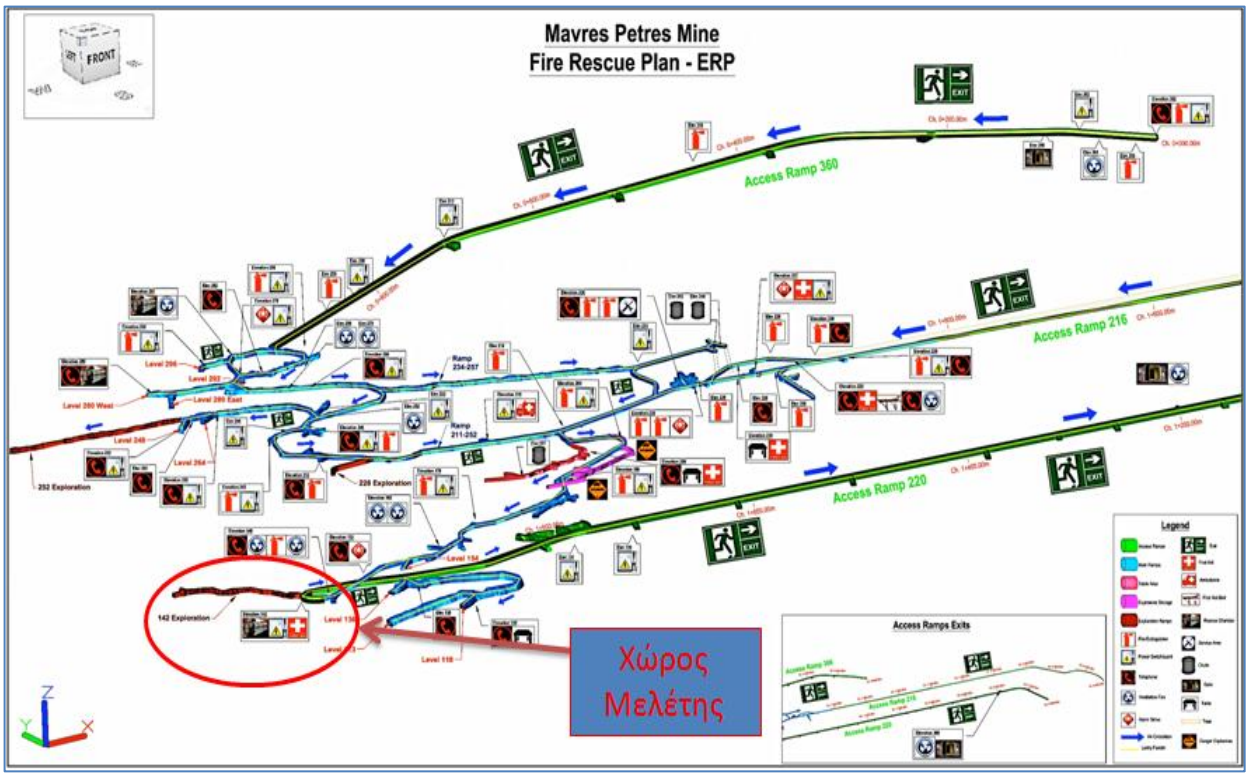
Η μέθοδος εκμετάλλευσης που χρησιμοποιείται από το 1991 μέχρι και σήμερα είναι η μέθοδος εναλλασσόμενων κοπών και λιθογωμόσεων κατά κατερχόμενη φορά υπό συνθήκες διευρυνόμενου μετώπου κατά την οπισθοχώρηση. Η παραπάνω μέθοδος εφαρμόστηκε πρώτα από την εταιρία TVX Hellas Α.Ε., στα μεταλλεία Μαντέμ Λάκκου και Μαύρων Πετρών, ενώ συνεχίζεται και από την εταιρία Ελληνικός Χρυσός Α.Ε.. Το μεταλλείο των Μαύρων Πετρών λειτουργεί τρείς βάρδιες την ημέρα και απασχολεί στην πρώτη και στην δεύτερη βάρδια 30 άτομα ενώ στην τρίτη βάρδια 25 άτομα. Παρακάτω στο Σχήμα 6.1 επισημαίνονται οι τοποθεσίες μεταλλειοκτησίας της Ελληνικός Χρυσός

Α.Ε., Στρατώνι Χαλκιδικής (δεξιά), Ολυμπιάδα Χαλκιδικής (επάνω), Σκουριές Χαλκιδικής (αριστερά).



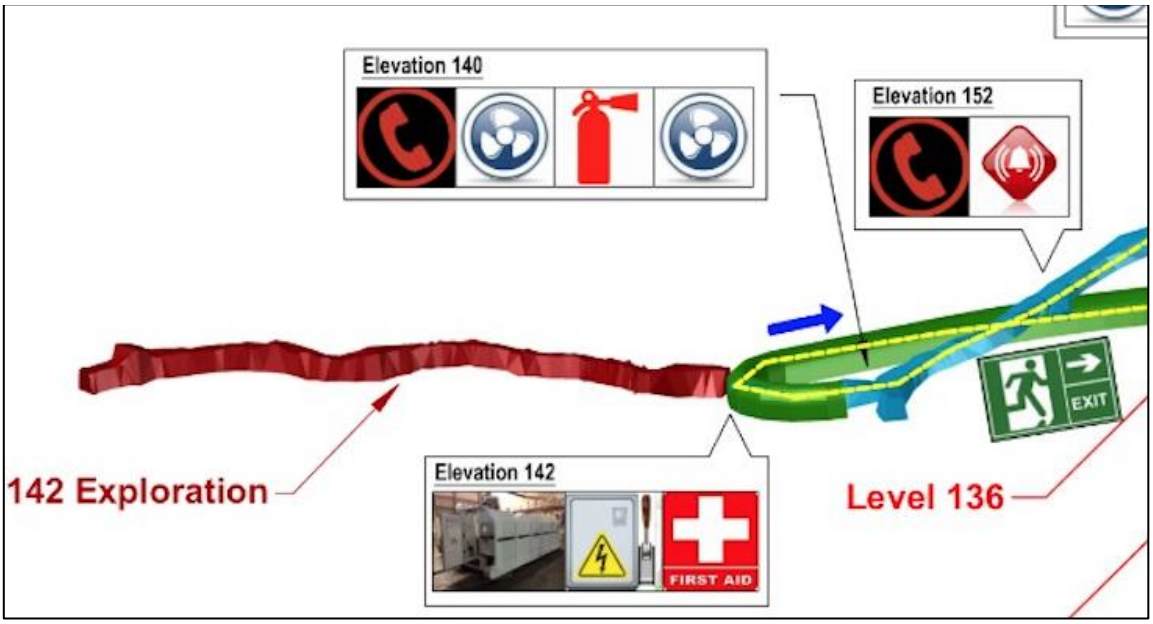
Σχήμα 6.1: Τοποθεσίες της Ελληνικός Χρυσός Α.Ε. πηγή: (Hellas Gold, 2016)

Η ετήσια παραγωγή του μεταλλείου Μαύρων Πετρών το έτος 2015 ανήλθε στους 180.000 τόνους ενώ προβλεπόταν να μειωθεί στους 149.000 τόνους το 2016 και στους 106.000 τόνους το 2017 εξαιτίας της σταδιακής εξάντλησης των αποθεμάτων του μεταλλείου Μαύρων Πετρών. Στο επόμενο Σχήμα 6.2 παρατηρούμε το σχέδιο ασφαλείας του μεταλλείου Μαύρων Πετρών και σημειώνεται ο χώρος μελέτης.



Σχήμα 6.2:Σχέδιο έκτακτης ανάγκης Μεταλλείο Μαύρων Πετρών, επισημαίνεται και ο χώρος μελέτης

Το μεταλλείο έχει τρείς κύριες στοές προσπέλασης στα επίπεδα +216, +220 και +360 και οι διατομές των σηράγγων είναι πεταλοειδείς με διαστάσεις 4mx4m έως 6mx6m. Από αυτές τις κύριες στοές προσπέλασης, οι +216 και +360 αποτελούν εισόδους του αέρα στο μεταλλείο ενώ η στοά +220 αποτελεί την μοναδική έξοδο του αέρα. Στην προσπάθεια προσομοίωσης του μεταλλευτικού χώρου αυτού επιλέχθηκε η προσομοίωση ενός κομματιού με κόμβους και στο οποίο απαντάται και ένα καταφύγιο ασφαλείας (safe haven) Σχήμα 6.3.

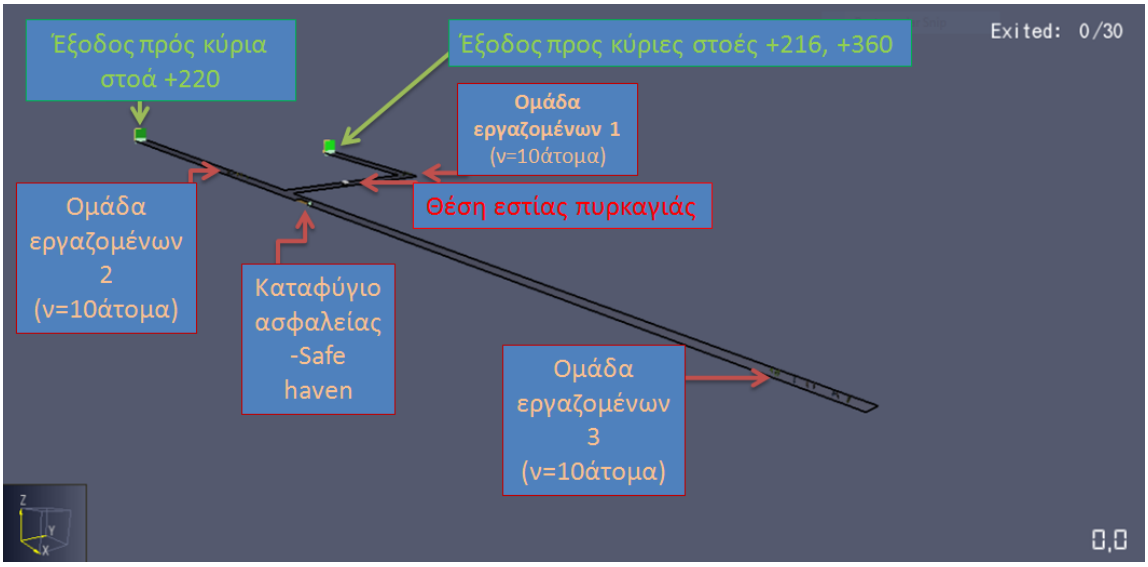


Σχήμα 6.3:Χώρος μελέτης πυρκαγιάς και εκκένωσης

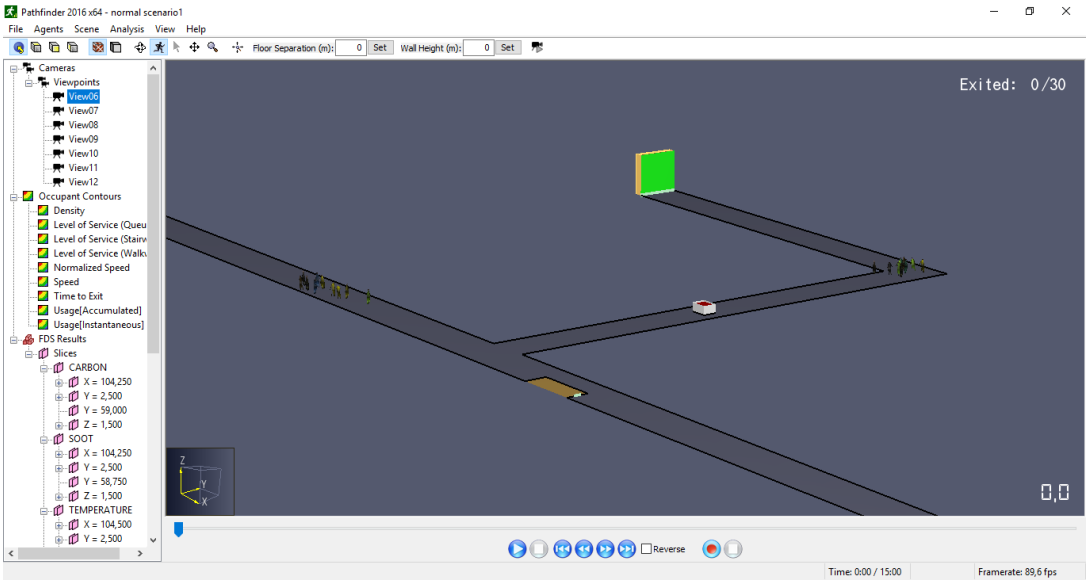
Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 6.3) ο χώρος μελέτης βρίσκεται στον κόμβο μεταξύ της κύριας στοάς προσπέλασης +220(πράσσινο) με την στοά +142 Exploration (κόκκινο). Με το μπλέ βέλος φαίνεται η κανονική διεύθυνση του αερισμού. Οι έξοδοι στο μοντέλο προσομοίωσης αντιπροσωπεύουν την δίοδο προς την έξοδο από την κύρια στοά προσπέλασης +220, την δίοδο προς την έξοδο προς τις κύριες στοές

+216, +360 και την έξοδο προς το καταφύγιο ασφαλείας (safe haven).

Ο χώρος αυτός αποτυπώθηκε έτσι ώστε να μπορεί να πληροί τις προδιαγραφές του μοντέλου προσομοίωσης στο λογισμικό PyroSim. Συγκεκριμένα επιλέχθηκε η όσο το δυνατόν διατήρηση του μήκους των στοών ενώ η γεωμετρία τους περιορίστηκε σε τετραγωνικής διατομής χώρο μελέτης χωρίς κυρτές ή κοίλες επιφάνειες, με διαστάσεις 5mx5m(ύψος x πλάτος). Επίσης επιλέχθηκε η εφαρμογή του μοντέλου σε ένα επίπεδο και δεν λήφθηκαν υπόψη οι κλίσεις. Έτσι προέκυψε το μοντέλο του παρακάτω σχήματος (Σχήμα 6.4). Όπως φαίνεται και στα παρακάτω σχέδια στον χώρο μελέτης έχουν τοποθετηθεί τρείς ομάδες εργαζομένων των δέκα ατόμων (μέγιστος πληθυσμός του μεταλλείου, πρώτη και δεύτερη βάρδια) ενώ παράλληλα έχει τοποθετηθεί το καταφύγιο ασφαλείας στην αρχή της στοάς +142 Exploration. Η τοποθεσία της πυρκαγιάς είναι εντός της στροφής προς τα άνω πατώματα ή διαφορετικά στο μέσον της κάθετης στοάς προς την κύρια διαμήκη στοά του μοντέλου προσομοίωσης (κουτί με κόκκινη επιφάνεια), Η θέση της εστίας της πυρκαγιάς και του καταφυγίου ασφαλείας αποτυπώνονται ακριβέστερα στο Σχήμα 6.5:Μεγέθυνση του μοντέλου του χώρου προσομοίωσης

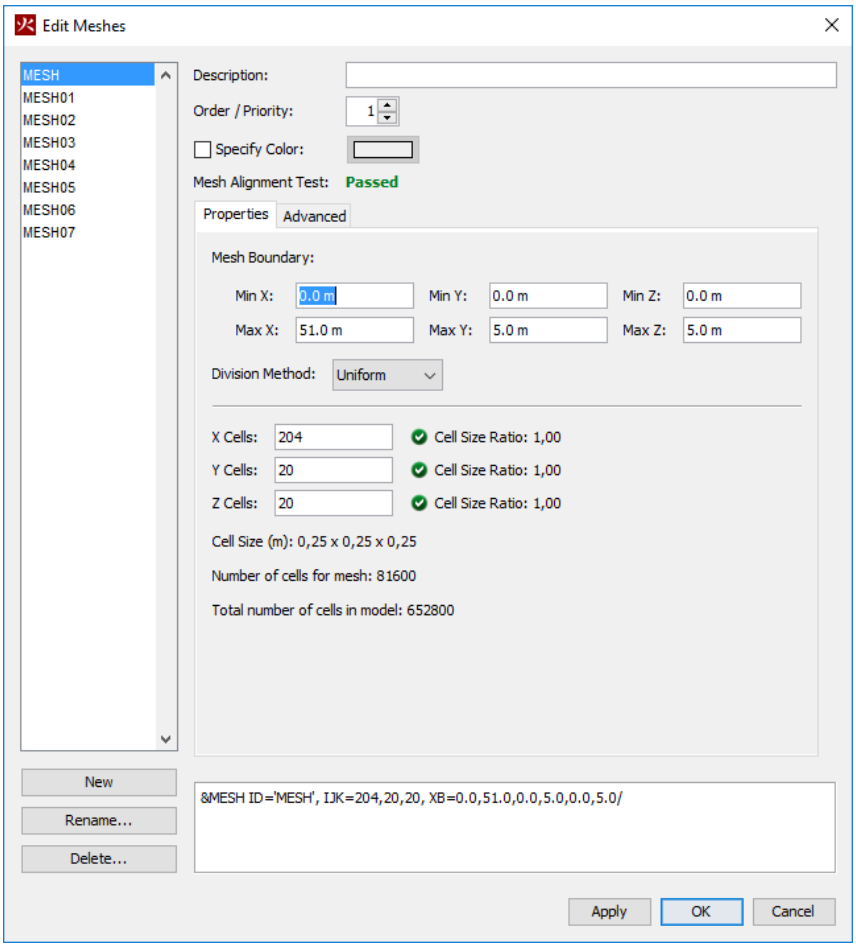


Σχήμα 6.4: Μοντέλο του χώρου προσομοίωσης (Pathfinder,2016)

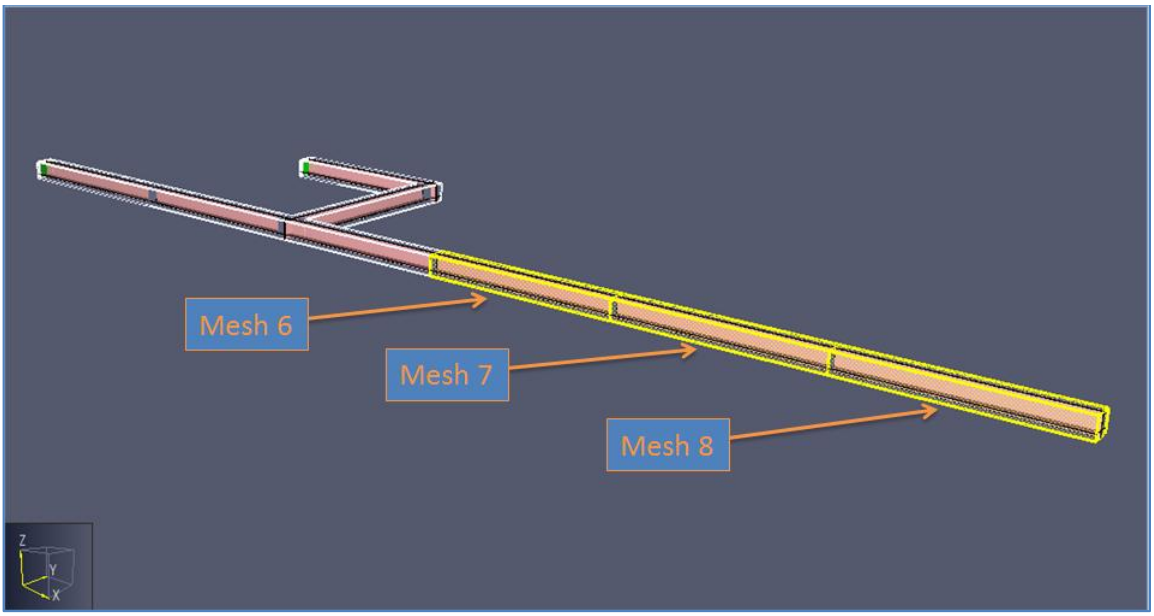


Σχήμα 6.5: Μεγέθυνση του μοντέλου του χώρου προσομοίωσης, κέντρο η θέση της εστίας της πυρκαγιάς, αριστερά καταφύγιο ασφαλείας (Pathfinder, 2016)

Ο χώρος μελέτης αποτελείται από εφαπτόμενα δίκτυα (mesh) διαστάσεων μήκους 51m, πλάτους 5m και ύψους 5m. Κάθε τέτοιος χώρος του μοντέλου αποτελείται από κελιά (cells) διαστάσεων 0.25mx0.25mx0.25m(μήκος x πλάτος x ύψος αντίστοιχα). Έτσι το μοντέλο αποτελείται συνολικά από 652.800 κελιά όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.6 και στο Σχήμα 6.7



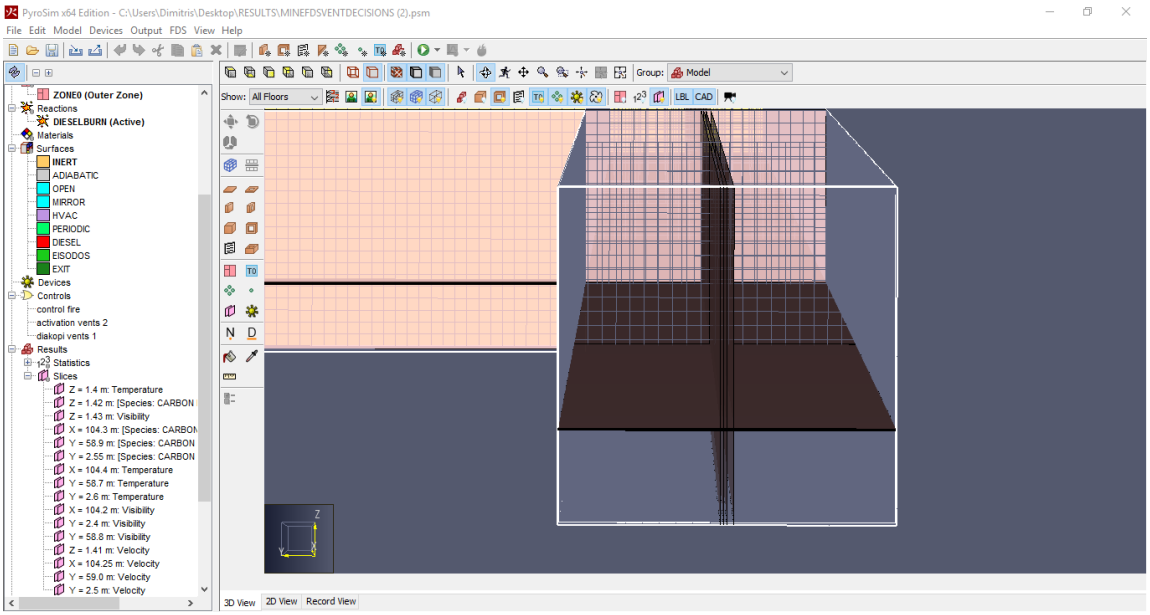
Σχήμα 6.6: Στοιχεία δικτύων-Meshes (PyroSim, 2016)



Σχήμα 6.7: Meshes στοά Exploration +142(PyroSim,2016)

Τα αποτελέσματα του προγράμματος PyroSim αποτυπώθηκαν επίσης σε διαγράμματα που περιγράφουν την μέση συγκέντρωση σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO) (volume fraction) και την μέση ορατότητα (Soot visibility), εντός των δικτύων (mesh) των διαστάσεων που έχουν προαναφερθεί.

Με την χρήση της επιλογής επιφανειών (Slices) στο πρόγραμμα PyroSim που παρατηρούνται στο επόμενο (Σχήμα 6.8), τοποθετήθηκαν κάθετα μεταξύ τους όπως παρατηρείται με σκοπό να αποδώσουν τα αντίστοιχα προφίλ για την θερμοκρασία, την συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), την ταχύτητα του αέρα και την ορατότητα, σε όλο το εύρος του χώρου μελέτης.



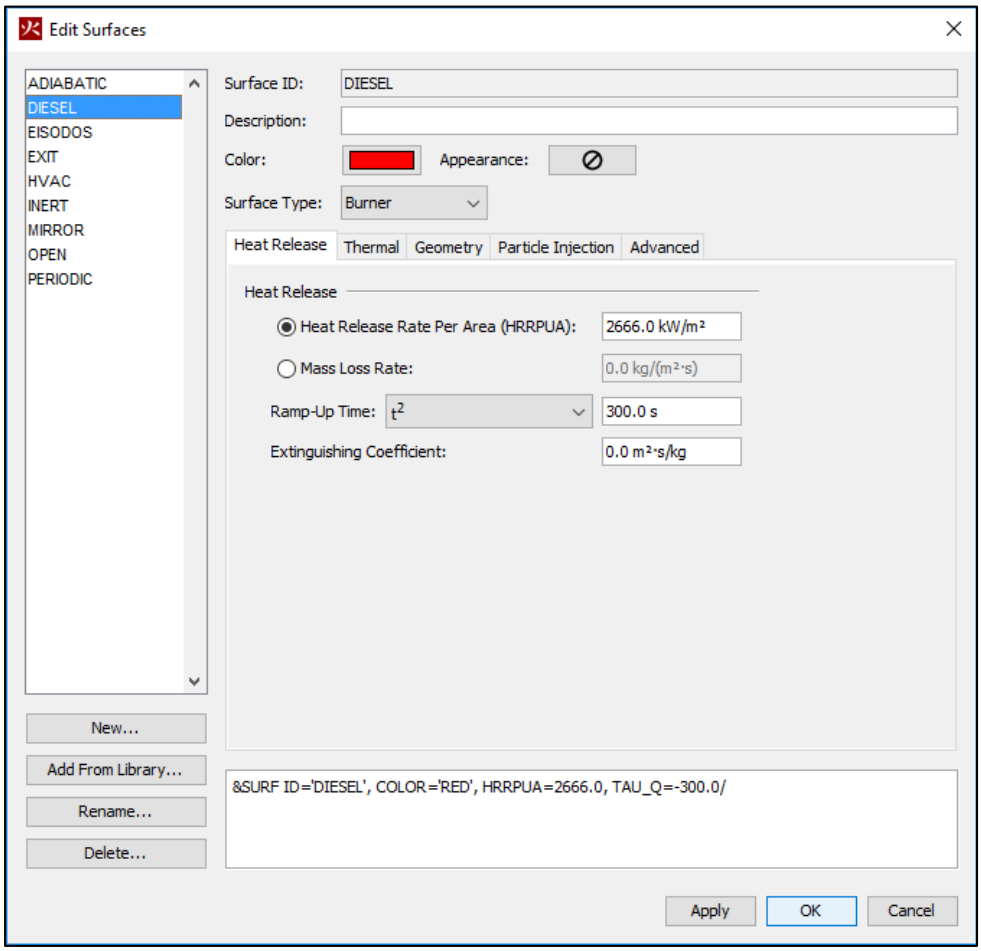
Σχήμα 6.8: Τοποθέτηση επιφανειών Slices(PyroSim, 2016)

6.3 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΤΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

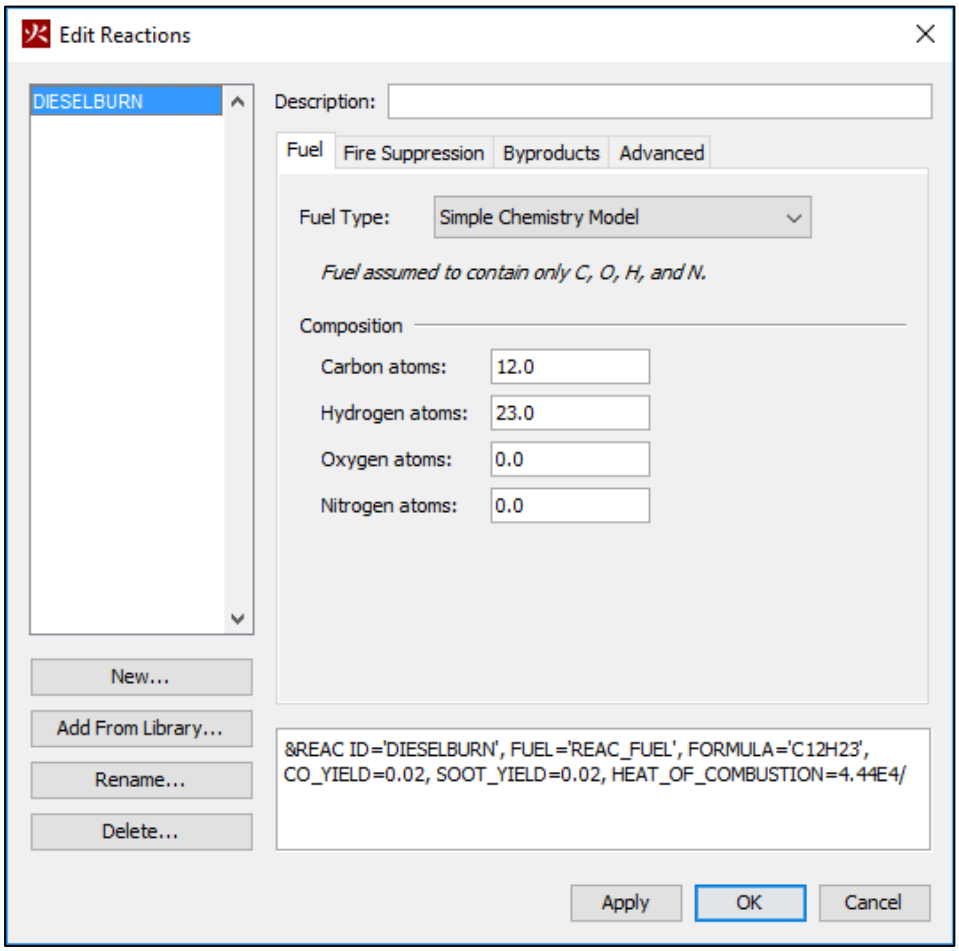
Σενάριο Πυρκαγιάς

Στο μοντέλο προσομοίωσης με το λογισμικό PyroSim, δόθηκε έμφαση στην κινητικότητα που αναπτύσσει ο καπνός μιας πυρκαγιάς εντός του μεταλλείου εξαιτίας των ρευμάτων αέρα που προκύπτουν εξαιτίας του αερισμού. Κατά την μελέτη των κινδύνων πυρκαγιάς στα υπόγεια μεταλλεία επιλέχθηκε το ενδεχόμενο εκδήλωσης πυρκαγιάς σε έναν φορτωτή τύπου Wagner ST-3,5 και η θερμογόνος δύναμη που αποδόθηκε στο σενάριο υπολογισμού ήταν φωτιά ισχύος 8MW κάτι το οποίο αντιστοιχεί σε ισοδύναμη φωτιά 2 Ι.Χ. οχημάτων (Brzezińska). Επιπρόσθετα στοιχεία για την πυρκαγιά αποτελεί η χημική σύνθεση του καιώμενου καυσίμου, η εκλυόμενη θερμότητα του καυσίμου και η απόδοση παραγωγής καπνού και μονοξειδίου του άνθρακα. Οι επιλογές αυτές εισήχθησαν στην προσομοίωση με την δημιουργία επιφανείας (surface) με τα χαρακτηριστικά του καυσίμου και για την πραγματοποίηση της φωτιάς αντίδραση (reaction) και ενός αγωγού (Vent) τύπου καυστήρα (burner). Το καύσιμο που επιλέχθηκε ως καιόμενη ουσία είναι το πετρέλαιο κίνησης Diesel με γενικό χημικό τύπο $C_{12}H_{23}$ όπως παρατηρείται και στα σχήματα 6.9 και 6.10. Απαραίτητο είναι επίσης να αναφερθεί ότι η επιφάνεια της εστίας της πυρκαγιάς καταλαμβάνει $3m^2$ στον χώρο προσομοίωσης.

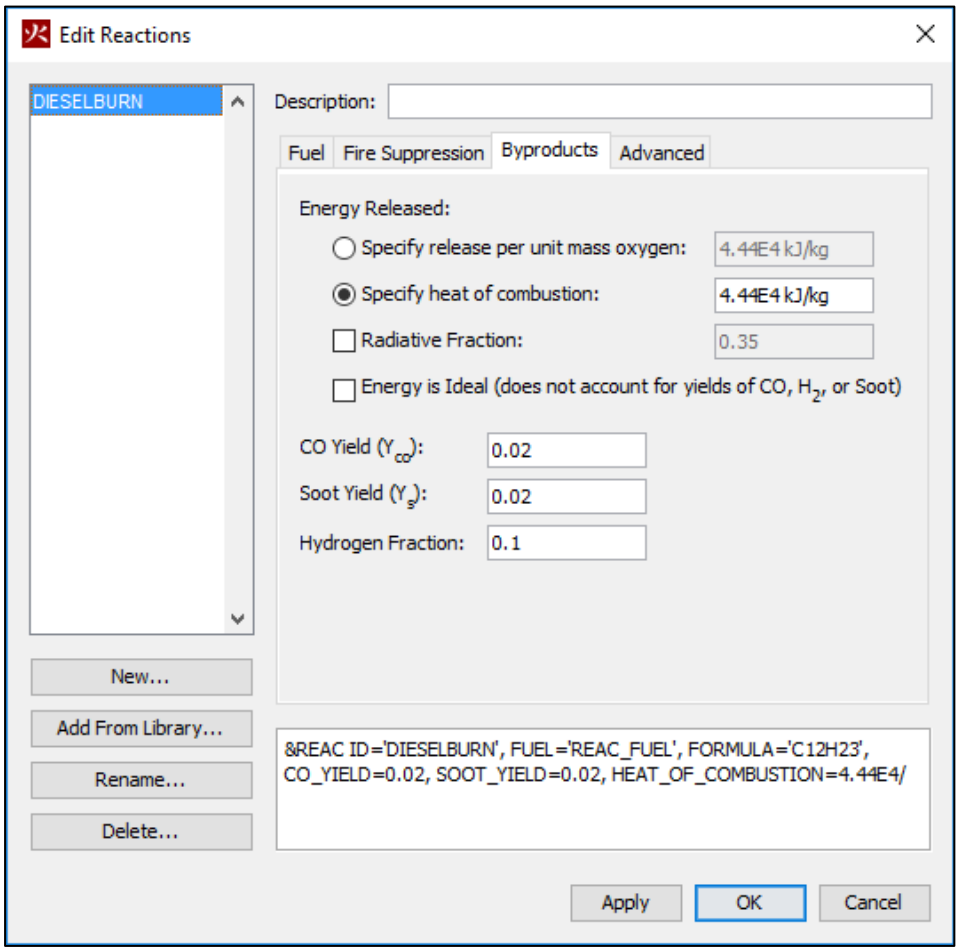
Ο ρυθμός ανάπτυξης της φωτιάς είναι τύπου παραβολής (t^2) και μέγιστη θερμική ισχύς της πυρκαγιάς(8MW) πετυχαίνεται η στα 300sec(medium fast fires, SFPE,2002). Επιπροσθέτως εισήχθησαν στοιχεία για τα παραπροϊόντα της αντίδρασης όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.11.



Σχήμα 6.9: Στοιχεία επιφάνειας πυρκαγιάς, ρυθμός έκλυσης θερμότητας ανά μονάδα επιφανείας, ρυθμός ανάπτυξης της ισχύος (ramp-up time) τύπου t^2 (PyroSim,2016)



Σχήμα 6.10: Στοιχεία χημικής σύνθεσης καυσίμου (PyroSim,2016)



Σχήμα 6.11: Στοιχεία παραπροϊόντων του καυσίμου (PyroSim,2016)

Σενάρια Αερισμού

Ο αερισμός προσομοιώθηκε στο λογισμικό PyroSim με την τοποθέτηση εμποδίων που να καλύπτουν την διατομή του μοντέλου και η τοποθέτηση πάνω στο εμπόδιο αυτό αγωγό (Vent) είτε τύπου εξαγωγής (Exaust) είτε παροχής (Supply). Η παροχή και η έξοδος του αέρα προς και από τον χώρο έρευνας έγινε σύμφωνα με το κύκλωμα του αερισμού του μεταλλείου και σε αντιστοιχία με την διατομή που επιλέχθηκε (5mx5m). Η ταχύτητα εισαγωγής και εξαγωγής του αέρα επιλέχθηκε στα 3m/sec που αντιστοιχεί σε παροχή 75m^3/sec, αντίστοιχα 4500m^3/min. Η επιλογή αυτή βασίστηκε στα παρακάτω στοιχεία (Πίνακας 6.1) με τα σημεία Q18 με διατομή (A=12,17m^2) και Q19 με (A=31,38 m^2).

Πίνακας 6.1: Μετρήσεις ταχύτητας αέρα στα σημεία ενδιαφέροντος Q18 και Q19

Σημείο Q18(A=12,17m^2)(προ της στροφής προς την στοά Exploration +142) μέτρηση ταχύτητας (m/s)	**Σημείο Q19(A=31,38 m^2) (στο σημείο πριν την εξαγωγή του αέρα από την κύρια στοά +220) μέτρηση ταχύτητας (m/s)**	**Μέσος όρος ταχύτητας (m/s)**
4,55	1,79	3,17
4,95	2,95	3,95
4,02	2,81	3,41

Ο μέσος όρος των διατομών αυτών είναι A=21,7m^2 και ο μέσος όρος των ταχυτήτων αντιστοιχεί σε 3,51m/s. Όταν ανάγουμε την ταχύτητα του αέρα στην διατομή του μοντέλου που είναι 5x5 μέτρα (25m^2) η μέση ταχύτητα που αντιστοιχεί είναι 3,038m/s για απλούστευση λήφθηκε όπως προαναφέρθηκε η ταχύτητα 3m/s.

Με την μέτρηση των παραπάνω παραμέτρων είχαμε την δυνατότητα να παρατηρήσουμε σε συνάρτηση με τον χρόνο την μετάβαση της ατμόσφαιρας από βιώσιμη σε μη βιώσιμη εξαιτίας της πυρκαγιάς. Παράλληλα από τις επιφάνειες Slices μπορούμε επίσης να δούμε την επιρροή του καπνού στην ορατότητα και έτσι να συμπεράνουμε εάν η κίνηση στον χώρο αυτό θα ήταν εφικτή ή αν ο καπνός θα είχε τέτοια πυκνότητα ώστε να καθιστά τους εργαζομένους ανήμπορους να περάσουν. Τέλος στον Πίνακα 6.2 εμφανίζονται συνοπτικά όλα τα σενάρια αερισμού επεξηγώντας κάποιες από τις παραμέτρους.

Πίνακας 6.2: Σενάρια πειραμάτων αερισμού

ΣΕΝΑΡΙΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ			
ΠΕΙΡΑΜΑ	**1**	**2**	**3**
ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ	8MW-ramp-up time 300sec (t^2)	8MW-ramp-up time 300sec (t^2)	8MW-ramp-up time 300sec (t^2)
ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	(Π1)Απο ανώτερα πατώματα +216, +360 προς την έξοδο (κανονική λειτουργία αερισμού)	(Π2)Απο την έξοδο , +220προς τα ανώτερα πατώματα +216,+ 360 (ανάστροφη λειτουργία αερισμού)	Αλλαγή στα 410 sec από Π1 σε Π2 (αλλαγή διεύθυνσης αερισμού από την κανονική λειτουργία σε ανάστροφη)
ΜΕΤΡΩΜΕΝΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	Συγκέντρωση CO (concentration CO), θερμοκρασία(temperature) , ταχύτητα αέρα (wind velocitity), Ορατότητα (visibility)	Συγκέντρωση CO (concentration CO), θερμοκρασία(temperature) , ταχύτητα αέρα (wind velocitity), Ορατότητα (visibility)	Συγκέντρωση CO (concentration CO), θερμοκρασία(temperature) , ταχύτητα αέρα (wind velocitity), Ορατότητα (visibility)

Σενάρια Εκκένωσης

Τα σενάρια τα οποία μελετήθηκαν στο πρόγραμμα Pathfinder αφορούν τους χρόνους που απαιτούνται προτού ξεκινήσει η εκκένωσή των εργαζομένων και προκύπτουν από την επιλογή καθυστερήσεων εντός των κατηγοριών από τους πίνακες για τους χρόνους tdet και tal (Πίνακας 4.5 και Πίνακας 4.6). Σε κάθε ένα από τα σενάρια θεωρήσαμε ότι ο χρόνος t_{pre} (χρόνος από την αντίληψη του συναγερμού μέχρι την εκκίνηση της εκκένωσης) έχει ληφθεί ως μηδενικός θεωρώντας ότι οι ένοικοι-χρήστες είναι εκπαιδευμένοι και σε εγρήγορση. Έτσι τα σενάρια της εκκένωσης παραθέτονται όπως φαίνονται στον Πίνακα 6.3.

Πίνακας 6.3: Σενάρια εκκένωσης

ΧΡΟΝΟΣ	**ΣΕΝΑΡΙΟ 1**	**ΣΕΝΑΡΙΟ 2**	**ΣΕΝΑΡΙΟ 3**
tdet (sec)	**60**	**60**	**60**
tal (sec)	**120**	**240**	**300**
t_{pre} (sec)	**0**	**0**	**0**
ΣΥΝΟΛΟ (sec)	**180**	**300**	**360**

Όσον αφορά την συμπεριφορά κίνησης των εργαζομένων επιλέχθηκε η προεπιλεγμένη ρύθμιση Steering και στις ομάδες 2 και 3 που βρίσκονται στην κύρια στοά προσπέλασης και στην στοά Exploration +142 δόθηκε εντολή μερικής εκκένωσης προς το καταφύγιο ασφαλείας (safe haven) ενώ στην ομάδα 1 δόθηκε η εντολή να εκκενώσει προς την πλησιέστερη έξοδο και επιλέχθηκε από τους εργαζομένους η έξοδος προς τα υπερκείμενα πατώματα έξοδος προς κύριες στοές +216, +360.

Συνεπώς συνολικά έχουμε τα αποτελέσματα των 3 σεναρίων πυρκαγιάς, ενώ προκύπτουν 9 συνολικά σενάρια πειραμάτων με τους παρακάτω χρόνους εκκίνησης της εκκένωσης (σημείωση: χρόνος εκκίνησης της πυρκαγιάς στα 10sec), όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 6.4.

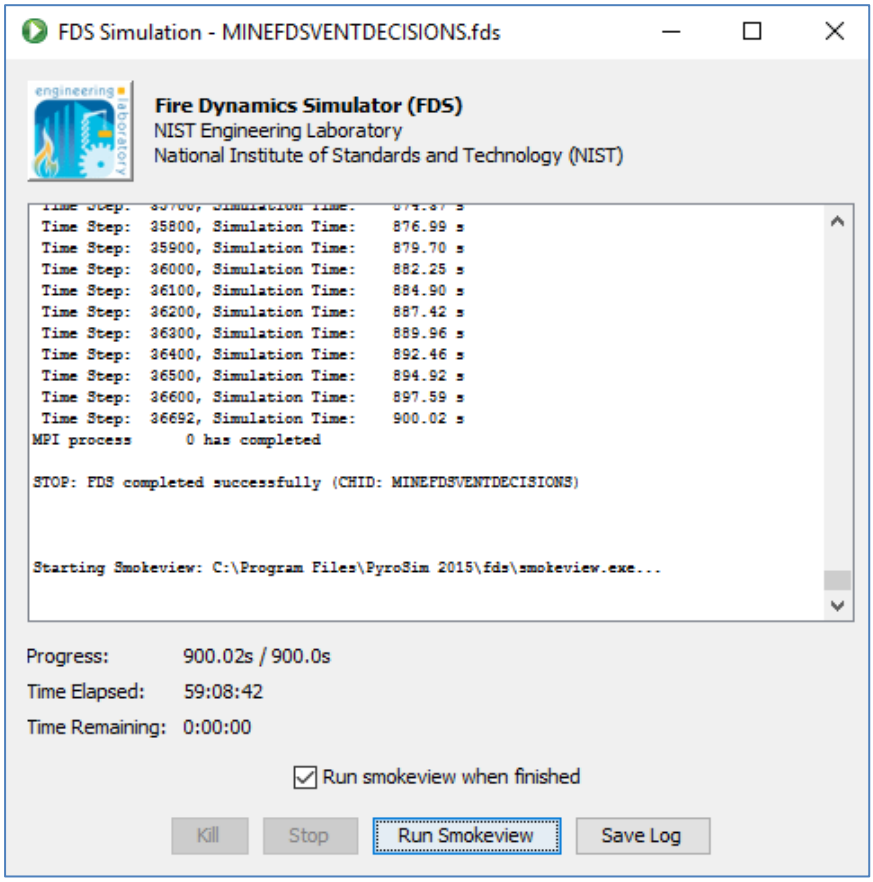
Πίνακας 6.4: Τα 9 σενάρια πειραμάτων

Συνολικός χρόνος προσομοίωσης 900sec	**Σενάρια Εκκένωσης**	**Χρόνος εκκίνησης της εκκένωσης (sec)**
Σενάριο αερισμού 1	**Σενάριο εκκένωσης 1**	**190**
	Σενάριο εκκένωσης 2	**310**
	Σενάριο εκκένωσης 3	**370**
Σενάριο αερισμού 2	**Σενάριο εκκένωσης 1**	**190**
	Σενάριο εκκένωσης 2	**310**
	Σενάριο εκκένωσης 3	**370**
Σενάριο αερισμού 3	**Σενάριο εκκένωσης 1**	**190**
	Σενάριο εκκένωσης 2	**310**
	Σενάριο εκκένωσης 3	**370**

Με τους παραπάνω πίνακες (Πίνακας 6.2 και Πίνακας 6.4), δίνονται συνοπτικά όλα τα πειράματα της μελέτης που εκτελέστηκαν από τον Η/Υ και με τα δύο λογισμικά Pathfinder και PyroSim.

Χρόνος Προσομοίωσης

Ο χρόνος προσομοίωσης των πειραμάτων αερισμού και πυρκαγιάς επιλέχτηκε στα 900sec. Ο λόγος για την επιλογή αυτή από την μία πλευρά οφείλεται στην κατανάλωση επεξεργαστικής ισχύος στον υπολογιστή της μελέτης και όπως παρατίθεται στο παρακάτω Σχήμα 6.12 ανέρχεται στις 59 περίπου ώρες. Από την άλλη πλευρά έπρεπε να είναι αρκετός χρόνος για την προσομοίωση της κίνησης καθώς και για την παρατήρηση της επιρροής της εστίας της πυρκαγιάς στον ευμεγέθη χώρο του μοντέλου προσομοίωσης.



Σχήμα 6.12: Αναλωθής χρόνος για την προσομοίωση(PyroSim,2016)

Όσον αφορά τον χρόνο προσομοίωσης της εκκένωσης στο λογισμικό Pathfinder, ο χρόνος που ανάλωνε μια προσομοίωση ενδεικτικά όπως φαίνεται και στο παρακάτω Σχήμα 6.13 η ένδειξη CPU Time ανέρχεται στα 4,9sec (συνήθως 5-15sec), ενώ η προσομοίωση αυτή δεν περιορίστηκε χρονικά, δηλαδή η προσομοίωση διαρκεί μέχρι όλοι οι εργαζόμενοι να έχουν εκκενώσει πλήρως ή μερικώς τον χώρο μελέτης.

```
***SUMMARY***SUMMARY***SUMMARY***SUMMARY***SUMMARY***

Simulation:         normal scenario3
Version:            2016.1.0229
Mode:               Steering
Total Occupants:    30
Exit Times (s):
  Min:              406.5
  Max:              522.8
  Average:          446.9
  StdDev:            48.6

Travel Distances (m):
  Min:               42.4
  Max:              180.1
  Average:           90.2
  StdDev:            58.1

[Components] All:   4
[Components] Doors: 3
Triangles:          20
Startup Time:       0.0s
CPU Time:           4.9s

           ROOM/DOOR   FIRST IN   LAST OUT  TOTAL USE  FLOW AVG.
                         (s)        (s)      (pers)    (pers/s)
--------------------  ---------  ---------  ---------  ---------
Floor 0.0 m->main floor        0.0      522.8         30
Floor 0.0 m->safe haven door      406.5      522.8         20       0,17
Floor 0.0 m->main exit        0.0        0.0          0
Floor 0.0 m->exit to upper stopes      410.0      413.9         10       2,56
--------------------  ---------  ---------  ---------  ---------
```

Σχήμα 6.13: Αναλωθής χρόνος για την προσομοίωση(Pathfinder,2016)

7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων είναι αναγκαίο να οριστούν η μέγιστη τιμή για την συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), η ελάχιστη τιμή για την ορατότητα και η μέγιστη τιμή για την θερμοκρασία. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 7.1), παραθέτονται όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την αξιολόγηση του ASET από τις προσομοιώσεις πυρκαγιάς και εκκένωσης.

Πίνακας 7.1: Στοιχεία για την αξιολόγηση του χρόνου ASET

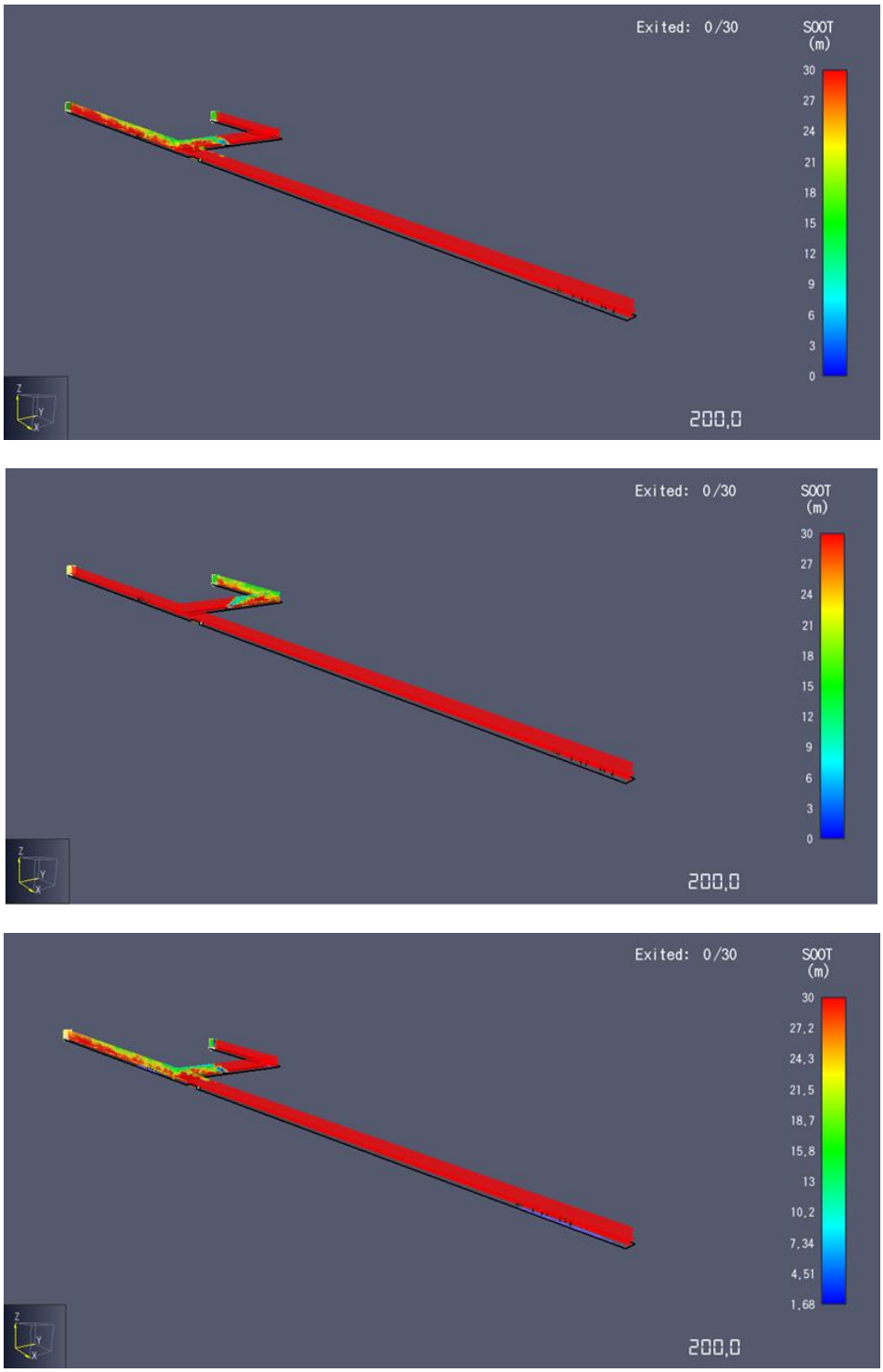
Οριακές τιμές πέραν των οποίων ο χώρος όπου βρίσκονται οι εργαζόμενοι καθίσταται μη βιώσιμος	
Η μέγιστη τιμή για την συγκέντρωση του μονοξειδίου (CO) επιλέχτηκε σύμφωνα με το άρθρο 22 παρ.1 του Κ.Μ.Λ.Ε. σε (ppm)	**50**
Η μέγιστη τιμή για την θερμοκρασία επιλέχτηκε σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή οδηγία CFPA-E(No19: 2009) σε (^{o}C)	**Μέγιστη τιμή 100 ^{o}C(έως 480sec)**
Η ελάχιστη τιμή για την ορατότητα επιλέγεται σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή οδηγία , CFPA-E (No19: 2009),(Πίνακας 4.8)	**3m-8m (όπου το 30% του πληθυσμού γυρίζει πίσω)**

Τα αποτελέσματα από τις οπτικές απεικονίσεις τοποθετούνται ως σχήματα (Σχήματα 7.1 έως 7.9) από πάνω προς τα κάτω με την εξής σειρά όσον αφορά τα σενάρια αερισμού:

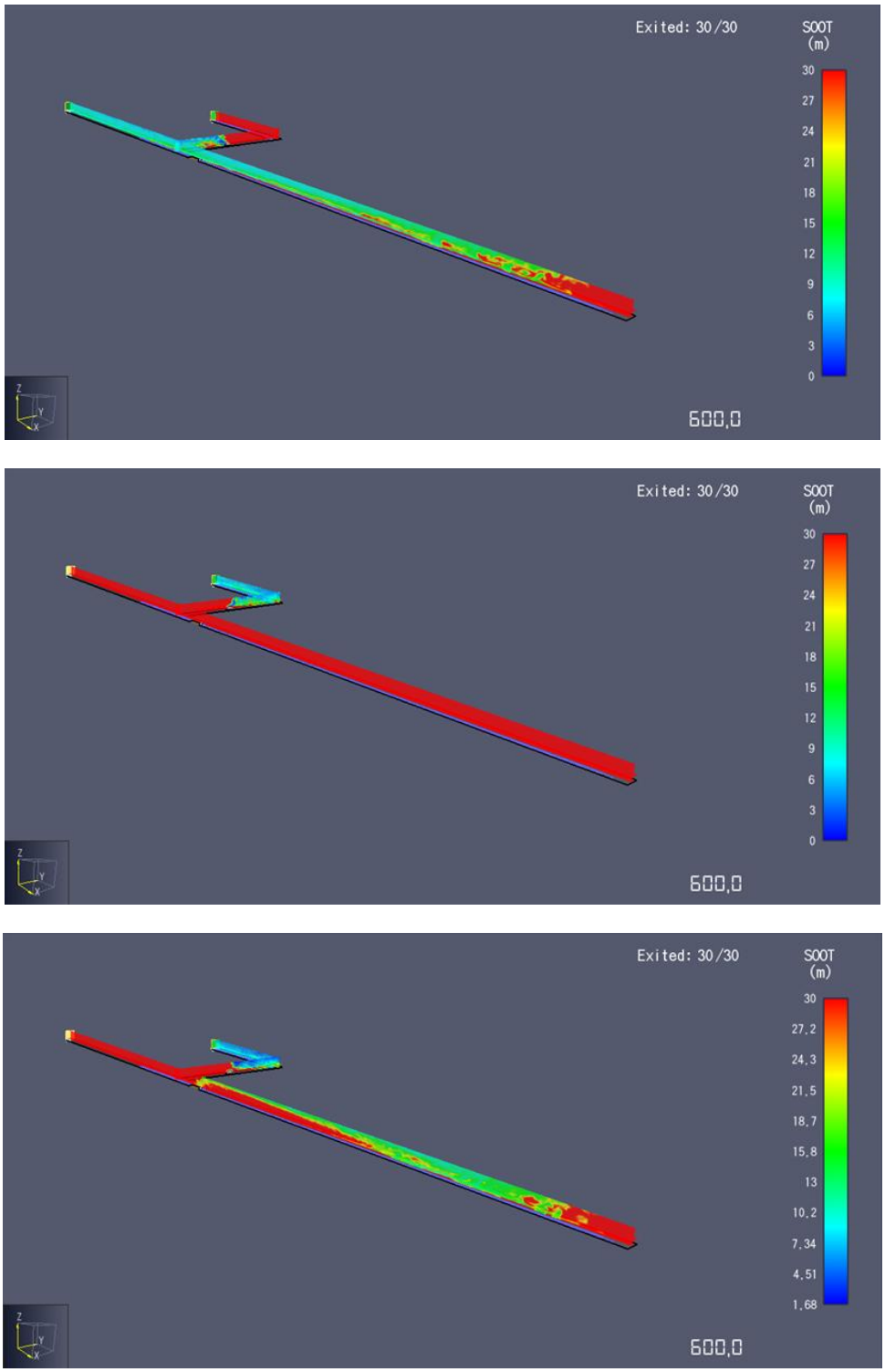
1. (Π1)Απο ανώτερα πατώματα προς την έξοδο +220 (κανονική λειτουργία αερισμού)
2. (Π2)Απο την έξοδο προς τα ανώτερα πατώματα +216 και +360 (ανάστροφη λειτουργία αερισμού)
3. (Π3)Αλλαγή στα 410 sec από Π1 σε Π2(αλλαγή διεύθυνσης αερισμού από την κανονική λειτουργία σε ανάστροφη)

Χρονικά τοποθετούνται κατά σειρά 200 sec, 600 sec, 900 sec ενώ τα προφίλ του χώρου μελέτης παραθέτονται κατά σειρά ορατότητα σε (m), συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα (CO) σε (ppm), θερμοκρασίας σε (^{o}C).

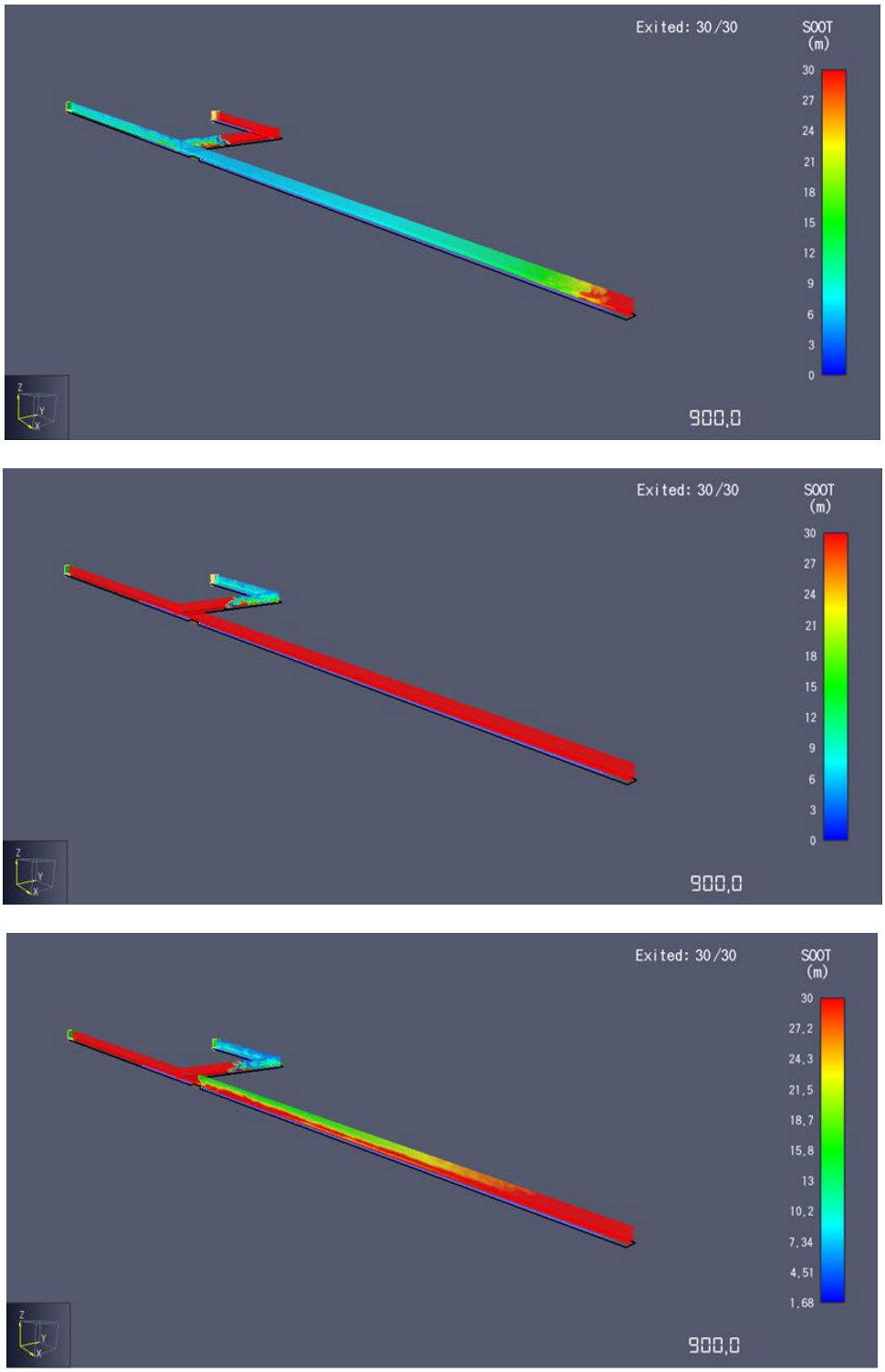
- Στα 200 sec για όλα τα πειράματα (Π1, Π2, Π3), η εστία της πυρκαγιάς βρίσκεται στην ανάπτυξη της ισχύος της (έως τα 310 sec), ενώ στην περίπτωση του Π3, παρατηρείται η κατάσταση πριν την αναστροφή του αερισμού Σχήμα 7.1, Π3.
- Στα 600 sec για όλα τα πειράματα (Π1, Π2, Π3) η εστία της πυρκαγιάς βρίσκεται σε πλήρως ανεπτυγμένη ισχύ (8 MW), ενώ στην περίπτωση του Π3 παρατηρείται η κατάσταση μετά την αναστροφή του αερισμού (στα 410 sec).
- Στα 900 sec για όλα τα πειράματα (Π1, Π2, Π3) η εστία της πυρκαγιάς βρίσκεται σε πλήρως ανεπτυγμένη ισχύ (8 MW), ενώ στην περίπτωση του Π3 παρατηρείται η κατάσταση μετά την αναστροφή του αερισμού (στα 410 sec).



Σχήμα 7.1: Προφίλ ορατότητας στα 200 sec, Π1, Π2, Π3



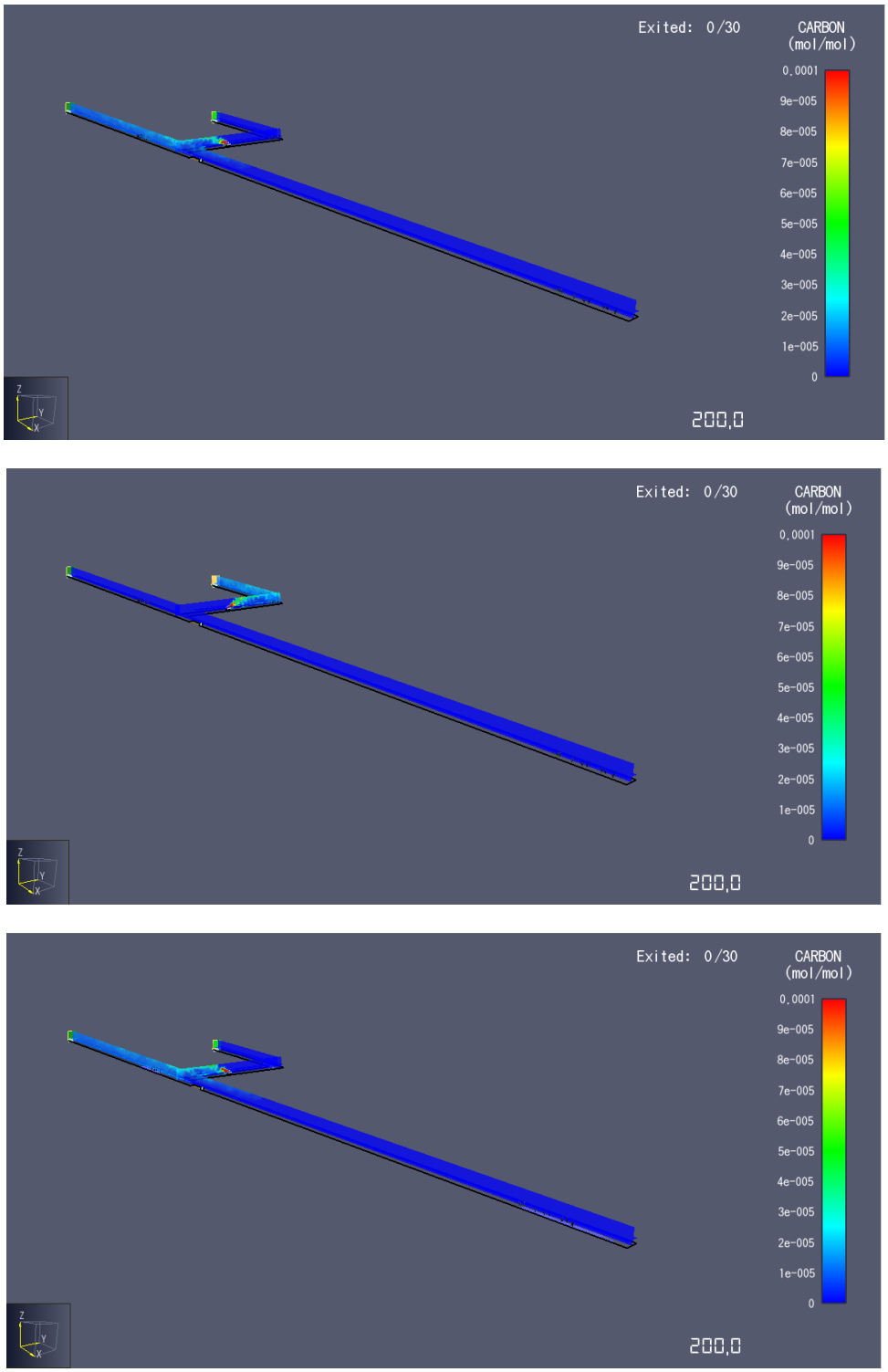
Σχήμα 7.2: Προφίλ ορατότητας στα 600 sec, Π1, Π2, Π3



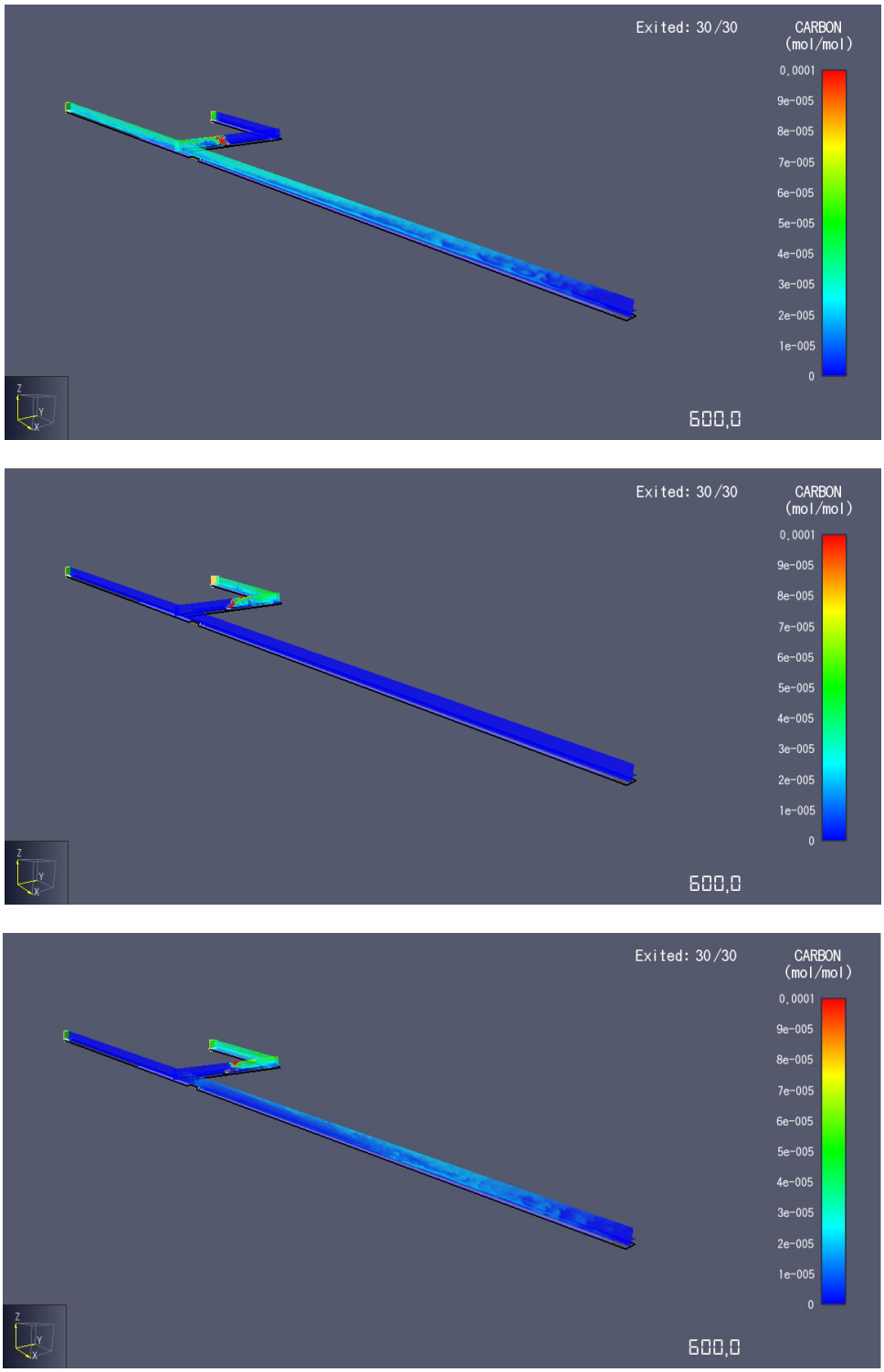
Σχήμα 7.3: Προφίλ ορατότητας στα 900 sec, Π1, Π2, Π3

Στα τρία παραπάνω σχήματα (Σχήμα 7.1 έως 7.3) για τους χρόνους 200 sec, 600 sec και 900 sec παρατηρείται ότι στα τρία διαφορετικά σενάρια η ορατότητα επηρεάζεται σημαντικά από την κατεύθυνση της ροής του αέρα εντός του χώρου μελέτης. Πιο συγκεκριμένα είναι εμφανές ότι στις περιπτώσεις του Π1 και του Π2, όπου ο αερισμός δεν αλλάζει φορά, οι συνθήκες έχουν την τάση να γίνονται όλο και πιο δυσμενείς για την διέλευση των εργαζομένων. Επιπροσθέτως στην περίπτωση Π3 μετά την αλλαγή του αερισμού (600 sec και 900 sec), εμφανίζεται βελτίωση της ατμόσφαιρας στην κύρια στοά προσπέλασης +220 καθώς και στην στοά Exploration+142, ενώ επιδεινώνεται στην στοά εξόδου προς τις στοές +216, +360.

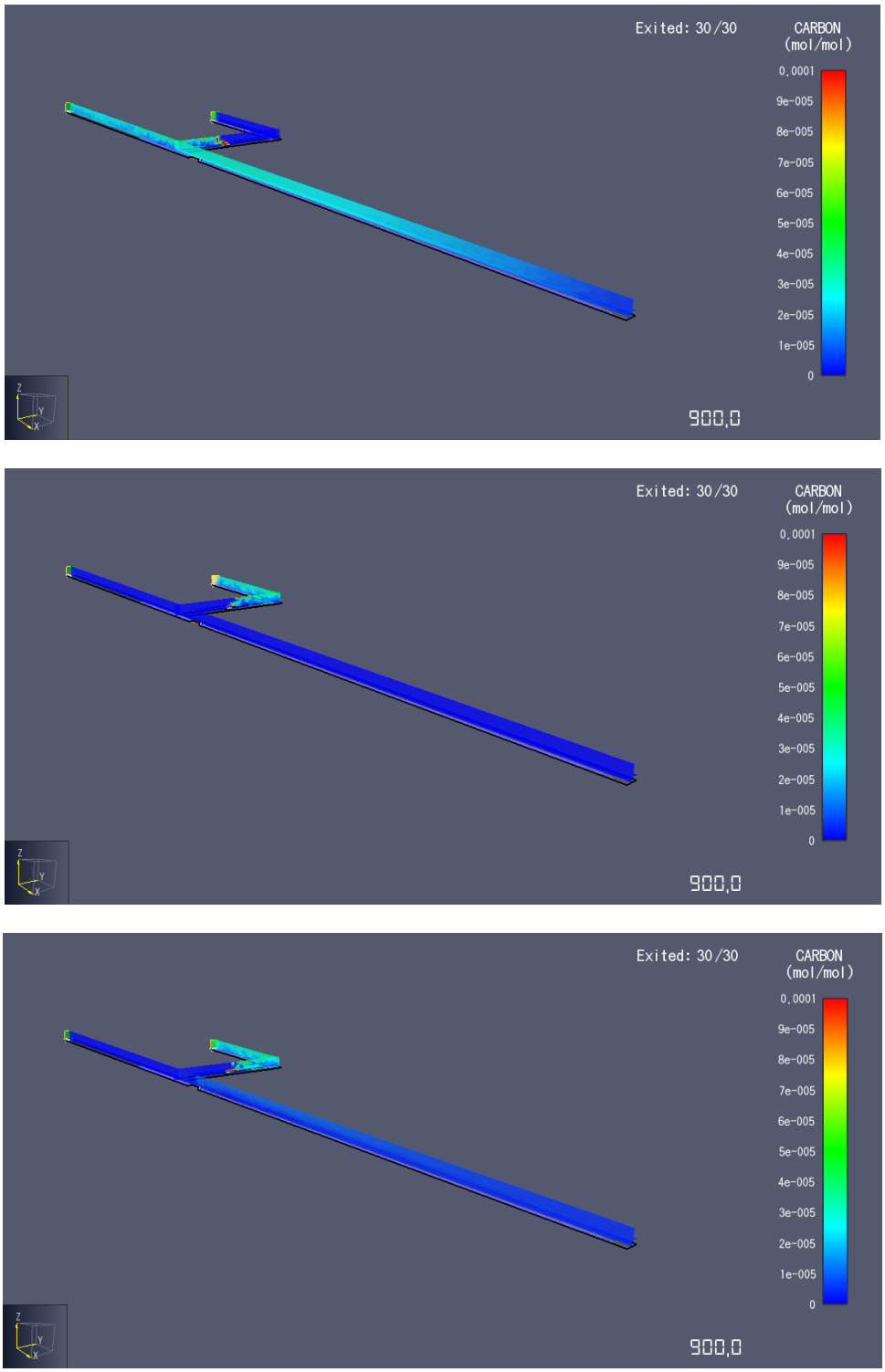
Με την αντιστροφή του αερισμού στο συγκεκριμένο χώρο μελέτης έχουμε καταφέρει να βελτιώσουμε τις συνθήκες ορατότητας στην στοά της κύριας εξόδου +220, καθώς και στην στοά Exploration +142 πλησίον του καταφυγίου ασφαλείας, δίνοντας με αυτόν τον τρόπο την δυνατότητα να είναι διαθέσιμος ένας δίαυλος προς την επιφάνεια κατά βούληση και ανάλογα με την θέση των προς εκκένωση εργαζομένων. Παράλληλα στην περίπτωση που η εντολή που δίνεται είναι η εκκένωση προς το καταφύγιο ασφαλείας ανάλογα με την θέση της πυρκαγιάς θα πρέπει η εκάστοτε ομάδα εργαζομένων να επιλέγει την ασφαλέστερη δίοδο προς την έξοδο. Συνεπώς θα πρέπει να εξασφαλίζεται το γεγονός ότι παρόλη την πιθανή επιμόλυνση του αέρα που αναπνέουν οι εργαζόμενοι και παρά την χρήση της συσκευής αυτοδιάσωσης η παροχή του θα πρέπει να είναι καθαρή όχι μόνο για την ορθή λειτουργία της συσκευής αλλά και για την εξασφάλιση της ορατότητας της διόδου προς την έξοδο.



Σχήμα 7.4: Προφίλ συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) στα 200 sec, Π1, Π2, Π3



Σχήμα 7.5: Προφίλ συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) στα 600 sec, Π1, Π2, Π3

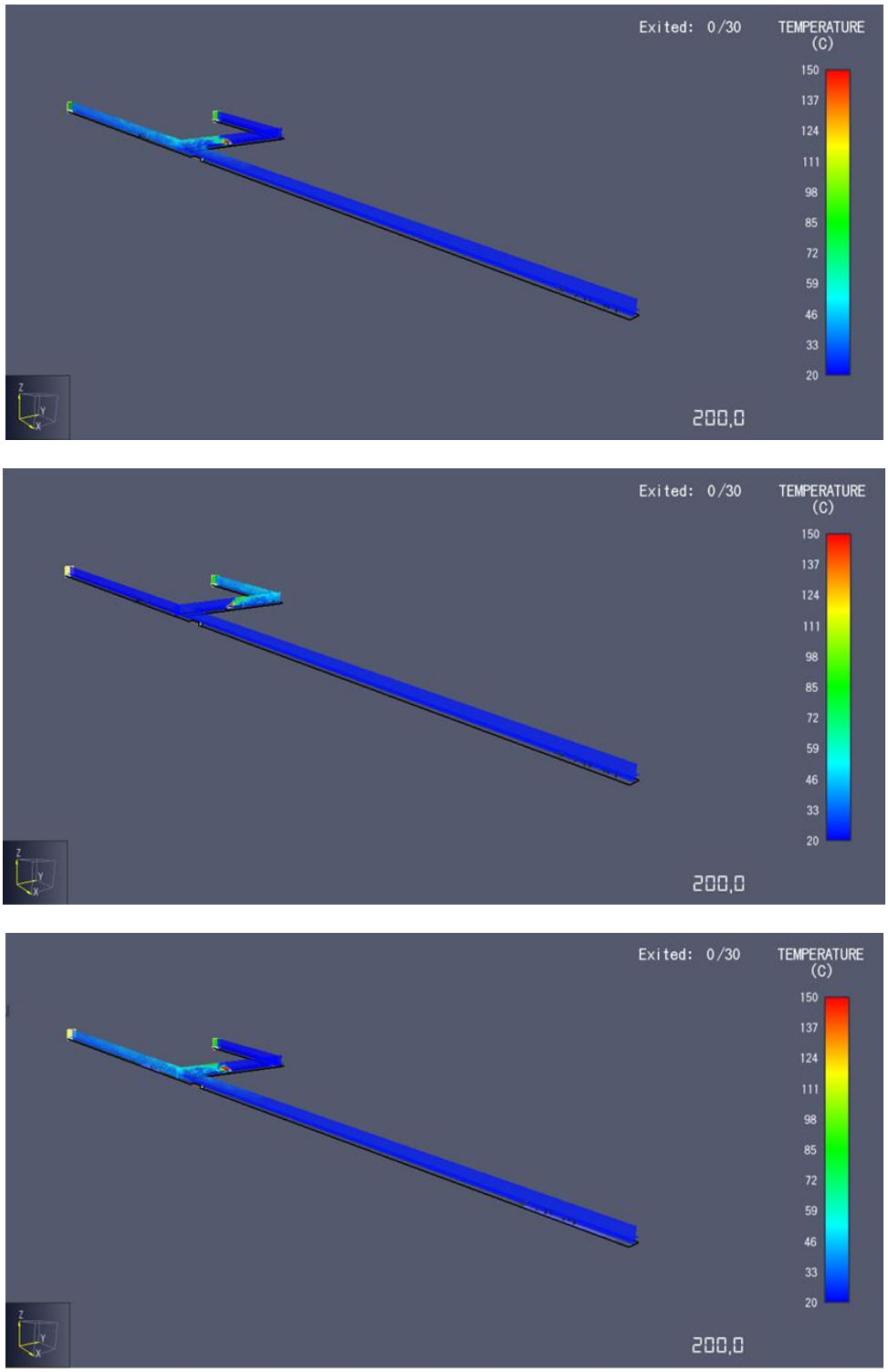


Σχήμα 7.6: Προφίλ συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) στα 900 sec, Π1, Π2, Π3

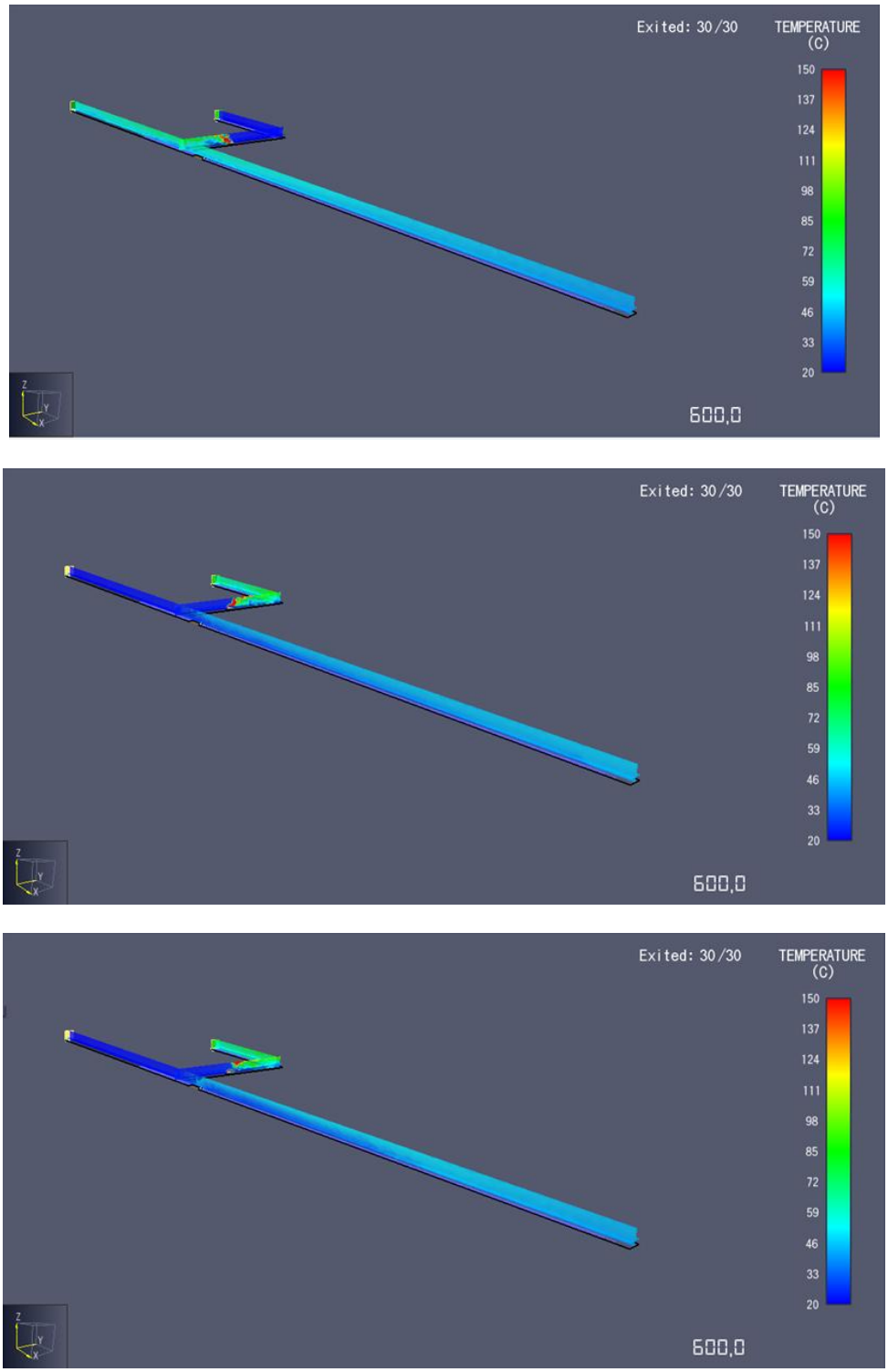
Στα σχήματα (Σχήμα 7.4 έως 7.6) παρατηρούνται τα προφίλ της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) για τα 200 sec, τα 600 sec και τα 900 sec, οι τιμές αναγραφόμενες στην χρωματική κλίμακα , πολλαπλασιαζόμενες $*10^6$ μας δίνουν τις τιμές σε ppm (π.χ. πράσινο 40-60 ppm).

Αυτό που παρατηρείται είναι ότι όπως και στην περίπτωση της ορατότητας στο σενάριο Π1 και Π2 οι συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), αυξάνονται συνεχώς μέχρι την επίτευξη της μέγιστης θερμικής ισχύος της πυρκαγιάς, ενώ μέχρι την λήξη του χρόνου προσομοίωσης η συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) φτάνει στα 35 ppm, πλησίον του καταφυγίου ασφαλείας στο ύψος του αέρα που εισπνέουν οι εργαζόμενοι. Σε αντίθεση στο σενάριο Π3, αν και ξεκινάει αυξάνοντας την συγκέντρωση στην κύρια στοά προσπέλασης και στην στοά +142 Exploration όπως και στο σενάριο Π1, μετά την αντιστροφή του αερισμού, οι δύο αυτές στοές καθαρίζουν (0ppm-10ppm) και αυξάνεται η συγκέντρωση στην στοά της εξόδου προς τις στοές +216 και +360 (35 ppm-50 ppm).

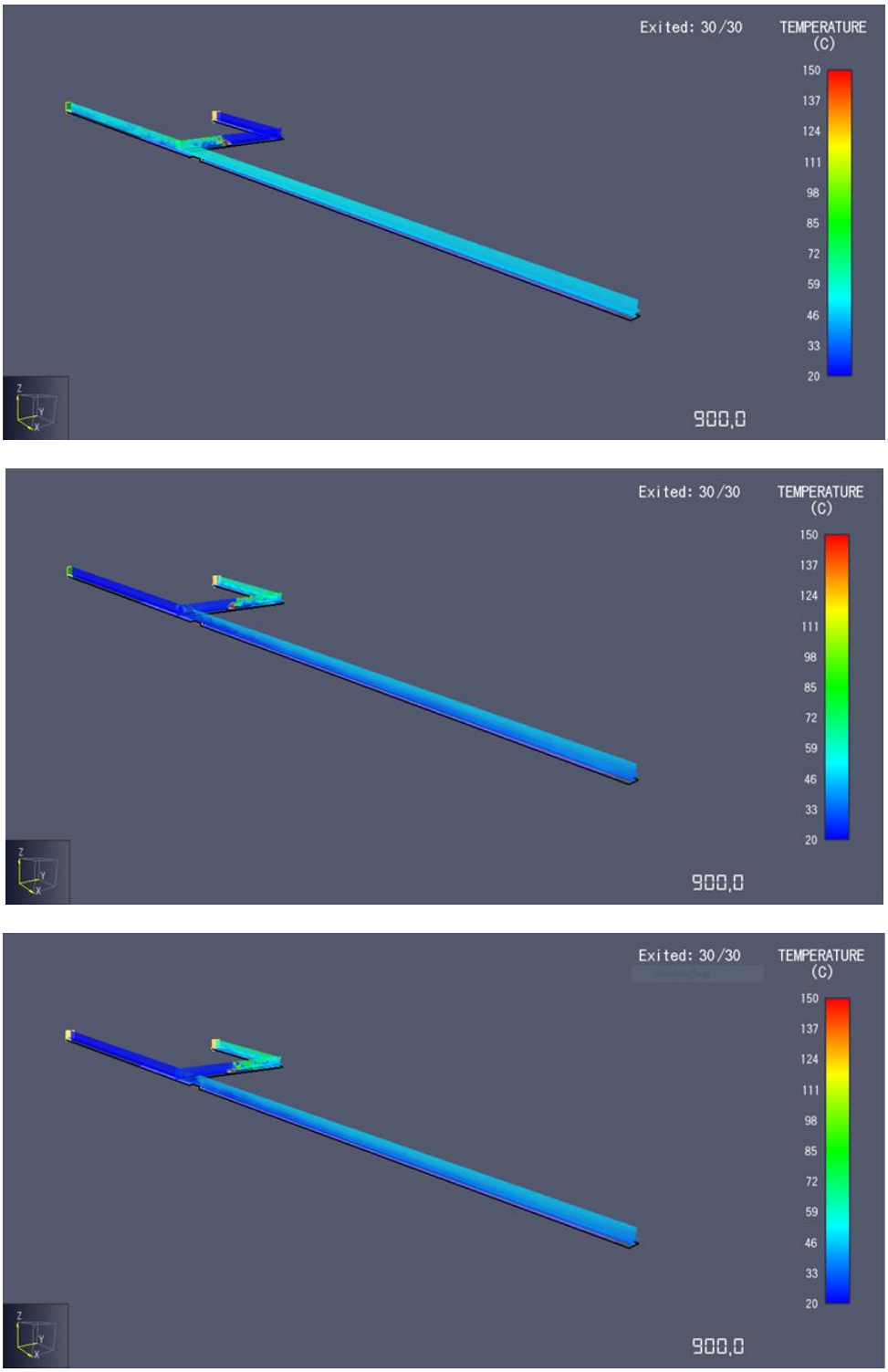
Η χρήση της συσκευής αυτοδιάσωσης εξασφαλίζει την δυνατότητα προσπέλασης χώρων που είναι επιμολυσμένοι με υψηλές συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα (CO) (μέχρι 1% (CO) για 60 min), όμως δεν εξασφαλίζει την ύπαρξη επαρκούς οξυγόνου και γι' αυτόν τον λόγο έχει μεγάλη σημασία η κατεύθυνση των προς εκκένωση εργαζομένων να κατευθύνεται προς την παροχή του αέρα. Επιπροσθέτως η συσκευή αυτοδιάσωσης έχει περιορισμένο χρόνο ζωής και δεν πρόκειται για εξοπλισμό κατάλληλο για την παραμονή σε τοξικές από μονοξείδιο του άνθρακα και άλλα καπναέρια ατμόσφαιρες. Αντιθέτως το καταφύγιο ασφαλείας μπορεί να δώσει προστασία από την πυρκαγιά και τα καπναέρια για μεγάλα χρονικά διαστήματα εφόσον η πυρκαγιά μπορεί να καταπολεμηθεί από το αρμόδιο εκπαιδευμένο και εξοπλισμένο προσωπικό, διαφορετικά το καταφύγιο ασφαλείας δρα ως ένα σκαλοπάτι για την επικοινωνία της κατάστασης και την εκκένωση μετά την λήψη συγκεκριμένων ενεργειών όπως, την αλλαγή-ανανέωση της συσκευής αυτοδιάσωσης ή την παραμονή μέχρι την αντιστροφή του αερισμού.



Σχήμα 7.7: Προφίλ της θερμοκρασίας στα 200 sec, Π1, Π2, Π3



Σχήμα 7.8: Προφίλ της θερμοκρασίας στα 600 sec, Π1, Π2, Π3

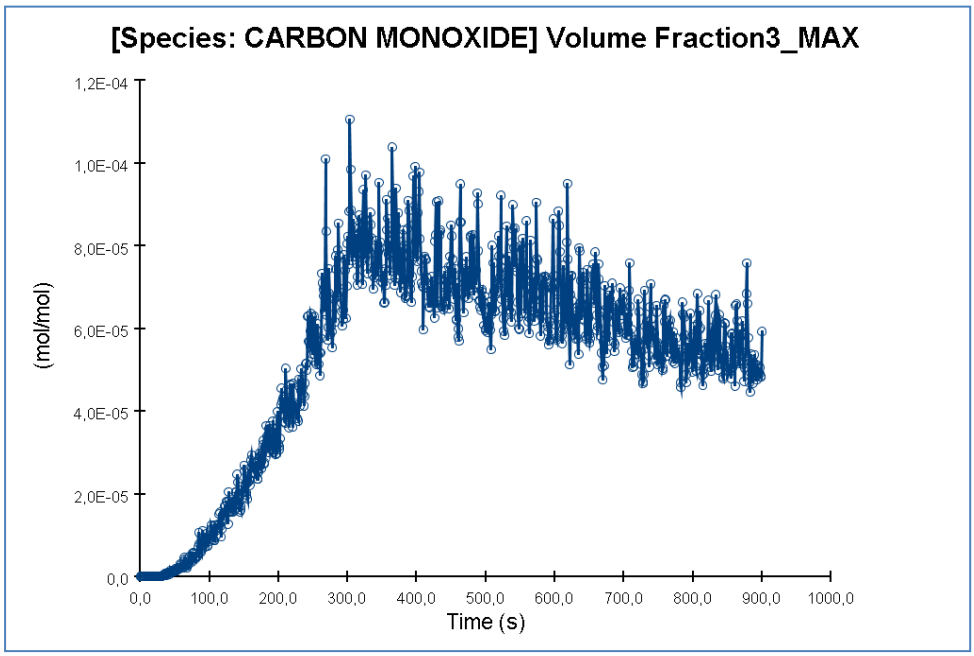


Σχήμα 7.9: Προφίλ της θερμοκρασίας στα 900 sec, Π1, Π2, Π3

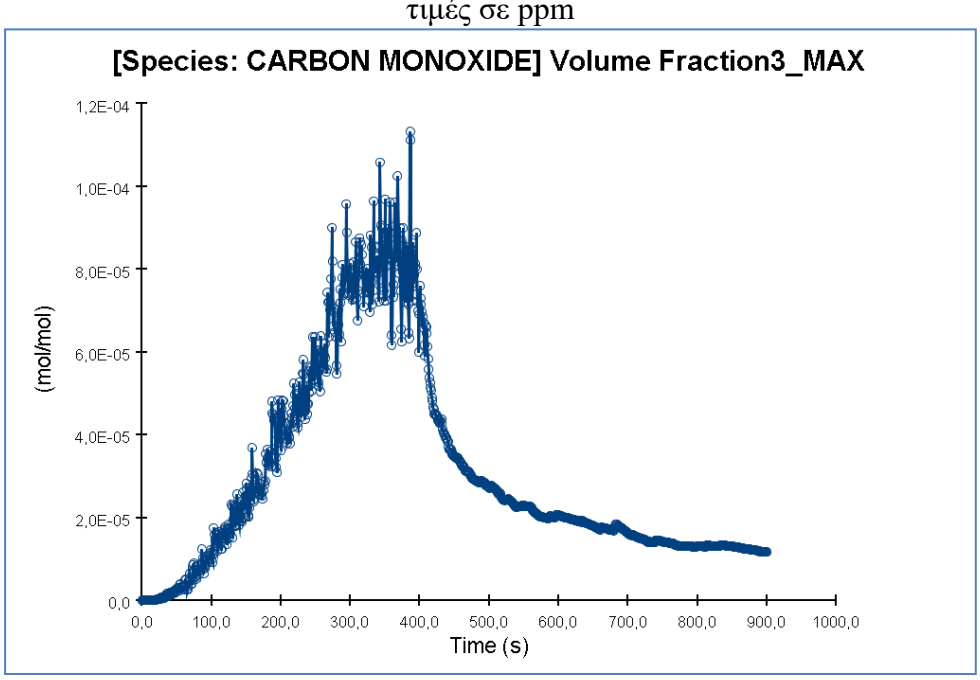
Στα σχήματα (Σχήμα 7.7 έως 7.9), όπου φαίνονται τα προφίλ των θερμοκρασιών για τα τρία πειραματικά σενάρια αερισμού παρατηρούμε την διάχυση της θερμότητας στον χώρο μελέτης. Στην περίπτωση του πειράματος Π1 οι θερμοκρασίες στις στοές της κύριας εξόδου +220 και στη στοά Exploration +142 φτάνουν μέχρι τους 65 ^{o}C-70 ^{o}C στα 900 sec, πλησίον του καταφυγίου ασφαλείας, ενώ στην στοά προς τις εξόδους +216 και +360 οι θερμοκρασίες παραμένουν ανεπηρέαστες στους 20 ^{o}C. Στην περίπτωση του πειράματος αερισμού Π2 οι θερμοκρασίες στην στοά προς τις εξόδους +216 και +360 αυξάνεται μέχρι την θερμοκρασία των 65 ^{o}C-72 ^{o}C στα 900 sec, στην στοά εξόδου +220 δεν παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας, ενώ στην στοά Exploration +142 παρατηρείται μια ελαφριά αύξηση της θερμοκρασίας στους 25 ^{o}C-35 ^{o}C.

Στην περίπτωση του πειραματικού σεναρίου Π3 η κατάσταση μέχρι την αντιστροφή του αερισμού εμφανίζει τα ίδια χαρακτηριστικά με το πείραμα αερισμού Π1. Μετά την αντιστροφή του αερισμού οι θερμοκρασίες αυξάνονται στην στοά προς τις εξόδους +216 και +360 στα επίπεδα των 65 ^{o}C-70 ^{o}C ενώ οι θερμοκρασίες στην στοά Exploration +142, πλησίον του καταφυγίου ασφαλείας σταθεροποιείται και πέφτει με χαμηλούς ρυθμούς από τους 45 ^{o}C στους 35°C. Παρόλη την πτώση της θερμοκρασίας, σε κάθε περίπτωση είναι αναγκαίο να συνυπολογίζεται ο παράγοντας της θερμοκρασίας κατά την εκκένωση διότι εξαιτίας των μεγάλων αποστάσεων και του ανώμαλου εδάφους, τα φαινόμενα κόπωσης των εργαζομένων είναι πιθανό να εμφανιστούν.

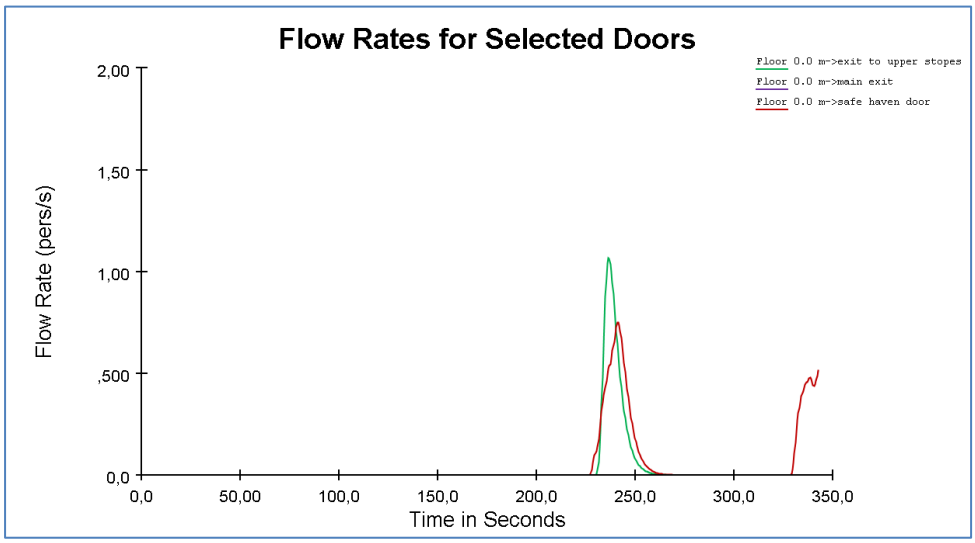
Παράλληλα με όλα τα παραπάνω στοιχεία και χρησιμοποιώντας τα διαθέσιμα διαγράμματα (Σχήματα 7.10, 7.11) για την μέγιστη συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) στο δίκτυο Mesh που περιέχει το καταφύγιο ασφαλείας για τα πειραματικά σενάρια Π1 και Π3 (στο σενάριο Π2 δεν παρατηρείται άνοδος της συγκέντρωσης) επιτυγχάνεται η αξιολόγηση του κάθε σεναρίου εκκένωσης. Τέλος απαραίτητο είναι να συνδυάσουμε τις μετρήσεις για τον χώρο μελέτης που αναφέρονται παρακάτω με τα δεδομένα για τους χρόνους ενεργοποίησης των εξόδων για κάθε σενάριο εκκένωσης (Σχήματα 7.12, 7.13, 7.14).



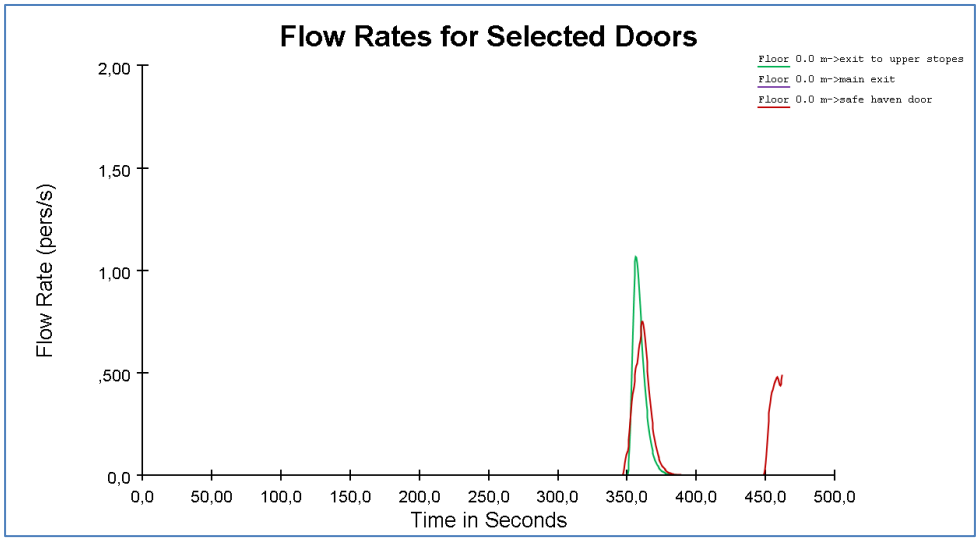
Σχήμα 7.10: συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα (CO) σενάριο αερισμού Π1 πλησίον του καταφυγίου ασφαλείας, οι τιμές πολλαπλασιαζόμενες $*10^6$ μας δίνουν τις τιμές σε ppm



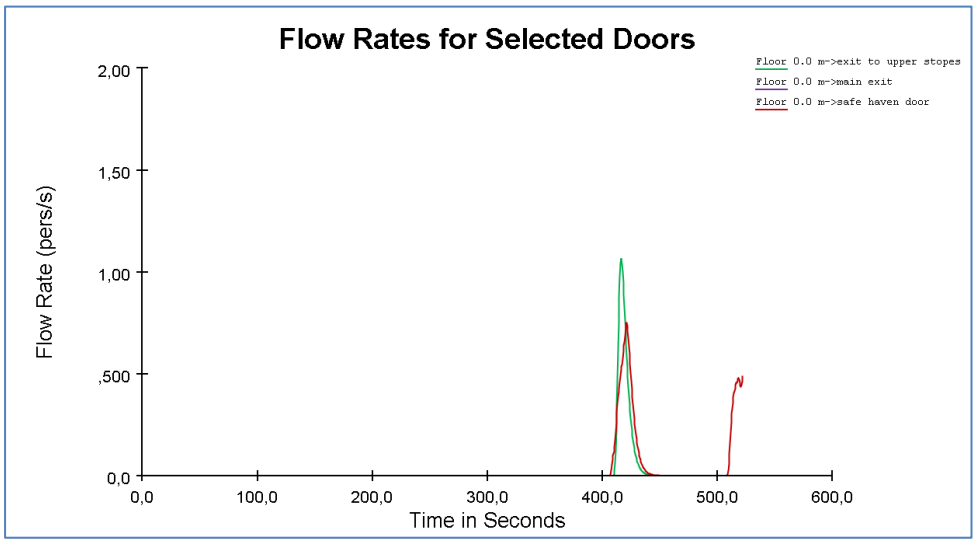
Σχήμα 7.11: συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα (CO) σενάριο αερισμού Π3 πλησίον του καταφυγίου ασφαλείας, οι τιμές πολλαπλασιαζόμενες $*10^6$ μας δίνουν τις τιμές σε ppm



Σχήμα 7.12: Σενάριο εκκένωσης 1 ρυθμός ροής από τις επιλεγμένες εξόδους (πράσινο, έξοδος προς τις στοές εξόδου +216 και +360, κόκκινο, έξοδος προς το καταφύγιο ασφαλείας safe-haven) σε άτομα/sec



Σχήμα 7.13: Σενάριο εκκένωσης 2 ρυθμός ροής από τις επιλεγμένες εξόδους (πράσινο, έξοδος προς τις στοές εξόδου +216 και +360, κόκκινο, έξοδος προς το καταφύγιο ασφαλείας safe-haven) σε άτομα/sec



Σχήμα 7.14: Σενάριο εκκένωσης 3 ρυθμός ροής από τις επιλεγμένες εξόδους (πράσινο, έξοδος προς τις στοές εξόδου +216 και +360, κόκκινο, έξοδος προς το καταφύγιο ασφαλείας safe-haven) σε άτομα/sec

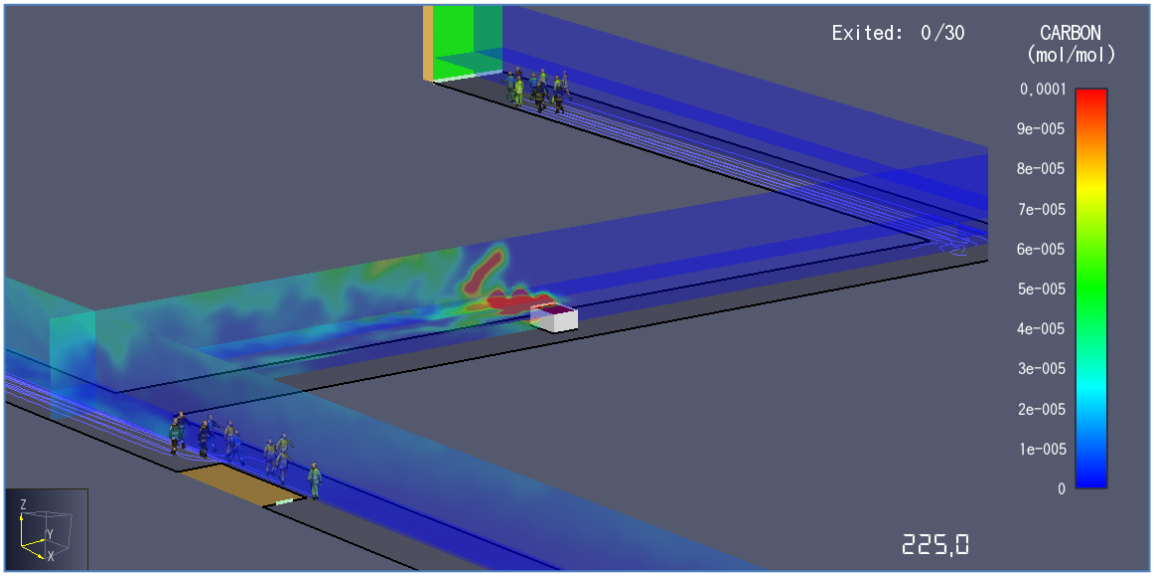
Συνεκτιμώντας όλα τα παραπάνω δεδομένα μπορούμε επιγραμματικά να προβούμε στα παρακάτω αποτελέσματα:

1. Ένας ενδεικτικός χρόνος ενεργοποίησης του συναγερμού αποτελεί ο εντοπισμός της οριακής τιμής συγκέντρωσης σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO), στα 50 ppm πλησίον του καταφυγίου ασφαλείας.
2. Τα 50 ppm εντοπίζονται στα 250 sec και στα δύο πειράματα Π1 και Π3, πλησίον του καταφυγίου ασφαλείας στα ανώτερα επίπεδα της στοάς (4m-5m ύψος), οπότε στο σενάριο εκκένωσης 1, που η εκκένωση ξεκινάει στα 190 sec, ο εντοπισμός της πυρκαγιάς επιτυγχάνεται προτού εντοπιστεί η συγκέντρωση των 50ppm πλησίον του καταφυγίου ασφαλείας.
3. Τα σενάρια εκκένωσης 2 και 3 αποτελούν πιο ρεαλιστικές επιλογές καθώς η εκκένωση ξεκινάει στα 310 sec και στα 370 sec αντίστοιχα, οπότε ο συναγερμός εντοπίζεται και ξεκινάει η εκκένωση μετά από 60sec στο

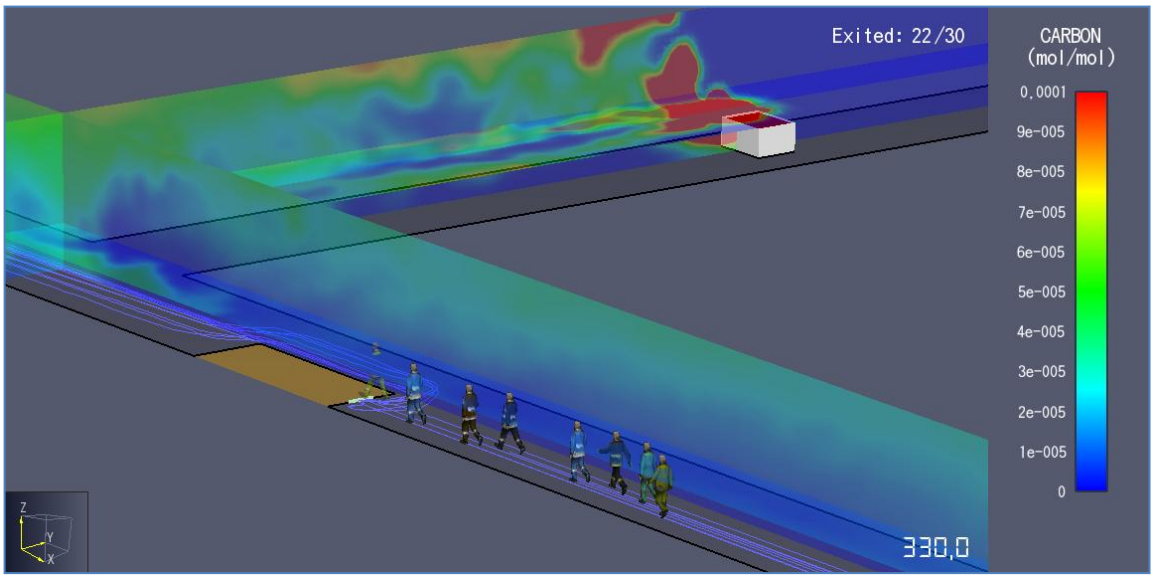
σενάριο εκκένωσης 2 και μετά από 120 sec στην περίπτωση του σεναρίου εκκένωσης 3.

4. Τα σενάρια πειραμάτων αερισμού Π1 και Π3 αποτελούν πειραματικά σενάρια που αφορούν την κανονική λειτουργία του συστήματος αερισμού και στην δεύτερη περίπτωση ξεκινάει με την κανονική λειτουργία του αερισμού και συνεχίζει με την αναστροφή της λειτουργίας.

Παράλληλα στα παρακάτω σχήματα 7.15 και 7.16 παρατηρείται η θέση των εργαζομένων σενάριο εκκένωσης 1 στα 225 sec και 330 sec αντίστοιχα. Το σχήμα 7.15 αφορά τις ομάδες 1 και 2 λίγο πριν εξέλθουν από την έξοδο προς τις εξόδους +216 και +360 (ομάδα 1) και την έξοδο προς το καταφύγιο ασφαλείας (ομάδα 2), ενώ το σχήμα 7.16 αφορά την ομάδα 3 πριν εξέλθει προς το καταφύγιο ασφαλείας. Επίσης στα δύο παρακάτω σχήματα παρατηρούνται και τα προφίλ της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα (CO).



Σχήμα 7.15:Οι θέσεις στα 225 sec της ομάδας 1 (κίνηση προς τις εξόδους +216 και +360) και της ομάδας 2 (κίνηση προς το καταφύγιο ασφαλείας) στο σενάριο εκκένωσης 1, Π1



Σχήμα 7.16: Η θέση στα 330 sec της ομάδας 3 (κίνηση προς το καταφύγιο ασφαλείας) στο σενάριο εκκένωσης 1, Π1

Ένα σημαντικό στοιχείο αποτελεί η ελάχιστη διαδρομή που ανέρχεται στα 42,4 m, η μέγιστη διαδρομή που ανέρχεται στα 180,1 m και η μέση διαδρομή που ανέρχεται στα 90,2 m. Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με το σύνολο των χρόνων που αφορούν την εκκένωση (Πίνακας 7.2) . Είναι απαραίτητο να σημειωθεί, ότι οι η ταχύτητα κίνησης των εργαζομένων παραμένει σταθερός και δεν επηρεάζεται από την μείωση της ορατότητας ή την τοξικότητα της περιβάλλουσας ατμόσφαιρας.

Πίνακας 7.2: Σύνολο χρόνων πειραματικών σεναρίων

Συνολικός χρόνος προσομοίωσης 900sec	**Σενάρια Εκκένωσης**	**Χρόνος εκκίνησης της εκκένωσης (sec)**	**Χρόνος περάτωσης της εκκένωσης (sec)**	**Χρόνος te(sec)**
Σενάριο πυρκαγιάς 1	Σενάριο εκκένωσης 1	190	342	152
	Σενάριο εκκένωσης 2	310	462	152
	Σενάριο εκκένωσης 3	370	522	152
Σενάριο πυρκαγιάς 2	Σενάριο εκκένωσης 1	190	342	152
	Σενάριο εκκένωσης 2	310	462	152
	Σενάριο εκκένωσης 3	370	522	152
Σενάριο πυρκαγιάς 3	Σενάριο εκκένωσης 1	190	342	152
	Σενάριο εκκένωσης 2	310	462	152
	Σενάριο εκκένωσης 3	370	522	152

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εξέταση επικίνδυνων καταστάσεων και η αξιολόγηση σεναρίων αντιμετώπισης είναι κάτι ιδιαίτερα κρίσιμο για την επιτυχή αντιμετώπιση κινδύνων κατά τις υπόγειες μεταλλευτικές εργασίες. Στην εργασία αναλύθηκαν τέτοια σενάρια μέσω της κατάλληλης προσομοίωσής τους με τη χρήση λογισμικών πακέτων που επέτρεψαν την ποσοτικοποίηση της πληροφορίας και επομένως την ανάλυση των κινδύνων όχι μόνο με την χρήση εύλογων παραδοχών και εικασιών αλλά με βάση δεδομένα που επιτρέπουν να εκτιμηθούν πραγματικοί χρόνοι αντίδρασης και ενεργειών αλλά και γενικά ποσοτικοί δείκτες κινδύνου.

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα είχαμε την δυνατότητα να παρατηρήσουμε τις τιμές για τις συγκεντρώσεις, τις θερμοκρασίες και την ορατότητα στον χώρο μελέτης, ενώ λαμβάνοντας υπ' όψιν την οπτική απεικόνιση της εκκένωσης καταφέραμε να εντοπίσουμε πιθανούς κινδύνους για τους εργαζομένους σε συνάρτηση με το περιβάλλον που χώρου μελέτης. Τα συμπεράσματα τα οποία μπορούμε να αντλήσουμε από την μελέτη περίπτωσης, είναι:

- Η μελέτη μέσω προγραμμάτων προσομοιώσεων για την αξιολόγηση των συνθηκών, των κινδύνων και πιθανών δράσεων στην περίπτωση κρίσεων ή ατυχημάτων αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την εφαρμογή πολύπλοκων σεναρίων πριν, κατά την διάρκεια και μετά την υπόγεια εκμετάλλευση.
- Η χρήση των προγραμμάτων προσομοίωσης δίνει την δυνατότητα στους εργαζομένους να παρατηρήσουν οπτικά την συνολική επιρροή μίας πυρκαγιάς ενώ κατά την εκπαίδευσή τους στην διαχείριση έκτακτων καταστάσεων από πυρκαγιά μπορούν να γνωρίσουν τις δράσεις που ανάλογα με την κάθε περίπτωση μπορούν να προβούν.
- Η βελτιστοποίηση των δράσεων αντιμετώπισης έκτακτων καταστάσεων,

είναι άμεσα συνδεδεμένη με το επίπεδο εκπαίδευσης των εργαζομένων και την διαμόρφωση πρότυπων διαδικασιών λειτουργίας.

- Οι σύνθετες δράσεις που μπορούν να προσομοιωθούν έχουν την δυνατότητα να συνδυάσουν στοιχεία που αφορούν: τον αερισμό, την θερμοκρασία, την ποιότητα του αέρα, την ορατότητα, συστήματα αισθητήρων, συστήματα πυρόσβεσης και δυνατότητες έμφραξης διόδων βοηθώντας στον καθορισμό των σημείων ενεργοποίησης μιας δράσης (π.χ. εμφάνιση οριακής συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα (CO)) .
- Ένα σημαντικό στοιχείο της εκκένωσης αποτελούν οι χρόνοι για τον εντοπισμό, την προειδοποίηση των εργαζομένων και τον εντοπισμό της εστίας της πυρκαγιάς έτσι η προσομοίωση συστημάτων αισθητήρων δίνει την δυνατότητα της βέλτιστης τοποθέτησης τους βάσει των χρόνων απόκρισής τους.
- Η σημασία της εντολής εκκένωσης προς την ασφαλέστερη τοποθεσία αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία της εκκένωσης διότι το κύριο μέλημα είναι η πρόσβαση των εργαζομένων σε ασφαλή τοποθεσία. Έτσι η αποφυγή κίνησης των εργαζομένων για μεγάλα χρονικά διαστήματα μέσα σε τοξικά ή σχεδόν τοξικά περιβάλλοντα δεν αποτελεί μια λύση απόλυτα ασφαλή.
- Το περιβάλλον κοντά στην εστία της πυρκαγιάς δύναται να επηρεαστεί με ραγδαίους ρυθμούς και γι αυτόν τον λόγο όπως γίνεται σαφές από τις προσομοιώσεις τις οποίες πραγματοποιήθηκαν, πολλές φορές είναι προτιμότερο να σταλθούν οι εργαζόμενοι στο καταφύγιο ασφαλείας μέχρις ότου ελεγχθεί ή περιοριστεί η κατάσταση έκτακτης ανάγκης.
- Ο εντοπισμός των εργαζομένων και της εστίας της πυρκαγιάς αποτελούν τα κυριότερα στοιχεία για την επιλογή της καταλληλότερης εντολής εκκένωσης, καθώς και για τον σχεδιασμό των δράσεων αντιμετώπισης της έκτακτης κατάστασης.
- Κατά την εκδήλωση μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης γίνεται σαφές

οτι είναι προτιμότερο οι εργαζόμενοι, οι οποίοι δεν είναι προετοιμασμένοι για την λήψη πρόσθετων ενεργειών, είτε λόγω της έλλειψης εκπαίδευσης, είτε εξοπλισμού, να καταφεύγουν προς ασφαλέστερες τοποθεσίες και να επικοινωνούν τις συνθήκες που επικρατούν μέχρις ότου ληφθούν πρόσθετες ενέργειες απο την επιφάνεια (ομάδα πυρόσβεσης, επέμβαση στον αερισμό).

Καταλήγοντας τα προγράμματα προσομοίωσης αποτελούν ένα εργαλείο για την εκπαίδευση των εργαζομένων, καθώς και για την μελέτη πολλών δυνητικών θέσεων και σεναρίων καταστάσεων έκτακτης ανάγκης όχι μόνο κατά τον σχεδιασμό μίας εκμετάλλευσης αλλά και κατά την λειτουργία ενός μεταλλείου. Ακόμα όπου εκτιμάται βάσει της εκτίμησης κινδύνου ότι πρέπει να περιοριστεί κάποιος κίνδυνος, μπορεί να μελετηθεί το πρόβλημα και αξιολογώντας τα αποτελέσματα να προβεί ο αρμόδιος σε αποδοτικότερες ενέργειες όσον αφορά την τοποθέτηση αισθητήρων, καταφυγίων ασφαλείας, σταθμών ανανέωσης των συσκευών αυτοδιάσωσης και αλλαγών στο σύστημα αερισμού. Τέλος το γεγονός ότι υπάρχει δυνατότητα προσομοίωσης διαφόρων δράσεων μπορεί να οδηγήσει στην αξιοποίηση του χρόνου που δαπανούν οι εργαζόμενοι για τις ασκήσεις ετοιμότητας και εκκένωσης στον έλεγχο πιο σύνθετων σεναρίων, κάνοντας αποδοτικότερες τις ασκήσεις ετοιμότητας με απώτερο σκοπό την αύξηση της ασφάλειας μιας υπόγειας μεταλλευτικής εκμετάλλευσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Department of industry and resources. (1997). EMERGENCY PREPAREDNESS FOR UNDERGROUND FIRES IN METALIFERROUS MINES. Goverment of Western Australia.
2. NSW Department of Trade and Investment. (2015). Emergency planning for mine,. North South Whales.
3. Φ188/Β/21-3-1990, Κ. Δ.
4. Brzezińska, D. Case Study 1 – Underground car park.
5. Deutsches Bergbau Museum, B. (n.d.). www.bergbaumuseum.de.
6. Emergency management Australia. (2005). EVACUATION PLANNING (Vol. Manual 11). Attorney-Generals Department.
7. Erica D. Kuligowski, R. D. (2005). Technical Note 1471: A Review of Building Evacuation Models. NIST (National Institute of Standards and Technology).
8. Escape and Rescue Operations in Mines Working Group. (2007). Guidance and Information on the role and design of safe havens in arrangements for escape from mines. Health and Safety Executive.
9. FDS Graphical User Interfaces (GUIs). (2016). Retrieved from https://github.com/firemodels/fds/wiki/Third-Party-Tools#fds-graphical-user-interfaces-guis
10. McGrattan Kevin, e. (2013). Fire Dynamics Simulator: Users Guide, NIST Special Publication 1019, Sixth Edition. NIST.
11. Michael R. Yenchek Sr, P. r. Through-the Earth Mine Communication Systems. Pittsburgh Research Laboratory.
12. Mine Safety and Health Administration-MSHA, http://arlweb.msha.gov
13. Mines Rescue Working Group and Mine Safety Operations Division of Industry and Investment NSW. (2010). MDG 1020 Guidelines for underground emergency escape systems and the provision of self rescuers.

14. Ministry of Energy, M. a. (2013), Mine Emergency Response Plan Guidelines for the Mining Industry. Ministry of Energy, Mines and Natural Gas Mines and Mineral Resources Division.
15. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) Mining Division. (2011). Tutorial on Wireless Communication and Electronic Tracking Part 1: Technology Overview.
16. NFPA. (2000). 122: Standard for fire prevention and control in underground metal and nonmetal mines.
17. Proulx, G. (2002). SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Movement of People: The Evacuation Timing (3rd Edition ed.). NFPA, SFPE.
18. Pathfinder: Technical Reference. Thunderhead Engineering. (2016)
19. PyroSim User Manual, Thunderhead Engineering. (2014)
20. United States Department of Labor. (n.d.). Retrieved from http://arlweb.msha.gov
21. Mowrer W., H. E. (2002). SFPE: handbook of fire protection engineering, Chapter 14, Emergency Movement.
22. West Virginia office of Miners Health and Safety and training, W. v. (2008). Developing a comprehensive emergency preparedness planning manual for underground mines. Virginia: West Virginia office of Miners Health and Safety and training, West Virginia University.
23. http://www.latomet.gr/ypan/StaticPage1.aspx?pagenb=16502.
24. Zuccaro, T. (2009). Fire safety engineering concerning evacuation from buildings (Vol. No 19:2009). European Guideline: CFPA-E.
25. Αρβελάκη, Β. (2014). Ανάλυση των διαδικασιών εκκένωσης σε υπογείους σταθμούς του ΜΕΤΡΟ Θεσσαλονίκης: Η περίπτωση του σταθμού «Πλατειά Δημοκρατίας» . Αθήνα.
26. ΕΚΘΕΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ 2014 ΣΜΕ ΑΣΦΑΛΕΙΑ & ΥΓΕΙΑ.
27. Καλλιανιώτης, Α. (2015). Βελτιστοποίηση συνθηκών εκκένωσης υπόγειων χωρών: αξιολόγηση και βελτιστοποίηση θέσεων εξόδων διαφυγής. Athens.

28. ΚΜΛΕ, Φ. (2011). ΚΜΛΕ. Αθήνα: ΥΑ2223.
29. ΚΥΑ των Υπουργών Δημόσιας Τάξης και Βιομηχανίας Ενέργειας και Τεχνολογίας. (1990). ΦΕΚ Β΄ 188 “Λήψη μέτρων πυροπροστασίας στις εγκαταστάσεις μεταλλείων και λατομείων", Δ7/Φ1/4817/15-3-1990. Αθήνα.
30. Κυρίτσης, Φ. (2010). ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΣΧΕΔΙΟΥ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΟ ΧΩΡΟ ΜΕ ΕΞΕΤΑΣΗ ΙΔΙΑΙΤΕΡΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΟΝ ΥΠΟΓΕΙΟ ΧΩΡΟ ΤΟΥ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΛΑΥΡΙΟΥ.
31. Σαραντινός, Ν. Ι. (2011). Ανάλυση ατυχήματος στο ορυχείο San jose'-Χιλή. Αθήνα.
32. http://ourvoice.newmont.com/2014/08/05/underground-chambers-provide-safe-haven-for-miners-in-emergencies/
33. http://us.msasafety.com/Air-Purifying-Respirators-%28APR%29/Escape-Respirators/W65-Self-Rescuer-Respirator/p/000270000500001501
34. Erickson, P. A. (2006). Emergency Response Planning for Corporate and Municipal Managers, Second Edition. Paxton, Massachusetts: Elsevier Butterworth–Heinemann.
35. Cheng-hsin Chang, (2003), Computational Fluid Dynamics Simulation of the Progress of Fire Smoke in Large Space, Building Atria
36. Weisenpacher (2011), COMPUTER SIMULATION OF FIRE IN A TUNNEL USING PARALLEL VERSION OF FDS
37. Μικρώνης Κωνσταντίνος, 2013,ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΦΩΤΙΑΣ ΣΕ ΟΔΙΚΕΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΜΕ ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΣΜΟ
38. Glasa, J, 2012, Use of PyroSim for Simulation of Cinema Fire
39. Hellas Gold, 2016 http://www.hellas-gold.com/metalleutika-erga/
40. Eurostat, 2016, http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Accidents_at_work_statistics

41. HSE(2001), REDUCING RISKS, PROTECTING PEOPLE HSE's decision-making process 2001
42. CDC,2014,https://www.cdc.gov/niosh/mining/UserFiles/statistics/14g09aa-mn.svg
43. CDC,2014,https://www.cdc.gov/niosh/mining/UserFiles/statistics/14g07ua-mnREV.svg

9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Ορισμοί από τον ευρωπαϊκό κανονισμό CFPA-E (European Guideline, CFPA-E No19: 2009)

Προσβασιμότητα

Η προσβασιμότητα ενός στοιχείου η σχετικά με ένα προϊόν συνδεόμενο με ένα συγκεκριμένο ρίσκο απασχολεί τον βαθμό της εγγύτητας του χρήστη με το στοιχείο ή προϊόν, όπου το ρίσκο μπορεί να εμφανιστεί. Εξαρτώμενο από το είδος του κάθε κινδύνου, αυτή η ιδέα μπορεί να απασχολεί ένα άτομο ή ένα μέρος του σώματός του (π.χ. χέρι, δάχτυλο) ή ακόμα και ένα αντικείμενο χειριζόμενο από ένα άτομο και εφαρμόζεται στην πιθανότητα επαφής (σοκ, θερμές επιφάνειες κ.α.) ή στην πιθανότητα κρίσιμων αποστάσεων (ηλεκτρικού σοκ, ραδιενεργή ακτινοβολία κ.α.)

Ενέργειες

Είναι οι ενέργειες που μπορεί να επηρεάσουν τη συμμόρφωση των έργων με τις βασικές απαιτήσεις, αφού έχουν επέλθει παράγοντες που δρουν στα έργα ή τμήματα των έργων. Οι παράγοντες αυτοί περιλαμβάνουν μηχανικούς, χημικούς, βιολογικούς, θερμικούς και ηλεκτρομαγνητικούς παράγοντες.

Ενεργητικά μέτρα πυροπροστασίας

Πρόκειται για τα συστήματα και τον εξοπλισμό που εγκαθίστανται για την μείωση του κινδύνου στα άτομα και την ιδιοκτησία μέσω του εντοπισμού της πυρκαγιάς, πυρόσβεσής της, αφαίρεσης του καπνού και θερμών αερίων ή οποιουδήποτε συνδυασμού των λειτουργιών αυτών.

Συναγερμός

Ξαφνική προσοχή ή δράση για την προστασία προσώπων ή περιουσίας (ISO 8201,1987)

Κρίσιμες συνθήκες για τους χρήστες

Συνθήκες κατά τις οποίες έχουμε οριακές τιμές για την αύξηση της θερμοκρασίας, μείωση του οξυγόνου και συγκέντρωση των τοξικών αερίων που προκύπτουν από την καύση και θέτουν σε σοβαρό κίνδυνο την ασφάλεια της ζωής σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα

Σενάριο σχεδιασμού πυρκαγιάς

Ένα σενάριο σχεδιασμού πυρκαγιάς είναι ένα υποσύστημα των σεναρίων πυρκαγιάς και αποτελεί την πιο πιθανή ή επαχθή από αυτά. Πρόκειται για ένα συγκεκριμένο σενάριο πυρκαγιάς κατά το οποίο θα διεξαχθεί μια ανάλυση.

Επείγουσα κατάσταση

Άμεσος κίνδυνος σοβαρής απειλής για άτομα ή περιουσία

Οδός διαφυγής

Διαδρομή που αποτελεί μέρος των μέσων διαφυγής από οποιοδήποτε σημείο σε ένα κτίριο σε μια τελική έξοδο.

Χρόνος Διαφυγής

Υπολογίζεται ως ο χρόνος από την ανάφλεξη μέχρι την ώρα κατά την οποία όλοι οι χρήστες ενός συγκεκριμένου τμήματος του κτιρίου είναι σε θέση να φθάσουν στον τόπο της ασφάλειας. Στην περίπτωση αυτή ο χρόνος αυτός αφορά τις υπόγειες μεταλλευτικές εγκαταστάσεις.

Χρόνος εκκένωσης

Όσον αφορά την ομαλή μετάβαση των ατόμων σε ένα ασφαλές μέρος σε περίπτωση πυρκαγιάς ή άλλης έκτακτης ανάγκης αυτό είναι το διάστημα μεταξύ του χρόνου προειδοποίησης της πυρκαγιάς με σήματα που μεταδίδονται στους χρήστες και την ώρα κατά την οποία όλοι οι χρήστες είναι σε θέση να φθάσουν σε ένα ασφαλές μέρος. Στην περίπτωση αυτή ο χρόνος αυτός αφορά τις υπόγειες μεταλλευτικές εγκαταστάσεις και συνεπώς το ασφαλές μέρος αναφέρεται στα καταφύγια ασφαλείας.

Έξοδος

Πόρτα ή άλλο κατάλληλο άνοιγμα που παρέχει πρόσβαση προς ένα ασφαλές μέρος.

Σήμανση εξόδων διαφυγής

Σημάδια που δείχνουν σαφώς μια έξοδο

Πυρκαγιά

Μία διαδικασία καύσεως, που χαρακτηρίζεται από εκπομπή θερμότητας και συνοδεύεται από καπνό ή / και καύση ταχείας φλόγας με ανεξέλεγκτη εξάπλωση στο χρόνο και στη διαφυγή.

Εγκατάσταση συναγερμού πυρκαγιάς

Συνδυασμός των στοιχείων για την παροχή ηχητικού ή / και οπτικού και / ή άλλης μορφής συναγερμούς πυρκαγιάς. Το σύστημα μπορεί επίσης να κινεί και άλλες βοηθητικές ενέργειες .

Συναγερμός πυρκαγιάς

Προειδοποίηση ύπαρξης φωτιάς προέρχεται από ένα άτομο ή από μία αυτόματη συσκευή .

Ομάδα διάσωσης φωτιάς

Δημόσια ή ιδιωτική οργάνωση με σκοπό τη διαφύλαξη της ζωής και στην καταπολέμηση των πυρκαγιών. Στην περίπτωση των μεταλλευτικών εγκαταστάσεων η ομάδα αυτή απαρτίζεται από εξειδικευμένο προσωπικό εκπαιδευμένο σε θέματα πυρόσβεσης, διάσωσης καθώς και ασφαλείας των υπόγειων μεταλλευτικών εγκαταστάσεων.

Πυροδιαμέρισμα

Πρόκειται για έναν κλειστό χώρο σε ένα κτίριο που διαχωρίζεται από άλλα τμήματα του ίδιου κτιρίου και έχει καθορισμένη χρονική αντοχή στη φωτιά, ενώ παράλληλα μπορεί να συγκρατήσει μια πυρκαγιά εντός του για αυτό το χρονικό

διάστημα (ή να αποκλείσει μια πυρκαγιά από το να εισέλθει στον χώρο αυτό), χωρίς διασπορά (ή από) ένα άλλο μέρος του κτιρίου. Στην περίπτωση των υπόγειων μεταλλείων τέτοιους χώρους τους συναντάμε με τον όρο εναλλακτικά καταλύματα ασφαλείας (Safe Havens, Refuge Chambers και Refuge alternatives) ενώ έχουν και πρόσθετες απαιτήσεις για να καλύψουν τις ανάγκες των εξειδικευμένων αυτών χώρων.

Αισθητήρες Φωτιάς

Μηχανισμός, ο οποίος δίνει απόκριση σήματος σε συγκεκριμένες φυσικές ή/και χημικές αλλαγές που συνοδεύουν την φωτιά.

Κίνδυνος πυρκαγιάς

Η πιθανότητα απώλειας ζωής (ή τραυματισμού) και/ή φθοράς περιουσίας από την φωτιά.

Πυρανθεκτικότητα

Η ικανότητα ενός στοιχείου της κατασκευής του κτιρίου να εκπληρώνει για μια δεδομένη χρονική περίοδο την απαιτούμενη λειτουργία να φέρει το φορτίο , την ακεραιότητα ή/και την θερμική μόνωση που καθορίζεται στο πρότυπο τεστ αντοχής στη φωτιά.

Επίπεδο κινδύνου πυρκαγιάς

Πρόκειται για μια εφαρμογή που σχετίζεται με την πιθανότητα της φωτιάς να προκαλέσει απώλεια ζωής (ή τραυματισμό) και/ή να βλάψει την περιουσία και το βαθμό της ζημίας που προκλήθηκε .

Εγκαταστάσεις πυρασφάλειας

Αυτές οι εγκαταστάσεις αρμόδιες για τις υπηρεσίες , πυρανίχνευσης και συναγερμού, υποδομές σε μέσα διαφυγής, και τον εξοπλισμό πυρόσβεσης και καταστολής της φωτιάς.

Σενάριο φωτιάς

Μια ποιοτική περιγραφή της πορείας μιας φωτιάς σε συνάρτηση με το χρόνο ,

εντοπίζοντας τα βασικά γεγονότα που χαρακτηρίζουν τη φωτιά και την διαφοροποιούν από άλλες πιθανές φωτιές. Συνήθως τυπικά καθορίζεται η διαδικασία ανάφλεξης και ανάπτυξης της φωτιάς, το πλήρως ανεπτυγμένο στάδιο και το στάδιο αποσύνθεσης, συμπεριλαμβανομένων των επιδράσεων από το περιβάλλον δηλαδή το κτήριο και άλλα συστήματα που δύναται να επηρεάσουν την πορεία της φωτιάς.

Ανάλυση κινδύνου

Πρόκειται για μια ανάλυση που πραγματοποιείται ώστε να εξετάζεται η πιθανότητα απώλειας, φωτιάς ή τραυματισμού και/ή καταστροφή της περιουσίας

Ρυθμός εκλυόμενης θερμότητας

Πρόκειται για τον ρυθμό με τον οποίο η αντίδραση της καύσης παράγει θερμότητα. Επίσης συχνά χρησιμοποιείται ο όρος ρυθμός καύσης. ή έκλυση θερμότητας από ένα αντικείμενο μετράται σε κιλοβάτ (kW).

Ανάφλεξη

Εκκίνηση της καύσης.

Χρόνος κίνησης

Είναι το διάστημα μεταξύ του χρόνου, όπου οι χρήστες κάνουν την πρώτη κίνηση και την ώρα κατά την οποία όλοι τους είναι σε θέση να καταλήξουν σε ασφαλές μέρος .

Τοποθεσία ασφάλειας

Είναι μια προκαθορισμένη θέση, όπου τα πρόσωπα δεν βρίσκονται σε κανέναν άμεσο κίνδυνο από την επίδραση της φωτιάς. Σημείωση: Η τοποθεσία ασφάλειας μπορεί να είναι εντός ή εκτός του κτιρίου ανάλογα με στρατηγική της εκκένωσης, τον χρόνο πριν τον χρόνο μετακίνησης (χρόνος καθυστέρησης για να ξεκινήσει), όπου στην ουσία είναι ο χρόνος για την αντίληψη του συναγερμού + τον χρόνο για την ερμηνεία του συναγερμού + το διάστημα του χρόνου μεταξύ της προειδοποίησης πυρκαγιάς που δίνεται (από συναγερμό ή με άμεση παρατήρηση του καπνού ή της φωτιάς) και της πρώτης κίνησης που γίνεται προς μια έξοδο.

Καπνός

Ένα εμφανές εναιώρημα από στερεά και/ή υγρά σωματίδια σε αέρια ως αποτέλεσμα καύσης.

Θύρες ελέγχου καπνού

Είναι θύρες σχεδιασμένες να ελαττώνουν τον ρυθμό διασποράς του καπνού κατά την διάρκεια της φωτιάς

Κριτήρια παραμονής

Η μέγιστη έκθεση στους κινδύνους που προκαλούνται από μια φωτιά που μπορεί να γίνει ανεκτή χωρίς να προκαλεί ανικανότητα .

Απόσταση ταξιδίου

Είναι η πραγματική απόσταση που πρέπει να διανυθεί από ένα άτομο από οποιοδήποτε σημείο μέσα σε ένα κτίριο στην πλησιέστερη έξοδο, έχοντας υπόψη τη διάταξη των τοίχων, διαχωριστικών και τα εξαρτήματα .

Χρόνος ταξιδιού

Είναι ο χρόνος που απαιτείται από την αρχή της κίνησης, για όλους τους χρήστες ενός συγκεκριμένου τμήματος του κτιρίου, ώστε να προχωρήσουν σε ένα ασφαλές μέρος.

Τύπος πληρότητας

Η υποδιαίρεση των ενοίκων σε συνάρτηση με την ηλικία, την ευαισθητοποίηση και την κινητικότητα των επιβατών, το είδος του φορτίου της φωτιάς, και το είδος της δραστηριότητας της πληρότητας.

10. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Στο παράρτημα 2 βρίσκεται πίνακας με διάφορα μοντέλα προσομοίωσης εκκένωσης καθώς και ο πίνακας Π2.1 όπου αποτελεί υπόμνημα με επεξηγηματικούς όρους για τις εισαγωγές του σχήματος Π2.1.

ΜΟΝΤΕΛΟ	ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΣΤΟ ΚΟΙΝΟ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	ΣΚΟΠΟΣ	ΚΑΝΑΒΟΣ/ΔΟΜΗ	ΟΠΤΙΚΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ/ΧΡΗΣΤΗ	ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ	ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΒΑΣΕΙ	ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ	CAD	ΟΠΤΙΚΑ	ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ
FPETool	Y	M	1	N/A	G	N	UC	N	N	N	N
EVACNET4	Y	M-O	1	C	G	N	UC	N	N	N	FD
TIMTEX	Y	M	4	C	G/I	N	D	N	N	N	PE
WAYOUT	Y	M	5	C	G	N	D	N	N	2-D	FD
STEPS	Y	M/PB	1	F	I	N/I	P,E	N	Y	3-D	C
PedGo	Y	M/PB	1	F	I	I	P,E(CA)	N	Y	2-D	FD
PED/PAX	Y/N3	PB	3	C	G	I	D	N	Y	2,3-D	N
Simulex	Y	PB	1	Co	I	I	ID	N	Y	2-D	FD,PE
GridFlow	Y	PB	1	Co	I	I	D	N	Y	2,3-D	FD,PE
ASERI	Y	B-RA	1	Co	I	R/C,P	ID	Y1,2	N,F	2,3-D	FD
BldEXO	Y	B	1	F	I	R/C,P	P,E	Y1,2	Y	2,3-D	FD
EXITT	Y	B	2	C	I	R/C	C	Y1,2	N	2-D	N
Legion	Y	B	1	Co	I	AI	D,C	Y2	Y	2,3-D	FD,OM
PathFinder	N1	M	1	F	I/G	N	D	N	Y	2-D	N
EESCAPE	N1	M	5	C	G	N	D	N	N	N	FD
Myriad	N1	M	1	N/A	I	N	D	N	Y	2-D	3P
ALLSAFE	N1	PB	5	C	G	I	Un F	Y1,2	N	2-D	OM
CRISP	N1	B-RA	1	F	I	R/C,P	E,D	Y3	Y	2,3-D	FD
2002	N1	B	1	F	I	R/C,P	P,E(CA)	Y2	N	2-D	FD
SGEM	N2	M/PB	1	F	I	N/I	E,D(CA)	N	Y	2-D	FD,OM
Egress Compexity	N2	M/PB	5	C	G/I	N	Ac K,FA	N	N	N	OM
EXIT89	N2	PB	1	C	I	I/C(smk)	D	Y1	N	N	FD
BGRAF	N2	B	1	F	I	R/C,P	UC?	Y1,2	N,F	2-D?	FD
EvacSim	N2	B	1	F	I	R/C,P	D	Y2	N	N	N
Takahashi's Fluid	N3	M-O	1	C	G	N	FA-D	N	N	2-D	FD
EgressPro	N3	M	5	C	G	N	D	Y2	N	N	N
BFIRES-2	N3/U	B-RA	4	F	I	R/C,P	UC	Y2	N	N	N
VEgAS	N3/U	B	1	F	I	AI	ID	Y1?	Y	3-D	N
Magnetic Model	U	M	1	F	I	I	FA	N	N	2-D	N
E-SCAPE	U	B	1	C	I	R/C,P	OML	Y2	N	2-D	N

Σχήμα Π2.1.:Μοντέλα προσομοίωσης εκκένωσης (Kuligowski, 2005)

Πίνακας Π2.1.: Υπόμνημα Σχήματος Π2.1 (Kuligowski, 2005)

Σύνοψη των στοιχείων Σχήμα	
Διαθεσιμότητα στο κοινό	(Y): το μοντέλο είναι διαθέσιμο δωρεάν ή με κάποιο αντίτιμο (N1): η εταιρία χρησιμοποιεί το μοντέλο για τους πελάτες της προσφέροντας συμβουλευτικές υπηρεσίες (N2): το μοντέλο δεν έχει απελευθερωθεί (N3): το μοντέλο δεν χρησιμοποιείται πλέον (U): άγνωστο
Μέθοδος μοντελοποίησης	(M): μοντέλο κίνησης (M-O): μοντέλα βελτιστοποίησης/κίνησης (PB): μερικό μοντέλο συμπεριφοράς (B): μοντέλο συμπεριφοράς (B-RA): μοντέλο συμπεριφοράς με δυνατότητες αξιολόγησης ρίσκου
Σκοπός	(1) μοντέλα που μπορούν να προσομοιώσουν οποιονδήποτε τύπο κτηρίου (2) μοντέλα που εξειδικεύονται στις κατοικίες (3) μοντέλα που εξειδικεύονται στους σταθμούς μέσων μαζικής (4) μοντέλα που είναι ικανά να προσομοιώσουν χαμηλού ύψους (κάτω από 25 ορόφους) (5) μοντέλα που μπορούν να προσομοιώσουν μόνο 1 δίοδο/έξοδο του κτηρίου
Κάναβος/Δομή	(C): χονδρό δίκτυο/κάναβος (F): λεπτό δίκτυο/κάναβος (Co): συνεχές δίκτυο/κάναβος
Οπτική του μοντέλου/χρήστη	(G): καθολική προοπτική (I): ατομική προοπτική

Συμπεριφορά	(N): καμία συμπεριφορά (I): απεριόριστη (R): βασισμένη σε κανόνες (C): εξαρτώμενη υπό όρους (AI): τεχνητή νοημοσύνη (P): πιθανολογική
Μετακίνηση βάσει	(D): πυκνότητα (UC): επιλογή του ενοίκου-χρήστη (ID): απόσταση μεταξύ ατόμων (P): δυνατότητα (E): κενότητα του επόμενου κελιού του δικτύου/κανάβου (C): εξαρτώμενη υπό όρους (FA): λειτουργική αναλογία (OML): άλλης σύνδεσης μοντέλο (Ac K): αποκτούμενη γνώση (Un F): απρόσκοπτη ροή (CA): κυτταρικοί αυτοματισμοί
Δεδομένα πυρκαγιάς	(N): το μοντέλο δεν μπορεί να συνδυάσει στοιχεία πυρκαγιάς (Y1): το μοντέλο μπορεί να εισάγει στοιχεία πυρκαγιάς από άλλο (Y2): το μοντέλο επιτρέπει τον χρήστη να εισάγει συγκεκριμένα στοιχεία, συγκεκριμένες χρονικές στιγμές της εκκένωσης (Y3): το μοντέλο έχει το δικό του παράλληλο μοντέλο πυρκαγιάς
CAD	(N): το μοντέλο δεν επιτρέπει την εισαγωγή αρχείων (Y): το μοντέλο επιτρέπει την εισαγωγή αρχείων

	(F): το χαρακτηριστικό αυτό βρίσκεται υπό ανάπτυξη
Οπτικά	(N): το μοντέλο δεν έχει δυνατότητες (2-D): Δυνατή η οπτικοποίηση σε 2-διαστάσεις2 (3-D):δυνατότητα οπτικοποίησης σε 3-διαστάσεις
Επικύρωση	(C): επικύρωση συναρτήσει κανονισμών (FD): επικύρωση συναρτήσει ασκήσεων ασφαλείας ή άλλων πειραμάτων-δοκιμών κίνησης ατόμων (PE): επικύρωση βάσει πρότερης έρευνας-βιβλιογραφίας (OM): επικύρωση συναρτήσει άλλων μοντέλων (3P): έλεγχος επικύρωσης από τρίτους (N): δεν βρέθηκαν στοιχεία για επικύρωση του μοντέλου