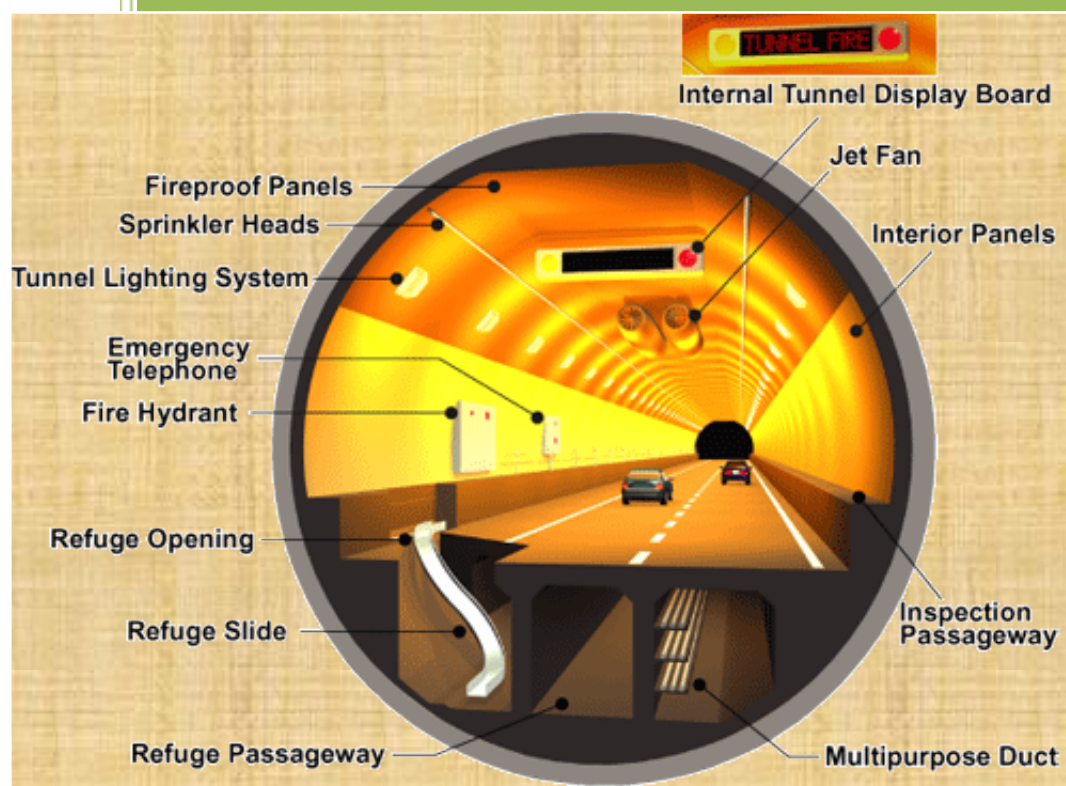


# ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΥΡΑΣΦΑΛΕΙΑΣ & ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΣΕ ΟΔΙΚΑ ΤΟΥΝΕΛ ΜΕ ΤΟ ΒΛΕΜΜΑ ΕΝΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ

## 2013



Ευσταθίου Χρυσοβαλάντης

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Συστήματα Αυτοματισμού»

22/1/2013



**L'ò duca e io per quel cammino ascoso  
intrammo a ritornar nel chiaro mondo;  
e sanza cura aver d'alcun riposo,**

**salimmo sù, el primo e io secondo,  
tanto ch'i' vidi de le cose belle  
che porta 'l ciel, per un pertugio tondo.**

**E quindi uscimmo a riveder le stelle.**

Dante Alighieri, L' Inferno (Canto 34, linee 133-139)

*“And following its path, we took no care  
To rest, but climbed: he first, then I-- so far,  
Through a round aperture I saw appear  
Some of the beautiful things that Heaven bears,  
Where we came forth, and once more saw the stars.”*

# Ευχαριστίες

*Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Κουλοχέρη Δημήτριο, για την ευκαιρία που μου έδωσε και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, την οικογένειά μου για την αγάπη και υπομονή τους και τους φίλους μου για την υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.*

## Πίνακας περιεχομένων

<b>1</b>	<b>Πρόλογος.....</b>	<b>8</b>
1.1	Εισαγωγή.....	8
1.2	Βασικές έννοιες πρόληψης και προστασίας.....	9
1.3	Διαχείριση πυρασφάλειας.....	11
1.4	Πρόληψη πυρκαγιών.....	12
1.5	Πυροπροστασία.....	12
1.5.1	Παθητική πυροπροστασία.....	12
1.5.2	Ενεργή πυροπροστασία.....	13
1.6	Κάποιες πρώτες σκέψεις για το σχεδιασμό πυρασφάλειας.....	13
1.6.1	Ρυθμιστικοί κώδικες.....	14
1.6.2	Μέθοδοι «υπολογισμού ρίσκου».....	14
1.6.3	Ανάπτυξη πυρκαγιάς σε σήραγγες.....	15
<b>2</b>	<b>Συστήματα πυρανίχνευσης.....</b>	<b>17</b>
2.1	Εισαγωγή.....	17
2.2	Προβλήματα κατά την ανίχνευση πυρκαγιών.....	17
2.2.1	Η ανάπτυξη του καπνού και της θερμότητας σε μία πυρκαγιά σήραγγας.....	17
2.3	Αρχές Ανίχνευσης.....	18
2.3.1	Καπνός.....	19
2.3.2	Φλόγα.....	21
2.3.3	Θερμότητα.....	21
2.4	Αρχές πυρανίχνευσης κατάλληλες για χρήση εντός σιηράγγων.....	22
2.5	Γενικές απαιτήσεις απόδοσης για τα συστήματα πυρανίχνευσης.....	24
2.5.1	Σχεδιασμός συστήματος συναγερμού πυρκαγιάς ως μέρος του συστήματος της σήραγγας.....	24
2.5.2	Έλεγχος του καπνού και της θερμότητας εντός 2 λεπτών από την έναρξη της πυρκαγιάς.....	26
2.5.3	Άλλες λειτουργικές απαιτήσεις απόδοσης.....	27
2.5.4	Διαφορετικές προσεγγίσεις για την ειδοποίηση των χρηστών της σήραγγας.....	28
2.6	Σύγχρονοι ανιχνευτές θερμότητας πυρκαγιάς τύπου γραμμής.....	30
2.6.1	Καλώδιο ανίχνευσης θερμότητας τύπου γραμμής με θερμο-ευαίσθητη μόνωση.....	30
2.6.2	Καλώδιο ανίχνευσης θερμότητας τύπου γραμμής με ημιαγωγικούς αισθητήρες θερμοκρασίας (σύστημα πολλαπλών σημείων).....	30
2.6.3	Ανιχνευτής θερμότητας τύπου γραμμής με αγωγό fiberglass.....	31

2.6.4	Ανιχνευτής θερμότητας τύπου γραμμής με αισθητήρα σωλήνα χαλκού .....	32
2.7	Αξιολόγηση συστημάτων συναγερμού πυρκαγιάς state-of-the-art.....	33
2.7.1	Ορισμός του state-of-the-art .....	33
2.7.2	Κριτήρια αξιολόγησης .....	33
2.7.3	Αξιολόγηση ανιχνευτών θερμότητας πυρκαγιάς τύπου γραμμής.....	34
2.8	Μελλοντικές τάσεις και νέες τεχνολογίες.....	36
2.8.1	Ανίχνευση καπνού φλόγας με επεξεργασία εικόνας βίντεο .....	36
2.9	Ανιχνευτές Αναρρόφησης Καπνού (ASD).....	41
2.10	Συμπεράσματα .....	42
<b>3</b>	<b>Πυροπροστασία σε οδικές σήραγγες από σκυρόδεμα.....</b>	<b>44</b>
3.1	Εισαγωγή .....	44
3.2	Συμπεριφορά του σκυροδέματος σε μία πυρκαγιά .....	45
3.3	Παθητική πυροπροστασία .....	48
3.3.1	Απαιτήσεις και πρότυπα .....	49
3.4	Ενεργή πυροπροστασία .....	49
3.4.1	Ψεκαστήρες νερού/Καταιωνηστήρες (Sprinklers).....	50
3.4.2	Συστήματα κατακλυσμού.....	52
3.4.3	Συστήματα ομίχλης νερού .....	52
3.4.4	Ζητήματα χρήσης συστημάτων ενεργής καταστολής/πυροπροστασίας .....	53
3.4.5	Πειραματική αξιολόγηση των συστημάτων καταστολής νερού.....	56
3.4.6	Εναλλακτικό σύστημα καταστολής πυρκαγιάς.....	58
3.5	Συμπεράσματα.....	59
<b>4</b>	<b>Εξαερισμός σήραγγας και Πυρασφάλεια.....</b>	<b>61</b>
4.1	Εισαγωγή .....	61
4.2	Τρόποι λειτουργίας των συστημάτων εξαερισμού σήραγγας κατά τη διάρκεια πυρκαγιάς....	61
4.3	Τύποι συστημάτων εξαερισμού σύμφωνα με τη ροή του αέρα .....	62
4.3.1	Διαμήκη Συστήματα .....	62
4.3.2	Εγκάρσια Συστήματα.....	63
4.3.3	Φυσικός εξαερισμός.....	64
4.3.4	Μηχανικά συστήματα εξαερισμού .....	67
4.4	Στόχοι σχεδιασμού για τον έλεγχο του καπνού.....	72
4.5	Επίδραση του εξαερισμού στα χαρακτηριστικά της πυρκαγιάς.....	78
4.5.1	Εισαγωγή .....	78
4.5.2	Μεταβολή της απόδοσης θερμότητας με την ταχύτητα αερισμού.....	78

4.5.3	Επίδραση του εξαερισμού στην εξάπλωση της πυρκαγιάς .....	79
4.5.4	Έλεγχος πυρκαγιών σήραγγας με χρήση εξαερισμού .....	81
4.5.5	Έλεγχος του καπνού από τον εξαερισμό.....	82
4.6	Μοντελοποίηση ροών σήραγγας .....	83
4.6.1	Μοντελοποίηση δικτύου εξαερισμού.....	84
4.6.2	Φαινομενολογικά μοντέλα .....	85
4.6.3	Μέθοδοι που βασίζονται στην υπολογιστική δυναμική ρευστών .....	86
4.7	Συζήτηση πάνω στη χρήση μοντέλων για τη μελέτη πυρκαγιών σε σήραγγες .....	88
4.8	Σκέψεις - Συμπεράσματα .....	90
<b>5</b>	<b>Λειτουργία έκτακτης ανάγκης σε μια οδική σήραγγα κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς -</b>	
	<b>Αυτοματοποίηση.....</b>	<b>93</b>
5.1	Εισαγωγή .....	93
5.2	Ζήτημα χρόνου - Εξέλιξη πυρκαγιάς και ασφαλής εκκένωση .....	95
5.3	Παράγοντες επιρροής της επιχειρησιακής ασφάλειας μιας σήραγγας .....	98
5.4	Ατυχήματα πυρκαγιάς και σχέδια αντιμετώπισης (Πρωταρχικός σχεδιασμός).....	101
5.5	Άνθρωποι κατά τη διάρκεια πυρκαγιάς σε σήραγγα (Συμπεριφορά).....	104
5.6	Μέτρα περιορισμού του κινδύνου σε οδικές σήραγγες.....	109
5.6.1	Προσδιορισμός μέτρων μείωσης του κινδύνου .....	109
5.7	Αποκρίσεις σε έκτακτα περιστατικά .....	111
5.7.1	Αποφάσεις και ενέργειες .....	113
<b>6</b>	<b>Νομικά ζητήματα σχετικά με την πυρασφάλεια σε οδικές σήραγγες.....</b>	<b>121</b>
6.1	Εισαγωγή .....	121
6.2	Νομικές έρευνες - Εξέταση περιστατικών πυρκαγιάς σε τούνελ .....	122
6.2.1	Πρότυπα λήψης αποφάσεων για μηχανικούς σηράγγων .....	122
6.2.2	Νομική θέση του μηχανικού .....	124
6.2.3	Αποδεικτικά στοιχεία .....	126
6.2.4	Γνωμοδότηση ως αποδεικτικό στοιχείο.....	127
6.3	Εξέταση προηγούμενων αποφάσεων (Νομική έρευνα).....	127
6.3.1	Βασικές αρχές στη λήψη αποφάσεων σε μία σήραγγα.....	128
6.3.2	Οικονομικοί λόγοι επιρροής αποφάσεων .....	129
6.3.3	Ανάλυση ρίσκου (Γενικά) .....	130
6.3.4	Ποσοτική εκτίμηση ρίσκου.....	131
6.3.5	Οικονομοτεχνικές ευθύνες .....	132
6.4	Κοινά θέματα μηχανικής σηράγγων που υπόκεινται σε νομική έρευνα .....	134

6.5	Συμπεράσματα.....	135
<b>7</b>	<b>ΑΝΤΙ ΕΠΙΛΟΓΟΥ - ΣΚΕΨΕΙΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>137</b>
7.1	Απόκτηση συνολικής εικόνας του τόπου του ατυχήματος.....	137
7.2	Έλεγχος των αερίων της φωτιάς, για τη διευκόλυνση της εκκένωσης, διάσωσης και πυρόσβεσης .....	139
7.3	Εκτίμηση κινδύνου .....	142
<b>8</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>145</b>
<b>9</b>	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ ΣΕ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΟΔΙΚΟ ΤΟΥΝΕΛ.....</b>	<b>149</b>

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Σχήμα 1-1:	Κρίσιμο γεγονός Φωτιάς σε Όχημα Εντός Σήραγγας .....	10
Σχήμα 1-2:	Κατηγορίες διαχείρισης πυρασφάλειας .....	11
Σχήμα 1-3:	Ανάπτυξη πυρκαγιάς σε σήραγγα και μέτρα πρόληψης / προστασίας.....	16
Σχήμα 2-1:	Κοινή ανάπτυξη πυρκαγιάς.....	18
Σχήμα 2-2:	Είδη ανιχνευτή πυρκαγιάς .....	19
Σχήμα 2-3:	Αρχή λειτουργίας ανιχνευτών καπνού .....	20
Σχήμα 2-4:	Ανιχνευτής καπνού δέσμης φωτός .....	20
Σχήμα 2-5:	Ανιχνευτής φλόγας.....	21
Σχήμα 2-6:	Συμπεριφορά απόκρισης του ανιχνευτή θερμότητας .....	22
Σχήμα 2-7:	Αρχιτεκτονική state-of-the-art συστήματος συναγερμού φωτιάς .....	25
Σχήμα 2-8:	Συνεστραμμένο ζεύγος ηλεκτρικών αγωγών με θερμο-ευαίσθητη μόνωση .....	30
Σχήμα 2-9:	Αισθητήρες θερμότητας ημιαγωγών .....	31
Σχήμα 2-10:	Καλώδιο με αγωγό Fiberglass .....	32
Σχήμα 2-11:	Ανιχνευτής σωλήνα χαλκού με μονάδα εκτίμησης πίεσης.....	32
Σχήμα 2-12:	Αλγόριθμος επεξεργασίας ψηφιακών εικόνων .....	37
Σχήμα 2-13:	Τεστ καπνού και ανίχνευσης σε σήραγγα.....	38
Σχήμα 2-14:	Δοκιμή φωτιάς με γυμνή φλόγα μέσα σε ένα τούνελ και επακόλουθη πυρανίχνευση .....	38
Σχήμα 2-15:	Αρχιτεκτονική του συστήματος συναγερμού πυρκαγιάς με έγκαιρη ανίχνευση πυρκαγιάς (τεχνολογία επεξεργασίας εικόνας) .....	40
Σχήμα 2-16:	Ανιχνευτής αναρρόφησης καπνού.....	41
Σχήμα 3-1:	Τύποι παθητικής πυροπροστασίας.....	48
Σχήμα 3-2:	Καταιωνηστήρας (Sprinkler).....	50
Σχήμα 3-3:	Συνήθης διαμόρφωση συστήματος ψεκαστήρων νερού .....	51
Σχήμα 3-4:	Σύστημα καταστολής πυρκαγιάς με ομίχλη νερού .....	53
Σχήμα 4-1:	Διαμήκεις διαμορφώσεις εξαερισμού .....	62
Σχήμα 4-2:	Διάμηκες σύστημα εξαερισμού με ανεμιστήρες jet .....	63
Σχήμα 4-3:	Διάμηκες σύστημα εξαερισμού με δύο θυρίδες .....	63
Σχήμα 4-4:	Πλήρως εγκάρσιο σύστημα εξαερισμού.....	63
Σχήμα 4-5:	Ημι-εγκάρσιο σύστημα εξαερισμού παροχής.....	64
Σχήμα 4-6:	Ημι-εγκάρσιο σύστημα εξαερισμού απορρόφησης .....	64

Σχήμα 4-7: Διαστρωμάτωση καπνού σε μια σήραγγα που περιέχει 4m <sup>2</sup> επιφάνεια φωτιάς βενζίνης με ταχύτητα ατμοσφαιρικού αέρα <0,5 m/s .....	66
Σχήμα 4-8: Κοινές διαμορφώσεις εξαερισμού σήραγγας:.....	69
Σχήμα 4-9: Τυπική διαμήκης διάταξη εξαερισμού σε σήραγγες .....	70
Σχήμα 4-10: Σήραγγα της Μάγχης - Σχεδιάγραμμα του συστήματος εξαερισμού .....	72
Σχήμα 4-11: Οπτικοποίηση του στιγμιαίου πεδίου στροβιλότητας από ένα ζεστό πίδακα σε μία περιορισμένη εγκάρσια ροή .....	87
Σχήμα 4-12: Μοντέλο CFD σταθερής κατάστασης και μεταβατικής ροής τριών διαστάσεων με καύση και θερμική άνωση.....	88
Σχήμα 5-1: Ανάπτυξη κίνδυνου πυρκαγιάς σε σήραγγα, ΔΧΑΕ, ΑΧΑΕ και ΠΕΧΕ .....	96
Σχήμα 5-2: Ανάπτυξη ελεγχόμενου και μη ελεγχόμενου περιστατικού .....	101

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2-1: Παρατηρήσεις από τις πρόσφατες πυρκαγιές σήραγγας.....	19
Πίνακας 2-2: Απαιτήσεις επιδόσεων.....	27
Πίνακας 2-3: Κριτήρια αξιολόγησης για απόδοση state-of-the-art .....	33
Πίνακας 5-1: Ομάδες αποφάσεων και δράσεων – Σχέδιο δράσης.....	114



# 1 Πρόλογος

---

## 1.1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με τα γαλλικά (Perard [2]), γερμανικά [3], ελβετικά (Ruchstuhl [4]) και ιταλικά (Arditi [5]) στατιστικά στοιχεία, φαίνεται να συμβαίνουν λιγότερο συχνά ατυχήματα σε οδικές σήραγγες από ό, τι στον ανοικτό δρόμο. Αυτό συμβαίνει, ενδεχομένως, διότι οι σήραγγες είναι ένα πιο «ελεγχόμενο» περιβάλλον. Γενικά δεν υπάρχουν επιπλοκές που προκαλούνται από τον καιρό, υπάρχουν λιγότερες διασταυρώσεις, δεν υπάρχουν απότομες στροφές και οι οδηγοί έχουν την τάση να είναι πιο προσεκτικοί κατά την οδήγηση μέσα σε σήραγγες. Ωστόσο, δεν υπάρχει καμία αμφιβολία ότι οι συνέπειες της πυρκαγιάς σε μια σήραγγα μπορεί να είναι πολύ πιο σοβαρές από ό, τι οι συνέπειες μιας πυρκαγιάς στην ύπαιθρο. Σύμφωνα με τα γαλλικά στατιστικά στοιχεία, θα υπάρχει μόνο μία ή δύο πυρκαγιές αυτοκίνητου (ανά χιλιόμετρο σήραγγας) για κάθε εκατό εκατομμύρια αυτοκίνητα που διέρχονται από τη σήραγγα. Ομοίως, από κάθε εκατό εκατομμύρια βαρέα φορτηγά οχήματα (φορτηγά), που περνάνε μέσα από ένα τούνελ, θα υπάρξουν περίπου οκτώ πυρκαγιές (ανά χιλιόμετρο σήραγγας), μόνο μία εκ των οποίων θα είναι αρκετά σοβαρή ώστε να προκαλέσει οποιαδήποτε ζημιά στο ίδιο το τούνελ. Με βάση τα στατιστικά στοιχεία έχει υπολογιστεί ότι θα υπάρξουν μεταξύ μίας και τριών πολύ σοβαρών πυρκαγιών (με τη συμμετοχή πολλών οχημάτων και των θανάτων) από κάθε ένα δισεκατομμύριο βαρέα οχήματα (ανά χιλιόμετρο σήραγγας).

Η πιθανότητα μιας σοβαρής πυρκαγιάς μπορεί να ακούγεται πολύ μικρή από αυτές τις στατιστικές, αλλά όταν κάποιος λάβει υπόψη ότι πολλές οδικές σήραγγες έχουν πολύ υψηλή πυκνότητα κυκλοφορίας (π.χ. περίπου 37 εκατομμύρια οχήματα ταξίδευαν ετησίως μέσω της σήραγγας Elb στη Γερμανία στα μέσα του 1990 [3]), ότι υπάρχουν πάνω από 15000 οδικά, σιδηροδρομικά τούνελ και σήραγγες μετρό μόνο στην Ευρώπη και ότι μερικά από αυτά τα τούνελ έχουν πολλά χιλιόμετρα μήκος, η πιθανότητα ενός σοβαρού περιστατικού πυρκαγιάς σε σήραγγα μπορεί να είναι μεγαλύτερη από ό, τι συνήθως πιστεύεται. Πράγματι, σημαντικές και μοιραίες πυρκαγιές σε σήραγγες έχουν συμβεί σχεδόν σε κάθε έτος της τελευταίας εικοσαετίας (1993-2013).

Αυτό είναι ένα σοβαρό πρόβλημα, το οποίο έχει τη δυνατότητα να πάρει πολύ χειρότερες διαστάσεις στο μέλλον, καθώς κατασκευάζονται όλο και περισσότερες σήραγγες και αυξάνονται οι πυκνότητες της κυκλοφορίας σε αυτές. Σε αυτά τα προβλήματα πυρασφάλειας η Ελλάδα δεν είχε τόσο μεγάλη συμμετοχή στο παρελθόν, λόγω ανυπαρξίας μεγάλων σιδηροδρόμων στην ελληνική επικράτεια, τουλάχιστον στο οδικό δίκτυο. Αυτή η κατάσταση, όμως, αλλάζει την τελευταία δεκαετία με την

κατασκευή μεγάλων σηράγγων σε όλα τα μεγάλα επαρχιακά οδικά δίκτυα, οπότε το πρόβλημα της πυρασφάλειας καθίσταται ενεργό και μείζον.

Για το σκοπό αυτό μια σειρά από διαφορετικούς τύπους συστημάτων ασφαλείας εγκαθίστανται σε οδικές, σιδηροδρομικές σήραγγες, καθώς και σε σήραγγες μετρό, συμπεριλαμβανομένων συστημάτων πυρανίχνευσης, συστημάτων εξαερισμού, συστημάτων καταστολής και συστημάτων συναγερμού. Ενώ τα συστήματα αυτά είναι πολύ διαφορετικά μεταξύ τους, έχουν όλα τους ίδιους βασικούς στόχους: τη μείωση του κινδύνου τραυματισμού ή θανάτου για τους χρήστες της σήραγγας και τη μείωση του κινδύνου φθοράς στην κατασκευή ή τη λειτουργία της σήραγγας. Βασικό στοιχείο για την κατανόηση της σκοπιμότητας των συστημάτων αυτών είναι η κατανόηση του κινδύνου της πυρκαγιάς και τις σχετικές έννοιες της πρόληψης και προστασίας από αυτή.

## 1.2 Βασικές έννοιες πρόληψης και προστασίας

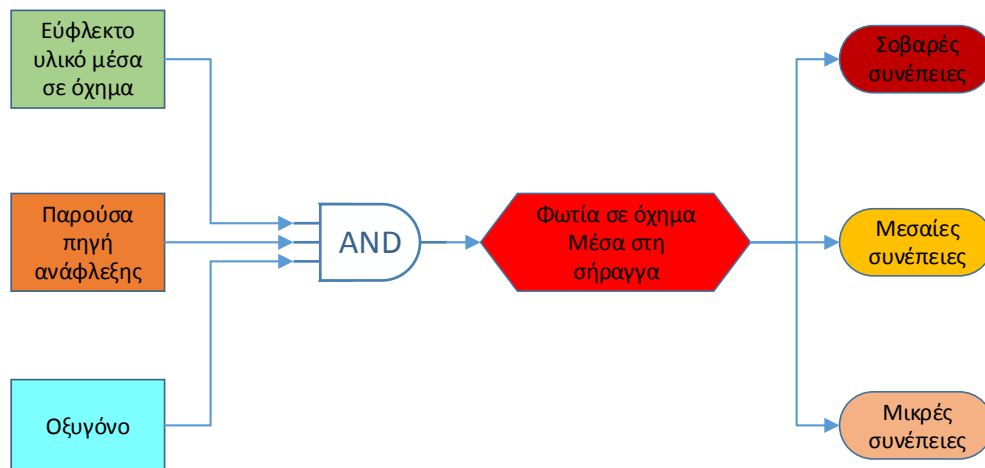
Τις έννοιες αυτές μπορεί να τις αντιληφθεί κάποιος εύκολα σε σχέση με την έννοια ενός κρίσιμου συμβάντος. Ένα κρίσιμο συμβάν είναι αυτό το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε ζημία. Τα μέτρα που αφορούν την «Πρόληψη» μπορεί να θεωρηθούν εκείνα που μειώνουν την πιθανότητα να παρέλθει ένα κρίσιμο συμβάν. Ως μέτρα «Προστασίας» μπορούν να θεωρηθούν εκείνα που αποσκοπούν στη μείωση των επιπτώσεων μετά την δημιουργία ενός κρίσιμου συμβάντος. Η «Προστασία» μπορεί να θεωρηθεί ότι περιλαμβάνει «ολική προστασία», δηλαδή μη πρόκληση βλάβης, ή «μερική προστασία», δηλαδή «μετριασμό» της οποιαδήποτε βλάβης, που έχει παρέλθει.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, σε σχέση με τον «κίνδυνο πυρκαγιάς», το να θεωρήσουμε απλά την ανάφλεξη ως το κρίσιμο γεγονός δεν αρκεί. Ας έχουμε υπόψη μας ότι η ανάφλεξη μπορεί να προηγηθεί από άλλα γεγονότα τα οποία μπορούν να θεωρηθούν επίσης ως κρίσιμα γεγονότα, όπως, για παράδειγμα, διαρροή βενζίνης.

Πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη μας τα ακόλουθα γενικά σημεία πριν ορίσουμε το κρίσιμο γεγονός σε μια πυρκαγιά σήραγγας:

- Υλικά και άλλα μέρη του συστήματος σήραγγας – οχημάτων – χρηστών/οδηγών δεν πρέπει να εκλαμβάνονται σε απομόνωση.
- Ο κίνδυνος που υπάρχει μέσα στο σύστημα εξαρτάται από το πώς το σύστημα είναι διαρθρωμένο.
- Η διάρθρωση του συστήματος εξαρτάται από τη λήψη αποφάσεων τόσο κατά την κατασκευή όσο και κατά τη λειτουργία της σήραγγας.

Ως συνέπεια των ανωτέρω, αξίζει να σημειωθεί ότι οι δοκιμές πυρκαγιάς συχνά διεξάγονται σε απομόνωση, αν και λαμβάνουν χώρα σε κάποιο βαθμό δοκιμές πιο πολύπλοκων συστημάτων/συνδυασμών υλικών. Ενώ οι επιμέρους ιδιότητες είναι σημαντικές, δεν είναι αποτελεσματικό να υπάρχει μια καθαρά αναγωγιστική προσέγγιση. Μια συνεπής κατανόηση των κινδύνων πρέπει να λαμβάνει υπόψη το σύνολο του εμπλεκόμενου συστήματος με ουσιαστικό τρόπο. Για αυτό το σκοπό εφεξής θα λαμβάνεται υπόψη ως κρίσιμο γεγονός μία «ανάφλεξη σε όχημα εντός σήραγγας», όπως φαίνεται στο Σχήμα 1-1.



**Σχήμα 1-1: Κρίσιμο γεγονός Φωτιάς σε Όχημα Εντός Σήραγγας**

Ως μεγάλες, μεσαίες και μικρές συνέπειες μπορούμε να θεωρήσουμε τα εξής:

- Σημαντική συνέπεια: θάνατοι ή σοβαροί τραυματισμοί ή σημαντικές υλικές ζημιές ή σοβαρή διαταραχή της λειτουργίας της σήραγγας (Mont Blanc 1999).
- Μέτρια συνέπεια: μεσαίου επιπέδου τραυματισμοί ή ένα μέσο επίπεδο των υλικών ζημιών ή διακοπή της λειτουργίας της σήραγγας.
- Μικρή συνέπεια: μικροί ή καθόλου τραυματισμοί ή ήσσονος σημασίας υλικές ζημιές ή διακοπή της λειτουργίας της σήραγγας.

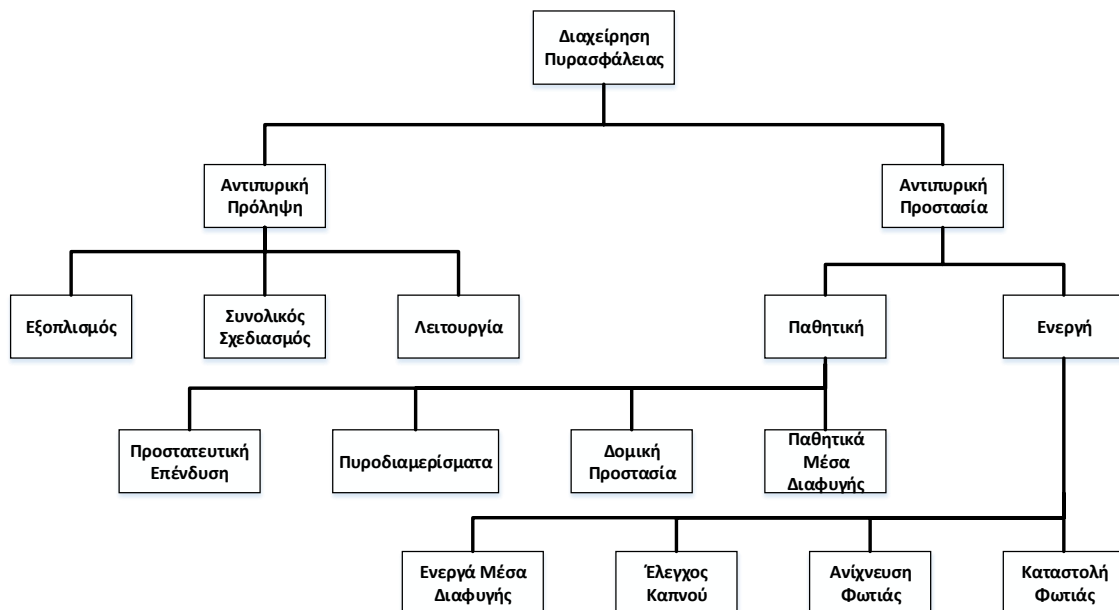
Οι πυρκαγιές σε σήραγγες είναι γενικά διαφορετικές από τις πυρκαγιές σε ανοικτό περιβάλλον γιατί περιορίζονται σε ένα τούνελ. Το περιβάλλον της σήραγγας δημιουργεί επιδράσεις, όπως αυτές που σχετίζονται με τον περιορισμό της θερμότητας και του καπνού και τις δυσκολίες καταστολής της φωτιάς. Επειδή η φύση της πυρκαγιάς σε μία σήραग्ga εξαρτάται σημαντικά από το σύστημα της σήραγγας στο οποίο η πυρκαγιά, συμπεριλαμβανομένων των βασικών χαρακτηριστικών της σήραγγας, είναι ζωτικής σημασίας η πυρασφάλεια να θεωρηθεί ως ένα ουσιαστικό μέρος της διαδικασίας αρχικού σχεδιασμού της σήραγγας.

### 1.3 Διαχείριση πυρασφάλειας

Τη διαχείριση της πυρασφάλειας μπορεί να τη δει κανείς σε σχέση με τις δύο βασικές έννοιες της «πρόληψης» και της «προστασίας», όπου «προστασία» συμπεριλαμβάνει καταστολή ή μετριασμό. Αυτή είναι μια ειδική περίπτωση της διαχείρισης ρίσκου. Σε γενικές γραμμές, τα μέτρα που αποσκοπούν στη μείωση της πιθανότητας ανάφλεξης μπορεί να θεωρηθούν ως προληπτικά μέτρα και τα μέτρα που αποσκοπούν στην εξάλειψη ή μείωση της ζημίας μετά την ανάφλεξη μπορεί να θεωρηθούν ως προστατευτικά.

Θα πρέπει να καταβάλλεται πολύ σημαντική προσπάθεια για την «πρόληψη» ως μέρος της διαχείρισης πυρασφάλειας για τις σήραγγες. Ωστόσο, ενώ μεγάλη προσπάθεια θα πρέπει να δοθεί στην πρόληψη, θα πρέπει να υπάρχει επαρκής «προστασία», σε περίπτωση που αποτύχει η πρόληψη, προκειμένου να διατηρηθεί ο κίνδυνος μέσα σε ένα αποδεκτό φάσμα. Ως μηχανικοί θα πρέπει να έχουμε υπόψη ότι η αποτυχία της πρόληψης είναι δεδομένη. Η πρόληψη έχει απλά τη λογική της στατιστικής μείωσης κρίσιμων συμβάντων.

Προκειμένου να είναι όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματική, είναι απαραίτητο ότι τόσο η πρόληψη όσο και η προστασία να ληφθούν σοβαρά υπόψη κατά το αρχικό στάδιο σχεδιασμού. Με όλο και πιο πολύπλοκες σήραγγες δεν είναι πλέον αποδεκτό να εξετάζεται η πρόληψη και προστασία κατά των πυρκαγιών ως επιπρόσθετο κομμάτι μόνο και μόνο για την απόκτηση της άδειας λειτουργίας (όπως συμβαίνει κατά κόρον στην Ελλάδα). Οι κατηγορίες στο πεδίο εφαρμογής της «διαχείρισης πυρασφάλειας», συνοψίζονται στο Σχήμα 1-2.



Σχήμα 1-2: Κατηγορίες διαχείρισης πυρασφάλειας

## 1.4 Πρόληψη πυρκαγιών

Η ουσία της πρόληψης των πυρκαγιών, σε γενικές γραμμές, είναι η προσπάθεια διασφάλισης ότι δεν θα συμβεί ανάφλεξη. Στο πλαίσιο μιας οδικής σήραγγας αυτό έχει ερμηνευθεί από την οπτική γωνία του θεμελιώδους κρίσιμου γεγονότος, δηλαδή ότι «υπάρχει φωτιά στη σήραγγα». Τέσσερις γενικές μέθοδοι για την επίτευξη αυτού είναι οι εξής:

- Εξάλειψη ή μείωση του αριθμού των πηγών ανάφλεξης και των θερμών επιφανειών (π.χ. σαρωτές θερμότητας στις πύλες της σήραγγας (Mont Blanc, 2000 και έπειτα).
- Χρήση «χαμηλά εύφλεκτων» υλικών, όπου είναι δυνατόν (π.χ. χρήση επιβραδυντικών φωτιάς).
- Διασφάλιση καλού διαχωρισμού πηγών ανάφλεξης και πιθανών υλικών καυσίμων.
- Εξάλειψη ή μείωση της πιθανότητας αυτανάφλεξης.

Δύο πιθανές στρατηγικές είναι:

- Η αποτροπή της μετακίνησης μέσα σε μια σήραγγα ήδη αναφλεγέντων αντικειμένων.
- Η πρόληψη ανάφλεξης ενός αντικειμένου το οποίο ήδη βρίσκεται μέσα σε μια σήραγγα.

Ως «αντικείμενο» μπορεί να οριστεί μία ποσότητα καυσίμου ή φορτίου, ή ακόμα πιο γενικά ένα όχημα.

## 1.5 Πυροπροστασία

Όπως υποδεικνύεται στο Σχήμα 1-2, η πυροπροστασία αποτελείται από *παθητική πυροπροστασία* και *ενεργό πυροπροστασία* (Beard, Carvel [1]), τα οποία θα αναφερθούν παρακάτω και θα αναλυθούν με περισσότερη λεπτομέρεια στο Κεφάλαιο 3.

### 1.5.1 Παθητική πυροπροστασία

Τα παθητικά μέτρα πυροπροστασίας είναι εκείνα που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά της δομικής κατασκευής του ίδιου του τούνελ, τις διαφορετικές περιοχές του και το «περίβλημα» της κατασκευής. Είναι χαρακτηριστικά της κατασκευής της σήραγγας που χρησιμεύουν για τον περιορισμό της εξάπλωσης της φωτιάς και του καπνού, σε περίπτωση πυρκαγιάς. Ουσιαστικά, ως δομικά στοιχεία θα λαμβάνονται υπόψη σε όλη τη διάρκεια ζωής της σήραγγας. Τα μέτρα αυτά μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες:

- *Δομική προστασία*, δηλαδή η προστασία από τις επιδράσεις της θερμότητας που παρέχεται από τα δομικά στοιχεία της κατασκευής.
- *Διαμερισματοποίηση*, δηλαδή ο χωρισμός της σήραγγας σε διαφορετικούς χώρους και η αντίσταση σε πυρκαγιά και καπνό που παρέχεται από αυτή υποδιαίρεση (όπως σε θαλάμους

πλοίων). Ενώ αυτό μπορεί να μην έχει πραγματοποιηθεί στο παρελθόν, μπορεί να θεωρηθεί ως πιθανότητα.

- *Παθητικά μέσα διαφυγής*, δηλαδή τα «σταθερές» στοιχεία της σήραγγας, που προορίζονται για την ενίσχυση διαφυγής σε περίπτωση πυρκαγιάς. Συμπεριλαμβάνονται τα χαρακτηριστικά των προβλεπόμενων οδών διαφυγής, όπως ένας σχετικά υψηλός βαθμός αντοχής θυρίδων και τοιχωμάτων σε πυρκαγιές.
- *Περίβλημα προστασίας*, δηλαδή η εξάλειψη ή η μείωση της απειλής από πυρκαγιά σε ανθρώπους και περιουσίες εκτός σήραγγας, μέσα στην οποία συμβαίνει ένα περιστατικό πυρκαγιάς. Δηλαδή, με άλλα λόγια, μιλάμε για τον περιορισμό της δυνατότητας ανάφλεξης ενός άλλου ακινήτου, για παράδειγμα, από φλεγόμενα σωματίδια που μπορεί να κινούνται με αέρια ρεύματα μεταφοράς και να εναποτίθενται σε άλλα κτίρια.

### **1.5.2 Ενεργή πυροπροστασία**

Τα ενεργητικά μέτρα πυροπροστασίας λειτουργούν μόνο σε περίπτωση πυρκαγιάς. Πρόκειται για μέτρα τα οποία απαιτούν να συμβεί κάποια μορφή ενεργοποίησης είτε μέσω επικοινωνίας με χρήστες της σήραγγας (διαχειριστές, οδηγοί οχημάτων, πυροσβέστες κλπ) ή από τον εξοπλισμό εντοπισμού φωτιάς, επιτρέποντας τη λήψη μέτρων για τον περιορισμό της εξάπλωσης της φωτιάς ή την διευκόλυνση διαφυγής των χρηστών. Πολλά ενεργά μέτρα ασχολούνται βασικά με τον έλεγχο της εξάπλωσης του καπνού παρά με τον έλεγχο της εξάπλωσης της φωτιάς (συστήματα μηχανικού εξαερισμού). Τα μέτρα κατά της εξάπλωσης πυρκαγιάς ή καπνού γενικά εξαρτώνται από την ανίχνευση της πυρκαγιάς πράγμα το οποίο ενεργοποιεί κάποιο είδος αντιμέτρων. Η ενεργοποίηση μπορεί να είναι χειροκίνητη ή αυτόματη. Η επέμβαση της πυροσβεστικής υπηρεσίας είναι ουσιαστικά μέρος της ενεργού πυροπροστασίας.

## **1.6 Κάποιες πρώτες σκέψεις για το σχεδιασμό πυρασφάλειας**

Ο σχεδιασμός και προγραμματισμός με στόχο την αποφυγή μεγάλων πυρκαγιών πρέπει να ξεκινήσει νωρίς στο στάδιο του εννοιολογικού σχεδιασμού και αυτό είναι ζωτικής σημασίας. Για αυτό το σκοπό οι σχεδιαστές υιοθετούν μία από τις ακόλουθες δύο τακτικές:

- Εφαρμογή ενός αναγνωρισμένου ρυθμιστικού κώδικα πρακτικής.
- Σχεδιασμού με εφαρμογή «υπολογισμού ρίσκου», χρησιμοποιώντας τις αρχές της μηχανικής για τον καθορισμό κατάλληλων μέτρα και προδιαγραφών.

Κάθε τακτική σχεδιασμού έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και υποστηρικτές και αρκετοί επίσημοι κώδικες σχεδιασμού χρησιμοποιούν και τις δύο μεθόδους. Κάθε μέθοδος αναφέρεται στην άλλη σε

κάποιο μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό. Οι πρακτικές διάνοιξης σηράγγων δεν επιτρέπουν, συνήθως, την αυστηρή χρήση ρυθμιστικού σχεδιασμού, και ο σχεδιασμός με εφαρμογή «υπολογισμού ρίσκου» συγκρίνεται πάντα σε σχέση με τις ισχύουσες βέλτιστες πρακτικές και το σχεδιασμό μέτρων με βάση τους κώδικες σχεδιασμού για την εξασφάλιση ότι οι σχεδιαστές δεν αποκλίνουν ριζικά από τις αποδεκτές ορθές πρακτικές.

### **1.6.1 Ρυθμιστικοί κώδικες**

Είναι αποδεκτό ότι οι ρυθμιστικοί κώδικες μπορεί να μην είναι πάντα κατάλληλοι, αλλά μπορούν να αντιπροσωπεύουν μια καλή λύση για τη διατήρηση του κινδύνου εντός αποδεκτών ορίων. Ο κίνδυνος με τους ρυθμιστικούς κώδικες είναι ότι δεν ενέχουν, γενικά, καμία απαίτηση για την αξιολόγηση του «προφίλ κινδύνου» της σήραγγας, και δεν προβλέπεται καμία απαίτηση για τη δικαιολόγηση των λειτουργικών και άλλων παραμέτρων που απαιτούνται για να επιτευχθεί ένα αποδεκτό ρίσκο. Καθώς, με το χρόνο, αλλάζει η χρήση των σηράγγων και των λειτουργικών πρακτικών από αυτές που ήταν κατανοητές αρχικά από τους σχεδιαστές, το «προφίλ κινδύνου» της σήραγγας μπορεί να αλλάξει και αυτό μπορεί να μην αναγνωριστεί από τους εμπλεκόμενους φορείς διαχείρισης της σήραγγας. Ωστόσο, η σήραγγα μπορεί κάλλιστα να συμμορφώνεται με όλες τις απαιτήσεις ελέγχου από τις ρυθμιστικές αρχές και να θεωρηθεί ότι αποτελεί μία εγκατάσταση υπό βέλτιστη λειτουργία.

Όπως θα μπορούσε να περιμένει κάποιος με την αντίστοιχη εμπειρία, η θεώρηση αυτή παρατηρήθηκε ότι ίσχυε στα περισσότερα σοβαρά περιστατικά πυρκαγιών, σε σήραγγες οι οποίες λειτουργούσαν νόμιμα στο πλαίσιο της εθνικής νομοθεσίας για την ασφάλεια. Και, όμως, πολλές πυρκαγιές ξεκίνησαν από ήσσοнос σημασίας περιστατικά που ήταν εντελώς προβλέψιμα.

### **1.6.2 Μέθοδοι «υπολογισμού ρίσκου»**

Οι πρακτικές σχεδιασμού «υπολογισμού ρίσκου» μπορούν, στην καλύτερη περίπτωση, να παρέχουν μια εξαιρετική λύση για το σχεδιασμό της σήραγγας, όταν οι παράμετροι, οι πρακτικές λειτουργίας και ο λειτουργικός κύκλος ζωής της σήραγγας είναι καλά κατανοητός. Ωστόσο, οι μελέτες που υποστηρίζουν προτάσεις σχεδιασμού ασφάλειας μπορεί να βασίζονται σε ελλιπή στοιχεία και την απαίτηση να χρησιμοποιούνται σε υπερβολικό βαθμό η λεγόμενη «τεχνική κρίση» και πάρα πολλές αβάσιμες παραδοχές και δεδομένα που δεν ισχύουν για το υπό εξέταση σύστημα. Συχνά, στα αρχικά στάδια ενός σχεδίου, δεν μπορεί να αναγνωριστεί ο τελικός φορέας διαχείρισης της σήραγγας και οι λειτουργικές διαδικασίες και τα συστήματα διαχείρισης ασφαλείας δεν μπορούν παρά να συνυπολογιστούν θεωρητικά.

Τέλος, οι μέθοδοι «υπολογισμού ρίσκου» μπορεί να διακατέχονται από μια υπεραισιόδοξη ερμηνεία του «πρακτικού / λογικού». όσον αφορά τη μετρίαση από τον σχεδιαστή και τον διαχειριστή των σεναρίων πάνω στα οποία βασίζονται οι παράμετροι σχεδιασμού και λειτουργίας. Ό, τι θεωρείται λογικό μπορεί να αλλάξει, είτε λόγω αλλαγής λειτουργικών συνθηκών (π.χ. αύξηση κυκλοφορίας οχημάτων) είτε λόγω αλλαγής κοινωνικών συνθηκών (π.χ. ευαισθητοποίηση του κοινού σε πυρκαγιές σήραγγων λόγω επαναλαμβανόμενων σοβαρών ατυχημάτων). Έτσι, ένας σχεδιασμός σήραγγας μπορεί τελικά να θεωρηθεί ανεπαρκής σε μια δημόσια έρευνα.

### **1.6.3 Ανάπτυξη πυρκαγιάς σε σήραγγες**

Μια απλή αλληλουχία η οποία ισχύει τόσο για οδικές και σιδηροδρομικές σήραγγες φαίνεται στο διάγραμμα ροής του Σχήματος 1-3. Σε αυτό το διάγραμμα οι όροι «πρόληψη» και «προστασία» χρησιμοποιούνται σε σχέση με το «κρίσιμο γεγονός», όπως αυτό ορίζεται παραπάνω στο παρόν κεφάλαιο. Τα μέτρα ασφαλείας τοποθετούνται σε σχέση με το πού αυτά μπορούν να διακόψουν την αλληλουχία ανάπτυξης της πυρκαγιάς.

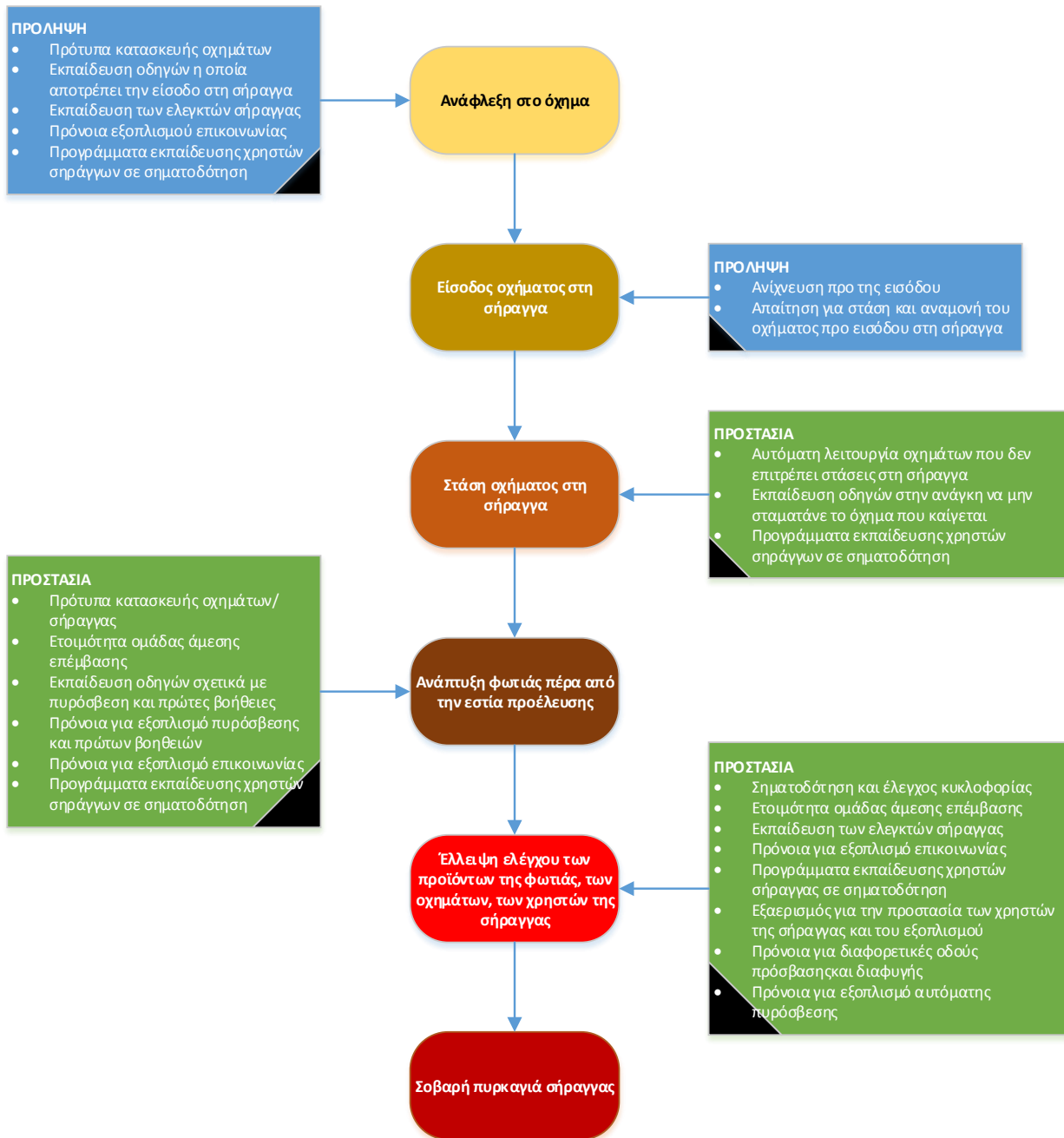
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1-3, υπάρχουν κάποια επαναλαμβανόμενα θέματα και μια γενικευμένη ακολουθία χαρακτηριστικών ασφαλείας, συμπεριλαμβανομένων των προτύπων κατασκευής οχημάτων που εισέρχονται σε μια σήραγγα (π.χ. αυτόματη κίνηση), των δράσεων διαχείρισης και εκπαίδευσης καθώς και των τεχνικών μέτρων, δηλαδή μηχανολογικού και ηλεκτρολογικού εξοπλισμού που αμβλύνουν τις επιπτώσεις της πυρκαγιάς και φυσικά τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά της σήραγγας τα οποία ενισχύουν τις δυνατότητες διαφυγής όταν μία πιθανή πυρκαγιά είναι σε εξέλιξη. Για τον ορισμό αυτών των χαρακτηριστικών ασφαλείας ο μηχανικός πυρασφάλειας θα πρέπει να μπορεί να απαντήσει στα παρακάτω ερωτήματα:

- Ποιοι είναι οι αποτελεσματικότεροι τρόποι για την πρόληψη των πυρκαγιών που συμβαίνουν σε σήραγγες;
- Ποιοι είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος και την εξάπλωση της φωτιάς σε μια σήραγγα;
- Ποια είναι τα χαρακτηριστικά των διαφόρων συστημάτων καταστολής πυρκαγιάς σε μια σήραγγα;
- Πώς συμπεριφέρονται οι άνθρωποι σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης λόγω μιας πυρκαγιάς σε μια σήραγγα; Σε αυτούς περιλαμβάνονται τόσο οι χρήστες όσο και το προσωπικό της σήραγγας καθώς και το προσωπικό της πυροσβεστικής υπηρεσίας;
- Ποια είναι τα αποτελεσματικότερα συστήματα εκκένωσης μιας σήραγγας;



- Πώς μπορούμε να αντιμετωπίσουμε την αβεβαιότητα στα μοντέλα που χρησιμοποιούνται ως μέρος της λήψης αποφάσεων πυρασφάλειας;
- Σε ποιο βαθμό μπορεί η αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης να αυτοματοποιηθεί;

Το τελευταίο ερώτημα, σε συνδυασμό με τα προηγούμενα, σε κάποιο βαθμό, αφορά άμεσα έναν μηχανικό αυτοματισμών ο οποίος θέλει να αναλάβει ρόλο μηχανικού πυρασφάλειας σε μια σήραγγα.



Σχήμα 1-3: Ανάπτυξη πυρκαγιάς σε σήραγγα και μέτρα πρόληψης / προστασίας

## 2 Συστήματα πυρανίχνευσης

---

### 2.1 Εισαγωγή

Αυτό το κεφάλαιο περιγράφει τα προβλήματα που παρουσιάζονται κατά την ανίχνευση πυρκαγιών σε σήραγγες και τις απαιτήσεις όσων αφορά τις επιδόσεις. Θα αναφερθούν επιγραμματικά διαφορετικές προσεγγίσεις για την ειδοποίηση των χρηστών της σήραγγας σε περίπτωση πυρκαγιάς. Επίσης θα γίνει μία ανασκόπηση των «state-of-the-art» συστημάτων πυρανίχνευσης που χρησιμοποιούνται σήμερα και τις διαφορετικές προσεγγίσεις σε διαφορετικές χώρες η οποία θα οδηγήσει στην εκτίμηση των τεχνολογιών σε σχέση με τις απαιτήσεις απόδοσης που ζητούνται. Τέλος, το κεφάλαιο αυτό αναδεικνύει τις μελλοντικές τάσεις και οι νέες τεχνολογίες, οι οποίες σκοπεύουν να αυξήσουν περαιτέρω την αποδοτικότητα των συστημάτων ανίχνευσης πυρκαγιάς και ενεργοποίησης συναγερμού. Σημειώνουμε ότι όταν αναφερόμαστε σε «Συναγερμό» εννοούμε την προειδοποίηση του επόπτη της σήραγγας μέσω ενός συστήματος SCADA. Η πληροφόρηση του κοινού σχετικά με μια πυρκαγιά ορίζεται φραστικά ως «Ειδοποίηση».

### 2.2 Προβλήματα κατά την ανίχνευση πυρκαγιών

#### 2.2.1 Η ανάπτυξη του καπνού και της θερμότητας σε μία πυρκαγιά σήραγγας

Η ανάπτυξη των πυρκαγιών εξαρτάται κυρίως από τα προϊόντα που καίγονται. Τα κοινά αυτοκίνητα ιδιωτικής χρήσης, με τυπικό ρυθμό απελευθέρωσης θερμότητας (ΡΑΘ) σε σήραγγες της τάξης των 3-5 MW, είναι η αιτία των περισσότερων πυρκαγιών σήραγγας σύμφωνα με τη καταγραφή συμβάντων από τις αρχές του 1900. Ωστόσο, όταν συμμετέχουν βαρέα φορτηγά οχήματα (ΒΦΟ) με τυπικό ΡΑΘ 20-30 MW [6] ή, ενδεχομένως, πολύ περισσότερο (Πυρκαγιές σε βυτιοφόρα υγρών καυσίμων μπορεί να έχουν ΡΑΘ έως 200 MW [6]), οι συνέπειες μπορεί να είναι σοβαρές. Στην πραγματικότητα, μια πολύ υψηλή ποσότητα καπνού, συχνά πολύ τοξικού, απελευθερώνεται και μπορεί να γεμίσει μια ολόκληρη σήραγγα. Ο καπνός και τα αέρια από καμένα οχήματα σε σήραγγες είναι πολύ δηλητηριώδη για τους χρήστες της σήραγγας και τα περισσότερα θύματα των πρόσφατων μεγάλων πυρκαγιών μέσα στις σήραγγες έχουν προκύψει από εισπνοή καπνού.

Τα πρώτα σημάδια της πυρκαγιάς είναι ο καπνός ή/και η εκλυόμενη θερμότητα. Δεν ξεκινούν όλες οι πυρκαγιές αυτοκινήτων ή φορτηγών με μία φλεγόμενη φωτιά, η οποία συνήθως συμβαίνει μετά από ένα ατύχημα όπου έχει χυθεί υγρό καύσιμο. Συχνά οι πυρκαγιές ξεκινούν με μια φάση αργής καύσης

και οι χρήστες της σήραγγας είναι σε θέση να σβήσουν τη φωτιά που σιγοκαίει χωρίς περαιτέρω συνέπειες, εάν φυσικά την αντιληφθούν έγκαιρα (βλ. Σχήμα 2-1). Η ανάλυση ορισμένων πρόσφατων καταστροφών από φωτιές σε σήραγγες οδηγεί στις παρατηρήσεις που παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα 2.1. Κατά τη διάρκεια αυτών των συμβάντων, η φωτιά αναπτύχθηκε πολύ γρήγορα και η εκπομπή του καπνού ήταν πολύ ισχυρή.



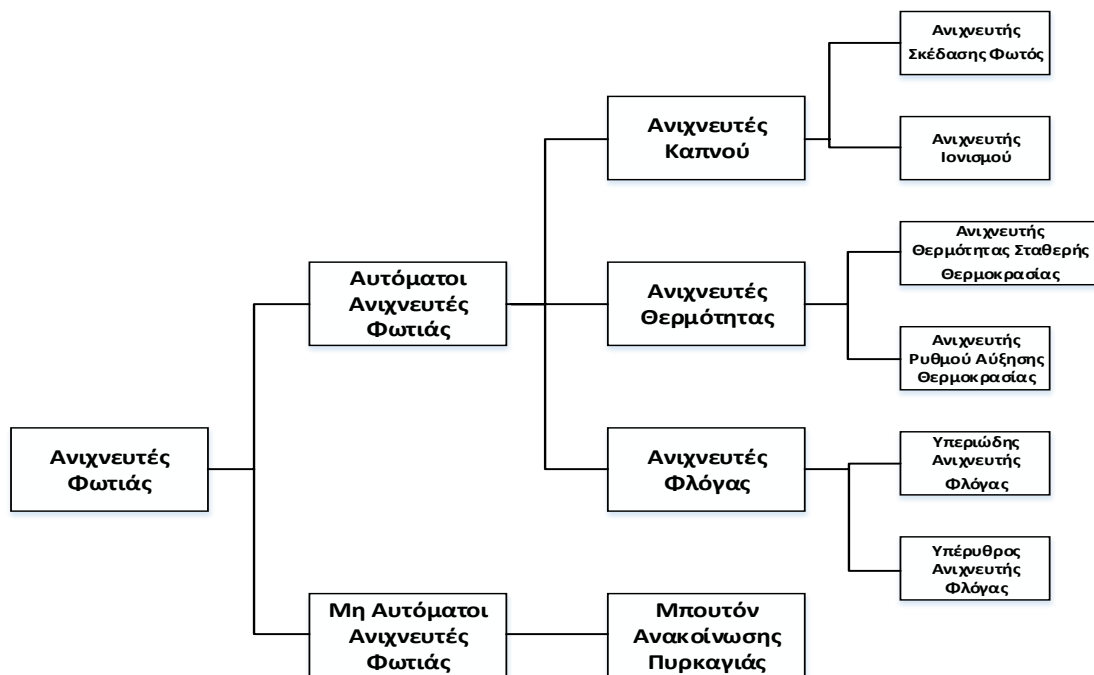
Σχήμα 2-1: Κοινή ανάπτυξη πυρκαγιάς

Η επέκταση του καπνού και της θερμότητας στο εσωτερικό της σήραγγας μπορεί να ελέγχεται και να περιορίζεται με τη διατήρηση μιας άνω διαστρωμάτωσης του καπνού κατά μία περιορισμένη χρονική περίοδο. Καταφέροντας αυτό, οι πιθανότητες για τους απειλούμενους ανθρώπους/χρήστες να ξεφύγουν και να επιβιώσουν αυξάνεται σημαντικά. Συνεπώς, το πιο σημαντικό «καθήκον» του συστήματος ανίχνευσης πυρκαγιάς είναι η ενεργοποίηση του συστήματος εξαγωγής καπνού με τον ταχύτερο και πιο αξιόπιστα δυνατό τρόπο. Σημειώνουμε ότι η εξαγωγή του καπνού διατηρεί τον κύριο όγκο του καπνού (ο οποίος τείνει να ανέβει επίπεδο/ύψος έως ότου συναντήσει εμπόδιο, π.χ. την οροφή της σήραγγας) στα επάνω επίπεδα (κοντά στην οροφή της σήραγγας), αφήνοντας για τους χρήστες μία δίοδο καθαρή από καπνό ή άλλα αέρια, π.χ. CO.

### 2.3 Αρχές Ανίχνευσης

Η φωτιά είναι μία ταχεία αντίδραση (οξειδωση) υλικού και ενός οξειδωτικού παράγοντα ( $O_2$ ) και το αποτέλεσμα είναι έκλυση συγκεκριμένων υποπροϊόντων (καπνός, στάχτη κλπ) καθώς και ενέργειας (φως και θερμότητα), τα οποία χαρακτηρίζονται ως φαινόμενα πυρκαγιάς. Οι ανιχνευτές πυρκαγιάς μετατρέπουν τα φαινόμενα πυρκαγιάς σε ηλεκτρικά σήματα τα οποία οδηγούνται σε περαιτέρω επεξεργασία ή ακόμα και απευθείας «Συναγερμό» ή «Ειδοποίηση». Στα ανιχνεύσιμα φαινόμενα περιλαμβάνονται ο καπνός, η θερμότητα η ακτινοβολία της φλόγας, καθώς και σωματίδια κοινών υποπροϊόντων, π.χ. CO, τα οποία είναι κατάλληλα για την έγκαιρη ανίχνευση της πυρκαγιάς. Παρακάτω

περιγράψουμε τους διαφορετικούς τύπους ανιχνευτή οι οποίοι είναι κατάλληλοι για κάθε ξεχωριστό φαινόμενο πυρκαγιάς, υπό κανονικές περιβαλλοντικές συνθήκες, εντός μίας σήραγγας (βλ. Σχήμα 2-2).



Σχήμα 2-2: Είδη ανιχνευτή πυρκαγιάς

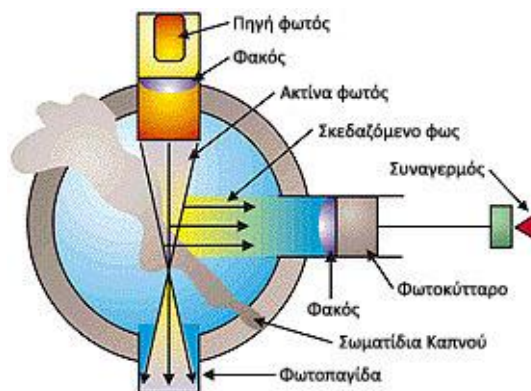
### 2.3.1 Καπνός

Για την ανίχνευση καπνού, χρησιμοποιούνται συνήθως οπτικά συστήματα. Βασικά, σε αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται φωτο-πομποδέκτες, και βασίζουν την αρχή λειτουργίας τους στην αρχή της ανάκλασης (πάνω στα σωματίδια του καπνού).

Πίνακας 2-1: Παρατηρήσεις από τις πρόσφατες πυρκαγιές σήραγγας	
Πυρκαγιά	Περιγραφή συμβάντος
Φωτιά σήραγγας στο Mont-Blanc, 24 Μαρτίου 1999	ΒΦΟ ταξιδεύει μέσα από τη σήραγγα εκπέμποντας καπνό (φωτιά σιγοκαίει), σταματάει και φλόγες ξεσπάνε στην καμπίνα του οδηγού (Lacroix [7])
Φωτιά σήραγγας στο Tauern, 29 Μαΐου, 1999	ΒΦΟ συγκρούεται σε σταματημένα αυτοκίνητα, χύνεται καύσιμο και φλεγόμενη πυρκαγιά ξεκινά αμέσως (Eberl [8])

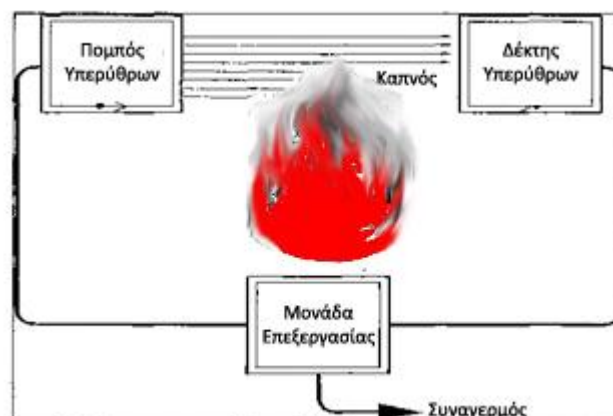
<b>Φωτιά σήραγγας στο St Gotthard, 24 Οκτωβρίου 2001</b>	ΒΦΟ συντρίβεται στον τοίχο και σε άλλο ΒΦΟ και ξεκινάει αμέσως φλεγόμενα πυρκαγιά
--	---

Όταν ο καπνός εισέρχεται στον θάλαμο ανίχνευσης το φως ανακλάται προς το φωτοκύτταρο δέκτη. όταν η πυκνότητα του καπνού φτάσει τα 2.1 dB/m (απόσβεση νεσιμπέλ φωτός ανά μέτρο, σύμφωνα με το πρότυπο EN 54 [9]) ενεργοποιείται ο συναγερμός πυρκαγιάς (βλ. Σχήμα 2-3). Σημειώνουμε ότι η πυκνότητα καπνού η οποία μετράται dB/m έχει μία απευθείας αντιστοιχία στο ποσοστό ανακλώμενου φωτός (προς το φωτοδέκτη).



**Σχήμα 2-3: Αρχή λειτουργίας ανιχνευτών καπνού**

Ένα άλλο γνωστό σύστημα είναι το φωτο-φράγμα ή ανιχνευτής δέσμης φωτός. Ένας πομπός φωτός στέλνει, σε απόσταση αρκετών μέτρων, μία δέσμη φωτός η οποία λαμβάνεται από μία φωτοευαίσθητη συσκευή. Ανάλογα με την απώλεια της έντασης της δέσμης του φωτός (με όριο τα 2.1 dB/m πυκνότητας καπνού), που προκαλείται από τον καπνό στον τομέα μέτρησης, το σύστημα ενεργοποιεί ένα συναγερμό (βλ. Σχήμα 2-4).



**Σχήμα 2-4: Ανιχνευτής καπνού δέσμης φωτός**

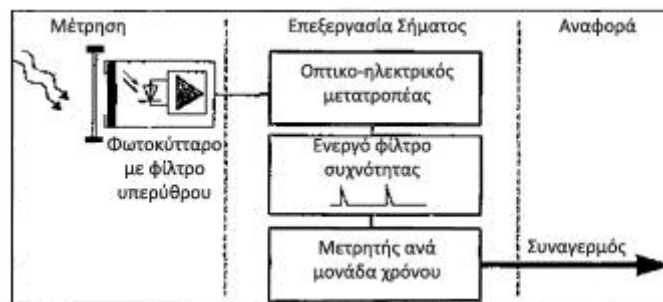
Οι παραπάνω τεχνολογίες ανίχνευσης καπνού, όμως, είναι επιρρεπείς σε διαταραχές οι οποίες προκαλούνται από τις συνθήκες που επικρατούν μέσα σε σήραγγες. Οι λόγοι για τους οποίους αυτές οι

τεχνολογίες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνθήκες που επικρατούν εντός μιας σήραγγας θα συζητηθούν αργότερα.

Πρόσφατα έχει αναπτυχθεί η λεγόμενη τεχνολογία ανίχνευσης καπνού με αναρρόφηση (Aspirating Smoke Detection - ASD). Για αυτή την τεχνολογία θα αναφερθούμε παρακάτω, αφού εξηγήσουμε τις συνθήκες που επικρατούν μέσα σε μια σήραγγα.

### 2.3.2 Φλόγα

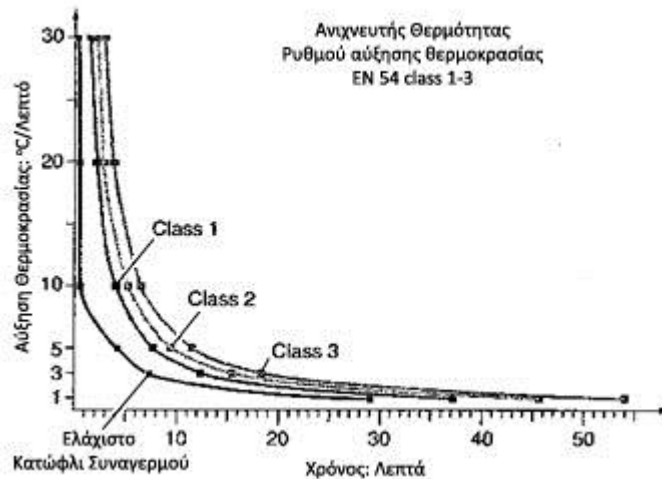
Η φλόγα είναι ένα φαινόμενο φωτιάς εκπομπής ακτινοβολίας. Διαφορετικά μήκη κύματος από το υπέρυθρο έως το υπεριώδες μπορεί να ανιχνευθεί με ανιχνευτές φλόγας. Οι ανιχνευτές φλόγας είναι φωτο-ευαίσθητοι αισθητήρες (βαθμονομημένοι για ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος), οι οποίοι ενεργοποιούνται όταν λαμβάνεται ακτινοβολία με συγκεκριμένο μήκος κύματος (βλ. Σχήμα 2-5). Αυτή η τεχνολογία δεν είναι κατάλληλη να χρησιμοποιηθεί σε σήραγγες, αφού μπορεί να ανιχνεύσει μόνο φωτιές με εμφανή φλόγα. Η ταχέως αναπτυσσόμενος καπνός δύναται να εμποδίσει την οπτική επαφή του αισθητήρα της φλόγας.



Σχήμα 2-5: Ανιχνευτής φλόγας

### 2.3.3 Θερμότητα

Αξιόπιστη πυρανίχνευση μπορεί να επιτευχθεί με τη μέτρηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Όταν μια προκαθορισμένη μέγιστη θερμοκρασία ανιχνεύεται, το σύστημα ενεργοποιεί ένα συναγερμό. Τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα (EN 54-5 [9]) απαιτούν, επίσης, την αξιολόγηση του ρυθμού αύξησης της θερμοκρασίας, ώστε να ενεργοποιήσουν ένα συναγερμό ακόμα και πριν την επίτευξη της μέγιστης θερμοκρασίας (προ-συναγερμός) (βλ. Σχήμα 2-6).



**Σχήμα 2-6: Συμπεριφορά απόκρισης του ανιχνευτή θερμότητας**

Διακρίνονται δύο συστήματα ανίχνευσης: ανιχνευτές θερμότητας σημείου-προς-σημείο και ανιχνευτές θερμότητας τύπου γραμμής. Ο ανιχνευτής θερμότητας σημείου-προς-σημείο ενσωματώνει έναν αισθητήρα θερμότητας (θερμοευαίσθητη αντίσταση) που συνδέεται σε μία μονάδα αξιολόγησης. Ο ανιχνευτής θερμότητας τύπου γραμμής προσφέρει κάλυψη ανίχνευσης σε μία συνεχή γραμμική ζώνη περιορισμένου μήκους. Μετρά, και σε ορισμένες περιπτώσεις ολοκληρώνει μαθηματικά, την αύξηση της θερμοκρασίας με σκοπό τη μεγαλύτερη ακρίβεια ανίχνευσης. Περαιτέρω λεπτομέρειες σχετικά με τους ανιχνευτές θερμότητας τύπου γραμμής δίνονται στη συνέχεια του κεφαλαίου.

## 2.4 Αρχές πυρανίχνευσης κατάλληλες για χρήση εντός σηράγγων

Ο εξαερισμός μίας σήραγγας κρατά χαμηλά τα επίπεδα του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και έχει ως στόχο να εξασφαλίσει καλή ορατότητα στους χρήστες εντός αυτής. Υπό κανονικές συνθήκες εξαερισμού (0-3 m/s) ο καπνός και η θερμότητα μπορεί να φτάσει (ανέβει) στην οροφή της σήραγγας μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα και μπορεί να ανιχνευθεί πολύ γρήγορα και αξιόπιστα. Δοκιμές φωτιάς δείχνουν μια αυξανόμενη δυσκολία στην ανίχνευση της αύξησης της θερμότητας όταν ο διαμήκης εξαερισμός έχει ταχύτητες της τάξης 6-8 m/s λόγω μεγάλης πυκνότητας ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Απαιτείται, σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα, ακόμη και με υψηλή ταχύτητα του αέρα και μια μικρή αύξηση της θερμοκρασίας 2-3 °C ανά λεπτό, εντός ενός τομέα μήκους 50m, ένα σύστημα ανίχνευσης πυρκαγιάς τοποθετημένο στην οροφή της σήραγγας (με τυπικό ύψος 5m) θα πρέπει να είναι σε θέση να ενεργοποιήσει ένα συναγερμό.

Λόγω των κρίσιμων περιβαλλοντικών συνθηκών μέσα στις σήραγγες, η ικανότητα ανίχνευσης φωτιάς γίνεται ιδιαίτερα απαιτητική. Τα καυσαέρια από τους κινητήρες εσωτερικής καύσης των κινούμενων

οχημάτων, εναποθέτουν ρύπους σε προσκείμενες επιφάνειες και είναι εν μέρει διαβρωτικά. Επίσης οι ειδικές γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν μέσα σε σήραγγες οδηγούν σε αυξημένη θερμοκρασία και υγρασία.

Ένα σύστημα πυρανίχνευσης, που ακολουθεί προδιαγραφές ευρωστίας σε λειτουργικά σφάλματα (π.χ. αισθητήρων), αλλά και αναισθησίας σε ψευδείς συναγερμούς, πρέπει να εξετάσει παράγοντες διαταραχής, όπως:

- ισχυρές διακυμάνσεις αέρα (εξαερισμός)
- αέρας, θερμότητα, βρωμιά και σκόνη με διαβρωτικές ιδιότητες
- ηλεκτρικές παρεμβολές από ηλεκτρονικές συσκευές, καλώδια και λοιπά κυκλώματα (ηλεκτρονικά/ηλεκτρικά)
- αλλαγές της θερμοκρασίας μέσω εξωτερικών συνθηκών στις περιοχές εισόδων/εξόδων στη σήραγγα
- αντιστάσεις μηχανημάτων καθαρισμού, κυρίως σε περίπτωση εμπλοκής
- ζεστά καυσαέρια από φορτηγά με υπερψωμένο σωλήνα εξάτμισης κατά τη διάρκεια μποτιλιαρίσματος
- μηχανικές δυνάμεις από εμπορεύματα που χάνονται από τα βαρέα φορτηγά οχήματα.

Για την ανίχνευση καπνού, ανιχνευτές που βασίζονται σε οπτικούς αισθητήρες δεν είναι επαρκείς. Οι συνθήκες περιβάλλοντος εντός μιας σήραγγας προκαλούν την επικάλυψη οπτικών αισθητήρων (καπνού, φλόγας) από ρύπους και τα αντίστοιχα ηλεκτρονικά κυκλώματα δύναται να καταστραφούν από τη διάβρωση, σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Η συνέπεια των παραπάνω θα ήταν υψηλά ποσοστά ψευδών συναγερμών και των συνεπακόλουθων λαθών στη λήψη αποφάσεων ή ένα μη αποδεκτό κόστος συνεχούς συντήρησης/καθαρισμού. Συνεπώς, ως συμβιβαστική λύση, έχει καθιερωθεί το φαινόμενο «θερμότητα» της φωτιάς ως το καλύτερο κριτήριο ενεργοποίησης συναγερμού πυρκαγιάς μέσα σε σήραγγες. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί και αισθητήρες αναρρόφησης καπνού οι οποίοι μπορούν να αντιμετωπίσουν τα προαναφερθέντα προβλήματα. Επιγραμματικά αναφέρουμε:

- Οι ανιχνευτές θερμότητας σημείου προς σημείο έχουν χαμηλή ευαισθησία ανίχνευσης και επίσης οι λειτουργικές πτυχές τους (συντήρηση, πιθανές επιπλοκές κατά το καθαρισμό της σήραγγας, κλπ) καθιστούν ακατάλληλη τη χρήση τους.



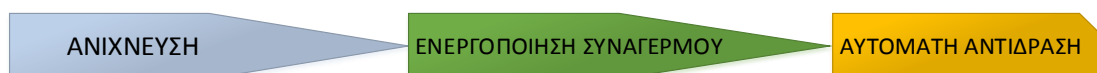
- Οι ανιχνευτές θερμότητας τύπου γραμμής έχουν αποδειχθεί ότι έχουν καλή απόδοση και είναι ο τύπος που χρησιμοποιείται συνήθως σε σήραγγες σήμερα (βλέπε παράρτημα). Βασικά τα συστήματα αυτά είναι ανθεκτικά στις αντίξοες συνθήκες και δεν απαιτούν τακτικές δαπάνες συντήρησης.
- Οι ανιχνευτές αναρρόφησης καπνού ASD (Aspirating Smoke Detectors), είναι μοναδικοί στην ικανότητά τους να προσφέρουν εξαιρετικά έγκαιρη ανίχνευση στα πρώτα στάδια μιας πυρκαγιάς και αντιμετωπίζουν με επιτυχία τα προαναφερθέντα προβλήματα λανθασμένων συναγερμών, λόγω ρύπων (επικάλυψη/διάβρωση αισθητήρων και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων)

## 2.5 Γενικές απαιτήσεις απόδοσης για τα συστήματα πυρανίχνευσης

Με την αρχή της ανίχνευσης θερμότητας με αισθητήρες τύπου γραμμής να θεωρείται ως τεχνολογία state-of-the-art, τίθεται το ερώτημα των λειτουργικών απαιτήσεων απόδοσης και πώς αυτές επηρεάζουν το συνολικό σχεδιασμό του συστήματος πυρασφάλειας. Στην πραγματικότητα, δεν υπάρχει ορισμός εντός των διεθνών προτύπων για τα συστήματα ανίχνευσης πυρκαγιάς μέσα σε σήραγγες. Πολλές χώρες εξοπλίζουν τις υπό κατασκευή σήραγγες με συστήματα πυρανίχνευσης (ή κάνουν αναβάθμιση πυρασφάλειας στις παλαιότερες), αλλά δεν ορίζονται περαιτέρω τεχνικές απαιτήσεις στην πλειοψηφία των περιπτώσεων πέραν του προσδιορισμού των αισθητήρων ανίχνευσης, οι οποίοι δεν είναι απαραίτητο να πληρούν κάποια πρότυπα, πέραν μιας γενικής περιγραφής των απαιτήσεων λειτουργίας. Δυστυχώς η πυρασφάλεια αποτελεί ένα ελάχιστων τμήμα του συνολικού σχεδιασμού της αρχιτεκτονικής του συστήματος της σήραγγας.

### 2.5.1 Σχεδιασμός συστήματος συναγερού πυρκαγιάς ως μέρος του συστήματος της σήραγγας

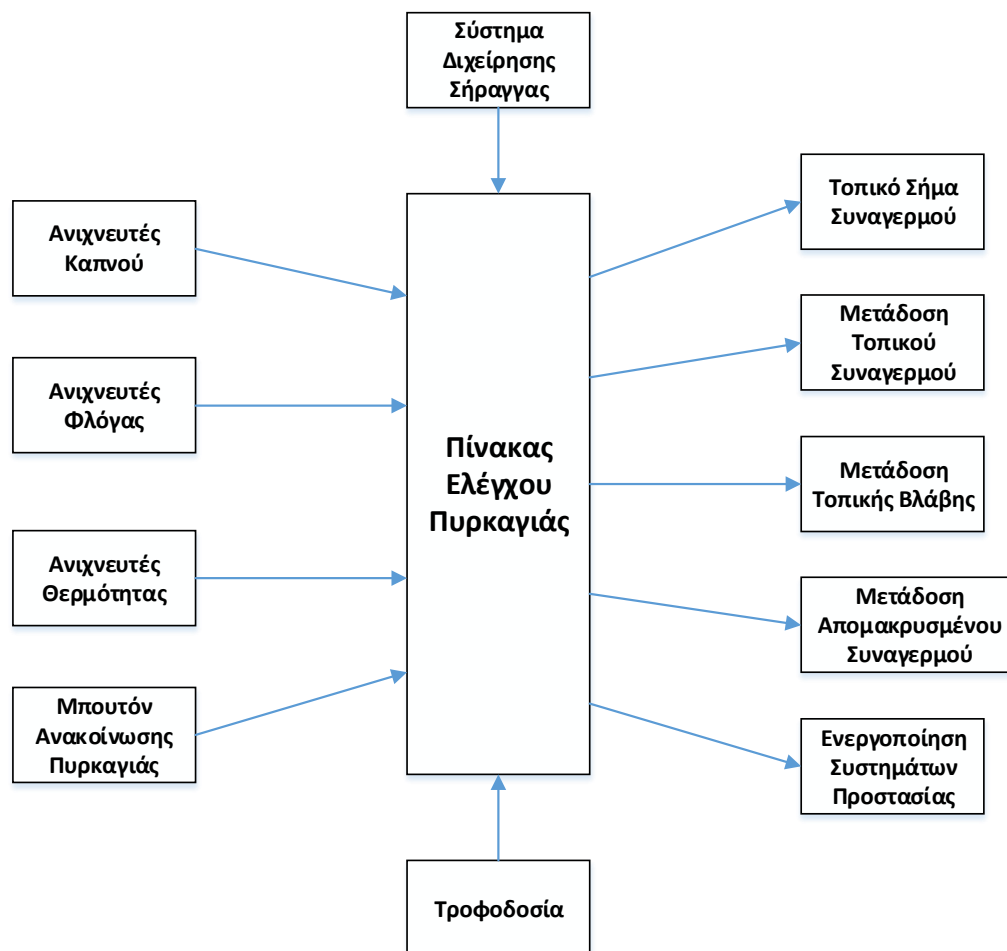
Ο σχεδιασμός και η εγκατάσταση συστημάτων ανίχνευσης πυρκαγιάς μέσα στις σήραγγες πρέπει να αντιμετωπιστεί με ένα υψηλό επίπεδο προσοχής και τεχνικής επάρκειας. Δεδομένου ότι η αποτελεσματικότητα ενός συστήματος συναγερού πυρκαγιάς είναι υπεύθυνη για έγκαιρη ενεργοποίηση του συναγερού, κανένα στοιχείο της παρακάτω αλυσίδας



δεν μπορεί να αμεληθεί κατά το σχεδιασμό του συστήματος, την εγκατάσταση του και, φυσικά, την πιστοποίηση των επιδόσεων του. Ένα αποτελεσματικό σύστημα πυρανίχνευσης πρέπει να λειτουργεί για αρκετά χρόνια με ευρωστία απέναντι αστοχιών του εξοπλισμού, καθώς και αναισθησία απέναντι σε ψευδής ενδείξεις συναγερού. Συστήματα συναγερού πυρκαγιάς state-of-the-art είναι επομένως,

επιτακτικό, να σχεδιάζονται σύμφωνα με διάφορα πρότυπα, συμπεριλαμβανομένων των ευρωπαϊκών EN-54 [9] και των αμερικάνικων NFPA-502 [10]. Τα πρότυπα αυτά απαιτούν (βλ. Σχήμα 2-7):

- συνολική αυτονομία του συστήματος συναγερμού πυρκαγιάς
- αυτο-έλεγχο όλων των συσκευών (ανιχνευτές, ενεργοποίηση συναγερμού, μετάδοση συναγερμού)
- μπαταρία backup για αυτονομία λειτουργίας σε περίπτωση έλλειψης παροχής ρεύματος
- αρχιτεκτονική του συστήματος συναγερμού ανεκτική σε σφάλματα των μονάδων άμεσου και απομακρυσμένου ελέγχου καθώς και των μονάδων επανάληψης εντολών
- εγκατάσταση των καλωδίων συλλογής δεδομένων (συνδεδεμένων σε αισθητήρες) ανεκτική σε σφάλματα
- καθορισμένη συμπεριφορά όλων των συσκευών ανίχνευσης
- καθορισμένη αυτόματη ενεργοποίηση και μετάδοση συναγερμού
- πιστοποίηση προϊόντος (εξαρτήματα) και του συστήματος συναγερμού (σύνολο).



Σχήμα 2-7: Αρχιτεκτονική state-of-the-art συστήματος συναγερμού φωτιάς

### **2.5.2 Έλεγχος του καπνού και της θερμότητας εντός 2 λεπτών από την έναρξη της πυρκαγιάς**

Τα συστήματα ανίχνευσης state-of-the-art για τις σήραγγες έχουν τη δυνατότητα ενεργοποίησης ενός συναγερμού σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, αλλά επιπρόσθετα μπορούν και περιορίζουν το ποσοστό εσφαλμένων συναγερμών που προκαλείται από τις δύσκολες συνθήκες περιβάλλοντος εντός μιας σήραγγας, όπως η υγρασία, η σκόνη και η διάβρωση και κατά αυτό τον τρόπο εγγυάται την ασφαλή λειτουργία του συστήματος. Το 2005, τα συστήματα ανίχνευσης πυρκαγιάς είναι σε θέση να ανιχνεύσουν γρήγορη αύξηση θερμοκρασίας, η οποία μπορεί να πηγάζει από μη περιορισμένη φωτιά ισχύος 1MW (1 m<sup>2</sup> επιφάνεια φλόγας, καύσιμο αιθανόλη) και την ενεργοποίηση ενός συναγερμού εντός 30 - 60s υπό διαφορετικές συνθήκες εξαερισμού, 0-8 m / s ταχύτητα ανέμου.

Σε περίπτωση πυρκαγιάς, το κύριο καθήκον ενός συστήματος συναγερμού πυρκαγιάς είναι η αυτόματη ενεργοποίηση του συστήματος εξαερισμού, καθώς και των συστημάτων κατάσβεσης, όπου είναι εφικτό), με σκοπό τον έλεγχο και περιορισμό του στρώματος καπνού στο άνω μέρος του προσβεβλημένου τμήματος της σήραγγας. Με αυτό τον τρόπο δίνεται στους χρήστες χρόνος για την εκκένωση της περιοχής της πυρκαγιάς, μέσα από ένα διάδρομο καθαρό από καπνό και άλλα επιβλαβή αέρια. Κατά γενικό κανόνα, στις μέρες μας, η πλήρης λειτουργία του ελέγχου καπνού (άνοιγμα των θυρίδων εξαγωγής καπνού και επίτευξη της μέγιστης ισχύος του συστήματος εξαερισμού) πρέπει να επιτευχθεί το αργότερο εντός 2 λεπτών από την έναρξη της ανάφλεξης [Egger [11]]. Αυτό σημαίνει ότι, μετά την ανίχνευση μιας πυρκαγιάς είναι διαθέσιμα 60-90s για να επέλθουν οι συσκευές ελέγχου καπνού σε πλήρη λειτουργία.

Σημειώνουμε ότι πλήρης λειτουργία δεν σημαίνει απαραίτητα μέγιστη ισχύς. Η πλήρης λειτουργία ορίζεται από την ενεργοποίηση των συστημάτων καταστολής καπνού κατά το βέλτιστο δυνατό τρόπο, ακολουθώντας ρουτίνες αυτομάτου ελέγχου οι οποίες λαμβάνουν υπόψη τόσο τις διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν τη δεδομένη χρονική στιγμή της πυρκαγιάς, όπως επίσης τη θέση της εστίας εντός του μήκους της σήραγγας, την τοπογραφία της σήραγγας (υψομετρικές διαφορές) και όσο είναι εφικτό τη θέση των χρηστών σε σχέση με την εστία. Είναι απαραίτητη η αυτοματοποίηση της λήψης των παραπάνω αποφάσεων, για την όσο το δυνατό πιο αποτελεσματική και γρήγορη αντιμετώπιση της πυρκαγιάς και ακόλουθη μείωση των συνεπειών (τραυματισμοί, απώλεια ζώων, καταστροφή υλικού). Ο αυτόματος έλεγχος μπορεί να προβεί και σε επιπλέον ενέργειες όπως το άναμμα των φώτων έκτακτης ανάγκης, τη μεταβολή των σημάτων ελέγχου κυκλοφορίας σε λειτουργία στάσης (κόκκινο φανάρι), την επιλογή και ενεργοποίηση των καμερών CCTV, με την

καλύτερη θέα του τομέα της σήραγγας στον οποίο εκτυλίσσεται η πυρκαγιά, σε μια οθόνη ελέγχου, και πιθανώς την ενεργοποίηση άλλων συστημάτων κατάσβεσης.

### 2.5.3 Άλλες λειτουργικές απαιτήσεις απόδοσης

Εκτός από τις βασικές απαιτήσεις του συστήματος, οι λειτουργικές απαιτήσεις απόδοσης (βλ. Πίνακα 2.2.) προσθέτουν και κάποιους επιπλέον όρους λειτουργίας. Με αυτόν τον τρόπο, οι διαχειριστές της σήραγγας μπορούν να περιορίσουν το λειτουργικό κόστος και τα λειτουργικά προβλήματα του συστήματος συναγερμού πυρκαγιάς. Με άλλα λόγια, οι διαχειριστές θα πρέπει να λαμβάνουν τη διαβεβαίωση ότι το σύστημα πυρανίχνευσης θα ανιχνεύει μία πυρκαγιά εντός του απαιτούμενου χρόνου και θα ενεργοποιήσει το συναγερμό, καθώς και θα περιορίσει στο ελάχιστο δυνατό ψευδείς συναγερμούς και σφάλματα λειτουργίας.

Πίνακας 2-2: Απαιτήσεις επιδόσεων		
A/A	Στοιχείο	Επιθυμητή απαίτηση απόδοσης
1	Αρχή ανίχνευσης	Συστήματα ανίχνευσης θερμότητας τύπου γραμμής για ανίχνευση του ρυθμού ανόδου θερμοκρασίας
2	Ακρίβεια ανίχνευσης	1-2 °C για απόλυτη μέτρηση της θερμοκρασίας και 0,5 °C για ρυθμό ανόδου θερμοκρασίας με ευκρίνεια ± 5m για ένα τμήμα σήραγγας 50m
3	Ενεργοποίηση συναγερμού Χρόνος ανίχνευσης	Μέσα σε 30-60 δευτερόλεπτα από την έναρξη της φωτιάς γυμνής φλόγας
4	Έγκριση του συστήματος	EN 54-5 Κατηγορία A1 (VdS, AFNOR, LPCB) *
5	Διασύνδεση του συστήματος με άλλα συστήματα	Παρακολουθούμενες επαφές (ρελέ) διασυνδεόμενες με άλλα διαφορετικά συστήματα σχετικά με την ασφάλεια Σειριακή διασύνδεση για τη μετάδοση της μέτρησης της θερμοκρασίας και άλλων δεδομένων (επίπεδο πληροφορίας)
6	Ανοχή σφαλμάτων	Ένα λάθος ενός στοιχείου του συστήματος, δεν επηρεάζει τη συνολική λειτουργία του συστήματος

7	<b>Λειτουργία ασφαλής από ψευδείς συναγερμούς</b>	Δεν ενεργοποιούνται ψευδείς συναγερμοί. Αυτόματο σύστημα αυτο-ελέγχου
8	<b>Χρόνος επισκευής του γραμμικού ανιχνευτή</b>	Χρόνος επισκευής για μηχανική βλάβη με ανώτατο όριο τα 30min (αντικατάσταση του εκτός κανονικής λειτουργίας τμήματος)
9	<b>Πλύσιμο σήραγγας</b>	Απόλυτη αντοχή σε μηχανική ισχύ, καθώς και προστασία από νερό
10	<b>Διάρκεια ζωής του συστήματος</b>	> 20 χρόνια, με σκοπό την προστασία της επένδυσης του διαχειριστή
11	<b>Κόστος λειτουργίας</b>	Μηδέν κόστος λειτουργίας για το σύστημα πυρανίχνευσης
12	<b>Δαπάνες συντήρησης</b>	Λειτουργία άνευ συντήρησης του συστήματος μέσω διαδικασιών αυτοελέγχου και μακράς διάρκειας ζωής των υλικά λειτουργίας. Παρ' όλα αυτά, σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα απαιτείται μία πλήρης δοκιμή του συστήματος ανά έτος λειτουργίας

\* VdS: Verein Deutscher Sachversicherer: Ο γερμανικός φορέας πιστοποίησης για τα συστήματα συναγερμού πυρκαγιάς. - Website: <http://www.vds.de>

AFNOR: Association Française de Normalisation: Ο γαλλικό φορέα πιστοποίησης για τα συστήματα συναγερμού πυρκαγιάς. - Website: <http://www.afnor.fr>

LPCB: Loss Prevention Certification Board: Ο φορέας πιστοποίησης του Ηνωμένου Βασιλείου για συστήματα συναγερμού πυρκαγιάς. - Website: <http://www.brecertification.com>

#### **2.5.4 Διαφορετικές προσεγγίσεις για την ειδοποίηση των χρηστών της σήραγγας**

Στην περίπτωση μιας σημαντικής πυρκαγιάς σε σήραγγα, οι περισσότερες από τις εξωτερικές δυνάμεις παρέμβασης φθάνουν αργά για το έργο κατάσβεσης. Λαμβάνοντας υπόψη το χειρότερο σενάριο των βαρέων οχημάτων σε πλήρη ανάφλεξη, ο έλεγχος του καπνού θα πρέπει να είναι αποτελεσματικός μετά από 120s κατά μέγιστο. Συχνά, λοιπόν, οι αρχές επιλέγουν, ως εκ τούτου, μία εννοιολογική βάση του προβλήματος: να παρέχεται η δυνατότητα στους ανθρώπους/χρήστες να βοηθήσουν τον εαυτό τους. Ως προληπτικό μέτρο, ορισμένοι διαχειριστές της σήραγγας στην κεντρική Ευρώπη (π.χ. στη σήραγγα Grand St. Bernhard μεταξύ της Ελβετίας και της Ιταλίας) έχουν αρχίσει να διανέμουν ενημερωτικά φυλλάδια στους εισερχόμενους χρήστες της σήραγγας, μετά τις καταστροφές σιδηροδρόμων

το 1999. Σε άλλες σήραγγες η σηματοδότηση προς τους θαλάμους έκτακτης ανάγκης έχει βελτιωθεί, έτσι ώστε ακόμη και κάτω από τις πιο αντίξοες συνθήκες (έντονου καπνού) οι χρήστες της σήραγγας να είναι σε θέση να βρουν το δρόμο τους για να σώσουν τον εαυτό τους.

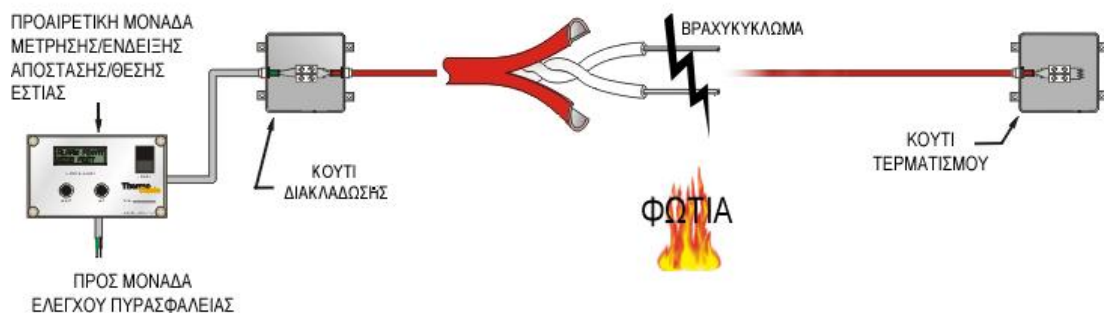
Ωστόσο, όλες αυτές οι πρωτοβουλίες δεν αλλάζουν το γεγονός ότι συνήθως οι χρήστες της σήραγγας ενημερώνονται σχετικά με ένα περιστατικό μόνο όταν οι ίδιοι βρίσκονται μέσα την περιοχή του περιστατικού. Συχνά, μάλιστα, οι χρήστες της σήραγγας δεν έχουν ενημερωθεί καθόλου για οποιοδήποτε είδος συμβάντος μέχρι να εμφανιστούν οι δυνάμεις επέμβασης. Προς το παρόν δεν υπάρχει διεθνής συναίνεση σχετικά με το πώς να ειδοποιούνται οι χρήστες της σήραγγας σε περίπτωση πυρκαγιάς. Διαφορετικές μεθόδους χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές χώρες.

Κοιτάζοντας ένα σενάριο έκτακτης ανάγκης από συστημική οπτική γωνία, οι χρήστες της σήραγγας μπορεί να βρεθούν στο εσωτερικό της σήραγγας σε κάποια στιγμή κατά τη διάρκεια ενός συμβάντος. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός αυτό και την απρόβλεπτη συμπεριφορά τους, οι χρήστες θα πρέπει να ενημερωθούν για τον κίνδυνο μπροστά τους και πώς να φτάσουν σε ένα ασφαλές μέρος (το οποίο είναι κατά προτίμηση εκτός της σήραγγας). Πριν από τη λήψη οποιασδήποτε πληροφορίας έκτακτης ανάγκης, οι χρήστες πρέπει να ξέρουν ποιες πληροφορίες μπορεί να δοθούν και να κατανοήσουν το νόημά τους. Σε περίπτωση ατυχήματος, οι χρήστες θα πρέπει να ενημερώνονται οπτικά και ακουστικά για το είδος κινδύνου, τη θέση, τις οδούς διαφυγής και τη δράση που πρέπει να αναλάβουν. Τέτοια συστήματα προειδοποίησης περιλαμβάνουν: κόρνες, σειρήνες, καμπανάκια, μεγάφωνα, συστήματα τηλεειδοποίησης, κινητά τηλέφωνα, εκπομπή FM-radio σε προκαθορισμένη συχνότητα, φάρους σηματοδότησης, λάμπες που αναβοσβήνουνε, πίνακες ενδείξεων (π.χ. ενδεικτικά βέλη), πίνακες σχεδιαγραμμάτων της σήραγγας (οδοί διαφυγής). Η ενεργοποίηση των μέσων πληροφοριών θα πρέπει να γίνεται αυτόματα από το σύστημα συναγερμού πυρκαγιάς. Η χειροκίνητη ενεργοποίηση δεν είναι κατάλληλη, δεδομένου ότι τέτοια γεγονότα συμβαίνουν σπάνια. Ο κίνδυνος από ένα χειριστή που ενεργεί με τρόπο ακατάλληλο λόγω της έλλειψης κατάρτισης ή πρακτικής θα μπορούσε να οδηγήσει σε σοβαρές αρνητικές συνέπειες (όπως συνέβη και στην πυρκαγιά του Mont-Blanc το 1999). Κατ' ελάχιστον, συσκευές οπτικών και ακουστικών ενδείξεων «Σήμανσης Πυρκαγιάς», θα πρέπει να έχουν εγκατασταθεί μέσα στη σήραγγα.

## 2.6 Σύγχρονοι ανιχνευτές θερμότητας πυρκαγιάς τύπου γραμμής

### 2.6.1 Καλώδιο ανίχνευσης θερμότητας τύπου γραμμής με θερμο-ευαίσθητη μόνωση

Αυτό το καλώδιο αποτελείται από ένα καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους ηλεκτρικών αγωγών με θερμο-ευαίσθητη μόνωση. Όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος φθάσει την ονομαστική θερμοκρασία του καλωδίου η θερμοπλαστική μόνωση τήκεται και βραχυκυκλώνει τους αγωγούς (βλ. Σχήμα 2-8 [12]). Το βραχυκύκλωμα εντοπίζεται και ο συναγερμός ενεργοποιείται. Ανάλογα με την εφαρμογή, μπορούν να επιλεγούν διαφορετικές θερμοκρασίες τήξης. Τα θερμοευαίσθητα καλώδια ήταν τα πρώτα γραμμικά συστήματα πυρανίχνευσης. Έχουν εφαρμοστεί εδώ και χρόνια, αρχικά στο Ηνωμένο Βασίλειο και τις ΗΠΑ. Γενικά χρησιμοποιούνταν για την ανίχνευση πυρκαγιών σε σήραγγες μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1980. Δεδομένου ότι η ταχύτητα ανίχνευσης είναι μάλλον αργή και η τοποθεσία της πυρκαγιάς στη σήραγγα δεν μπορεί να εντοπιστεί με μεγάλη ακρίβεια το σύστημα αυτό έχει αντικατασταθεί από πιο προηγμένες τεχνολογίες. Παρόλα αυτά είναι σημαντική η γνώση αυτής της κατηγορίας αισθητήρων, καθώς έχουν εγκατασταθεί στην πλειονότητα των σηράγγων μέχρι το 1980, κυρίως στις ΗΠΑ.

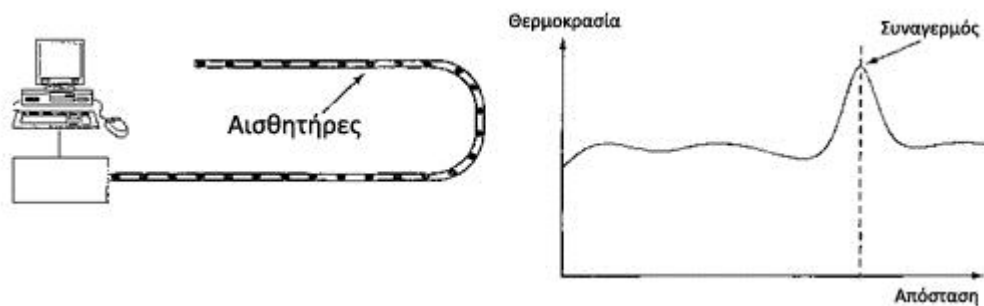


Σχήμα 2-8: Συνεστραμμένο ζεύγος ηλεκτρικών αγωγών με θερμο-ευαίσθητη μόνωση

### 2.6.2 Καλώδιο ανίχνευσης θερμότητας τύπου γραμμής με ημιαγωγικούς αισθητήρες θερμοκρασίας (σύστημα πολλαπλών σημείων)

Οι ημιαγωγικοί αισθητήρες θερμοκρασίας ή θερμο-ευαίσθητων αντιστάσεων είναι συνδεδεμένοι σε ένα δίαυλο για τη μετάδοση δεδομένων. Το δίαυλος αποτελείται από πολλούς αγωγούς και χρησιμοποιεί ειδικές τεχνολογίες μετάδοσης (βλ. Σχήμα 2-9). Οι αισθητήρες και οι αγωγοί μεταφοράς είναι συσκευασμένοι με πλαστική επικάλυψη, η οποία τους προστατεύει από τις αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες και μηχανικές καταπονήσεις. Τα δεδομένα υποβάλλονται σε επεξεργασία στην κεντρική μονάδα αξιολόγησης και στα δύο άκρα του καλωδίου ανίχνευσης. Η σύνδεση του δεύτερου άκρου του καλωδίου σε μια δεύτερη μονάδα αξιολόγησης των αποτελεσμάτων οδηγεί σε υψηλή ανοχή σε σφάλματα του συστήματος. Οι αποστάσεις μεταξύ των αισθητήρων μπορεί να

ποικίλουν από 1m έως 20m (7-8m απόσταση μεταξύ αισθητήρων ούτως ώστε να πληρούνται οι προδιαγραφές του ευρωπαϊκού κανονισμού EN 54-5 [9]), σύμφωνα με τις απαιτήσεις, και μπορεί να διαθέτουν έως 0.5 °C ακρίβεια. Η βέλτιστη απόσταση μεταξύ αισθητήρων προκύπτει ότι είναι περίπου 7m. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μια εστία φωτιάς, διευρύνει την περιοχή επέκτασης/επιρροής της με κάθε μέτρο ύψος. Το μέγιστο μήκος του καλωδίου είναι συνήθως 2 χιλιόμετρα και η ευαισθησία (ταχύτητα ανίχνευσης) είναι ανεξάρτητη του μήκους του καλωδίου. Τα συστήματα αυτά ενεργοποιούν έναν συναγερμό σύμφωνα με ένα προ-προγραμματισμένο ρυθμό ανόδου θερμοκρασίας καθώς και μία μέγιστη θερμοκρασία. Ο προσδιορισμός της ακριβούς θέσης της φωτιάς μέσα στη σήραγγα είναι θεωρητικά δυνατός (ανάλογα με την ταχύτητα αερισμού). Αυτά τα συστήματα έχουν εγκατασταθεί από τις αρχές της δεκαετίας του 1990.

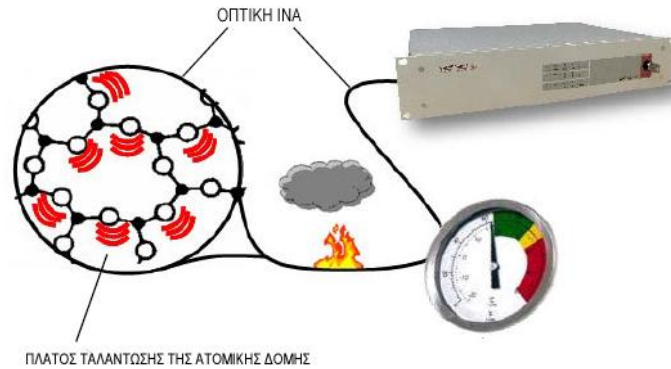


Σχήμα 2-9: Αισθητήρες θερμότητας ημιαγωγών

### 2.6.3 Ανιχνευτής θερμότητας τύπου γραμμής με αγωγό *fiberglass*

Αυτό το θερμο-ευαίσθητο καλώδιο αποτελείται από ένα αγωγό *fiberglass* εντός ενός μεταλλικού σωλήνα (βλ. Σχήμα 2-10). Συνδεόμενη με το ένα άκρο του αγωγού *fiberglass*, η μονάδα αξιολόγησης αποστέλλει συνεχώς σήματα παλμών λέιζερ στον αγωγό και λαμβάνει ένα συγκεκριμένο σήμα απόκρισης που προκύπτει από ανάκλαση στο εσωτερικό του αγωγού/ίνας (χρησιμοποιώντας τις αρχές της ανακλωμετρίας στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας). Η ανακλώμενη δέσμη λέιζερ μεταβάλλεται λόγω των χαρακτηριστικών ανάκλασης και σκέδασης του αγωγού/ίνας και αυτό μπορεί να είναι επεξεργαστεί ηλεκτρονικά. Το μέγιστο μήκος του καλωδίου είναι συνήθως μέχρι 4 χιλιόμετρα και η ευαισθησία εξαρτάται έντονα από το μήκος καλωδίου (όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος τόσο πιο αργή είναι η ταχύτητα ανίχνευσης). Ο καθορισμός της ακριβούς θέσης της πυρκαγιάς εντός της σήραγγας είναι δυνατός, ανάλογα με την ταχύτητα του αέρα εξαερισμού και τις αποστάσεις μέτρησης. Η αρχή ανίχνευσης παρουσιάστηκε για πρώτη φορά στις αρχές της δεκαετίας του 1990.

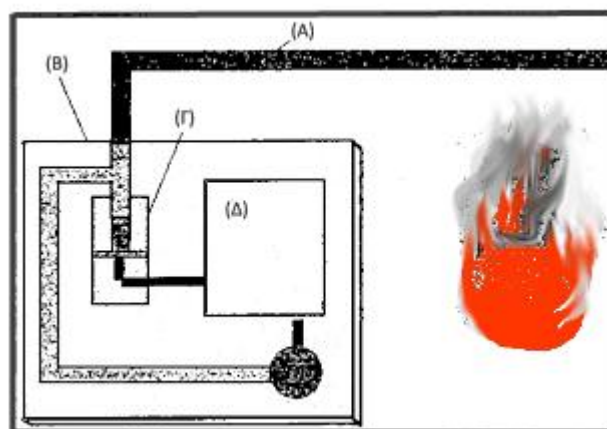




Σχήμα 2-10 Καλώδιο με αγωγό Fiberglass

#### 2.6.4 Ανιχνευτής θερμότητας τύπου γραμμής με αισθητήρα σωλήνα χαλκού

Το σύστημα αισθητήρων σωλήνα χαλκού είχε μεγάλη χρήση στις δεκαετίες του 1980 και του 1990 στις ευρωπαϊκές σήραγγες. Αυτό το σύστημα ανίχνευσης πυρκαγιάς είναι ένα πνευματικό σύστημα (βλ. Σχήμα 2-11). Ένας κοίλος σωλήνας χαλκού (Α) με ένα τυπικό μήκος 100 m είναι ερμητικά κλειστός με περιεχόμενο κανονικό αέρα. Η μία πλευρά του σωλήνα συνδέεται με έναν αισθητήρα πίεσης (Γ) σε σύνδεση με μία μονάδα αξιολόγησης (Β). Μόλις ο σωλήνας θερμανθεί, η πίεση στο εσωτερικό του σωλήνα αυξάνεται και, αφού μετρηθεί, μπορεί να υποβληθεί σε επεξεργασία από τη μονάδα αξιολόγησης (Δ). Τα συστήματα αυτά ενεργοποιούν ένα συναγερμό με την επίτευξη ενός προπρογραμματισμένου ρυθμού ανόδου ή μέγιστου θερμοκρασίας, τα οποία προκαλούν αντίστοιχες μεταβολές στην πίεση εντός του σωλήνα. Ο καθορισμός της ακριβούς θέσης της φωτιάς στη σήραγγα είναι θεωρητικά δυνατός, αλλά περιορίζεται στο μήκος του ενός τμήματος σωλήνα (τυπικά 100 m). Τα πρώτα πνευματικά συστήματα είχαν εγκατασταθεί σε ελβετικές σήραγγες στις αρχές του 1970.



Σχήμα 2-11: Ανιχνευτής σωλήνα χαλκού με μονάδα εκτίμησης πίεσης

## 2.7 Αξιολόγηση συστημάτων συναγερμού πυρκαγιάς state-of-the-art

### 2.7.1 Ορισμός του state-of-the-art

Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν διεθνή ισχύοντα πρότυπα ή κοινές απόψεις για το πώς να εγκατασταθούν συστήματα πυρανίχνευσης εντός των σηράγγων, ο ορισμός του state-of-the-art είναι πολύ συχνά το θέμα της ατομικής ερμηνείας από τους σχεδιαστές της σήραγγας. Από την άλλη πλευρά, από νομική άποψη, ο ορισμός state-of-the-art μπορεί να βασίζεται σε όλες τις σχετικές δημοσιεύσεις και εμπειρία που είναι δημοσίως γνωστές και προσιτές στο σχεδιαστή (Dix [13]).

Ας πάρουμε ως παράδειγμα την περίπτωση κατά την οποία μία αποτυχία του συστήματος πυρανίχνευσης και συναγερμού έχει αποδειχτεί και αυτό έχει οδηγήσει σε βλάβες ή απώλειες κατά τη διάρκεια ενός περιστατικού πυρκαγιάς μέσα στη σήραγγα. Σε αυτή την περίπτωση ο φορέας νομικής ευθύνης θα διερευνήσει, για να διαπιστώσει αν όλα τα γνωστά τεχνικά μέτρα είχαν ληφθεί για την εξασφάλιση της απόδοσης του συστήματος, κατά τη στιγμή της έγκρισης του σχεδιασμού του συστήματος. Συμπεριλαμβάνοντας την αντίστοιχη τεχνογνωσία στις έρευνες, οι νομικοί εκπρόσωποι θα προσδιορίσουν την κοινώς προσβάσιμη τεχνογνωσία σχετικά με τις απαιτήσεις απόδοσης στο δεδομένο χρόνο κατασκευής της σήραγγας και θα συγκρίνουν αυτές τις πληροφορίες με το πραγματικό εγκατεστημένο σύστημα. Εάν διαπιστωθεί ότι τα τεχνικά μέτρα για την εξασφάλιση της απόδοσης του συστήματος είχαν παραμεληθεί, ο υπεύθυνος μηχανικός σχεδιασμού του συστήματος θα μπορούσε να θεωρηθεί υπεύθυνος.

### 2.7.2 Κριτήρια αξιολόγησης

Έχοντας υπόψη τους παραπάνω παράγοντες, τα κριτήρια αξιολόγησης για απόδοση state-of-the-art μπορούν να συνοψιστούν ως δίνονται στον παρακάτω Πίνακα 2.3.

<b>Πίνακας 2-3: Κριτήρια αξιολόγησης για απόδοση state-of-the-art</b>	
<b>Ταχύτητα Ανίχνευσης:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Χρόνος ανίχνευσης 30-60s για ισχύ 1 MW, 1 m<sup>2</sup> φωτιά αιθανόλης και μέχρι 3 m/s ταχύτητα αέρα, σε σήραγγα ύψους 5m.</li> <li>Χρόνος ανίχνευσης 30-60s για ισχύ 5 MW, 2 m<sup>2</sup> φωτιά αιθανόλης και μέχρι 5 m/s ταχύτητα αέρα, σε σήραγγα ύψους 5m.</li> </ul>
<b>Σχεδιασμός του συστήματος συναγερμού φωτιάς:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Εκατό τοις εκατό αυτονομία του συστήματος (ανίχνευση, επεξεργασία σήματος,</li> </ul>

	<p>ενεργοποίηση συναγερμού, άμεση αυτόματη ενεργοποίηση)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Πλεονάζουσα αρχιτεκτονική του συστήματος άμεσου και απομακρυσμένου ελέγχου, καθώς και μονάδων επανάληψης</li> <li>• Αυτοπαρακολούθηση όλων των συνδεδεμένων συσκευών</li> <li>• Μπαταρία backup για το σύστημα συναγερμού πυρκαγιάς για αυτονομία 48 ωρών.</li> </ul>
<b>Λειτουργία:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πιστοποίηση συσκευών και συνολικού συστήματος</li> <li>• Αναγνώριση και αποκλεισμός σημάτων διαταραχής (όχι ψευδείς συναγερμοί)</li> <li>• Εκατό τοις εκατό διαθεσιμότητα του συστήματος για εύρωστη λειτουργία (ένα τεχνικό σφάλμα δεν θα επηρεάζει τη λειτουργία του συστήματος)</li> <li>• Οι ανιχνευτές είναι ανθεκτικοί σε διαβρωτικό, βρώμικο και υγρό περιβάλλον</li> </ul>

### 2.7.3 Αξιολόγηση ανιχνευτών θερμότητας πυρκαγιάς τύπου γραμμής

Τρεις τεχνολογίες ανίχνευσης έχει δοκιμαστεί υπό πραγματικές συνθήκες και πρέπει να εξεταστούν περαιτέρω. Αυτές είναι:

- Καλώδιο ανίχνευσης θερμότητας τύπου γραμμής με ημιαγωγικούς αισθητήρες θερμοκρασίας (σύστημα πολλαπλών σημείων)
- Ανιχνευτής θερμότητας τύπου γραμμής με αγωγό fiberglass
- Ανιχνευτής θερμότητας τύπου γραμμής με αισθητήρα σωλήνα χαλκού και αξιολόγηση εσωτερικής πίεσης αέρα

Στην πραγματικότητα όλοι αυτές οι ανιχνευτές είναι θεωρητικά σε θέση να εκπληρώσουν τις ζητούμενες επιδόσεις ταχύτητας ανίχνευσης, σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 54-22. Ωστόσο, ανάλογα με το σχεδιασμό εγκατάστασης, τα χαρακτηριστικά ανίχνευσης θα ποικίλουν σε ένα τόσο σημαντικό βαθμό έτσι ώστε η ζητούμενη ευαισθησία ανίχνευσης είναι πιθανό να χαθεί (χρόνος ανίχνευσης έως 180s)

- Η τελευταία γενιά καλωδίου ανίχνευσης θερμότητας τύπου γραμμής με ημιαγωγικούς αισθητήρες θερμοκρασίας (σύστημα πολλαπλών σημείων) είναι σε θέση να πληροί τις ακόλουθες απαιτήσεις:
  - Μήκος του καλωδίου ανίχνευσης έως 2000 m.
  - Ενεργοποίηση συναγερμού εντός 30-60s.
  - Εγγυημένη λειτουργία σε περίπτωση θραύσης του καλωδίου με χρήση λειτουργιών ευρωστίας σε σφάλματα.
  - Δυνατότητα ενσωμάτωσης σε ένα υπάρχον σύστημα συναγερμού πυρκαγιάς (τμήματα 50 m).
  - Σειριακή διασύνδεση για την ανταλλαγή δεδομένων και θερμοκρασίας σε σύστημα SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition - Εποπτικός Έλεγχος Και Ανάκτηση Δεδομένων).
  - Απαιτούνται δύο μονάδες αξιολόγησης για την κάλυψη . σήραγγας μήκους 2000m.
  - Χρόνος επισκευής για ένα καλώδιο που έχει υποστεί μηχανική βλάβη απαιτεί ένα μέγιστο 30 λεπτών (ανταλλαγή των κατεστραμμένων τμημάτων) και μπορεί να γίνει από ένα συνηθισμένο τεχνικό.
- Η τελευταία γενιά του καλωδίου ανιχνευτή θερμότητας τύπου γραμμής με αγωγό fiberglass πληροί τις ακόλουθες προϋποθέσεις:
  - Μήκος καλωδίου ανίχνευσης έως 4000m.
  - 30-180s χρόνο ενεργοποίησης συναγερμού (όσο μεγαλύτερη είναι το μήκος του καλωδίου ανίχνευσης, τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος ενεργοποίησης του συναγερμού).
  - Εγγυημένη λειτουργία σε περίπτωση θραύσης καλωδίου με χρήση πλεονάζοντων συστημάτων.
  - Περιορισμένη δυνατότητα ενσωμάτωσης σε ένα υπάρχον σύστημα συναγερμού πυρκαγιάς (τμήματα 50m).
  - Σειριακή διασύνδεση για την ανταλλαγή δεδομένων και θερμοκρασίας σε συστήματα SCADA.
  - Απαίτηση δύο μονάδων αξιολόγησης για την κάλυψη σήραγγας μήκους 4000m.
  - Χρόνος επισκευής για ένα καλώδιο που έχει υποστεί μηχανική βλάβη είναι μεγαλύτερος από 30 λεπτά (ανταλλαγή των προσβεβλημένων τμημάτων) και χρειάζεται εξειδικευμένο τεχνικό και συνολική επαναβαθμονόμηση του συστήματος.
- Ένας ανιχνευτής θερμότητας τύπου γραμμής με σωλήνα χαλκού και αξιολόγηση πίεσης πληροί τις ακόλουθες προϋποθέσεις:
  - Μήκος του σωλήνα ανίχνευσης συνήθως 100 μ., μέγιστο 130 m.
  - Χρόνος ενεργοποίησης συναγερμού εντός 30-40s.

- Σε περίπτωση θραύσης του σωλήνα, δεν δύναται ανίχνευση εντός του τμήματος 100m της σήραγγας.
- Πιθανή ενσωμάτωση σε ένα υπάρχον σύστημα συναγερμού πυρκαγιάς (τμήματα 50m).
- Σειριακή διασύνδεση για την ανταλλαγή δεδομένων και θερμοκρασίας σε συστήματα SCADA.
- Απαιτούνται 20 μονάδες αξιολόγησης για την κάλυψη σήραγγας μήκους 2000m.
- Η επισκευή ενός μηχανικά κατεστραμμένου σωλήνα απαιτεί κατά μέγιστο 30 λεπτά (ανταλλαγή του προσβεβλημένου τμήματος) και μπορεί να πραγματοποιηθεί από ένα συνηθισμένο τεχνικό.

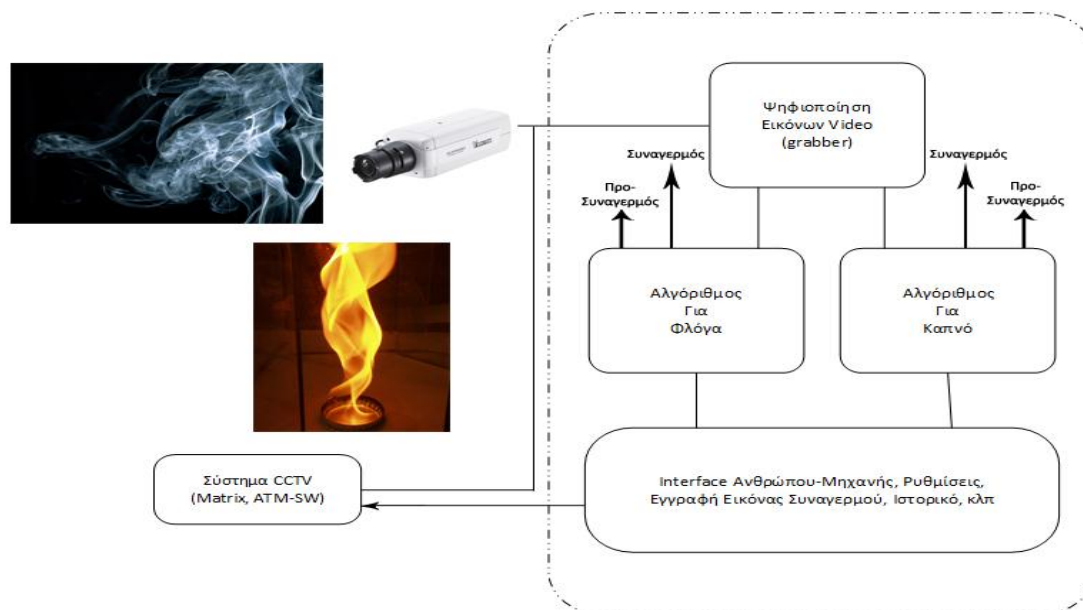
## 2.8 Μελλοντικές τάσεις και νέες τεχνολογίες

Οι τελευταίες εξελίξεις στον τομέα της ανίχνευσης πυρκαγιών σε σήραγγες επικεντρώνονται σε δύο σημαντικές τεχνολογικές καινοτομίες: συστήματα επεξεργασίας εικόνας από κάμερες CCTV και αισθητήρες αναρρόφησης καπνού. Ενσωματωμένα σε ένα επαγγελματικό σύστημα συναγερμού πυρκαγιάς, τα συστήματα επεξεργασίας εικόνας επιτρέπουν την έγκαιρη ανίχνευση φωτιάς και καπνού. Ενώ η εκτίμηση του ρυθμού ανόδου θερμοκρασίας με ανιχνευτές θερμότητας προσφέρει γρήγορη ανίχνευση πυρκαγιάς σε εξέλιξη, τα παραπάνω συστήματα μπορούν να προσφέρουν επιπλέον εκτίμηση επικίνδυνων συνθηκών, που μπορούν να οδηγήσουν σε πυρκαγιά ή έστω την παροχή ενημέρωσης πολύ πριν ενεργοποιηθούν οι συμβατική αισθητήρες θερμότητας. Με την ενσωμάτωση όλων των σχετικών κριτηρίων πυρανίχνευσης όπως καπνός, φλόγα και θερμότητα υπό τον έλεγχο ενός state-of-the-art συστήματος συναγερμού πυρκαγιάς, οι νέες τεχνολογίες θα είναι ουσιαστικά σε θέση να παρέχουν υψηλότερα επίπεδα ασφάλειας στις σήραγγες.

Διαφορετικοί κατασκευαστές έχουν αναλάβει επί του παρόντος έντονη ερευνητική δραστηριότητα για την ανάπτυξη των κατάλληλων αλγορίθμων για ένα καλό λογισμικό επεξεργασίας εικόνας, καθώς και για την ανάπτυξη ειδικευμένων αισθητήρων ανίχνευσης συγκεκριμένων αερίων, που εκλύονται κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς. Παρόλο που δεν υπάρχει διαθέσιμη επαρκής βιβλιογραφία και ανεξάρτητες εκθέσεις δοκιμών θα επιχειρήσουμε να δώσουμε μία ανασκόπηση των τεχνολογιών, βασιζόμενοι και στα αντίστοιχα ευρωπαϊκά πρότυπο EN 54-20 και το αμερικάνικο NFPA-502 τα οποία μόλις πρόσφατα έχουν παρουσιαστεί.

### 2.8.1 Ανίχνευση καπνού φλόγας με επεξεργασία εικόνας βίντεο

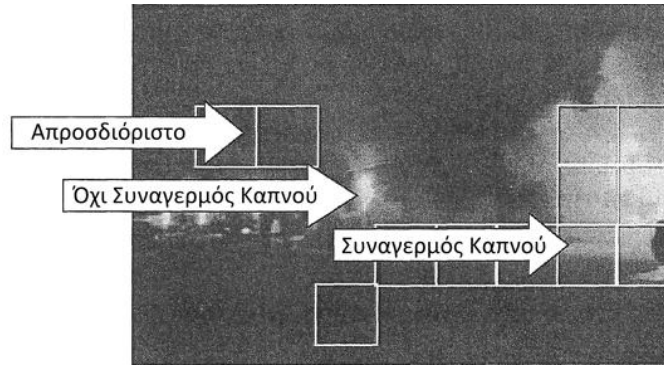
Εξοπλισμένοι με την τελευταία τεχνολογία επεξεργασίας εικόνας των state-of-the art συστημάτων ανίχνευσης πυρκαγιάς, οι διαχειριστές της σήραγγας έχουν τη δυνατότητα να ανιχνεύσουν εξαιρετικά έγκαιρα επικίνδυνες καταστάσεις.



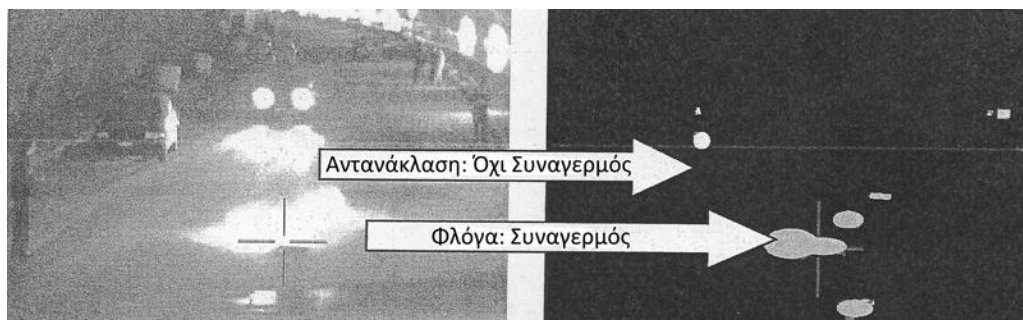
**Σχήμα 2-12: Αλγόριθμος επεξεργασίας ψηφιακών εικόνων**

Ο καπνός που εκπέμπει μία υποβόσκουσα πυρκαγιά μπορεί να ανιχνευθεί αυτόματα από το σύστημα ανίχνευσης πυρκαγιάς, πολύ πριν ξεσπάσει μια πυρκαγιά με γυμνή φλόγα. Η ανίχνευση καπνού και φλόγας με τεχνολογίες επεξεργασίας εικόνας χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1994 από βρετανικές εταιρείες. Άλλα συστήματα, στη Γερμανία, χρησιμοποιούν υπέρυθρες κάμερες με ειδικά φίλτρα. Τα συστήματα αυτά έχουν αποδείξει την αποτελεσματικότητά τους σε ανοιχτούς εξωτερικούς χώρους, αλλά δεν είναι κατάλληλα για εφαρμογή σε σήραγγες, πράγμα το οποίο οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως διαταραχές κινούμενων οχημάτων, μεταβαλλόμενα φώτα και αντανακλάσεις.

Παρά τους περιορισμούς η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι πολλά υποσχόμενη και καθώς βασίζεται στο ήδη υπάρχον σύστημα CCTV ενός τούνελ, που έχει εγκατασταθεί για την παρακολούθηση της ροής της κυκλοφορίας, είναι εύκολο στην ενσωμάτωσή του. Το σήμα βίντεο λαμβάνεται και ψηφιοποιείται και, έπειτα, αξιολογείται με αλγόριθμους για τον εντοπισμό φλόγας και καπνού (βλ. Σχήματα 2-12 έως 2-14). Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας εικόνας προσφέρεται για χρήση ως προ-συναγερμός ή και κανονικός συναγερμός σε ένα σύστημα συναγερμού πυρκαγιάς και σήματα ελέγχου στέλνονται στο σύστημα CCTV για αυτόματη ενεργοποίηση συγκεκριμένων καμερών, πλησιέστερα της πυρκαγιάς στις οθόνες επόπτευσης.



**Σχήμα 2-13: Τεστ καπνού και ανίχνευσης σε σήραγγα**



**Σχήμα 2-14: Δοκιμή φωτιάς με γυμνή φλόγα μέσα σε ένα τούνελ και επακόλουθη πυρανίχνευση**

Όντας ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματικότητα του συστήματος, η εύρωστη λειτουργία κατά ψευδών συναγερμών ή απώλειας αισθητήρων είναι εξίσου σημαντική με την αξιόπιστη ανίχνευση καπνού και φλόγας με την τεχνολογία επεξεργασίας εικόνας. Με αυτό το σκοπό, οι ακόλουθες παράμετροι διαταραχών θα πρέπει να εξαιρεθούν από το σύστημα:

- τα φώτα των αυτοκινήτων, συνεχή ή διακοπτόμενα
- βαριά κυκλοφορία (κίνηση)
- άνθρωποι (κίνηση)
- μέρα, νύχτα, αλλαγή του φωτισμού
- ομίχλη, βροχή, χιόνι (περιοχή θυρών)
- αντανάκλασεις φωτός, (σε χιόνι, πάγο, νερό)
- μεγάλες λευκές ή γκριζες ζώνες, όπως πάνω σε μεγάλα φορτηγά
- υψηλή ρύπανση του αέρα της σήραγγας

Παρακολουθώντας τμήματα της εικόνας, με αλγόριθμους επεξεργασίας εικόνας, ο συναγερμός ενεργοποιείται πάνω από προκαθορισμένα όρια. Και τα δύο φαινόμενα μιας φωτιά, φλόγα και καπνός, μπορούν να ενεργοποιήσουν το συναγερμό. Το σύστημα διακρίνει προ-συναγερμούς και των δύο φαινομένων καπνού και φωτιάς και τα κατώτατα όρια είναι ρυθμιζόμενα.

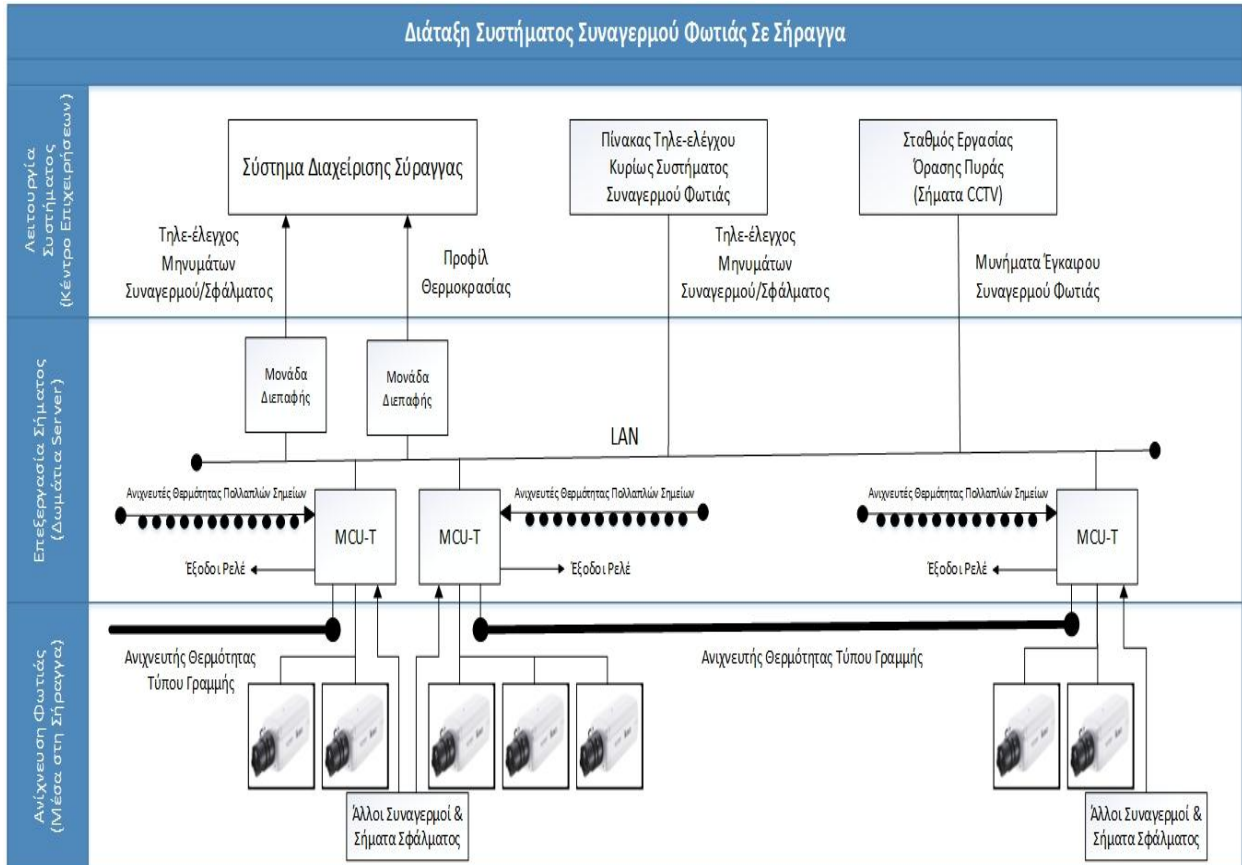
Δεν υπάρχουν, ακόμα, διεθνή πρότυπα για τις δοκιμές πυρκαγιάς και τις εγκρίσεις συστημάτων για την έγκαιρη ανίχνευση πυρκαγιάς. Δεν είναι σαφές ποιες φυσικές τιμές θα πρέπει να εφαρμοστούν για τον έλεγχο και την πιστοποίηση τους: από τη μία θα μπορούσε να ορίζεται από όγκο καπνού ή από την άλλη θα μπορούσε να υπάρχει μια απαίτηση για μια ορισμένη αδιαφάνεια ανά μέτρο (dB/m). Ως εκ τούτου, τα συστήματα επεξεργασίας εικόνας CCTV μπορούν, μέχρι στιγμής, να θεωρηθούν ως συμπληρωματικά μέσα ανίχνευσης σε ένα σύστημα state-of-the-art συναγερμού πυρκαγιάς, το οποίο συμμορφώνεται με τα διεθνή πρότυπα. Πρόσφατα δημοσιευμένα προσχέδια του αμερικάνικου πρότυπου NFPA-502, το οποίο αναφέρεται στο σχεδιασμό σηράγγων, γεφυρών και άλλων κατασκευών αυτοκινητοδρόμων περιορισμένης κινητικότητας/πρόσβασης, μιλάει για συστήματα επεξεργασίας εικόνας ως προσθήκη σε πυρανίχνευση τύπου θερμότητας (π.χ. για χρήση ως έγκαιρη ανίχνευση πυρκαγιάς). Εν τω μεταξύ, στην Ευρώπη, παρόμοιες συζητήσεις βρίσκονται σε πολύ πρώιμο στάδιο.

Τα συστήματα επεξεργασίας εικόνας δεν θα είναι ποτέ σε θέση να αντικαταστήσουν πλήρως τα συμβατικά συστήματα πυρανίχνευσης, καθώς υπόκεινται σε σημαντικούς περιορισμούς με βάση την ορατότητα των καμερών. Οι περιορισμοί στις επιδόσεων που οφείλονται σε κρυφές φλόγες μη ορατές στις κάμερες CCTV ή που δεν έχουν σαφή θέα της πύρινης εστίας λόγω του κακού φωτισμού, βρωμιάς, υψηλή αδιαφάνειας λόγω ομίχλης κλπ. Συνεπώς, τα συμβάντα μπορούν να ανιχνευθούν μόνο εάν είναι σαφώς ορατά, είτε μιλάμε για ανίχνευση καπνού με κανονικές κάμερες είτε για ανίχνευση φλόγας με υπέρυθρες κάμερες. Λόγω της έλλειψης διεθνών προτύπων, προς το παρόν είναι αδύνατον να επιτευχθεί πιστοποίηση και έγκριση για τα συστήματα πυρανίχνευσης που βασίζονται μόνο στην επεξεργασία εικόνας.

Για το λόγο αυτό προτείνεται ότι το σύστημα συναγερμού πυρκαγιάς το οποίο είναι εγκατεστημένο μέσα σε ένα τούνελ θα πρέπει να αποτελείται από καλώδια ανίχνευσης θερμότητας τύπου γραμμής τα οποία θα είναι συνδεδεμένα με ένα συναγερμό πυρκαγιάς στον πίνακα ελέγχου. Οι προ-συναγερμοί, οι συναγερμοί και εσφαλμένα αποτελέσματα που προέρχονται από τη μονάδα επεξεργασίας εικόνας βίντεο της μονάδας ελέγχου θα είναι συνδεδεμένοι στον ίδιο πίνακα ελέγχου συναγερμού πυρκαγιάς. Επιπλέον, όλες οι εισοδοί και έξοδοι θα πρέπει να παρακολουθούνται μέσω ειδικευμένων, πολλαπλών γραμμών (για ευρωστία) μεταφοράς δεδομένων, χειροκίνητα σημεία κλήσης, ενδείξεις συναγερμού από πυροσβεστήρες, πόρτες διαφυγής κλπ, ανιχνευτές σημείου προς σημείο και φυσικά συσκευές ένδειξης συναγερμού. Και πάλι, όλες αυτές οι συσκευές θα πρέπει να συνδέονται με τον πίνακα ελέγχου συναγερμού φωτιάς. Οι σήραγγες με μεγάλες αποστάσεις χρειάζονται αρκετούς πίνακες ελέγχου οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους με ένα δίκτυο πινάκων ελέγχου, το οποίο συνδέεται τελικά σε ένα κεντρικό SCADA (βλ. Σχήμα 2-15). Με λίγα λόγια η βασική λειτουργία του συστήματος ορίζει την μονάδα ελέγχου επεξεργασίας εικόνας υπεύθυνη για την έγκαιρη ανίχνευση της φωτιάς και



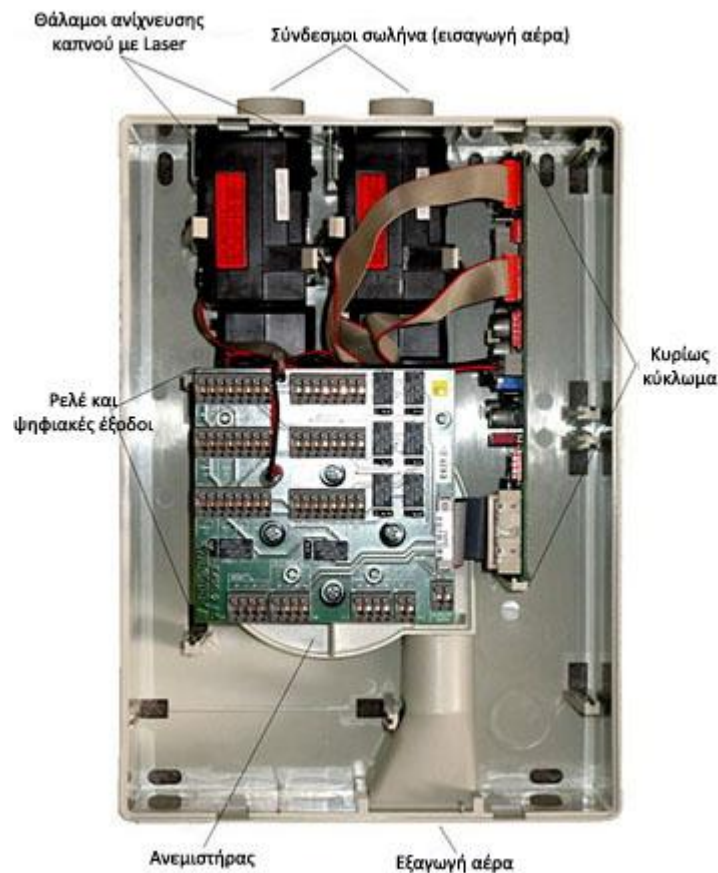
του καπνού, παρέχοντας κάποια προειδοποίηση στο διαχειριστή, ενώ ο ανιχνευτής θερμότητας τύπου γραμμής είναι υπεύθυνος για την ανίχνευση του ρυθμού αύξησης της θερμότητας και την αυτόματη ενεργοποίηση των συστημάτων προστασίας και ενημέρωσης των χρηστών της σήραγγας.



**Σχήμα 2-15: Αρχιτεκτονική του συστήματος συναγερμού πυρκαγιάς με έγκαιρη ανίχνευση πυρκαγιάς (τεχνολογία επεξεργασίας εικόνας)**

## 2.9 Ανιχνευτές Αναρρόφησης Καπνού (ASD)

Ο σχεδιασμός των Ανιχνευτών Αναρρόφησης Καπνού [14] (Aspirating Smoke Detectors) (βλ. Σχήμα 2-16) διορθώνει τις ελλείψεις των συμβατικών ανιχνευτών καπνού με τη χρήση σωλήνα δειγματοληψίας με πολλαπλές υποδοχές. Τα δείγματα αέρα συλλαμβάνονται και διηθούνται, με απομάκρυνση τυχόν προσμειξεων ή σκόνης για την αποφυγή ψευδών συναγερμών και στη συνέχεια υφίστανται επεξεργασία από μία κεντρική, εξαιρετικά ευαίσθητη μονάδα ανίχνευσης λέιζερ ή μία μονάδα χημικής ανίχνευσης υποπροϊόντων καύσης (CO, NO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> κλπ). Αν ανιχνευτεί καπνός ή υποπροϊόντα καύσης, ο συναγερμός της μονάδας ενεργοποιείται και στη συνέχεια το σήμα στέλνεται στο κεντρικό σταθμό παρακολούθησης (SCADA) και υποβάλλεται σε επεξεργασία.



Σχήμα 2-16: Ανιχνευτής αναρρόφησης καπνού

Αντίθετα με τα παραδοσιακά συστήματα παθητικής ανίχνευσης καπνού, συμπεριλαμβανομένων των ανιχνευτών σημείου, τα συστήματα ASD αναρροφούν ενεργά καπνό στον ανιχνευτή. Επιπλέον, ένα σύστημα ASD ενσωματώνει διάφορα επίπεδα παρακολούθησης για την εξασφάλιση της ακεραιότητας της μονάδας εκτέλεσης προειδοποιήσεων σε κάθε περίπτωση που διακυβεύεται η ικανότητα του ASD να ανιχνεύσει τον καπνό. Αυτή δεν είναι, συνήθως, η περίπτωση με παθητικές συσκευές που παρακολουθούνται, γενικά, μόνο ηλεκτρικά με καμία δυνατότητα να καθοριστεί εάν ο καπνός μπορεί να φτάσει στην πραγματικότητα το στοιχείο ανίχνευσης.

Τα συστήματα ASD ενσωματώνουν περισσότερα από ένα επίπεδο συναγερμού, τα οποία γενικά είναι ρυθμιζόμενα. Αυτό επιτρέπει σε ένα σύστημα ASD να παρέχει έγκαιρη προειδοποίηση ενός γεγονότος, προτρέποντας σε διερεύνηση κατά το αρχικό στάδιο (υποβόσκον) μιας πυρκαγιάς όταν είναι εύκολο να αντιμετωπιστεί. Τα επίπεδα συναγερμού μπορούν να ρυθμιστούν ώστε εκτός από το να παρέχουν εισόδους συναγερμού πυρκαγιάς να μπορούν, επίσης, να απελευθερώνουν τα συστήματα καταστολής. Η ευαισθησία ενός συναγερμού ASD είναι πλήρως διαμορφώσιμη και μπορεί να προγραμματιστεί σε επίπεδα που κυμαίνονται από χιλιάδες φορές πιο ευαίσθητη από ό, τι σε ένα συμβατικό ανιχνευτή καπνού, έως και πολύ λιγότερο ευαίσθητη.

Οι ASDs είναι κατάλληλοι για περιβάλλοντα όπου απαιτείται ένα εξαιρετικά ευαίσθητο σύστημα ταχείας ανίχνευσης καπνού. Αυτό τους καθιστά κατάλληλους για «clean rooms» και περιοχές που περιέχουν εμπορεύματα που καταστρέφονται εύκολα από τη φωτιά, όπως αποθηκευτικούς χώρους καπνών/επίπλων, δωμάτια που περιέχουν ηλεκτρονικές συσκευές (π.χ. διακομιστές) και πολύ εύφλεκτα υγρά και αέρια. Συχνά, οι κανονικές ανιχνευτές σημείου θα αναγνωρίσουν τον κίνδυνο πολύ αργά, καθώς ο καπνός συχνά δεν φθάνει το ταβάνι αρκετά γρήγορα για να ανιχνευθεί εγκαίρως η φωτιά.

Δεδομένου ότι μπορούν να κρυφτούν εύκολα, τα δίκτυα σωληνώσεων είναι κατάλληλα σε περιβάλλοντα όπου οι ανιχνευτές σημείου μπορεί να θεωρηθούν αισθητικά δυσάρεστοι, όπως σε γραφεία, διαμερίσματα και δωμάτια ξενοδοχείων. Αυτός ο παράγοντας τους καθιστά επίσης κατάλληλους σε θέσεις όπου οι ανιχνευτές σημείου μπορεί εύκολα να παραποιηθούν, όπως σε σωφρονιστικά ιδρύματα.

Επισημαίνεται ότι υψηλή ευαισθησία δεν σημαίνει ότι οι ASD δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σκονισμένα ή βρώμικα περιβάλλοντα δεδομένου ότι ακολουθηθούν οι κατάλληλες διαδικασίες σχεδιασμού, εγκατάστασης και συντήρησης. Τα περισσότερα προϊόντα ASD μπορεί να εγκατασταθούν σε ένα ευρύ φάσμα περιβαλλόντων και εφαρμογών – σε κλειστούς και ανοιχτούς χώρους, από τα πιο καθαρά έως τα πιο βρώμικα περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένων δωμάτων ελέγχου και τηλεπικοινωνιών, χώρους επεξεργασίας αποβλήτων, μεταλλεία κ.ά.

## 2.10 Συμπεράσματα

Οι ανιχνευτές θερμότητας τύπου γραμμής έχουν καθιερωθεί ως η πλέον αξιόπιστη τεχνολογία ανίχνευσης για γρήγορη ανίχνευση πυρκαγιάς. Εκατοντάδες χιλιόμετρα σηράγγων σε όλο τον κόσμο είναι εξοπλισμένα με αυτή την τεχνολογία ανίχνευσης στις διάφορες παραλλαγές της.

Μέχρι τώρα, ο σχεδιασμός για συστήματα συναγερμού πυρκαγιάς δεν έχει βασιστεί σε αποδεδειγμένα σχεδιαστικά κριτήρια (όπως με την προτυποποίηση του σχεδιασμού ενός συστήματος συναγερμού πυρκαγιάς για κτήρια). Ως εκ τούτου θα πρέπει να αναμένεται μια μεγάλη ποικιλία αρχιτεκτονικών σχεδιασμών τέτοιων συστημάτων. Τα ευρωπαϊκά πρότυπα πυρασφάλειας EN-54 [9] και τα αμερικάνικα NFPA 502 [10] πρότυπα είναι μια δοκιμασμένη βάση για το σχεδιασμό επαγγελματικών συστημάτων συναγερμού πυρκαγιάς. Ακόμα κι αν οι περιβαλλοντικές συνθήκες στις σήραγγες είναι πολύ

διαφορετικές από αυτές εντός κτιρίων, οι ειδικές λειτουργικές απαιτήσεις απόδοσης για ένα σύστημα συναγερμού πυρκαγιάς εντός σήραγγας είναι οι ίδιες όπως και αυτές σε κτίρια.

Η επεξεργασία εικόνας βίντεο για εφαρμογές πυρανίχνευσης είναι μια σημαντική τεχνολογική καινοτομία και η χρήση της είναι κατάλληλη, υπό προϋποθέσεις, για εφαρμογή σε σήραγγες. Ακόμα κι αν το λογισμικό που διατίθενται σήμερα εξακολουθεί να υπόκειται σε περαιτέρω ανάπτυξη, τα πρώτα βιομηχανικά προϊόντα έχουν αρχίσει να είναι διαθέσιμα στην αγορά.

Προτείνεται ότι για την χρησιμοποίηση τεχνολογίας επεξεργασίας εικόνας σε σήραγγες, ο φωτισμός της σήραγγας πρέπει να είναι επαρκής και οι κάμερες CCTV θα πρέπει να τοποθετούνται σε απόσταση όχι μεγαλύτερη από 100m.

Όλα αυτά τα συστήματα, συνδυαστικά μπορούν να παρέχουν ένα εύρωστο σύστημα πυρανίχνευσης. Οι διαφορετικές τεχνολογίες ανίχνευσης, θα προσφέρουν έγκαιρη ανίχνευση μιας πυρκαγιάς, συμπληρώνοντας τα κενά ανίχνευσης, επιβεβαιώνοντας έναν εντοπισμό εστίας, ενισχύοντας τους αλγορίθμους λήψης αποφάσεων (π.χ. πυρόσβεσης) και διορθώνοντας τα σφάλματα ανίχνευσης η μία την άλλη.

# 3 Πυροπροστασία σε οδικές σήραγγες από σκυρόδεμα

---

## 3.1 Εισαγωγή

Μια σειρά από περιστατικά στο παρελθόν έχουν δείξει ότι οι πυρκαγιές μπορούν να αποτελέσουν σοβαρή απειλή για την δομική ακεραιότητα ενός τούνελ, τόσο κατά τη διάρκεια όσο και μετά την πυρκαγιά. Πυρκαγιές, όπως αυτές μπορούν να συμβούν κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της σήραγγας (π.χ. οι πυρκαγιές στη σήραγγα της Μάγχης (Ηνωμένο Βασίλειο / Γαλλία, 1996), και στη σήραγγα του Mont Blanc (Γαλλία / Ιταλία, 1999), καθώς και κατά τη διάρκεια της φάσης κατασκευής (π.χ. η πυρκαγιά στο Great Belt Tunnel (Δανία), 1994). Οι σύγχρονες εθνικές και διεθνείς οικονομίες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από βιώσιμα συστήματα μεταφορών. Σε αυτά τα συστήματα οι σήραγγες είναι βασικά στοιχεία. Ως εκ τούτου, προβάλλονται, σε μεγάλο βαθμό, οι απαιτήσεις πυρασφάλειας για τις σήραγγες. Η σωστή αξιολόγηση της ασφάλειας σε περίπτωση πυρκαγιάς απευθύνεται σε όλους τους κρίκους της λεγόμενης αλυσίδας ασφαλείας (Beard, Carvel [1]): πρόληψη, προστασία (παθητική και ενεργητική), μετέπειτα φροντίδα συμβάντος και γενική αξιολόγηση.

- *Πρόληψη*: Ο επαρκής σχεδιασμός και τα επιχειρησιακά μέτρα ασφαλείας για την αποφυγή ατυχημάτων που οδηγούν σε πυρκαγιά (π.χ. η οδική κίνηση με λωρίδες μονής κατεύθυνσης βοηθάει στην αποφυγή μετωπικών συγκρούσεων).
- *Προστασία*: Τα μέτρα ασφαλείας που περιορίζουν την ανάπτυξη πυρκαγιάς. Τα συστήματα αυτά εμπίπτουν σε δύο ευρείες κατηγορίες:
  - Παθητική πυροπροστασία (π.χ. μη-ή λιγότερο-εύφλεκτες επενδύσεις σήραγγας)
  - Ενεργή πυροπροστασία (π.χ. ψεκαστήρες νερού/αφρού, έλεγχος της κυκλοφορίας, απόκριση έκτακτης ανάγκης).
- *Μετέπειτα φροντίδα (κατόπιν πυρκαγιάς) και επισκευές*: Δράσεις και μέτρα για να καταστεί η σήραγγα πλήρως λειτουργική. μετασκευές και επισκευές.
- *Αξιολόγηση*: Επανεκτίμηση της χρησιμότητας της υιοθετημένης στρατηγικής ασφαλείας και μέτρων ασφαλείας.

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα δοθεί έμφαση στις απαιτήσεις σχετικά με τη δομική ακεραιότητα, ως μέρος της «προστασίας».

Το θέμα της δομικής ακεραιότητας είναι σημαντικό. Εάν μια σήραγγα δεν προστατεύεται επαρκώς μπορεί να οδηγήσει στα ακόλουθα σενάρια.

- Μπορεί να υπάρξει απώλεια της δομικής ακεραιότητας κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς η οποία μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρή διαρροή και ακόμη και στην κατάρρευση, ενδεχομένως πριν από την ολοκλήρωση της εκκένωσης. Πρόκειται για ένα ιδιαίτερα σημαντικό θέμα σε υποβρύχιες σήραγγες.
- Μια πυρκαγιά μπορεί να προκαλέσει σημαντική βλάβη. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλα έξοδα άμεσων επισκευών και μετασκευών, καθώς και σε μεγάλη έμμεση οικονομική ζημία λόγω του εκτεταμένου χρόνου μη λειτουργίας της σήραγγας.
- Οι ομάδες υπηρεσιών αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης μπορεί να αντιμετωπίσουν επικίνδυνες καταστάσεις (άγνωστης κατάστασης κινδύνου) κατά τις οποίες πρέπει να δουλέψουν (παροχή βοήθειας στην εκκένωση και πυρόσβεση της σήραγγας).
- Άλλα μέτρα πυρασφάλειας, συμπεριλαμβανομένων των καναλιών εξαερισμού, των διαδρομών εκκένωσης (ακόμη και πάνω από ψευδοροφές σε κάποιες αλπικές σήραγγες), θέσεις αγκίστρωσης για τα συστήματα εξαερισμού, σχάρες καλωδίων, κλπ. μπορεί να καταρρεύσουν, προκαλώντας, πιθανώς, απώλειες και επαύξηση της σοβαρότητας του περιστατικού της πυρκαγιάς.

### 3.2 Συμπεριφορά του σκυροδέματος σε μία πυρκαγιά

Κατά την ταξινόμηση των σηράγγων, διακρίσεις γίνονται συνήθως με βάση τον είδος της κυκλοφορίας, δηλαδή στις οδικές, σιδηροδρομικές και τις σήραγγες μαζικών αστικών συγκοινωνιών (μετρό). Δεδομένου ότι ο κίνδυνος πυρκαγιάς σε κάθε τύπο σήραγγας είναι αρκετά διαφορετικός, όσον αφορά την πιθανότητα, καθώς και τις συνέπειες, η διάκριση αυτή είναι επίσης ευρέως υιοθετημένη στις αναλύσεις πυρασφάλειας. Κατά την εκτίμηση της δομικής ακεραιότητας μιας σήραγγας κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς, ωστόσο, είναι βολικό για το μηχανικό πυρασφάλειας να γνωρίζει τον τρόπο κατασκευής της σήραγγας, ούτως ώστε να κατανοήσει την πιθανή επίδραση της πυρκαγιάς.

Ενώ υπάρχουν σήραγγες απευθείας κομμένες από στερεό βράχο, χωρίς εσωτερική επένδυση και σήραγγες με επένδυση από τμήματα σίδηρου ή χάλυβα, από πέτρα ή τούβλα, οι περισσότερες σύγχρονες σήραγγες κατασκευάζονται από σκυρόδεμα έτσι αυτό το κεφάλαιο θα επικεντρώσει τη συζήτησή του για την πυροπροστασία σε σήραγγες από σκυρόδεμα. Το σκυρόδεμα μπορεί να είναι οπλισμένο ή μη, προκατασκευασμένο ή μη. Η συμπεριφορά του σκυροδέματος που υπόκειται σε φωτιά εξαρτάται από τη μέθοδο κατασκευής, αλλά τα ζητούμενα αποτελέσματα σε ένα σχεδιασμό πυρασφάλειας είναι τα ίδια. Ο μηχανικός αυτοματισμού, που έχει αναλάβει την πυρασφάλεια μιας σήραγγας είναι καλό να έχει μία σφαιρική γνώση των πιθανών συνεπειών στη δομική ακεραιότητα της

σήραγγας ώστε να μπορέσει να εγκαταστήσει και να ρυθμίσει το σύστημα ελέγχου και πυρόσβεσης, επιτυγχάνοντας τη μέγιστη δυνατή απόδοση.

Δεν είναι όλα τα μίγματα σκυροδέματος είναι το ίδιο. Ούτε η διαδικασία κατασκευής (χύτευση, σκλήρυνση) ούτε το περιβάλλον (κλίμα, φυσική ή χημική έκθεση). Εντούτοις, η γενική τάση φαίνεται να είναι προς την κατεύθυνση χρησιμοποίησης πιο ανθεκτικού σκυροδέματος το οποίο συνεπάγεται κατά κανόνα χαμηλότερο πορώδες και διαπερατότητα και, κατά συνέπεια μεγαλύτερη αντοχή. Εντούτοις σε υποθαλάσσιες σήραγγες η πυκνότητα είναι γενικά χαμηλότερη και το πορώδες υψηλότερο. Αυτές οι διαφορές επηρεάζουν σημαντικά τη συμπεριφορά του σκυροδέματος, όταν υποβάλλεται σε συνθήκες πυρκαγιάς. Σε σήραγγες που κατασκευάζονται από σκυρόδεμα υψηλής αντοχής, χαμηλού πορώδους, ο κυρίαρχος μηχανισμός αστοχίας είναι ο λεγόμενος «εκρηκτικός θρυμματισμός - spalling». Υπό συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας, κομμάτια του σκυροδέματος εκρήγνυνται μακριά από την επιφάνεια σε υψηλές ταχύτητες. Ο ακριβής μηχανισμός του θρυμματισμού δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητός, αλλά πιστεύεται ότι σε μεγάλο βαθμό οφείλεται στην συσσωρευμένη πίεση εντός του σκυροδέματος, η οποία οφείλεται με τη σειρά της στο σχηματισμό υδρατμών (van der Graaf [17]). Στην πράξη, το πορώδες σκυρόδεμα περιέχει ένα ορισμένο ποσό υγρού νερού. Αυτό προφανώς θα γίνει υδρατμός εάν η θερμοκρασία του σκυροδέματος υπερβεί τους 100 °C. Εάν η συσσώρευση της πίεσης ατμών υπερβεί τις δυνατότητες απελευθέρωσης της πίεσης μέσω των πόρων του σκυροδέματος, τότε αυτό θα θρυμματιστεί.

Επίσης σε θερμοκρασίες πάνω από 400 °C, το υδροξείδιο του ασβεστίου στο τσιμέντο του σκυροδέματος θα αφυδατωθεί και θα παράγει υδρατμούς:



Αυτή η διαδικασία όχι μόνο επιταχύνει το θρυμματισμό, αλλά ελαττώνει, επίσης, σημαντικά την αντοχή του σκυροδέματος (Wetzig [18]). Άλλες χημικές διεργασίες μπορεί να συμβούν στα συγκεκριμένα συσσωματώματα σε υψηλές θερμοκρασίες. Για παράδειγμα, ο χαλαζίας υποβάλλεται σε έναν ανόργανο μετασχηματισμό στους 575 °C, η οποία επιφέρει μία αύξηση του όγκου, και τα ασβεστολιθικά αδρανή αποσυντίθεται σε θερμοκρασίες άνω των 800 °C (Wetzig [18]):



Εάν το πορώδες του σκυροδέματος δεν είναι επαρκές για να επιτρέψει τη διαφυγή του αερίου, η πίεση θα αυξηθεί και θα συμβεί περαιτέρω θρυμματισμός.

Ο θρυμματισμός έχει, πάντως, παρατηρηθεί και σε ορισμένα είδη σκυροδέματος σε θερμοκρασίες μόνο ελάχιστα παραπάνω από 200 °C (Both [16]). Επίσης, άπαξ ξεκινήσει η διαδικασία θρυμματισμού δεν είναι πιθανό να σταματήσει μέχρι την πλήρη δομική αστοχία. Προς το παρόν, δεν υπάρχει γενικά εφαρμόσιμο μοντέλο πρόβλεψης ή να προσομοίωσης του «εκρηκτικού θρυμματισμού» σε

διαφορετικές συνθέσεις σκυροδέματος, οπότε η πειραματική δοκιμή των υλικών επένδυσης της σήραγγας είναι απαραίτητη πριν να χρησιμοποιηθούν στην πράξη.

Εκτός από την επίδραση στο σκυρόδεμα, οι υψηλές θερμοκρασίες επίσης επιδρούν στο μεταλλικό οπλισμό εντός του σκυροδέματος. Τα μέταλλα θα τείνουν να διασταλούν με την αύξηση της θερμοκρασίας και θα εμφανίζουν μια αξιοσημείωτη μείωση στην ικανότητα φόρτισής τους. Για παράδειγμα, στους 700 °C η φέρουσα ικανότητα των κοινών οπλισμών θα μειωθεί σε τόσο λίγο όσο 20% της τιμής της σε κανονικές θερμοκρασίες. Οι χάλυβες με χαμηλή περιεκτικότητα σε C είναι επίσης γνωστό ότι εμφανίζουν ανωμαλίες (μπλε ευθραυστότητα) μεταξύ 200 και 300 °C. Ως συνέπεια του γεγονότος αυτού συνιστάται συνήθως να προστατεύονται οι οπλισμοί από θερμοκρασίες πάνω από περίπου 250-300 °C. (Wetzig [18])

Όπως τα περισσότερα υλικά, το σκυρόδεμα εκδηλώνει επίσης θερμική διαστολή. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε κάμψη σκυροδεματικών στοιχείων και ενδεχομένως στην κατάρρευση της κατασκευής. Αυτή η επίδραση μπορεί να είναι σημαντική, για παράδειγμα, σε ενδιάμεσες οροφές σε σήραγγες και χωρίσματα μεταξύ αεραγωγών. Οι θερμικές διαστολές του χάλυβα και σκυροδέματος είναι παρόμοιες στην περιοχή 0-400 °C, αλλά πάνω από αυτή τη θερμοκρασία οι συμπεριφορές διαφέρουν πολύ με αποτέλεσμα να οδηγούν σε καταστροφικές τάσεις μέσα στο μίγμα (Wetzig [18]). Εν πάση περιπτώσει τα μέτρα πυροπροστασίας, σε σήραγγες από σκυρόδεμα υψηλής αντοχής και χαμηλού πορώδους, χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την πρόληψη εκρηκτικού θρυμματισμού.

Από την άλλη, οι υποβρύχιες σήραγγες κατασκευάζονται γενικά από λιγότερο πυκνά, πιο πορώδη σκυροδέματα και ο χαλύβδινος οπλισμός απαιτείται για την ενίσχυση της οροφής ενάντια σε πιθανή χαλάρωση και κατάρρευση, ή και διαρροή νερού (Both [16]). Ο εκρηκτικός θρυμματισμός του σκυροδέματος δεν είναι κατ'ανάγκη ο κύριος μηχανισμός αστοχίας αυτών των σηράγγων κάτω από συνθήκες πυρκαγιάς.

Αν και οι μηχανισμοί της αστοχίας μπορεί είναι διαφορετικοί, οι απαιτήσεις της πυρασφάλειας είναι οι ίδιες: Την αποτροπή ή την καθυστέρηση της συσσώρευσης της θερμοκρασίας στο σκυρόδεμα της επένδυσης της σήραγγας και σε περίπτωση αποτυχίας των προηγούμενων το μετριασμό των επιπτώσεων της υπερβολικής ροής θερμότητας στο υλικό επένδυσης.

Οι μέθοδοι πυροπροστασίας εμπίπτουν σε δύο ευρείες κατηγορίες:

- Παθητική πυροπροστασία: π.χ. μονωτικά υλικά που περιορίζουν τη ροή της θερμότητας από το εσωτερικό της σήραγγας στην επένδυση από σκυρόδεμα.
- Ενεργή πυροπροστασία: π.χ. συστήματα καταιονισμού νερού τα οποία αφαιρούν θερμότητα από το εσωτερικό της σήραγγας και την ψύχουν τα τοιχώματα.



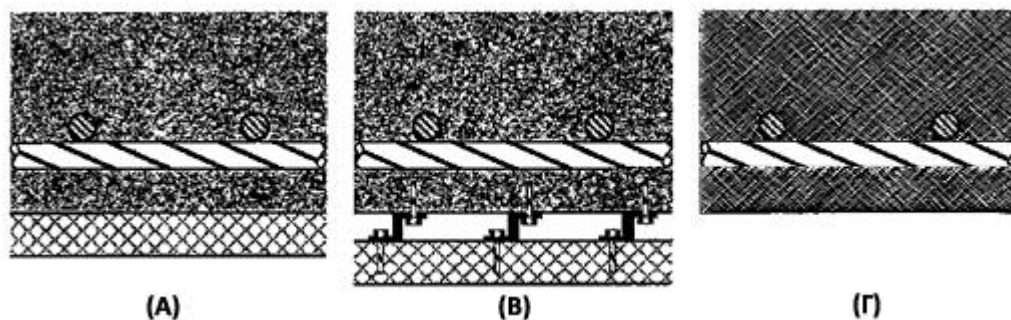
Στη συνέχεια θα εξετάσουμε συνοπτικά την παθητική πυρασφάλεια και με περισσότερη λεπτομέρεια τις εξελίξεις στην ενεργητική πυρασφάλεια, καθώς αυτό απασχολεί περισσότερο έναν μηχανικό αυτοματισμού. Στο επόμενο κεφάλαιο θα αναφερθούμε στο πιο σημαντικό μέσο ενεργητικής πυρασφάλειας και ελέγχου, τον εξαερισμό της σήραγγας.

### 3.3 Παθητική πυροπροστασία

Για την παθητική πυροπροστασία τα μέτρα που λαμβάνονται υπόκεινται σε μία από τις παρακάτω κατηγορίες:

- Μια δευτερεύουσα στρώση σκυροδέματος ή τσιμεντοειδούς υλικού που εφαρμόζεται στην εσωτερική επιφάνεια της σήραγγας.
- Επένδυση: πάνελ προστατευτικού υλικού, στερεωμένο στους τοίχους και στην οροφή της σήραγγας.
- Προσθήκη ορισμένων ινών, κλπ., μέσα στο μίγμα σκυροδέματος της κύριας επένδυσης καθιστώντας το περισσότερο ανθεκτικό σε φωτιά.

Τα μέτρα αυτά φαίνονται στο παρακάτω Σχήμα 3-1.



**Σχήμα 3-1:** Τύποι παθητικής πυροπροστασίας (οι ράβδοι που απεικονίζονται εντός του σκυροδέματος αντιπροσωπεύουν ράβδους οπλισμού χάλυβα): (Α) ένα δευτερεύον στρώμα από τσιμεντοειδές μονωτικό υλικό που εφαρμόζεται απευθείας στην επένδυση σήραγγας, (Β) ένα σύστημα επένδυσης με πάνελ [ορισμένα είδη επένδυσης μπορεί να βιδώνονται απευθείας στο σκυρόδεμα (επένδυση) της σήραγγας χωρίς να χωρίζονται από ένα διάκενο αέρα, όπως φαίνεται], (Γ) την προσθήκη των ινών εντός του μίγματος του σκυροδέματος της κύριας επένδυσης.

Μία άλλη μέθοδος της πυροπροστασίας είναι απλά η υπερδιαστασιολόγηση των εξαρτημάτων: εάν τα τμήματα του σκυροδέματος είναι επαρκώς μεγάλα τότε, αν και μπορεί να λάβει χώρα κάποιος επιφανειακός θρυμματισμός, η κατασκευή θα είναι σε θέση να αντέξει τις ακραίες θερμοκρασίες για μια εκτεταμένη χρονική περίοδο (Wetzig [18]).

### 3.3.1 Απαιτήσεις και πρότυπα

Προς το παρόν δεν υπάρχουν διεθνή πρότυπα ή νομοθεσία που να καθορίζει το επίπεδο της πυροπροστασίας που πρέπει να χρησιμοποιείται σε σήραγγες (Beeston [20]). Μία από τις χώρες που έχουν θέσει κάποια πρότυπα περιορισμού είναι η Ολλανδία. Αυτό δεν αποτελεί έκπληξη δεδομένου ότι, λόγω του γεγονότος ότι το μεγαλύτερο μέρος της χώρας βρίσκεται κάτω από τη στάθμη της θάλασσας, η κατάρρευση ενός τούνελ στην Ολλανδία μπορεί όχι μόνο να οδηγήσει στην υπερχειλίση του τούνελ, αλλά, ενδεχομένως, στον πλημμύρισμα των γύρω περιοχών (Peherstorfer [21]). Στις Κάτω Χώρες, η Rijkswaterstaat (Υπουργείο Δημοσίων Έργων και Διαχείρισης των Υδάτων, εφεξής θα αναφέρεται ως RWS) έχει την ευθύνη για την ασφάλεια στις σήραγγες. Οι απαιτήσεις τους συνοψίζονται στα παρακάτω (van Olst [22], Bjegovic [23], Dekker [24]):

- Η θερμοκρασία του χαλύβδινου οπλισμού εντός σκυροδέματος δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 250 °C (για την πρόληψη χαλάρωσης και ενδεχόμενη κατάρρευση)
- Η θερμοκρασία στην επιφάνεια του σκυροδέματος δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 380 °C (για την αποφυγή θρυμματισμού).

Η RWS απαιτεί ότι αυτά τα κριτήρια θα πρέπει να πληρούνται στην περίπτωση όλων των συμβάντων φωτιάς, έως και την περίπτωση πυρκαγιάς σε βυτιοφόρο όχημα καυσίμων, με το συμβάν να έχει διάρκεια έως 2 ώρες. Το τελευταίο θεωρείται ότι είναι το πιο σοβαρό σενάριο πυρκαγιάς σήραγγας, καθώς έχει πολύ ταχεία εξέλιξη και οδηγεί σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες.

Για να δοκιμαστούν οι διάφορες μέθοδοι κατασκευής και ενίσχυσης της επένδυσης μιας σήραγγας δείγματα υπόκεινται σε εργαστηριακά πειράματα για να καθοριστεί εάν πληρούνται οι απαιτήσεις. Ενώ το πρότυπο της RWS απαιτείται στην Ολλανδία, δεν απαιτείται απαραίτητα σε άλλες χώρες.

## 3.4 Ενεργή πυροπροστασία

Σε σήραγγες χρησιμοποιούνται επίσης ενεργά συστήματα πυροπροστασίας. Εξ ορισμού, για να επιτελέσουν το έργο τους, τα ενεργά συστήματα απαιτούν κάποια μορφή ενεργοποίησης τους, είτε από κάποιο χειριστή (ανθρώπινο προσωπικό) είτε με αυτόματα μέσα, τα οποία εμπίπτουν στις αρμοδιότητες ενός μηχανικού αυτοματισμών. Οι δύο πιο κοινές μορφές ενεργού πυροπροστασίας που χρησιμοποιούνται σε σήραγγες είναι τα συστήματα καταστολής πυρκαγιάς (με νερό/αφρό κ.ά.), τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω, και τα συστήματα εξαερισμού. Οι δυνατότητες των συστημάτων εξαερισμού θα αναλυθούν ξεχωριστά στο επόμενο κεφάλαιο λόγω της σημαντικότητάς τους, τόσο σαν μέθοδος περιορισμού/καταστολής όσο και λόγω της ενεργού συμμετοχής του μηχανικού αυτοματισμών στην τοποθέτηση, ρύθμιση και λειτουργία τους.

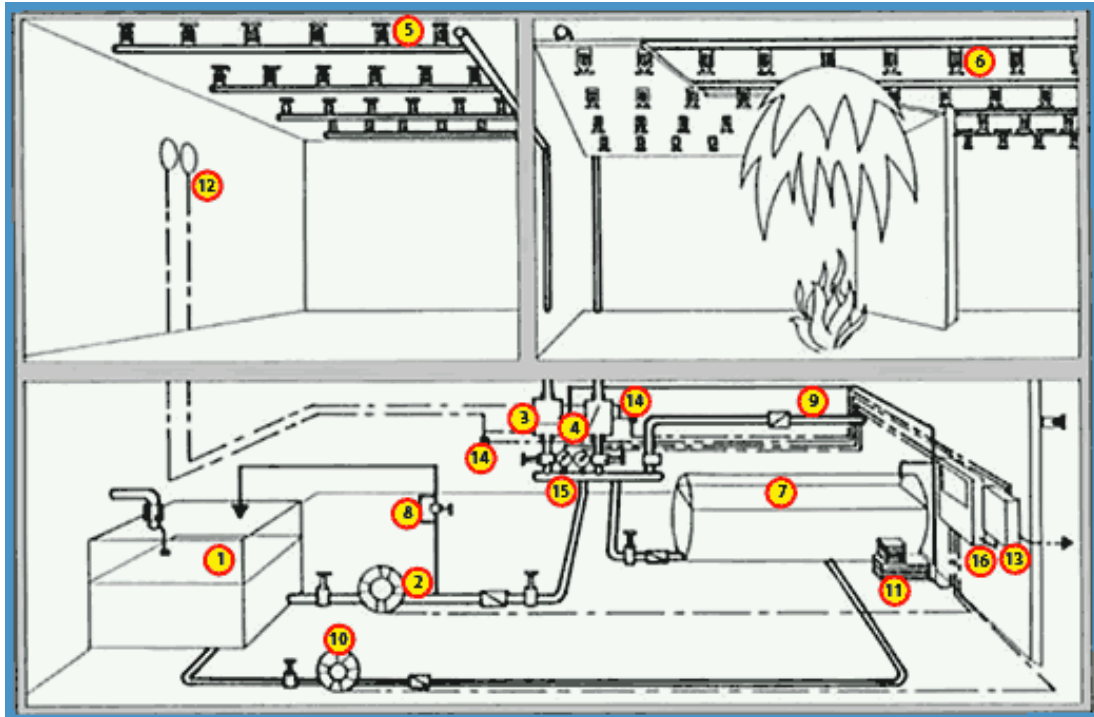
Τα συστήματα καταστολής περιλαμβάνουν ψεκαστήρες νερού (sprinklers), συστήματα κατακλυσμού (deluge systems) και συστήματα ομίχλης νερού (Rhodes [25]). Παρακάτω θα αναφέρουμε τα βασικά στοιχεία καθενός από τα παραπάνω συστήματα καταστολής.

### **3.4.1 Ψεκαστήρες νερού/Καταιωνηστήρες (Sprinklers)**

Ένα σύστημα καταιωνιστήρων φωτιάς (βλ. Σχήμα 3-3) είναι ένα ενεργό μέτρο πυροπροστασίας, που αποτελείται από ένα σύστημα παροχής νερού, το οποίο παρέχει επαρκή πίεση και ροή σε ένα σύστημα σωληνώσεων διανομής νερού, πάνω στο οποίο συνδέονται ψεκαστήρες. Κάθε κεφαλή καταιωνισμού κρατείται κλειστή είτε με ένα θερμοευαίσθητο γυάλινο βολβό ή ένα μεταλλικό σύνδεσμο δύο μερών που κρατούνται μαζί με εύτηκτο κράμα (βλ. Σχήμα 3-2). Ο γυάλινος βολβός ή ο μεταλλικός σύνδεσμος εφαρμόζει πίεση σε ένα πώμα το οποίο δρα ως βύσμα το οποίο εμποδίζει το νερό από το να ρέει μέχρις ότου η θερμοκρασία περιβάλλοντος γύρω από τον ψεκαστήρα φτάσει τη θερμοκρασία σχεδιασμού ενεργοποίησης της μεμονωμένης κεφαλής ψεκαστήρα. Σε ένα πρότυπο σύστημα, κάθε ψεκαστήρας ενεργοποιείται ανεξάρτητα όταν το προκαθορισμένο επίπεδο θερμότητας έχει επιτευχθεί. Εξαιτίας αυτού, ο αριθμός των ψεκαστήρων που λειτουργούν περιορίζεται μόνο σε εκείνους κοντά στη φωτιά (στην πραγματικότητα, συνήθως ένας ή δύο θα ενεργοποιηθούν), μεγιστοποιώντας έτσι τη διαθέσιμη πίεση του νερού πάνω από το σημείο προέλευσης της πυρκαγιάς. Αυτό επίσης ελαχιστοποιεί τη ζημιά νερού στο κτίριο. Επιπλέον η ενεργοποίηση των καταιωνιστήρων θα κάνει λιγότερη ζημιά από ό, τι η μάνικα της πυροσβεστικής η οποία έχει παροχή περίπου 900 lt/min, καθώς ο τυπικός ψεκαστήρας που χρησιμοποιείται έχει παροχή περίπου 75-150 lt/min. Φυσικό πλεονέκτημα είναι η γρήγορη ενεργοποίηση (1-4min) σε σχέση με την επέμβαση της πυροσβεστικής (περίπου 15min).



**Σχήμα 3-2: Καταιωνηστήρας (Sprinkler)**



**Σχήμα 3-3: Συνήθης διαμόρφωση συστήματος ψεκαστήρων νερού**

1. Κύρια δεξαμενή νερού
2. Κύρια αντλία νερού
3. Κύρια πιλοτική βαλβίδα (στεγνή)
4. Πιλοτική βαλβίδα (υγρή)
5. Κεφαλή καταιονισμού - όρθια διαμόρφωση
6. Κεφαλή καταιονισμού - αναρτώμενη διαμόρφωση
7. Δεξαμενή πίεσης
8. Σωληνώσεις δοκιμών
9. Σωληνώσεις δοκιμών
10. Σωληνώσεις πλήρωσης
11. Συμπιεστής
12. Κώδωνας κινδύνου
13. Προς πυροσβεστική υπηρεσία
14. Κώδωνας κινδύνου
15. Μανόμετρο
16. Ηλεκτρολογικός πίνακας

### **3.4.2 Συστήματα κατακλυσμού**

Τα συστήματα «κατακλυσμού» είναι συστήματα στα οποία όλοι οι ψεκασθήρες που συνδέονται με το σύστημα σωληνώσεων νερού είναι ανοικτοί, από το ότι το λειτουργικό στοιχείο ανιχνεύσεως θερμότητας έχει «αφαιρεθεί». Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται για ειδικές περιπτώσεις, όπου η ταχεία εξάπλωση πυρκαγιάς είναι μια πιθανότητα, καθώς παρέχουν μια ταυτόχρονη εφαρμογή του νερού σε όλη την επικίνδυνη περιοχή. Δηλαδή, με άλλα λόγια, το νερό ρέει από όλους τους ψεκασθήρες ταυτόχρονα. Τέτοια συστήματα εγκαθίστανται, μερικές φορές, σε διαδρόμους εξόδου προσωπικού ή σε ανοίγματα του κτιρίου για να επιβραδύνει τη μεταφορά της φωτιάς (π.χ. ανοίγματα σε ένα τοίχο ανθεκτικό σε φωτιά) και να βοηθήσει στην εκκένωση του χώρου.

Το νερό δεν είναι παρόν στη σωλήνωση μέχρις ότου το σύστημα ενεργοποιηθεί. Επειδή τα στόμια των ψεκασθήρων είναι ανοικτά, η σωλήνωση είναι σε ατμοσφαιρική πίεση. Για να αποφευχθεί η πίεση της τροφοδοσίας από το να αναγκάσει το νερό να εισέλθει εντός της σωλήνωσης, χρησιμοποιείται μία μηχανικά μανταλωμένη βαλβίδα (βαλβίδα κατακλυσμού) στη σύνδεση παροχής νερού. Πρόκειται για μια μη επαναφερόμενη (αυτόματα) βαλβίδα, η οποία παραμένει ανοιχτή μετά την ενεργοποίηση.

Επειδή έχουν αφαιρεθεί τα θερμοευαίσθητα αισθητήρια/πώματα που υπάρχουν στους αυτόματους καταιωνηστήρες (με αποτέλεσμα οι ψεκασθήρες να είναι ανοικτοί), η βαλβίδα κατακλυσμού πρέπει να ανοίξει, παίρνοντας σήμα από ένα σύστημα συναγερμού πυρκαγιάς. Ο συναγερμός πυρκαγιάς ενεργοποιείται με κάποια από τις κλασσικές μεθόδους ανίχνευσης (π.χ. για σήραγγες: ανιχνευτές θερμότητας, ανιχνευτές αναρρόφησης καπνού, ή οπτικούς ανιχνευτές φλόγας). Ο αισθητήρας σηματοδοτεί την έναρξη του συναγερμού πυρκαγιάς, η οποία με τη σειρά της δίνει σήμα στη βαλβίδα για να ανοίξει. Η ενεργοποίηση μπορεί επίσης να είναι χειροκίνητη, ανάλογα με τις προδιαγραφές του συστήματος.

### **3.4.3 Συστήματα ομίχλης νερού**

Τα συστήματα ομίχλης νερού (βλέπε Σχήμα 3-4) χρησιμοποιούνται για ειδικές εφαρμογές στις οποίες αποφασίζεται ότι η δημιουργία ενός θερμικά απορροφητικού ατμού είναι ο πρωταρχικός στόχος. Αυτός ο τύπος συστήματος χρησιμοποιείται τυπικά όπου η ζημιά από τη ρίψη νερού υπερβαίνει το εγκεκριμένο κόστος (π.χ. ασφαλιστικό), ή όταν η παροχή νερού είναι περιορισμένη. Το αμερικάνικο πρότυπο NFPA 750 ορίζει την ομίχλη νερού ως ένα ψεκασμό ύδατος με μέγεθος σταγονιδίων «λιγότερο από 1000microns στην ελάχιστη πίεση λειτουργίας του ακροφυσίου εκκένωσης». Το μέγεθος των σταγονιδίων μπορεί να ελεγχθεί με τη ρύθμιση της πίεσης εκκένωσης μέσω ρύθμισης του σταθερού μεγέθους στομίου των ακροφύσιων. Με τη δημιουργία νέφους/ομίχλης, ίσος όγκος νερού θα

δημιουργήσει μια μεγαλύτερη συνολική επιφάνεια έκθεσης στη φωτιά. Η μεγαλύτερη συνολική επιφάνεια διευκολύνει την μεταφορά της θερμότητας, επιτρέποντας έτσι περισσότερο σταγονίδια νερού να μετατραπούν σε ατμό στον ίδιο χρόνο. Τότε ο ατμός, ο οποίος απορροφά περισσότερη θερμότητα από το νερό ανά μονάδα χρόνου, θα ψύξει πιο αποτελεσματικά το χώρο, μειώνοντας έτσι τη θερμοκρασία της φλόγας.

Τα συστήματα ομίχλης νερού μπορούν να λειτουργήσουν κατά παρόμοιο τρόπο με τα συστήματα κατακλυσμού. Η διαφορά είναι ότι ένα σύστημα ομίχλης νερού χρησιμοποιεί ένα συμπιεσμένο αέριο ως μέσο εξαέρωσης (ατμοποίησης), το οποίο αντλείται διαμέσου του σωλήνα καταιονισμού. Τα συστήματα ομίχλης μπορούν να εφαρμοστούν είτε με κατά τόπους μέθοδο εφαρμογής ή με ταυτόχρονο πλημμύρισμα του συνολικού χώρου υπό την επίδραση αυτών, παρόμοια με συστήματα κατακλυσμού χώρου με αδρανή αέρια.



**Σχήμα 3-4: Σύστημα καταστολής πυρκαγιάς με ομίχλη νερού**

#### **3.4.4 Ζητήματα χρήσης συστημάτων ενεργής καταστολής/πυροπροστασίας**

Το ζήτημα της χρήσης των συστημάτων καταστολής σε σήραγγες παραμένει ένα θέμα μεγάλης συζήτησης. Οι υποστηρικτές τους τείνουν να ισχυρίζονται ότι οι ψεκαστήρες θα προστατεύουν ενεργά την δομική ακεραιότητα των σηράγγων, σε περίπτωση πυρκαγιάς, και θα δίνουν τον απαραίτητο χρόνο διαφυγής στους επιβαίνοντες. Οι αντίπαλοί τους υποστηρίζουν ότι τα συστήματα πιθανώς δεν θα σβήσουν μια πυρκαγιά οχήματος (π.χ. αν ένα αυτοκίνητο καίγεται το νερό δεν θα εισέλθει στο εσωτερικό του, κρυώνοντας μόνο το εξωτερικό περίβλημα) και ότι δεν θα αποτρέψουν μελλοντική ανάφλεξη εύφλεκτων αερίων (ατμοί διαρρεόντων υγρών καυσίμων) τα οποία μπορεί ακόμη και να

φτάσουν σε κρίσιμη εκρηκτική συγκέντρωση αν δεν εκτονωθούν μέσω καύσης. Ωστόσο, ορισμένες χώρες απαιτούν εγκατάσταση συστημάτων καταστολής νερού αν και γενικά δεν συνιστανται για χρήση σε οδικές σήραγγες. Η Παγκόσμια Ένωση Οδικών Μεταφορών (PIARC) σε έκθεση, το 1999, της με τίτλο «Φωτιά και Έλεγχος Καπνού σε Οδικές Σήραγγες» [26] συνοψίζει τις συστάσεις του με το ακόλουθο:

*«Καμία ευρωπαϊκή χώρα δεν χρησιμοποιεί καταιωνηστήρες σε τακτική βάση. Σε ορισμένες σήραγγες στην Ευρώπη έχουν χρησιμοποιηθεί για ειδικούς σκοπούς. Στην Ιαπωνία χρησιμοποιούνται σε σήραγγες με μεγάλο μήκος ή σημαντική κίνηση για να ψύξουν φλεγόμενα οχήματα. Στις Ηνωμένες Πολιτείες μόνο λίγες σήραγγες μέσα από τις οποίες μεταφέρονται επικίνδυνα φορτία έχουν κάποια μορφή ψεκαστήρων. Ο λόγος για τον οποίο οι περισσότερες χώρες δεν χρησιμοποιούν ψεκαστήρες σε σήραγγες είναι ότι οι περισσότερες πυρκαγιές ξεκινούν στο χώρο του κινητήρα ή στην καμπίνα του οδηγού, και οι ψεκαστήρες δεν παρουσιάζουν καμία χρησιμότητα έως ότου η φωτιά είναι σε ανοιχτό χώρο. Εμπειρίες από την Ιαπωνία δείχνουν ότι ψεκαστήρες είναι αποτελεσματικοί στην ψύξη στον χώρο γύρω από μια πυρκαγιά, έτσι ώστε η πυρόσβεση μπορεί να γίνει πιο αποτελεσματική.*

Ωστόσο, η χρήση των καταιωνηστήρων εγείρει έναν αριθμό προβλημάτων τα οποία συνοψίζονται στα ακόλουθα σημεία:

- Το νερό μπορεί να προκαλέσει έκρηξη σε βενζίνη και άλλες χημικές ουσίες, αν δεν συνδυαστεί με τα κατάλληλα πρόσθετα.
- Υπάρχει ο κίνδυνος ότι η φωτιά θα σβήσει, αλλά εύφλεκτα αέρια θα εξακολουθούν να παράγονται και μπορούν να φτάσουν σε κρίσιμη συγκέντρωση προκαλώντας έκρηξη.
- Ο εξατμιζόμενος ατμός μπορεί να βλάψει τους ανθρώπους.
- Η απόδοση είναι χαμηλή για τις πυρκαγιές μέσα σε οχήματα.
- Το στρώμα καπνού ψύχεται και αποστρωματοποιείται, καλύπτοντας έτσι ολόκληρο το τούνελ (και όχι μόνο την οροφή).
- Η συντήρηση μπορεί να είναι δαπανηρή.
- Οι ψεκαστήρες είναι δύσκολο να χειριστούν χειροκίνητα.
- Η ορατότητα θα είναι μειωμένη κατά τη χρήση τους.

Κατά συνέπεια, οι καταιωνηστήρες δεν πρέπει να χρησιμοποιηθούν πριν να εκκενωθούν όλοι οι άνθρωποι. Με βάση αυτά τα δεδομένα, οι καταιωνηστήρες δεν μπορούν να θεωρηθούν ως ένας εξοπλισμός χρήσιμος για να σώσει ζωές. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για την προστασία της σήραγγας δεδομένου ότι έχει ολοκληρωθεί η εκκένωση.»

Έχει υποστηριχθεί ότι η ενεργοποίηση του συστήματος καταστολής του νερού σε μια σήραγγα δεν πρέπει ποτέ να είναι αυτόματη. Ορισμένοι υποστηρίζουν ότι θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο από αρμόδιο πρόσωπο αφότου (και μόνο αφότου) είναι γνωστό ότι όλοι οι άνθρωποι έχουν απομακρυνθεί από τον καπνό στη σήραγγα (Day [27]). Έτσι τα συστήματα καταστολής του νερού είναι καθαρά συσκευές προστασίας της σήραγγας από πυρκαγιά, και δεν αποτελούν συστήματα διασφάλισης ανθρώπινων ζωών.

Ωστόσο, παρ' όλα αυτά, κάποιες σήραγγες έχουν αυτόματα συστήματα καταστολής νερού. Για παράδειγμα, οι σήραγγες First Hill και Mt Baker, στην πολιτεία της Ουάσινγκτον (ΗΠΑ), έχουν εγκατεστημένα συστήματα κατακλυσμού αφρού-νερού τα οποία ενεργοποιούνται αυτόματα 1 λεπτό μετά την ενεργοποίηση του συναγερμού εκτός αν παρέμβει ο διαχειριστής της σήραγγας (Egilsrud [28]).

Σε άλλες περιπτώσεις σιηράγγων (κυρίως τρένων) με μεγάλη κίνηση επικίνδυνων εμπορευμάτων έχουν εγκατασταθεί αυτόματα συστήματα κατακλυσμού αφρού-νερού σε συνδυασμό με τη λογική χρήσης ενός εκτεταμένου (και καλά συντηρημένου) συστήματος αποχέτευσης όμβριων υδάτων. Ένας αριθμός πειραματικών δοκιμών διεξήχθησαν για τον προσδιορισμό των δυνατοτήτων του συστήματος κατακλυσμού καθώς και του ενδεδειγμένου μείγματος αφρού-νερού. Οι δοκιμές αυτές έδειξαν ότι το σύστημα κατακλυσμού ήταν ικανό στη κατάσβεση διαρροών καυσίμων και ότι ο συνδυασμός του συστήματος κατακλυσμού και του συστήματος αποχέτευσης εξασφαλίζει ότι δεν θα είναι δυνατό να επέλθει επανανάφλεξη του υγρού καυσίμου ή των ατμών του. Οι δοκιμές έδειξαν επίσης ότι το νερό του συστήματος καταιονισμού ήταν αρκετό, από μόνο του για την προστασία της δομικής ακεραιότητας του σκυροδέματος χωρίς την ανάγκη για πρόσθετη παθητική πυροπροστασία (Timmer [29]).

Παρ' όλες τις δοκιμές οι επικριτές του παραπάνω συστήματος (Macdonald [30]) εξέφρασαν την άποψη ότι το σύστημα αυτό έχει σχεδιαστεί για να προστατεύει τη δομική ακεραιότητα της σήραγγας σε βάρος των ανθρώπινων ζωών. Οι υποστηρικτές του συστήματος διατείνονται ότι το σύστημα μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία, με την προϋπόθεση ότι το προσωπικό (σε περίπτωση σιηράγγων τρένων) είναι εκπαιδευμένο και εξοπλισμένο με αναπνευστικές συσκευές και συσκευές προσωπικής ασφάλειας και ότι οι σήραγγες όπου θα χρησιμοποιείται το σύστημα είναι εξοπλισμένες με θυρίδες διαφυγής έκτακτης ανάγκης για τη διαφυγή των ανθρώπων σε περιβάλλον χωρίς καπνό.



Ένας από τους βασικούς υποστηρικτές των συστημάτων καταιονισμού σε επίπεδο χώρας είναι η Αυστραλία η οποία είναι ίσως η μόνη χώρα στον κόσμο όπου τα συστήματα κατακλυσμού είναι στάνταρ σε όλες τις νέες οδικές σήραγγες και θεωρείται ως ένα σύστημα προστασίας ζωής και όχι ως ένα σύστημα πυροπροστασίας της κατασκευής.

Εν πάση περιπτώσει πολλές από τις συστάσεις PIARC [31] βασίζονται στην κρίση εμπειρογνομόνων και όχι σε πειραματικές ή λειτουργικές παρατηρήσεις. Οπότε σε συνέδρια, παρουσιάστηκαν επιχειρήματα, εναντίον των συστάσεων PIARC, με βάση την επιχειρησιακή εμπειρία. Είναι προφανές ότι η συνολική γνώμη των εμπειρογνομόνων δεν είναι τόσο έντονα κατά των συστημάτων καταιονισμού/κατακλυσμού. Εν τούτοις η επίσημη στάση της PIARC παραμένει όπως παρουσιάστηκε παραπάνω.

### **3.4.5 Πειραματική αξιολόγηση των συστημάτων καταστολής νερού**

Σε δοκιμές συστημάτων καταιονισμού αφρού-ύδατος [32] προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η αποτελεσματικότητα του συστήματος καταιονισμού αφρού-ύδατος δεν επηρεάζεται αρνητικά από διαμήκη ροή αέρα μέχρι και 4 m/s (ασθενής άνεμος-3 beaufort).
- Οι ψεκαστήρες οροφής μπορούν να σβήσουν ανοιχτές φωτιές έως 20MW μέσα σε 30 δευτερόλεπτα.
- Οι επιτοίχιοι ψεκαστήρες χρειάζονται περίπου 2.5 λεπτά για να σβήσουν φωτιές 50-100MW. Ο αυξημένος χρόνος οφείλεται στις υψηλότερες τιμές απελευθέρωσης θερμότητας των πυρκαγιών καθώς και, πιθανώς, τη χαμηλότερη πυκνότητα εκκένωσης του νερού (όσο αυξάνεται η απόσταση από τον τοίχο, τόσο μειώνεται η πυκνότητα).

Παρά το γεγονός ότι οι ψεκαστήρες αφρού-νερού έχουν αποδειχθεί ότι είναι σε θέση να σβήσουν τις ανοιχτές πυρκαγιές, δεν έχουν αποδειχθεί τόσο επιτυχημένοι σε δοκιμές πυρκαγιάς οχημάτων (Arvidson [33]). Σε δοκιμές φωτιάς με μακέτες ΒΦΟ, αποδείχτηκε ότι το σύστημα ψεκαστήρων νερού, με χρόνο ενεργοποίησης περίπου 90s μετά την ανάφλεξη της πυρκαγιάς, δεν ήταν ικανό να σβήσει τη φωτιά (Arvidson [34]). Το συμπέρασμα από αυτή τη δοκιμή ήταν ότι η μείωση της θερμοκρασίας ήταν σχετικά περιορισμένη, παρά την ενεργοποίηση του συστήματος καταιονισμού.

Όσον αφορά τα συστήματα ομίχλης νερού παρατηρείται μία αύξησή τους στο προσκήνιο τα τελευταία χρόνια. Περισσότερο χρησιμοποιούνται ως μέτρα πυροπροστασίας/καταστολής σε πολλούς τύπους θαλάμων, κυρίως σε πλοία (Arvidson [33]). Σύμφωνα με πειραματικά δεδομένα από δοκιμές του

Τεχνικού Κέντρου Ερευνών της Φινλανδίας (VTT) όσον αφορά συστήματα ομίχλης νερού σε πυρκαγιές σε τούνελ [35], βγαίνουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Η επιλογή του προσθέτου αφρού (εάν υπάρχει) είναι σημαντική.
2. Η συγκέντρωση του νέφους είναι σημαντική. Υψηλότερες συγκεντρώσεις δεν είναι τόσο αποτελεσματικές, ενώ προφανώς το ίδιο ισχύει και με πολύ χαμηλές.
3. Ανοιχτές πυρκαγιές δεν δύναται να σβήσουν από ομίχλη νερού με πρόσθετα αφρού. Ωστόσο, καταστέλλονται όσον αφορά την έντασή τους και, επιπρόσθετα, ο αφρός εμποδίζει την ανάπτυξη πυρκαγιάς ακόμη και μετά την απενεργοποίηση της ομίχλης.
4. Πυρκαγιές οχημάτων μπορούν να ελεγχθούν, αλλά όχι να εξουδετερωθούν πλήρως, από συστήματα νέφους νερού.

Γενικά υπάρχει η πεποίθηση ότι τα συστήματα ψεκασμού νερού δεν είναι τόσο αποτελεσματικά σε καλά αεριζόμενες συνθήκες, όπως, για παράδειγμα, είναι οι οδικές σήραγγες, όσο σε πυρκαγιές σε κλειστούς θαλάμους (Arvidson [33]). Ωστόσο, τα αποτελέσματα μιας σειράς τεστ καταστολής πυρκαγιάς οχημάτων που έγιναν σε σήραγγα δύο λωρίδων (2001), αντικρούουν αυτή την υπόθεση (Reichsthaler [36]). Τα κριτήρια για την επιτυχία αυτών των δοκιμών ήταν τα εξής:

- Η θερμοκρασία 5m από την καύση ενός ΒΦΟ δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τους 250 °C, δηλαδή ότι η φωτιά δεν θα εξαπλωθεί σε παρακείμενο όχημα.
- Η θερμοκρασία 20m από τη φωτιά δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τους 50 °C, δηλαδή, ότι η πυροσβεστική υπηρεσία μπορεί να έχει εύκολη πρόσβαση στην φωτιά για την κατάσβεσή της.
- Η θερμοκρασία 10mm μέσα στο σκυρόδεμα της οροφής δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 100 °C, δηλαδή δεν θα μπορούν να επιτευχθούν οι συνθήκες για θρυμματισμό (spalling).

Σε κάθε δοκιμή η φωτιά άναψε χρησιμοποιώντας μια μικρή εστία φωτιάς κάτω από το φορτίο, και υπήρχε μια καθυστέρηση πριν ενεργοποιηθεί το σύστημα ομίχλης νερού. Το σύστημα ψεκασμού νερού στη συνέχεια ενεργοποιήθηκε για 33 λεπτά, χρόνος ο οποίος θεωρείται ότι είναι επαρκής για την άφιξη της πυροσβεστικής υπηρεσίας στο χώρο της πυρκαγιάς στη σήραγγα. Οι δοκιμές έγιναν με διαμήκεις ταχύτητες αερισμού 2, 5 και 6,5 m/s. Επίσης σε μία δοκιμή η φωτιά αφέθηκε ελεύθερη, έτσι ώστε να επιτευχθούν συνθήκες «σταθερής κατάστασης» πριν ενεργοποιηθεί η ομίχλη νερού. Σε κάθε δοκιμή, το σύστημα ψεκασμού νερού/ομίχλης πέρασε επιτυχώς το σύνολο των κριτηρίων (Reichsthaler [36]). Στην πραγματικότητα ξεπέρασαν κάθε προσδοκία, αφού οι θερμοκρασίες 5m από τη φωτιά ήταν περίπου 50 °C και εκείνες μέσα στο σκυρόδεμα δεν αυξήθηκαν σημαντικά πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

### **3.4.6 Εναλλακτικό σύστημα καταστολής πυρκαγιάς**

Μια άλλη μορφή καταστολής πυρκαγιάς αξίζει να αναφερθεί. Οι υποστηρικτές του συστήματος FirePASS [37] (Fire Prevention And Suppression System – Σύστημα Πρόληψης Και Καταστολής Πυρκαγιάς) ισχυρίζονται ότι είναι σε θέση να αποτρέψει ή ακόμα και να καταστείλει πυρκαγιές σε σήραγγες με έλεγχο του ποσοστού του οξυγόνου στον αέρα της σήραγγας. Ως γνωστόν οι πυρκαγιές μπορούν να αναπτυχθούν στον αέρα, μόνο εάν υπάρχει επαρκές οξυγόνο. Εάν το ποσοστό του οξυγόνου στον αέρα είναι κάτω από το ελάχιστο απαραίτητο, τότε ανάφλεξη ενός καυσίμου δεν είναι δυνατή. Το ποσοστό αυτό αντιστοιχεί σε ποσοστό περίπου 16,8% οξυγόνου στον αέρα σε κανονική θερμοκρασία και πίεση (Kotliar [41]). Ωστόσο, είναι δυνατόν για τους ανθρώπους να αναπνεύσουν σε επίπεδα οξυγόνου αρκετά λιγότερο από αυτό το όριο. Το σημαντικό όριο θεωρείται το 16,2% ποσοστό οξυγόνου (σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης) κάτω από το οποίο σβήνουν και οι ήδη υπάρχουσες φωτιές.

Το σύστημα FirePASS λειτουργεί προληπτικά με την ακόλουθη λογική. Μια σήραγγα (σε αυτή την περίπτωση πιθανώς μια ηλεκτρική σιδηροδρομική σήραγγα) είναι εξοπλισμένη με πόρτες σε κάθε άκρο, που ανοίγουν για να επιτρέψουν τρένα να εισέρχονται ή να εξέρχονται, αλλά παραμένουν κλειστές όλο το υπόλοιπο χρονικό διάστημα. Σε συνδυασμό με το σύστημα εξαερισμού, το σύστημα FirePASS διατηρεί τα επίπεδα οξυγόνου στο τούνελ σε περίπου 15-16% (ή και ακόμη χαμηλότερα σε καταστάσεις υψηλού κινδύνου). Αυτό εξασφαλίζει ότι η ανάφλεξη της φωτιάς δεν είναι δυνατή στη σήραγγα. Εάν οι σήραγγες έχουν πολύ μεγάλο μήκος μπορεί να υπάρχουν και πόρτες διαφράγματα ανάμεσα από συγκεκριμένα διαμερίσματα, η θέση των οποίων μπορεί να προκύψει μετά από τοπογραφικές μελέτες και προσομοιώσεις του συστήματος εξαερισμού. Το σύστημα αυτό μπορεί να λειτουργήσει, φυσικά, μόνο στις περιπτώσεις όπου οι πόρτες στα άκρα της σήραγγας θα παραμένουν κλειστές για το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου, δηλαδή μόνο για σήραγγες με χαμηλή συχνότητα της κίνησης.

Η κατάσταση αυτή, όπως είναι λογικό, δεν είναι δυνατή για τις οδικές σήραγγες, όπου τα οχήματα εισέρχονται και εξέρχονται από τη σήραγγα συχνά και χωρίς κεντρικό έλεγχο. Σε αυτή την κατάσταση η χρησιμοποιείται το σύστημα FirePASS με την έννοια της καταστολής. Αυτό το σύστημα τίθεται σε λειτουργία μόνο όταν ανιχνεύεται μια πυρκαγιά. Μόλις ενεργοποιηθεί, η σήραγγα πλημμυρίζεται με «υποξικό» αέρα ο οποίος περιέχει οξυγόνο 10-12%, το οποίο αντικαθιστά πλήρως την ατμόσφαιρα στο εσωτερικό της σήραγγας (ή μέρους της σήραγγας), σβήνοντας την πυρκαγιά μέσα σε λίγα λεπτά και προκαλώντας την εκκένωση των αερίων καύσης. Μια μέτρια εισαγωγή υποξικού μείγματος αέρα (ή παράγοντα αφαίρεσης οξυγόνου) εξακολουθεί να παρέχεται για όσο χρονικό διάστημα απαιτείται για

την εκκένωση της σήραγγας ή την απομόνωση της διαρροής καυσίμου. Υποστηρίζεται ότι αυτό το σύστημα μπορεί να διατηρήσει μία αναπνέουσα ατμόσφαιρα, αποτρέποντας τις φωτιές, σε ελαφρά θετική πίεση, η οποία θα σταματήσει την είσοδο του εξωτερικού αέρα από την υποξικά πλημμυρισμένη περιοχή και προλαμβάνοντας έτσι μία επανανάφλεξη.

Η προτεινόμενη μέθοδος εγείρει πολλά σημαντικά ερωτήματα, για παράδειγμα, σχετικά με την επίδραση οξυγόνου με ποσοστό μόνο 12% στην αναπνοή (πιθανώς περιέχοντας επίσης υψηλότερα, από το φυσιολογικό, επίπεδα μονοξειδίου του άνθρακα CO) σε διάφορα μέλη του κοινού, τα οποία κυμαίνονται από νεαρές ηλικίες και σε καλή φυσική κατάσταση έως ηλικιωμένους και άτομα με ειδικές ανάγκες. Επίσης, πρέπει να ληφθεί υπόψη και να διερευνηθεί, η επίδραση της χαμηλής σε οξυγόνο ατμόσφαιρας στην ανθρώπινη αντίληψη, την ικανότητα λήψης αποφάσεων και την ικανότητα δυναμικής δράσης στους χρήστες της σήραγγας. Το σύστημα, τέλος, μπορεί επίσης να έχει επιπτώσεις στη λειτουργία των κινητήρων των οχημάτων μέσα στις σήραγγες. Όταν κάποιοι κινητήρες οχημάτων ξαφνικά εισαχθούν σε μειωμένη ατμόσφαιρα οξυγόνου μπορεί να σταματήσουν να λειτουργούν άμεσα, ενώ άλλοι μπορεί να συνεχίσουν να λειτουργούν, αλλά παράγοντας σημαντικές ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα. Το τελευταίο είναι ένα κρίσιμο θέμα, σύμφωνα και με δεδομένα πυρκαγιών, όπως του Mont Blanc το 1999, δεδομένου ότι όχι μόνο επηρεάζει την δυνατότητα διαφυγής οχημάτων από το χώρο της εστίας της πυρκαγιάς, αλλά και την αποτελεσματικότητα των οχημάτων της πυροσβεστικής υπηρεσίας.

Μέχρι σήμερα, αυτό το σύστημα έχει εγκατασταθεί μόνο σε κτίρια και αίθουσες ηλεκτρονικών υπολογιστών/server και δεν έχει δοκιμαστεί σε πραγματικές συνθήκες σήραγγας. Εκτεταμένες δοκιμές του συστήματος αυτού απαιτούνται προτού να μπορέσει να συσταθεί για χρήση σε σήραγγες. Τέλος ένας σημαντικός παράγοντας είναι το κόστος της εγκατάστασης. Προτείνεται η τροποποίηση των υπάρχοντων συστημάτων FirePASS για χρήση μείγματος αέρα και όχι ειδικών αερίων, η προμήθεια των οποίων, εγκατάσταση και συντήρησή τους ανεβάζει σημαντικά το κόστος, κυρίως για μεγάλες σήραγγες.

### **3.5 Συμπεράσματα**

Η πυροπροστασία είναι μια αναγκαιότητα στα περισσότερα συστήματα σήραγγων. Έχει έναν ζωτικό ρόλο στη διατήρηση της δομικής ακεραιότητας της σήραγγας σε περίπτωση ατυχήματος μειώνοντας έτσι το κόστος και το χρόνο επισκευής. Επίσης, έχει μεγάλη σημασία στην ασφάλεια κατά απώλειας ζωής ή τραυματισμών. Ωστόσο, μέχρι στιγμής δεν υπάρχουν συστήματα πυροπροστασίας που να θεωρούνται κυρίως συσκευές ασφάλειας ζωής. Οι δυνατότητες εξασφάλισης ανθρώπινης

ακεραιότητας πρέπει να εξεταστούν περαιτέρω. Για παράδειγμα, οι ψεκαστήρες ταχείας απόκρισης μπορεί να έχουν έναν έγκυρο ρόλο, αλλά στο ζήτημα μπλέκεται περισσότερο το θέμα της έγκαιρης ανίχνευσης της εστίας της πυρκαγιάς. Βασικός κανόνας θα πρέπει να είναι για το μηχανικό πυρασφάλειας (ή για το μηχανικό αυτοματισμών που έχει αναλάβει την ευθύνη της μελέτης ή και της εγκατάστασης του συστήματος πυρασφάλειας) ότι όταν επιλέγει ένα προϊόν πυροπροστασίας για χρήση σε μια σήραγγα, θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα για να διασφαλιστεί ότι το προτεινόμενο σύστημα δεν κάνει καμία παραχώρηση στην ασφάλεια της ζωής των χρηστών της σήραγγας, προκειμένου να αυξηθεί η προστασία της δομικής κατασκευής, και άρα των οικονομικών συμφερόντων των μετόχων/ιδιοκτητών της σήραγγας. Στο συγκεκριμένο θέμα δεν υπάρχει μία χρυσή τομή. Η ανθρώπινη ζωή υπερισχύει κάθε οικονομικού συμφέροντος. Και μιλώντας καθαρά τεχνοκρατικά, είναι προτιμότερο να σωθούν ανθρώπινες ζωές και η μελλοντική απασχόληση ενός μηχανικού πυρασφάλειας να έχει σχέση μόνο με μελλοντική επιδιόρθωση και ανακατασκευή της σήραγγας, παρά με ενδεχόμενα κακουργηματικά δικαστήρια, ως φέρον υπαιτιότητα για την απώλεια ζωών.

# 4 Εξαερισμός σήραγγας και Πυρασφάλεια

---

## 4.1 Εισαγωγή

Με βάση γνώσεις που προέρχονται από το γενικό τομέα της μηχανικής, αλλά και εμπειρική γνώση πάνω στη δημιουργία εστιών φωτιάς, πολλή προσοχή έχει δοθεί στο σύστημα εξαερισμού και ιδιαίτερα στη χρήση του για τον έλεγχο της μετακίνησης του καπνού με σκοπό τη διατήρηση διαδρόμων εκκένωσης, χωρίς καπνό, για τους χρήστες της σήραγγας. Ανεξάρτητα από τις μελλοντικές εξελίξεις στα συστήματα ενεργητικής και παθητικής πυροπροστασίας για τις σήραγγες, όπως αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, είναι αναπόφευκτο ότι τα συστήματα εξαερισμού θα συνεχίσουν να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο κατά τη διάρκεια της «μη ομαλής» λειτουργίας μιας σήραγγας, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς, επειδή έχουν αποφασιστική επίδραση στην διαχείριση περιστατικών σε σχέση τόσο με την φάση της εκκένωσης, αλλά και σε μελλοντικές διαδικασίες πυρόσβεσης και διάσωσης. Έτσι, η χρήση τους για την άμβλυση περιστατικών πυρκαγιάς είναι τώρα ένας από τους κύριους λόγους, αν όχι η κυριότερος, κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος εξαερισμού της σήραγγας. Για παράδειγμα το σύστημα εξαερισμού της σήραγγας της Μάγνης αναπτύχθηκε με αυτές τις λειτουργίες κατά νου και στο ανανεωμένο σύστημα του Mont Blanc (μετά το περιστατικό του 1999) έχει δοθεί λεπτομερή προσοχή στον έλεγχο του καπνού. Το παρακάτω συνοψίζουν τη σύγχρονη γνώση σχετικά με την απόκριση των πυρκαγιών σε σήραγγες, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στο κρίσιμο ζήτημα του ελέγχου του καπνού.

## 4.2 Τρόποι λειτουργίας των συστημάτων εξαερισμού σήραγγας κατά τη διάρκεια πυρκαγιάς

Η τρέχουσα εξέλιξη της τεχνολογίας στον εξαερισμό σήραγγων θα περιγραφεί ακολούθως συνοπτικά για τη διευκόλυνση κατανόησης του ζητήματος του εξαερισμού και θα δοθεί, επίσης, μια σύντομη περίληψη των διαφόρων επιλογών σχεδιασμού ως βοήθημα για τη συζήτηση που θα ακολουθήσει. Σε γενικές γραμμές, τα συστήματα εξαερισμού σήραγγας εμπίπτουν σε μία από τις ακόλουθες δύο κατηγορίες: φυσικά και μηχανικά. Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται οι κινήσεις του αέρα που προκαλείται από διαβαθμίσεις θερμοκρασίας ή πίεσης (δηλαδή μετεωρολογικές επιδράσεις) και

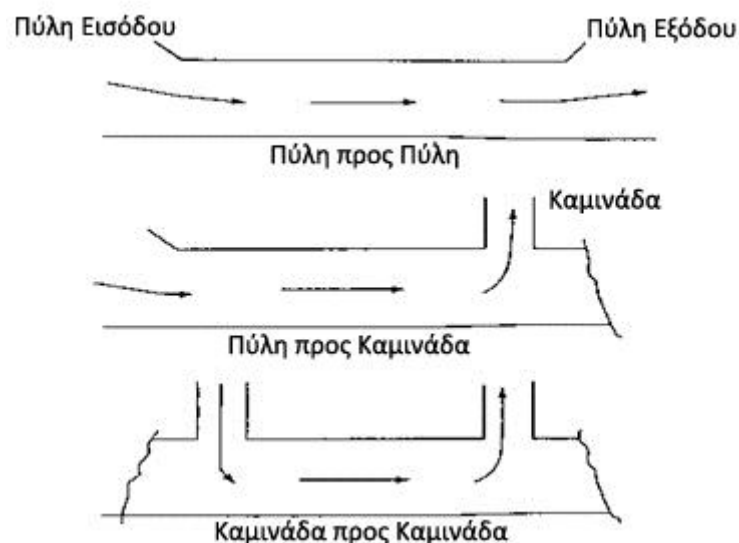
εκείνων που προκαλούνται από την κίνηση μέσα στην ίδια τη σήραγγα. Οι διαμορφώσεις των συστημάτων μηχανικού εξαερισμού περιλαμβάνουν διαμήκη, πλήρως εγκάρσια, ημι-εγκάρσια (και αναστρέψιμη ημι-εγκάρσια), καθώς και μερικώς εγκάρσια, και αποτελούνται από ένα συνδυασμό ανεμιστήρων για τη μετακίνηση του αέρα και των αγωγών/αποσβεστήρων μέσω των οποίων θα κινηθεί στην επιθυμητή θέση.

### 4.3 Τύποι συστημάτων εξαερισμού σύμφωνα με τη ροή του αέρα

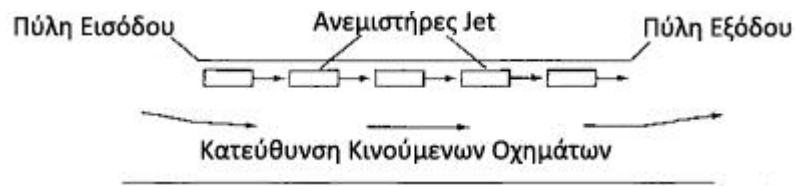
Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι συστημάτων εξαερισμού, σύμφωνα με τη ροή του αέρα, οι οποίοι εφαρμόζονται στις σήραγγες μεταφορών: διαμήκη και εγκάρσια.

#### 4.3.1 Διαμήκη Συστήματα

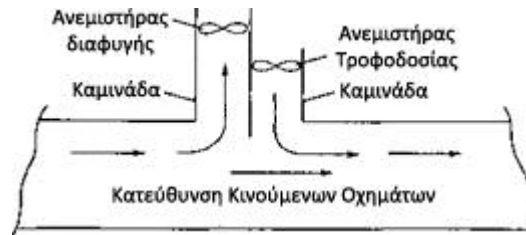
Η ροή του αέρα είναι διαμήκης μέσα από τη σήραγγα και ουσιαστικά μετακινεί τους ρύπους και/ή θερμαινόμενα αέρια μαζί με τον εισερχόμενο φρέσκο αέρα και παρέχει φρέσκο αέρα στην αρχή της σήραγγας ή τμήματος της σήραγγας και εκκενώνει θερμαινόμενο ή μολυσμένο αέρα σε θυρίδα της σήραγγας ή στο τέλος του τμήματος της σήραγγας (βλ. Σχήμα 4-1). Ο διαμήκης αερισμός μπορεί να διαμορφωθεί είτε πύλη προς πύλη, πύλη προς θυρίδα ή θυρίδα προς θυρίδα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-1. Ο εισερχόμενος αέρας στη σήραγγα είναι σε συνθήκες περιβάλλοντος και επηρεάζεται από τους μολυσματικούς ρύπους και τα θερμά αέρια από τα οχήματα που κινούνται μέσω της σήραγγας. Η διαμήκη ροή του αέρα εφαρμόζεται πιο συχνά σε σήραγγες μετρό και σιδηροδρομικές σήραγγες, αλλά εφαρμόζεται και σε οδικές σήραγγες (με ανεμιστήρες-jet – βλ. Σχήμα 4-2) κυρίως όπου εγκάρσια συστήματα είναι δύσκολο να εγκατασταθούν. Στο Σχήμα 4-3 φαίνεται και η διαμήκης διαμόρφωση εξαερισμού με δύο θυρίδες.



Σχήμα 4-1: Διαμήκεις διαμορφώσεις εξαερισμού



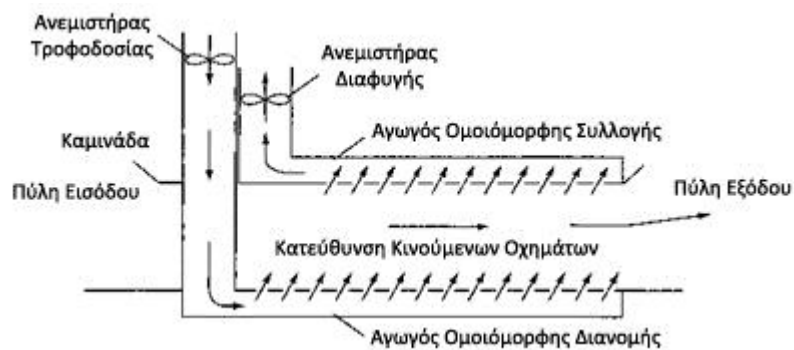
Σχήμα 4-2: Διάμηκες σύστημα εξαερισμού με ανεμιστήρες jet



Σχήμα 4-3 Διάμηκες σύστημα εξαερισμού με δύο θυρίδες

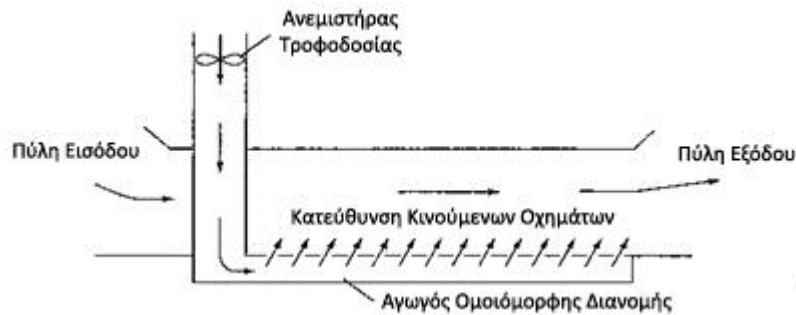
### 4.3.2 Εγκάρσια Συστήματα

Η εγκάρσια ροή δημιουργείται από την ομοιόμορφη κατανομή του φρέσκου αέρα και/ή ομοιόμορφη συγκέντρωση μολυσμένου αέρα κατά μήκος της σήραγγας. Αυτή η μορφή ροής του αέρα χρησιμοποιείται κυρίως σε οδικές σήραγγες, αν και μερικές φορές εφαρμόζεται για ειδικές περιπτώσεις σε σήραγγες μετρό. Η ομοιόμορφη κατανομή και η συλλογή του αέρα σε όλο το μήκος της σήραγγας παρέχει ένα σταθερό επίπεδο θερμοκρασίας και ρύπων σε όλη τη σήραγγα. Το εγκάρσιο σύστημα αερισμού μπορεί να διαμορφωθεί ως πλήρως εγκάρσιο ή ημι-εγκάρσιο (βλ. Σχήματα 4-4, 4-5 και 4-6)

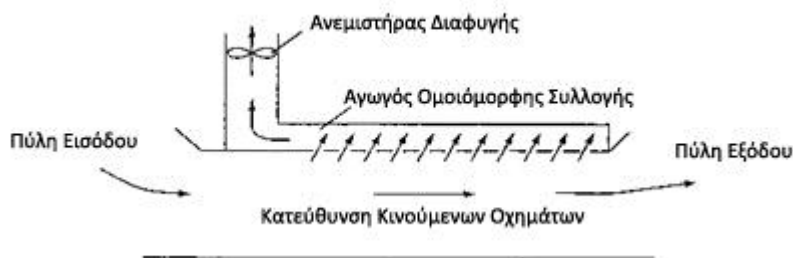


Σχήμα 4-4: Πλήρως εγκάρσιο σύστημα εξαερισμού





Σχήμα 4-5: Ημι-εγκάρσιο σύστημα εξαερισμού παροχής



Σχήμα 4-6: Ημι-εγκάρσιο σύστημα εξαερισμού απορρόφησης

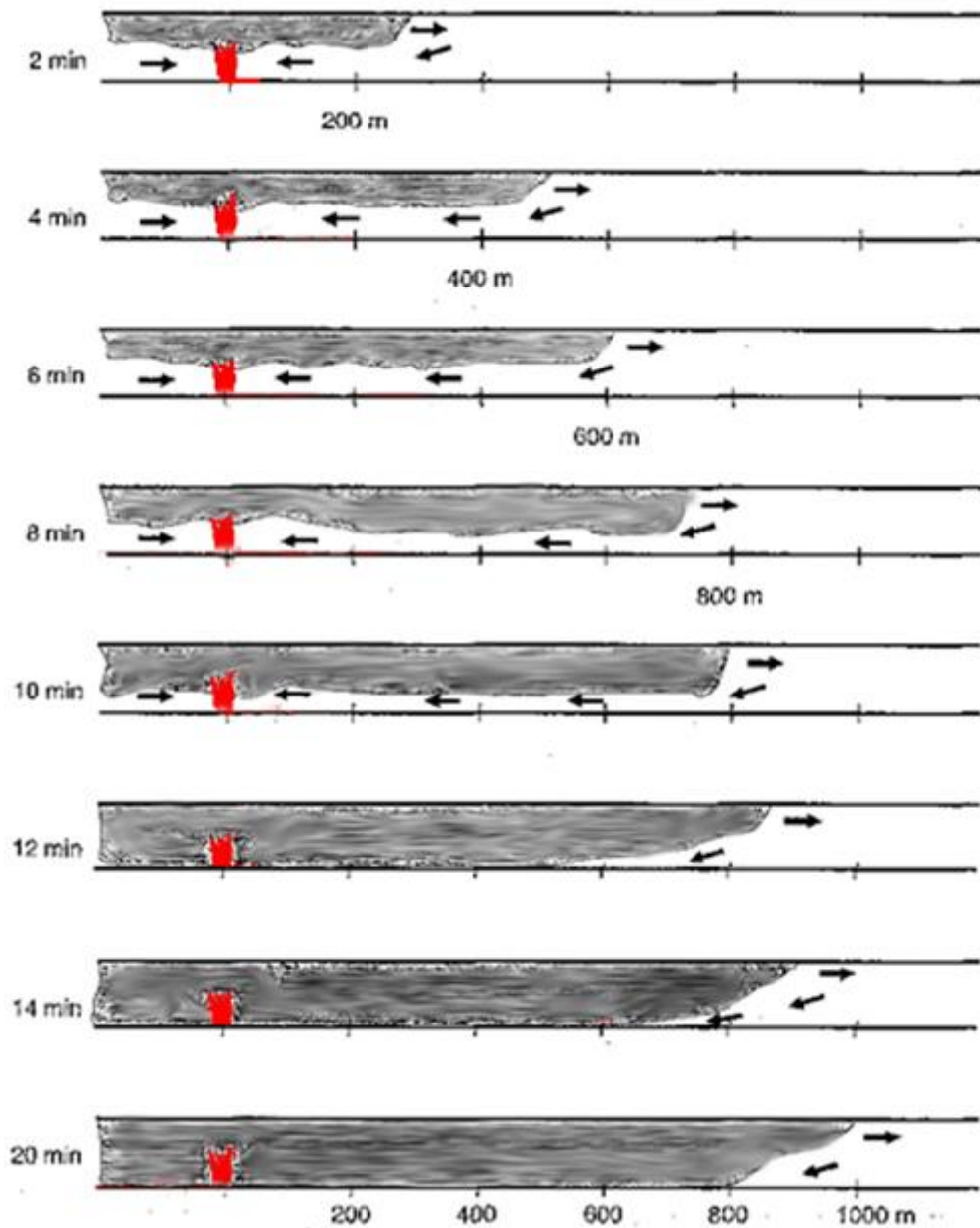
### 4.3.3 Φυσικός εξαερισμός

Ο φυσικός αερισμός χρησιμοποιείται συνήθως σε μικρές σήραγγες, ενώ μηχανικός αερισμός απαιτείται για μεγαλύτερα μήκη. Παρά το γεγονός ότι το όριο μεταξύ «μικρής» και «μεγάλης» σήραγγας είναι κάπως ασαφές, ορισμένες εθνικές κατευθυντήριες γραμμές έχουν καθιερωθεί ως ένα βοήθημα για τους σχεδιαστές [39]. Στη Γερμανία, για παράδειγμα, σήραγγες μεταξύ 350 και 700m σε μήκος, δεν χρειάζονται μηχανική υποστήριξη εξαερισμού, ενώ στο Ηνωμένο Βασίλειο, είναι επιτρεπτό ένα ανώτατο όριο μόνο 400m, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχει επαρκής τεχνική αιτιολόγηση για τη μη χρήση μηχανικού εξαερισμού. Υπό κάποιες συγκεκριμένες προϋποθέσεις οι λεγόμενες «φυσικές κινήσεις» μπορεί να είναι σημαντικές. Για παράδειγμα, σε ένα τούνελ ενός χιλιομέτρου με κλίση 10%, μία ροή περίπου 0,5 l/s μπορεί να δημιουργηθεί λόγω της στατικής διαφοράς πίεσης στις πύλες. Οι ροές που παράγονται από την κίνηση των οχημάτων (φαινόμενο πιστονιού) θα εξαρτηθεί από έναν αριθμό παραγόντων, όπως η ταχύτητα των οχημάτων, η συχνότητα και ιδιαίτερα η εφαρμογή της διατομής του οχήματος στη διατομή της σήραγγας. Τυπικά, για παράδειγμα, οι Torbergson *et al.* [42] ανέφεραν μετρήσεις σε σιδηροδρομική σήραγγα μονής οπής και διαπίστωσαν ότι, κατά το πέρασμα μιας αμαξοστοιχίας με μια διατομή περίπου στο 30% της διατομής της σήραγγας με 44 m/s, η ταχύτητα ροής του αέρα φθάνει περίπου 6,5 m/s και μειώνεται σε βασικά επίπεδα περιβάλλοντος, περίπου, μέσα στα επόμενα 5 λεπτά.

Το ζήτημα του φυσικού εξαερισμού βασίζεται στην παρατήρηση ότι ο θερμός καπνός ανεβαίνει από μια φωτιά προς την οροφή, όπου «στρωματοποιείται» (δηλαδή σχηματίζει ένα διακριτό στρώμα κάτω από την οροφή της σήραγγας) και στη συνέχεια μεταδίδεται διαμήκως μακριά από τη φωτιά. Υποστηρίζεται ότι αυτό το φυσικό φαινόμενο μπορεί να διατηρήσει ένα περιβάλλον επιβιώσιμο για τους χρήστες της σήραγγας σε ένα χαμηλότερο επίπεδο (από το στρώμα του καπνού), διευκολύνοντας έτσι τη διαφυγή τους από το σημείο του συμβάντος, μέχρι κάποια χρονική στιγμή. Αυτή η κατάσταση δείχνεται στο Σχήμα 4-7. Ωστόσο, η χωρική και χρονική έκταση του φαινομένου αυτού είναι εξαιρετικά μεταβλητή, ανάλογα με παράγοντες όπως το μέγεθος πυρκαγιάς και το ρυθμό ανάπτυξής της, τις διαστάσεις της σήραγγας, και την κλίση της, θερμοκρασίες περιβάλλοντος και, ίσως πιο σημαντικό από όλα, στις κινήσεις του ατμοσφαιρικού αέρα (είτε φυσική κίνηση ή επαγόμενη από τα οχήματα), όπως φάνηκε και στην περίπτωση της πυρκαγιάς στο Mont Blanc, το 1999. Αναφορικά στην παραπάνω περίπτωση, το γεγονός ότι η φυσική κίνηση του ανέμου ήταν αντεστραμμένη, εκείνη τη χρονική περίοδο, σε σχέση με τις φυσιολογικές συνθήκες ήταν ένας από τους κρίσιμους παράγοντες που συνέβαλαν στη λήψη λανθασμένων αποφάσεων κατά τη λειτουργία του μηχανικού συστήματος εξαερισμού και τη συνεπακόλουθη απώλεια ζωών από εισπνοή καπνού. Οι κύριοι μηχανισμοί με τους οποίους μειώνεται η άνωση του θερμού στρώματος είναι μεταφορά θερμότητας προς τα ψυχρότερα τοιχώματα σε συνδυασμό με αυξημένη τυρβώδη ανάμιξη στην επαφή με το φρέσκο στρώμα αέρα από κάτω. Δεδομένου ότι και τα δύο αυτά αποτελέσματα είναι ανάλογα με το μήκος της διαδρομής του θερμού στρώματος, είναι σαφές ότι η φυσική στρατηγική αερισμού καθίσταται ολοένα και πιο ριψοκίνδυνη σε μακρύτερες σήραγγες. Πράγματι, η εμπειρία του παρελθόντος δείχνει ότι η σταθερή διαστρωμάτωση των στρωμάτων καπνού σε σήραγγες μπορεί να σπάσει σε σχετικά μικρές αποστάσεις από τη φωτιά, με τον καπνό που στη συνέχεια ανακυκλώνεται στη ζώνη πυρός μετά την ανάμιξη με το ψυχρότερο αέρα κάτωθεν. Σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα, οι συνθήκες μέσα σε λίγες εκατοντάδες μέτρα από τη ζώνη ανάφλεξης μπορεί να έχουν επιδεινωθεί σε σημείο που ούτε εκκένωση ούτε πυρόσβεση είναι δυνατή και η μόνη λύση είναι να αφήσουμε τη φωτιά να σβήσει μόνη της - φέρνοντας απώλειες ζωών δύο και περιουσιακών στοιχείων.

Στην περίπτωση των ιαπωνικών πειραμάτων που αναφέρθηκαν από τον Haerter [43], όπως απεικονίζονται στο Σχήμα 4-7, μπορεί να φανεί ότι η σταθερή διαστρωμάτωση διατηρήθηκε αρχικά για μια απόσταση 400 - 600m από τη φωτιά, αλλά η ανάμιξη και επανακυκλοφορία του καπνού έγινε στη συνέχεια προβληματική. Φαινομενικά, για το συγκεκριμένο συνδυασμό σήραγγας/φωτιάς, ο φυσικός αερισμός μπορεί να είναι μια βιώσιμη επιλογή δεδομένου ότι η εστία της φωτιάς δεν είναι ποτέ περισσότερο από 400-600m από την πύλη. Εναλλακτικά, όπου είναι εφικτό, φρεάτια εξαερισμού μπορεί να τοποθετούνται σε κατάλληλα διαστήματα κάτω από τη σήραγγα για να αφαιρείται ο καπνός πριν γεμίσει όλο το ύψος της σήραγγας (Viot [44]). Για μεγαλύτερες αποστάσεις μετακινήσεων καπνού,

η προσέγγιση κρίνεται αναξιόπιστη καθώς η σταθερή διαστρωμάτωση μπορεί να καταρρεύσει πριν το στρώμα καπνού να έχει την ευκαιρία να διαφύγει στην ατμόσφαιρα.



Σχήμα 4-7: Διαστρωμάτωση καπνού σε μια σήραγγα που περιέχει  $4\text{m}^2$  επιφάνεια φωτιάς βενζίνης με ταχύτητα ατμοσφαιρικού αέρα  $<0,5\text{ m/s}$

#### 4.3.4 Μηχανικά συστήματα εξαερισμού

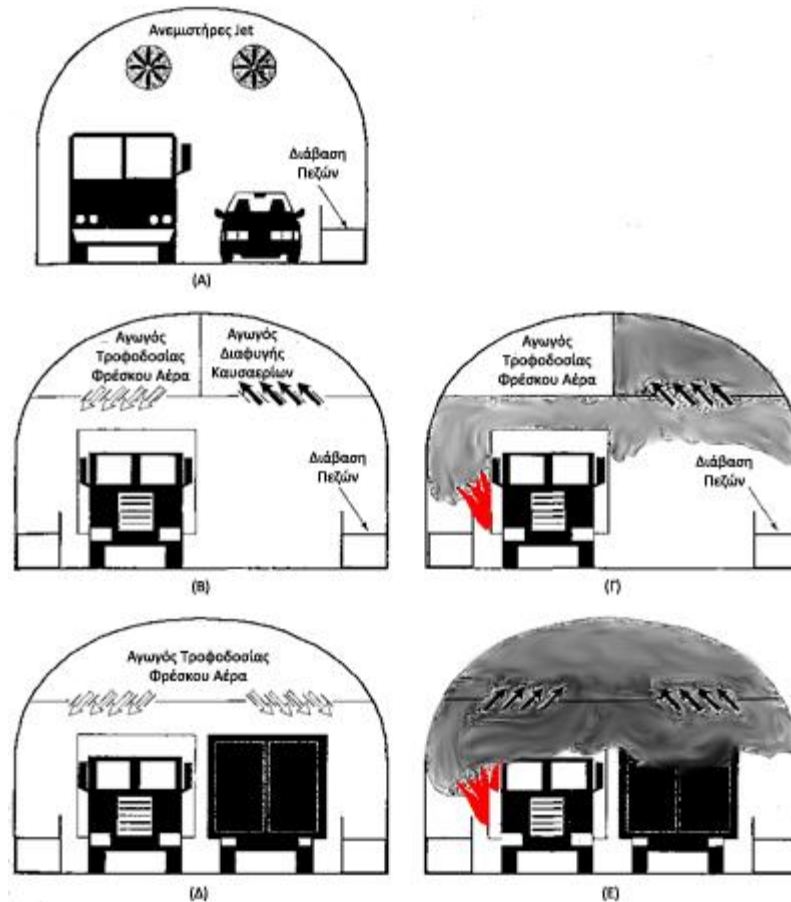
Σε περίπτωση που ενδείκνυται η χρήση μηχανικού εξαερισμού, η τοπική απαγωγή καπνού από τον τόπο του συμβάντος είναι η ιδανική λύση, αφού ουσιαστικά εξαλείφεται η απώλεια ορατότητας κατά τη διάρκεια της εκκένωσης και η επακόλουθη προσέγγιση των πυροσβεστών στην εστία περιορίζεται μόνο από τα επίπεδα ακτινοβολούμενης θερμότητας. Στην περίπτωση των εγκάρσιων συστημάτων εξαερισμού αυτός ο στόχος μπορεί να επιτευχθεί, τουλάχιστον κατ'αρχήν. Ωστόσο, για διαμήκη συστήματα, η εξαγωγή του καπνού είναι δυνατή μόνον όταν το περιστατικό συμβαίνει κοντά στη βάση του άξονα του ανεμιστήρα (υποθέτοντας ότι ο ανεμιστήρας είναι σε θέση να τρέξει σε λειτουργία εξαγωγής). Για διαμήκους ανεμιστήρες τοποθετημένους στην οροφή, τοπική εξαγωγή δεν μπορεί να επιτευχθεί παρά μόνο για την τετριμμένη περίπτωση πυρκαγιάς κοντά σε μια πύλη.

Το πλεονέκτημα και ταυτοχρόνως μειονέκτημα ενός διαμήκους συστήματος είναι ότι ο χώρος διακίνησης λειτουργεί επίσης ως αγωγός εξαερισμού, παρακάμπτοντας έτσι την ανάγκη είτε για μία ξεχωριστή θύρα/οπή εξαερισμού, ή μια σημαντική αύξηση στο μέγεθος της οπής κίνησης (οι ανεμιστήρες είναι συνήθως τοποθετημένοι σε φρέατα εκτός της σήραγγας ή είναι του τύπου ανεμιστήρων-jet με μία σχετικά μικρή διάμετρο, οι οποίοι μπορούν να φιλοξενηθούν σε διαστήματα κατά μήκος της οροφής της σήραγγας). Σε πλήρη εγκάρσια συστήματα, η παροχή φρέσκου αέρα και η εξαγωγή του αέρα συμβαίνει σε όλο το μήκος της σήραγγας μέσω ενός συστήματος ρύθμισης με γρίλιες που εξυπηρετεί δύο χωριστούς θαλάμους στις αντίθετες πλευρές της σήραγγας (συνήθως είτε πάνω από μια ψευδοροφή ή κάτω από το επίπεδο του δαπέδου). Στη διάταξη αυτή, τα ποσοστά εισροής και εκροής του αέρα ανά μονάδα μήκους της σήραγγας είναι πανομοιότυπα και τα δύο ρεύματα αέρα δημιουργούν μία ροή στο χώρο κίνησης που είναι κάθετη προς το διαμήκη άξονα της σήραγγας. Τα ημι-εγκάρσια συστήματα είναι παρόμοια με την περίπτωση των πλήρως εγκάρσιων, αλλά χωρίς εξειδικευμένο συλλέκτη καυσαερίων. Ο φρέσκος αέρας προστίθεται στο χώρο κίνησης κατά το μήκος της και ο μολυσμένος αέρας ρέει διαμήκως προς τις πύλες τούνελ όπου εκλύεται στην ατμόσφαιρα. Όπου είναι δυνατή η αντίστροφη ροή, τα ημι-εγκάρσια συστήματα μπορούν να συλλέξουν φρέσκο αέρα για τη σήραγγα μέσω των πυλών, ενώ ο μολυσμένος αέρας εξάγεται κατά το μήκος της σήραγγας. Συνήθως όμως, η αντίστροφη του τρόπου λειτουργίας χρησιμοποιείται μόνο στην περίπτωση μιας φωτιάς στη σήραγγα.

Με ένα εγκάρσιο σύστημα, είναι δυνατόν να εξάγουμε καπνό από τη γειτονιά μια φωτιάς εντός του συλλέκτη καυσαερίων (Chan [45]) (βλέπε Σχήμα 4-8), αλλά ο χειριστής ενός διαμήκους συστήματος δεν έχει τη δυνατότητα τοπικής εξαγωγής ρύπων και καπνού. Ο διαμήκους αερισμός μπορεί, ωστόσο, να χρησιμοποιηθεί για την παροχή καθαρού αέρα πριν από τη θέση της πυρκαγιάς (βλ. Σχήμα 4-9), δημιουργώντας μια οδό διαφυγής, χωρίς καπνό, και να επιτρέψει στις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης να

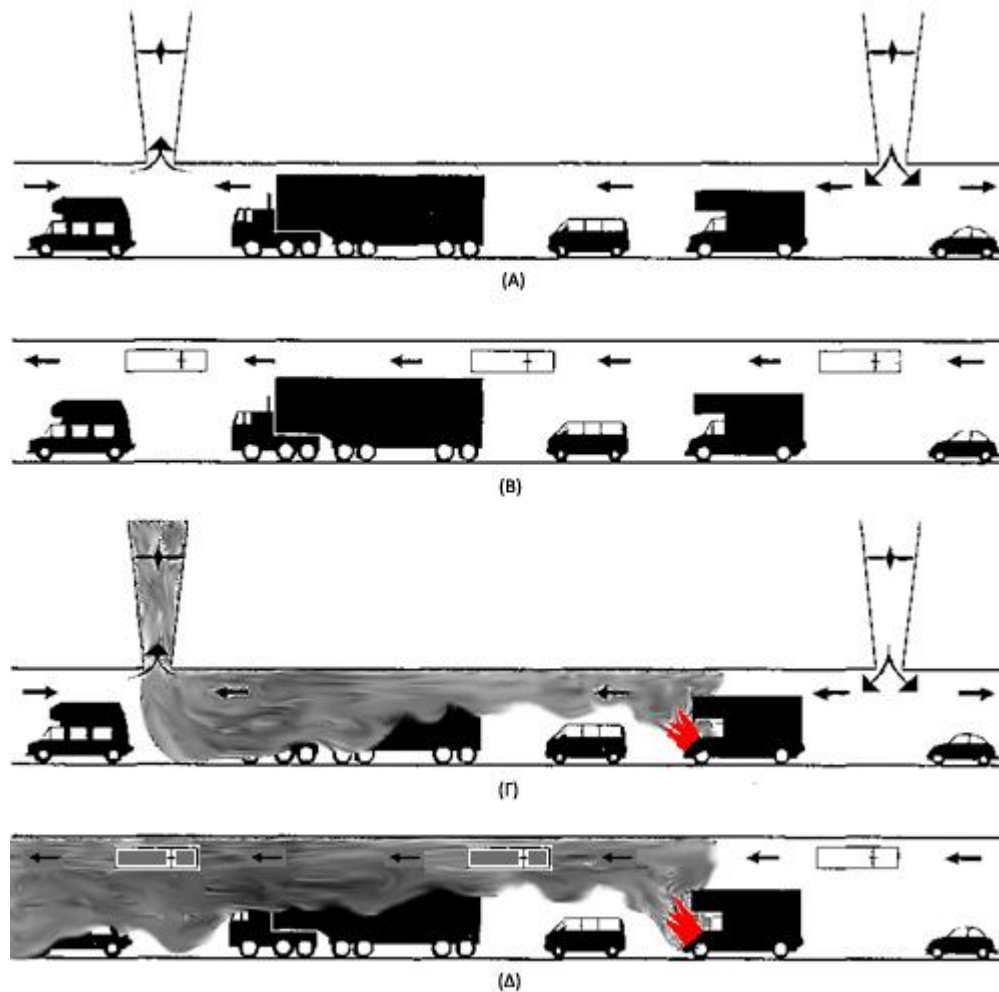
προσεγγίσουν τη φωτιά με τον τρόπο που προτείνεται από τους Fuller [46], Eisner και Smith [47]. Το προφανές μειονέκτημα αυτής της στρατηγικής είναι η πιθανότητα ότι μπορεί να οδηγήσει σε υποβάθμιση του περιβάλλοντος κατόπιν της πυρκαγιάς, όπου μπορεί να εξακολουθούν να είναι παγιδευμένοι άνθρωποι. Το ερώτημα που προκύπτει στη συνέχεια: «ποια διάταξη ανεμιστήρων είναι η καλύτερη;» Δυστυχώς, το ζήτημα των διαδικασιών αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης με πυρκαγιά σε σήραγγες δεν είναι απλό (Vardy [48]). Παρά τα γεγονότα αυτά, η δυνατότητα να παρασχεθεί πραγματικός έλεγχος καπνού παραμένει ένα βασικό στοιχείο στο σχεδιασμό των συστημάτων εξαερισμού της σήραγγας, η ανάγκη για την ύπαρξη του οποίου έχει επιβεβαιωθεί από την εμπειρία και είναι μέσα στο πεδίο εργασίας ενός μηχανικού αυτοματισμών. Πολλά παραδείγματα από σοβαρές πυρκαγιές μέσα σε σήραγγες έχουν καταγραφεί κατά τον τελευταίο μισό αιώνα (Chap [45], [49]-[54]), δεδομένου και της κατακόρυφης αύξησης της συνολικής κίνησης οχημάτων σε τούνελ. Το πλήρες φάσμα των διαμορφώσεων μηχανικού εξαερισμού, καθώς και της ύπαρξης μόνο φυσικού εξαερισμού, εκπροσωπούνται σε όλα αυτά τα περιστατικά. Η ανάλυση των δεδομένων αυτών των γεγονότων αποκαλύπτει μια σταθερή ανάγκη για θετικό έλεγχο του καπνού με σκοπό τη γρήγορη και αποτελεσματική αντιμετώπιση της πυρκαγιάς. Πολλά από τα περιστατικά όπου αυτό δεν ήταν δυνατό, είχε ως αποτέλεσμα την εγκατάλειψη των προσπαθειών πυρόσβεσης με τη φωτιά να έχει αφεθεί να σβήσει μόνη της.

Παρά τα προφανή οφέλη που συνδέονται με την παροχή μιας θετικής παρέμβασης, πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή στη χρήση μηχανισμών εξαερισμού, διότι οι υψηλές ταχύτητες αέρα μπορεί να «αναπτερώσουν τη φωτιά» (Carvel [55]), λόγω παροχής επιπλέον οξυγόνου. Στην περίπτωση της πρόσφατης καταστροφής στην οδική σήραγγα του Mont Blanc, αποδείχθηκε ότι η φωτιά είχε επιδεινωθεί από την ακατάλληλη χρήση του ημι-εγκάρσιου συστήματος εξαερισμού της σήραγγας (Lacroix [53]).



**Σχήμα 4-8: Κοινές διαμορφώσεις εξαερισμού σήραγγας: (Α) διαμήκης εξαερισμός (ανεμιστήρες-jet), (Β) πλήρως εγκάρσιος εξαερισμός (κανονική λειτουργία), (Γ) πλήρως εγκάρσιο αερισμό (λειτουργία έκτακτης ανάγκης σε περίπτωση πυρκαγιάς), (Δ) ημι-εγκάρσιο αερισμό (κανονική λειτουργία), (Ε) ημι-εγκάρσιο αερισμό (λειτουργία έκτακτης ανάγκης σε περίπτωση πυρκαγιάς)**

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το δυσανάλογα υψηλό ποσοστό της παροχής αέρα μέσω των οπών εξαερισμού κατά μήκος του δρόμου δημιούργησε μια υπερβολική διαμήκη ροή του αέρα, η οποία κατά πάσα πιθανότητα ενέτεινε το ποσοστό απελευθέρωσης θερμότητας της πυρκαγιάς. Επιπλέον, ορισμένα από τα αναστρέψιμα ανοίγματα διαφυγής, που βρίσκονταν ψηλά και κοντά στη φωτιά αφέθηκαν σε λειτουργία τροφοδοσίας, αυξάνοντας την παροχή αέρα και έτσι επιταχύνοντας την κατακόρυφη ανάμιξη του θερμού στρώματος καπνού εντός του χώρου κυκλοφορίας στο κατώτερο επίπεδο. Παρά το γεγονός ότι υπήρχαν και άλλοι παράγοντες που οδήγησαν στην ταχεία ανάπτυξη της φωτιάς και του υψηλού ποσοστού παραγωγής καπνού, είναι σαφές ότι το σύστημα εξαερισμού της



**Σχήμα 4-9: Τυπική διαμήκης διάταξη εξαερισμού σε σήραγγες, (Α) διαμήκης εξαερισμός (ανεμιστήρες με κάθετους άξονες), (Β) διαμήκης εξαερισμός (ανεμιστήρες-jet), (Γ) διαμήκης εξαερισμός (ανεμιστήρες με κάθετους άξονες), σε λειτουργία έκτακτης ανάγκης σε περίπτωση πυρκαγιάς, (Δ) διαμήκης εξαερισμός (ανεμιστήρες-jet), σε λειτουργία έκτακτης ανάγκης σε περίπτωση πυρκαγιάς**

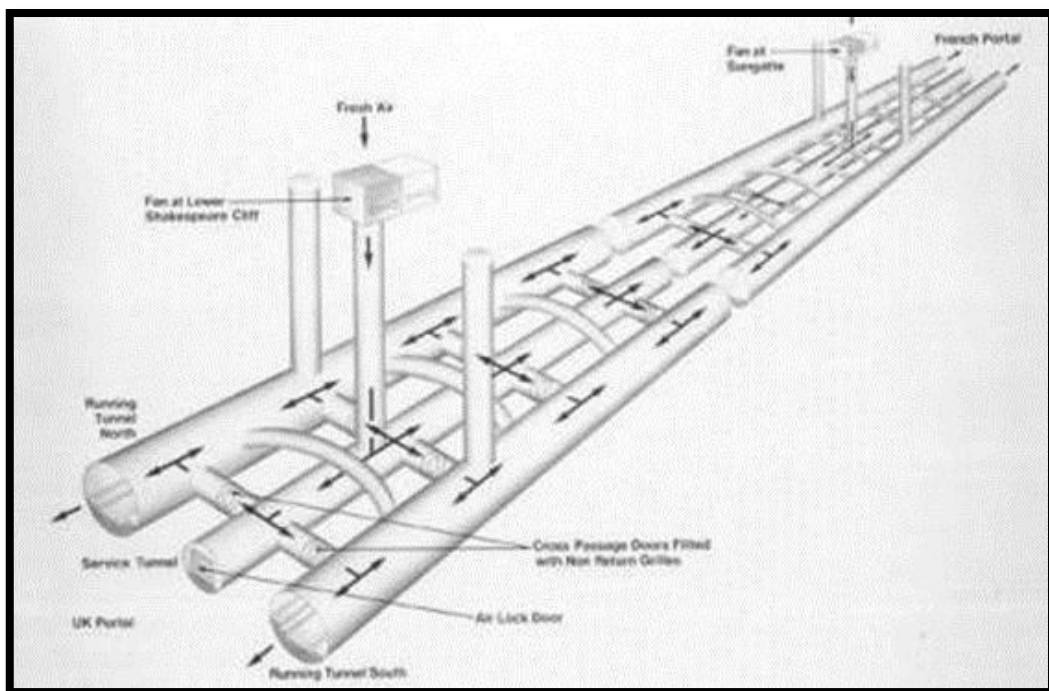
σήραγγας Mont Blanc δεν λειτουργούσε σε βέλτιστη κατάσταση «έκτακτης ανάγκης σε πυρκαγιά». Οι τρέχουσες συστάσεις της PIARC [39] για εγκάρσια συστήματα είναι η ρύθμιση του ρυθμού εξαγωγής αερίων στο μέγιστο γύρω από τη ζώνη πυρός και ταυτόχρονη πλήρη παύση κάθε τοπικής παροχής φρέσκου αέρα. Για όλες τις άλλες ζώνες οι οποίες είναι απομακρυσμένες από τη φωτιά, συνιστάται ότι ο ρυθμός της παροχής του φρέσκου αέρα πρέπει να οριστεί μεταξύ  $1/2$  και  $1/3$  του πλήρους δυναμικού, για να εξασφαλιστεί ότι οι επαγόμενες διαμήκεις ταχύτητες αέρα παραμένουν κάτω από  $2\text{m/s}$ . Αυτό είναι απαραίτητο, προκειμένου να διατηρηθεί η ροή δύο στρωμάτων (καπνού – καθαρού αέρα) η οποία είναι κρίσιμης σημασίας τόσο κατά τη φάση της εκκένωσης όσο και στις επακόλουθες λειτουργίες πυρόσβεσης. Στο πλαίσιο του θέματος αναζωπύρωσης της φωτιάς, τα δεδομένα από την πλήρη κλίμακα δοκιμών εξαερισμού της σήραγγας Memorial Tunnel (MTFVTP) έδειξε ότι υπήρχε γενικά επαρκής ποσότητα του αέρα καύσης εντός της σήραγγας και η ίδια ότι: «Η πιθανή αύξηση της έντασης

της φωτιάς που μπορεί να προκληθεί από την χρήση του εξαερισμού δεν ξεπερνούσε τα οφέλη»[56]. Πρέπει να αναφερθεί, ωστόσο, ότι στη σειρά δοκιμών MTFVTP ελέγχθηκαν μόνο ανοιχτές πυρκαγιές και έχει αποδειχθεί από τους Carvel κ.ά. [57] ότι ο εξαερισμός έχει, γενικά, μια πολύ πιο δραματική επίδραση στην ενίσχυση του ρυθμού απελευθέρωσης θερμότητας σε πυρκαγιές ΒΦΟ από ό, τι για το ποσοστό απελευθέρωσης θερμότητας ανοιχτών πυρκαγιών σε σήραγγες.

Ορισμένες σήραγγες κάνουν ταυτόχρονη χρήση και των δύο συστημάτων εξαερισμού, διαμηκών και εγκάρσιων. Στη σήραγγα της Μάγχης, για παράδειγμα, (βλέπε Σχήμα 4-10, [58]) το κανονικό σύστημα εξαερισμού είναι μη-αναστρέψιμου ημι-εγκάρσιου τύπου. Οι αεραγωγοί φρέσκου αέρα βρίσκονται στα δύο άκρα του υποθαλάσσιου τμήματος της σήραγγας, μήκους 37 χιλιομέτρων, και οι ανεμιστήρες αυτοί διατηρούν την πίεση περιβάλλοντος της σήραγγας υπηρεσίας σε κάπως μεγαλύτερη πίεση από τις δύο σήραγγες κίνησης. Ο φρέσκος αέρας στη συνέχεια τροφοδοτείται στις σήραγγες κίνησης μέσω ενός αριθμού μονάδων διανομής αέρα, οι οποίες βρίσκονται μέσα σε 38 από τις εγκάρσιες διαβάσεις που συνδέουν τις σήραγγες λειτουργίας με τη σήραγγα υπηρεσίας. Σε κανονική λειτουργία, αυτό είναι το μόνο που απαιτείται αφού το «φαινόμενο εμβόλου» των αμαξοστοιχιών εξασφαλίζει ότι οι ρύποι στις σήραγγες κίνησης αρχικά είναι καλά αναμεμιγμένοι με τον φρέσκο αέρα και στη συνέχεια αποβάλλονται στην ατμόσφαιρα στις πύλες σήραγγας. Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, υπάρχει, επίσης, ελεύθερη κυκλοφορία του αέρα μεταξύ των δύο σηράγγων κίνησης, μέσω των αγωγών ανακούφιση του «φαινομένου εμβόλου» (PRDS), που βρίσκονται κατά μήκος των σηράγγων σε διαστήματα περίπου 250m και η κύρια λειτουργία των οποίων είναι η μείωση της υπερβολικής πίεσης αέρα στις σήραγγες κίνησης. Σε περίπτωση πυρκαγιάς, η προτεραιότητα είναι να έρθει η επηρεαζόμενη αμαξοστοιχία σε μια ελεγχόμενη στάση γειτονικά με τα εγκάρσια περάσματα (τα οποία βρίσκονται σε όλο το μήκος των σηράγγων σε αποστάσεις περίπου 375m). Στη συνέχεια, τα PRDS κλείνουν εξ αποστάσεως για την πρόληψη της κυκλοφορίας του καπνού στο τούνελ που δεν εμπλέκεται με το περιστατικό. Στη συνέχεια, το συμπληρωματικό σύστημα εξαερισμού (SVS) ενεργοποιείται στη σήραγγα του περιστατικού, η οποία επάγει μία διαμήκη ροή αέρα πάνω από το εμπλεκόμενο τρένο και διατηρεί συνθήκες χωρίς καπνό ανάντη της πυρκαγιάς. Μόλις επιβεβαιωθούν αυτές οι συνθήκες, είναι καθήκον του πληρώματος της αμαξοστοιχίας να ανοίξει τις θυρίδες των εγκάρσιων περασμάτων που οδηγούν στη σήραγγα υπηρεσίας και στη συνέχεια να βοηθήσει τους επιβάτες να αποβιβαστούν προς την πλησιέστερη από τις εγκάρσιες διαβάσεις και σε ένα «ασφαλές καταφύγιο» της σήραγγας υπηρεσίας. Στην πυρκαγιά που εκδηλώθηκε στο τρένο Eurotunnel βαρέων οχημάτων μεταφοράς στις 18 Νοεμβρίου 1996, ήταν απαραίτητο να ανοίξει μόνο η θυρίδα ενός εγκάρσιου περάσματος, πριν από την πυρκαγιά κοντά στο μπροστινό μέρος του τρένου, καθώς οι οδηγοί των φορτηγών βρίσκονταν όλοι στο βαγόνι-εστιατόριο ακριβώς πίσω από την μπροστινή ατμομηχανή. Αυτό ήταν ευτυχές καθώς υπήρξε καθυστέρηση στη δημιουργία της σωστής διαμήκους



ροής αέρα στη σήραγγα του περιστατικού [52]. Σε αυτή την περίπτωση, το πλήρωμα της αμαξοστοιχίας κατάφερε να εκκενώσει όλους τους επιβάτες στην ασφάλεια της σήραγγας υπηρεσίας και δεν υπήρξαν ανθρώπινα θύματα, αλλά είχαν εκτεθεί σε καπνό. Ομοίως, το ανανεωμένο σύστημα της σήραγγας του Mont Blanc χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό από εγκάρσια και διαμήκη συστήματα για την εξαγωγή καπνού σε ή κοντά στη φωτιά, διαβεβαιώνοντας ότι, και οι δύο περιοχές, άνωθεν και κάτωθεν της πυρκαγιάς παραμένουν χωρίς καπνό και να προσπαθήσουν να διατηρήσουν σχεδόν μηδενικές ταχύτητες στο χώρο της πυρκαγιάς (Brichet *et al* [41]).



Σχήμα 4-10: Σήραγγα της Μάγχης - Σχεδιάγραμμα του συστήματος εξαερισμού

#### 4.4 Στόχοι σχεδιασμού για τον έλεγχο του καπνού

Όταν ξεσπάσει πυρκαγιά σε μια οδική σήραγγα, το σύστημα εξαερισμού πρέπει να διατηρήσει βιώσιμες συνθήκες κατά μήκος των οδών διαφυγής και τυχόν πρόσθετων διαδρομών πρόσβασης που χρησιμοποιούνται από τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης για την πυρόσβεση και επιχειρήσεις διάσωσης. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη διατήρηση βιώσιμων συνθηκών στα προσωρινά καταφύγια πυροπροστασίας. Σε περίπτωση μη επαρκούς αερισμού, ο χωρικός περιορισμός που παρέχεται από ένα τούνελ αυξάνει τη σοβαρότητα των προβλημάτων που αντιμετωπίζουν τα άτομα προς εκκένωση και οι υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης. Τα ζητήματα αυτά έχουν συζητηθεί από τον Fuller [46], μετά την πυρκαγιά στο Summit Tunnel, στο Ηνωμένο Βασίλειο το 1984 (Jones [59]), και περιλαμβάνουν: την παροχή επαρκούς επικοινωνίας, την πρόσβαση στο χώρο, τη βέλτιστη διάρκεια

για αναπνευστικές συσκευές, καθώς και τις φυσιολογικές και ψυχολογικές πιέσεις που συνδέονται με την εργασία σε ζεστό, πυκνό καπνό. Ο Fuller θεωρεί ότι μια αξιόπιστη ροή αερισμού παρέχει ένα σημαντικό τακτικό πλεονέκτημα στην αντιμετώπιση τέτοιων πυρκαγιών, με την αύξηση της ορατότητας και την αραίωση των τοξικών και εύφλεκτων αναθυμιάσεων. Ομοίως, οι Eisner και Smith [47] κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι είναι απαραίτητο για τους πυροσβέστες να είναι σε θέση να προσεγγίσουν σε μία απόσταση 11-14m από μια υπόγεια πυρκαγιά σε μια σήραγγα προκειμένου να διενεργήσουν μια αποτελεσματική κατάσβεση. Προφανώς, η ικανότητα για την καταπολέμηση μιας υπόγειας πυρκαγιάς σε σχετικά κοντινή απόσταση επικουρείται από την παροχή μηχανικού εξαερισμού, ο οποίος βελτιώνει την ορατότητα της εστίας της φωτιάς από την ανάντη πλευρά. Ωστόσο, η πρόοδος μπορεί να εμποδιστεί αν ο καπνός κινείται ενάντια στο ρεύμα εξαερισμού λόγω των επιδράσεων της άνωσης - ένα φαινόμενο που είναι γνωστό ως «*back-layering*» ή *επιστροφή καπνού*. Ο σχεδιασμός ενός συστήματος εξαερισμού για την εξουδετέρωση του «*back-layering*» έχει, παραδοσιακά, βασιστεί στην παροχή μιας ελάχιστης μέσης διαμήκους ταχύτητας του αέρα στο χώρο κίνησης - τη λεγόμενη *κρίσιμη ταχύτητα*.

Οι τελευταίες δύο δεκαετίες έχουν δει μερικές θεμελιώδεις αλλαγές στη διαδικασία σχεδιασμού για τα συστήματα εξαερισμού της σήραγγας που μπορεί να οφείλονται σε διάφορους παράγοντες:

- Η εμφάνιση πολλών, υψηλού προφίλ, πυρκαγιών σήραγγας, πολλές από τις οποίες είχαν ως αποτέλεσμα πολλά θύματα.
- Η αυξημένη ευαισθητοποίηση, από την κοινωνία εν γένει, των θεμάτων ασφάλειας ζωής κατά τη διάρκεια περιστατικών πυρκαγιών.
- Η παγκόσμια αύξηση υπόγειων κατασκευών γενικά και, ιδιαίτερα, η ολοκλήρωση αρκετών μεγάλων έργων σηράγγων (π.χ. σήραγγα της Μάγχης και αλπικές συνδέσεις στην Ευρώπη και το πρόγραμμα της κεντρικής αρτηρίας/σήραγγας της Βοστώνης, στις ΗΠΑ).
- Η ωρίμανση της μηχανικής πυρασφάλειας ως ένα βιώσιμο θέμα μηχανικής και η συνακόλουθη ανάγκη για λύσεις πυρασφάλειας με βάση την απόδοση στις σύγχρονες κατασκευές.
- Η ωρίμανση της μηχανικής αυτοματισμών, με την ανάπτυξη όλο και πιο επακριβών μοντέλων πυρκαγιών και εξαερισμού, καθώς και προσομοιώσεων τους, και φυσικά με τη χρήση εξελιγμένων αλγορίθμων βελτιστοποίησης της λειτουργίας των συστημάτων καταστολής. Αυτό δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας σεναρίων αντιμετώπισης έκτακτων καταστάσεων σε μεγαλύτερη κλίμακα και συχνότητα από τα παραδοσιακά πειράματα με μακέτες.

Πριν από τη δεκαετία του 1980, υπήρχαν ελάχιστα πειραματικά δεδομένα, πλήρους κλίμακας, σχετικά με την αλληλεπίδραση μεταξύ των πυρκαγιών σήραγγας και των συστημάτων εξαερισμού. Τα δύο πιο γνωστά σύγχρονα παραδείγματα τέτοιων μελετών είναι αυτά που πραγματοποιήθηκαν στις σήραγγες

Ofenegg (Haerter [43]) και Zwenberg (Pucher [60]), το 1965 και το 1975, αντίστοιχα. Οι επιδιωκόμενοι στόχοι των δοκιμών ήταν σε μεγάλο βαθμό παρόμοιοι:

- Να προσδιοριστούν οι κίνδυνοι που αντιμετωπίζουν οι χρήστες της σήραγγα κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς (όσον αφορά τη θερμοκρασία, επιβλαβών αερίων, την προβολή και τη διάρκεια πυρκαγιάς).
- Να προσδιοριστούν πώς οι διάφορες στρατηγικές εξαερισμού επηρεάζουν το περιβάλλον της σήραγγας, όταν μια πυρκαγιά είναι σε εξέλιξη και, ως εκ τούτου να προσδιοριστεί ο καλύτερος τρόπος για τη βελτίωση της ασφάλειας των χρηστών κάτω από τέτοιες συνθήκες.
- Να εξεταστούν τις επιπτώσεις της πυρκαγιάς στη δομική ακεραιότητα της σήραγγας και του μηχανισμού εξαερισμού.
- Να διερευνηθούν οι επιδράσεις των ψεκαστήρων νερού (κάθε τύπου και σχεδιασμού) για τον περιορισμό των αρνητικών επιπτώσεων της πυρκαγιάς σήραγγας.

Μολονότι παρείχαν χρήσιμα στοιχεία για την εποχή που διεξάχθηκαν, για τα τωρινά δεδομένα αυτά τα πειράματα μπορούν να θεωρηθούν κάπως υποτυπώδη στη φύση τους, κυρίως λόγω των περιορισμών των χρησιμοποιούμενων οργάνων και, ειδικότερα, την ανικανότητα τους να μετρήσουν τη δυναμική μεταβολή του ρυθμού απελευθέρωσης θερμότητας της φωτιάς (HRR) κατά τη διάρκεια των δοκιμών. Είναι πλέον αποδεκτό ότι ο HRR είναι η πιο σημαντική παράμετρος σε οποιοδήποτε πρόβλημα πυρασφάλειας. Παρά τους πρακτικούς περιορισμούς των πειραμάτων στις σήραγγες Ofenegg και Zwenberg (συν μερικές άλλες μελέτες παρόμοιας φύσης) τα πειραματικά δεδομένα από αυτά αποτέλεσαν ουσιαστικά τη βάση δεδομένων «πλήρους κλίμακας» για το σύνολο των αλληλεπιδράσεων φωτιάς - εξαερισμού σε σήραγγες που ήταν διαθέσιμα στους σχεδιαστές, διαχειριστές και ερευνητές στον τομέα αυτό. Αυτά τα περιορισμένα δεδομένα μαζί και με κάποιες άλλες μικρές μελέτες σε ορυχεία (Eisner [47], [61]-[64]) και κάποιες στοιχειώδεις θεωρητικές μελέτες μοντελοποίησης ([65]-[67]) αποτέλεσαν τη βάση σχεδιασμού και λειτουργίας των συστημάτων εξαερισμού σε σήραγγες και η κατάσταση αυτή συνεχίστηκε και τη δεκαετία του 1980.

Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, υπήρχαν περιορισμένες «επίσημες» οδηγίες σχετικά με τον καθορισμό και την επίτευξη των στόχων του σχεδιασμού του εξαερισμού μιας σήραγγας, με τους ελάχιστους «κανόνες σχεδιασμού» να βασίζονται, αναγκαστικά, στα περιορισμένα πειραματικά δεδομένα που αναφέρθηκαν παραπάνω. Θεωρητικά, τα συστήματα οδικής σήραγγας καλύφθηκαν από τις διάφορες δημοσιεύσεις της PIARC. Σε κάθε περίπτωση, οι στόχοι σχεδιασμού για τα συμβατικά συστήματα εξαερισμού βασίζεται σε δύο συνθήκες λειτουργίας: «κανονικής» και «μη - κανονικής». Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, οι απαιτήσεις εξαερισμού για μεγάλες οδικές σήραγγες είναι παρόμοιες, δηλαδή να μειωθεί η συγκέντρωση των ρύπων σήραγγας και να παρέχει μια σταθερή

παροχή καθαρού αέρα για τους χρήστες της σήραγγας. Οι κύριοι ρύποι σε μακρές οδικές σήραγγες είναι οι αέριες εκπομπές των οχημάτων (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, κλπ.). Στο πλαίσιο της μη ομαλής λειτουργίας των σηράγγων, η PIARC έχει αναπτύξει μία ιεραρχία των στόχων για τον έλεγχο φωτιάς και του καπνού (Lacroix [68]):

1. Να σωθούν ζωές με τη διευκόλυνση της εκκένωσης των επιβατών.
2. Η διευκόλυνση των διασωστικών και πυροσβεστικών επιχειρήσεων.
3. Η αποφυγή εκρήξεων.
4. Ο περιορισμός των ζημιών στη δομική ακεραιότητα μιας σήραγγας, στον εξοπλισμό και στα γύρω κτίρια.

Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1980 και στις αρχές της δεκαετίας του 1990, οι στόχοι εξαερισμού για ένα νέο έργο της σήραγγας έπρεπε να βασίζονται στις συστάσεις της PIARC (Lacroix [68]). Οι μέθοδοι για την επίτευξη αυτών των γενικών στόχων, βελτιώθηκαν χρησιμοποιώντας τα πορίσματα της σύγχρονης έρευνας, όπως της British Hydromechanics Research Association (BHRA), τα διεθνή συμπόσια για την αεροδυναμική και εξαερισμό οδικών σηράγγων (Desrosiers [69], Bendelius [70]) και παρεπόμενες εκδόσεις από ερευνητικά ιδρύματα, όπως ο Fire Research Station στο Ηνωμένο Βασίλειο (Spratt [71]). Οι λεπτομέρειες του συστήματος εξαερισμού στη συνέχεια αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του *συνολικού συστήματος της σήραγγας*, προκειμένου να ανταποκρίνονται στις ειδικές απαιτήσεις του *συστήματος*.

Στο πλαίσιο αυτό, κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970, η Αμερικανική Εταιρεία Μηχανικών Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού (ASHRAE) ανέθεσε μία από τις τεχνικές επιτροπές του με την κατασκευή οδηγιών σχετικά με το θέμα του εξαερισμού καπνού για «κλειστές εγκαταστάσεις οχημάτων». Δυστυχώς, τα συμπεράσματα αυτής της πρωτοβουλίας ήταν ότι ορισμένοι από τους «εμπειρικούς κανόνες», οι οποίοι είχαν υιοθετηθεί σε όλη τη βιομηχανία εξαερισμού σηράγγων είχαν περιορισμένη επιστημονική βάση και ότι αυτό ίσχυε ιδιαίτερα για τα κριτήρια σχετικά με τον εξαερισμό έκτακτης ανάγκης σε κατάσταση πυρκαγιάς. Σε αντίθεση με το σχετικό πλούτο στοιχείων των εκπομπών ρύπων οχημάτων που σχετίζονται με τον έλεγχο κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας, διαπιστώθηκε ότι οι αποδεκτοί σχεδιαστικοί «κανόνες» για τον εξαερισμό έκτακτης ανάγκης δεν είχαν υποβληθεί σε αυστηρές δοκιμές με ολοκληρωμένη κλίμακα δεδομένων. Παρά την αύξηση της ευαισθητοποίησης της κοινωνίας για θέματα ασφάλειας ζωής σε πυρκαγιές, συνάγεται το συμπέρασμα ότι δεν υπήρχε «καμία οριστική και καθολικά αποδεκτή συναίνεση σχετικά με το σχεδιασμό και τη λειτουργία των συστημάτων εξαερισμού για πυρκαγιές σε οδικές σήραγγες» [56]. Η τεχνική επιτροπή της ASHRAE διαπίστωσε επίσης ότι: «Τα πρότυπα που έχουν εφαρμοστεί στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις έχουν βάση θεωρητικές αναλύσεις, εμπειρικές τιμές και ατομική κρίση και / ή εμπειρία – οι οποίες δεν προέρχονται από ολοκληρωμένες δοκιμές» [56]. Συνεπώς, οι απόψεις

διέφεραν όσον αφορά τις δυνατότητες των διαφόρων τύπων συστημάτων εξαερισμού να διαχειριστούν αποτελεσματικά τη θερμότητα και τον καπνό και το αν οι καταιωνηστήρες θα μπορούσαν να είναι μια χρήσιμη προσθήκη πυρασφάλειας οδικές σήραγγες [56].

Η κατάσταση αυτή οδήγησε στην αντίληψη, στις ΗΠΑ, ότι υπήρχε ένα σημαντικό κενό στις γνώσεις σχετικά με το σχεδιασμό του εξαερισμού έκτακτης ανάγκης για τις σήραγγες. Το συμπέρασμα ήταν ότι υπάρχει πιεστική ανάγκη να βελτιωθεί αυτή η κατάσταση, κυρίως λόγω της μείωσης στις εκπομπές των οχημάτων που έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια των τριών τελευταίων δεκαετιών. Εξ ου και η τάση, πλέον, να είναι ότι ο έλεγχος του καπνού σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης θα αντικαταστήσει την αραίωση των εκπομπών ρύπων σε «κανονική λειτουργία», ως το πρωταρχικό κίνητρο σχεδιασμού. Η δέσμευση για ένα πρόγραμμα δοκιμών πλήρους κλίμακας στις ΗΠΑ τελικά έλαβε μέρος κατά τα τέλη της δεκαετίας του 1980, ως αποτέλεσμα της προτεινόμενης κατασκευής της κεντρικής σήραγγας της Βοστώνης (Luchian [72]). Θεωρήθηκε ότι η κατασκευή της θα ωφελούταν σε μεγάλο βαθμό από την απόκτηση των νέων δεδομένων πλήρους κλίμακας σχετικά με την αλληλεπίδραση μεταξύ των πυρκαγιών σήραγγας και των διαφόρων διαμορφώσεων εξαερισμού. Το πρόγραμμα δοκιμών εξαερισμού πυρκαγιάς της σήραγγας Memorial (MTFVTP) [56] αποτελείται συνολικά από 98 δοκιμές πυρκαγιάς πλήρους κλίμακας, οι οποίες διεξήχθησαν μεταξύ του Σεπτεμβρίου 1993 και του Μαρτίου 1995 σε μια εγκαταλελειμμένη σήραγγα αυτοκινητοδρόμου δύο λωρίδων στη Δυτική Βιρτζίνια.

Ανάμεσα στα πιο σημαντικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την σειρά των δοκιμών MTFVTP ήταν τα ακόλουθα:

- Η αναγνώριση της ανάγκης να καθοριστούν τα κριτήρια εξαερισμού έκτακτης ανάγκης με βάση τα επιμέρους φυσικά χαρακτηριστικά της σήραγγας και το σύστημα εξαερισμού της.
- Η επιβεβαίωση ότι οι ανεμιστήρες-jet είναι μια αποδεκτή λύση διαχείρισης καπνού και θερμότητας για τις πυρκαγιές μέχρι και 100 MW (που απαιτεί μια μέση διαμήκη ταχύτητα των 3 m/s για τη γεωμετρία του Memorial Tunnel).
- Μια επιβεβαίωση της ανάγκης να μειώνεται το ποσοστό της παροχής φρέσκου αέρα, όταν εγκάρσια συστήματα χρησιμοποιούνται για να εξαγάγουν καπνού από το χώρο κυκλοφορίας σε ένα υψηλότερο επίπεδο.
- Η συνειδητοποίηση ότι οι παραδοσιακές συστάσεις της ASHRAE σχετικά με την ελάχιστη διαμήκη ταχύτητα του αέρα (κρίσιμη ταχύτητα) που απαιτείται για την πρόληψη επιστροφής καπνού δεν ήταν έγκυρη ως γενικό κριτήριο σχεδιασμού.

Μια περαιτέρω έκβαση των δοκιμών MTFVTP ήταν η διαπίστωση ότι πάνω από ένα ορισμένο μέγεθος φωτιάς (δηλαδή ποσοστού απελευθέρωσης θερμότητας), και κατά πάσα πιθανότητα ανάλογα και με τη διατομή και την κλίση της σήραγγας, η εξάρτηση της κρίσιμη ταχύτητας στο HRR ήταν μικρότερη

από αυτή που προβλέπεται από την πρότυπη εξίσωση εμπειρικού σχεδιασμού. Αυτή η ανασκόπηση, ελέγχοντας πειραματικά δεδομένα που ελήφθησαν σε ένα εύρος κλιμάκων, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι «οι τρέχουσες μέθοδοι σχεδιασμού μπορεί να είναι υπερβολικά συντηρητικές, καταλήγοντας σε αναγκαστικές ικανότητες εξαερισμού σημαντικά μεγαλύτερες από εκείνες που απαιτούνται για τον έλεγχο της κίνησης του καπνού προς τα ανάντη.»

Ο αντίκτυπος αυτού του ευρήματος σχετικά με τις τρέχουσες κατευθυντήριες γραμμές για εξαερισμό σηράγγων είναι τώρα στο στάδιο της αξιολόγησης από τις αρμόδιες επιτροπές της PIARC επίσης από την NFPA, προκειμένου να αναπτυχθούν κατάλληλες οδηγίες και πρότυπα, όπως το NFPA-130 [73]. Αυτό είναι σημαντικό διότι η συμβατική πρακτική του σχεδιασμού έκτακτης ανάγκης για την απαίτηση εξαερισμού της σήραγγας βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στις απαντήσεις σε δύο ερωτήματα:

- Ποιο είναι το μέγιστο μέγεθος για κάθε πυρκαγιά που θα μπορούσε εύλογα να αναμένεται ότι θα προκύψει λόγω της χρήσης της σήραγγας (δηλαδή η *φωτιά στο στάδιο σχεδιασμού*) και
- Ποιο είναι το αντίστοιχο μέγεθος της ταχύτητας αερισμού που απαιτείται για να αποτρέψει την επιστροφή της ροής του καπνού.

Ωστόσο, παρά την πρόοδο που έχει σημειωθεί τα τελευταία χρόνια, η κατάσταση είναι αρκετά πιο περίπλοκη από ό, τι θα μπορούσε να συνεπάγεται από αυτά τα δύο απλά ερωτήματα. Εξακολουθεί να υπάρχει σημαντική αβεβαιότητα ως προς το πώς ο εξαερισμός σήραγγας επηρεάζει ορισμένα χαρακτηριστικά της φωτιάς, όπως το μήκος της φλόγας, ο ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας, εξάπλωσης της φωτιάς, του καπνού και η παραγωγή CO/CO<sub>2</sub>. Τα ζητήματα αυτά αναλύθηκαν σε μεγαλύτερο βάθος, υπό το φως των στόχων που τέθηκαν για το ανακαινισμένο σύστημα εξαερισμού της σήραγγας του Mont Blanc οι οποίοι ορίζουν ένα πιο πλήρες σύνολο κριτηρίων:

- Τον περιορισμό της παροχής φρέσκου αέρα στη φωτιά έτσι ώστε να περιοριστεί η ανάπτυξη της.
- Ο περιορισμός του καπνού σε μικρότερη απόσταση γύρω από την τοποθεσία της πυρκαγιάς.
- Η παροχή στους χρήστες της σήραγγα αρχικά με οδούς διαφυγής με βιώσιμα επίπεδα θερμοκρασίας, τοξικότητας και ορατότητας ανάντη και κατάντη της πυρκαγιάς, επιτρέποντας την ανάπτυξη «στρωματοποιημένων» καυτών στρωμάτων.
- Να επιτρέψει, σε μεταγενέστερα στάδια, την προσέγγιση και την αποτελεσματική καταπολέμηση της φωτιάς από το προσωπικό έκτακτης ανάγκης, με ασφάλεια και με εγγύτητα στο σημείο του συμβάντος, ελαχιστοποιώντας έτσι ζημιές στις υποδομές της σήραγγας.

Στο Mont Blanc αυτοί οι απαιτητικοί στόχοι θα επιτευχθούν με έλεγχο από υπολογιστή σε ένα υπάρχον εγκάρσιο σύστημα εξαερισμού διαμορφώνοντάς το για το σκοπό της εξαγωγής του καπνού

με επιπλέον ανεμιστήρες-jet για την παροχή επιπλέον ελέγχου. Φαίνεται, δηλαδή, πόσο σημαντικός είναι πλέον ο ρόλος ενός μηχανικού αυτοματισμών του οποίου η δουλειά θα είναι η εγκατάσταση και ο βέλτιστος προγραμματισμός του συστήματος ελέγχου εξαγωγής καπνού (και εξαερισμού).

## **4.5 Επίδραση του εξαερισμού στα χαρακτηριστικά της πυρκαγιάς**

### **4.5.1 Εισαγωγή**

Η πρώτη προϋπόθεση στο σχεδιασμό κάθε συστήματος έκτακτης ανάγκης αντιμετώπισης πυρκαγιών σε σήραγγες είναι να καθοριστεί η πρότυπη φωτιά του σταδίου σχεδιασμού. Αυτό θα μπορούσε να είναι το μέγιστο αξιόπιστο περιστατικό ή ένα αντιπροσωπευτικό σύνολο τυπικών περιστατικών που μπορεί να συμβούν στην εγκατάσταση κάτω από συγκεκριμένη χρήση, και με δεδομένο το μέγεθος της και τη δομικό σχεδιασμό της. Για μια πυρκαγιά η προδιαγραφές της θα πρέπει να περιλαμβάνουν, τουλάχιστον, τη μεταβολή του ρυθμού απελευθέρωσης θερμότητας στην πάροδο του χρόνου σε συνδυασμό με τα ποσοστά παραγωγής καπνού και τοξικών αερίων. Ιδανικά υπάρχει τώρα επίσης ανάγκη να γνωρίζουμε πως μια τέτοια φωτιά ανταποκρίνεται στις αλλαγές στον αερισμό συμπεριλαμβανομένης της ποσότητας του καπνού που εκχέεται και ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να ελεγχθεί ο καπνός.

### **4.5.2 Μεταβολή της απόδοσης θερμότητας με την ταχύτητα αερισμού**

Παραδόξως λίγες πληροφορίες είναι διαθέσιμες ώστε να βοηθήσουν τους σχεδιαστές σήραγγων με το είδος και τα χαρακτηριστικά των πυρκαγιών που μπορεί να συμβούν. Αυτή η κατάσταση βελτιώθηκε κάπως από το πρόγραμμα EUREKA 499 Firetun (Haack [75]). Με αυτό αποκτήθηκαν πολύτιμα πρακτικά δεδομένα από μια σειρά από πυρκαγιές σε πραγματικά οχήματα σε ένα εγκαταλελειμμένο ορυχείο-σήραγγα στη βόρεια Νορβηγία. Αυτές οι δοκιμές απέδωσαν το μέγιστο δυνατό ποσοστό απελευθέρωσης θερμότητας, καπνού και τοξικών αερίων για μια ποικιλία οχημάτων, συμπεριλαμβανομένων μίας επιβατικής αμαξοστοιχίας (13,5 MW HRR), μία αμαξοστοιχία μετρό (35 MW HRR), ένα σχολικό λεωφορείο (29 MW HRR) και κατέληξε με μία πυρκαγιά σε ένα βαρύ φορτηγό όχημα φορτωμένο με έπιπλα. Η τελευταία πυρκαγιά παρήγαγε μια μέγιστη θερμική ισχύ τουλάχιστον 120 MW. Οι δοκιμές αυτές έδωσαν επίσης στοιχεία σχετικά με τα ποσοστά παραγωγής καπνού και τις προκύπτουσες ορατότητες στη σήραγγα.

Ωστόσο, παρά την επιτακτική ανάγκη να εξεταστεί το ευρύ φάσμα των φορτίων και να ερευνηθεί η επιρροή μιας σειράς συνθηκών αερισμού, κλπ. υπήρξε μικρή συνέχεια στην προσπάθεια. Συγκεκριμένα, δεδομένου ότι η αύξηση της αναγκαστικής ροής αερισμού ήταν τώρα μια πιθανή απάντηση για άμβλυνση του συμβάντος στα πρώτα στάδια ενός περιστατικού πυρκαγιάς σήραγγας,

ήταν σημαντικό να γνωρίζουμε πώς μια πυρκαγιά ανταποκρίθηκαν στην αύξηση του διαμήκους αερισμού. Λόγω απουσίας πειραματικών δεδομένων, ακολουθήθηκαν στατιστικές προσεγγίσεις (Bayesian) που συνδύαζαν την κρίση των εμπειρογνομόνων με τα λίγα υπάρχοντα πειραματικά δεδομένα, σε μια προσπάθεια να απαντηθούν αυτά τα ερωτήματα (Carvel *et al* [55],[57],[76],[77]). Από τη μελέτη αυτή κάποια περαιτέρω στοιχεία έχουν γίνει διαθέσιμα, αλλά δεν μπόρεσαν να χρησιμοποιηθούν για κλασσικές μεθόδους στατιστικών αναλύσεων, καθώς τα υπάρχοντα σετ δεν είχαν ικανοποιητική συνάφεια μεταξύ τους.

Συμπερασματικά μπορούμε να αναφέρουμε ότι τα συστήματα μηχανικού εξαερισμού μπορούν να επηρεάσουν τις πυρκαγιές σε σήραγγες με πολλούς τρόπους. Σε μερικές περιπτώσεις αυξάνοντας την ταχύτητα αερισμού μπορεί να προκληθεί μία μείωση της δριμύτητας της φωτιάς. Ωστόσο, σε άλλες περιπτώσεις αυξάνοντας την ταχύτητα αερισμού προκαλεί τη φωτιά να καλύψει ένα φορτίο HGV πιο γρήγορα ή να προκαλέσει μια σημαντική αύξηση στο ρυθμό απελευθέρωσης θερμότητας της φωτιάς. Υιοθετώντας ένα σταθερό ρυθμό μηχανικού (υποβοηθούμενου) εξαερισμού (π.χ. 3 m/s, όπως συνιστάται σε ορισμένες χώρες (Nordmark [78])) σε όλες τις σήραγγες δεν μπορεί να είναι η πιο λογική επιλογή. Διαφορετικές πυρκαγιές σήραγγας ανταποκρίνονται σε εξαναγκασμένο αερισμό με διάφορους τρόπους και το σύστημα εξαερισμού έκτακτης ανάγκης που χρησιμοποιείται σε περίπτωση μιας πυρκαγιάς σήραγγας πρέπει να είναι κατάλληλο για το συγκεκριμένο σενάριο πυρκαγιάς, όπου αυτό είναι δυνατό.

#### **4.5.3 Επίδραση του εξαερισμού στην εξάπλωση της πυρκαγιάς**

Η ανάπτυξη της φωτιάς εξαρτάται από το πόσο γρήγορα μπορεί να εξαπλωθεί η φλόγα από το σημείο ανάφλεξης και να εμπλέξει μία ολοένα μεγαλύτερη περιοχή καύσιμου υλικού. Είναι μια πολύ σύνθετη διαδικασία, ακόμη και για τις πιο απλές διευθετήσεις καυσίμων και περιβάλλοντος. Ο Drysdale [79] έχει εξετάσει τους κύριους παράγοντες που ελέγχουν αυτές τις διαδικασίες, οι οποίοι πέφτουν σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Ό,τι σχετίζεται με τον προσανατολισμό της επιφάνειας του καύσιμου υλικού, το πάχος του καύσιμου υλικού, την πυκνότητα, τη θερμική χωρητικότητα και αγωγιμότητα και τη γεωμετρία των καυσίμων.
- Ό,τι σχετίζεται με το περιβάλλον, όπως η επιβαλλόμενη ροή ακτινοβολίας, η θερμοκρασία του καυσίμου, η επιβεβλημένη κίνηση του αέρα και η ατμοσφαιρική σύνθεση.

Από αυτούς τους παράγοντες σε ένα περιβάλλον σήραγγων, λόγω του περιορισμού, μερικοί, όπως ο εξαερισμός και η επιβολή ροής θερμότητας, μπορεί να είναι σχετικά πιο σημαντικοί.



Ωστόσο, το πρόβλημα της εξάπλωσης της φωτιάς σε μια σήραγγα έχει λάβει ακόμη λιγότερη προσοχή από ότι το μέγεθος της φωτιάς. Οι μόνες γνωστές πειραματικές μελέτες έδειξαν ότι αύξηση του αερισμού οδήγησε σε μικρή μεταβολή στην ανάπτυξη των μικρότερων πυρκαγιών, όπως σε επιβατικά αυτοκίνητα, αλλά αυξήθηκε σημαντικά ο ρυθμός ανάπτυξης σε μεγαλύτερα φορτία, όπως φορτίων βαρέων οχημάτων.

Τα αποτελέσματά στατιστικών μελετών υποδεικνύουν ότι η ταχύτητα του αερισμού πρέπει να διατηρείται όσο το δυνατόν χαμηλότερη για να ελαχιστοποιείται ο ρυθμός εξάπλωσης της πυρκαγιάς σε ένα βαρύ φορτηγό όχημα.

Γενικά είναι αποδεκτό ότι απαιτούνται ντετερμινιστικά μοντέλα ανάπτυξης της πυρκαγιάς. Για την κατασκευή αυτών των μοντέλων εξετάστηκαν μια σειρά από τρόπους για την εξάπλωση φωτιάς κατά μήκος μίας σειράς βαρέων φορτηγών οχημάτων που μεταφέρουν μια ποικιλία φορτίων, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, πρόσπτωση της φλόγας στα κατάντη οχήματα, μεταφορά καμένων υλικών ή αναφλεγμένων υγρών, ανάφλεξη των οχημάτων προς τα κάτω μέσω της έκθεσης σε κάποια κρίσιμη θερμική δόση και δημιουργία «μηχανισμού flashover» λόγω της ακτινοβολίας από τις φλόγες στην οροφή της σήραγγας.

Σύμφωνα με τα δεδομένα η κύρια λειτουργία εξάπλωσης φωτιάς μεταξύ οχημάτων ήταν η πρόσπτωση της φλόγας. Πάντως, αυτό μπορεί να συμβεί μόνο κατά τη διάρκεια ενός περιορισμένου παραθύρου ταχυτήτων αερισμού. Έτσι, σε χαμηλές ταχύτητες η πρόσπτωση της φλόγας στην οροφή είναι πιθανή και η διάδοση που γίνεται με μηχανισμό τηλε-ανάφλεξης μπορεί να είναι πιο κατάλληλη, ενώ σε υψηλές ταχύτητες, τα μήκη φλόγας μπορεί να μειωθούν και να μην εκτείνονται πέρα από τα φλεγόμενα οχήματα. Σε αυτή την περίπτωση, ένας μηχανισμός θερμικής ακτινοβολίας θα μπορούσε να είναι πιο σημαντικός.

Τα κριτήρια ανάφλεξης και ανάπτυξης πυρκαγιάς που χρησιμοποιούνται από τους Liew *et al.* [80] βασίστηκαν σε συνήθης πρακτικές μηχανικής φωτιάς και είναι ανεξάρτητα του ρυθμού εξαερισμού των σηράγγων. Έτσι, έχουμε ανάφλεξη όταν ένα όχημα έχει εκτεθεί σε θερμοκρασίες κοντά στους 600 °C, με πρόσκρουση του άκρου της φλόγας, για ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα και η ανάπτυξη της πυρκαγιάς ακολούθησε μια τετραγωνική εξάρτηση με το χρόνο με τις σταθερές αύξησης παρμένες από τη βιβλιογραφία, χωρίς υποστήριξη για ενδεχόμενη αυξημένη εξάπλωση που να οφείλεται στο περιβάλλον της σήραγγας.

Η μοναδική ολοκληρωμένη μελέτη εξάπλωσης φωτιάς σε μια σήραγγα έγινε από τον Beard [81]-[85], ο οποίος ανέπτυξε μια σειρά από μη-γραμμικά μοντέλα θερμικής αστάθειας σε φωτιές για να εξετάσει την ανάφλεξη των αντικειμένων κατάντη μιας υφιστάμενης πυρκαγιάς μέσα σε σήραγγα. Η

σειρά αυτών των μοντέλων που επινόησε έχουν το γενικό τίτλο FIRE-SPRINT, ένα αρκτικόλεξο για FIRE SPRead IN Tunnels. Σε αυτά θεωρείται διαμήκης εξαερισμός και ενδεικτικές προσομοιώσεις έχουν παρουσιαστεί για μια σήραγγα παρόμοια με τη σήραγγα της Μάγχης. Η «Α» σειρά των μοντέλων υποθέτει ότι φλόγα από την αρχική πυρκαγιά δεν προσκρούει στο αντικείμενο-στόχο στα κατάντη. Μέχρι στιγμής έχουν υπάρξει τρία μοντέλα στην σειρά «Α». Η «Β» σειρά των μοντέλων υποθέτει ότι φλόγα από την αρχική πυρκαγιά προσκρούει στο αντικείμενο-στόχο στα κατάντη. Μέχρι στιγμής έχει υπάρξει ένα μοντέλο στην σειρά «Β». Για περισσότερες πληροφορίες διαβάστε την αντίστοιχη βιβλιογραφία.

Σε πρακτικό επίπεδο, ποιο μοντέλο θα ήταν κατάλληλο σε ένα πραγματικό σενάριο, θα εξαρτηθεί από τη συγκεκριμένη περίπτωση. Τέτοια μοντέλα έχουν σαφές δυναμικό για χρήση στην διαδικασία σχεδιασμού για τον προσδιορισμό συνθηκών που παράγουν αστάθειες στις πυρκαγιές σήραγγας. Ωστόσο, υπάρχει μία ανάγκη για περαιτέρω ανάπτυξη. Για τα προβλήματα που παρουσιάζονται με τη χρήση μοντέλων βλέπε το κεφάλαιο 4.7.

#### **4.5.4 Έλεγχος πυρκαγιών σήραγγας με χρήση εξαερισμού**

Είναι γνωστό ότι κάτω από ορισμένες συνθήκες, οι πυρκαγιές σε θαλάμους υποβάλλονται σε μία μετάβαση σε ελεγχόμενη καύση μέσω χρήσης εξαερισμού. Έτσι για μια πλήρως ανεπτυγμένη πυρκαγιά ο ρυθμός της καύσης καθορίζεται από το μέγιστο ρυθμό με τον οποίο ο αέρας μπορεί να ρέει μέσα στο διαμέρισμα. Τέτοιες συνθήκες συχνά συνοδεύονται από την εμφάνιση εξωτερικής παρουσίας φλόγας και εάν η παροχή οξυγόνου πέφτει κάτω από αυτήν που απαιτείται για την στοιχειομετρική καύση, τότε τα ποσοστά παραγωγής καπνού και μονοξειδίου του άνθρακα μπορεί να αυξηθούν σημαντικά.

Η συζήτηση σχετικά με την πιθανή εμφάνιση συνθηκών ελεγχόμενης καύσης με εξαναγκασμένα αεριζόμενες φωτιές σήραγγας δεν έχει οριστεί πλήρως. Κάποια πειράματα έδειξαν ότι η αύξηση του αερισμού για μία φωτιά ελεγχόμενη από εξαερισμό θα μπορούσε να αυξήσει τις θερμοκρασίες κατάντη και να αυξηθεί έτσι η έκθεση των ανθρώπων εκεί και σε οποιαδήποτε προσωρινό καταφύγιο (Atkinson [86]).

Έτσι, μπορεί να υπάρχουν περιπτώσεις όπου συμβαίνουν οι απαραίτητες συνθήκες ελεγχόμενης καύσης μέσα στα όρια μιας σήραγγας μεταφοράς, αλλά περαιτέρω εργασίες είναι απαραίτητες για να κατανοήσουμε πλήρως τις συνθήκες εξαερισμού που προωθούν τους ταχείς ρυθμούς εξάπλωσης της φλόγας.

#### 4.5.5 Έλεγχος του καπνού από τον εξαερισμό

Μετά από επίγνωση του τύπου και του μεγέθους της πυρκαγιάς που μπορεί να συμβεί σε σήραγγες, το άλλο πιο σημαντικό κομμάτι των πληροφοριών που απαιτούνται από τους σχεδιαστές και μηχανικούς ασφαλείας μιας σήραγγας είναι ο τρόπος που ένα δυναμικό νέφος καπνού πυρκαγιάς κινείται μέσα στο περιβάλλον της σήραγγας και πώς αλληλεπιδρά με μια εξαναγκασμένη ροή αερισμού. Η συνειδητοποίηση ότι ένα σύστημα εξαερισμού σήραγγας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της κίνησης του καπνού, είναι ένα θέμα το οποίο λαμβάνει αυξανόμενη προσοχή.

Το ζήτημα του ελέγχου του καπνού, και ειδικότερα της ροή αερισμού που απαιτείται για την πρόληψη της ανάστροφης ροής του καπνού από μια φωτιά, έχει λάβει μεγάλη προσοχή, ιδιαίτερα όσον αφορά τον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλεται σε σχέση με το ρυθμό απελευθέρωσης θερμότητας [87]. Σε γενικές γραμμές, οι μελετητές έχουν συγκεντρωθεί στην λεγόμενη «κρίσιμη ταχύτητα», η οποία ορίζεται ως η ροή αέρα που εμποδίζει οποιαδήποτε ροή καπνού ανάντη της πυρκαγιάς. Μεγάλο μέρος της εργασίας έχει πραγματοποιηθεί σε εργαστηριακή κλίμακα δεδομένου ότι αυτό είναι ένα φαινόμενο του οποίου η επέκταση σε πλήρη κλίμακα μπορεί να γίνει εύκολα με τη χρήση κλιμάκωσης αριθμών Froude (Oka [88], Megret [89]). Η χρήση μικρής κλίμακας πειραματικών εγκαταστάσεων επέτρεψε τη διερεύνηση ενός μεγάλου αριθμού καταστάσεων συμπεριλαμβανομένων διαφορετικών διατομών σηράγγων (προφίλ), κλίσεων σηράγγων (Atkinson [90], Wu [91]), προφίλ και ύψη φλόγας μέσα στη σήραγγα. Το κύριο συμπέρασμα από αυτή την εργασία ήταν ότι, σε χαμηλούς ρυθμούς απελευθέρωσης θερμότητας, η κρίσιμη ταχύτητα αυξάνεται με το ένα τρίτο της ισχύος του ρυθμού απελευθέρωσης θερμότητας, αλλά μετά από ένα ορισμένο μέγεθος φωτιάς παρέμεινε σταθερή για περαιτέρω αύξηση του μεγέθους της φωτιάς – η αποκαλούμενη «υπερ-κρίσιμη ταχύτητα». Αυτό συμβαίνει όταν η φωτιά είναι τέτοιου μεγέθους ώστε η φλόγα προσκρούει στην οροφή. Σε αυτό το στάδιο η δομή της φλόγας δεν μπορεί να αλλάξει, απαγορεύοντας στον καπνό να στρωματοποιηθεί κατά μήκος της οροφής. Επίσης οι Saito et al [93], επιβεβαίωσαν ότι, προφανώς, η κρίσιμη ταχύτητα και συνακολούθως το μήκος το στρώματος καπνού (προ επιστροφής) είναι αντιστρόφως ανάλογα της ταχύτητας εξαερισμού.

Μία σχετική αλλά διαφορετική ποσότητα έχει ερευνηθεί από τους Telle και Vauquelin [92], και πάλι με κλιμάκωση με χρήση αριθμών Froude μιας εργαστηριακής εγκατάστασης. Έχει διερευνηθεί ο έλεγχος του καπνού με εγκάρσια εξαγωγή του στην οροφή της σήραγγας και ορίζεται μια ταχύτητα ανάλογη με την κρίσιμη ταχύτητα - «η ταχύτητα περιορισμού». Σε αυτή τη διάταξη ο επιστρεφόμενος καπνός εξαγεται ανάντη της φωτιάς και κάθε ροή πέραν του εξαερισμού εμποδίζεται από μία επαγόμενη διαμήκη ροή εντός της σήραγγας μέσω της πύλης. Μειώνοντας την ταχύτητα εξαγωγής, το μήκος του

στρώματος καπνού ανάντη του σημείου εξαγωγής φαίνεται να αυξάνεται. Το πλεονέκτημα αυτής της διάταξης είναι ότι η συνολική ταχύτητα ροής στο σημείο της εστίας της φωτιάς είναι μηδέν.

Φυσικά ένα πολύ σημαντικό θέμα, το οποίο θεωρώντας το ως δεδομένο, χάνεται ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα ελέγχου, είναι το μέγεθος και η θέση των αγωγών (γριλιών) εξαγωγής. Ως θέση εννοούμε την τοποθέτηση τους πάνω στο προφίλ της σήραγγας, δηλαδή ο προσανατολισμός και το ύψος. Οι Viot και Vauquelin [44] έχουν ασχοληθεί λεπτομερώς με το θέμα της εξαγωγής καπνού χρησιμοποιώντας δύο κάθετους αγωγούς εξαγωγής διαφορετικού πλάτους, προφίλ και θέσης, συμμετρικά τοποθετημένους γύρω από μια φωτιά. Η εξέταση της λειτουργίας αυτών των αγωγών εξαγωγής έγινε με χρήση φυσικού τρόπου αερισμού. Τα ευρήματα αποδείχθηκαν σημαντικά καθώς τα δεδομένα έδειξαν ότι ένα τέτοιο σύστημα έχει το πλεονέκτημα της διατήρησης της διαστρωμάτωσης του καπνού και ότι ήταν δυνατή η αφαίρεση του καπνού από σημαντικές πυρκαγιές ισχύος έως 30MW, αποτρέποντας οποιαδήποτε μεταφορά καπνού πέρα από την οπή εξαερισμού. Η ικανότητα απορρόφησης των οπών ήταν σε μεγάλο βαθμό εξαρτώμενη από το μήκος και το ύψος τους. Με ελαχιστοποίηση της επιρροής από εξωτερικούς παράγοντες, αποδείχθηκε ότι όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος της οπής εξαερισμού και όσο ψηλότερα είναι τοποθετημένη τόσο μεγαλώνει η αποτελεσματικότητα απορρόφησης καπνού. Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω έρευνα καθώς η απόδοση εξαερισμού είναι πολύ ευαίσθητη σε εξωτερικές επιρροές, όπως η κλίση της σήραγγας και η διαμήκης μεταφορά αέρα λόγω διαφοράς πίεσης και θερμοκρασίας στις πύλες, πόσο μάλλον αν συμπεριλάβουμε στους υπολογισμούς και την μηχανική υποβοήθηση.

Η χρήση του μηχανικού εξαερισμού για τον έλεγχο του καπνού εξετάζεται, επί του παρόντος, σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια, από πολλούς ερευνητές και σχεδιαστές νέων συστημάτων, όπως οι Weatherhill *et al* [94]. Μία άλλη πρόταση περιλαμβάνει τη χρήση ενός κινητού ανεμιστήρα για να την αποπομπή του καπνού και τη διευκόλυνση της πυρόσβεσης (Ingason [95]). Δυστυχώς η χρήση ενός τέτοιου συστήματος περιορίζεται τουλάχιστον προς το παρόν σε φωτιές μικρής ισχύος, έως 3MW. Άλλες μελέτες ασχολούνται με το θέμα της χωροθέτησης ανεμιστήρων-jet σε σχέση με την είσοδο της σήραγγας με σκοπό τη βέλτιστη απόδοση σε πυρκαγιά.

## 4.6 Μοντελοποίηση ροών σήραγγας

Για την εκτίμηση των κινδύνων που προκύπτουν από τις πυρκαγιές σήραγγας και το σχεδιασμό αποτελεσματικών στρατηγικών άμβλυνσης τους είναι απαραίτητο να υπάρχει μια κατανόηση της συμπεριφοράς της φωτιάς και της κίνησης του καπνού σε περιβάλλοντα σήραγγας. Δεν είναι δυνατόν να ερευνηθεί μεμονωμένα κάθε κατασκευή πειραματικά, ως εκ τούτου, απαιτούνται μοντέλα πρόβλεψης. Τα μοντέλα αυτά κυμαίνονται από απλές εμπειρικές σχέσεις, μέσω φαινομενολογικών ή

ολοκληρωτικών/ζωνικών μοντέλων έως σύνθετων, τρισδιάστατων υπολογιστικών προσομοιώσεων ρευστοδυναμικής – Computational Fluid Dynamics (CFD). Όλοι οι τύποι μοντέλων είναι δυνητικά χρήσιμοι. Έτσι, τα απλούστερα μοντέλα είναι ιδανικά για επαναλαμβανόμενες εφαρμογές, όπως θα απαιτείτο σε μια εκτίμηση του κινδύνου, όπου το κόστος και η πρακτικότητα είναι επίσης σημαντικά. Οι προσομοιώσεις CFD είναι ακριβό να εφαρμόζονται κατ'επανάληψη και έτσι χρησιμοποιούνται κυρίως ως ερευνητικά εργαλεία. Στην ιδανική περίπτωση, η απαίτηση είναι για καλά-δοκιμασμένες, αλλά προσβάσιμες (όσον αφορά το κόστος και την ευκολία χρήσης), σουίτες μοντέλων για χρήση στο σχεδιασμό του συστήματος εξαερισμού και στην ανάπτυξη της διαδικασίας έκτακτης ανάγκης.

Η προσομοίωση των πυρκαγιών σε σήραγγες διαμήκως εξαεριζόμενες έχει λάβει τη μεγαλύτερη προσοχή στην βιβλιογραφία. Ωστόσο, έχουν γίνει και εφαρμογές σε εγκάρσιους ή ημι-εγκάρσιους εξαερισμούς. Κοντά στην εστία της φωτιάς, ο πρωταρχικός στόχος είναι η πρόβλεψη της κρίσιμης διαμήκου ταχύτητας εξαερισμού που απαιτείται για να σταματήσει η ανάντη μετακίνηση των προϊόντων καύσης. Τα πιο εξελιγμένα μοντέλα, που χαρακτηρίζονται από αναλύσεις CFD, προβάλλουν, επίσης, λεπτομέρειες των περίπλοκων ροών σε άμεση γειτνίαση (οριοθέτηση) με τη φωτιά. Περαιτέρω κατάντη της φωτιάς, όπου οι συνθήκες είναι ομοιογενείς, έχουν σχεδιαστεί απλά μοντέλα για την προσομοίωση της κίνησης και την αραιώση των προϊόντων της καύσης μέσα από ένα πλήρες δίκτυο σηράγγων. Παρακάτω θα αναφερθούμε επιφανειακά στα διαφορετικά διαθέσιμα μοντέλα, τις δυνατότητες και τους εγγενείς περιορισμούς τους στο πεδίο εφαρμογών τους. Φυσικά απαιτούνται περιοδικές πειραματικές επαληθεύσεις στις προβλέψεις των μοντέλων για την εξασφάλιση της αξιοπιστίας των μεθόδων μοντελοποίησης.

#### **4.6.1 Μοντελοποίηση δικτύου εξαερισμού**

Μοντέλα, όπως τα SES, VENDIS-FS και MFIRE (Chang *et al* [96]), αναπτύχθηκαν από το αμερικανικό Bureau of Mines, και χρησιμοποιούνται πιο συχνά στο σχεδιασμό ολοκληρωμένων συστημάτων εξαερισμού για δίκτυα σηράγγων και για την μοντελοποίηση της συνολικής ανταπόκρισης των δικτύων αυτών σε πυρκαγιές. Τυπικά, αυτά τα μοντέλα υπολογίζουν το διαταραγμένο αερισμό του δικτύου σε περίπτωση πυρκαγιάς και επιτρέπουν στο χρήστη να ακολουθήσει την κατάντη χρονική ανάπτυξη της κίνησης του καπνού και τη σχετική πυκνότητά του. Για τους σκοπούς της προσομοίωσης, το δίκτυο των σηράγγων θεωρείται ότι αποτελείται από κλειστά κυκλώματα αεραγωγών που τέμνονται σε διασταυρώσεις. Οι εξισώσεις για τη διατήρηση της ενέργειας για κάθε κύκλωμα, και η διατήρηση της μάζας σε κάθε διασταύρωση, εφαρμόζεται για να δώσει ένα σύστημα αλγεβρικών εξισώσεων που

επιλύονται επαναληπτικά. Σε αυτά τα μοντέλα μπορούν να συμπεριληφθούν ανεμιστήρες κυκλοφορίας καπνού.

Μοντέλα που βασίζονται σε δικτυακές προσεγγίσεις δεν παρέχουν καμία λεπτομέρεια όσον αφορά τις τοπικές ροές που δημιουργούνται από τη φωτιά ούτε τις αλληλεπιδράσεις τους με τον εξαερισμό. Αυτό είναι επειδή υποθέτουν ότι η θερμότητα και τα προϊόντα της καύσης είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα πάνω στην εγκάρσια διατομή και το μήκος της σήραγγας. Παρ'όλα αυτά, οι τεχνικές αυτές είναι χρήσιμες για την παροχή μια συνολικής εικόνας για τις συνέπειες της φωτιάς σε ένα δίκτυο σηράγγων, επιτρέποντας να σχεδιαστούν και να αξιολογηθούν στρατηγικές εκκένωσης. Επιπλέον, μπορούν να παρέχουν οριακές συνθήκες για πιο πολύπλοκες μεθόδους μοντελοποίησης. Τα μοντέλα δικτύων φαίνεται να έχουν λάβει περιορισμένη πειραματική επαλήθευση για περιπτώσεις πυρκαγιάς, αν και δεν πιστεύεται ότι δίνουν παραπλανητικά αποτελέσματα (για την προαναφερόμενη χρήση τους) - τουλάχιστον όταν τα προϊόντα καύσης έχουν ψυχθεί σε, σχεδόν, συνθήκες περιβάλλοντος.

#### **4.6.2 Φαινομενολογικά μοντέλα**

Τα φαινομενολογικά μοντέλα προσπαθούν να προβλέψουν τα κύρια χαρακτηριστικά της φωτιάς που δημιουργείται από τις ροές σε ανοικτές σήραγγες, τόσο ανάντη και κατάντη της εστίας, και την αλληλεπίδρασή τους με διαμήκη εξαερισμό. Παρέχουν έτσι περισσότερη λεπτομέρεια από τις απλές εμπειρικές προσεγγίσεις, αλλά λιγότερο από την πολυδιάστατη πληροφορία που διατίθεται από τεχνικές CFD. Οι επιλύσεις τυπικά επιτυγχάνονται με λύσεις ενός συνόλου συνήθων διαφορικών εξισώσεων. Υπάρχουν σχετικά λίγα δημοσιευθέντα μοντέλα που εμπίπτουν σε αυτή την κατηγορία.

Στην ολοκληρωμένη προσέγγιση, μονοδιάστατες ολοκληρωτικές εξισώσεις για τη μάζα, την ορμή και την εξοικονόμηση ενέργειας προσεγγίζονται για κάθε μία από αυτές τις περιοχές. Οι προκύπτουσες συνήθεις διαφορικές εξισώσεις λύνονται τότε με τη χρήση ευρέως διαθέσιμων τεχνικών.

Στην προσέγγιση μοντελοποίησης ζώνης, το περιβάλλον της φωτιάς χωρίζεται σε διακριτούς χώρους και σχέσεις μηδενικών διαστάσεων προσεγγίζονται για κάθε μία από αυτές τις περιοχές, ή ζώνες. Οι σχέσεις αυτές εκφράζουν την ανταλλαγή μάζας, ορμής και ενέργειας στα όρια της ζώνης, με την προϋπόθεση ομοιόμορφων συνθηκών μέσα σε κάθε ζώνη. Κατά συνέπεια, η περιοχή μπορεί να διαιρεθεί σε πολλές ζώνες σε μια προσπάθεια να διατηρηθεί κάποια διαστασιακή λεπτομέρεια. Στην περίπτωση μιας πυρκαγιάς σε θάλαμο κατάλληλες ζώνες θα είναι η γλώσσα της φλόγας, το θερμό στρώμα καπνού και το ψυχρό στρώμα αέρα από κάτω. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της κατηγορίας μοντέλου είναι ότι, κατ'αρχήν, τα σημαντικά φυσικά φαινόμενα εκπροσωπούνται και έτσι γενικά

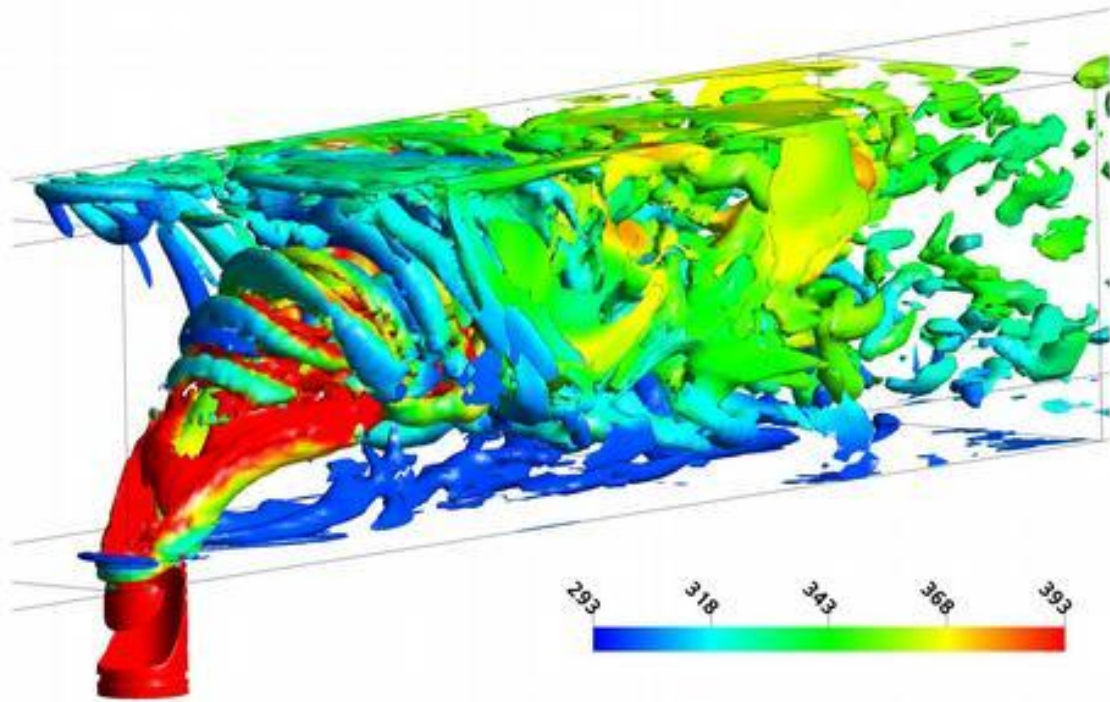
χαρακτηριστικά, όπως η ύπαρξη ενός επιστρεφόμενου στρώματος καπνού, ή η εξέλιξη των θερμοκρασιών στο στρώμα οροφής, θα μπορούν να αναπαραχθούν. Επιπλέον, αυτά τα μοντέλα τρέχουν γρήγορα σε έναν απλό υπολογιστή. Η προσέγγιση αυτή, απαιτεί, ωστόσο, ότι οι σημαντικές διαδικασίες μεταφοράς θερμότητας και ροής μπορούν να προσδιοριστούν και να κατανοηθούν εκ των προτέρων.

Μια σημαντική κριτική της φαινομενολογικής προσέγγισης είναι ότι βασίζονται αναγκαστικά σε χονδροειδής απλουστεύσεις ενός σύνθετου σεναρίου καύσης και ρευστής ροής. Αυτό είναι αποδεκτό αν υπάρχει μια ισχυρή πειραματική θεμελίωση για τέτοιες απλουστεύσεις, όπως υπάρχει με τα μοντέλα ζωνών πυρκαγιών θαλάμων. Δυστυχώς, είναι συζητήσιμο αν το ίδιο μπορεί να ειπωθεί για αυτές τις προσεγγίσεις, στην εφαρμογή τους σε πυρκαγιές σε σήραγγες.

#### **4.6.3 Μέθοδοι που βασίζονται στην υπολογιστική δυναμική ρευστών**

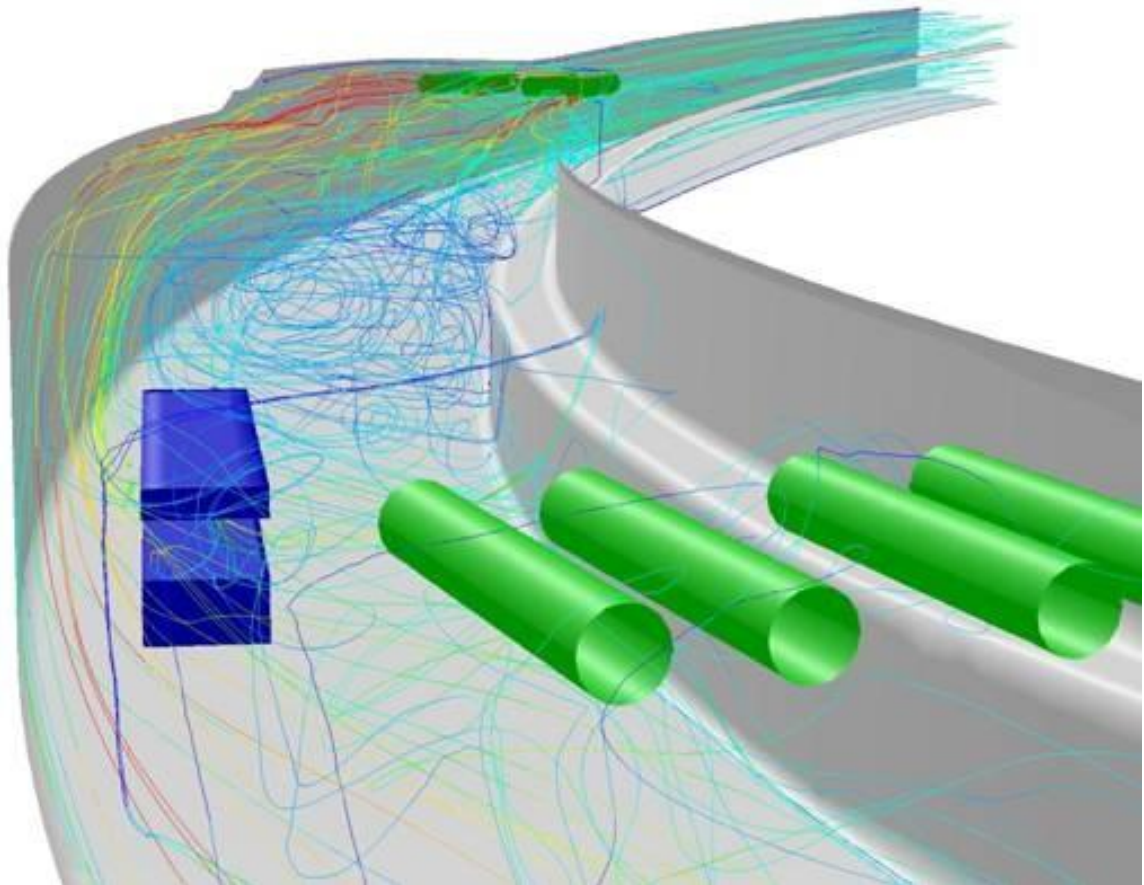
Η αυξανόμενη διαθεσιμότητα ισχυρών υπολογιστών, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη αποτελεσματικών αριθμητικών τεχνικών, έχει φέρει στην επιφάνεια πολλά σύνθετα μαθηματικά μοντέλα που μπορούν να αναλύσουν τα εν γένει προβλήματα στην μηχανική των ρευστών μέσα από την επίλυση θεμελιωδών εξισώσεων διατήρησης (μάζας, ενέργειας κλπ). Αυτά τα μοντέλα αναφέρονται ως μοντέλα CFD, ή πιο γενικά ως «μοντέλα πεδίου», σε αντίθεση με τα «μοντέλα ζώνης» που αναφέρθηκαν παραπάνω. Σε ένα μοντέλο πεδίου, η περιοχή ενδιαφέροντος χωρίζεται σε μικρούς όγκους και οι εξισώσεις που αντιπροσωπεύουν τη διατήρηση της ορμής, της ενέργειας και της συγκέντρωσης γραμμομορίων, κλπ., λύνονται σε ένα σημείο μέσα σε κάθε όγκο. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει, στη θεωρία, μία πολύ λεπτομερή επίλυση του προβλήματος όσον αφορά το χώρο και το χρόνο για όλες τις ζητούμενες παραμέτρους. Η ανάγκη για ισχυρούς υπολογιστές και αποδοτικούς αλγόριθμους επίλυσης απορρέει από τη μη γραμμική φύση του προβλήματος. Σε ένα μοντέλο ζωνών, προβλέπονται εμπειρικά, ίσως δύο ή τρεις περιοχές. Ένα μοντέλο τομέα περιλαμβάνει αρκετές δεκάδες χιλιάδες «ζώνες», σε συνδυασμό με τις θεμελιώδεις εξισώσεις της ρευστομηχανικής. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει μια περισσότερο μηχανιστική αναπαράσταση των διεργασιών οι οποίες εισάγονται στο μοντέλο. Ως εκ τούτου, υπάρχει λιγότερη εξάρτηση από εμπειρικές χονδροειδείς προσεγγίσεις. Επιπρόσθετα οι αναπαραστάσεις των φαινομένων, όπως η καύση, οι στροβιλισμοί και μοντέλα ακτινοβολιών μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα πιο θεμελιώδες επίπεδο. Υπό την προϋπόθεση ότι οι οριακές συνθήκες και τα μοντέλα στροβιλισμού είναι επαρκή, τα μοντέλα πεδίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διερεύνηση διαμορφώσεων ροής, όπου ένα μοντέλο ζωνών θα ήταν άχρηστο απουσία καθορισμένων εμπειρικών δεδομένων για μια παρόμοια διαμόρφωση. Στη συνέχεια, εξελιγμένη γραφική μετεπεξεργασία των πρωτόγεννων αριθμητικών δεδομένων εξόδου επιτρέπει τα πιο σημαντικά

χαρακτηριστικά του πεδίου ροής να απεικονιστούν εύκολα, όπως για παράδειγμα στα Σχήματα 4-11 και 4-12 ([97]-[98]).



**Σχήμα 4-11:** Οπτικοποίηση του στιγμιαίου πεδίου στροβιλότητας από ένα ζεστό πίδακα σε μία περιορισμένη εγκάρσια ροή





**Σχήμα 4-12: Μοντέλο CFD σταθερής κατάστασης και μεταβατικής ροής τριών διαστάσεων με καύση και θερμική άνωση**

#### **4.7 Συζήτηση πάνω στη χρήση μοντέλων για τη μελέτη πυρκαγιών σε σήραγγες**

Τα θεωρητικά μοντέλα, ειδικά τα μοντέλα που βασίζονται σε υπολογιστή, μπορούν να είναι πολύ πολύτιμα στην υποστήριξη της λήψης αποφάσεων για την παροχή πυρασφάλειας σε σήραγγες. Ωστόσο, τα μοντέλα είναι επίσης ικανά να παραπλανήσουν και να προκαλούν τη λήψη αποφάσεων οι οποίες δεν θα έπρεπε να γίνουν δεκτές. Τα μοντέλα θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο σε ένα υποστηρικτικό ρόλο, υπό το φως των άλλων γνώσεων και εμπειρίας πάνω σε πυρκαγιές. Περαιτέρω, προκειμένου να μπορούν να χρησιμοποιηθούν μοντέλα πυρκαγιάς με αποδεκτό τρόπο, διάφορες προϋποθέσεις πρέπει να υπάρχουν. Αυτές αναφέρονται παρακάτω (Beard, Carvel [1]):

- Ένα μοντέλο πρέπει να έχει το δυναμικό να είναι χρήσιμο ώστε να βοηθήσει το χρήστη να κατανοήσει καλύτερα μια συγκεκριμένη πραγματική περίπτωση. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να καθιερωθεί μία διαδικασία για ανεξάρτητη αξιολόγηση του μοντέλου. Αυτό θα πρέπει να οδηγήσει σε ένα τρόπο αποδοχής ή μη αποδοχής, κάθε μοντέλου για συγκεκριμένες χρήσεις με

συγκεκριμένους τρόπους. Θα ήταν σκόπιμο να δημιουργηθούν ομάδες αξιολόγησης μοντέλων (model assessment groups - mags). Αυτό προϋποθέτει ότι κάθε ομάδα αξιολόγησης μοντέλων θα αποτελείται από ανθρώπους που είναι όσο το δυνατόν πιο «ανεξάρτητοι» από το μοντέλο που εξετάζεται: θα πρέπει να μην έχουν κανένα ενδιαφέρον για την προώθηση ή την αποθάρρυνση της χρήσης του κάθε συγκεκριμένο μοντέλο το οποίο είναι το αντικείμενο εξέτασης.

- Ένα μοντέλο πρέπει να χρησιμοποιηθεί κατά αποδεκτό τρόπο. Για το σκοπό αυτό μια μεθοδολογία χρήσης θα πρέπει να κατασκευαστεί η οποία θα προσπαθεί να βοηθήσει το χρήστη να εφαρμόσει το μοντέλο με ένα αποδεκτό τρόπο. Ουσιαστικά, θα ενθαρρύνει ένα χρήστη, μέσω των σταδίων και των απαιτήσεων της μεθοδολογίας, να εφαρμόζει συνειδητά τη διαδικασία και να είναι ανοιχτός και σαφής για την εφαρμογή της. Αυτό είναι ζωτικής σημασίας. Τα πλήρη στοιχεία θα πρέπει να είναι διαθέσιμα σε όποιον φορέα τα ζητήσει με σκοπό τη διαφάνεια. Αναφορικά με πιθανές πηγές σφαλμάτων που μπορεί να εμπλακούν κατά την εφαρμογή ενός μοντέλου έχουμε τις παρακάτω:
  - Έλλειψη πραγματικότητας στις θεωρητικές και αριθμητικές παραδοχές στο μοντέλο.
  - Έλλειψη πιστότητας των διαδικασιών αριθμητικής επίλυσης.
  - Απευθείας λάθη στο software
  - Λάθη στο hardware της υπολογιστικής μονάδας
  - Λάθη στην εφαρμογή (εισαγωγή δεδομένων, χειρισμός)
  - Μη επαρκής οδηγιών χρήσης

Συνολικά, τα αποτελέσματα από ένα μοντέλο πρέπει να εξετάζονται σε σχέση με τους περιορισμούς και τις προϋποθέσεις της εφαρμογής οποιουδήποτε μοντέλου που χρησιμοποιείται. Μελέτες ευαισθησίας είναι ζωτικής σημασίας σε οποιαδήποτε εφαρμογή σε μία περίπτωση στον πραγματικό κόσμο και αυτό θα πρέπει να τονιστεί ως μέρος μιας αποδεκτής μεθοδολογίας χρήσης.

- Οι χρήστες των μοντέλων πρέπει να έχουν επαρκή γνώση σχετικά με το μοντέλο και τη συμπεριφορά μιας φωτιάς. Κατ'αρχήν, θα ήταν δυνατόν για μια αποδεκτή μεθοδολογία χρήσης που πρέπει να εφαρμοστεί σε ένα μοντέλο που έχει το δυναμικό να έχουν αξία σε μια συγκεκριμένη περίπτωση, να γίνει με τρόπο που δεν είναι κατάλληλος. Η μεθοδολογία χρήσης θα παρέχει ένα πλαίσιο, το οποίο ενθαρρύνει και βοηθά το χρήστη να εφαρμόσει ένα μοντέλο με τον κατάλληλο τρόπο σε μια δεδομένη περίπτωση. Ωστόσο, ο χρήστης πρέπει να γνωρίζει

σχετικά με το μοντέλο και τη συμπεριφορά μιας φωτιάς, προκειμένου να προσπαθήσει να μειώσει την πιθανότητα παρερμηνείας των θεωρητικών αποτελεσμάτων. Τα θεωρητικά αποτελέσματα πρέπει πάντοτε να ερμηνεύονται στο πλαίσιο άλλων γνώσεων και εμπειρίας. Αξίζει να σημειωθεί, σε αυτό το σημείο, η ύπαρξη μιας πρότασης για ένα «πρόγραμμα σπουδών» στη μηχανική πυρασφάλειας, το οποίο θα μπορούσε να συσχετιστεί με ένα πρόγραμμα σπουδών «Συστημάτων Αυτοματισμού», καθώς ένα σημαντικό ποσοστό διδακτικής ύλης είναι βασικό και για τα δύο προγράμματα. Ένα τέτοιο πρόγραμμα σπουδών θα πρέπει να λαμβάνει ρητά υπόψη τους γενικούς περιορισμούς και τους όρους της εφαρμογής της με τη χρήση μοντέλων, ειδικά μοντέλων υπολογιστή, σε σχέση με την λήψη αποφάσεων πυρασφάλειας. Γενικές απαιτήσεις για αποδεκτή χρήση των μοντέλων πυρκαγιάς, όλων των ειδών, πρέπει να συμπεριληφθούν. Το προτεινόμενο πρόγραμμα σπουδών θα μπορούσε να βελτιωθεί στο θέμα αυτό. Πέρα από εκπαιδευτικά προγράμματα που θα παρέχουν γενικευμένες γνώσεις μηχανικής πυρασφάλειας και μοντελοποίησης, θα πρέπει να υπάρχουν, επίσης, εξειδικευμένα μαθήματα σε συγκεκριμένα μοντέλα τα οποία θα περιλαμβάνουν συγκεκριμένους περιορισμούς και προϋποθέσεις εφαρμογής τους. Πρέπει να γίνει κατανοητό, ωστόσο, ότι η γνώση της χρήσης ενός μοντέλου εξαρτάται από την εμπειρία, καθώς και την «εκπαίδευση». Λαμβάνοντας υπόψη αυτό, ενώ ένας χρήστης πρέπει να έχει γνώση της δυναμικής της φωτιάς, είναι επίσης απαραίτητο να μπορεί να αξιοποιήσει την γνώση και την εμπειρία άλλων, σε συγκεκριμένες περιπτώσεις.

Τα μοντέλα είναι σε θέση να παρέχουν σημαντική βοήθεια στη λήψη αποφάσεων σε σχέση με την ασφάλεια των σηράγγων. Ωστόσο, είναι επίσης δυνατόν η χρήση τους να οδηγήσει, δυνητικά, σε λανθασμένες αποφάσεις και αυτό θα μπορούσε επίσης να είναι επικίνδυνο. Η δημιουργία ενός συνεκτικού πλαισίου μπορεί να βοηθήσει να κάνουν τα μοντέλα φωτιάς πολύτιμα και αποδεκτά παρά προβληματικά στο μέλλον. Εκτός από τα μοντέλα ανάπτυξης φωτιάς και καπνού, αρχίζουν επίσης να εφαρμόζονται υπολογιστικά μοντέλα εκκένωσης στις πυρκαγιές σήραγγας. Προς το παρόν, όμως, πάρα πολύ λίγα είναι γνωστά σχετικά με την ανθρώπινη συμπεριφορά σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης πυρκαγιών σε σήραγγες για να είναι σε θέση να δημιουργηθεί ένα ρεαλιστικό μοντέλο εκκένωσης.

#### **4.8 Σκέψεις - Συμπεράσματα**

Η πυρασφάλεια είναι τώρα ένας από τους κύριους παράγοντες στο σχεδιασμό των συστημάτων εξαερισμού σηράγγων. Χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της κίνησης του καπνού και για την παροχή στους χρήστες της σήραγγας μιας βιώσιμης ατμόσφαιρας για την εκκένωση από το χώρο της φωτιάς.

Κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος εξαερισμού με σκοπό την άμβλυση των επιπτώσεων μιας πυρκαγιάς, απαιτούνται δύο βασικά είδη πληροφοριών:

- (1) Καθορισμός των πυρκαγιών που ενδέχεται να προκύψουν στην εγκατάσταση - οι πυρκαγιές με βάση το σχεδιασμό. Αυτό θα πρέπει ιδανικά να περιλαμβάνει την μεταβαλλόμενη χρονικά θερμότητα εξόδου και το ρυθμό παραγωγής καπνού και άλλων τοξικών προϊόντων.
- (2) Η απόκριση της φωτιάς των προϊόντων καύσης σε αλλαγές στον εφαρμοζόμενο εξαερισμό.

Η πιο προσβάσιμη μορφή για αυτές τις πληροφορίες θα ήταν ένα σύνολο καλά δοκιμασμένων και ευρέως αποδεκτών εργαλείων μοντελοποίησης πρόβλεψης.

Το περιβάλλον στο οποίο λειτουργούν οι σχεδιαστές έχει βελτιωθεί σημαντικά κατά τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια. Υπάρχει πολύ καλύτερη διαθεσιμότητα δεδομένων, ως αποτέλεσμα των πειραμάτων μεγάλης κλίμακας MTFVTP, του EUREKA Firetun κ.ά. καθώς και εργασίες μικρότερης κλίμακας που διεξάγονται βάσει κλιμάκωσης. Τα δεδομένα που συλλέγονται είναι τώρα πιο σχετικά με την ποσοτικοποίηση του αληθινού κίνδυνου πυρκαγιάς. Συνεπώς ένας μικρός αριθμός δοκιμών, περιορισμένος από το κόστος και τη διαθεσιμότητα των εγκαταστάσεων, έχει αναγνωρίσει την παραγωγή θερμότητας από έναν αριθμό διαφορετικών τύπων οχημάτων σε ένα περιορισμένο φάσμα καταστάσεων αερισμού. Ωστόσο, παραμένει η ανάγκη να εξεταστεί η επίδραση των διαφορετικών φορτίων που μεταφέρονται από βαρέα φορτηγά οχήματα. Σημαντική προσπάθεια έχει αφιερωθεί στην απόκριση της γλώσσας της φωτιάς σε αλλαγές στον αερισμό, κυρίως ως αποτέλεσμα της ευκολίας κλιμάκωσης αυτής της αλληλεπίδρασης. Ως αποτέλεσμα, ο έλεγχος και η κίνηση του καπνού είναι λογικά καλά κατανοητή.

Τα δεδομένα από αυτά τα πειράματα έχουν επίσης προσφέρει ένα πληρέστερο υπόβαθρο για την ανάπτυξη εργαλείων μοντελοποίησης. Πολλοί μελετητές χρησιμοποιούν τώρα αυτά τα εργαλεία, όπως είναι αυτονόητο, για την ανάπτυξη στρατηγικών αερισμού σηράγγων, ως αποτέλεσμα των διάφορων μελετών που έχουν δημοσιευθεί οι οποίες συγκρίνουν τις προβλέψεις μοντέλων με τα πειραματικά αποτελέσματα. Οι πρόοδοι στο υπολογιστικό hardware έχουν, επίσης, κάνει την ευρεία εφαρμογή των μοντέλων με βάση την υπολογιστική ρευστοδυναμική μια πιο πρακτική και προσιτή επιλογή. Περισσότερα προηγμένα μοντέλα, όπως αυτά που βασίζονται στο Large Eddy Simulation (LES), εφαρμοσμένα, μέχρι πρόσφατα, μόνο από την ερευνητική κοινότητα, χρησιμοποιούνται, επίσης, ευρύτερα.

Ωστόσο, υπάρχει μια απαίτηση για περαιτέρω ανάπτυξη πειραμάτων και μοντέλων για να δοθεί μεγαλύτερη βεβαιότητα στη διαδικασία σχεδιασμού, ιδίως όταν πρόκειται για συστήματα και

αποφάσεις κρίσιμες για την ασφάλεια. Ειδικότερα, δεδομένου ότι τροποποίηση στον εξαερισμός είναι τώρα μία τυποποιημένη απάντηση σε περιστατικά πυρκαγιάς, υπάρχει μια ανάγκη να εξεταστεί η επίδραση του αερισμού στην φωτιά. Έτσι, το ζήτημα του ελέγχου εξαερισμού της πυρκαγιάς σήραγγας πρέπει να αντιμετωπιστεί - αρχικά μέσω πειραμάτων, δεδομένου ότι αυτό είναι μια από τις περιπτώσεις στις οποίες η εμπιστοσύνη στη μοντελοποίηση είναι χαμηλή - για να καθοριστεί ο τρόπος μεταβολής του ποσοστού καύσης, η ανάπτυξη φωτιάς / εξάπλωση φλόγας και παραγωγή καπνού / τοξικών ειδών ανάλογα με την επιβαλλόμενη ροή. Υπονοούμενη είναι η κατανόηση του τρόπου εξάπλωσης της φωτιάς μέσα σε μια σήραγγα. Λεπτομερείς μελέτες θα πρέπει να οδηγήσουν στη συνέχεια σε πιο ενημερωμένη ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης και να παρέχουν τη βάση για τη λεπτομερή, εις βάθος, αξιολόγηση των μοντέλων.

Το υπάρχον γνωστικό υπόβαθρο δεν επιτρέπει ως εκ τούτου τον προσδιορισμό οποιασδήποτε τυπικής προσέγγισης για το σχεδιασμό του συστήματος εξαερισμού για τον έλεγχο πυρκαγιάς, αλλά απαιτεί ότι όλες οι περιπτώσεις θα πρέπει να εξετάζονται μεμονωμένα και να προσεγγίζονται μέσα από την ανάπτυξη και πειραμάτων και εργαλείων μοντελοποίησης. Τα εργαλεία μοντελοποίησης μπορούν να εφαρμοστούν μόνο με στενή αναφορά σε σχετικά δεδομένα.

# 5 Λειτουργία έκτακτης ανάγκης σε μια οδική σήραγγα κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς - Αυτοματοποίηση

---

## 5.1 Εισαγωγή

Στα παραπάνω κεφάλαια μιλήσαμε για την ανάγκη σωστού σχεδιασμού μιας σήραγγας, κατασκευαστικά και λειτουργικά, με σκοπό την προστασία από πυρκαγιά του έμψυχου και άψυχου υλικού της, καθώς και των χρηστών της. Στο κεφάλαιο της πυρανίχνευσης μιλήσαμε για τον έγκαιρο και έγκυρο εντοπισμό εστιών φωτιάς και στο κεφάλαιο της πυροπροστασίας μιλήσαμε για μεθόδους κατάσβεσης ή περιορισμού των επιπτώσεων μιας πυρκαγιάς. Επεκτείνοντας την παραπάνω διερεύνηση μιλήσαμε για την χρήση του συστήματος εξαερισμού ως μέσο ενεργού ελέγχου κατά πρώτο λόγο του μεγέθους της εστίας και κατά δεύτερο λόγο της θέσης, μετακίνησης και του όγκου του παραγόμενου καπνού. Στο κεφάλαιο αυτό θα μιλήσουμε για τη χρήση των παραπάνω συστημάτων κατά την εξέλιξη μιας πυρκαγιάς, τονίζοντας τα σημεία τα οποία θα πρέπει να έχει υπόψη του ο μηχανικός αυτοματισμών ο οποίος θα εγκαταστήσει/προγραμματίσει το σύστημα πυρανίχνευσης και καταστολής πυρκαγιάς στη σήραγγα καθώς και του συστήματος ενημέρωσης και διαφυγής των χρηστών της σήραγγας.

Η ασφάλεια της σήραγγας εξαρτάται από τρεις παράγοντες:

- Το σχεδιασμό της σήραγγας - ο οποίος περιλαμβάνει τη βασική διάταξη της σήραγγας, συμπεριλαμβανομένων όλων των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων (εξαερισμός).
- Την κανονική διαχείριση της σήραγγας συμπεριλαμβανομένων της επιχειρησιακής διαχείρισης, της διαχείρισης της κυκλοφορίας και της ηλεκτρομηχανολογικής διαχείρισης.
- Την αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης.

Η ασφάλεια σε μια σήραγγα επιτυγχάνεται μέσω ενός συνδυασμού των τριών αυτών παραγόντων και θα πρέπει να τονιστεί ότι τόσο ο σχεδιασμός της σήραγγας όσο και η κανονική διαχείριση της σήραγγας θα επηρεάσει σημαντικά την αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, τόσο όσον αφορά τον τρόπο της αντιμετώπισης όσο και στο μέγεθος του ρόλου της στη διασφάλιση των ατόμων που χρησιμοποιούν τη σήραγγα.

Παρά το γεγονός ότι το στάδιο του σχεδιασμού έρχεται πολύ πριν από την πιθανή αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη τέτοια πιθανά σενάρια κατά την εκπόνησή του. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο σχεδιασμός και η κατασκευή ορισμένων χαρακτηριστικών ασφαλείας δεν οδηγεί απαραίτητως σε μια «ασφαλή» σήραγγα. Ο σχεδιασμός της σήραγγας είναι μόνο ένας από τους πολλούς παράγοντες ασφαλείας, αλλά πρέπει να έχουμε υπόψη ότι μόλις ολοκληρωθεί η κατασκευή, πιθανή αλλαγή είναι πολύ δύσκολη και εξαιρετικά δαπανηρή. Οπότε μία ολοκληρωμένη κατανόηση των χαρακτηριστικών ασφαλείας και η εκπόνηση των σχεδίων δράσης των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης - το οποίο είναι μια αμφίδρομη διαδικασία - είναι απαραίτητα πριν την ολοκλήρωση του σχεδιασμού. Και επιστρέφοντας στον τομέα δράσης του μηχανικού αυτοματισμών, η επιλογή του εξοπλισμού, η τοποθέτησή του και κυρίως ο αλγοριθμικός προγραμματισμός του και βελτιστοποίηση της λειτουργίας του βασίζεται στις παρατηρήσεις των «έμπειρων» σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης (πυροσβέστες, διασώστες), έτσι ώστε να γίνει βέλτιστη προσομοίωση της λειτουργίας ενός ελεγκτή / διαχειριστή σήραγγας και δυναμικά αντικατάστασή του.

Κατ' αρχάς, αξίζει να υπενθυμίσουμε ότι λέγεται συχνά ότι κάθε σήραγγα είναι μοναδική και πρέπει να αντιμετωπίζεται κατά περίπτωση. Ενώ αυτό μπορεί να ισχύει για κάποια ειδικά θέματα, είναι εξίσου αλήθεια ότι η τυποποίηση και η εναρμόνιση σε κανόνες και οδηγίες είναι επωφελείς τακτικές και θα πρέπει να επιδιώκονται όσο γίνεται περισσότερο. Τα καλύτερα αποτελέσματα παράγονται με την πρακτική εκμάθηση από την ευρύτερη δυνατή εμπειρία και συνδυάζοντας την με μια λεπτομερή κατανόηση των τοπικών παραγόντων και της επιρροή τους, ιδιαίτερα τους όποιους περιορισμούς επιβάλλονται από αυτούς.

Δεν υπάρχουν υποχρεωτικά διεθνή πρότυπα. Ορισμένες χώρες, όπως η Ολλανδία, η Γερμανία και η Αυστρία, εφαρμόζουν υποχρεωτικές ελάχιστες προδιαγραφές, αλλά αυτό δεν είναι διεθνές φαινόμενο. Σε ορισμένες χώρες, οι οποίες έχουν «εθνικά πρότυπα», αυτές οι προδιαγραφές μπορεί να ισχύουν μόνο για νεόκτιστες σήραγγες οι οποίες ανήκουν στο κύριο εθνικό οδικό δίκτυο. Επίσης, τα πρότυπα αυτά μπορεί να ισχύουν για την κατασκευή και τον εξοπλισμό, τη συντήρηση, τη λειτουργία, ή για κάποιες από τις παραπάνω κατηγορίες μαζί. Όπως φαίνεται δεν υπάρχει κάποιο ιδανικό μοντέλο για την αντιγραφή των προδιαγραφών του.

Ωστόσο, ακόμα και όταν εφαρμόζονται τα υποχρεωτικά ελάχιστα πρότυπα, μπορεί να μην είναι επαρκές για μια πραγματική πυρασφάλεια η κάλυψη απλώς των απαιτήσεών τους. Ο ηθικός πυρήνας της «κουλτούρας ασφάλειας» αναλώνεται στο ρητό «τόσο ασφαλές όσο είναι πρακτικά εφικτό», το οποίο μπορεί επίσης να οριστεί ως «η βέλτιστη δυνατή πρακτική εντός των ορίων των τοπικών συνθηκών». Ας μην ξεχνάμε όμως ότι οι «τοπικές συνθήκες» περιλαμβάνουν στον πυρήνα τους τις

οικονομικές συνθήκες, πράγμα το οποίο μπορεί να ωθήσει τον μηχανικό πυρασφαλείας σε «λογικές» περικοπές, με σκοπό την ικανοποίηση των μετόχων της εταιρίας διαχείρισης της σήραγγας.

Ένα άλλο ζήτημα τοπικών συνθηκών είναι το παρακάτω. Οι σήραγγες συνήθως ενώνουν περιοχές οι οποίες υπόκεινται σε διαφορετικές διοικητικές οντότητες (νομοί, επαρχίες ή ακόμη και χώρες) ξεπερνώντας εμπόδια, όπως βουνά (Mont Blanc) ή εκτάσεις νερού (σήραγγα της Μάγχης), οι οποίες συχνά αποτελούν βολικά όρια μεταξύ των εθνικών ή περιφερειακών κυβερνήσεων. Είναι απαραίτητο σε αυτές τις περιπτώσεις ότι από την αρχή ένα ενιαίο κοινό όργανο είναι εγκατεστημένο με την πλήρη συνεργασία και συμφωνία των εμπλεκόμενων μερών, και ότι αυτός ο κοινός οργανισμός πρέπει να έχει πλήρης και σαφώς καθορισμένες αρμοδιότητες, χρηματοδότηση, ρόλους και ευθύνες για την όλη τη διάρκεια του σχεδιασμού, της κατασκευής, της συντήρησης και την λειτουργίας της σήραγγας με κατάλληλα πρότυπα σε όλο το μήκος της. Είναι γνωστό το αποτέλεσμα μη ύπαρξης κοινού οργάνου λειτουργίας της σήραγγας του Mont Blanc πριν από του 2000. Η ασυνεννοησία ανάμεσα στους δύο εθνικούς φορείς (γαλλικό και ιταλικό) προκάλεσε την καταστροφή το 1999. Πρέπει να δοθεί πάρα πολύ μεγάλη έμφαση στο ότι κάθε σήραγγα πρέπει να είναι υπό τον έλεγχο ενός ενιαίου φορέα με ενιαία πρότυπα, διαδικασίες και πρωτόκολλα λειτουργίας.

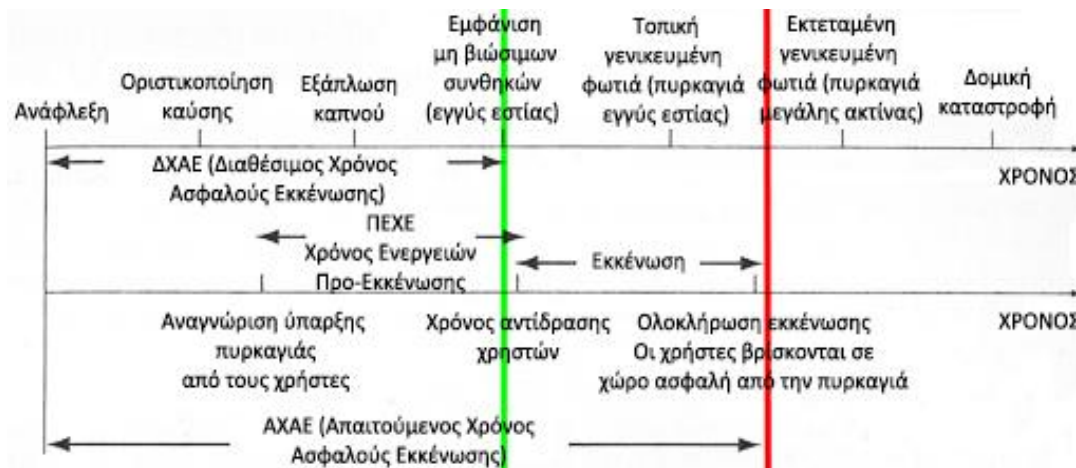
Είναι επίσης πολύ σημαντικό ότι τα πρότυπα και οι διαδικασίες λειτουργίας, για κάθε συγκεκριμένη σήραγγα, αν και σύμφωνα με τις ισχύουσες υποχρεωτικές προδιαγραφές, θα πρέπει, επίσης, να λαμβάνουν πλήρως υπόψη το γεωγραφικό και κυκλοφοριακό περιβάλλον και τη διαθεσιμότητα ή τους περιορισμούς των τοπικών πόρων υποστήριξης.

## 5.2 Ζήτημα χρόνου - Εξέλιξη πυρκαγιάς και ασφαλής εκκένωση

Στη μηχανική πυρασφάλειας, ο χρόνος εξέλιξης γεγονότων είναι το μέτρο με το οποίο εκτιμάται η ασφάλεια προστασίας ζωής των χρηστών της σήραγγας για ένα δεδομένο σενάριο πυρκαγιάς (Beard, Carvel [1]). Το Σχήμα 5.1 απεικονίζει σε παράλληλες γραμμές το χρόνος ανάπτυξης της φωτιάς και την ασφάλεια των χρηστών σε σχέση με εκκένωση. Η ενημέρωση για πυρκαγιά που λαμβάνεται από τους χρήστες σε κάθε σημείο της σήραγγας μπορεί να είναι ορατή φλόγα, θερμότητα ή καπνός ή η ενεργοποίηση του συστήματος ενημέρωσης του συστήματος πυρασφάλειας. Αυτή η ενημέρωση που λαμβάνεται από τους χρήστες ξεκινάει μια διαδικασία επικύρωσης των στοιχείων αναγνώρισης πυρκαγιάς και ερμηνείας τους, δηλαδή το ότι υπάρχει μία πυρκαγιά σε εξέλιξη και ο χρήστης είναι σε κίνδυνο. Αυτή με τη σειρά της θα οδηγήσει σε μια



διαδικασία λήψης αποφάσεων, δηλαδή, εάν δεν έγινε παρερμηνεία των στοιχείων αναγνώρισης της πυρκαγιάς, σε εκκένωση του χώρου. Οι περίοδοι αναγνώρισης ύπαρξης πυρκαγιάς και ο μετέπειτα χρόνος απόκρισης σε αυτή την αναγνώριση συχνά αναφέρεται ως Χρόνος Ενεργειών Προ-Εκκένωσης (ΠΕΧΕ), δηλαδή, ο χρόνος που περνάει σε δραστηριότητες πριν αρχίσει η κινητοποίηση της διαδικασίας εκκένωσης.



**Σχήμα 5-1: Ανάπτυξη κίνδυνου πυρκαγιάς σε σήραγγα, ΔΧΑΕ, ΑΧΑΕ και ΠΕΧΕ**

Στο Σχήμα 5.1, εισάγεται η έννοια του Διαθέσιμου Χρόνου Ασφαλούς Εκκένωσης (ΔΧΑΕ) από τη σήραγγα. Αυτό είναι μία συνάρτηση της ανάπτυξης της πυρκαγιάς και του καπνού, δηλαδή, είναι το χρονικό διάστημα μεταξύ της ανάφλεξης της φωτιάς και της έναρξης μη βιώσιμων συνθηκών στις κοντινές και μακρινές περιοχές της σήραγγας σε σχέση με την εστία έναρξης της φωτιάς. Ο Απαιτούμενος Χρόνος Ασφαλούς Εκκένωσης (ΑΧΑΕ) είναι μια συνάρτηση των χρηστών της σήραγγας, δηλαδή, είναι ο χρόνος που απαιτείται για την εξασφάλιση ότι οι επιβάτες μπορούν να εκκενώσουν με ασφάλεια τους απειλούμενους από φωτιά χώρους. Η ανάλυση βιωσιμότητας για τον ΔΧΑΕ θα περιλαμβάνει το χρόνο που απαιτείται για το στρώμα καπνού να κατέβει και να απειλήσει τους χρήστες με τις θερμοκρασίες αερίων του στρώματος καπνού και την έκθεση σε επιβλαβή αέρια (CO κ.ά.) Ο ΑΧΑΕ περιλαμβάνει μια εκτίμηση του χρόνου που απαιτείται για τους ανθρώπους να είναι σε θέση να αναγνωρίζουν και να ανταποκριθούν σε μια πυρκαγιά που απειλεί ένα χώρο, δηλαδή στον ΠΕΧΕ και τον χρόνο που απαιτείται για τους ανθρώπους να εκκενώσουν με ασφάλεια. Συχνά σε μία φωτιά που δεν απειλεί άμεσα ένα χρήστη (αλλά θα τον απειλήσει σε λίγα λεπτά) ο ΠΕΧΕ είναι πολύ περισσότερος από ό, τι ο πραγματικός χρόνος εκκένωσης γιατί ο χρήστης αναλώνεται σε γεγονότα μικρής σημασίας, όπως για παράδειγμα να μαζέψει πολύτιμα αντικείμενα. Μια πρόσθετη πολυπλοκότητα είναι ότι σε πυρκαγιές σήραγγας, εκτός από τις παροχές εκκένωσης για χρήστες με μικτές ικανότητες κατά τη συνήθη έννοια (παιδιά, ενήλικες, ηλικιωμένοι), θα πρέπει

να εξεταστεί και ο χρόνος ο οποίος μπορεί να απαιτηθεί για άτομα με ειδικές ανάγκες (προβλήματα υγείας, όρασης, ακοής), αλλά και κυρίως για άτομα που τραυματίστηκαν στο περιστατικό που προκάλεσε την πυρκαγιά ή ήταν πολύ κοντά στην εστία της για να αποφύγουν το πρώτο σοκ. Ο χρόνος είναι το σημαντικότερο αγαθό σε οποιοδήποτε περιστατικό πυρκαγιάς - δηλαδή, ο χρόνος που χρειάζεται για την ανάπτυξη της πυρκαγιάς και την παρουσίαση απειλής στους χρήστες της σήραγγας και το χρόνο που απαιτείται από τους χρήστες έτσι ώστε να καταλήξουν σε ασφαλές μέρος. Η ανεπαρκής απόδοση προσοχής στους ανθρώπινους παράγοντες που σχετίζονται με τα σενάρια φωτιάς και εκκένωσης μπορεί να οδηγήσει σε ανακριβή εκτίμηση των χρόνων εκκένωσης και πιθανή αποτυχία στην επίτευξη της επιθυμητής συνθήκης:

#### ΔΧΑΕ >> ΑΧΑΕ

δηλαδή, σε αποτυχία ασφαλούς εκκένωσης. Από το Σχήμα 5.1 το χρονικό διάστημα μεταξύ της ολοκλήρωσης της εκκένωσης (κόκκινη γραμμή) και της εμφάνισης μη βιώσιμων συνθηκών (πράσινη γραμμή) αντιπροσωπεύει στην πραγματικότητα έναν παράγοντα ασφάλειας. Σε περίπτωση ύπαρξης καταφυγίων, με την ικανότητα εξασφάλισης των ενοίκων του από τις συνέπειες της φωτιάς, ο ΑΧΑΕ μειώνεται δραματικά.

Ο μηχανικός αυτοματισμών πυρασφάλειας έχει τη δυνατότητα να «παίξει» με όλους τους προαναφερθέντες χρόνους:

- Η σωστή επιλογή και τοποθέτηση αισθητήρων φωτιάς μειώνει το χρόνο που απαιτείται για την αναγνώριση της ύπαρξης της. Οπότε επέρχεται **μείωση του ΑΧΑΕ**.
- Επακολούθως, η σωστή χρήση μέσων ενημέρωσης, οπτικών και ηχητικών, μειώνει το χρόνο αναγνώρισης κατάστασης κινδύνου από τους χρήστες. Περαιτέρω **μείωση του ΑΧΑΕ**.

Προτείνεται χρήση όλων των διαθέσιμων μέσων, για παράδειγμα ραδιοφωνική εκπομπή σε κανάλι έκτακτης ανάγκης για παροχή πληροφοριών. Η σωστή χρήση των μέσων ενημέρωσης προϋποθέτει ανάλυση του χώρου από το σχεδιαστικό στάδιο για επιλογή και τοποθέτηση των πιο αποτελεσματικών συστημάτων συναγερμού. Φανταστείτε για παράδειγμα φωτισμό έκτακτης ανάγκης ο οποίος δεν φαίνεται μέσα από τον καπνό ή σειρήνες έκτακτης ανάγκης οι οποίες καλύπτουν με τον ήχο τους άλλες οδηγίες εκκένωσης από τα μεγάφωνα.

- Ομοίως, η σωστή χρήση των μέσων ενημέρωσης, με τη χρήση ψυχολογικών μέσων πίεσης, μειώνει το χρόνο αντίδρασης των χρηστών στην αναγνώριση της κατάστασης κινδύνου. Η εκκένωση μπορεί να ξεκινήσει άμεσα και όχι όποτε το κατανοήσει ο χρήστης. Σε

περιπτώσεις πυρκαγιάς σε σήραγγες, ο συλλογισμός σκοτώνει, ενώ η άμεση δράση σώζει ζωές. Έχουμε **μείωση του ΠΕΧΕ** και άρα επιπλέον **μείωση του ΑΧΑΕ**.

- Η σωστή χρήση των μέσων καταστολής μπορεί να επιβραδύνει την εξάπλωση της πυρκαγιάς και να διατηρήσει βιώσιμες τις συνθήκες για πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Προσοχή πρέπει να δοθεί στη χρήση αυτών των μέσων έτσι ώστε να μην επιβραδύνουν ασκόπως την εκκένωση ή στο χειρότερο σενάριο να προκαλέσουν ακόμη και τραυματισμούς. Έχουμε **αύξηση του ΔΧΑΕ**.
- Η συνεχής και σωστή χρήση συστημάτων ενημέρωσης και η σωστή χρήση του συστήματος εξαερισμού έκτακτης ανάγκης μπορεί να δημιουργήσει ένα «διάδρομο» διαφυγής, προστατευμένο από επιβλαβή αέρια (CO) και καλά «ορισμένο» για τους χρήστες οι οποίοι μέχρι τη στιγμή του περιστατικού της πυρκαγιάς είχαν άγνοια του περιβάλλοντος χώρου. Αυτό μειώνει τον χρόνο πραγματικής εκκένωσης (μετακίνηση χρηστών), άρα και **μείωση του ΑΧΑΕ**.

Εάν ο σχεδιασμός είναι προσεκτικός τότε θα ισχύει η συνθήκη: ΔΧΑΕ >> ΑΧΑΕ, η εκκένωση θα ολοκληρωθεί με επιτυχία. Τότε οι χειριστές (αυτόματοι ή μη) μπορούν να επικεντρωθούν στο έργο της πυρόσβεσης και διαφύλαξης της κατασκευαστικής ακεραιότητας της σήραγγας και επαναφοράς της σε κατάσταση πραγματικής λειτουργίας το συντομότερο δυνατό, με σκοπό την αποφυγή επιπλέον οικονομικών επιβαρύνσεων, λόγω κλεισίματός της για επισκευές.

### 5.3 Παράγοντες επιρροής της επιχειρησιακής ασφάλειας μιας σήραγγας

Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν τη συνολική ασφάλεια της σήραγγας, αλλά μπορούν να συγκεντρωθούν σε τέσσερις κύριες ομάδες (Beard, Carvel [1]). Όλα τα στοιχεία των ομάδων έχουν μία πολύ διαδραστική σχέση. Μερικοί από τους πιο σημαντικούς μεμονωμένους παράγοντες παρατίθενται παρακάτω, χωρίς σειρά προτεραιότητας:

- Σχεδιασμός της σήραγγας και πρότυπα εξοπλισμού:
  - γεωμετρία και το μήκος οδοστρώματος σήραγγας
  - διατομή σήραγγας
  - πλάτος λωρίδας και σήμανση οδοστρώματος
  - ποιότητα φωτισμού
  - ποιότητα αέρα (εξαερισμός)
  - μονές ή αμφίδρομες ροές κυκλοφορίας
  - δευτερεύουσα ή ξεχωριστή σήραγγα παροχής υπηρεσιών
  - οδοί διαφυγής και αποστάσεις μεταξύ τους

- εξοπλισμός επικοινωνιών
  - εξοπλισμός επιτήρησης και παρακολούθησης της κυκλοφορίας
  - εγκαταστάσεις στάθμευσης στις περιοχές των πυλών
  - ανίχνευση περιστατικών και εξοπλισμός συναγερμού
  - εξοπλισμός αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης
  - Κέντρο ελέγχου και διαχείρισης σήραγγας.
- πρότυπα λειτουργίας και συντήρησης σήραγγας:
    - σωστή προγραμματισμένη προληπτική συντήρηση
    - σωστά σχέδια έκτακτης ανάγκης για βλάβες κρίσιμου υλικού (σήμανσης, πυρασφάλειας)
    - διαχείριση και έλεγχος της κυκλοφορίας
    - επιτήρηση της κυκλοφορίας και εντοπισμός συμβάντων
    - ταχείας αντίδραση σε βλάβες οχημάτων και ανάκτησή τους
    - κανονισμοί ελέγχου για επικίνδυνα φορτία
    - αξιόπιστα, ακριβή, και περιεκτικά πρωτόκολλα και διαδικασίες επικοινωνίας
    - καλά εκπαιδευμένο προσωπικό, καλή αλληλεπίδραση άνθρωπου/συστημάτων ελέγχου
    - καλή συνεργασία και αμοιβαία κατανόηση με τις τοπικές υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης
    - από κοινού συμφωνηθείσες διαδικασίες, εκπαίδευση και ασκήσεις για την άμεση ανταπόκριση και τη συνακόλουθη υποστήριξη.
  
  - Κατασκευή και χρήση οχημάτων, πρότυπα οδήγησης:
    - κατάλληλα πρότυπα εθνικά επιβαλλόμενα
    - επιτήρησης για ελαττωματικά οχήματα κατά την προσέγγιση στη σήραγγα
    - επιτήρηση για μεγάλα οχήματα κατά την προσέγγιση στη σήραγγα
    - επιτήρηση για επικίνδυνα φορτία κατά την προσέγγιση στη σήραγγα
    - επιτήρηση για οχήματα ακατάλληλα φορτωμένα κατά την προσέγγιση στη σήραγγα
    - επιτήρηση κακής οδήγησης
    - εγκαταστάσεις για στάθμευση και έλεγχο οτιδήποτε αμφισβητήσιμου στοιχείου
    - δικαιοδοσία απομάκρυνσης ακατάλληλου οδηγού ή φορτίου (απαγόρευση εισόδου, φυλάκιση)
    - εκπαίδευση των οδηγών, ιδίως όσον αφορά τις συνθήκες σε σήραγγες.
  
  - Απόκριση σε συμβάντα και πρότυπα υπηρεσιών υποστήριξης:

- ποιότητα και ποσότητα των πόρων των επιτόπιων φορέων απόκρισης σε περιστατικά σήραγγας
- ποιότητα και ποσότητα των πόρων των εξωτερικών υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης
- εγγύτητα και ταχύτητα απόκρισης σε όλες τις πύλες και κατόπιν στην εστία της πυρκαγιάς/ατυχήματος
- ταχύτητα ανάπτυξης προσωπικού ασφαλείας σε όλες τις θέσεις
- ασφαλής μέθοδος ανάπτυξης προσωπικού ασφαλείας
- εκπαίδευση του προσωπικού (προς τα ίδια πρότυπα με τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης)
- εργασιακές σχέσεις και από κοινού συμφωνημένες διαδικασίες (διαχειριστών σήραγγας και υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης)
- προσανατολισμό, εύρεση διαδρομών εκκένωσης, εκπαίδευση και ασκήσεις
- εξοπλισμός επικοινωνιών
- σχέδια έκτακτης ανάγκης για τη διαχείριση της κυκλοφορίας με σκοπό την εξασφάλιση της πρόσβασης των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με την απόκριση σε περιστατικά πυρκαγιάς, η οποία είναι η τελευταία από τις προηγούμενες ομάδες. Ωστόσο, η σημασία των τριών πρώτων ομάδων πρέπει να τονιστεί. καθώς συνεισφέρουν στην συνολική ασφάλεια της λειτουργίας της σήραγγας και την πρόληψη συμβάντων πυρκαγιάς.

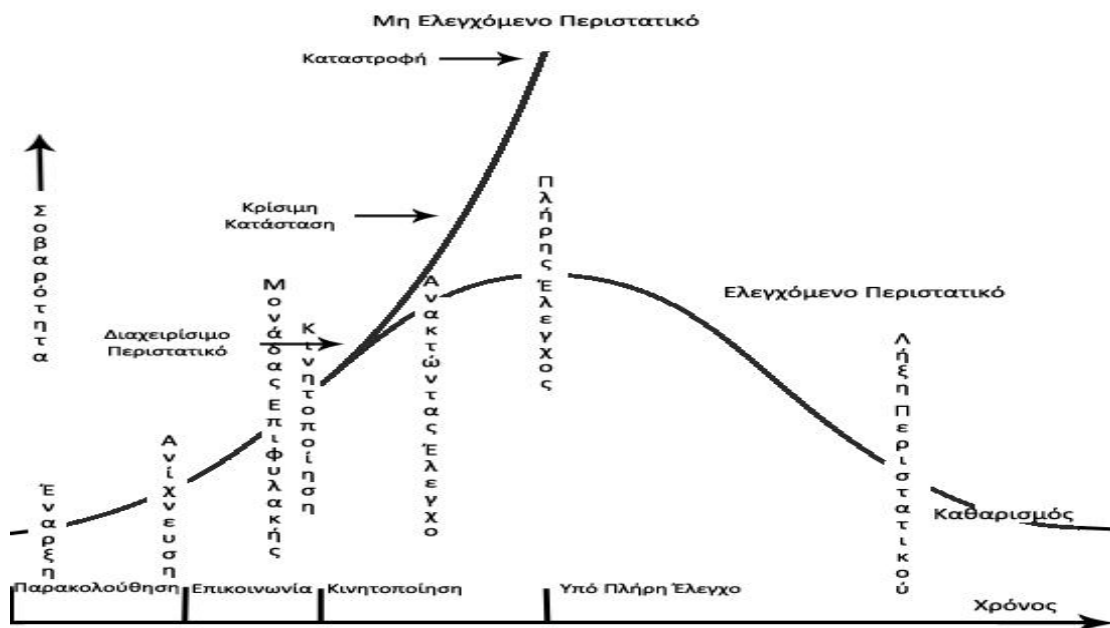
Η ασφάλεια έχει δύο διαστάσεις, οι οποίες αντικατοπτρίζονται στη διαδικασία αξιολόγησης ρίσκου.

Αυτές είναι:

- η πιθανότητα ενός επιβλαβούς συμβάντος
- η σοβαρότητα των συνεπειών του συμβάντος

Οι στατιστικές δείχνουν ότι η πρωταρχική αιτία ατυχημάτων σχετίζεται με σφάλμα του οδηγού ή ελαττώματα του οχήματος σε περίπου 95% των περιπτώσεων. Έτσι η πιθανότητα ενός ζημιογόνου γεγονότος ή συμβάντος, που προκαλείται από ένα σωστά σχεδιασμένο τούνελ ή του εξοπλισμού του (με την προϋπόθεση ότι η σήραγγα και ο εξοπλισμός συντηρείται και λειτουργεί κατάλληλα) είναι σχετικά μικρή. Ωστόσο, η σοβαρότητα των συνεπειών ενός συμβάντος πυρκαγιάς σχετίζεται τόσο με τις περιστάσεις του αρχικού περιστατικού όσο και με το πόσο γρήγορα αναπτύσσεται. Αυτό είναι ιδιαίτερα αληθές στο κλειστό περιβάλλον των σηράγγων. Η ταχύτητα και η ποιότητα της ανίχνευσης και απόκρισης είναι ζωτικής σημασίας για την επιβολή ελέγχου στα πρώτα στάδια της πυρκαγιάς, που οι επιπτώσεις δεν είναι ακόμα κρίσιμες.

Ενώ οι αρχικές συνέπειες μιας πυρκαγιάς σε μια σήραγγα και στον ανοικτό δρόμο είναι γενικά πολύ συχνά οι ίδιες (η ακόμη σε ένα τούνελ με ελεγχόμενο περιβάλλον, μπορεί να είναι ακόμη μικρότερες), οι μετέπειτα εξελίξεις στο κλειστό περιβάλλον μιας σήραγγας μπορεί να είναι πολύ χειρότερες από το ίδιο το αρχικό συμβάν. Οι συνέπειες της περιορισμένης πρόσβασης και διαφυγής μαζί με την συγκράτηση τοξικών αερίων καπνού και θερμότητας, σε περίπτωση πυρκαγιάς, έχουν επανειλημμένως αποδείξει σε προηγούμενα γεγονότα την κρίσιμη σημασία τους. Το Σχήμα 5.1 βοηθάει στην επισήμανση των βασικών διαφορών μεταξύ ελεγχόμενων και μη ελεγχόμενων πυρκαγιών, όσον αφορά τη σοβαρότητα τους σε συνάρτηση με το χρόνο. Αυτή η εξέλιξη της σοβαρότητας μιας πυρκαγιάς σε συνάρτηση με το χρόνο είναι χαρακτηριστική των περιστατικών εντός σήραγγων.



Σχήμα 5-2: Ανάπτυξη ελεγχόμενου και μη ελεγχόμενου περιστατικού

## 5.4 Ατυχήματα πυρκαγιάς και σχέδια αντιμετώπισης (Πρωταρχικός σχεδιασμός)

Σημαντικά γεγονότα που έχουν ως αποτέλεσμα σχεδόν ακαριαίο θάνατο, σοβαρό τραυματισμό, έκρηξη ή άμεση μεγάλη πυρκαγιά είναι σχετικά σπάνια στις ανεπτυγμένες χώρες και για αυτό είναι τραγικό, όταν συμβαίνουν. Μικρά επεισόδια, αν και με μειωμένη συχνότητα, καθώς ο σχεδιασμός των οχημάτων, της κατασκευής και συντήρησης της σήραγγας, καθώς και η εκπαίδευση των οδηγών,

όλα βελτιώνονται με την πάροδο του χρόνου, εξακολουθούν να είναι σχετικά συχνά. Εν πάση περιπτώσει έχει επιβεβαιωθεί από τη βιβλιογραφία ότι χωρίς ταχεία παρέμβαση, ένα ασήμαντο περιστατικό μπορεί εύκολα να γίνει η αρχή μιας αλυσιδωτής αντίδρασης που οδηγεί στην καταστροφή. Ένα αρκετά κοινό εμπόδιο, όπως ένα σταθμευμένο όχημα είναι ένα εμπόδιο που δύναται να πληγεί από ένα απρόσεκτο ή κουρασμένο οδηγό. Ένα μικρό ατύχημα μπορεί συχνά να είναι η αιτία άλλων. Μια μικρή φωτιά μπορεί να αναπτυχθεί μέσα σε λίγα λεπτά, και αν δεν τεθεί υπό έλεγχο μπορούν να μεγαλώσει σε δυσανάλογες διαστάσεις.

Στον ανοιχτό δρόμο τέτοιες καταστάσεις σπάνια οδηγούν σε καταστροφή, αλλά στο κλειστό περιβάλλον μιας σήραγγας μπορούν να επεκταθούν δυναμικά. Αυτά είναι τα χαρακτηριστικά στα περισσότερα συμβάντα σήραγγας, δηλαδή ότι συνήθως έχουν μία σχετικά μικρή αιτία και η οποία διογκώνεται με το χρόνο. Άρα ο χρόνος γίνεται ένας κρίσιμος παράγοντας. Η ελαχιστοποίηση της πιθανότητας να συμβεί πρωτίστως κάποιο ατύχημα, είναι το πρώτο ζήτημα που χρίζει προσοχής. Αλλά στατιστικά ατυχήματα θα συμβούν. Εμποδίζοντάς τα να αναπτυχθούν, ελέγχοντας τη σοβαρότητα των συνεπειών, είναι το δεύτερο και ίσως σημαντικότερο ζήτημα.

Το πρωτόκολλο έκτακτης λειτουργίας σε ένα σενάριο πυρκαγιάς αποτελείται από πολλά τμήματα που μπορεί να συμβαίνουν ταυτόχρονα ή διαδοχικά ανάλογα με τις περιστάσεις. Χρόνος απαιτείται για:

- Τον αρχικό εντοπισμό ατυχήματος/πυρκαγιάς και την πρώτη αντίδραση (συναγερμός)
- Κινητοποίηση αρχικής απόκρισης
- Διάγνωση και προσδιορισμός περαιτέρω αναγκών
- Κινητοποίηση περαιτέρω δράσεων στήριξης, εάν απαιτείται
- Προστασία της ανθρώπινης ζωής
- Απόκτηση γενικού ελέγχου της πυρκαγιάς
- Πλήρης αντιμετώπιση του περιστατικού
- Αποκατάσταση της κανονικής λειτουργίας της σήραγγας

Κάθε περιστατικό είναι μοναδικό. Ωστόσο, πολλά περιστατικά μοιράζονται ομοιότητες ή κοινά στοιχεία σε κάποιο βαθμό. Οι προσπάθειες για ανάλυση και ομαδοποίηση των περιστατικών γίνονται συχνά με βάση φυσικά χαρακτηριστικά όπως ύπαρξη έκρηξης, διαρροής χημικών υγρών, επικίνδυνων αερίων ή ατμών διαφυγής.

Από την πλευρά του διαχειριστή της σήραγγας και του μηχανικού αυτοματισμού πυρασφαλείας, είναι εξίσου σημαντικό να αναλυθούν τα περιστατικά όσον αφορά τις συνέπειές τους. Από την άποψη αυτή, οι συνέπειες έχουν τρία στοιχεία:

- A. Οι άμεσες συνέπειες στην αρχική σκηνή του πρωτοβάθμιου περιστατικού (πρωταρχική αιτία φωτιάς).
- B. Οι δευτερεύουσες συνέπειες, οι οποίες μπορούν στη συνέχεια να αναπτυχθούν στην σκηνή και που μπορεί να εξαπλωθούν, αν δεν τεθούν υπό έλεγχο (πρωταρχική εστία φωτιάς).
- Γ. Οι τριτοβάθμιες συνέπειες που μπορεί στη συνέχεια να αναπτυχθούν μακριά από τη σκηνή, και εμποδίζουν σοβαρά την πρόσβαση των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης ώστε να ασχοληθούν με τις πρωτοβάθμιες και δευτεροβάθμιες καταστάσεις.

Ως ένα τυπικό παράδειγμα για την επεξήγηση του παραπάνω σημείου, έχουμε:

- α) μια σχετικά μικρή σύγκρουση ή ένα όχημα με βλάβη
- β) με αποτέλεσμα μια πυρκαγιά που αναπτύσσεται μέχρι να τεθεί υπό έλεγχο ή να σβήσει μόνη της.
- γ) προκαλώντας κυκλοφοριακή συμφόρηση, που εμποδίζει τόσο απόκριση στο (Α) και στο (Β) και επακολούθως αυξάνει τις απώλειες (οικονομικές, δομικές, τραυματισμοί κλπ).

Δεν θα πρέπει να ξεχνάμε ότι μια περαιτέρω επιπλοκή στην περίπτωση πυρκαγιών σε σήραγγες είναι ότι η εστία της φωτιάς μπορεί να μεταφέρεται, ανάλογα με τα καύσιμα υλικά (οχήματα και φορτίο, διαρροή υγρών καυσίμων), τον εξαερισμό και ακόμα και την ενεργοποίηση των πρωτοκόλλων καταστολής.

Υπάρχει μια άμεση σχέση αιτίας και αιτιατού, μέσω της ακολουθίας (Α) -> (Β) -> (Γ). Η σχέση, όμως, συχνά, είναι διαδραστική (Γ) <-> (Β) <-> (Α).

Αυτό που είναι επίσης πολύ σημαντικό να εκτιμηθεί είναι ότι ενώ η (Α) είναι συχνά είτε στιγμιαία είτε απλά παροδική, τα (Β) και (Γ) είναι συνήθως εξαρτώμενα από το χρόνο σε μεγάλο βαθμό. Ενώ, πρακτικά, μπορεί να υπάρχουν περιορισμένες δυνατότητες ελέγχου τη σοβαρότητας του (Α) (εκτός των μέτρων πρόληψης και προστασίας), πολλά μπορούν να γίνουν για τον έλεγχο της σοβαρότητας των (Β) και (Γ) και η αποτελεσματικότητα του ελέγχου θα εξαρτηθεί σε μεγάλο βαθμό από διαθέσιμους πόρους και χρόνο. Ας μην ξεχνάμε το γεγονός ότι η σχετική σοβαρότητα των (Β) και (Γ) σε σύγκριση με το (Α) είναι συχνά πολύ μεγαλύτερη, άρα και είναι λογικό οι διαθέσιμοι πόροι να αναλωθούν στην πρόληψη ή καταστολή των (Β) και (Γ).

Τα ανωτέρω ισχύουν γενικά για όλα τα συμβάντα και επιβλαβή γεγονότα. Αν όμως λάβουμε υπόψη αποκλειστικά τις πυρκαγιές σε σήραγγες, γίνεται σαφές ότι τα στοιχεία (Β) και (Γ) αποκτούν ακόμα μεγαλύτερη σημασία.



Παρά το γεγονός ότι τα περιστατικά μπορεί να διαφέρουν πολύ στις αιτίες και τα χαρακτηριστικά τους, οι στόχοι για την αντιμετώπισή τους είναι πάντα οι ίδιοι και είναι πολύ σαφείς. Κατά σειρά απόλυτης προτεραιότητας, όπως ορίζονται όχι μόνο ηθικά, αλλά και κυρίως νομικά, είναι:

- 1) Η προστασία και διάσωση ανθρώπινων ζωών
- 2) Η εγκαθίδρυση του αρχικού ελέγχου της πυρκαγιάς και η αποτροπή της κλιμάκωσης της
- 3) Η ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών ζημιών
- 4) Η ελαχιστοποίηση της δομικής φθοράς των υποδομών της σήραγγας
- 5) Η αποκατάσταση της επιχειρησιακής λειτουργίας της σήραγγας το συντομότερο δυνατόν, εάν είναι απαραίτητο σε προσωρινή ή μειωμένη βάση και η ελαχιστοποίηση των απωλειών όσον αφορά τις οικονομικές και κοινωνικές συνιστώσες.

Για το σημείο (5), θα φέρουμε ως παράδειγμα ότι το κλείσιμο της σήραγγας του Mont Blanc για περίπου 4 έτη, για επισκευές και αναβάθμιση των συστημάτων πυρασφάλειας, προκάλεσε ένα οικονομικό κόστος της τάξης των 3-4 δισεκατομμυρίων € στις εμπλεκόμενες χώρες (Ιταλία και Γαλλία) και έκοψε έναν από τους βασικούς άξονες επικοινωνίας (ίσως τον πιο βασικό) μεταξύ Γαλλίας και Ιταλίας.

## 5.5 Άνθρωποι κατά τη διάρκεια πυρκαγιάς σε σήραγγα (Συμπεριφορά)

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο σκοπός ενός συστήματος πυρασφάλειας - όπου «σύστημα» είναι τόσο ο εξοπλισμός όσο και τα πρωτόκολλα στα οποία βασίζεται για τη λειτουργία του - είναι να αποτρέψει την απώλεια έμψυχου υλικού (ανθρώπινες ζωές, τραυματισμοί) κατά κύριο λόγο και να μειώσει στο ελάχιστο δυνατό την απώλεια άψυχου υλικού (υποδομές σήραγγας, καταστροφή μεταφορικών μέσων και εξοπλισμού χρηστών σήραγγας και υπηρεσιών πυρόσβεσης/διάσωσης) και οικονομικού κόστους το οποίο προέρχεται είτε άμεσα (επισκευές υποδομών σήραγγας, αποζημιώσεις σε χρήστες και μετόχους) είτε έμμεσα (οικονομική απώλεια λόγω κλεισίματος της σήραγγας κατά τη διάρκεια επισκευών). Ο σκοπός της αυτοματοποίησης του συστήματος πυρασφάλειας είναι η όσο το δυνατόν πιο έγκαιρη και έγκυρη πραγματοποίηση του παραπάνω σκοπού.

Σύμφωνα με τις γενικές οδηγίες πυρασφάλειας ο πρωταρχικός σκοπός του συστήματος πυρασφάλειας είναι η προστασία των ανθρώπων/χρηστών στη σήραγγα. Μιλάμε για τα άτομα τα οποία διασχίζουν τη σήραγγα καθημερινά και όχι για τους χειριστές στο κέντρο ελέγχου ή τα μέλη των ομάδων διάσωσης και πυρόσβεσης τα οποία έχουν ειδική εκπαίδευση και γνώση του χώρου και της κατάστασης. Για την κατανόηση των εγγενών δυσκολιών που έχει να αντιμετωπίσει ένας μηχανικός αυτοματισμών για την

κατασκευή του πρωτόκολλου λειτουργίας του αυτοματισμού πρέπει λοιπόν να λάβουμε υπόψη τη συνιστώσα της ανθρώπινης συμπεριφοράς κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς σε τούνελ.

Είναι σαφές ότι οι πυρκαγιές σε μια σήραγγα μπορεί να είναι πολύ σοβαρές - τόσο σοβαρές ώστε ακόμη και οι εκπαιδευμένες μονάδες διάσωσης και πυρόσβεσης μπορεί να παγιδευτούν. Η γεωμετρία των σηράγγων ενισχύει την ταχεία εξάπλωση της φωτιάς και του καπνού, έτσι ώστε χρήστες πολλές εκατοντάδες μέτρα μακριά από την πηγή της φωτιάς μπορεί γρήγορα να γίνουν θύματα. Το ζήτημα είναι ότι όταν έχεις να κάνεις με ανθρώπινες συμπεριφορές καμία λογική ακολουθία δεν μπορεί να είναι απολύτως σωστή γιατί εμπλέκονται ένστικτο και λογική από τη μεριά των χρηστών/οδηγών τα οποία ανάλογα με την ιδιοσυγκρασία τους επηρεάζουν σε ένα κάποιο βαθμό τις αποφάσεις τους και ο μηχανικός αυτοματισμού πυρασφάλειας πρέπει να γνωρίζει τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να ενισχύσει το πρωτόκολλο υποβοηθούμενης διαφυγής εκμεταλλευόμενος αυτά ακριβώς, ένστικτο και λογική.

Για παράδειγμα στις σήραγγες που έχουν σχετικά απότομες κλίσεις, θα πρέπει να εξεταστούν οι συμπεριφορές των χρηστών σε περίπτωση αντιστροφής της φοράς εκκένωσης - δηλαδή, η εκκένωση να γίνει προς τα κάτω, περνώντας δίπλα από την πηγή της φωτιάς, μέσα από τον καπνό (για μικρό χρονικό διάστημα) αντί να γίνει η εκκένωση προς τα πάνω, με σκοπό να αποφευχθεί η ροή του καπνού μέσα τη σήραγγα (οπότε και η εμπλοκή μαζί του για περισσότερο χρονικό διάστημα). Μία τέτοια αντίστροφη λογική παρότι αντίθετη στη διαίσθηση και το ένστικτο του χρήστη μπορεί εν τέλει να του σώσει τη ζωή μακροπρόθεσμα, όπως και είχε γίνει στην περίπτωση της πυρκαγιάς στο Kargrun της Αυστρίας το 2000.

Μπορούμε να αναφέρουμε και άλλα φαινόμενα που φαίνεται ότι επηρεάζουν τη συμπεριφορά των χρηστών. Οι οδηγοί Ι.Χ., για παράδειγμα, φαίνεται να παρουσιάζουν ένα «δεσμό» με τα αυτοκίνητά τους και έτσι να αρνούνται για μεγάλο χρονικό διάστημα να τα εγκαταλείψουν. Από την άλλη οι επαγγελματίες οδηγοί βαρέων οχημάτων φαίνεται να αφοσιώνονται στον προορισμό τους, πιθανότατα για οικονομικούς λόγους, και για αυτό το σκοπό προσπαθούν να διασχίσουν τη σήραγγα, ακόμη και υπό βεβαιωμένες συνθήκες έκτακτης ανάγκης. Όλα αυτά φέρνουν μια εντελώς διαφορετική δυναμική στην έννοια της απομάκρυνσης των χρηστών της σήραγγας από την εστία της πυρκαγιάς.

Συνοπτικά, κάνοντας μία σύντομη ανασκόπηση μίας γκάμας περιστατικών πυρκαγιάς σήραγγας από τη βιβλιογραφία, οι ακόλουθες παρατηρήσεις μπορούν να γίνουν όσον αφορά την ανθρώπινη συμπεριφορά σε τέτοιες έκτακτες καταστάσεις (Shields *et al* [99]):

- Οι χρήστες δεν αρχίζουν αμέσως την εκκένωση για διάφορους λόγους όπως:

- Οι χρήστες συχνά δεν αντιλαμβάνονται ότι βρίσκονται σε άμεσο κίνδυνο. Ο χρόνος αντίδρασης μπορεί να φτάσει ακόμα και τα 10 λεπτά (με δεδομένο ότι υπάρχει ήδη κάποια ενημέρωση για την κατάσταση κινδύνου).
- Οι χρήστες μπορεί να πανικοβληθούν από τον ενδεχόμενο κίνδυνο και η συμπεριφορά τους να γίνει ασταθής, από ολική παύση αντίδρασης σε εξωτερικά ερεθίσματα έως επικίνδυνη κινητοποίηση του οχήματός τους.
- Οι άνθρωποι μπορεί να παρουσιάσουν προσωπικό «δεσμό» με το όχημά τους, αρνούμενοι να το εγκαταλείψουν. Πολλά θύματα βρέθηκαν μέσα στα αυτοκίνητά τους. Άλλοι δεσμοί που «απαγορεύουν μετακίνηση, είναι δεσμοί με πρόσωπα με προβλήματα κινητικότητας, π.χ. μικρά παιδιά ή ηλικιωμένοι.
- Τα συστήματα πυρασφαλείας μπορεί να αποτύχουν να δουλέψουν σωστά και, στατιστικά, κάποια στιγμή θα αποτύχουν. Δεν μπορεί κάποιος να ξέρει πώς θα επηρεάσει μία τέτοια αποτυχία τη λήψη αποφάσεων από τους χρήστες. Οι πληροφορίες μπορεί να είναι αποσπασματικές ή ακόμα και ανακριβείς και αυτός είναι ένας από τους βασικούς λόγους αντίθεσης σε μια ιδέα πλήρους αυτοματισμού μιας σήραγγας.
- Σε ορισμένες περιπτώσεις, καθώς η κατάσταση επιδεινώνεται, μπορεί να προκληθούν συμπεριφορές ομαδοποίησης χρηστών σε ένα χώρο/όχημα. Η ψυχολογία της ομάδας σε αυτές τις περιπτώσεις δεν βοηθάει καθώς ο αρχηγός της ομάδας δεν παίρνει, φαινομενικά, τις σωστές αποφάσεις εκκένωσης. Σε αυτό μπορεί να επιβαρύνει μία αποτυχία του συστήματος ενημέρωσης της πυρασφάλειας.
- Οι σήραγγες είναι σύνθετα και ασυνήθιστα περιβάλλοντα και ως εκ τούτου η εξοικείωση των χρηστών με αυτά δεν μπορεί να θεωρηθεί αυτονόητη. Τουναντίον υπάρχει η πιθανότητα δημιουργίας συνθηκών κλειστοφοβίας και φόβου παγίδευσης κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.
- Η κυκλοφορία οχημάτων θα συνεχίσει να εισάγετε σε μια σήραγγα που αντιμετωπίζει μία κατάσταση έκτακτης ανάγκης, εκτός αν εμποδιστεί ενεργά, π.χ. με μπάρες.
- Οι οδηγοί οχημάτων μπορεί να παρουσιάσουν εμμονή προορισμού - δηλαδή, η επιθυμία τους να φτάσουν το συγκεκριμένο προορισμό τους (κυρίως για οδηγούς βαρέων οχημάτων με φορτίο που υπόκειται σε χρονικούς περιορισμούς (ταχυδρομείο express, ευπαθή προϊόντα, επικίνδυνα προϊόντα) μπορεί να μειώσει την αντίληψη του μεγέθους του κινδύνου.

Κάποιες άλλες παρατηρήσεις που μπορεί να επηρεάσουν τη λειτουργία ενός πρωτοκόλλου εκκένωσης σήραγγας και πυρασφάλειας και επακολούθως έναν αλγόριθμο αυτοματισμού του συστήματος πυρασφάλειας είναι:

- Η φωτιά και ο καπνός μπορούν να εξαπλωθούν γρήγορα μέσα σε περιβάλλον σήραγγας. Αναλόγως και με την κλίση της σήραγγας και την κατάσταση εξαερισμού (φυσικού και μηχανικού) ο καπνός μπορεί να φτάσει σε αποστάσεις εκατοντάδων μέτρων μέσα σε δευτερόλεπτα. Παρομοίως η φωτιά μόλις ξεπεράσει κάποια ορισμένη θερμοκρασία (υποβοηθούμενη και από την εξάπλωση/κάλυψη του καπνού) προκαλεί ανάφλεξη (flashover) του περιβάλλοντος χώρου, η οποία είναι σχεδόν εκρηκτική όσον αφορά την ταχύτητα εξάπλωσης. Οτιδήποτε σε απόσταση λίγων εκατοντάδων μέτρων από την αρχική εστία γίνεται παρανάλωμα του πυρός σε δευτερόλεπτα.
- Τα καταφύγια μπορεί να μην έχουν την αναγκαία αντοχή πυρκαγιάς προκειμένου να εξασφαλισθεί η επιβιωσιμότητα των ενοίκων τους. Άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους σε τέτοια καταφύγια, όπως για παράδειγμα στην πυρκαγιά του Mont Blanc, το 1999.
- Οι διαδρομές εκκένωσης - πεζών και οχημάτων – είναι εξαιρετικά πιθανό να μπλοκαριστούν από συντρίμμια, φωτιά, καπνό και άλλα οχήματα που έχουν μπλοκάρει την κυκλοφορία, π.χ. προσπαθώντας να κάνουν επιτόπου στροφή.
- Ομοίως τα συνεργεία διάσωσης μπορεί να μην είναι σε θέση να φθάσουν τα εγκλωβισμένα άτομα λόγω της σοβαρότητας της φωτιάς και του προαναφερθέντος κυκλοφοριακού χάους.
- Για τους παραπάνω λόγους είναι πολύ πιθανό η διαδρομή εκκένωσης να μην περιλαμβάνει την διαδρομή εισόδου στο τούνελ από τους χρήστες.
- Η σήμανση των οδών διαφυγής, οπτική και ηχητική, πρέπει να είναι ικανή να ξεπεράσει τα διάφορα εμπόδια που προκαλούνται από την πυρκαγιά με βασικότερο την πυκνότητα του καπνού.
- Τα συστήματα πυρασφαλείας μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά τέτοιο λανθασμένο τρόπο ώστε να εμποδιστεί η εκκένωση και να αυξηθεί ο κίνδυνος για τους χρήστες της σήραγγας, π.χ. το σύστημα εξαερισμού εκτάκτου ανάγκης στην πυρκαγιά του Mont Blanc το 1999.

Για την αποφυγή λανθασμένων επιλογών κατά την εγκατάσταση και λειτουργία ενός συστήματος πυρασφάλειας, με ή χωρίς αυτοματισμούς:

- Σοβαρή προσοχή πρέπει να δοθεί στο στάδιο του σχεδιασμού της σήραγγας με τη χρήση αξιόπιστων, ρεαλιστικών, σεναρίων πυρκαγιάς, και όχι περιορισμένων και διαχωρισμένων από το περιβάλλον.
- Για την ανάπτυξη στρατηγικών εκκένωσης πρέπει να ληφθεί υπόψη η θέση της πυρκαγιάς, ο σχεδιασμός της σήραγγας, η κλίση της σήραγγας και των συστημάτων πληροφοριών έκτακτης ανάγκης για πυρκαγιά.

- Τα συστήματα πυρασφαλείας και εκκένωσης πρέπει να είναι διαχειριζόμενα, καθώς προσφέρουν περισσότερες δυνατότητες χειρισμού της κατάστασης. Αυτή η παρατήρηση έγινε με βάση συστημάτων διαχείρισης με ανθρώπινους διαχειριστές.

Από τις παραπάνω παρατηρήσεις αντιλαμβανόμαστε ότι ένα σύστημα αυτοματισμού θα πρέπει όχι μόνο να επιτύχει ένα επίπεδο λειτουργίας, βασισμένο σε συνεχή ανθρώπινη διαχείριση, αλλά και να το ξεπεράσει για να έχει νόημα ύπαρξης. Θα πρέπει να υπάρχουν σχέδια λειτουργίας για οποιοδήποτε πιθανό σενάριο έκτακτης ανάγκης, πράγμα πρακτικά αδύνατο λόγω κυρίως του αστάθμητου ανθρώπινου παράγοντα.

Για παράδειγμα σε ένα δείγμα τεσσάρων ανθρώπων, ένας θα προσπαθήσει να περάσει μέσα από την περιοχή της εστίας για να μη χάσει το μπόνους έγκαιρης παράδοσης του φορτίου του, άλλος θα μείνει στη θέση του μη μπορώντας να πάρει απόφαση να εγκαταλείψει το αυτοκίνητό του που ακόμα πληρώνει δόσεις, ενώ το παιδί που είναι μαζί του θα παραμείνει στη θέση του, ένας τρίτος θα προσπαθήσει να κάνει αναστροφή μέσα στο τούνελ μπλοκάροντας την πορεία του πρώτου και ίσως προκαλώντας και άλλο ατύχημα. Οι πιθανότητες αντίδρασης ενός ατόμου είναι άπειρες και η αλληλεπίδραση μεταξύ τους περιπλέκει ακόμα περισσότερο την κατάσταση.

Η μόνη λογική επίλυση του ζητήματος περιλαμβάνει τον περιορισμό των «άπειρων» δυνατοτήτων αντίδρασης των χρηστών και την καθοδήγησή τους βήμα βήμα, μέσω φυσικών εμποδίων, ικανού συστήματος ενημέρωσης και τεχνητής ψυχολογικής πίεσης. Αυτό είναι εφικτό, με σωστό σχεδιασμό, από ένα αυτόματο σύστημα, ακολουθώντας γενικευμένα σετ προβλεπόμενων συμπεριφορών ομάδων χρηστών και βρίσκοντας μία τομή τους. Ένα παράδειγμα ψυχολογικής πίεσης το οποίο έχει φέρει, σύμφωνα με τα πειραματικά δεδομένα, θετικά αποτελέσματα πίεσης, παρόλο που φαίνεται κάπως ακραίο, είναι η ανακοίνωση για επικείμενη έκρηξη από το αυτόματο σύστημα ενημέρωσης. Αυτό προκαλεί άμεση κινητοποίηση από τη μεριά των χρηστών, οποιασδήποτε κοινωνικής ομάδας, αλλά είναι μάλλον απίθανο να το επικαλεστεί ένας ανθρώπινος χειριστής.

Τέλος ένα αυτόματο σύστημα μπορεί να λειτουργήσει ανεξάρτητα από δυναμικές που έχουν τις ρίζες τους σε φαινόμενα κακής εκπαίδευσης του προσωπικού ασφαλείας ή ακόμα και την απροθυμία του να εγείρει το συναγερμό για διάφορους λόγους, με κύριους λόγους την αβεβαιότητα της κρισιμότητας της κατάστασης και τον φόβο πρόκλησης πανικού στους χρήστες.

## 5.6 Μέτρα περιορισμού του κινδύνου σε οδικές σήραγγες

Μία λίστα των μέτρων μείωσης κινδύνου ταξινομημένη σύμφωνα με τους βασικούς σκοπούς ενός συστήματος αντιμετώπισης πυρκαγιών σε σήραγγες έχει αναπτυχθεί από την επιστημονική ομάδα εμπειρογνομόνων (η οποία συστάθηκε από τον ΟΟΣΑ και την PIARC).

Όταν τα οχήματα που μεταφέρουν επικίνδυνα εμπορεύματα επιτρέπονται σε μια σήραγγα, μια σειρά μέτρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μειώσουν την πιθανότητα και την άμβλυση των συνεπειών ενός ατυχήματος. Η κατάσταση για το προαναφερθέν έργο σύνταξης της λίστας ήταν ως ακολούθως:

- Δεν υπήρχε άμεσα διαθέσιμα συστηματική περιγραφή των μέτρων.
- Πολλά μέτρα είναι δαπανηρά είτε κατά τη διάρκεια κατασκευής ή της λειτουργίας, ή και τα δύο, ενώ η αποτελεσματικότητά τους δεν είναι συνήθως καλά γνωστή.
- Είναι πολύ δύσκολο να αποφασιστεί αν, και σε ποια περίπτωση, θα πρέπει να εφαρμοστεί κάθε μέτρο.

Για τους λόγους αυτούς, ένα σημαντικό μέρος του έργου αυτού ήταν αφιερωμένο σε μέτρα ελαχιστοποίησης των κινδύνων με τους ακόλουθους στόχους:

- Να επανεξεταστούν όλα τα πιθανά μέτρα περιορισμού του κινδύνου, κάνοντας μια λεπτομερή περιγραφή και ανάλυση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων τους.
- Να αναλύσει αντικειμενικά την αποτελεσματικότητα των μέτρων και να δώσει τις βάσεις για την εκτίμηση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας τους, αξιοποιώντας το μοντέλο ποσοτικής αξιολόγησης κινδύνου.

Δεν έχει ποτέ αναφερθεί μια συστηματική ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας στη λήψη μέτρων για τη μείωση των κινδύνων των μεταφορών επικίνδυνων εμπορευμάτων στις οδικές σήραγγες. Ο κύριος λόγος είναι ότι οι επιπτώσεις των μέτρων στον κίνδυνο πυρκαγιάς είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθεί. Το να αναπτυχθεί μια μεθοδολογία για μια τέτοια εκτίμηση έχει γίνει ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα για το έργο. Επιπροσθέτως αναφέρεται ότι δεν αξίζει η ανάπτυξη εργαλείων για την εκτίμηση του κόστους των μέτρων, δεδομένου ότι εύλογα ακριβείς εκτιμήσεις του κόστους μπορεί να γίνουν από εξειδικευμένους συμβούλους για την κατασκευή ή την ανακαίνιση της σήραγγας.

### 5.6.1 Προσδιορισμός μέτρων μείωσης του κινδύνου

Με την παρακάτω λίστα παρατίθενται τα μέτρα μείωσης κινδύνου που έχουν εξεταστεί (Beard, Carvel [1]). Δεδομένου ότι πολλά από τα μέτρα έχουν πολλαπλούς σκοπούς, η ταξινόμηση είναι κάπως αυθαίρετη και βασίζεται στον κύριο σκοπό τους. Λαμβάνεται υπόψη το γεγονός ότι οι περισσότεροι

θάνατοι συμβαίνουν συνήθως πριν από την άφιξη των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης. Ορισμένα μέτρα εμφανίζονται για δεύτερη φορά με πλάγιους χαρακτήρες, για να δείξουν ένα δευτερεύον, αλλά επίσης σημαντικό σκοπό. Τα μέτρα για την εξασφάλιση της επικοινωνίας και της μετάδοσης πληροφοριών αποβλέπουν κυρίως στη μείωση των συνεπειών ενός ατυχήματος, αλλά μπορούν επίσης να έχουν μια επίδραση στην πιθανότητα δευτερευόντων ατυχημάτων, ενημερώνοντας τους χρήστες όταν το πρώτο περιστατικό έχει συμβεί. Δεδομένου ότι η κατάσταση ποικίλλει σημαντικά μεταξύ των σηράγγων, είναι αναγκαίο να αναπτυχθούν τα μέτρα για κάθε πιθανή κατάσταση.

Μέτρα για τον περιορισμό της μεταφοράς επικίνδυνων εμπορευμάτων (όπως απαγόρευση, τον περιορισμό των ποσοτήτων που μεταφέρονται, ή τον περιορισμό του χρόνου διέλευσης) δεν εξετάζονται εδώ. Αυτά τα μέτρα απαιτούν την εξέταση εναλλακτικών διαδρομών, επιπλέον της σήραγγας. Οι αποφάσεις για αυτά τα μέτρα απαιτούν τη χρήση της ποσοτικής αξιολόγησης ρίσκου και μοντέλα υποστήριξης αποφάσεων.

Μέτρα για τη μείωση της πιθανότητας ατυχήματος:

- Κατάλληλη διατομή σήραγγας
- Επιβολή ορίου ταχύτητας
- Προετοιμασία οδοστρώματος (συντελεστής τριβής)
- Συνεχής ευθυγράμμιση τμημάτων δρόμου
- Απαγόρευση προσπέρασης
- Συνοδεία επικίνδυνων φορτίων
- Ικανός φωτισμός (κανονικός)
- Επιβολή ελάχιστης απόστασης μεταξύ οχημάτων
- Έλεγχοι βαρέων οχημάτων για την κατάσταση λειτουργίας και το είδος του μεταφερόμενου εμπορεύματος

Μέτρα για την διασφάλιση της επικοινωνίας και / ή της παροχής πληροφοριών:

- Συναγερμός, πληροφορίες, επικοινωνία του χειριστή και των υπηρεσιών διάσωσης
  - Κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης
  - Αυτόματο σύστημα πυρανίχνευσης
  - Αυτόματη αναγνώριση οχημάτων
  - Αυτόματη ανίχνευση περιστατικών (συγκρούσεων, πυρκαγιάς κλπ)
  - Ασύρματη επικοινωνία (χειριστές και υπηρεσίες διάσωσης)
  - Αριθμός τηλεφώνου επείγουσας ανάγκης

- Επικοινωνία με τους χρήστες
  - Τηλέφωνα έκτακτης ανάγκης
  - Οπτικά σήματα συναγερμού / Άλλα σήματα καθοδήγησης (π.χ. οδών διαφυγής)
  - Ηχεία / Σειρήνες
  - *Ασύρματη επικοινωνία (χρήστες)*

Άλλα μέτρα για την άμβλυνση των συνεπειών ενός ατυχήματος:

- Εκκένωση ή προστασία των χρηστών
  - Έξοδοι κινδύνου
  - *Φωτισμός (έκτακτης ανάγκης)*
  - Πρωτόκολλο διαχείρισης σφαλμάτων πυρασφάλειας
  - Έλεγχος καπνού
  - Αντιπυρικός εξοπλισμός
- Μείωση της σημαντικότητας ενός ατυχήματος
  - Πυροσβεστικός εξοπλισμός
  - Αποχέτευση (για την απορροή του νερού/υγρού κατάσβεσης ή εύφλεκτων υγρών καυσίμων)
  - Σχέδια δράσης / Εναλλακτικά σχέδια δράσης
  - Ομάδες διάσωσης
  - *Συνοδεία*
- Μείωση των συνεπειών στη σήραγγα
  - Αντιπυρική κατασκευή
  - Κατασκευή ανθεκτική σε εκρήξεις

## 5.7 Αποκρίσεις σε έκτακτα περιστατικά

Πώς θα πρέπει να ο διαχειριστής μιας σήραγγας (η το σύστημα αυτοματισμού της) να ανταποκριθεί σε ένα περιστατικό έκτακτης ανάγκης, όπως μια πυρκαγιά; Η ακόλουθη λίστα καθορίζει μια ακολουθία ενεργειών σε μια εξιδανικευμένη κατάσταση. Κάθε διαχειριστής σήραγγας ή μηχανικός αυτοματισμού μπορεί να κατασκευάσει ένα τέτοιο διάγραμμα, σύμφωνα με τη διάταξη και τα λοιπά χαρακτηριστικά της σήραγγας, τις τοπικές συνθήκες, τον εξοπλισμό και τους εσωτερικούς πόρους (συστήματα ενημέρωσης πυρκαγιάς και καταστολής της) καθώς και των εξωτερικών πόρων υποστήριξης. Για τον



μηχανικό αυτοματισμού η λίστα αυτή είναι σημαντική σαν διάγραμμα ροής το οποίο θα καθορίζει τους αλγορίθμους λειτουργίας του συστήματος αυτοματισμού πυρασφάλειας.

Τα περιστατικά πυρκαγιάς και άλλες καταστάσεις έκτακτης ανάγκης μπορεί να λάβουν πολλές μορφές. Δεν υπάρχει ένα γενικά αποδεκτό πλαίσιο ορισμού τέτοιων καταστάσεων και αντιμετώπισής τους. Η ασφαλέστερη προσέγγιση είναι να θεωρηθεί ότι οτιδήποτε επηρεάζει αρνητικά την κανονική, ασφαλή λειτουργία της σήραγγας είναι περιστατικό έκτακτης ανάγκης, δηλαδή να θεωρηθεί ότι είναι ικανό να αναπτυχθεί σε μια σοβαρή κατάσταση έκτακτης ανάγκης και να αντιμετωπιστεί με μια σαφώς καθορισμένη και καλά προετοιμασμένη διαδικασία ταχείας απόκρισης. Προφανώς η έμφαση πρέπει να δίνεται στην ταχύτητα της αντίδρασης και αυτό είναι ζωτικής σημασίας. Αυτό που επιτυγχάνεται στα πρώτα 5 - 15 λεπτά καθορίζει συχνά το αποτέλεσμα.

Η παρακάτω λίστα ενεργειών βασίζεται στην παραδοχή ότι η σήραγγα έχει ένα κέντρο ελέγχου της κυκλοφορίας με τον κατάλληλο εξοπλισμό επιτήρησης και επικοινωνιών και επιπλέον μία μονάδα ελέγχου όλων των συστημάτων καταστολής. Όλα αυτά τα κομμάτια μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα αυτοματισμού, χωρίς να μειώνεται η αξία ενός ανθρώπινου χειριστή. Η λίστα επιχειρεί να δώσει μία ολοκληρωμένη εικόνα του τι απαιτείται. Είναι επίσης σημαντικό να σημειωθεί ότι όλες οι επικοινωνίες, οι αποφάσεις και οι δράσεις πρέπει να καταγράφονται και να ορίζονται χρονικά, με σκοπό την μετέπειτα χρήση τους για περαιτέρω βελτίωση του συστήματος ή μέσα στα νομικά πλαίσια υποστήριξης τους.

#### *Παθητικό στάδιο*

Ένα περιστατικό ανιχνεύεται με οποιοδήποτε συνδυασμό των:

- Αυτόματο σύστημα συναγερμού (πυρκαγιάς, σταθμευμένου οχήματος, κλπ.)
- επιτήρηση CCTV (ανθρώπινη ή αλγοριθμική/υπολογιστική παρατήρηση)
- λεκτική αναφορά (τηλέφωνο έκτακτης ανάγκης)
- λεκτική αναφορά (από χρήστες κατά την έξοδο από τη σήραγγα).

#### *Ενεργό στάδιο*

Το καθήκον του ελεγκτή κυκλοφορίας είναι να συλλέγει πληροφορίες από όλα τα διαθέσιμα μέσα και να τις μεταδίδει στα κινητά περιπολα ασφαλείας. Το πρώτο περιπολικό που φτάνει στη σκηνή, αξιολογεί τη φύση και τη σοβαρότητα του συμβάντος, στέλνοντας αναφορά πίσω στον ελεγκτή κατά τη

διάρκεια της εξέλιξής της. Είναι επιθυμητό τα κυκλώματα CCTV να αναπτυχθούν σε τέτοιο βαθμό ώστε να μην απαιτείται το περίπολο για την επίβλεψη του συμβάντος.

Μόλις περάσει η κατάλληλη πληροφόρηση, το περίπολο θα αρχίσει να ασχολείται με το περιστατικό με τον πιο κατάλληλο τρόπο και θα επικουρείται από άλλες μονάδες κατά την άφιξή τους, όλα σύμφωνα με τη διαδικασία αντιμετώπισης περιστατικών πυρκαγιάς.

Δύο είναι οι κύριοι στόχοι αυτής της αρχικής δράσης:

- Η συλλογή καλύτερης ποιότητας πληροφοριών για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων, ως εξής:
  - Υπάρχει ήδη φωτιά σε εξέλιξη;
  - Θύματα που εμπλέκονται. Αριθμός και σοβαρότητα.
  - Απαιτούμενη ανάκτηση οχημάτων. Αριθμός, είδος, βάρος.
  - Εμπλοκή μετατόπιση φορτίου, διαρροή φορτίου, διαρροή υγρών (καυσίμων;), διαφυγή αερίων.
  - Άλλες λεπτομέρειες, όπως απαιτήσεις καθαρισμού.
  - Σε περίπτωση εμπλοκής λεωφορείου. Αριθμός και κατάσταση των επιβατών. Διερεύνηση απαίτησης οχήματος αντικατάστασης.
  - Διερεύνηση εμπλοκής τρομοκρατικής ενέργειας.
  - Εκτιμώμενος συνολικός χρόνος για την αντιμετώπιση του περιστατικού
  
- Κινητοποίηση εκπαιδευμένου προσωπικού και εξοπλισμού στη σκηνή του περιστατικού για την παροχή άμεσης αντιμετώπισης του, όπως απαιτείται σε σχέση με:
  - Πρώτες βοήθειες
  - Πυρόσβεση
  - Διάσωση σε περιστατικά σύγκρουσης
  - Αποκατάσταση βλαβών
  - Αφαίρεση των εμποδίων ή χαλασμάτων από τη σήραγγα.
  - Διαχείρισης της κυκλοφορίας και της ασφάλειας στην εγγύς περιοχή
  - Εκκένωση

### **5.7.1 Αποφάσεις και ενέργειες**

Στο συντομότερο δυνατό χρόνο κατά τη διάρκεια της ανωτέρω παθητικής και ενεργητικής διαδικασίας συλλογής πληροφοριών, πρέπει να ληφθούν οι αποφάσεις και οι δράσεις. Ομοίως, εάν επέλθει

οποιαδήποτε αλλαγή καθώς εξελίσσεται η κατάσταση, οι προηγούμενες αποφάσεις και οι αντίστοιχες ενέργειες θα πρέπει να αναθεωρούνται αναλόγως.

Οι αποφάσεις και οι δράσεις είναι σε πολύ μεγάλο βαθμό διαδοχικές και μπορούν να οριστούν μέσα σε μια διαδικασία (χειροκίνητη ή αυτόματη) και μπορούν να απεικονιστούν με διαγράμματα ροής ή δέντρα γεγονότων ανάλογα με τις συνθήκες, τους υπάρχοντες πόρους και τις εγκαταστάσεις του φορέα ελέγχου της σήραγγας και των εξωτερικών υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης καθώς και τις διαδικασίες που έχουν συμφωνηθεί μεταξύ τους.

Υπάρχουν «σετ» αποφάσεων και δράσεων και το καθένα μπορεί να είναι παρόν ή απών σύμφωνα με τη φύση του συμβάντος. Για λόγους σαφήνειας, κάθε σετ απαριθμείται χωριστά, αλλά είναι σημαντικό να τονιστεί ότι κάθε διαδοχικό «σετ» ξεκινά μόλις η ανάγκη είναι γνωστή και η όλη διαδικασία εκτελείται ταυτόχρονα και είναι πλήρως ενσωματωμένη στα πρωτόκολλα λειτουργίας.

Ένα τυπικό σχέδιο δράσης αντιμετώπισης πυρκαγιάς σε τούνελ το οποία μπορεί να προσαρμοστεί στις περισσότερες σήραγγες, ομαδοποιείται σε 4 «σετ» και είναι το εξής (Πίνακας 5.1):

1. Διαχείριση της κυκλοφορίας (η οποία είναι ο πυρήνας και κοινή σε κάθε περίπτωση)
2. Διαχείριση και καταστολή φωτιάς και καπνού
3. Αντιμέτωπιση ανθρώπινων τραυματισμοί ή θανάτων - Εκκένωση
4. Διαρροή επικίνδυνων υγρών ή στερεών

**Πίνακας 5-1: Ομάδες αποφάσεων και δράσεων – Σχέδιο δράσης (Beard, Carvel [1])**

Απόφαση	Δράσεις
<b>1. Απαιτούμενο επίπεδο σχεδίου διαχείρισης της κυκλοφορίας</b>	
1. Παροδικοί τοπικοί έλεγχοι  Για πολύ μικρά περιστατικά τα οποία μπορούν να αντιμετωπιστούν άμεσα (π.χ. συντρίμμα στο οδόστρωμα, χαλασμένο όχημα το οποίο μπορεί να ρυμουλκηθεί από την περίπολο)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Οι αξιωματικοί στη σκηνή σταματάνε κάθε κίνηση μακριά από την σκηνή χρησιμοποιώντας περιπολικά οχήματα με φώτα κινδύνου έκτακτης ανάγκης για προστασία.</li> <li>• Ενημερώνουν τον Ελεγκτή της Σήραγγας (ΕΣ)*, για τις ληφθείσες ενέργειες.</li> <li>• Ξανανοίγουν την κυκλοφορία με χρήση συνοδείας για τον έλεγχο της ταχύτητας της.</li> </ul>

Απόφαση	Δράσεις
<p>2. Παύση όλης της κίνησης και διατήρηση θέσης οχημάτων</p> <p>Για ήσσονος σημασίας περιστατικά που μπορούν να αντιμετωπιστούν μέσα σε μία διάρκεια περίπου 10 λεπτών. (Ένα απλό περιστατικό, αλλά όπου τα περίπολα και τα οχήματα που εμπλέκονται απαιτούν περαιτέρω βοήθεια η οποία είναι άμεσα διαθέσιμη και μπορεί να αναπτυχθούν χωρίς καθυστέρηση)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ο ΕΣ σταματά κάθε κίνηση εισόδου στη σήραγγα, κατά την προσέγγιση στην πύλη, με χρήση φωτεινών πινακίδων «Στάσης» .Σταματάνε όλη την κίνηση μέσα στο τούνελ με χρήση φωτεινών πινακίδων «Στάσης» «Σταματήστε τη μηχανή».</li> <li>• Ο ΕΣ καλεί περαιτέρω βοήθεια στην σκηνή, όπως απαιτείται. Έρχεται σε επαφή με αξιωματικούς στην σήραγγα με ραδιοπομπό, χρησιμοποιώντας CCTV, για την απομάκρυνση σταματημένων αυτοκινήτων μετά από τη σκηνή του περιστατικού όπου είναι ασφαλές και επωφελές.</li> <li>• Ο ΕΣ ενημερώνει τον τεχνικό υπεύθυνο για σταματημένη κίνηση στις σήραγγες καθώς και κάθε άλλη σχετική λεπτομέρεια.</li> <li>• Ο ΕΣ ενημερώνει τα κέντρα ελέγχου των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης ότι η «σήραγγα έκλεισε» και πρέπει να χρησιμοποιούν εναλλακτικές διαδρομές.</li> <li>• Ο ΕΣ ενημερώνει τα δημόσια μέσα ενημέρωσης (ραδιοφωνικές εκπομπές ενημέρωσης κυκλοφορίας) για τις συνθήκες κυκλοφορίας και την εκτιμώμενη διάρκεια.</li> </ul>
<p>3. Παύση όλης την κίνησης και έναρξη σχεδίου εκτροπής κυκλοφορίας</p> <p>Για τα περιστατικά που απαιτούν περισσότερο χρόνο την αντιμετώπισή τους (π.χ. βλάβη ενός μεγάλου οχήματος, σύγκρουση οχημάτων, κατεστραμμένα οχήματα, πεσμένα φορτία, διαρροές καυσίμων, τραυματισμοί, θάνατοι, πυρκαγιά, τρομοκρατική ενέργεια ή απειλή)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Όλα τα ως άνω, ανάλογα με την περίπτωση και την καταλληλότητα, καθώς και:</li> <li>• Ο ΕΣ ενημερώνει το τοπικό κέντρο ελέγχου της αστυνομίας για την ανάγκη για συμφωνία ενός σχεδίου κυκλοφορίας ευρείας περιοχής, για την εκτροπή της κίνησης μακριά από τους δρόμους προσέγγισης της σήραγγας και για την ελαχιστοποίηση συνακόλουθης συμφόρησης.</li> <li>• Πρόσθετες δράσεις, όπως απαιτείται, ειδικές για τη φύση του συμβάντος (π.χ. παροχή συμβουλών στην αίθουσα ελέγχου της αστυνομίας για την ανάγκη ελεύθερης διαδρομής για τα ασθενοφόρα, εφόσον υπάρχουν πολλές απώλειες.</li> </ul>
<p>4. Ολοκλήρωση συμβάντος</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Το περιστατικό αντιμετωπίστηκε.</li> <li>• Ο ΕΣ και τα περίπολα αποκαθιστούν τις ομαλές κυκλοφοριακές ρυθμίσεις σύμφωνα με το πρωτόκολλο όταν αυτό είναι ασφαλές να το πράξουν, με συνοδεία για τον έλεγχο της ταχύτητας κυκλοφορίας.</li> <li>• Ο ΕΣ ενημερώνει τα δημόσια μέσα ενημέρωσης και τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης για την αποκατάσταση των κανονικών συνθηκών.</li> </ul>

Απόφαση	Δράσεις
<b>2. Πυρκαγιά</b>	
<p>1. Είναι γνωστό ότι υπάρχει ή υπάρχουν υπόνοιες ότι υπάρχει εστία φωτιάς, ή ένας σημαντικός κίνδυνος ανάφλεξης</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ο ΕΣ ενημερώνει την τοπική πυροσβεστική υπηρεσία, σύμφωνα με το πρωτόκολλο, επιβεβαιώνοντας οδούς προσέγγισης και σημεία συνάντησης.</li> <li>• Ο ΕΣ συμβουλεύει τις μονάδες απόκρισης της σήραγγας που βαίνουν στη σκηνή.</li> <li>• Ο ΕΣ ενεργοποιεί το σχέδιο διαχείρισης της κυκλοφορίας επιπέδου (Γ).</li> <li>• Ο ΕΣ ενεργοποιεί τον εξαερισμό έκτακτης ανάγκης σύμφωνα με την προβλεπόμενη διαδικασία (ο οποίος μπορεί να εξαρτηθεί από τη θέση της εστίας της φωτιάς και τις συνθήκες κυκλοφορίας οχημάτων).</li> <li>• Ο ΕΣ ενημερώνει τον τεχνικό υπεύθυνο με λεπτομέρειες του συναγερμού πυρκαγιάς όπως η τοποθεσία της εστίας και για να: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ επιβεβαιώσει την απόδοση του εξαερισμού έκτακτης ανάγκης</li> <li>○ εκκενώσει το προσωπικό συντήρησης της σήραγγας</li> <li>○ θέσει το προσωπικό συντήρησης σε αναμονή για υποστήριξη</li> <li>○ περιμένει περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με τη δράση του εξαερισμού**</li> </ul> </li> <li>• Η πρώτη μονάδα που φτάνει στη σκηνή αναφέρει πλήρη στοιχεία του περιστατικού και της πυρκαγιάς στον ΕΣ και αρχίζει τις πρώτες ενέργειες αντιμετώπισης. Οι λεπτομέρειες της αναφοράς πρέπει να περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τυχόν εμπλεκόμενα επικίνδυνα φορτία.</li> <li>• Ο ΕΣ δίνει πληροφορίες για την φωτιά στο υπηρεσιακό κέντρο ελέγχου της πυροσβεστικής το οποίο αναμεταδίδει στα οχήματα που κατευθύνονται προς τη σκηνή.</li> <li>• Μεταφέρεται η επιμέλεια της πυρόσβεσης από τον ΕΣ στον διοικητή της πυροσβεστικής και εγκαθίσταται κόμβος επικοινωνίας κοντά στο χώρο της πυρκαγιάς.</li> <li>• Οι δράσεις του προσωπικού της σήραγγας ως «πρώτη απόκριση» στη σκηνή της πυρκαγιάς είναι οι εξής: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ διάσωση / διατήρηση / προστασία της ανθρώπινης ζωής (πρώτες βοήθειες, διάσωση σύγκρουσης, οδηγίες εκκένωσης, χρήση προσωπικού εξοπλισμού καπνού και η διάσωση τραυματιών, ανθρώπων με κινητικά προβλήματα κ.ά., εάν απαιτείται καταστολή ή τουλάχιστον έλεγχος της φωτιάς για να επιτρέψουν τη διαφυγή και τη διάσωση</li> <li>○ παροχή των καλύτερων δυνατών πληροφοριών πίσω στον ΕΣ</li> <li>○ παραμονή στη σκηνή μόνο για όσο διάστημα είναι ασφαλές</li> </ul> </li> </ul>

Απόφαση	Δράσεις
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ παράδοση της σκυτάλης στην πυροσβεστική υπηρεσία όταν εμφανιστεί</li> <li>• Η πυροσβεστική υπηρεσία ενεργοποιούν το σχέδιο τους για την αντιμετώπιση της πυρκαγιάς, λαμβάνοντας τον πλήρη έλεγχο της προσπάθειας καταστολής, σύμφωνα με τα συμφωνημένα πρωτόκολλα και αρχίζουν την καταστολή.</li> <li>• Ο ΕΣ παίρνει το ρόλο υποστήριξης σε συνεργασία με το διοικητή της πυροσβεστικής υπηρεσίας. Φροντίζει για την καλή επικοινωνία. Καλεί όλο το προσωπικό της σήραγγας, σε κατάσταση αναμονής, αν απαιτείται. Οργανώνει πρόσθετες υπηρεσίες υποστήριξης και πρόσθετο εξοπλισμό, αν απαιτείται.</li> </ul>
<p>2. Εκδήλωση σοβαρού περιστατικού ή καταστροφής</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ενημέρωση του αρμόδιου τοπικού «πολιτικού φορέα σχεδιασμού έκτακτης ανάγκης».</li> <li>• Εγκαθίδρυση διαχείρισης συμβάντων επιπέδων ΧΡΥΣΟ / ΑΣΗΜΕΝΙΟ / ΧΑΛΚΙΝΟ***.</li> <li>• Εγκαθίδρυση υπηρεσίας παροχής πληροφοριών στο κοινό και στα μέσα ενημέρωσης.</li> <li>• Από τη στιγμή που το περιστατικό έχει κηρυχθεί ασφαλές από τον υπεύθυνο διοικητή των μονάδων πυρόσβεσης, ο ΕΣ επικοινωνεί με τον τεχνικό υπεύθυνο, το συνεργείο επισκευών και το προσωπικό συντήρησης της σήραγγας για την απομάκρυνση και την επισκευή όλων των χαλασμάτων. (Σημειώστε ότι, ανάλογα με την φύση και την σοβαρότητα του περιστατικού, μπορεί να απαιτηθεί δυναμική εκτίμηση του κινδύνου πριν την έναρξη του συνόλου ή μέρους αυτής της λειτουργίας).</li> <li>• Με την ολοκλήρωση του καθαρισμού, διεξάγεται επιθεώρηση ασφαλείας.</li> <li>• Αν / όταν αυτό είναι ασφαλές να γίνει, αποκαθίσταται η ομαλή λειτουργία της κυκλοφορίας.</li> </ul>

Απόφαση	Δράσεις
<b>3. Ανθρώπινοι τραυματισμοί ή θάνατοι</b>	
<p>1. Ανθρώπινος τραυματισμός ή θάνατος είναι γνωστός, ή υπάρχουν υπόνοιες σημαντικού κινδύνου</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ο ΕΣ ενεργοποιεί το σχέδιο διαχείρισης της κυκλοφορίας επιπέδου (Γ).</li> <li>• Ο ΕΣ ενημερώνει όλες τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης (ασθενοφόρα, πυρόσβεση και διάσωση, αστυνομία) και ενεργοποιεί το κατάλληλο σχέδιο πυρκαγιάς.</li> <li>• Κατά την άφιξη, τα ασθενοφόρα και οι γιατροί πάνε στο συμφωνημένο σημείο συνάντησης και στον ανώτερο αξιωματικό εν υπηρεσία (ανώτερος αξιωματικός ΕΣ ή ο διοικητής της πυροσβεστικής υπηρεσίας) και λαμβάνουν οδηγίες σύμφωνα με το πρωτόκολλο.</li> <li>• Ο ΕΣ θα φέρει σε επαφή και θα εγκαθιδρύσει τον δίαυλο επικοινωνίας και υποστήριξης.</li> </ul>
<p>2. Εμπλοκή πολλαπλών σοβαρών τραυματισμών ή θανάτων</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Η υπηρεσία ασθενοφόρων και παραϊατρικών αιτείται πρόσθετη υποστήριξη και απαιτούμενες εγκαταστάσεις.</li> <li>• Ο ΕΣ έρχεται σε επαφή και παρέχει υποστήριξη για την παροχή υπηρεσιών και χώρου για το κινητό κέντρο άμεσης ιατρικής βοήθειας, και εγκαταστάσεις νεκροτομείου αν απαιτείται.</li> </ul>
<p>3. Εκδήλωση σοβαρού περιστατικού ή καταστροφής</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ο ΕΣ ενημερώνει την αρμόδια «υπηρεσία πολιτικού σχεδιασμού έκτακτης ανάγκης».</li> <li>• Εγκαθίδρυση διαχείρισης συμβάντων επιπέδων ΧΡΥΣΟ / ΑΣΗΜΕΝΙΟ / ΧΑΛΚΙΝΟ**.</li> <li>• Εγκαθίδρυση υπηρεσίας παροχής πληροφοριών στο κοινό και στα μέσα ενημέρωσης.</li> </ul>
<b>4. Διαρροή επικίνδυνων ουσιών</b>	
<p>1. Γνωστή διαρροή επικίνδυνων υγρών ή στερεών ή υπάρχουν υπόνοιες</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ο ΕΣ ενημερώνει την τοπική πυροσβεστική υπηρεσία, σύμφωνα με το συμφωνημένο πρωτόκολλο.</li> <li>• Η πυροσβεστική υπηρεσία ανταποκρίνεται όπως στο αντίστοιχο πλάνο πυρκαγιάς.</li> <li>• Ο ΕΣ ενεργοποιεί το σχέδιο διαχείρισης της κυκλοφορίας επιπέδου (Γ).</li> <li>• Ο ΕΣ ενημερώνει τον τεχνικό υπεύθυνο</li> <li>• Ο τεχνικός υπεύθυνος (μηχανικός): <ul style="list-style-type: none"> <li>○ εκκενώνει το προσωπικό συντήρησης από τη σήραγγα</li> <li>○ απομονώνει αντλίες</li> <li>○ βάζει το σχετικό προσωπικό συντήρησης και εξοπλισμό σε κατάσταση αναμονής</li> </ul> </li> <li>• Κατά την άφιξη της πυροσβεστικής υπηρεσίας να γίνει μία δυναμική αξιολόγηση του κινδύνου και να συμφωνηθεί η ασφαλέστερη μέθοδος για την αντιμετώπιση των διαρροών.</li> </ul>

Απόφαση	Δράσεις
	2. Καθαρισμός όλων των μολυσμένων περιοχών, αποχετεύσεων και φρεατίων και ασφαλή διάθεση των μπαζών, σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς ελέγχου ή πρωτόκολλα. 3. Πραγματοποίηση τελικής επιθεώρησης και δοκιμών ασφαλείας. 4. Άνοιγμα της σήραγγας σύμφωνα με το σχέδιο διαχείρισης της κυκλοφορίας.
5. Διαρροή επικίνδυνων αερίων ή ατμών	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Όλες οι δράσεις, όπως για διαρροή επικίνδυνων υγρών ή στερεών.</li> <li>• Ενεργοποίηση της επείγουσας διαδικασίας εξαερισμού για την προστασία της ζωής κατά τη διάρκεια της πλήρους εκκένωσης.</li> <li>• Ο ΕΣ, ο τεχνικός υπεύθυνος και ο ελεγκτής περιστατικών της πυροσβεστικής υπηρεσίας συμφωνούν στην ασφαλέστερη περαιτέρω ανάπτυξη του εξαερισμού της σήραγγας για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου σε ανθρώπους και το περιβάλλον κατά τον περιορισμό / διασπορά του διαφυγόντος αερίου/ατμού εφόσον συνεχίζεται.</li> </ul>

\* Όπου έχουμε ένα Ελεγκτή Σήραγγας, αυτός μπορεί να αντικατασταθεί από έναν Αυτόματο Ελεγκτή Σήραγγας. Προτείνεται, όμως, η ταυτόχρονη ύπαρξη και ανθρώπινη ελεγκτή με δυνατότητα παρέμβασης, σε ειδικές περιπτώσεις, όπως σενάριο περιστατικού που δεν έχει προβλεφθεί, σφάλμα στο λογισμικό του αυτοματισμού, κακόβουλο λογισμικό (π.χ. Stuxnet) .

\*\* Οι ρυθμίσεις εξαερισμού σηράγγων πρέπει μόνο να αλλάζουν περαιτέρω, σύμφωνα με τα συμφωνημένο σχέδιο και με πλήρη γνώση και συμφωνία του προσωπικού αντιμετώπισης πυρκαγιάς.

\*\*\* Στο Ηνωμένο Βασίλειο, οι τοπικές αρχές είναι υπεύθυνες για σοβαρά ατυχήματα και για το σχεδιασμό έκτακτης ανάγκης σε περίπτωση καταστροφής. Τα σχέδια έκτακτης ανάγκης κατηγοριοποιούνται από την άποψη της σοβαρότητας και του επιπέδου των πόρων και του απαιτούμενου επιπέδου λήψης αποφάσεων. Για σοβαρά ατυχήματα και καταστροφές, η διοίκηση και ο έλεγχος περιγράφεται σε τρία επίπεδα:

Επίπεδο 1 ΧΑΛΚΙΝΟ: Επιχειρησιακός έλεγχος απόκρισης. Εγκαθιδρύεται, με ασφάλεια, όσο το δυνατόν πιο κοντά στη σκηνή του περιστατικού.

Επίπεδο 2 ΑΣΗΜΕΝΙΟ: Τακτική λήψη αποφάσεων, επικοινωνία και υποστήριξη της επιχειρησιακής απόκρισης. Εγκαθιδρύεται σε κατάλληλο χώρο με τις απαραίτητες εγκαταστάσεις, κοντά στη σκηνή του περιστατικού.

Επίπεδο 3 ΧΡΥΣΟ: Στρατηγικό κέντρο ελέγχου, στο οποίο βρίσκονται οι ανώτεροι αξιωματικοί με την εξουσία να προμηθεύσουν και να δεσμεύσουν όλα τα αναγκαία μέσα για την



αντιμετώπιση ενός σοβαρού περιστατικού. Εγκαθιδρύεται στο πλησιέστερο αρχηγείο των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης.

Άλλες χώρες, όπως οι ΗΠΑ ή η Γερμανία, έχουν τα δικά τους συστήματα ιεράρχησης αποφάσεων, τα οποία όμως ακολουθούν ένα παρόμοιο μοτίβο.

# 6 Νομικά ζητήματα σχετικά με την πυρασφάλεια σε οδικές σήραγγες

## 6.1 Εισαγωγή

Τα ατυχήματα σε οδικές σήραγγες είναι αναπόφευκτα. Όσο καλός και να είναι ο σχεδιασμός της σήραγγας τόσο σε λειτουργικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο πυρασφάλειας είναι σίγουρο ότι κάποια στιγμή θα συμβεί κάποιο ατύχημα, που θα προκαλέσει υλικές ζημιές, τραυματισμούς ή ακόμα και θανάτους. Ανάμεσα στις σοβαρές συνέπειες ενός σοβαρού ατυχήματος είναι και η επακόλουθη οικονομική απώλεια λόγω του κλεισίματος της σήραγγας για κάποιο χρονικό διάστημα λόγω των αναγκαίων επισκευών στη σήραγγα μετά από ένα περιστατικό πυρκαγιάς. Σύνηθες επακόλουθο μετά από ένα τέτοιο γεγονός είναι η επίρριψη ευθυνών προς κάθε υπεύθυνο για την πρόκληση του ατυχήματος και ακόμα για μη έγκαιρη διάσωση χρηστών της σήραγγας και κατάσβεση της πυρκαγιάς. Για παράδειγμα στην περίπτωση της πυρκαγιάς σήραγγα του Mont Blanc το 1999, επιρρίφθηκαν νομικές ευθύνες για ανθρωποκτονία σε 16 άτομα και εταιρίες συμπεριλαμβανομένων του οδηγού της νταλίκας που προκάλεσε την πυρκαγιά, του κατασκευαστή της νταλίκας (VOLVO), των Γάλλων και Ιταλών διαχειριστών της σήραγγας (συμπεριλαμβανομένων των μηχανικών επίβλεψης, πυρασφάλειας κ.ά.), των εταιριών που διαχειρίζονταν τη σήραγγα, των ρυθμιστικών αρχών ασφαλείας και άλλων υπεύθυνων σε διάφορες διοικητικές βαθμίδες.

Με αυτό το κεφάλαιο σκοπός είναι να γίνει μία εισαγωγή σε ορισμένες γενικές αρχές του δικαίου και των διεθνών τάσεων στη νομοθεσία που ισχύουν για τους επαγγελματίες και κυρίως για τους μηχανικούς που ασχολούνται με το σχεδιασμό και τη λειτουργία μιας σήραγγας. Αυτές οι νομικές αρχές και τάσεις καλύπτουν γενικά όλες τις χώρες. Αυτό το κεφάλαιο επικεντρώνεται στις ευθύνες των ατόμων που εργάζονται στο πλαίσιο ενός έργου σήραγγας και θέση τους απέναντι στο νόμο σε περίπτωση ατυχήματος πυρκαγιάς.

Το κεφάλαιο αυτό δεν αποτελεί υποκατάστατο για επίσημες νομικές συμβουλές. Η απονομή της δικαιοσύνης ποικίλλει μεταξύ των διαφόρων χωρών, ενώ επίσης αλλάζει με το πέρασμα του χρόνου. Αυτή η χωρική και χρονική μεταβλητότητα στις αρχές του δικαίου απαιτεί την έγκαιρες και ικανές νομικές συμβουλές. Το κεφάλαιο μπορεί να χρησιμεύσει μόνο ως μέσο για τον προσδιορισμό των συνθηκών υπό τις οποίες οι συμβουλές αυτές θα πρέπει να αναζητηθούν.

## 6.2 Νομικές έρευνες - Εξέταση περιστατικών πυρκαγιάς σε τούνελ

Όταν συμβεί ένα περιστατικό πυρκαγιάς ενεργοποιούνται οι νομικές ερευνητικές διαδικασίες. Όπως θα αναμενόταν, όσο μεγαλύτερες είναι οι απώλειες, είτε αυτές συμπεριλαμβάνουν καταστροφές υποδομών είτε ανθρώπινους τραυματισμούς ή ακόμα και θανάτους, τόσο περισσότεροι πόροι διατίθενται για να φέρουν εις πέρας την νομική ερευνητική διαδικασία.

Επειδή η κατασκευή μιας σήραγγας είναι πολύ ακριβή και η οικονομική της σημασία στο πεδίο των μεταφορών πολύ μεγάλη, είναι αναπόφευκτο ότι τα περιστατικά σήραγγας μπορεί να προκαλέσουν σοβαρές συνέπειες - και οι αποφάσεις των μηχανικών σηράγγων (και άλλων εμπλεκόμενων) μπορεί να υποβληθούν σε διεξοδικό νομικό έλεγχο.

Είτε πρόκειται για τις σοβαρές πυρκαγιές ή πιο ασήμαντα περιστατικά, είναι αναπόφευκτο ότι θα εξεταστούν όλες οι λεπτομέρειες του αρχικού σχεδιασμού της σήραγγας καθώς και όλες οι πτυχές του επιχειρησιακού περιβάλλοντος και των διαδικασιών λήψης αποφάσεων στις επακόλουθες νομικές έρευνες.

Για τους μηχανικούς σήραγγας είναι σημαντικό να εξηγηθεί υπό θετικό φως η συμμετοχή τους (αρχικός σχεδιασμός και λειτουργικές αποφάσεις) και να γίνουν αποδεκτές από τη νομική έρευνα. Αυτό το κεφάλαιο έχει ως στόχο να βοηθήσει τους μηχανικούς σήραγγας να προετοιμαστούν για την παρουσίαση του υλικού, το οποίο εξηγεί το υπόβαθρο του σχεδιασμού τους, τις λειτουργικές αποφάσεις τους και τις ενέργειες τους σε περίπτωση ενός περιστατικού πυρκαγιάς. Η σημασία του είναι ιδιαίτερα μεγάλη για ένα μηχανικό αυτοματισμών ο οποίος θα εγκαταστήσει ένα σύστημα πυρασφαλείας και θα το προγραμματίσει να παίρνει κρίσιμες αποφάσεις αυτόματα.

### 6.2.1 Πρότυπα λήψης αποφάσεων για μηχανικούς σηράγγων

Σε όλες τις περιοχές νομικής δικαιοδοσίας ανά τον κόσμο, τα πρότυπα σε σχέση με τα οποία πρέπει να λαμβάνει αποφάσεις ένας μηχανικός σηράγγων βασίζονται σε μια ανάλυση της διαδικασίας με την οποία λαμβάνεται μία απόφαση - όχι στο αποτέλεσμα της απόφασης. Με άλλα λόγια, προκειμένου να προσδιοριστεί αν ένας μηχανικός σήραγγας έχει φτάσει το απαιτούμενο νομικό πρότυπο (πέρα από το οποίο δε φέρει νομική ευθύνη) δεν κρίνεται θεωρώντας ότι είχε το πλεονέκτημα της ύστερης γνώσης. Ο νομοθέτης αναγνωρίζει ότι ένας μηχανικός δεν μπορεί να ξέρει όλες τις πιθανές μεταβλητές, που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την έκβαση ενός συμβάντος (π.χ. ατύχημα) εκ των προτέρων.

Υπάρχει, ωστόσο, μια σημαντική εξαίρεση σε αυτόν τον κανόνα. Υπάρχουν τάσεις σε ορισμένες χώρες για την κατηγοριοποίηση ορισμένων τύπων αδικημάτων, ως «αδικήματα απόλυτης ευθύνης», δηλαδή, εάν συμβεί ένα τέτοιο γεγονός, το νομικό σύστημα θεωρεί τον μηχανικό που εμπλέκεται ότι είναι

υπεύθυνος, ανεξάρτητα από τις συνθήκες. Αυτό συμβαίνει συνήθως όταν υπάρχει απώλεια ζωής κατά τη διάρκεια του συμβάντος. Οι εισαγγελείς επικαλούνται τη χρήση των «αδικημάτων απόλυτης ευθύνης» ολοένα και περισσότερο γιατί ελαχιστοποιούν την ευκαιρία για χρήση περίπλοκων νομικών επιχειρημάτων, από την υπεράσπιση, κατά τη διάρκεια μιας δικαστικής διαμάχης.

Είναι γενικά παραδεκτό ότι ένας μηχανικός πυρασφάλειας σήραγγας πρέπει να καθορίσει ποιους από, συχνά, πολλές εκατοντάδες ή ακόμη και χιλιάδες των παραγόντων είναι οι πιο σημαντικοί και πώς να τους εξισορροπήσει κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Υπό τέτοιες συνθήκες, συχνά πιο σημαντική είναι η διεργασία με την οποία λαμβάνονται οι αποφάσεις παρά οι καθαυτές αποφάσεις.

Η δική μας σύγχρονη αντίληψη της αιτίας και του αποτελέσματος αναγνωρίζει ότι, σε ορισμένες περιπτώσεις, συμβαίνουν γεγονότα τα οποία μπορεί να προκαλέσουν βλάβες, τραυματισμό και θάνατο. Λογικά, αυτό δεν σημαίνει ότι επειδή συνέβη ζημιά, βλάβη ή θάνατος ότι κάποιος ή κάποια ομάδα ατόμων (εταιρία) έχει κάνει κάτι λάθος. Μερικά πράγματα συμβαίνουν λόγω των επιλογών μας ως σύγχρονη κοινωνία, έχοντας λάβει υπόψη το σχετικό ρίσκο. Όταν κρίνεται απαραίτητη η κατασκευή μιας σήραγγας, το κέρδος που θα αποκομιστεί αντισταθμίζει το γεγονός ότι, σίγουρα, κάποια στιγμή θα συμβεί κάποιο ατύχημα μέσα σε αυτή. Ο μηχανικός θα πρέπει να λάβει τα κατάλληλα μέτρα για τη μετρίαση των επιπτώσεων, αλλά είναι πρακτικά αδύνατο να έχει καλύψει με τα σχέδια του κάθε πιθανό συμβάν. Είναι σίγουρο, για παράδειγμα, ότι οι μηχανικοί που σχεδιάσανε τους Δίδυμους Πύργους στη Νέα Υόρκη, δεν θα μπορούσαν να φανταστούν ποτέ ότι θα έπεφταν πάνω τους αεροπλάνα με σκοπό την καταστροφή τους (τρομοκρατική ενέργεια). Παρομοίως στην περίπτωση της σήραγγας στο Mont Blanc, οι σχεδιαστές πυρασφάλειας μέχρι εκείνο το γεγονός δεν είχαν φανταστεί την πιθανή ενεργειακή έκλυση από την καύση «αδρανούς» μαργαρίνης. Το γεγονός ότι συμβαίνουν αυτές οι ανεπιθύμητες ενέργειες δεν σημαίνει ότι ένα άτομο είναι απαραίτητα νομικά υπεύθυνο για το ανεπιθύμητο συμβάν. Τα νομικά συστήματα αναγνωρίζουν ότι απώλεια και ζημιά μπορεί να συμβεί χωρίς αρνητικές διαπιστώσεις κατά ατόμων και οργανώσεων.

Σημειώνουμε ότι τα παραπάνω ισχύουν υπό φυσιολογικές συνθήκες και δεδομένου ότι δεν επικαλεστούν οι αρχές ότι συνέβησαν «αδικήματα απόλυτης ευθύνης». Όταν η κοινή γνώμη «ζητάει αίμα» μετά από ένα ιδιαίτερα τραγικό συμβάν, εάν ο υπεύθυνος μηχανικός δεν είναι απόλυτα καλυμμένος ποινικά, τότε είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα είναι από τα πρώτα άτομα όπου θα ριχτούν ευθύνες, όπως για παράδειγμα συνέβη με τους σεισμολόγους στους πολύνεκρους σεισμούς στην Aquila της Ιταλίας το 2009.

## 6.2.2 Νομική θέση του μηχανικού

Οι μηχανικοί σήραγγας είναι υπόλογοι στην εφαρμογή του ποινικού δικαίου σε όλες τις χώρες. Σε περίπτωση που η συμπεριφορά τους είναι τέτοια που είτε εν γνώσει τους, ή από αμέλεια (δεν υπολογίζουν το κατά πόσο κάποιος μπορεί τραυματιστεί ή σκοτωθεί), ή σκόπιμα προβαίνουν σε ενέργειες που θέτουν σε κίνδυνο ή πραγματικά τραυματίζουν και σκοτώνουν άλλους ανθρώπους, υπάρχει μια πολύ πραγματική πιθανότητα ότι το νομικό σύστημα στην εν λόγω χώρα θα παρέμβει στην ελευθερία τους, θα επιβάλει οικονομικές κυρώσεις, θα αφαιρέσει την άδεια άσκησης μηχανικού, ή οποιοδήποτε συνδυασμό αυτών των παραπάνω κυρώσεων.

Για το σκοπό της νομικής προστασίας ενός μηχανικού ή μιας τεχνικής εταιρείας απέναντι στην άσκηση νομικών δράσεων σε ένα έργο σήραγγας, απαιτείται μια σειρά από βήματα που πρέπει να ληφθούν, τα οποία περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Προσδιορισμός των δράσεων οι οποίες μπορούν στη συνέχεια να ελεγχθούν μέσω της νομικής διαδικασίας.
- Ιεράρχηση της σημασίας της καθεμίας από αυτές τις δράσεις.
- Η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο το νομικό σύστημα μέσα σε μία νομική δικαιοδοσία ασχολείται με τους ανθρώπους που εμπλέκονται σε υλικές ζημιές, τραυματισμό και θάνατο.
- Εξοικείωση με τη συμβασιακή βάση πάνω στην οποία παρέχονται οι υπηρεσίες του μηχανικού.
- Εξοικείωση με το ρυθμιστικό περιβάλλον (ανεξάρτητα από τη σύμβαση), εντός της νομικής δικαιοδοσίας.
- Τον προσδιορισμό του τι απαιτήσεις συνάγονται από το νομικό σύστημα στο εσωτερικό της χώρας όπου εκτελούνται τα καθήκοντα του μηχανικού (ανεξάρτητα από το τι είναι γραμμένο στους κώδικες).
- Καθορισμός του πιθανού εύρους των συνεπειών που μπορεί να προκύψουν σε περίπτωση νομικού ελέγχου της διαδικασίας.

Έχοντας διαπιστώσει το βασικό νομικό πλαίσιο εντός της δικαιοδοσίας, είναι σημαντικό να εξετάσουμε πώς μπορεί ένας μηχανικός να ενεργεί επαγγελματικά, έτσι ώστε να είναι καλύτερα σε θέση να εξηγήσει τη βάση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Αναπόφευκτα, προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην ακόλουθη σειρά εγγράφων.

- Συμφωνίες: Αυτές θα πρέπει να διατυπώνονται κατά τρόπο που να αντικατοπτρίζει τους κανόνες του περιβάλλοντος στο οποίο θα μπορεί να επιλυθεί κάθε διαφορά και να εκφράζουν το τι θα απαιτηθεί από τους μηχανικούς. Το τελευταίο μπορεί να περιλαμβάνει συγκεκριμένες

οδηγίες στους μηχανικούς σχετικά με τους περιορισμούς που τίθενται στη συμπεριφορά τους ή περιορισμούς σχετικά με το τι θέματα μπορούν ή δεν έχουν τη δικαιοδοσία να εξετάσουν.

- Σημειώσεις: Σε όλες τις δικαιοδοσίες, οι σημειώσεις που λαμβάνονται κατά τη στιγμή της διεξαγωγής της διαδικασίας λήψης αποφάσεων ή από γεγονότα, συνομιλίες και οδηγίες, μπορούν, συχνά, να χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσουν μια ανεξάρτητη έρευνα να κατανοήσει τη βάση για μια συγκεκριμένη πορεία δράσης.
- E-mails: Αυτά εμφανίζονται ως μια εξαιρετικά κρίσιμη μορφή τεκμηρίωσης. Επειδή τα e-mails συχνά γράφονται με μικρή προσοχή ως προς το περιεχόμενό τους, μπορούν να αποτελέσουν ένα τρωτό σημείο σε μια διαδικασία λήψης αποφάσεων, ιδιαίτερα αν η απόφαση είναι αμφιλεγόμενη, είτε πνευματικά, πολιτικά ή οικονομικά. Ως εκ τούτου θα πρέπει να υπάρχουν πρωτόκολλα προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι τα e-mails δεν παρέχουν ακούσια ένα μηχανισμό για να φέρει την επαγγελματική συμπεριφορά του μηχανικού σε αμφιβολία ως προς το επίπεδό της.
- Επαγγελματικά ημερολόγια: Αυτά είναι μια μορφή αρχείου (γραφτού, ακουστικού ή οπτικού) που τεκμηριώνουν προσωπικές αναμνήσεις μίας επαγγελματικής διαδικασίας και εφαρμόζονται κυρίως στο πεδίο της έρευνας και των δοκιμών. Παρά το γεγονός ότι είναι μονόπλευρα, παρ'όλα αυτά αποτελούν εξαιρετικές υπενθυμίσεις της διαδικασίας κατά την οποία ελήφθη μία απόφαση καθώς επιτρέπουν το σχολιασμό σκέψεων που αλλιώς μπορεί να μην είχαν τη δυνατότητα να εκφραστούν. Η αποδοχή τους από μία νομική αρχή είναι πάντως αμφιλεγόμενη.
- Αλληλογραφία: Αυτός είναι ένας εξαιρετικός τρόπος για την τεκμηρίωση μιας διαδικασίας κατά την οποία ελήφθη μία απόφαση. Επειδή αποστέλλεται από ένα άτομο σε τουλάχιστον άλλο ένα άτομο και συνήθως υπογράφεται αποτελεί ένα συνδυασμό καταγραφής των πραγματικών διαδικασιών που έχουν διεξαχθεί με ένα συγκεκριμένο βαθμό προσοχής λόγω του επίσημου χαρακτήρα της.
- Εκθέσεις εμπειρογνομόνων: Αυτές είναι ιδιαίτερα χρήσιμες αν και μπορούν να εισαγάγουν έναν βαθμό αβεβαιότητας σε ό,τι θα έπρεπε να είναι μια σχετικά απλή απόφαση. Συχνά υπάρχει ο πειρασμός να αποκρυφτούν εκθέσεις που είναι δυσμενείς. Ωστόσο, αυτό θα πρέπει να αποφεύγεται. Σε περίπτωση που συμβεί κάποια απόκρυψη είναι ευνόητο ότι υπάρχει ένας εμπειρογνώμονας ο οποίος γνωρίζει ότι έχει γράψει την έκθεση και μπορεί να ελέγξει αν έχουν γίνει οι δέουσες ενέργειες, σύμφωνα με την έκθεση. Είναι πολύ καλύτερο να υπάρξει μία απευθείας αντιμετώπιση της έκθεσης πραγματογνωμοσύνης αν δεν είναι εφικτές οι δέουσες ενέργειες που ορίζει ή υπονοεί, για οποιοδήποτε λόγο, παρά να αγνοηθεί πλήρως.

### 6.2.3 Αποδεικτικά στοιχεία

Σε όλες τις χώρες μια νομική έρευνα απαιτεί την εξέταση αποδεικτικών στοιχείων. Το πώς εξετάζονται αυτά τα στοιχεία διαφέρει από χώρα σε χώρα. Η κατανόηση της φύσης των αποδεικτικών στοιχείων είναι θεμελιώδους σημασίας για την ανάπτυξη μιας κατάλληλης στρατηγικής για την τεκμηρίωση ικανής λήψης αποφάσεων για ένα έργο.

Ο μηχανικός πρέπει να έχει υπόψη του ότι υπάρχουν δύο τύποι αποδείξεων: υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, και υλικό το οποίο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Από νομική άποψη, το πρώτο κρίσιμο ζήτημα είναι το κατά πόσον ή όχι ένα αποδεικτικό στοιχείο μπορεί να παρουσιαστεί στο άτομο ή στα άτομα που αναλαμβάνουν τη νομική έρευνα.

Αν τα στοιχεία είναι σε θέση να παρουσιαστούν χαρακτηρίζονται ως παραδεκτά αποδεικτικά στοιχεία. Είναι σημαντικό ότι όλα τα πρωτόκολλα που σχεδιάζονται για την καταγραφή σημαντικών αποφάσεων σε σχέση με τη κατασκευή ή τη λειτουργία μιας σήραγγας πρέπει να οδηγούν στην παρουσίαση τους ως μια παραδεκτή μορφή αποδεικτικών στοιχείων. Παρά το γεγονός ότι οι κανόνες του παραδεκτού των αποδεικτικών στοιχείων διαφέρουν σημαντικά από χώρα σε χώρα, είναι θεμελιώδους σημασίας για τα αποδεικτικά στοιχεία:

- Να προσδιορίζεται ο συγγραφέας.
- Η προέλευση του εγγράφου να είναι αποδείξιμη ανεξάρτητα.
- Η ημερομηνία σύνταξης του εγγράφου να είναι αποδείξιμη.

Στην περίπτωση γραπτών αποδεικτικών στοιχείων και προφορικών μαρτυριών, είναι απαραίτητο να δοθεί προσοχή ώστε να προσδιορίζεται το πρόσωπο στο οποίο ανήκουν τα αποδεικτικά στοιχεία που θα παρουσιαστούνε.

Χρησιμοποιώντας το κατάλληλο πρόσωπο για τη δημιουργία ενός εγγράφου ή την απόδοση προφορικής μαρτυρίας μπορεί να επηρεάσει ριζικά το πώς γίνονται αντιληπτά τα προβλήματα σε μια νομική έρευνα. Μετά τη διαδικασία συλλογής αποδεικτικών στοιχείων πρόκειται να ληφθούν οι αποφάσεις και ως εκ τούτου είναι σημαντικό ότι τα στοιχεία που παρουσιάζονται στους νομικούς ιθύνοντες είναι κατάλληλα από άποψη περιεχομένου, έκφρασης και παρουσίασης.

Αν οι πληροφορίες δεν παρουσιαστούν σωστά ενώπιον μιας ερευνητικής επιτροπής (νομικής) δεν μπορεί να υπάρξουν προσδοκίες ότι η έρευνα θα είναι σε θέση να επιλύσει το υπάρχον ζήτημα (π.χ. αιτία ατυχήματος) με τον κατάλληλο τρόπο. Οι περισσότερες νομικές έρευνες που διεξάγονται από νομικούς συμβούλους επικουρούνται από μηχανικούς, καθώς πολύπλοκα τεχνικά στοιχεία είναι συχνά

πέρα από την αρμοδιότητα και ικανότητα πλήρους εκτίμησης από τους εμπλεκόμενους στη νομική διαδικασία.

#### **6.2.4 Γνωμοδότηση ως αποδεικτικό στοιχείο**

Είναι αναπόφευκτο ότι θα υπάρξουν αντικρουόμενες απόψεις σχετικά με θέματα υπό διένεξη. Για το λόγο αυτό, η λήψη συμβουλών από ανθρώπους με εμπειρία σε ένα συγκεκριμένο θέμα είναι απαραίτητη. Το επίπεδο των γνώσεων σχετικά με ένα συγκεκριμένο θέμα είναι κρίσιμο σε όλες τις νομικές έρευνες για τον καθορισμό του βάρους να τοποθετηθεί επί τη γνώμη αυτή. Η πιο έμπειροι και ανεξάρτητοι το πρόσωπο που παρέχει την γνώμη, το μεγαλύτερο βάρος είναι πιθανό να τοποθετηθεί επ' αυτού για τους σκοπούς της επίλυση μιας διαφοράς. Σε πολλές περιπτώσεις οι απόψεις που επικαλέστηκε νομική έρευνα είναι από τους ανθρώπους που εντοπίστηκαν να είναι στο εξωτερικό του έργου και ως εκ τούτου, εμμέσως, όχι υπό την επήρεια αόρατο πιέσεις ».

Είναι κατανοητό ότι σε μεγάλα κατασκευαστικά έργα υποδομών υπάρχουν παράγοντες που συχνά, λόγω του χρόνου, του κόστους και ακόμη και προσωπικότητες, οδηγούν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων στο πλαίσιο του έργου. Όταν τεκμηριώνουν τους λόγους για τη λήψη απόφασης στο πλαίσιο ενός έργου θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι αυτοί οι παράγοντες έχουν μικρή σημασία (αν υπάρχει) στην κατάλληλη διαδικασία λήψης αποφάσεων και ιδιαίτερα η διαδικασία με την οποία απαιτούνται επαγγελματίες σήραγγας, από το νόμο, για να καλύψει ένα ελάχιστο επίπεδο ανεξάρτητα από τις πιέσεις υπό τις οποίες εργάζονται.

### **6.3 Εξέταση προηγούμενων αποφάσεων (Νομική έρευνα)**

Είναι αναπόφευκτο ότι ατυχήματα θα συμβούν. Ως εκ τούτου, με αυτό το κεφάλαιο επιδιώκουμε να προετοιμάσουμε καλύτερα το μηχανικό για τη λήψη εύλογων μέτρων για να διασφαλιστεί ότι η βάση για τις αποφάσεις που λαμβάνονται σε σχέση με το σχεδιασμό και τη λειτουργία της σήραγγας είναι υποστηρίξιμες σε μία δικαστική διαμάχη.

Από νομική άποψη, είναι επιθυμητό να υπερασπιστεί μια απόφαση χρησιμοποιώντας πληροφορίες οι οποίες ήταν διαθέσιμες πριν λάβει χώρα ένα ατύχημα. Παραδείγματα υλικού στο οποίο μπορεί, μέσα σε λογικά πλαίσια, να γίνει επίκληση, επακολούθως μίας απόφασης, ως δικαιολόγηση για τη λήψη της, περιλαμβάνουν:

- Διεθνή πρότυπα
- Απαιτήσεις βάσει συμβολαίου
- Επαγγελματικές κατευθυντήριες γραμμές



- Υπολογισμοί (αριθμητικοί, στατιστικοί)
- Υπομνήματα
- Αναφορές
- Άλλες οδηγίες
- Γνωστές βέλτιστες πρακτικές

για τη χρονική στιγμή που λήφθηκε η απόφαση.

Ο καθορισμός του επιπέδου της συνολικής γνώσης για κάποιο τεχνικό ζήτημα είναι πάντα ένα δύσκολο έργο, κυρίως αν ζητηθεί να γίνει εκ των υστέρων, δηλαδή μετά από ένα κρίσιμο συμβάν το οποίο επηρεάστηκε από τη λήψη μιας απόφασης η οποία βασίστηκε στο υπάρχον επίπεδο γνώσης. Αυτό συμβαίνει γιατί το επίπεδο γνώσης επηρεάζεται από τέτοια κρίσιμα συμβάντα και η διαχωριστική γραμμή του τι γνώση προϋπήρχε του συμβάντος είναι συνήθως λεπτή, κυρίως σε περιπτώσεις συγκρουόμενων ερμηνειών του υπάρχοντος υλικού (π.χ. από αντίπαλες επιστημονικές ομάδες, λόγω συμφερόντων). Είναι επομένως, συχνά, εξαιρετικά σημαντική η καταγραφή των πληροφοριών που επικαλέστηκε ο μηχανικός κατά τη στιγμή της λήψης της απόφασης, ούτως ώστε να μπορεί να επιδείξει την καταλληλότητα της απόφασης του, ένα του ζητηθεί σε μία νομική έρευνα.

Σε νομικό επίπεδο, το κριτήριο που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας μιας απόφασης είναι σχεδόν καθολικά η κατάσταση των επιστημονικών γνώσεων κατά το χρόνο λήψης της απόφασης - *όχι εκ των υστέρων, όχι με τη εμπειρία που αποκτήθηκε μετά από ένα συμβάν*. Η κατανόηση αυτής της θεμελιώδους νομικής αρχής παρέχει μια τεκμηριωμένη βάση για την λήψη μιας απόφασης, και στη συνέχεια, απόδειξη, ότι ήταν κατάλληλη, αν όχι η καταλληλότερη.

### **6.3.1 Βασικές αρχές στη λήψη αποφάσεων σε μία σήραγγα**

Οι υπεύθυνοι για το σχεδιασμό και τη λειτουργία της σήραγγας πρέπει να εργάζονται βασιζόμενοι σε απαραίτητες και απαιτούμενες επαγγελματικές δεξιότητες, γνώσεις και εμπειρία.

Οι αποτυχίες στον τομέα της μηχανικής «ανταμείβονται» πάντα με την αντίστοιχη τιμωρία, και αυτή συνήθως είναι βαριά γιατί οι αποφάσεις του μηχανικού μπορούν να στοιχίσουν ακόμα και τη ζωή σε άτομα που, συνήθως όχι εν γνώση τους, βρίσκονται μέσα στο πεδίο εφαρμογής αυτών των αποφάσεων. Επί της βασιλείας του Χαμουραμπί, στη Βαβυλωνία της 2<sup>ης</sup> χιλιετίας π.Χ., συντάχθηκαν οι πρώτοι νομικοί κώδικες, σύμφωνα με τους οποίους ο μηχανικός που ήταν υπεύθυνος για την κατασκευή μίας κατοικίας η οποία κατέρρευσε, εκτελούταν. Παρόλο που είναι μάλλον απίθανη μία εκτέλεση στις μέρες μας, οι ευθύνες των μηχανικών παραμένουν μεγάλες και επηρεάζουν τις ζωές τόσων ατόμων, ώστε οποιαδήποτε λάθος απόφαση εκ μέρους τους να αντιμετωπίζεται αυστηρά, σύμφωνα με το δίκαιο.

Σε κάθε χώρα, και για κάθε λειτουργική θέση (σχεδιαστής, μηχανικός διάνοιξης σηράγγων, μηχανικός πυρασφάλειας) το επαγγελματικό επίπεδο που απαιτείται μπορεί να είναι διαφορετικό. Όμως, τουλάχιστον, θα πρέπει να ισχύουν τα ακόλουθα:

- Ένας μηχανικός που δέχεται μια εργασία για το σχεδιασμό ή τη λειτουργία μιας σήραγγας πρέπει να κατέχει κατάλληλη τεχνογνωσία.
- Για τον προσδιορισμό του επιπέδου της τεχνογνωσίας που είναι απαραίτητη, μπορούν να ληφθούν υπόψη τα ακόλουθα:
  - Τα εμπειριστατωμένα προσόντα του εν λόγω προσώπου (πτυχία, σεμινάρια)
  - Η εμπειρία του εν λόγω προσώπου σε αντίστοιχη εργασία
  - Τα ελάχιστα τυπικά προσόντα που κατέχοντας τα ο μηχανικός είναι σε θέση να εκπληρώσει τις επαγγελματικές απαιτήσεις.
  - Οι συμβασιακές απαιτήσεις
  - Οι απαιτήσεις που επιβάλλονται από το νομικό πλαίσιο στο εσωτερικό της χώρας
  - Τα πρότυπα που επιβάλλονται από συνθήκες, συμβάσεις ή διεθνείς συμφωνίες στις οποίες έχει προσυπογράψει η χώρα εκτέλεσης του έργου
  - εθνικές συμβάσεις
  - εθνικές πρακτικές
  - διεθνείς πρακτικές
  - εκδόσεις των διεθνώς αναγνωρισμένων φορέων, όπως για παράδειγμα:
    - Η Παγκόσμια Ένωση Οδικών Μεταφορών (PIARC) [100]
    - Η Οικονομική Επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη [101]
    - Ο Εθνικός Σύνδεσμος Πυρασφάλειας - ΗΠΑ (NFPA) [102],[103].

Τα τεχνικά ζητήματα κάθε έργου πρέπει να καθορίζονται αναλόγως του έργου. Συνήθως δεν επαρκεί για το μηχανικό σηράγγων και πυρασφάλειας να αντιγράψει ένα άλλο έργο. Οι αυξημένες διεθνείς συνεργασίες σχετικά με θέματα σηράγγων σε συνδυασμό με νέες γνώσεις και κανονιστικές παρεμβάσεις, σημαίνει ότι είναι αναπόφευκτο να υπάρχουν διαμάχες μεταξύ των διαφορετικών προτύπων και πρακτικών στις σήραγγες. Συνεπώς, είναι απαραίτητο να υπάρχουν πάντα εμπειριστατωμένες εξηγήσεις για τη λήψη μιας συγκεκριμένης απόφασης.

### **6.3.2 Οικονομικοί λόγοι επιρροής αποφάσεων**

Πρόσφατες πρωτοβουλίες για αύξηση των οικονομικών δεικτών αποδοτικότητας σε όλο τον κόσμο (και ακόμα και στην Ελλάδα, κυρίως υπό την οικονομική κρίση των τελευταίων χρόνων) έχουν αυξήσει την πίεση για έργα διάνοιξης σηράγγων με σκοπό την αύξηση της οικονομικής αποτελεσματικότητας των

οδικών δικτύων των κρατών. Ένα από τα αποτελέσματα είναι φαινόμενα όπως ο σχεδιασμός μιας σήραγγας να βασίζεται στη χαμηλότερη προσφορά κόστους κατασκευής, ανεξαρτήτως άλλων κρίσιμων κριτηρίων.

Όταν χρησιμοποιείται μια διαδικασία διαγωνισμού για την επιλογή του σχεδιασμού, οι υποψήφιοι μπορεί να υιοθετήσουν μερικές φορές μια πολιτική χαμηλότερης προσφοράς, προκειμένου να πάρουν το συμβόλαιο. Στη συνέχεια προσπαθούν, με παραλλαγές και άλλα περίπλοκα τεχνάσματα, να «βελτιώσουν» από οικονομικής απόψεως το σχεδιασμό της σήραγγας. Αυτός ο σχεδιασμός, υπό το πρίσμα της χαμηλότερης προσφοράς είναι πολύ πιθανό να έχει αντίκτυπο σε θέματα πυρασφάλειας, καθώς δεν έχουν άμεσο αντίκτυπο στους οικονομικούς δείκτες παρά εμπλέκονται μόνο σε περίπτωση ατυχήματος. Όμως ακριβώς αυτό το ζήτημα ενός ατυχήματος πυρκαγιάς, και άλλα θέματα της ασφάλειας ζωής, είναι πιο πιθανό να οδηγήσουν σε νομική δράση κατά των μηχανικών που είναι υπεύθυνοι για το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία μιας σήραγγας.

Οι σήραγγες είναι πάντα εξαιρετικά δαπανηρές κατασκευαστικά, συνήθως πιο δαπανηρές από τον οποιοδήποτε προϋπολογισμό. Ωστόσο, τα επαγγελματικά πρότυπα θα πρέπει να ακολουθούνται με ευλάβεια, αντιμετωπίζοντας, καταλλήλως, τα θέματα κόστους των έργων. Ο ισχυρισμός της μη διατήρησης των επαγγελματικών προτύπων είναι μία από τις απλούστερες καταγγελίες κατά των μηχανικών σήραγγας, μετά από ατύχημα. Η καλύτερη υπεράσπιση εναντίων μιας τέτοιας καταγγελίας είναι η εμπεριστατωμένη τεκμηρίωση των κατασκευαστικών και λειτουργικών αποφάσεων τη στιγμή που πάρθηκαν.

### **6.3.3 Ανάλυση ρίσκου (Γενικά)**

Η αναδυόμενη περιοχή της ανάλυσης ρίσκου και των διαφόρων υπο-κλάδων της δημιουργεί γόνιμο έδαφος για μία πιθανή μελλοντική νομική δράση. Η ανάλυση των κινδύνων είναι ένας τρόπος για την τεκμηρίωση μιας διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Με την τεκμηρίωση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων θεωρείται ότι οι ίδιες οι αποφάσεις δύναται να βελτιωθούν μέσω ενός συνδυασμού διαφάνειας και εξαναγκασμένης εξέτασης των διαφόρων εναλλακτικών λύσεων.

Δυστυχώς, πολλά από τα γεγονότα για τα οποία λαμβάνονται οι αποφάσεις σχεδιασμού είναι γεγονότα σημαντικών συνεπειών, αλλά χαμηλής πιθανότητας να συμβούν για τα οποία η συμβατική ανάλυση ρίσκου δεν μπορεί να αντιταχθεί της εμπειρικής εκτίμησης. Είτε έχει διεξαχθεί ποιοτική ανάλυση είτε ποσοτική, εξακολουθεί να υπάρχει η πιθανότητα χειραγώγησης της διαδικασίας σχεδιασμού, με σκοπό κάποιο συγκεκριμένο (συνήθως οικονομικό) αποτέλεσμα, στρεβλώνοντας τη διαδικασία ανάλυσης ρίσκου. Υπάρχουν πολλά παραδείγματα ανάλυσης ρίσκου που έχουν διεξαχθεί για να δικαιολογηθούν αποκλίσεις από τους κανόνες της μηχανικής για πιο αποδοτικά οικονομικά (δηλαδή φθηνότερες)

λύσεις. Σε πολλές περιπτώσεις αυτό είναι κατάλληλο (υπό αυστηρές προϋποθέσεις), όμως, η κατάχρηση αυτής της τεχνικής λήψης αποφάσεων για τη δικαιολόγηση αυτών που διαφορετικά θα ήταν αδικαιολόγητες αποφάσεις μηχανικής είναι πιθανό να είναι το γονιμότερο έδαφος για μελλοντικές νομικές διαδικασίες εναντίων σχεδιαστών/μηχανικών σε έργα σηράγγων. Η «διαστρέβλωση» δεδομένων, είτε εκούσια είτε ακούσια, με σκοπό το οικονομικό κέρδος είναι ποινικά κολάσιμη πράξη.

Παρ' όλα αυτά, πρόσφατες διεθνείς πρωτοβουλίες σε σχέση με το σχεδιασμό και τη λειτουργία σηράγγων έχουν υιοθετήσει προσεγγίσεις οι οποίες βασίζονται στην ανάλυση ρίσκου. Ως παράδειγμα αναφέρουμε τις:

- *Οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις Διευρωπαϊκές Οδικές Σήραγγες, του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης (5 Ιανουαρίου 2004) [104],*
- *Τον Κώδικα Πρακτικής για Διαχείριση Ρίσκου σε Έργα Σηράγγων στο Ηνωμένο Βασίλειο (συντάσσεται από τη Βρετανική Εταιρία Σηράγγων και την Ένωση Βρετανών Ασφαλιστών) [105]*

όπου γίνεται επίκληση της ανάλυσης ρίσκου, για διάφορες πτυχές της διαδικασίας λήψης αποφάσεων σε έργα σηράγγων.

#### **6.3.4 Ποσοτική εκτίμηση ρίσκου**

Επειδή η νομική διαδικασία, η οποία ασχολείται με ζημιές και τραυματισμούς μετά από την πάροδο ενός συμβάντος, κινείται αφού το συμβάν έχει παρέλθει είναι σχετικά εύκολο να υποστηριχθεί ότι η ποσοτική ή ποιοτική εκτίμηση του ρίσκου διεξήχθη λανθασμένα. Ένα τέτοιο επιχείρημα είναι ιδιαίτερα πειστικό, αν και είναι λανθασμένο, ακόμα και με τους ίδιους νομικούς κανόνες, καθώς η εκτίμηση ρίσκου δεν βασίζεται σε ακράδαντα επιστημονικά δεδομένα, άρα η λήψη αποφάσεων με βάση αυτή υπόκειται σε υποκειμενικές κρίσεις.

Εξαιτίας της παραπάνω λογικής επίκρισης της διαδικασίας λήψης αποφάσεων είναι σημαντικό η ανάλυση ρίσκου των διαφόρων επιλογών να είναι σαφώς διατυπωμένη. Διατυπώνοντας το σκεπτικό μιας απόφασης, πρέπει να ληφθεί μέριμνα για επεξήγηση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων με σκοπό μία προσέγγιση που δεν θα αντικρούεται στο νομικό σύστημα της χώρας, όπου διεξάγεται το έργο (μιας σήραγγας).

Για παράδειγμα, στην Ολλανδία είναι αποδεκτό ότι οι υπολογισμοί ρίσκου μπορεί να γίνουν χρησιμοποιώντας την αξία μιας ανθρώπινης ζωής, η οποία υπολογίζεται περιοδικά για τους πολίτες της Ολλανδίας. Αυτό είχε κριθεί απαραίτητο για τη δικαιολόγηση της κατασκευής αντιπλημμυρικών έργων μαμούθ (Deltaworks), μετά τις καταστροφικές πλημύρες του 1953. Ωστόσο, σε άλλες χώρες, μία τέτοια

μέθοδος θα ήταν εντελώς απαράδεκτη, π.χ. στις Η.Π.Α.. Ειδικές νομικές συμβουλές θα πρέπει να ληφθούν ως προς την καταλληλότητα αυτού του τύπου εργαλείου λήψης αποφάσεων για μια συγκεκριμένη χώρα (νομική δικαιοδοσία) ή για ένα συγκεκριμένο είδος έργου.

Συχνά η πρακτική λύση για αυτό το νομικό/ηθικό δίλημμα είναι να χρησιμοποιηθεί το εργαλείο (όπως είναι επιθυμητό σε ένα τεχνοκρατικό περιβάλλον), αλλά να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη διατύπωση των αποτελεσμάτων. Έστω, για παράδειγμα, ότι η ονομαστική αξία της ανθρώπινης ζωής για το σκοπό της ποσοτικής εκτίμησης ρίσκου για τη λήψη αποφάσεων είναι 1 εκατομμύριο ευρώ και η ανάλυση κρίνει ότι η επιλογή «Α» θα μειώσει το θεωρητικό κίνδυνο απώλειας ζωής κατά μια ζωή ανά έτος και η επιλογή «Β» θα μειώσει το θεωρητικό κίνδυνο κατά μία ζωή ανά 10 χρόνια. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης μπορούν να εκφραστούν ως εξής:

«Η ποσοτική εκτίμηση του κινδύνου δείχνει ότι η επένδυση στην επιλογή «Α» θα οδηγήσει σε δεκαπλάσιο όφελος όσον αφορά τη διάσωση ανθρώπινων ζωών από την επιλογή «Β»».

Όπως αναφέραμε και παραπάνω (και όπως είναι λογικό) δεν θα πρέπει τα αποτελέσματα να εκφράζονται ως:

«Δεν θεωρείται ότι αξίζει να ξοδευτούν χρήματα για την επιλογή «Β», διότι θα σωθεί μόνο η ζωή ενός άτομο κάθε 10 χρόνια».

Σε πολλές δικαιοδοσίες η παραπάνω πρόταση θα προκαλέσει κατακραυγή, καθώς όχι μόνο φαίνεται «τεχνοκρατικά άσπλαχνη», αλλά και επειδή δεν παρουσιάζεται το σύνολο της λογικής διαδικασίας λήψης της απόφασης, καθώς και τα συμφραζόμενα, π.χ. η προτίμηση επιλογής της απόφασης «Α».

Αυτή η θεμελιώδης παρανόηση του ρόλου της ανάλυσης ρίσκου στη διαδικασία λήψης αποφάσεων - και ο ρόλος της στη διαφοροποίηση των πλεονεκτημάτων μεταξύ συγκρίσιμων στρατηγικών επενδύσεων συχνά συγχέεται από τους δικηγόρους ως απόδειξη ότι οι μηχανικοί σχεδίασαν ένα έργο στο οποίο υπάρχει δυνητικά η πιθανότητα να σκοτωθεί ένας προκαθορισμένος «δικαιολογημένος» αριθμός ανθρώπων. Κάτι τέτοιο δεν ισχύει, δεν «πρέπει» να ισχύει και φυσικά η τεκμηρίωση της λήψης των αποφάσεων δεν πρέπει να αφήνει τέτοια περιθώρια παρερμηνείας.

### **6.3.5 Οικονομοτεχνικές ευθύνες**

Τα έργα διάνοιξης σηράγγων κατασκευάζονται συχνά σε χώρες για την τόνωση των οικονομιών τους, μέσω της ανάπτυξης των υποδομών (βλέπε Ελλάδα). Σε περιπτώσεις όπου το κράτος-πελάτης για μια σήραγγα προσπαθεί να οδηγήσει μια οικονομία μέσα από επενδύσεις σε έργα υποδομής, οι μηχανικοί που απασχολούνται στην κατασκευή και στην λειτουργία μιας σήραγγας πρέπει να είναι ιδιαίτερα

προσεκτικοί. Για τη διασφάλιση της επαγγελματικής ακεραιότητας τους πρέπει να μην υπάρχουν στοιχεία τα οποία να υποδεικνύουν ότι υπάρχει μία αθέμιτη σύμπραξη με την κατασκευάστρια εταιρεία (που τους απασχολεί), τη κυβέρνηση ή άλλο οργανισμό ελέγχου κατά την υλοποίηση μιας σήραγγας (σχεδιαστικά και λειτουργικά) με αποτέλεσμα η εργασία του να είναι χαμηλότερου επιπέδου από ό,τι θα μπορούσε γενικά να θεωρηθεί ως ελάχιστο αποδεκτό.

Κατά περιπτώσεις σήραγγες κατασκευασμένες με την παραπάνω νοοτροπία μπορούν να κατασκευαστούν σωστά και οικονομικά και να μην ενέχουν νομική ευθύνη στους μηχανικούς σήραγγας. Ωστόσο, η συγκεκριμένη κατάσταση απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή στη λεπτομέρεια και σαφή διατύπωση του τι θεωρείται αποδεκτό και μη αποδεκτό από τον πελάτη και την εκάστοτε νομική δικαιοδοσία.

Τέτοια έργα υποδομών (διάνοιξης σηράγγων) συνήθως προκύπτουν σε οικονομίες που αντιμετωπίζουν μια οικονομική ανάκαμψη μετά από πολιτικές, οικονομικές, ή και κοινωνικές μεταρρυθμίσεις. Στην περίπτωση της Ελλάδας συμβαίνουν και οι τρεις προϋποθέσεις και αυτό κάνει την κατάσταση ιδιαίτερα εύθραυστη και επικίνδυνη. Συγκεκριμένα υπήρχαν έργα υποδομών για την αναπτέρωση της οικονομίας προ της κρίσης του 2009-2013, τα οποία μετά παρουσιάσεως αποδεικτικών στοιχείων υπερχρηματοδοτούνταν, αλλά και ήταν κακώς σχεδιασμένα, πάντα με βάση τον οικονομικό γνώμονα. Αυτά τα έργα εγκαταλείφθηκαν ημιτελή κατά τη διάρκεια της κρίσης. Στις μέρες μας (2012-) , παρά το γεγονός ότι υπάρχει μια επιθυμία για τη βελτίωση των υποδομών, μετά και από την προσωρινή εγκατάλειψή τους, είναι συχνά ανεπαρκής η χρηματοδότηση και η πολιτική αστάθεια δεν επιτρέπει την υπογραφή συμβάσεων έργων. Επίσης η έλλειψη ειδικών γνώσεων διάνοιξης σηράγγων, αφού το ειδικευμένο προσωπικό ως επί το πλείστον απολύθηκε και έφυγε για να βρει εργασία σε άλλες χώρες, δημιουργεί ένα επιπλέον πρόβλημα.

Επειδή οι μηχανικοί σηράγγων αποτελούν μέλη μιας διεθνούς κοινότητας (όπου γίνονται ανταλλαγές ατόμων και γνώσεων, ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις και τις εταιρίες που εμπλέκονται στο έργο) υπάρχει ένας πολύ πραγματικός κίνδυνος ότι ένας σύμβουλος μηχανικός θα παρέχει λάθος συμβουλές σχετικά με ένα έργο που αυτός καταλαβαίνει ότι δεν πληροί τα ελάχιστα κριτήρια στη χώρα καταγωγής του, αλλά δεν το διατυπώνει στον πελάτη για να μη χάσει την προμήθεια με την ελπίδα ίσως ότι τα κριτήρια στην χώρα διεκπεραίωσης του έργου είναι πιο χαλαρά ή ότι λόγω της χαμηλής πιθανότητας να συμβεί κάποιο ατύχημα δεν είναι οικονομικά συμφέρον για την εταιρία που τον προσέλαβε να κάνει αλλαγές στα σχέδια κατασκευής και λειτουργίας. Στη συνέχεια, αν ένα συμβάν όπου υπάρχει σημαντική βλάβη στην υποδομή, τραυματισμοί ή θάνατοι, ο σύμβουλος θα εμπλακεί νομικά με μεγαλύτερο μερίδιο ευθύνης από την εταιρία που του ζήτησε συμβουλές για την οικονομικότερη διεκπεραίωση των εργασιών κατασκευής μιας σήραγγας ή για τη μετέπειτα λειτουργία της.

Επειδή οι σήραγγες εξακολουθούν να λειτουργούν για σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα (πάνω από 50 έτη) η κληρονομιά ενός προγενέστερου σχεδίου κατασκευής μιας σήραγγας μπορεί επίσης να αποτελέσει αντικείμενο κριτικής κυρίως αν μπορεί να αποδειχτεί ότι έγιναν περικοπές με τη λογική ότι παρόλο που η σήραγγα θα βρίσκεται σε λειτουργία για μεγάλο χρονικό διάστημα, όταν και αν συμβεί κάποιο ατύχημα λόγω αστοχίας του σχεδίου θα έχει παρέλθει το διάστημα για το οποίο οι μηχανικοί κατασκευής και λειτουργίας, καθώς και η κατασκευαστική εταιρία, θα είναι νομικά υπεύθυνοι. Παρόλα αυτά οι συνέπειες ενός ατυχήματος θα είναι μεγάλες και η έρευνα θα δείξει τους υπεύθυνους. Η διατήρηση της ισορροπίας σε αυτό το είδος αποφάσεων είναι ιδιαίτερα σημαντική, γιατί στην περίπτωση που οι μηχανικοί αρνηθούν να κάνουν τις «απαιτούμενες» περικοπές το συμβόλαιο θα απονεμηθεί σε μία εταιρία που δεν έχει τέτοιους ενδοιασμούς.

## 6.4 Κοινά θέματα μηχανικής σηράγγων που υπόκεινται σε νομική έρευνα

Υπάρχουν μια σειρά από θέματα μηχανικής σε σήραγγες που ξεχωρίζουν από τα άλλα ως πιθανοί μελλοντικοί στόχοι για νομικές έρευνες, όπως έχει αποδειχθεί από τη νομική βιβλιογραφία (αρχείο αντίστοιχων υποθέσεων). Αυτά είναι (χωρίς σειρά σπουδαιότητας):

- Η επίδραση του εξαερισμού έκτακτης ανάγκης στην έκταση της πυρκαγιάς (ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας).
- Το μέγεθος της φωτιάς που χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό των σηράγγων.
- Οι υποθέσεις αναφορικά με την ανθρώπινη συμπεριφορά σε περίπτωση πυρκαγιάς (ή άλλο σενάριο που απαιτεί μια αλλαγή στην ανθρώπινη συμπεριφορά σε σήραγγες), για παράδειγμα η εκκένωση της σήραγγας ή η μετακίνηση προς κάποιο ασφαλές καταφύγιο κλπ.
- Η χρήση των συστημάτων καταστολής πυρκαγιάς.
- Η επίπτωση των συστημάτων καταστολής πυρκαγιάς σε άλλα συστήματα ασφαλείας.
- Η πραγματική βιωσιμότητα του περιβάλλοντος μετά από μια πυρκαγιά ή άλλα συμβάντα σε σήραγγες που αποτελούν απειλή για τους χρήστες.
- Η μηχανική μέγιστης απόδοσης (συνήθως κατά την κατασκευή) ως μέσο μείωσης του κόστους.
- Ο σχεδιασμός εγκάρσιων περασμάτων όσον αφορά την μεταξύ τους απόσταση, αλλά και το σχεδιασμό τους (διατομές κλπ).
- Η σήμανση.
- Υπολογισμοί όγκων καπνού.

- Η εξαγωγή του καπνού τόσο σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης όσο και σε καταστάσεις μη έκτακτης ανάγκης.
- Οι επιπτώσεις στον άνθρωπο από τις αλλαγές στη βιωσιμότητα του περιβάλλοντος.
- Οι επιπτώσεις στην υγεία από τις εκπομπές των οχημάτων τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό των σηράγγων για οχήματα με κινητήρες εσωτερικής καύσης.
- Οι διαδικασίες συντήρησης του υπάρχοντος εξοπλισμού.
- Η ανακαίνιση των υφιστάμενων σηράγγων.
- Η επάρκεια των ασκήσεων έκτακτης ανάγκης.
- Οι προβλέψεις κυκλοφοριακού όγκου.
- Ο συνδυασμός πρακτικών και προτύπων που προέρχονται από διαφορετικές χώρες και λειτουργικά περιβάλλοντα με σκοπό τη δημιουργία νέων προτύπων και επιχειρησιακών πρακτικών.
- Μη κατάλληλη χρήση των μοντέλων (φωτιάς, καπνού κλπ).

## 6.5 Συμπεράσματα

Οι μηχανικοί κατασκευής σηράγγων παρέχουν τις συμβουλές τους στις εταιρίες κατασκευής και λειτουργίας για την εξασφάλιση ότι το περιβάλλον της σήραγγας ικανοποιεί τα κατάλληλα επίπεδα ασφάλειας και απόδοσης. Ωστόσο, όπως συμβαίνει με όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, είναι αναπόφευκτο ότι θα υπάρξουν περιστατικά κατά τα οποία μπορεί να προκληθεί ζημία στις σήραγγες και στους ανθρώπους και σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμη και ο θάνατος. Δεν έχει σημασία το πόσο καλά κατασκευασμένο και το πόσο καλά διαχειριζόμενο είναι το υπόγειο περιβάλλον μιας σήραγγας. Πάντα θα υπάρχει ένας υπολειπόμενος κίνδυνος βλάβης, τραυματισμού και θανάτου. Όπως λέγεται κοινώς, ατυχήματα «συμβαίνουν». Είναι απλά ένα «στατιστικό» φαινόμενο, το οποίο γίνεται «σίγουρο» εξ αιτίας του τεράστιου όγκου κίνησης μέσα από τις διάφορες σήραγγες.

Σε όλο τον κόσμο το νομικό σύστημα επιδιώκει να διασφαλίσει ότι ένα ελάχιστο επίπεδο τεχνογνωσίας παρέχεται για αυτές τις σήραγγες από τους μηχανικούς σήραγγας και ότι, όταν αυτά τα πρότυπα δεν πληρούνται και προκαλείται βλάβη, η κοινωνία είναι σε θέση να τιμωρήσει εκείνους που έχουν σφάλει. Επίσης, όπου είναι δυνατόν, το νομικό σύστημα επιδιώκει να αποζημιώσει τους ανθρώπους που υπέστησαν βλάβη σε βάρος εκείνων που την προκάλεσαν.

Είναι, εν τέλει, ο στόχος ενός νομικού συστήματος να προσπαθεί να προωθήσει πρακτικές και συμπεριφορές που δεν θα οδηγήσουν σε παρόμοιες συνθήκες πρόκλησης βλαβών, τραυματισμών ή θανάτων, στο μέλλον.



Είναι θεμελιώδους σημασίας για την ορθή απονομή της δικαιοσύνης, οι μηχανικοί που συμμετέχουν στην κατασκευή και λειτουργία μιας σήραγγας να είναι αποδέκτες μιας ανεξάρτητης νομικής έρευνας των πράξεων τους. Η κατάλληλη τεκμηρίωση των διαδικασιών που ακολούθησαν, προκειμένου να καταλήξουν στις αποφάσεις τους είναι η καλύτερη μέθοδος για την προετοιμασία τους έναντι της εν λόγω έρευνας.

Επίσης δεν είναι μόνο αναπόφευκτο, αλλά είναι επίσης επιθυμητό η νομική έρευνα να κάνει συστάσεις για αλλαγές στην μηχανική κατασκευαστική πρακτική και στις διαδικασίες λειτουργίας μετά από μία βλάβη κάθε είδους.

Το να είναι σε θέση να διατυπώσει τη λογική βάση για τη λήψη αποφάσεων πριν από το συμβάν ενός ατυχήματος είναι ο καλύτερος τρόπος για την προστασία του μηχανικού ή μιας εταιρίας ή οργανισμού από τα δυσμενή ευρήματα μιας νομικής έρευνας.

Τονίζεται ότι δεν είναι παράνομο για ένα μηχανικό σήραγγας να κάνει μία λάθος πρόβλεψη. Επίσης δεν είναι παράνομη η λήψη μίας απόφασης για την απόρριψη της αντιμετώπισης ενός τεκμηριωμένα ανέφικτου προς επίλυση σεναρίου (π.χ. κατάρρευση υποθαλάσσιας σήραγγας λόγω σεισμού, άνω των 8 Ρίχτερ). Είναι, ωστόσο, αντίθετο στις νομοθεσίες όλων των χωρών το να δίνεται η εντύπωση ότι λαμβάνονται υπόψη οι παρεχόμενες συμβουλές εμπειρογνομόνων (υπό μορφή, συνήθως, γραπτών οδηγιών) - όταν στην πραγματικότητα απορρίπτονται, συνήθως λόγω οικονομικού κόστους - και το γεγονός αυτό μπορεί να αποδειχθεί.

# 7 ΑΝΤΙ ΕΠΙΛΟΓΟΥ -

## ΣΚΕΨΕΙΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

Μέχρι τώρα, στα προηγούμενα κεφάλαια αναλύσαμε όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν την πυρασφάλεια μιας οδικής σήραγγας. Οι περισσότεροι παράγοντες, καθώς και τα περισσότερα από τα σχέδια δράσης σχετίζονται και μπορούν να εφαρμοστούν τόσο σε σιδηροδρομικές σήραγγες, όσο και σε σήραγγες μετρό, και επίσης και για άλλα είδη καταστροφής, όπως πλημμύρες ή τρομοκρατικές ενέργειες, τουλάχιστον όσον αφορά τον μηχανικό αυτοματισμού (πυρασφαλείας).

Θέλοντας να κλείσουμε αυτή τη διπλωματική εργασία θα θέλαμε να προσφέρουμε τις σκέψεις μας, καθώς και κάποιες σκέψεις άλλων ερευνητών πάνω σε τρία βασικά προβλήματα που μπορεί να αντιμετωπίσει ένας μηχανικός αυτοματισμών στην προσπάθειά του να φτιάξει ένα πραγματικά αυτόνομο σύστημα πυρασφάλειας. Οπότε, ποια είναι τα κύρια προβλήματα κατά την αντιμετώπιση ενός περιστατικού πυρκαγιάς και συνεπακόλουθης επιχείρησης διάσωσης σε μια σήραγγα και πώς αυτά μπορούν να επιλυθούν;

### 7.1 Απόκτηση συνολικής εικόνας του τόπου του ατυχήματος.

Ο υπεύθυνος που είναι επιφορτισμένος με την αντιμετώπιση μιας πυρκαγιάς σε μια οδική σήραγγα βρίσκεται αντιμέτωπος με πολλά προβλήματα και δυσκολίες, οι οποίες πρέπει να αντιμετωπιστούν. Όταν ενεργοποιηθεί κάποιος αρχικός συναγερμός, είναι απαραίτητο να κατανοηθεί γρήγορα τι είδους ατύχημα συνέβη και ποιοι εμπλέκονται σε αυτό. Στα πρώτα στάδια μιας επιχείρησης πυρόσβεσης και διάσωσης σε μια σήραγγα, το πιο σημαντικό είναι η απόκτηση των πληροφοριών, καθώς και η σωστή ερμηνεία τους. Αυτό είναι κρίσιμο για τη διασφάλιση ότι η επιχείρηση θα ξεκινήσει με τις καλύτερες δυνατές προοπτικές, φυσικά, πάντα και με δεδομένο τις πραγματικές αρχικές συνθήκες.

Το γεγονός είναι ότι χωρίς ειδικά εποπτικά μέσα, είναι πολύ δύσκολο να καταλάβει κανείς τι πραγματικά συμβαίνει και γιατί βγαίνει καπνός από τη σήραγγα. Η δυσκολία αυτή δημιουργεί σοβαρά προβλήματα συντονισμού για τη λειτουργική διαχείριση του έργου πυρόσβεσης και διάσωσης στην περιοχή. Το έργο περιπλέκεται ιδιαίτερα από τις σχετικά μεγάλες αποστάσεις που εμπλέκονται (πάντα μιλάμε για σήραγγες σεβαστού μεγέθους – μία σήραγγα των 500m δεν θέτει κάποιο σοβαρό πρόβλημα), καθώς οι υπηρεσίες πυρόσβεσης και διάσωσης μπορεί να χρειαστεί να προσβάλλουν την φωτιά από πολλά διαφορετικά σημεία κατά μήκος της σήραγγας.

Η φωτιά στη σήραγγα του Mont Blanc έδειξε πόσο σημαντικό είναι ο κατάλληλος συντονισμός σε ένα έργο διάσωσης. Σε αυτή την περίπτωση, ο συντονισμός μεταξύ των γαλλικών και της ιταλικών πυροσβεστικών υπηρεσιών απέτυχε, όπως, επίσης, συνέβη μεταξύ των διαφόρων υπηρεσιών διάσωσης και του διαχειριστή της σήραγγας και μεταξύ των βάσεων διαχείρισης της σήραγγας, σε κάθε άκρη του τούνελ. Θα μπορούσαμε να πούμε, χωρίς να υπερβάλλουμε, ότι η περίπτωση της πυρκαγιάς στο Mont Blanc ήταν μία διατριβή στην ανικανότητα διαχείρισης, επικοινωνίας, συνεργασίας, μηχανολογικού σχεδιασμού και κυρίως σχεδιασμού πυροπροστασίας. Και η αλήθεια είναι ότι με πολύ μικρές αλλαγές στη διαχείριση της κρίσης τα γεγονότα θα μπορούσαν να εξελιχθούν πολύ διαφορετικά

προς το καλύτερο. Γενικά μιλώντας, αν μια τέτοια μεγάλη επιχείρηση, όπως αυτή της διάσωσης και πυρόσβεσης μιας πυρκαγιάς σε σήραγγα είναι να διεξαχθεί σωστά, το πιο σημαντικό είναι να σχεδιαστεί σωστά και εξίσου σημαντικό είναι να εκτελεστεί σωστά. Με τη σειρά του, αυτό απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό των πρωτοκόλλων των επιχειρήσεων και των εγκαταστάσεων της σήραγγας που πρόκειται να εμπλακούν στο πραγματικό γεγονός.

Οι ερωτήσεις που ακολουθούν θα πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά:

- Πού είναι η φωτιά και ποιο είναι το μέγεθός της; Αυτές είναι ίσως οι πιο σημαντικές ερωτήσεις, αλλά μπορεί να είναι εντελώς άγνωστες οι απαντήσεις στην περίπτωση των πυρκαγιών σε σήραγγες. Οι αισθητήρες μπορεί, για παράδειγμα να έχουν πάθει βλάβη (ακόμα και λόγω της φωτιάς)
- Ποια είναι η επίδραση του ανέμου στην πυρκαγιά; Αυτή μπορεί να είναι καθοριστική, τόσο από την άποψη της κατεύθυνσης του όσο και για την επίδρασή του στην φωτιά. Η πυρκαγιά του Mont Blanc συνέβη μία από τις, περίπου 30 μέρες το χρόνο που ο φυσικός αερισμός αντιστρέφονταν μέσα στη σήραγγα, και ήταν ένας από τους λόγους για τη λάθος λήψη ενεργοποίηση του εξαερισμού.
- Υπάρχουν ακόμη άνθρωποι μέσα στη σήραγγα, και αν ναι, σε ποιο σημείο της; Αυτό είναι συχνά ένας άγνωστος παράγοντας, ο οποίος είναι καθοριστικός για τον προσδιορισμό του είδους της επιχείρησης που απαιτείται (διάσωση ή πυρόσβεση ή και τα δύο μαζί αν είναι εφικτό).
- Πώς θα γίνει ο συντονισμός μεταξύ των διαφόρων μερών που εμπλέκονται σε οποιαδήποτε τέτοια μεγάλη επιχείρηση διάσωσης (ελεγκτής σήραγγας, μονάδα άμεσης επέμβασης σήραγγας, πυροσβεστική υπηρεσία, αστυνομία, ειδικές ομάδες διάσωσης κλπ) ;
- Μπορούν οι υπηρεσίες πυρόσβεσης και διάσωσης να βρουν το δρόμο τους προς την τοποθεσία του περιστατικού, προς τα ανοίγματα της σήραγγας και στους δρόμους πρόσβασης, και πώς θα γνωρίζουν πού βρίσκονται στο τούνελ ανά πάσα χρονική στιγμή; Είναι προφανές ότι τα συστήματα GPS δεν λειτουργούνε κάτω από την επιφάνεια του εδάφους (δηλαδή μέσα σε σήραγγες) και ακόμα και ασύρματες συσκευές επικοινωνίας μπορεί να αντιμετωπίσουν προβλήματα, ανάλογα με την κατασκευή της σήραγγας.
- Πώς θα είναι σε θέση να φθάσουν τα ανοίγματα της σήραγγας για την εύρεση οποιουδήποτε ξέφυγε από τη φωτιά και πώς θα βρουν το δρόμο τους έξω από το τούνελ; Πέρα από την πιθανότητα οι κεντρικές εισοδοί να είναι μπλοκαρισμένες από σταματημένα αυτοκίνητα δεν είναι σίγουρο ότι οι υπηρεσίες γνωρίζουν την ακριβή θέση των ανοιγμάτων έκτακτης ανάγκης.
- Πόσο καλά προετοιμασμένες είναι οι υπηρεσίες διάσωσης και πυρόσβεσης στη χρήση του απαραίτητου εξοπλισμού; Αυτός είναι ένας παράγοντας που συχνά ξεχνιέται. Οι τοπικές πυροσβεστικές υπηρεσίες, για παράδειγμα, συχνά είναι πολύ δύσκολο να ενημερώνονται για ό, τι καινούριο εξοπλισμό απαιτεί ειδικές γνώσεις. Νέες συσκευές παροχής οξυγόνου, για παράδειγμα, μπορεί να χρειάζονται ειδική μεταχείριση και είναι κρίσιμο να γνωρίζει κανείς τους περιορισμούς τους. Επίσης δεν είναι σίγουρο ότι οι υπηρεσίες θα γνωρίζουν τι εξοπλισμό διαθέτει η ίδια η σήραγγα.

Οι πληροφορίες πρέπει να παρουσιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να αξιολογηθούν και να χρησιμοποιηθούν από τους ιθύνοντες των υπηρεσιών διάσωσης που εργάζονται υπό πίεση στο σημείο του ατυχήματος.

### *Προτάσεις για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων*

Οι σήραγγες πρέπει να είναι εφοδιασμένες με διάφορα είδη εξοπλισμού παρακολούθησης και επιτήρησης, με τις πληροφορίες να παρουσιάζονται με τέτοιο τρόπο (μετά από επεξεργασία) ώστε να μπορούν να δοθούν απαντήσεις στα ζητήματα που οι υπηρεσίες πυρόσβεσης και διάσωσης πρέπει να επιλύσουν ώστε να μπορούν αποφασίσουν τον καλύτερο δυνατό τρόπο για την αντιμετώπιση της πυρκαγιάς. Ο εξοπλισμός αυτός μπορεί να είναι ανιχνευτές CO, CO<sub>2</sub> και O<sub>2</sub> (ASDs), οι οποίοι χρησιμοποιούνται για παράδειγμα στη σήραγγα της Μάγλης, μετρητές της ταχύτητας του ανέμου (ανεμόμετρα), μέσα στην σήραγγα, αλλά και στις πύλες, κάμερες κλειστού κυκλώματος με έξυπνο λογισμικό επεξεργασίας εικόνας, συνδυασμοί ανιχνευτών θερμότητας και ανιχνευτών καπνού καθώς και δεικτών για την προβολή των θέσεων των οχημάτων.

Σαν παράδειγμα λειτουργίας, έστω ότι έχουμε ένα εξελιγμένο σύστημα επεξεργασίας εικόνας από CCTV. Αυτό το σύστημα το οποίο ενσωματώνεται στο κύκλωμα επιτήρησης κυκλοφορίας, μπορεί να εφοδιαστεί με λογισμικό το οποίο ανιχνεύει ασυνήθιστες καταστάσεις στην κυκλοφορία των οχημάτων, γνωρίζοντας επίσης ανά πάσα στιγμή που βρίσκεται το κάθε όχημα. Μπορεί μετέπειτα να στείλει σήμα προ-συναγερμού στο κέντρο ελέγχου, επικεντρώνοντας την προσοχή στις κάμερες που βρίσκονται στην περιοχή του περιστατικού. Μη προβλεπόμενος φωτισμός, μετακίνηση του οχήματος εκτός προδιαγεγραμμένης πορείας, στάθμευση του οχήματος εντός της σήραγγας ή αποτυχία εύρεσης του σε πλάνο μετέπειτα κάμερας, όλα αυτά είναι σημάδια για προ-συναγερμό. Πιθανή επιπλέον αλγοριθμική επεξεργασία στο κέντρο ελέγχου μπορεί να επιλέξει το πιο πιθανό σενάριο από μια ενδεδειγμένη λίστα (η οποία προήλθε από προσομοιώσεις και εξομοιώσεις διαφόρων περιστατικών) και να ενεργοποιήσει την κατάλληλη απόκριση στο σύστημα, από την ενεργοποίηση του συστήματος ενημέρωσης του κοινού μέχρι το κλείσιμο μπαρών και ενεργοποίηση των συστημάτων καταστολής. Όλα όσα αναφέρθηκαν βασίζονται σε τεχνολογίες οι οποίες είναι διαθέσιμες εδώ και χρόνια, τουλάχιστον στην επιστημονική κοινότητα.

Τέλος δεν θα πρέπει να παραγνωριστεί η σημασία του σωστού σχεδιασμού επιχειρήσεων από τις υπηρεσίες πυρόσβεσης και διάσωσης έτσι ώστε να μπορούν να εκτελούνται ομαλά, όταν συμβαίνει ένα ατύχημα. Ο σχεδιασμός αυτός περιλαμβάνει στοιχεία και πληροφορίες για τον εξοπλισμό, τα τεχνικά συστήματα της σήραγγας και προτάσεις για την πραγματική εκτέλεση του έργου. Με τη διενέργεια ασκήσεων τα μέλη αυτών των υπηρεσιών μπορούν να εξοικειωθούν με το πλάνο της σήραγγας, γνωρίζοντας τη θέση πιθανών εξόδων διαφυγής, καταφυγίων και άλλων ιδιαίτερων χαρακτηριστικών, όπως λόγου χάριν η κλίση της σήραγγας η οποία παίζει ιδιαίτερη σημασία στην πορεία του καπνού.

## **7.2 Έλεγχος των αερίων της φωτιάς, για τη διευκόλυνση της εκκένωσης, διάσωσης και πυρόσβεσης**

Οι εργασίες διάσωσης που δύνανται να προκύψουν κατά την αντιμετώπιση μιας πυρκαγιάς σε σήραγγα μπορεί να περιλαμβάνουν την εξέταση της χρήσης των ανεμιστήρων του συστήματος εξαερισμού για της αποπομπή του καπνού της φωτιάς. Η εκτροπή των τοξικών αερίων μακριά από όσους προσπαθούν να διαφύγουν από την εστία της φωτιάς, φαινομενικά είναι ένα αποτελεσματικό μέσο για τη διευκόλυνση της εκκένωσης της σήραγγας. Ωστόσο, υπάρχουν σημαντικά προβλήματα στον τρόπο με τον οποίο λαμβάνονται οι αποφάσεις για την εφαρμογή του εξαερισμού, ώστε να

διευκολύνεται η εκκένωση, η εργασία διάσωσης και το έργο πυρόσβεσης. Ένα σημαντικό ζήτημα είναι ότι η εφαρμογή μηχανικού εξαερισμού μπορεί να βοηθήσει την αναζωπύρωση και εξάπλωση της φωτιάς, και πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τη λήψη των σχετικών αποφάσεων. Πολλοί παράγοντες δείχνουν ότι η ένταση της φωτιάς αυξάνει με την αύξηση της ταχύτητας του αέρα, ιδιαίτερα όταν εμπλέκονται στερεά υλικά στην καύση. Υπάρχει ένα ανώτερο όριο σε αυτή την αύξηση ενέργειας, καθώς, τελικά, λαμβάνει χώρα η επίδραση του ψυχρού αέρα, παρόμοια με το φύσημα της φλόγας ενός κεριού, αλλά αυτό δεν είναι μια θεώρηση που θα μπορούσε να εφαρμοστεί ρεαλιστικά μια φωτιά αυτού του τύπου. Δοκιμές έχουν δείξει ότι η ισχύς της φωτιάς μπορεί να αυξηθεί κατά έναν παράγοντα 2 ή 3, ανάλογα με την ταχύτητα του αέρα, τη διάταξη των υλικών καύσης και το είδος τους. Δεν είναι σαφές ποιο μπορεί να είναι το πραγματικό ανώτερο όριο της μέγιστης ισχύος της φωτιάς, αλλά είναι σαφές ότι η ταχύτητα του αέρα δεν έχει σημαντική επίδραση στην εξέλιξη της πυρκαγιάς.

Η προσπάθεια λήψης της σωστής απόφασης σχετικά με την εφαρμογή του εξαερισμού μπορεί να είναι πολύ δύσκολη σε περίπτωση τροχαίου ατυχήματος. Η λανθασμένη απόφαση μπορεί να έχει ακραίες συνέπειες, όπως φάνηκε στην περίπτωση της πυρκαγιάς στον υπόγειο σιδηρόδρομο στο Μπακού του Αζερμπαϊτζάν, στην οποία σκοτώθηκαν 289 άνθρωποι και τραυματίστηκαν 265. Το γεγονός ότι αυτοί οι αριθμοί ήταν τόσο μεγάλοι πιθανόν να οφείλεται εν μέρει στην κακή χρήση του εξαερισμού κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς.

Το φαινόμενο της στρωματοποίησης προς τα πίσω, το οποίο μπορεί να προκαλέσει προβλήματα περιπλέκοντας σημαντικά τις απόπειρες των υπηρεσιών να φτάσουν την εστία της πυρκαγιάς, επηρεάζεται από την εξέλιξη της πυρκαγιάς και από την ταχύτητα του αέρα στη σήραγγα. Από το 2005, πολλές σήραγγες που κατασκευάζονται, βασίζονται στη γενική ιδέα του να είναι δυνατό ο εξαερισμός τους να φυσήσει μακριά όλο καπνός ανάντη της φωτιάς, με σκοπό την παροχή ελεύθερης πρόσβασης στη φωτιά στο προσωπικό πυρόσβεσης και διάσωσης. Ωστόσο, προκύπτει ένα πρόβλημα σε αυτό το πλαίσιο: εάν η διαμήκης ταχύτητα του αέρα δεν υπερβαίνει μία ορισμένη κρίσιμη ταχύτητα, υπάρχει ο κίνδυνος να προκαλέσει τη στρωματοποίηση προς τα πίσω του καπνού. Το πρόβλημα σε αυτή την περίπτωση έγκειται στο γεγονός ότι η στρωματοποίηση προς τα πίσω αφήνει τους πυροσβέστες εκτεθειμένους σε ακτινοβολία από τα θερμά αέρια της φωτιάς στην κορυφή της σήραγγας. Καθώς ο καπνός που γυρνάει προς τα πίσω είναι σε μία υψηλότερη θερμοκρασία από τον αέρα που έχουν από πίσω τους οι πυροσβέστες, τότε αυτοί εκθέτονται σε θερμική ακτινοβολία, η οποία μπορεί να είναι πολύ ενοχλητική, παρά το γεγονός της καλής ορατότητας προς τη φωτιά. Μία φωτιά 15MW σε μια σήραγγα με ύψος οροφής στα 7m και με μια ταχύτητα αέρα 1.5m/s, μπορεί να προκαλέσει επιστροφή καπνού για παραπάνω από, περίπου, 70-90 m, ενώ μία φωτιά 35MW στην ίδια σήραγγα μπορεί να προκαλέσει επιστροφή καπνού για παραπάνω από 90-110m. Η θερμότητα των αερίων της καύσης πάνω από τους πυροσβέστες αυξάνεται καθώς πλησιάζουν τη φωτιά, σε τέτοιο βαθμό ώστε η κατάσταση να γίνει μη βιώσιμη. Η αντιμετώπιση αυτής της θερμότητας απαιτεί άλλες μεθόδους, όπως είναι η εισαγωγή σταγονιδίων νερού (ψεκασμός) μέσα στο ρεύμα του αέρα ή αύξηση της ταχύτητας του αέρα με τη χρήση των κινητών ανεμιστήρων.

Οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν πόσο εκτείνονται τα αέρια πυρκαγιάς ανάντη είναι:

- Το ύψος της οροφής (όσο υψηλότερη η οροφή, τόσο περισσότερο θα εκτείνεται ανάντη ο καπνός)
- Το μέγεθος της πυρκαγιάς (όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς της φωτιάς, τόσο μεγαλύτερη είναι η στρωματοποίηση προς τα πίσω)

- Το πλάτος της πυρκαγιάς (όσο πλατύτερη είναι η φωτιά, τόσο μικρότερη είναι η στρωματοποίηση προς τα πίσω)
- Η κλίση της σήραγγας (όσο πιο απότομη είναι η κλίση προς την κατεύθυνση του ανέμου, τόσο μεγαλύτερη είναι η στρωματοποίηση προς τα πίσω).

Έρευνες έχουν δείξει ότι μια ταχύτητα αέρα περίπου 2-2.5 m/s φαίνεται να είναι σε θέση να μειώσει το φαινόμενο της ανάστροφης στρωματοποίησης.

Ο σχεδιασμός της σήραγγας θα έχει σημαντικές συνέπειες στην εφικτότητα και την αποτελεσματικότητα του εξαερισμού. Σε συστήματα με πολλές διασυνδεδεμένες σήραγγες, όπως σε ένα αστικό υπόγειο σιδηροδρομικό σύστημα, θα είναι δύσκολο να καθιερωθεί μια συγκεκριμένη ροή αέρα μέσω της σήραγγας. Το πρόβλημα εξαερισμού φαίνεται να είναι πολύ απλούστερο σε σήραγγες που αποτελούνται από ένα μόνο τούνελ, δηλαδή με μία μόνο είσοδο και μία έξοδο.

Οι φυσιολογικές συνθήκες του ανέμου σε μια κεκλιμένη σήραγγα μπορεί να ποικίλλουν, ανάλογα με τις εποχές, καλοκαίρι ή χειμώνα. Για παράδειγμα, η θερμοκρασία του αέρα σε μια σήραγγα μεγαλύτερη από περίπου 1km είναι συχνά σχετικά σταθερή καθ'όλο το έτος, πιθανότατα στην περιοχή 0-10 °C, ανάλογα με τη γεωγραφική θέση και το μέγεθος της σήραγγας. Κατά τη διάρκεια των ψυχρότερων τμημάτων του χρόνου, το φυσικό ρεύμα αέρα τείνει να κινείται μαζί με την κλίση της σήραγγας. Από την άλλη πλευρά, εάν είναι πολύ ζεστά έξω, το φυσικό ρεύμα τείνει να κινείται ενάντια στην κλίση της σήραγγας. Ένας εξωτερικός άνεμος στο στόμιο της σήραγγας μπορεί να ξεπεράσει εύκολα αυτές τις φυσικές ροές, έτσι ώστε η κατεύθυνση της ροής του αέρα μέσα στη σήραγγα να προσδιορίζεται από την τοπική κατεύθυνση του ανέμου. Στην περίπτωση της πυρκαγιάς στο Mont Blanc το 1999, ένας από τους βασικούς παράγοντες που συνέτειναν στην καταστροφή ήταν η έλλειψη πληροφόρησης για τη φυσιολογική ροή του ανέμου στη σήραγγα, η οποία για εκείνη τη χρονική περίοδο ήταν ανεστραμμένη από το φυσιολογικό, με αποτέλεσμα τη λάθος λήψη απόφασης μηχανικού εξαερισμού.

Πάντως μετά από λίγο, οι θερμικές δυνάμεις που προκύπτουν από την φωτιά μπορεί να υπερνικήσουν τη φυσική κατεύθυνση αερισμού, πράγμα που σημαίνει ότι η κατεύθυνση της ροής του καπνού μπορεί ξαφνικά να αλλάξει κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς, περιπλέκοντας την εκκένωση και διάσωση.

Λαμβάνοντας υπόψη όσα ειπώθηκαν στο σύνολό τους, όλα αυτά σημαίνουν ότι δεν μπορούμε να υποβάλουμε οποιεσδήποτε προτάσεις για το είδος του εξαερισμού που πρέπει να χρησιμοποιείται, ή για την λειτουργία του. Προκειμένου να αποφασίσουμε για την πλέον κατάλληλη κατεύθυνση, η πυροσβεστική υπηρεσία πρέπει να έχει πρόσβαση σε όλες τις απαραίτητες πληροφορίες, όπως απαιτείται, προκειμένου να ληφθεί η σωστή απόφαση.

#### *Προτάσεις για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων*

Απαιτείται περισσότερη επιστημονική έρευνα πάνω στο ζήτημα του εξαερισμού. Πρέπει να γνωρίζουμε περισσότερα για το πώς μπορεί να επηρεάσει ο εξαερισμός τον τρόπο αντιμετώπισης των πυρκαγιών μέσα στις σήραγγες. Σήμερα, δεν είναι αρκετά γνωστά για το πώς θα πρέπει να εφαρμόζεται ο εξαερισμός σε μια πυρκαγιά σήραγγας. Οι προοπτικές πάντως για ένα αυτοματοποιημένο σύστημα είναι ελπιδοφόρες. Με την άνοδο της τεχνολογίας και κυρίως της επεξεργαστικής ισχύος, είναι πλέον δυνατόν να γίνουν εξαιρετικά ακριβείς προσομοιώσεις. Αυτές μπορούν να υποδείξουν ένα εύρωστο σύστημα αυτοματοποιημένης χρήσης του εξαερισμού. Μαζί με μετρήσεις ταχύτητας ανέμου μέσα στη

σήραγγα, καθώς και στις περιοχές των εισόδων, θα μπορεί μελλοντικά να δίνεται η δυνατότητα για εξαιρετικά πολύπλοκους χειρισμούς οι οποίοι θα μπορούν όχι μόνο να διώχνουν τον καπνό από την περιοχή του ατυχήματος, αλλά θα μπορούν επιπρόσθετα να μειώνουν την κυκλοφορία του οξυγόνου από την εστία της φωτιάς, στερώντας τη από το βασικότερο «καύσιμο» και δυνητικά θα μπορούν να την καταστείλουν σε βιώσιμα επίπεδα για τη διενέργεια μιας ασφαλούς διάσωσης και πυρόσβεσης από τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης.

Αυτές οι υπηρεσίες, από την άλλη, πρέπει να αναπτύξουν μεθόδους εργασίας για το συνδυασμό της έρευνας της σήραγγας, προκειμένου να ανακτηθούν σημαντικές απαραίτητες πληροφορίες, με τη χρήση ανεμιστήρων για την αποπομπή του καπνού μακριά από την εκκένωση των οχημάτων και την κατάσβεση της φωτιάς. Η χρήση του εξαερισμού θα πρέπει κατ' ελάχιστον να δημιουργεί ένα «διάδρομο» σχετικά καλής ορατότητας για την υποβοήθηση του εντοπισμού των καταφυγίων και των εξόδων κινδύνου από τους ίδιους τους χρήστες της σήραγγας. Ας έχουμε υπόψη ότι είναι πιο πιθανό οι χρήστες να σωθούν μόνοι τους, λαμβάνοντας τις σωστές οδηγίες από το σύστημα ανακοινώσεων, παρά από μια επιχείρηση διάσωσης η οποία θα ξεκινήσει κάποιο εύλογο χρονικό διάστημα μετά την έναρξη της πυρκαγιάς. Ίσως, λαμβάνοντας το παραπάνω υπόψη, θα πρέπει να υπάρχουν δύο λειτουργίες, μία για αυτοβοήθεια των χρηστών οι οποίοι βρίσκονται ήδη μέσα στη σήραγγα και προσπαθούν να βγούνε έξω και μία για την διευκόλυνση των υπηρεσιών διάσωσης/πυρόσβεσης οι οποίοι βρίσκονται έξω από τη σήραγγα και προσπαθούν να εισέλθουν.

### 7.3 Εκτίμηση κινδύνου

Δεδομένου ότι είναι πολύ δύσκολο να προβλεφθεί η εξέλιξη της πυρκαγιάς, εάν δεν είναι γνωστό τι καίγεται, κάθε εκτίμηση του κινδύνου της πυρκαγιάς σε μια σήραγγα γίνεται πολύ δύσκολη. Πώς μπορεί να αξιολογηθεί ο κίνδυνος της πυρκαγιάς (ένταση, ακτίνα δράσης); Είναι δύσκολο, επίσης, να εκτιμηθεί ποια θα είναι η επίδραση της φωτιάς και της θερμότητας στα τοιχώματα και την οροφή της σήραγγας, καθώς και το πώς θα επηρεαστούν από το σοκ της κατάσβεσης με κρύο νερό. Ο επικεφαλής της πυροσβεστικής χρειάζεται συνεχώς να αξιολογεί τους κινδύνους, προκειμένου να μειωθούν οι κίνδυνοι για εκείνους που βρίσκονται στη σήραγγα και στην ανάγκη να πάρει την απόφαση να αποσύρει την ομάδα του αν ο κίνδυνος υπερβεί κάποιο κατώφλι. Από το παραπάνω φαίνεται η αξία ενός αυτόματου αυτόνομου συστήματος καταστολής πυρκαγιάς καθώς μειώνονται με αυτό τον τρόπο οι παράγοντες ρίσκου.

Το κλειδί για την πραγματοποίηση της αξιολόγησης του κινδύνου είναι η γνώση της φωτιάς, από ό, τι έχει συμβεί, και από τα μέσα και τους περιορισμούς της υπηρεσίας διάσωσης.

Οι πυρκαγιές στο Mont Blanc και στο Tauern έδειξαν τις επιπλοκές μίας κατάρρευσης της σήραγγας. Κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς στο Mont Blanc, ένας από τους πυροσβέστες σκοτώθηκε και αρκετοί ήταν σε άμεσο κίνδυνο για μεγάλο χρονικό διάστημα, μέσα σε ένα καταφύγιο το οποίο δεν πληρούσε τις προϋποθέσεις ασφαλείας για το μέγεθος της πυρκαγιάς. Αυτό δείχνει ότι οι υπεύθυνοι του έργου δεν είχαν αξιολογήσει σωστά τους κινδύνους (ή δεν ήταν σε θέση να το πράξουν), και φαινομενικά τους υποτίμησαν. Οι ζωές πολλών από τους πυροσβέστες στη σήραγγα του Tauern πιθανότατα σώθηκαν ως αποτέλεσμα της εμπειρίας από τα λάθη που έγιναν στο Mont Blanc περίπου δύο μήνες νωρίτερα, διακόπτοντας την ενεργή εσωτερική εργασία τους έγκαιρα, αποφεύγοντας έτσι την έκθεση του εαυτού τους σε υπερβολικό κίνδυνο.

Ο κίνδυνος κατάρρευσης της σήραγγας σε μια πυρκαγιά φαίνεται να είναι υψηλότερος σε ένα μεταγενέστερο στάδιο της φωτιάς, κατά τον οποίο χρόνο η σήραγγα θα έπρεπε να έχει εκκενωθεί, συνδυαστικά με την ενεργό πυρόσβεση στη σήραγγα.

#### *Οι προτάσεις για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων*

Στο μέλλον, οι υπηρεσίες πυρόσβεσης και διάσωσης πρέπει να αναπτύξουν πιο λεπτομερείς κατευθυντήριες γραμμές για το πώς αντιμετωπίζονται διάφορες καταστάσεις. Αυτές οι κατευθυντήριες γραμμές πρέπει να συντάσσονται σε συνεργασία με το διαχειριστή της συγκεκριμένης εγκατάστασης. Πρέπει να υπάρχει λεπτομερής αντιμετώπιση των ατυχημάτων και της διάσωσης, με βάση μια αντικειμενική εικόνα της φωτιάς και των ικανοτήτων και των περιορισμών των υπηρεσιών διάσωσης.

Για να είναι σε θέση να εκτιμήσει σωστά και σε πραγματικό χρόνο το πιθανό ρίσκο, ενώ οι εργασίες βρίσκεται σε εξέλιξη, οι επικεφαλής πρέπει να έχουν καλή γνώση της ικανότητας απόδοσης των υπηρεσιών τους όσον αφορά την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου τύπου κατάστασης. Θα πρέπει να γνωρίζουν με σαφήνεια τι μπορεί να επιτευχθεί και τι δεν μπορεί. Με αυτή τη γνώση, ξέρει τα όρια του πλαισίου εντός του οποίου θα μπορεί να ενεργεί.

Αυτοί οι οποίοι μπορεί να βρεθούν σε θέση ευθύνης για τέτοιες καταστάσεις πρέπει να πραγματοποιούν πρόβες αυτής της περίπλοκης διαδικασίας αξιολόγησης των κινδύνων σε περίπτωση κάποιου ατυχήματος. Αυτή η εκπαίδευση και οι πρόβες θα πρέπει να διεξάγονται με το βλέμμα στραμμένο στις διάφορες καταστάσεις που μπορεί να κληθούν να αντιμετωπίσουν.

Ο επικεφαλής θα πρέπει να υποστηρίζεται ενεργά, προκειμένου να μπορέσει να αξιολογήσει το ρίσκο. Η υποστήριξη αυτή μπορεί να είναι με τη μορφή των διαφόρων λιστών ελέγχων (όπως πριν την απογείωση ενός αεροσκάφους) ή με σχεδιαγράμματα, τα οποία μπορούν να προσφέρουν μια καλύτερη βάση για την αντιμετώπιση του έργου. Θα πρέπει να υπάρχει μια ενεργή ανάλυση των κινδύνων στους οποίους εκτίθεται το προσωπικό, με τα αποτελέσματα της να χρησιμοποιούνται ενεργά στη μείωση αυτών των κινδύνων.

#### *Μελλοντικές τεχνολογικές εξελίξεις*

Ένας εξαιρετικά μεγάλος αριθμός σηράγγων κατασκευάστηκε πριν τη δεκαετία του 1970-1980 οι οποίες ακολουθούν μόνο τα στοιχειώδη πρότυπα ασφαλείας. Τουλάχιστον εκείνες τις εποχές οι κατασκευές ακολουθούσαν ως επί το πλείστον ένα καθεστώς υπερδιαστασιοποίησης με ένα συντελεστή ασφαλείας διπλάσιο του σημερινού, για την αντιμετώπιση δομικών προβλημάτων, οπότε, τουλάχιστον, δεν μας απασχολεί το πρόβλημα του κακού δομικού σχεδιασμού (εκτός ίσως από οικονομική άποψη). Γυρνώντας όμως στο θέμα της ασφάλειας είναι προφανές ότι τα συστήματα ασφαλείας εκείνων των εποχών ήταν στοιχειώδη και παρείχαν ελάχιστη ακρίβεια στον εντοπισμό της εστίας μιας πυρκαγιάς. Θα μπορούσε κάποιος να υποστηρίξει ότι αυτά τα συστήματα αναβαθμίζονται με νεότερα. Αυτό, παρόλο που υπάρχει σαν δυνατότητα, δυστυχώς δεν ισχύει στη πλειονότητα των σηράγγων οι οποίες δεν βρίσκονται πάνω σε εθνικές οδικές αρτηρίες. Είναι επόμενο που οι οδηγίες εκπαίδευσης μηχανικών πυρασφαλείας, κατά την πυροσβεστική υπηρεσία στις ΗΠΑ (USFA), εν έτη 2012, περιλαμβάνει ως επί το πλείστον οδηγίες εγκατάστασης και ρύθμισης συστημάτων που υπήρχαν και εγκαταστάθηκαν στη δεκαετία το 1970-1980.

Εν πάση περιπτώσει το ερευνητικό έργο, κυρίως όσον αφορά τις προσομοιώσεις συστημάτων εξαερισμού και συμπεριφορών της φωτιάς και του παραγόμενου καπνού, έχει χτυπήσει ένα τέλμα και η πρόδός του βρίσκεται πολύ πίσω από το προβλεπόμενο χρονοδιάγραμμα.



Η ενεργή εκτίμηση ρίσκου, πάντως, θα μπορούσε να θεωρηθεί ως το ιερό δισκοπότηρο του αυτοματισμού πυρασφαλείας. Θα θέλαμε να υπάρχει μία αλάνθαστη μεθοδολογία, ένας μαγικός αλγόριθμος, ο οποίος να μπορεί να προβλέπει πιθανά περιστατικά και να τα σταματάει πριν εξελιχθούν ή ακόμα και πριν καν αρχίσουν. Ακόμα δεν υπάρχει κάτι παρόμοιο. Με την εξέλιξη των υπολογιστών δίνεται, πάντως, η δυνατότητα για εξαιρετικά γρήγορες προσομοιώσεις οι οποίες δυνητικά θα μπορούσαν να τροφοδοτήσουν μία μηχανή εκτίμησης κινδύνου. Αυτή με τη σειρά της θα μπορούσε να προτείνει κάποια πιθανά σενάρια τα οποία ακολουθώντας τα θα μπορούσαμε να μειώσουμε το ποσοστό κινδύνου βραχυπρόθεσμα. Δυστυχώς αυτό για την ώρα ανήκει στη σφαίρα της επιστημονικής φαντασίας.

Φυσικά θα πρέπει να αναλογιστούμε και την πιθανότητα αποδοχής ενός τέτοιου συστήματος από το ευρύ κοινό και φυσικά τις εταιρίες εκμετάλλευσης των σηράγγων και των κρατών στο οδικό δίκτυο των οποίων συμπεριλαμβάνονται. Ακόμα και αν περάσει από το σκόπελο της προτυποποίησης, διαδικασία που κρατάει κατ' ελάχιστον 2-3 χρόνια, απαιτούνται, έπειτα, άλλα 5 χρόνια περίπου για την αποδοχή και εναρμόνιση από τα κράτη-μέλη του οργανισμού προτυποποίησης. Προβλέπεται λοιπόν ότι αν όλα πάνε καλά και δοθεί πραγματική ώθηση στην έρευνα τέτοιων συστημάτων, θα είμαστε τυχεροί αν τα δούμε εγκατεστημένα μέσα στα επόμενα 10-15 χρόνια, σύμφωνα με τις πιο ευνοϊκές εκτιμήσεις.

Κάποια μέρα θα μπορούμε να αφήσουμε μόνο του τον αυτοματισμό να εντοπίσει έγκαιρα κάποιο περιστατικό πυρκαγιάς και να το αντιμετωπίσει με επιτυχία, ενημερώνοντας αυτόματα χρήστες και υπηρεσίες βοήθειας, ενεργοποιώντας κατάλληλα τα συστήματα εξαερισμού και πυρόσβεσης/καταστολής και ακόμα, ίσως στέλνοντας στη σκηνή του περιστατικού ρομποτικά οχήματα για υπηρεσίες διάσωσης. Μέχρι τότε ο μηχανικός αυτοματισμού πυροπροστασίας θα πρέπει να κάνει τις δοκιμές του, πάνω σε διάφορα σενάρια, να φροντίζει για την ετοιμότητα και καλή κατάσταση του συστήματος, να έχει καλή συνεργασία και ανταλλαγή απόψεων με τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης και τέλος, αλλά πολύ σημαντικό, να καταγράφει την αιτιολογία κάθε απόφασης που πάρθηκε κατά το σχεδιασμό και τη λειτουργία του συστήματος πυρασφάλειας.

Συνέβη ένα ατύχημα σε μία οδική σήραγγα και υπάρχει κίνδυνος σοβαρής πυρκαγιάς με εμπλεκόμενα θύματα. Όλοι γυρνάνε σε εσάς, ή το αυτόματο σύστημα που εσείς εγκαταστήσατε για τη λήψη των απαραίτητων αποφάσεων. Σε κάθε στιγμή που πρέπει να ληφθεί μια απόφαση το καλύτερο πράγμα που μπορούμε να κάνουμε, ως μηχανικοί, είναι, φυσικά, το να πάρουμε τη σωστή απόφαση. Το αμέσως καλύτερο πράγμα, λέγεται ότι είναι να πάρουμε τη λάθος απόφαση, αλλά πάντα με την τεκμηρίωση ότι εκμεταλευτήκαμε όλους τους διαθέσιμους πόρους. Την επόμενη φορά που θα συμβεί κάποιο ατύχημα, μέσω της αποκτημένης εμπειρίας από το τελευταίο, θα χειριστούμε την κατάσταση καλύτερα. Το χειρότερο πράγμα είναι να μην κάνουμε τίποτα, γιατί φοβόμαστε τις επιπτώσεις. Ευελπιστούμε ότι θα έρθει σύντομα η μέρα που θα υπάρχουν μόνο σωστές αποφάσεις χάριν στα αυτόματα συστήματα πυρασφάλειας που θα αναπτύξουμε.

## 8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Beard, A. and Carvel, R. (ed.). The handbook of tunnel fire safety, 1<sup>st</sup> ed., Thomas Telford Publishing, Thomas Telford LTD, 1 Heron Quay, London E14 4JD., UK, 2005.
2. Perard, M. Statistics on breakdowns, accidents and fires in French road tunnels. *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Tunnel Incident Management, Korsor, Denmark, 13-15 May 1996.* 347-365.
3. *Statistics on the Traffic in the Elbtunnel from the year 1975 to the year 1992.* Baubehörde, Hamburg, Germany, Tiefbauamt.
4. Ruchsuhl, F. Accident statistics and accident risks in tunnels. *Proceedings of the OECD Seminar on Road Tunnel Management, Lugano, Switzerland, November 1990,* pp. 346-349.
5. Arditi, R. Data presented during Discussion Forum 1. *Proceedings of the 5th International Conference on Safety in Road and Rail Tunnels, Marseille, 6-8 October 2003.*
6. World Road Association (PIARC). *Fire and Smoke Control in Road Tunnels.* PIARC Committee on Road Tunnels (C5), 1999, Publication 05.05.B.
7. Lacroix, D. The Mont Blanc Tunnel fire - what happened and what has been learned? *Proceedings of the 4th International Conference on Safety in Road and Rail Tunnels, Madrid, April 2001.* Organised by University of Dundee and Independent Technical Conferences Ltd, pp. 3-16.
8. Eberl, G. The Taucrn Tunnel incident - what happened and what has to be learned? *Proceedings of the 4th International Conference on Safety in Road and Rail Tunnels, Madrid, April 2001.* Organised by University of Dundee and Independent Technical Conferences Ltd, pp. 17-28.
9. European Committee for Standardisation. European-Standard EN 54, including: EN 54-1: 1996 Fire detection and fire alarm systems -Part 1: Introduction', EN 54-2: 1997 Fire detection and fire alarm systems - Part 2: Control and indicating equipment, EN 54-3: 2001 Fire detection and fire alarm systems - Part 3: Fire alarm devices - Sounders; EN 54-4: 1997 Fire detection and fire alarm systems - Part 4: Power supply equipment; EN 54-5: 2000 Fire detection and fire alarm systems - Part 5: Heat detectors — Point detectors', EN 54-7: 2000 Fire detection and fire alarm systems - Part 7: Smoke detectors - Point detectors using scattered light, transmitted light or ionisation', and other parts. *European Committee for Standardisation website:* <http://www.cenorm.be/>
10. National Fire Protection Association Standard NFPA 502: *Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways.* NFPA, Quincy, MA, 2001. Website: <http://www.nfpa.org/>
11. Egger, M. Deputy Director of Swiss Federal Road Authority: ASTRA. Interview in *Neue Zurcher Zeitung*, Zurich, 27 October 2001.
12. Safecable - Linear Heat Detection. [http://www.safefiredetection.com/pages/What\\_is\\_LHD.htm](http://www.safefiredetection.com/pages/What_is_LHD.htm)
13. Dix, A. *Beyond deals - professional liability in a world of blame.* Proceedings of the 1st International Conference on Long Road and Rail Tunnels, Basel, Switzerland, December 1999. Published by Independent Technical Conferences Ltd, Kempston, pp. 113-124.
14. Aspirating Smoke Detector. [http://en.wikipedia.org/wiki/Aspirating\\_smoke\\_detector](http://en.wikipedia.org/wiki/Aspirating_smoke_detector)
15. Pope, G. W. and Barrow, H. Protection of cast iron tunnel linings against damage caused by a serious fire. *Proceedings of the International Conference on Long Road and Rail Tunnels, Basel, Switzerland, 29 November-1 December 1999.* Organised by Independent Technical Conferences Ltd, pp. 327-336.
16. Both, C., van de Haar, P., Tan, G. and Wolsink, G. Evaluation of passive fire protection measures for concrete tunnel linings. *Proceedings of the International Conference on Tunnel Fires and Escape From Tunnels, Lyon, France, 5-7 May 1999.* Organised by Independent Technical Conferences Ltd, pp. 95-104.
17. van der Graaf, J. G., Both, C. and Wolsink, G. M. Fibrous concrete, safe and cost-effective tunnels. *Proceedings of the International Tunnel Fire and Safety Conference, Rotterdam, 2-3 December 1999,* Paper No. 17. Organised by Brisk Events.
18. Wetzig, V. Destruction mechanisms in concrete material in case of fire, and protection systems. *Proceedings of the 4th International Conference on Safety in Road and Rail Tunnels (SIRRT), Madrid, 2-6 April 2001.* Organised by Independent Technical Conferences Ltd, pp. 281-290.
19. Both, C. and Molag, M. Safety aspects of tunnels. *Proceedings of the International Tunnel Fire and Safety Conference, Rotterdam, 2-3 December 1999,* Paper No. 3. Organised by Brisk Events.
20. Beeston, A. Refractory solutions for fire protection of tunnel structures. *Proceedings of the 4th International Conference on Tunnel Fires, Basel, Switzerland, 2-4 December 2002.* Organised by Tunnel Management International, pp. 63-72.
21. Peherstorfer, H., Eisenbeiss, A. A. and Trauner, T. Provisions and measures to improve fire resistance of tunnel structures from the point of view of an accredited test institute. *Proceedings of the International Conference on Tunnel Safety and Ventilation - New Developments in Fire Safety, Graz, Austria, 8-10 April 2002,*

pp. 235-238.

22. van Olst, D. Fire protection in tunnels, a necessity or an exaggeration? *Proceedings of the 4th International Conference on Safety in Road and Rail Tunnels (SIRRT), Nice*, 9-11 March 1998. Organised by Independent Technical Conferences Ltd, pp. 337-345.
23. Bjegovic, D., Planinc, R., Carevic, M., Planinc, M., Betonidd, T. and Zuljevic, M. Composite fire-resistant tunnel segments. *Proceedings of the 3rd International Conference on Tunnel Fires and Escape From Tunnels, Washington, DC*, 9-11 October, 2001. Organised by Tunnel Management International, pp. 177-185.
24. Dekker, J. *Tunnel Protection Fire Test Procedure*. IBBC, TNO report, September 1986.
25. Rhodes, N. and Charters, D. Debate: Should tunnel operators install sprinklers as a safety measure? *New Civil Engineer*, 7 December 2000, p. 16.
26. World Road Association (PIARC). *Fire and Smoke Control in Road Tunnels*. PIARC Committee on Road Tunnels (C5), Publication 05.05.B, 1999.
27. Day, J. R. Active and passive safety systems for road tunnels. *Proceedings of the International Tunnel Fire and Safety Conference, Rotterdam*, 2-3 December 1999, Paper No. 12. Organised by Brisk Events.
28. Egilsrud, P. E. and Kile, G. W. Design for tunnel safety, 1-90 tunnels - Seattle, Washington. *Proceedings of the 1st International Conference on Safety in Road and Rail Tunnels, Basel, Switzerland*, 23-25 November 1992. Organised by University of Dundee and Independent Technical Conferences Ltd, pp. 545-559.
29. Timmer, G. Development, testing and construction of tunnel installations. *Proceedings of the International Conference on Long Road and Rail Tunnels, Basel, Switzerland*, 29 November-1 December 1999. Organised by Independent Technical Conferences Ltd, pp. 203-213.
30. MacDonald, C. and Messenger, S. Life safety facilities in road tunnels: an Australian perspective. *Proceedings of the 5th International Conference on Safety in Road and Rail Tunnels., Marseille, France*, 6-10 October 2003. Organised by Tunnel Management International, pp. 573-582.
31. NFPA 130. Standard issued by the National Fire Protection Association, <http://www.nfpa.org/>
32. Memorial Tunnel Fire Ventilation Test Program - Comprehensive Test Report. *Parsons Brinckerhoff, Boston, 1995 (interactive CD-ROM)*.
33. Arvidson, M. Fixed fire suppression system concepts for highway tunnels. *Proceedings of the International Conference on Tunnel Fires and Escape From Tunnels, Lyon, France*, 5-7 May 1999. Organised by Independent Technical Conferences Ltd, pp. 129-136.
34. Arvidson, M. Large Scale Ro-Ro Vehicle Deck Fire Test, NORDTESTProject 1299-96, BRAND- FORSK Project 421-941. *Swedish National Testing and Research Institute (SP), Boras, Sweden*, report No. 1997:15.
35. VTT Research Report No. RTE33108/94 and No. RTE11327/95. VTT, Espoo, 1994/95,
36. Reichsthaler, G. Fire fighting system for tunnels - a report about the practical experience with ; our water mist tunnel system. *Proceedings of the International Conference on Tunnel Safety and Ventilation - New Developments in Fire Safety, Graz, Austria, 8-1,0 April 2002*, pp. 95-98.
37. Website: <http://www.firepass.com>
38. Kotliar, I. K. Catastrophic tunnel fires can be prevented and suppressed. *Proceedings of the 4th International Conference on Tunnel Fires, Basel, Switzerland*, 2-4 December 2002. Organised by Tunnel Management International, pp. 295-304.
39. World Road Association. *Fire and Smoke Control in Tunnels*. PIARC Committee on Road Tunnels (C5), 1999, p. 288.
40. *Conference on Safety in Road and Rail Tunnels, Nice*, 9-11 March 1995. ITC Conferences Ltd, pp. 623-640.
41. Brichet, N., Weatherill, A., Crausaz, B. and Casale, E. The new ventilation systems of the Mont Blanc Tunnel active smoke control: from simulation to successful operation. *Proceedings of the 4th International Conference on Tunnel Fires, Basel, Switzerland*, 2-4 December 2002. ITC Conferences Ltd, pp. 95-104.
42. Torbergesen, L. E., Paaske, P. and Schive, C. Numerical simulation of fire and smoke propagation in long railway tunnels. *Proceedings of the 4th International Conference on Tunnel Fire, Basel, Switzerland*, 2-4 December 2002. ITC Conferences Ltd, pp. 339-346.
43. Haerter, A. Fire tests in the Ofenegg Tunnel in 1965. *Proceedings of the International Conference on Fires in Tunnels, Bords*, 10-11 October 1994, SP, pp. 195-214.
44. Viot, J. and Vauquelin, O. Investigation of natural ventilation for smoke extraction. *Proceedings of the 4th International Conference on Tunnel Fires, Basel, Switzerland*, 2-4 December 2002. ITC Conferences Ltd, pp. 141-150.
45. Chan, R., Murphy, R. E. and Sheehy, J. C. Post Transbay tube fire tests. *Proceedings of the 6th International Symposium on the Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, Durham, UK* 27-29 September 1988. BHRA Fluid Engineering, pp. 593-606.
46. Fuller, B. Problems of safety for firemen underground. *Fire International*, Dec/Jan 1985/1986, pp. 37-39.
47. Eisner, H. S. and Smith, P.- B. *Convection Effects from Underground Fires: The Backing of Smoke Against the Ventilation*. Safety in Mines Research Establishment (SMRE), Sheffield, 1954, Research Report No. 96.
48. Vardy, A. E. A safe ventilation procedure for single-track tunnels, *Proceedings of the 6th International Symposium on the Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, Durham, UK*, 27-29 September 1988. BHRA Fluid Engineering, pp. 567-574.
49. Donato, G. *Montreal Metro fire December 9th 1971*, Proceedings of the International Union of Public Transport International Metropolitan Railway Committee, Working Group for Protection of Electrical Cables

used in Underground Metro and Subways, New York, 10-13 October 1972.

50. Donato, G. *Report on fire in the Montreal Metro on January 23rd 1974*, Proceedings of the International Union-of Public Transport International Subway Committee, Working Group on Electric Cables, Milan Meeting, 27-29 October 1975.

51. Egilsrud, P. E. *Prevention and Control of Highway Tunnel Fires*. US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Virginia, 1984, Report No. FHWA/-RD-83/032.

52. Channel Tunnel Safety Authority. Inquiry into the Fire on Heavy Goods Vehicle Shuttle 7539 on 18 November 1996. HMSO, London, 1997, p. 93.

53. Lacroix, D. The Mont Blanc Tunnel fire - what happened and what has been learned. *Proceedings of the 4th International Conference on Safety in Road and Rail Tunnels, Madrid, Spain*, 2-6 April 2001, pp. 3-15.

54. Dawson, A. R. *Underground Construction*. Coursework information, University of Nottingham. Available at <http://www.nottingham.ac.uk/~evzard/tunnel-fires.pdf>

55. Carvel, R. O., Beard, A. N., Jowitt, P. W. and Drysdale, D. D. Variation of heat release rate with forced longitudinal ventilation for vehicle fires in tunnels. *Fire Safety Journal*, 2001,36(6), 569-596.

56. *Memorial Tunnel Fire Ventilation Test Program*. Interactive CD and Comprehensive Test Report, published by Parsons Brinckerhof 4D Imaging, 1996.

57. Carvel, R. O., Beard, A. N. and Jowitt, P. W. The influence of longitudinal ventilation systems on fires in tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2001, 16(1), 3-21.

58. English Channel Tunnel - Ventilation Diagram, <http://www.tunnels.mottmac.com/projects/?id=3245&mode=type>

59. Jones, A. *The Summit Tunnel Fire*. Health and Safety Executive Research and Laboratory Services Division, Incident Report No. IR/L/FR/85/26. HMSO, London, 1985.

60. Pucher, K. Fire tests in the Zwenberg Tunnel (Austria). *Proceedings of an International Conference on Fires in Tunnels, Boras*, 10-11 October 1994, pp. 187-194.

61. Bakke, P. and Leach, S. J. *Methane Roof Layers*. Safety in Mines Research Establishment (SMRE), Sheffield 1960, Research Report No. 195.

62. Leach, S. J. and Barbero, L. P. Experiments on Methane Roof Layers: Single Sources in Rough and Smooth Tunnels with Uphill and Downhill Ventilation, with an Appendix On Experimental Techniques. *Safety in Mines Research Establishment (SMRE), Sheffield, 1964, Research Report No. 222*.

63. Chaiken, R. F., Singer, J. M. and Lee, C. K. *Model Coal Tunnel Fires in Ventilation Flow*. US Department of Interior, Washington, DC, 1979, US Bureau of Mines Report of Investigations, No. 1979-603-002/54.

64. Lee, C. K., Chaiken, R. F. and Singer, J. M. Interaction between duct fires and ventilation flow: an experimental study. *Combustion Science and Technology*, 1979, 20, 59-72.

65. Thomas, P. H. Movement of smoke in horizontal corridors against an air flow. *The Institution of Fire Engineers Quarterly*, 1970,30(77), 45-53.

66. Hwang, C. C., Chaiken, R. F., Singer, J. M. and Chi, D. N. H. Reverse stratified flow in duct fires: a two-dimensional approach. *Proceedings of the 16th International Symposium on Combustion*.-The Combustion Institute, Pittsburgh, PA, 1977, pp.1385-1395.

67. Kumar, S. and Cox, G. *Mathematical Modelling of Fire in Road Tunnels - Validation of JASMINE*. Transport and Road Research Laboratory, Department of Transport, UK, 1986, Contractor Report 28.

68. Lacroix, D. Fire and smoke control in road tunnels. *Routes/Roads*, No. 300(IV). PIARC: World Road Association, 1998, pp. 33-43.

69. Desrosiers, C. Improving emergency-ventilation procedures in subways thru' hot-smoke tests. *Proceedings of the 6th International Symposium on the Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, Durham, UK*, 27-29 September 1988. BHRA, The Fluid Engineering Centre, Cranfield, UK, pp. 549-566.

70. Bendelius, A. G. and Hettinger, J. C. Ventilation of the Sydney Harbour Tunnel. *Proceedings of the 6th International Symposium on the Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, Durham, UK*, 27-29 September 1988. BHRA, The Fluid Engineering Centre, Cranfield, UK, pp. 321-347.

71. Spratt, D. and Heselden, A. J. M. *Efficient Extraction of Smoke from a Thin Layer Under a Ceiling*. Fire Research Station, Borehamwood, UK, 1974, Fire Research Note 1001.

72. Luchian, S. F. The Central Artery/Tunnel Project: Memorial Tunnel fire test program. *1st International Conference on Safety in Road and Rail Tunnels*, Basel, 23-25 November 1992, pp. 363-377.

73. National Fire Protection Association. *NFRA-T30, Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems, 2003 Edition*. National Fire Protection Association, PO Box 9101, Quincy, MA 02269-9, USA.

74. Bettis, R. J., Jagger, S. F. and Hambleton, R. J. *Interim Validation of Tunnel Fire Consequences Models: Summary of Phase 1 Trials*. Health and Safety Executive, Buxton, 1994, RLSD Report IR/FR/94/02.

75. Haack, A. Introduction to the EUREKA-EU499 Firetun project. *Proceedings of the International Conference on Fires in Tunnels, Boras, Sweden*, 10-11 October 1994, SP Report 1994:54, pp. 3-19. ;

76. Carvel, R. O., Beard, A. N. and Jowitt, P. W. A Bayesian estimation of the effect of forced Ventilation on a pool fire in a tunnel. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 2001 18(4), 279-302.

77. Carvel, R. O., Beard, A. N. and Jowitt, P. W. How longitudinal ventilation influences fire size in tunnels. *Tunnel Management International*, 2004,7(1), 46-54.

78. Nordmark, A. Fire and life safety for underground facilities: present status of fire and life safety principles related to underground facilities. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 1998, 13(3), 217-269.

79. Drysdale, D. D. *An Introduction to Fire Dynamics*, 2nd edn. John Wiley, Chichester, 1998, 451 pp.
80. Liew, S. K., Deaves, D. and Blyth, A. Eurotunnel HGV fire on 18 November 1996 — fire development and effects. *Proceedings of 3rd International Conference on Safety in Road and Rail Tunnels, Nice, France*, 9-11 March 1998, pp. 29-40.
81. Beard, A. N., Drysdale, D. D. and Bishop, S. R. A non-linear model of major fire spread in a tunnel. *Fire Safety Journal*, 1995, 24, 333-357.
82. Beard, A. N. A model for predicting fire spread in tunnels. *Journal of Fire Sciences*, 1997, 15, 277-307.
83. Beard, A. N. Modelling major fire spread in a tunnel. *Proceedings of the 3rd International Conference on Safety in Road and Rail Tunnels, Nice, France*, 1998. Organised by University of Dundee and Independent Technical Conferences Ltd, edited by A. E. Vardy.
84. Beard, A. N. Major fire spread in a tunnel: A non-linear model. *Proceedings Of the 4th International Conference on Safety in Road and Rail Tunnels, Madrid, Spain*, 2-6 April 2001. Organised by University of Dundee and Independent Technical Conferences Ltd, edited by A. E. Vardy, pp. 467-476.
85. Beard, A. N. Major fire spread in a tunnel: A non-linear model with flame impingement. *Proceedings of the 5th International Conference on Safety in Road and Rail Tunnels, Marseille, France*, 6-10 October 2003. Organised by University of Dundee and Tunnel Management International, edited by A. E. Vardy, pp. 511-519.
86. Atkinson, G. T. *A Model to Simulate Conditions around an HGV Shuttle Amenity Coach*. Unpublished manuscript, HSL, Buxton, UK, 1997.
87. *Proceedings of the One-day Seminar on Smoke and Critical Velocity in Tunnels*. London Heathrow Airport, 2 April 1996. Published by International Technical Conferences Ltd.
88. Oka, Y. and Atkinson, G. T. Control of smoke flow in tunnel fires. *Fire Safety Journal*, 1995, 25, 305-322.
89. Megret, O. Experimental Study of Smoke Propagation in a Tunnel with Different Ventilation Systems. *PhD thesis, University of Valenciennes, 1999*.
90. Atkinson, G. T. and Wu, Y. Smoke control in sloping tunnels. *Fire Safety Journal*, 1996, 27(4), 335-341.
91. Wu, Y. Smoke control in tunnels with slope using longitudinal ventilation: effect of slope on critical velocity. *Proceedings of the 11th International Symposium on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, Luzern, Switzerland*, 7-9 July 2003, pp. 77-86.
92. Telle, D. and Vauquelin, O. An experimental evaluation of the confinement velocity. *Proceedings of the 4th International Conference on Tunnel Fires, Basel, Switzerland*, 2-4 December 2002. ITC Conferences Ltd, pp. 161-170.
93. Saito, N., Yamada, T., Sekizawa, A., Yanai, E., Watanabe, Y. and Miyazaki, S. Experimental study on fire behaviour in a wind tunnel with a reduced scale model. *Proceedings of the 2nd International Conference Safety in Road and Rail Tunnels, Granada, Spain*, 1995, pp. 303-310.
94. Weatherill, A., Guigas, X. and Trottet, Y. The new ventilation systems of the Mont Blanc Tunnel: Specificities and performance of the fire ventilation. *Proceedings of the 4th International Conference on Tunnel Fires, Basel, Switzerland*, 2-4 December 2002, ITC Conferences Ltd, pp. 105-114. -
95. Ingason, H. Trial of a mobile fan for smoke ventilation in a railway tunnel. *Proceedings of the 4th International Conference on Tunnel Fires, Basel, Switzerland*, 2-4 December 2002, ITC Conferences Ltd, pp. 151-160.
96. Chang, X., Laage, L. W. and Greuer, R. E. User's Manual for MFIRE: A computer simulation programme for mine ventilation and fire modelling. *OS Bureau of Mines, 1990, IC9254*.
97. <http://www.airflow.ethz.ch/research/projects/fire>
98. <http://www.staceyagnew.com/cfd.aspx>
99. Shields, T.J. and Boyce, K.E. Emergency egress capabilities of people with mixed abilities. *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference, Safety in Road and Rail Tunnels, Granada, Spain*, 3-6 April 1995 (Vardy, A. (ed.)), pp. 347-354. University of Dundee and Independent Technical Conferences, 1995.
100. World Road Association (PIARC). Web pages: <http://www.piarc.org/>
101. United Nations Economic Committee for Europe. UIC-Codex 779-9, *Safety in Railway Tunnels*, 24 September 2002. Available online at: <http://www.unece.org/trans/doc/2002/ac9/UIC-Codex-779-9e.pdf>
102. National Fire Protection Association (USA). NFPA 130, *Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems*. NFPA, Quincy, MA, 2003.
103. National Fire Protection Association (USA). NFPA 502, *Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways*. NFPA, Quincy, MA, 2001.
104. European Parliament and Council of the European Union. *Draft EU Directive on Trans-European Road Tunnels*.
105. Mellors, T. *Joint Code of Practice for Risk Management for Tunnel Works in the UK*, 1st edn. British Tunnelling Society and the Association of British Insurers, London, September 2003.

# 9 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

## ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ ΣΕ

### ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΟΔΙΚΟ ΤΟΥΝΕΛ

#### Άρθρο 12: ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΥΡΙΑΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΙ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΔΙΑΦΥΓΗΣ ΓΟΡΙΤΣΑΣ

##### 12.1 ΓΕΝΙΚΑ

12.1.1 Οι ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις της κύριας σήραγγας και της σήραγγας διαφυγής ΓΟΡΙΤΣΑΣ διακρίνονται σε :

- A. Η/Μ εγκαταστάσεις κτιρίου Διοίκησης (Κέντρου Ελέγχου) & Υποσταθμού
- i. Υδραυλική εγκατάσταση
  - ii. Εγκαταστάσεις αποχετεύσεως ακαθάρτων και ομβρίων
  - iii. Εγκαταστάσεις πυρασφαλείας (πυρόσβεσης-πυρανίχνευσης)
  - iv. Εγκατάσταση κλιματισμού-θερμάνσεως-αερισμού
  - v. Ηλεκτρική εγκατάσταση
  - vi. Εγκαταστάσεις ασθενών ρευμάτων
  - vii. Εγκατάσταση αλεξικέρανου
- B. Ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις σήραγγας
- i. Εγκατάσταση φωτισμού σήραγγας
  - ii. Εγκατάσταση αερισμού σήραγγας
  - iii. Εγκατάσταση πυροσβέσεως σήραγγας
  - iv. Ηλεκτρική εγκατάσταση σήραγγας και Υποσταθμός
  - v. Τηλεφωνική εγκατάσταση
  - vi. Εγκατάσταση κλειστού κυκλώματος τηλεόρασης
  - vii. Εγκαταστάσεις φωτεινής σηματοδότησης
  - viii. Εγκατάσταση επιτήρησης κυκλοφορίας με βρόχους
  - ix. Ραδιοεπικοινωνίες
  - x. Εγκατάσταση πυρανίχνευσης σήραγγας
  - xi. Εγκατάσταση εποπτείας και ελέγχου (SCADA)
  - xii. Δίκτυα τηλεφωνοδότησης και εξυπηρέτησεως ΟΤΕ(μέσα από τη σήραγγα)

12.1.2 Επί πλέον, στο αντικείμενο του έργου, περιλαμβάνονται και όλες οι οικοδομικές εργασίες ανέγερσης του κτιρίου του Κέντρου Ελέγχου και Υποσταθμού της Σήραγγας.

12.1.3 Η έκταση των επί μέρους εγκαταστάσεων καθορίζεται στην παρούσα Τεχνική Περιγραφή, και στην Τεχνική Συγγραφή Υποχρεώσεων (Τ.Σ.Υ.) καθώς και στα σχέδια της μελέτης, οπωσδήποτε δε καθορίζεται ότι όλες οι εγκαταστάσεις νοούνται πλήρεις, εντελώς τελειωμένες και σε κανονική λειτουργία με πλήρες φορτίο και περιλαμβάνουν κάθε κύριο και βοηθητικό μηχάνημα, όργανο, εξάρτημα, μικροελεκτρικό κλπ που χρειάζεται για την ασφαλή και απρόσκοπτη λειτουργία, έστω και εάν δεν κατονομάζεται ειδικά στα παραπάνω ή στα υπόλοιπα συμβατικά στοιχεία.

12.1.4 Γενικά οι εγκαταστάσεις θα είναι αυτοδύναμες και θα αρχίζουν από τις συνδέσεις τους με τα δίκτυα των ΔΕΚΟ που εξυπηρετούν την περιοχή. Πιο συγκεκριμένα οι εξυπηρετήσεις των εγκαταστάσεων προβλέπονται ως εξής:

- α. Πόσιμο νερό και νερό πυροσβέσεως : Από το δίκτυο ύδρευσης της πόλεως του Βόλου
- β. Αποχέτευση ακαθάρτων : Προς σηπτικό και απορροφητικό βόθρο
- γ. Αποχέτευση ομβρίων : Στον περιβάλλοντα χώρο

δ. Ηλεκτρική ενέργεια : Από το δίκτυο μέσης τάσης της ΔΕΗ των 20KV για την σήραγγα και από τα δίκτυα χαμηλής τάσης της ΔΕΗ 0,4KV για τον οδο φωτισμό και άρδευση. Η παροχή της μέσης τάσης των 20KV θα έχει μέτρηση επί στύλου.

ε. Τηλέφωνα, TELEFAX κλπ : Από το δίκτυο του ΟΤΕ

12.1.5 Το μήκος της σήραγγας Γορίτσας είναι 595,5m από ΧΘ 16+710 μέχρι ΧΘ 17+305,5. Το καλυπτόμενο τμήμα (λόγω της λοξότητας των στομιών) είναι 580m.

## 12.2 ΚΤΙΡΙΟ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ (ΚΕΝΤΡΟ ΕΛΕΓΧΟΥ) & ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΓΟΡΙΤΣΑΣ

12.2.1 Η εξυπηρέτηση των Η/Μ εγκαταστάσεων της σήραγγας Γορίτσας προβλέπεται από ένα κτίριο Διοίκησης και Υποσταθμού που βρίσκεται πλησίον του δυτικού στομιού της σήραγγας.

12.2.2 Στο αντικείμενο του έργου περιλαμβάνεται και η πλήρης ανέγερση του κτιρίου αυτού.

12.2.3 Το κτίριο θα είναι ισόγειο και θα περιλαμβάνει:

- α. Χώρο κέντρου ελέγχου (control room)
- β. Χώρο κοιτών-ανάπαυσης προσωπικού
- γ. Χώρους υποσταθμού, ήτοι
  - Χώρο πίνακα μέσης τάσης
  - Δυο χώρους μετασχηματιστών
  - Χώρο πινάκων χαμηλής τάσης
  - Χώρο UPS

δ. Χώρο κατανεμητών κλπ για εγκαταστάσεις ασθενών ρευμάτων

ε. Χώρο υδραυλικών για τις αντλίες πυρόσβεσης

στ. Υπόγεια δεξαμενή νερού πυρόσβεσης

12.2.4 Εφ' όσον ο Ανάδοχος υιοθετήσει την προβλεπόμενη αρχιτεκτονική λύση, οφείλει να ελέγξει τις διαστάσεις, ύψη κλπ των χώρων ώστε ο εξοπλισμός που θα εγκατασταθεί μέσα σ' αυτούς να χωράει, να έχει επαρκείς χώρους για την λειτουργία και συντήρησή του και να έχει εύκολη είσοδο στους χώρους. Αυτό θα αποδεικνύεται με την υποβολή σχεδίων με όλο τον προβλεπόμενο εξοπλισμό με διαστάσεις, τομές κλπ.

12.2.5 Ο Ανάδοχος μπορεί να προτείνει άλλη αρχιτεκτονική λύση, η οποία θα περιλαμβάνει τους παραπάνω προβλεπόμενους χώρους και θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις της παραπάνω παραγράφου 12.2.4.

## 12.3 Η/Μ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΤΙΡΙΟΥ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

### 12.3.1 Γενικά

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται σε συντομία οι Η/Μ εγκαταστάσεις του κτιρίου Διοίκησης και υποσταθμού της σήραγγας Γορίτσας.

### 12.3.2 Υδραυλική εγκατάσταση

- (1). Το κτίριο θα τροφοδοτηθεί από το δίκτυο ύδρευσης της πόλεως του Βόλου μέσω ενός υδρομετρητή. Ένας ηλεκτρικός θερμοσίφωνας, θα παρασκευάζει το απαιτούμενο από τους υδραυλικούς υποδοχείς ζεστό νερό. Η άρδευση του περιβάλλοντος χώρου του κτιρίου, υπάγεται στην άρδευση του αυτοκινητοδρόμου.
- (2). Η ίδια παροχή νερού θα χρησιμοποιηθεί για την πλήρωση της δεξαμενής νερού πυροσβέσεως.

### 12.3.3 Εγκαταστάσεις αποχετεύσεως ακαθάρτων και ομβρίων

- (1). Τα λύματα από τους διαφόρους υδραυλικούς υποδοχείς του κτιρίου θα συγκεντρώνονται με οριζόντιο υπόγειο δίκτυο σωληνώσεων και στην συνέχεια θα



οδηγούνται προς συγκρότημα σηπτικού και απορροφητικού βόθρου, η θέση των οποίων φαίνεται στα σχέδια.

- (2) Τα βρόχινα νερά από την στέγη του κτιρίου θα συλλέγονται με διατάξεις συλλογής αμβρίων και στην συνέχεια θα οδηγούνται με κατακόρυφες υδρορροές στην στάθμη του ισογείου όπου και θα απορρίπτονται στον περιβάλλοντα χώρο.

#### 12.3.4 Εγκαταστάσεις πυροσβέσεως

- (1) Σ' όλους τους χώρους ηλεκτρικών μηχανημάτων και συσκευών πλην χώρων μετασχηματιστών), προβλέπονται αυτόματα συστήματα πυροσβέσεως με υλικό κατάσβεσης FM-200.
- (2) Οι χώροι για τους οποίους προβλέπεται αυτόματη κατάσβεση είναι:
- Χώρος πίνακα μέσης τάσεως
  - Χώρος πινάκων χαμηλής τάσεως
  - Χώρος Εφεδρικού Ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους
  - Χώρος UPS
- (3) Κάθε αυτόματο σύστημα θα περιλαμβάνει μια φιάλη με FM-200 καθώς και δίκτυο σωληνώσεων και ακροφυσίων. Η ενεργοποίηση κάθε συστήματος θα γίνεται από το σύστημα πυρανίχνευσης του κτιρίου.
- (4) Οι λοιποί χώροι του κτιρίου θα καλύπτονται από πλευράς μέσω πυροσβέσεως από φορητούς πυροσβεστήρες ξηρής σκόνης. Επίσης προβλέπεται ένας πυροσβεστικός σταθμός με εργαλεία και μέσα σύμφωνα με τις Πυροσβεστικές διατάξεις.

#### 12.3.5 Εγκατάσταση κλιματισμού - θέρμανσης - αερισμού

- (1) Κλιματισμός (δηλαδή θέρμανση κατά την χειμερινή περίοδο και ψύξη κατά την θερινή) προβλέπεται για τους εξής χώρους:
- Κέντρο Ελέγχου
  - Κοιτώνας-χώρος ανάπαυσης προσωπικού
  - Χώρος UPS
- (2) Ο κλιματισμός των παραπάνω χώρων προβλέπεται με αντλίες θερμότητας διμερούς τύπου.
- (3) Εξαερισμός του Κέντρου Ελέγχου και του WC προβλέπεται με μικρούς αξονικούς εξαεριστήρες.
- (4) Οι μετασχηματιστές ψύχονται με φυσικό αερισμό.

#### 12.3.6 Ηλεκτρική εγκατάσταση

- (1) Ο φωτισμός του κτιρίου Διοίκησης και Υποσταθμού, προβλέπεται με χρήση φωτιστικών σωμάτων φθορισμού.
- (2) Ολόκληρος ο φωτισμός του κτιρίου θα καλύπτεται από το ΕΗΖ. Προβλέπονται επίσης φωτιστικά σώματα ανάγκης με μπαταρίες, σύμφωνα με τα απαιτούμενα στις οδούς διαφυγής και σε ορισμένους κρίσιμους χώρους.
- (3) Προβλέπεται ικανός αριθμός ρευματοδοτών, σε όλους τους χώρους του κτιρίου. Από πλευράς τροφοδοτήσεως οι ρευματοδοτές διακρίνονται σε:
- Κανονικής παροχής (τροφοδότηση μόνο από ΔΕΗ)
  - Παροχής ανάγκης (τροφοδότηση από ΔΕΗ και ΕΗΖ)
  - Αδιάλειπτης παροχής (τροφοδότηση από ΔΕΗ, ΕΗΖ και UPS)



- (4) Στο κτίριο θα προβλέπονται οι ακόλουθοι πίνακες φωτισμού και ρευματοδοτών:
- α. Πίνακας φωτισμού κανονικής παραχής: Θα τροφοδοτεί τους ρευματοδότες κανονικής παραχής.
  - β. Πίνακας φωτισμού Ανάγκης: Θα τροφοδοτεί όλον τον φωτισμό και τους ρευματοδότες ανάγκης.
  - γ. Πίνακας φωτισμού αδιάλειπτης λειτουργίας: Θα τροφοδοτεί τους αντίστοιχους ρευματοδότες του κτιρίου, εκτός απ' αυτούς στον χώρο ελέγχου που θα τροφοδοτηθούν από ιδιαίτερο πίνακα εγκατεστημένο μέσα στον χώρο αυτόν.
- (5) Ο Πίνακας Κινήσεως του πιεστικού συγκροτήματος πυρόσβεσης θα τροφοδοτείται απ' ευθείας από τον Γενικό Πίνακα Ανάγκης.

### 12.3.7 Υποσταθμός

Η συγκρότηση και η λειτουργία του υποσταθμού περιγράφεται στο Κεφάλαιο «Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Σήραγγας - Υποσταθμός».

### 12.3.8 Εγκαταστάσεις ασθενών ρευμάτων

Για το κτίριο προβλέπονται οι εξής εγκαταστάσεις ασθενών ρευμάτων:

- α. Εγκατάσταση τηλεφώνων : Θα προβλεφθούν τηλέφωνα στο κέντρο ελέγχου και στον κοιτώνα. Όλα τα τηλέφωνα θα συνδέονται με το τηλεφωνικό κέντρο που προβλέπεται για τα τηλέφωνα ανάγκης της σήραγγας.
- β. Εγκατάσταση κεραιάς τηλεοράσεως : Θα εγκατασταθεί μια κεραιά τηλεοράσεως με κεραιοδότες στο Κέντρο Ελέγχου και τον κοιτώνα.
- γ. Εγκατάσταση θυροτηλεοράσεως : Θα προβλεφθεί εγκατάσταση θυροτηλεοράσεως και ηλεκτρική κλειδαριά στην εξωτερική πόρτα του κτιρίου.
- δ. Εγκατάσταση εισόδου με κάρτες : Προβλέπεται για την θύρα εισόδου στο χώρο του Κέντρου Ελέγχου, για λόγους ασφαλείας.

### 12.3.9 Εγκατάσταση πυρανίχνευσης

- (1) Στο κτίριο θα προβλεφθεί ένας πίνακας πυρανιχνεύσεως που θα καλύπτει όλους τους χώρους του κτιρίου. Στους χώρους που προβλέπεται αυτόματο σύστημα πυρόσβεσης, θα προβλέπονται διπλά κυκλώματα ανιχνευτών. Η ενεργοποίηση των αυτομάτων συστημάτων πυρόσβεσης με FM-200, θα γίνεται με εντολή από τον πίνακα πυρανίχνευσης.
- (2) Ο πίνακας πυρανίχνευσης θα έχει έξοδο και προς το κεντρικό σύστημα ελέγχου (SCADA).

### 12.3.10 Εγκατάσταση αλεξικέρανου

- (1) Θα προβλεφθεί μια εγκατάσταση αλεξικέρανου για το κτίριο Διοίκησης και Υποσταθμού. Η εγκατάσταση θα είναι κλασσικού τύπου, δηλαδή «κλωβός FARADAY».
- (2) Η εγκατάσταση θα περιλαμβάνει συλλεκτήριους αγωγούς στην στέγη του κτιρίου αγωγούς καθόδου (μέσα στα υποστυλώματα) και γείωση. Η θεμελιακή γείωση του κτιρίου θα χρησιμοποιηθεί και σαν γείωση και για την εγκατάσταση του αλεξικέρανου.

## 12.4 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

### 12.4.1 Γενικά

Η εγκατάσταση φωτισμού της σήραγγας θα περιλαμβάνει:



- α. Τον φωτισμό ημέρας
- β. Τον φωτισμό νύκτας
- γ. Τον φωτισμό ασφαλείας (ανάγκης) που είναι αυτός ο οποίος θα ανάβει σε περιπτώσεις ανάγκης (π.χ. διακοπή της παραχής της ΔΕΗ) και που αντιστοιχεί σε ταχύτητα κινήσεως οχημάτων 40 Km/h. Ο φωτισμός ανάγκης είναι μέρος του φωτισμού ημέρας.

#### 12.4.2 Ζώνες φωτισμού

Στα σχέδια φαίνονται οι διάφορες ζώνες φωτισμού καθώς και ο αριθμός των φωτιστικών σωμάτων που απαιτούνται για τον φωτισμό κάθε ζώνης.

#### 12.4.3 Τύποι φωτιστικών σωμάτων

- (1) Όλα τα φωτιστικά σώματα θα είναι ειδικού τύπου για σήραγγες.
- (2) Τα φωτιστικά σώματα για τον φωτισμό ημέρας (επομένως και για τον φωτισμό ανάγκης) είναι εν μέρει ασύμμετρης - αντίθετης δέσμης (COUNTER BEAM) με λαμπτήρες ατμών Na υψηλής πίεσης, ισχύος 400W, 250W και 150W, αυξημένης απόδοσης και εν μέρει συμμετρικής δέσμης με λαμπτήρες ατμών Na υψηλής πίεσης 150W αυξημένης απόδοσης.
- (3) Τα φωτιστικά σώματα για τον φωτισμό νύκτας θα είναι με λαμπτήρες φθορισμού τύπου COMPACT, ισχύος 2X55W.

#### 12.4.4 Τροφοδότηση

- (1) Όσον αφορά την ηλεκτρική τροφοδότηση των Φ.Σ. της Σήραγγας, ισχύουν τα ακόλουθα:
  - α. Ο φωτισμός ημέρας θα τροφοδοτείται από την κανονική παροχή (ΔΕΗ).
  - β. Ο φωτισμός ασφαλείας θα τροφοδοτείται από το Εφεδρικό Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος και εν μέρει από το σύστημα αδιάλειπτης παροχής (UPS).
  - γ. Ο φωτισμός νύκτας θα τροφοδοτείται από το σύστημα αδιάλειπτης παροχής (UPS).

#### 12.4.5 Σύστημα ρύθμισης της στάθμης φωτισμού της Σήραγγας

- (1) Επειδή ο φωτισμός ημέρας της Σήραγγας έχει μελετηθεί για τη μέγιστη εξωτερική στάθμη λαμπρότητας στην ζώνη προσέγγισης ( $L20 = 3500 \text{ cd/m}^2$ ) είναι απαραίτητο, για λόγους οικονομίας, οι στάθμες φωτισμού των διαφόρων ζωνών της Σήραγγας να μην παραμένουν σταθερές αλλά να αυξομειώνονται σύμφωνα με την εκάστοτε εξωτερική στάθμη λαμπρότητας. Η παραπάνω αυξομείωση θα γίνεται κλιμακωτά με το άναμμα ή το σβήσιμο κατάλληλου αριθμού φωτιστικών σωμάτων σε 7 βαθμίδες ημέρας και 1 βαθμίδα νύκτας, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Βαθμίδα φωτισμού	Λαμπρότητα Ζώνης προσέγγισης $L20 \text{ (cd/m}^2\text{)}$	Λαμπρότητα κατωφλιού $Lth \text{ (cd/m}^2\text{)}$	Φώτα σε λειτουργία
8	$0 < L20 < 250$	-	Φώτα νυκτερινού φωτισμού
7	$250 < L20 < 450$	17	Τα φώτα της 7ης βαθμίδας
6	$450 < L20 < 700$	30	Τα παραπάνω και τα φώτα



			της 6ης βαθμίδας
5	700 < L20 < 1250	45	Τα παραπάνω και τα φώτα της 5ης βαθμίδας
4	1250 < L20 < 1950	80	Τα παραπάνω και τα φώτα της 4ης βαθμίδας
3	1950 < L20 < 2600	120	Τα παραπάνω και τα φώτα της 3ης βαθμίδας
2	2600 < L20 < 3500	160	Τα παραπάνω και τα φώτα της 2ης βαθμίδας
1	3500 < L20	210 cd/m <sup>2</sup>	Τα παραπάνω και τα φώτα της 1ης βαθμίδας δηλαδή όλα τα φώτα της σήραγγας

- (2) Προβλέπονται δυο εγκαταστάσεις ρύθμισης της στάθμης φωτισμού της σήραγγας, μία ανά κατεύθυνση κυκλοφορίας. Κάθε εγκατάσταση θα ελέγχει τον φωτισμό μέχρι το μέσον της σήραγγας.
- (3) Κάθε εγκατάσταση ρύθμισης της στάθμης φωτισμού θα περιλαμβάνει ένα αισθητήρα λαμπρότητας έξω από κάθε στόμιο εισόδου της σήραγγας, πάνω σε ιστό και σε απόσταση από το στόμιο της σήραγγας ίση με την «απόσταση ασφαλούς φρεναρίσματος». Ο κάθε αισθητήρας θα μετράει την λαμπρότητα της ζώνης προσέγγισης (L20).
- (4) Από ένας αισθητήρας λαμπρότητας θα εγκατασταθεί μέσα από κάθε στόμιο εισόδου της σήραγγας και σε βάθος περίπου 22m. Οι αισθητήρες αυτοί θα μετρούν την λαμπρότητα κατωφλίου (Lth).
- (5) Κάθε ζεύγος αισθητήρων (L20-Lth) θα συνδέεται προς ένα επεξεργαστή φωτισμού με οκτώ βαθμίδες ρύθμισης φωτισμού.
- (6) Οι έξοδοι κάθε επεξεργαστή φωτισμού θα είναι προς το SCADA και μέσω αυτού προς τα τοπικά PLC και τους ηλεκτρικούς πίνακες διανομής της σήραγγας.

#### 12.4.6 Φωτισμός σήραγγας διαφυγής

- (1) Ο φωτισμός της σήραγγας διαφυγής προβλέπεται με φωτιστικά σώματα στεγανά, με λαμπτήρες φθορισμού.
- (2) Η σήμανση της εξόδου διαφυγής θα γίνεται με φωτιστικό σώμα στεγανό, που θα φέρει την ένδειξη «ΕΞΟΔΟΣ» και βέλος πορείας, διπλής όψεως.
- (3) Τα φωτιστικά σώματα αυτά θα τροφοδοτηθούν από το σύστημα αδιάλειπτης παροχής (UPS).

#### 12.4.7 Πίνακες Φωτισμού - Κυκλώματα Φωτισμού

- (1) Τα φωτιστικά σώματα των διαφόρων ζωνών της Σήραγγας θα τροφοδοτηθούν από υποπίνακες φωτισμού που προβλέπονται σε κατάλληλες θέσεις μέσα στη Σήραγγα. Οι πίνακες αυτοί θα εγκαθίστανται μέσα σε Ερμάρια Διανομής Σήραγγας (ΕΔΣ) τα οποία θα είναι στεγανά IP 65 κατά ΟΙΝ 40050/IE 144, θα είναι μεταλλικής κατασκευής και θα τροφοδοτούνται από τους Γενικούς Πίνακες χαμηλής τάσης του υποσταθμού με καλώδια τύπου XLPE/LSF/SWA/LSF με μόνωση από ειδικό πολυμερές, ελεύθερο αλογόνων και μανδύα επίσης από ειδικό πολυμερές, ελεύθερο αλογόνων, τύπου HM1, βραδύκαυστο κατά IEC 332.2. Τα καλώδια αυτά θα χρησιμοποιηθούν για την τροφοδοσία των φωτιστικών σωμάτων της και των λαμπών καταναλώσεων (CCTV, φωτεινή σηματοδότηση κλπ) που γενικά θα εγκαθίστανται σε σχάρες αναρτημένες από την οροφή και κατά μήκος της σήραγγας καθώς και για τις παροχές των πινάκων της σήραγγας που οδεύουν στα κανάλια των ηχοδωριπίων.



- (2) Τα κυκλώματα τροφοδότησης των φωτιστικών σωμάτων προβλέπονται τριφασικά. Για την τροφοδότηση των φωτιστικών σωμάτων που τροφοδοτούνται από τα UPS και για λόγους ασφαλείας σε περίπτωση πυρκαγιάς, θα χρησιμοποιούνται καλώδια ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες κατά IEC 331 για χρόνο αντοχής στη φωτιά τουλάχιστον 90 λεπτά. Κατά βάση τα καλώδια τροφοδότησης των φωτιστικών σωμάτων θα τοποθετηθούν ορατά πάνω σε σχάρες καλωδίων, σύμφωνα με τα σχέδια. Η διακλάδωση για την τροφοδότηση κάθε φωτιστικού θα γίνεται μέσα στο ίδιο φωτιστικό με παρεμβολή κατάλληλης ασφάλειας. Στις περιπτώσεις που απαιτείται μηχανική αντοχή, τα καλώδια θα τοποθετηθούν μέσα σε γαλβανισμένους σιδηροσωλήνες ή πλαστικούς βαρέως τύπου όπως αναφέρεται λεπτομερώς στην Τεχνική Συγγραφή Υποχρεώσεων & Προδιαγραφές.

#### 12.4.8 Τροφοδότηση οδικού φωτισμού πλησίον των στομιών της σήραγγας

- (1) Τα φωτιστικά σώματα του οδοφωτισμού πλησίον των δυο στομιών της σήραγγας θα τροφοδοτηθούν με κανονική παροχή (δίκτυο ΔΕΗ) από τον υποσταθμό της σήραγγας και όχι απ' ευθείας από την ΔΕΗ.
- (2) Οι εντολές για το άναμα/σβύσιμο του φωτισμού αυτού θα δίδονται από την εγκατάσταση SCADA (στάθμη νυκτερινού φωτισμού).

#### 12.5 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΣΗΡΑΓΓΑΣ & ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΡΥΠΩΝ

- (1) Προβλέπεται εγκατάσταση αερισμού της σήραγγας. Ο αερισμός θα είναι διαμήκης και θα επιτυγχάνεται με την χρήση αξονικών ανεμιστήρων ώσης (JET FANS). Προβλέπονται οκτώ ανεμιστήρες (4 ζεύγη) από τους οποίους οι δύο (1 ζεύγος) εφεδρικοί.
- (2) Οι ανεμιστήρες θα είναι δυο κατευθύνσεων ροής (TRULLY REVERSABLE).
- (3) Στην σήραγγα προβλέπονται να εγκατασταθούν:
- Δυο συστήματα μέτρησης ρύπων, ήτοι μονοξειδίου του άνθρακα (CO), οξειδίων του αζώτου (NOx) και ορατότητας (καπνού).
  - Ένα σύστημα μέτρησης ταχύτητας και διεύθυνσης αέρα μέσα στην σήραγγα
  - Ένα σύστημα μέτρησης ταχύτητας και διεύθυνσης αέρα έξω από κάθε στόμιο της σήραγγας
- (4) Τα παραπάνω συστήματα συνδέονται με το κεντρικό σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου (SCADA).
- (5) Από τις μετρήσεις των συστημάτων αυτών θα έχουμε τις ακόλουθες ενδείξεις και ενέργειες:

Ρύπος	Συγκέντρωση ρύπου	Σήμανση και ενέργειες
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	200ppm	Συναγερμός
	250ppm	Σήραγγα κλειστή
Οξείδια του αζώτου (NOx)	25ppm	Συναγερμός
	30ppm	Σήραγγα κλειστή
Καπνός (ορατότητα)	0,009/m	Συναγερμός
	0,012/m	Σήραγγα κλειστή

- (6) Στην έξοδο διαφυγής της σήραγγας και για να τίθεται σε υπερπίεση ο θάλαμος απομόνωσης (AIR LOCK) προβλέπεται ένας ανεμιστήρας που αναρροφά αέρα από το ελεύθερο άκρο της εξόδου διαφυγής και τον καταθλίβει στον θάλαμο απομόνωσης. Η ενεργοποίηση του ανεμιστήρα αυτού γίνεται μόνο στην περίπτωση πυρκαγιάς στην κύρια σήραγγα.
- (7) Το μέγεθος της επιθυμητής υπερπίεσης, ελέγχεται από βαλβίδες ελέγχου πίεσης που εγκαθίστανται στο τοίχωμα μεταξύ κύριας σήραγγας και θαλάμου απομόνωσης.



- (8) Οι ανεμιστήρες θα τροφοδοτούνται από το ΕΗΖ.

## 12.6 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΥΡΟΣΒΕΣΕΩΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

### 12.6.1 Γενικά

- Η εγκατάσταση πυροσβέσεως της σήραγγας θα περιλαμβάνει:  
 α. Εγκατάσταση πυροσβέσεως με νερό ή με προσθήκη αφρού  
 β. Φορητούς πυροσβεστήρες  
 γ. Ερμάρια ανάγκης σήραγγας

### 12.6.2 Εγκατάσταση πυροσβέσεως με νερό

- (1) Η εγκατάσταση πυροσβέσεως θα περιλαμβάνει:
- α. Μια δεξαμενή νερού, ελάχιστης ωφέλιμης χωρητικότητας 180m<sup>3</sup>/h (από τα οποία τα 150m<sup>3</sup> για πυρόσβεση και τα υπόλοιπα 30m<sup>3</sup> για πλύσιμο της σήραγγας).  
 Η δεξαμενή θα είναι υπόγεια και θα γεμίζει από το δίκτυο ύδρευσης.
  - β. Τρεις αντλίες πυροσβέσεως, η καθεμία παροχής 72m<sup>3</sup>/h. Από τις αντλίες αυτές οι δυο θα λειτουργούν ταυτόχρονα, ενώ η τρίτη θα είναι εφεδρική. Έτσι η επιτυγχανόμενη παροχή θα είναι 2X72m<sup>3</sup>/h που καλύπτει την ταυτόχρονη λειτουργία τεσσάρων υδροστομίων (HYDRANTS) 4X10 l/s = 40 l/s ήτοι 144m<sup>3</sup>/h. Οι αντλίες θα εγκατασταθούν σε ιδιαίτερο χώρο (υδροστάσιο) και θα είναι τύπου πομώνας (δηλαδή η πτερωτή μέσα στο νερό και ο κινητήρας έξω). Οι αντλίες θα είναι ηλεκτροκίνητες και θα τροφοδοτηθούν από το ΕΗΖ.
  - γ. Μια αντλία διατήρησης της πίεσης του δικτύου (JOCKEY PUMP) παροχής 5m<sup>3</sup>/h, συνοδευόμενη από μικρό πιεστικό δοχείο. Η αντλία αυτή θα εγκατασταθεί δίπλα στις κύριες αντλίες πυροσβέσεως και θα είναι του ίδιου τύπου μ' αυτές.
  - δ. Πίνακα ελέγχου για την αυτόματη λειτουργία του συστήματος βάσει της πίεσεως του δικτύου νερού.
  - ε. Δίκτυο σωληνώσεων νερού πυρόσβεσης. Θα προβλέπεται μια σωλήνωση νερού πυρόσβεσης που θα ξεκινά από την κατάθλιψη των αντλιών και θα οδεύει κατά μήκος της σήραγγας, σύμφωνα με τα σχέδια.  
 Μέσα στην σήραγγα η σωλήνωση θα οδεύει κάτω από το δεξιό πεζοδρόμιο κατά την χιλιόμετρηση.
  - στ. Πυροσβεστικοί κρουνοί. Αυτοί προβλέπονται ανά 48m μήκους, στην μια πλευρά της σήραγγας (από την πλευρά των ερμαρίων ανάγκης τύπου «Α») και θα συνδέονται προς την σωλήνωση νερού πυρόσβεσης. Τα υδροστόμια θα είναι ανά ερμάριο, ένα διαμέτρου Φ 65mm ( 2 1/2 ") και ένα διαμέτρου Φ 45mm ( 1 3/4 ") με βνά απομόνωσης.  
 Η απαιτούμενη πίεση λειτουργίας των υδροστομίων είναι 6 bar.
  - ζ. Δίδυμα πυροσβεστικά υδροστόμια (SIAMESE CONNECTIONS). Σε κάθε στόμιο της σήραγγας προβλέπεται ένα δίδυμο υδροστόμιο τροφοδότησης του δικτύου νερού πυροσβέσεως από τα πυροσβεστικά οχήματα. Τα υδροστόμια αυτά θα είναι Φ 2 1/2" X 2 1/2" X 4" και θα συνδέονται με το υπόγειο δίκτυο νερού πυρόσβεσης μέσω μιας αντεπίστροφης βαλβίδας.
  - η. Σωλήνες (μάνικες) πυρόσβεσης: Οι σωλήνες αυτοί προβλέπονται μέσα στα Ερμάρια Ανάγκης Σήραγγας (Πυροσβεστικοί Σταθμοί) τύπου «Α», που προβλέπονται σε αποστάσεις 48m από την μια πλευρά της σήραγγας. Οι σωλήνες θα φέρονται πάνω σε τύπανο αυτόματης εκτύλιξης, θα είναι μήκους 50m, διαμέτρου 45mm (Φ 1 1/4 " , με ακροφύσιο Φ 10mm. Οι σωλήνες αυτοί θα συνδέονται με το υπόγειο δίκτυο νερού πυρόσβεσης μέσω βνάς απομόνωσης. Η διαθέσιμη πίεση στο άκρο σύνδεσης του σωλήνα θα είναι 6 bar.
  - θ. Αφρογεννήτρια και δοχεία υγρού παραγωγής αφρού. Σε κάθε ερμάριο Ανάγκης Σήραγγας τύπου «Α», προβλέπονται επίσης δυο δοχεία υγρού (LIGHT WATER) χωρητικότητας 25 λίτρα το καθένα, καθώς και αφρογεννήτρια, η οποία θα είναι μόνιμα συνδεδεμένη με το δίκτυο



σωλήνώσεων νερού, μέσω της σωλήνωσης που τροφοδοτεί τους σωλήνες πυρόσβεσης.

- (2) Φορητοί πυροσβεστήρες: Σε κάθε Ερμάριο Ανάγκης Σήραγγας τύπου «Α» ή τύπου «Β» θα περιλαμβάνονται δυο πυροσβεστήρες χημικής σκόνης, καθένας των 6kg.
- (3) Ερμάρια Ανάγκης Σήραγγας, (Πυροσβεστικοί Σταθμοί): Προβλέπονται δυο τύποι Ερμαρίων Ανάγκης Σήραγγας (ΕΑΣ), ο τύπος «Α» και ο τύπος «Β». Τα ερμάρια τύπου «Α» τοποθετούνται στην μια πλευρά της σήραγγας (την πλευρά που κάτω από το πεζοδρόμιο της οδεύει ο αγωγός νερού πυρόσβεσης) και σε αποστάσεις ανά 48m μεταξύ τους. Τα ερμάρια τύπου «Β» τοποθετούνται στην απέναντι πλευρά της σήραγγας σε αποστάσεις 96m ή 144m, πάντοτε αντικριστά προς κάποιο ΕΑΣ «Α».
- (4) Τα ερμάρια τύπου «Β» περιλαμβάνουν:
  - α. Τμήμα μη Δημόσιας χρήσης (χρήση προσωπικού) που περιλαμβάνει πίνακα διανομής, ρευματοδότη, ακροδέκτη σύνδεσης διάφορων συσκευών μέτρησης, CCTV κλπ.
  - β. Τμήμα Δημόσιας χρήσης που περιλαμβάνει:
    - Θέση για εγκατάσταση τηλεφώνου ανάγκης για συνομιλία με το κέντρο ελέγχου
    - Δυο πυροσβεστήρες χημικής σκόνης
- (5) Τα ερμάρια τύπου «Α» θα περιλαμβάνουν:
  - α. Τμήμα μη Δημόσιας χρήσης ως ανωτέρω εδάφιο 4(α)
  - β. Τμήμα Δημόσιας χρήσης που περιλαμβάνει:
    - Θέση για εγκατάσταση τηλεφώνου ανάγκης για συνομιλία με το κέντρο ελέγχου, αλλά μόνο σε όσα ΕΑΣ «Α» φαίνεται στα σχέδια
    - Δυο πυροσβεστήρες χημικής σκόνης
    - Σωλήνες πυρόσβεσης σύμφωνα με το προηγούμενο εδάφιο 2(η)
    - Αφρογεννήτρια και δοχεία υγρού, σύμφωνα με το προηγούμενο εδάφιο 2(στ)

## 12.7 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ

### 12.7.1 Γενικά

- (1) Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για την λειτουργία της σήραγγας και του κτιρίου που την εξυπηρετεί, θα παρασχεθεί από την ΔΕΗ από το δίκτυο μέσης τάσης 20KV, 50HZ.
- (2) Η παροχή της ΔΕΗ θα είναι από το εναέριο δίκτυο Μ.Τ. της, με μέτρηση επί στύλου.

### 12.7.2 Συγκρότηση Υποσταθμού

- (1) Ο υποσταθμός θα περιλαμβάνει τα παρακάτω:
  - α. Τον πίνακα Μ.Τ. 20KV, ο οποίος θα αποτελείται από τρεις κυψέλες (άφιξη από ΔΕΗ / δυο τροφοδοτήσεις Μ/Σ) όλες εξοπλισμένες με διακόπτη ισχύος εξαφθοριούχου θείου (SF 6), σφρόμενου τύπου.
  - β. Δύο μετασχηματιστές υποβιβασμού της τάσης 20KV/0,4Kv, εσωτερικού χώρου, ξηρού τύπου, με μόνωση από χυτορητίνη, συνδεσμολογίας Dyn 11, τάσης βραχυκύκλωσης 6%, συχνότητας 50HZ, με τυλίγματα χαλκού. Οι Μ/Σ θα είναι ο ένας εφεδρικός του άλλου και δεν θα παραλληλίζονται σε καμία περίπτωση.
  - γ. Τον Γενικό Πίνακα Χαμηλής Τάσης (ΓΠ-ΧΤ) ο οποίος θα είναι τύπου κυψέλης (πεδίων), επιδαπέδιος. Οι διακόπτες άφιξης από τους μετασχηματιστές αλλά και αναχωρήσεων θα είναι αυτόματοι αέρος, με προστασία έναντι υπερφόρτισης και βραχυκυκλώματος.
  - δ. Το εφεδρικό ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος.
  - ε. Το σύστημα αδιάλειπτης παροχής (UPS) για διάρκεια μιας ώρας.
  - στ. Τους πυκνωτές διόρθωσης του cosφ.



ζ. Τις γειώσεις

### 12.7.3 Φορτία που τροφοδοτούνται από το ΕΗΖ και το UPS

- (1) Το UPS τροφοδοτεί το μέρος των παρακάτω καταναλώσεων και με εφεδρεία 20%.
  - α. Τον φωτισμό νύκτας της σήραγγας
  - β. Μέρος του φωτισμού ασφάλειας της σήραγγας
  - γ. Τον φωτισμό και την σήμανση της οδού διαφυγής της σήραγγας
  - δ. Τις παρακάτω ειδικές εγκαταστάσεις της σήραγγας και του κτιρίου:
    - i. Τηλέφωνα και τις φωτεινές πινακίδες ένδειξης θέσης τηλεφώνων και επανάκλησης.
    - ii. CCTV
    - iii. Φωτεινή σηματοδότηση
    - iv. Επιτήρηση κυκλοφορίας
    - v. Σύστημα επιτήρησης και ελέγχου (SCADA)
    - vi. Συστήματα μέτρησης ρύπων κλπ.
    - vii. Σύστημα ελέγχου φωτισμού σήραγγας
    - viii. Ραδιοεπικοινωνίες σήραγγας
    - ix. Πυρανίχνευση σήραγγας
- (2) Το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (ΕΗΖ), τροφοδοτεί τις παρακάτω καταναλώσεις και με εφεδρεία 20% :
  - α. Τα φορτία που τροφοδοτούνται από το UPS.
  - β. Το υπόλοιπο του φωτισμού ανάγκης της σήραγγας
  - γ. Ολόκληρο τον φωτισμό του κτιρίου στο οποίο είναι εγκατεστημένο.
  - δ. Τους ρευματοδότες ανάγκης
  - ε. Τις αντλίες πυροσβέσεως
  - στ. Τους ανεμιστήρες αερισμού

### 12.7.4 Διανομή ηλεκτρικής ενέργειας

- (1) Οι Καταναλώσεις και οι τοπικοί πίνακες που τις τροφοδοτούν διακρίνονται σε :
  - α. Κανονικής παροχής: Δηλαδή σ' αυτούς που τροφοδοτούνται μόνο από την ΔΕΗ (θα συμβολίζονται με Ν)
  - β. Ανάγκης: Σ' αυτούς που τροφοδοτούνται από την ΔΕΗ και σε περίπτωση διακοπής της παροχής της ΔΕΗ από το Εφεδρικό Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος (θα συμβολίζονται με Ε)
  - γ. Αδιάλειπτης λειτουργίας: Σ' αυτούς που τροφοδοτούνται συνεχώς, δηλαδή έχουν τροφοδότηση από τα UPS (θα συμβολίζονται με U)
- (2) Οι τοπικοί πίνακες τροφοδοτούνται από τον αντίστοιχο Γενικό Πίνακα, κάθε κατηγορίας καταναλωτών που βρίσκονται στο υποσταθμό.

### 12.7.5 Γειώσεις

- (1) Θα προβλεφθεί θεμελιακή γείωση του υποσταθμού. Εάν η τιμή της αντίστασης γείωσης προκύψει μεγαλύτερη του 1Ω τότε θα προστεθούν ηλεκτρόδια συνδεδεμένα με την θεμελιακή γείωση του κτιρίου.
- (2) Στην θεμελιακή γείωση θα συνδέονται:
  - α. Οι ουδέτεροι κόμβοι των μετασχηματιστών ισχύος
  - β. Τα μεταλλικά μέρη των συσκευιών μέσης και χαμηλής τάσης
  - γ. Η μπάρα γειώσεως των Γενικών Πινάκων Χαμηλής Τάσης (κανονικής παροχής και ανάγκης)
  - δ. Οι αγωγοί καθόδου του αλεξικέραυνου
  - ε. Ο ουδέτερος κόμβος του ΕΗΖ
- (3) Θα προβλέπεται ισοδυναμική γείωση στο δάπεδο των χώρων του υποσταθμού σύμφωνα με τα σχέδια.

**12.8 ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ****12.8.1 Γενικά**

Η Σήραγγα θα εφοδιασθεί με τηλέφωνα Έκτακτης Ανάγκης για χρήση από το κοινό ώστε να παρέχεται αμφίπλευρη επικοινωνία με το επανδρωμένο κέντρο ελέγχου και συντήρησης της σήραγγας. Τα τηλέφωνα θα εγκατασταθούν στο τμήμα δημόσιας χρήσης των Ερμαρίων Ανάγκης Σήραγγας που καθορίζονται στα σχέδια. Τα τηλέφωνα προβλέπονται ανά αποστάσεις 96m ή 144m.

**12.8.2 Περιγραφή συστήματος**

- (1) Οι τηλεφωνικές συσκευές στο εσωτερικό της σήραγγας (Τηλέφωνα Έκτακτης Ανάγκης) θα αποτελούν συνδυασμό τηλεφώνου για αμφίπλευρη ομιλία (two way communication) και τριών κομβίων συναγερμού, για αναγγελία στο κέντρο των τριών πλέον συνήθων περιπτώσεων ατυχημάτων (φωτιά, μηχανική βλάβη, ατύχημα). Κάθε συσκευή θα έχει κουμπί κλήσεως του κέντρου και ακουστικό.
- (2) Οι τηλεφωνικές συσκευές στο κτίριο θα είναι συνήθους τύπου με πλήκτρα.
- (3) Πάνω από κάθε τηλέφωνο Έκτακτης Ανάγκης μέσα στην σήραγγα θα υπάρχει φωτεινή πινακίδα με ένδειξη της θέσεως του τηλεφώνου καθώς και λυχνία που θα δείχνει την επανάκληση (από το κέντρο) της συσκευής.
- (4) Το τηλεφωνικό κέντρο θα εγκατασταθεί στο χώρο του Κέντρου Ελέγχου. Το κέντρο θα είναι σύγχρονης τεχνολογίας, ψηφιακό, 3 γραμμών δικτύου πύλεως, 20 εσωτερικών συνδρομητών τουλάχιστον και 3 τουλάχιστον ιαυτόχρονων συνδιαλέξεων.
- (5) Το τηλεφωνικό σύστημα έκτακτης ανάγκης θα έχει τα ακόλουθα γενικά χαρακτηριστικά.
  - Πρόβλεψη να απαντώνται τα τηλεφωνήματα έκτακτης ανάγκης από ένα απομακρυσμένο κέντρο επιτήρησης και λειτουργίας.
  - Παρέμβαση σε όλα τα τηλεφωνήματα από το τοπικό κτίριο ελέγχου της σήραγγας.
  - Κλήση από το κέντρο ελέγχου προς τα μεμονωμένα Ερμάρια Ανάγκης εντός της σήραγγας.
  - Θέση σε σειρά αναμονής των εισερχόμενων τηλεφωνημάτων
  - Συναγερμός εισερχόμενου τηλεφωνήματος
  - Συναγερμό εσωτερικής βλάβης του συστήματος και μετάδοσης της στο σύστημα ελέγχου (SCADA)
  - Είσοδο τοπικών στοιχείων
  - Καταγραφή της ημερομηνίας και ώρας που έγινε κλήση από κάποιο τηλέφωνο έκτακτης ανάγκης καθώς και καταγραφή της συνομιλίας μεταξύ του τηλεφωνητή της σήραγγας και του χειριστή για μελλοντική ακρόαση.

**12.9 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΤΗΛΕΟΡΑΣΕΩΣ****12.9.1 Γενικά**

- (1) Η Σήραγγα θα είναι εφοδιασμένη με εγκατάσταση με έγχρωμες οθόνες κλειστού κυκλώματος τηλεόρασης (CCTV) ώστε να εξασφαλίζεται η οπτική επιτήρηση σε ολόκληρο το μήκος της σήραγγας, συμπεριλαμβανομένων των στομιών αυτής και του κτιρίου διοίκησης και υποσταθμού.
- (2) Ο εξοπλισμός θα είναι της πλέον πρόσφατης τεχνολογίας και θα εξασφαλίζει την ταχύτερη δυνατή μετάδοση στοιχείων και μεθόδους ελέγχου.





- (3) Μηχανές λήψεως μέσα στη Σήραγγα θα τοποθετούνται στα πλευρικά τοιχώματα της σήραγγας, ενώ έξω από την σήραγγα πάνω σε στύλους, μια για κάθε στόμιο της σήραγγας.
- (4) Μέσα στα ερμάρια της Σήραγγας (ΕΑΣ) θα προβλέπεται ξεχωριστός ασφαλής χώρος ειδικά προοριζόμενος για την εγκατάσταση του εξοπλισμού κλειστού κυκλώματος τηλεόρασης, επικοινωνιών και ελέγχου.
- (5) Εικόνες από τις μεμονωμένες μηχανές λήψεως θα λαμβάνονται στο κέντρο ελέγχου και επιτήρησης της σήραγγας.

#### Κέντρο CCTV

Το κέντρο ελέγχου θα περιλαμβάνει αυτοτελή ικρίσματα CCTV. Θα προβλέπεται ο εξής τυπικός εξοπλισμός και εγκαταστάσεις:

- Σύστημα Video control matrix (VCM)
- Χειριστήριο του VCM (VCM key board)
- Μαγνητοσκόπιο (Video recorder)
- Υπολογιστής προγραμματισμού του VCM
- Τρεις οθόνες παρακολούθησης 17" (δύο οθόνες παρακολούθησης από κάμερες και μια συνεργαζόμενη με το μαγνητοσκόπιο)

#### 12.9.3 Μηχανές λήψεως και πλαίσια τοποθέτησης

- (1) Όλες οι μηχανές λήψεως θα είναι έγχρωμες με αυτόματη εστίαση και λόγο μεγέθυνσης 10:1. Οι μηχανές λήψεως θα είναι κατάλληλες για λήψη υπό συνθήκες φωτισμού περιβάλλοντος με ήλιο καθώς και κατά τη νύκτα με ένταση 1 lux.
- (2) Όλες οι μηχανές λήψεως θα έχουν περιβλήμα προστασίας IP65 και σύστημα πλυσίματος/σκουπίσματος οθόνης καθώς και θέρμανσης κατά του πάγου/συμπύκνωσης υγρασίας. Θα είναι κατάλληλες για λειτουργία με ρύθμιση από μακριά για στροφή, κλίση και εστίαση κατά 350° οριζόντια και 180° κάθετα.
- (3) Οι μηχανές λήψεως μέσα στην σήραγγα θα τοποθετούνται πάνω σε βραχίονες που στερεώνονται στα τοιχώματα, σε θέσεις εκτός του περιτυπώματος κυκλοφορίας ώστε να μην κινδυνεύουν να κτυπηθούν από οχήματα.
- (4) Οι μηχανές λήψεως εκτός της σήραγγας θα τοποθετούνται πάνω σε στύλους. Οι στύλοι θα διαθέτουν σύστημα ανύψωσης/καταβίβασης για λόγους συντήρησης και ελέγχου της μηχανής στο επίπεδο του εδάφους.
- (5) Οι μονάδες παροχής ισχύος, τα συστήματα μετάδοσης εικόνας και τα θερμακτικά πλαίσια για τις μηχανές λήψεως μέσα στη σήραγγα θα τοποθετούνται στα Ερμάρια Ανάγκης Σήραγγας (ΕΑΣ) και ειδικότερα στο τμήμα «Μη δημόσιας χρήσης» (χρήση προσωπικού). Στην περίπτωση των εξωτερικών στύλων, θα προβλέπεται εγκατάσταση ενός ερμαρίου στη βάση του στύλου.

#### 12.9.4 Έλεγχος και Επιτήρηση Σήραγγας

- (1) Το κέντρο ελέγχου και επιτήρησης της σήραγγας θα είναι εφοδιασμένο με 2 οθόνες 17" στις οποίες με χειρισμό θα μπορούν να εμφανισθούν εικόνες από μεμονωμένες κάμερες. Θα υπάρχει και μια τρίτη οθόνη για συνεργασία αποκλειστικά και μόνο με το μαγνητοσκόπιο.
- (2) Θα είναι δυνατός ο καθορισμός μιας από τις 2 οθόνες σαν κύριας οθόνης πάνω στην οποία θα εμφανίζονται διαδοχικά εικόνες από τις διάφορες μηχανές λήψεως με προκαθορισμένη περίοδο επανεμφάνισης.
- (3) Ο πίνακας ελέγχου των Μηχανών Λήψεων θα παρέχει τη δυνατότητα επιλογής της εικόνας καθώς και έλεγχο κάθε μιας κάμερας σε κατάσταση on-off/ετοιμότητας καθώς και ρύθμιση περιστροφής κλίσης καθώς και της εστίασης.



- (4) Όπως αναφέρεται παραπάνω, θα υπάρχει πρόβλεψη εγγραφής της περιοδικής απεικόνισης έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα επανάληψής τους, σε προεπιλεγμένη οθόνη.
- (5) Όλος ο εξοπλισμός ρύθμισης θα είναι τοποθετημένος πάνω σε κατάλληλη κονσόλα ρύθμισης που θα διαθέτει την ανάλογη καλωδίωση.

#### 12.9.5 Παροχή ισχύος στο δίκτυο CCTV

Το σύστημα CCTV, περιλαμβανομένης και της παροχής ισχύος στις μηχανές λήψης και τις οθόνες, θα τροφοδοτείται από την αδιάλειπτη πηγή παροχής ισχύος (UPS) θα διαθέτει όμως και εφεδρικό συσσωρευτή για περίοδο όχι μικρότερη των 3 ωρών.

#### 12.9.6 Καλωδιώσεις

Τα καλώδια εικόνας θα είναι ομοαξονικά 75Ω, ελεύθερα αλογόνων, ενώ τα καλώδια τηλεχειρισμού θα είναι τηλεφωνικά καλώδια με θωράκιση, τεσσάρων ζευγών επίσης ελεύθερα αλογόνων.

### 12.10 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΤΗΡΗΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

#### 12.10.1 Γενικά

- (1) Προβλέπεται ένα σύστημα παρακολούθησης της κυκλοφορίας στην σήραγγα, το οποίο σε συνεργασία με το σύστημα SCADA θα εκτελεί τις ακόλουθες λειτουργίες:
  - α. Μέτρηση κυκλοφορίας
  - β. Επιτήρηση της ταχύτητας των οχημάτων
  - γ. Ανίχνευση σταματημένων οχημάτων
- (2) Το σύστημα θα βασίζεται σε καλωδιακά ανιχνευτικά κυκλώματα τοποθετημένα μέσα στο οδόστρωμα σε μεταξύ τους αποστάσεις 96m και στις δυο λωρίδες κυκλοφορίας και θα αποδίδουν παρακολούθηση πραγματικού χρόνου.
- (3) Το σύστημα παρακολούθησης κυκλοφορίας θα επικοινωνεί με το σύστημα CCTV μέσω του συστήματος SCADA για να ενεργοποιεί προκαθορισμένες λήψεις ή τραβήγματα φωτογραφιών μόλις ανιχνευθεί εντός της σήραγγας σταματημένο ή αργά κινούμενο όχημα.

#### 12.10.2 Μέτρηση κυκλοφορίας

- (1) Η λειτουργία μέτρησης κυκλοφορίας θα γίνεται στα στόμια της σήραγγας και θα απεικονίζεται σε μια προκαθορισμένη σελίδα του συστήματος ελέγχου SCADA. Θα απεικονίζονται οι ακόλουθες πληροφορίες σε συνεχή βάση:
  - ο Αριθμός οχημάτων ανά ώρα για κάθε κατεύθυνση
  - ο Αριθμός οχημάτων ανά ημέρα για κάθε κατεύθυνση
- (2) Ο ωριαίος και ημερήσιος αριθμός οχημάτων θα καταγράφεται, θα απεικονίζεται και θα τυπώνεται και σε ανάλογο και σε γραφικό σχήμα κατ' επιλογή του χειριστή. Επιπροσθέτως, αυτές οι πληροφορίες θα χρησιμοποιούνται για να απεικονίζουν και τυπώνουν σε ανάλογο και γραφικό σχήμα εβδομαδιαίες, μηνιαίες και ετήσιες τάσεις.

#### 12.10.3 Παρακολούθηση της ταχύτητας οχημάτων

- (1) Θα παρέχεται παρακολούθηση πραγματικού χρόνου της ταχύτητας των οχημάτων για κάθε λωρίδα της σήραγγας.
- (2) Οι πληροφορίες που αποκτώνται από κάθε κύκλωμα ανίχνευσης θα απεικονίζονται για να επιδεικνύουν τον μέσο όρο ταχύτητας της κυκλοφορίας εντός της σήραγγας για



την κάθε λωρίδα, όμως θα καταγράφονται και οι ξεχωριστές ταχύτητες για κάθε κύκλωμα και όπου το όριο της ταχύτητας της κυκλοφορίας παραβιάζεται, αυτό θα επισημαίνεται στην εικόνα επιτήρησης της κυκλοφορίας.

#### 12.10.4 Ανίχνευση των σταματημένων αυτοκινήτων

- (1) Τα κυκλώματα ανίχνευσης συστημάτων παρακολούθησης της κυκλοφορίας θα χρησιμοποιούνται για την επιτήρηση της κυκλοφοριακής ροής σε κάθε λωρίδα της σήραγγας και θα χρησιμοποιείται επίσης για την επισημάνση οχημάτων που κινούνται αργότερα από το όριο ταχύτητας ή που έχουν σταματήσει ή έχουν «χαθεί» στο σύστημα επιτήρησης.
- (2) Για να το επιτύχει αυτό, το σύστημα επιτήρησης της κυκλοφορίας θα χωρίζεται σε ζώνες και σε περίπτωση αστοχίας να ανιχνευθεί ένα όχημα που έχει εισέλθει στο σύστημα, θα ενεργοποιείται κάποια προκαθορισμένη θέση όψης της μηχανής CCTV για την αντίστοιχη ζώνη και η φωτογραφία θα στέλνεται στον κύριο επιτηρητή παρακολούθησης μαζί με συναγεγμμό επισημάνσης προς τον χειριστή.

#### 12.11 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΡΑΔΙΟΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

##### 12.11.1 Γενικά

- (1) Προβλέπεται μια εγκατάσταση ραδιοεπικοινωνιών για την σήραγγα. Η εγκατάσταση αυτή θα εξυπηρετεί:
  - α. Τις πρώτες βοήθειες (ΕΚΑΒ)
  - β. Την αστυνομία
  - γ. Την Πυροσβεστική Υπηρεσία
  - δ. Το προσωπικό συντήρησης της σήραγγας
- (2) Τα παραπάνω υπηρεσιακά προγράμματα θα λειτουργούν στην περιοχή 150-174MHz (VHF).

##### 12.11.2 Περιγραφή της εγκαταστάσεως

- (1) Το σύστημα συνίσταται από ένα ακτινοβολούν καλώδιο που οδεύει κατά μήκος της σήραγγας, στερεωμένο στο θόλο της, που τα άκρα του συνδέονται με τις κεντρικές συσκευές της εγκαταστάσεως, που προβλέπεται να εγκατασταθούν στο κτίριο Διοίκησης και Υποσταθμού, μέσω καλωδίων ομοαξονικών ή οπτικών ινών (μέσω μετατροπών οπτικού σήματος σε ραδιοσυχνότητες).
- (2) Για να μην διακόπτεται η λειτουργία κανενός τμήματος του ακτινοβολούντος καλωδίου από κάποια βλάβη ή ατύχημα προβλέπεται διπλή τροφοδότηση από τα δυο άκρα της σήραγγας.
- (3) Ο Ανάδοχος θα προμηθεύσει και πέντε φορητούς πομποδέκτες.

#### 12.12 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΥΡΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

##### 12.12.1 Γενικά

- (1) Για την σήραγγα προβλέπεται μια εγκατάσταση ανίχνευσης πυρκαγιάς.
- (2) Η εγκατάσταση θα είναι γραμμικής ανίχνευσης.

##### 12.12.2 Περιγραφή της εγκαταστάσεως

- (1) Κατά μήκος της σήραγγας και στην οροφή της θα εγκατασταθεί το καλώδιο πυρανίχνευσης, μέσα στο οποίο είναι εγκατεστημένοι οι αισθητήρες θερμοκρασίας σε αποστάσεις 8.0m.



- (2) Το ένα άκρο του καλωδίου πυρανίχνευσης θα συνδεθεί με την μονάδα ελέγχου των αισθητήρων που θα εγκατασταθεί στο Κέντρο Ελέγχου. Η μονάδα ελέγχου θα έχει σειριακή σύνδεση (RS 232) με την εγκατάσταση SCADA.
- (3) Η μονάδα ελέγχου των αισθητήρων εκτελεί κυκλική σάρωση όλων των αισθητήρων (που είναι σημειακής αναγνώρισης), διαβάζει τις μετρούμενες θερμοκρασίες και αξιολογεί τις μετρήσεις σε σχέση με τα καθορισμένα κριτήρια. Έτσι εάν υπέρβηκε την προκαθορισμένη τιμών θερμοκρασίας ή μεταβολής αυτής δίνει σήμα συναγερμού (μετά από σήμα προσυναγερμού).

#### 12.13 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗΣ

- (1) Σκοπός της εγκατάστασης αυτής είναι να πληροφορεί, να ενημερώνει και καθοδηγεί με μηνύματα τα διερχόμενα οχήματα για την ασφαλή κυκλοφορία τους εντός και εκτός της σήραγγας.
- (2) Η θέση των διαφόρων πινακίδων (στατικών ή ηλεκτρονικών), έχει καθορισθεί από την μελέτη «Σήμανση και Ασφάλιση» της Οδοποιίας. Οι στατικές πινακίδες δεν περιλαμβάνονται στο αντικείμενο της παρούσας.
- (3) Το ηλεκτρονικό τμήμα της εγκατάστασης θα δέχεται πληροφορίες και θα ενημερώνεται από διάφορες πηγές. Θα επεξεργάζεται τις πληροφορίες και θα τις απεικονίζει πάνω σε ηλεκτρονικές πινακίδες μεταβλητού μηνύματος (VARIABLE MESSAGE SIGNS-VMS) που προβλέπονται πάνω από την αρτηρία ή σε ηλεκτρονικές πινακίδες μεταβλητού μηνύματος που εγκαθίστανται κατά μήκος του αυτοκινητοδρόμου και χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις εκτροπής της κυκλοφορίας.
- (4) Η εγκατάσταση αυτή επί πλέον θα ελέγχει το ύψος των φορτηγών και σε περίπτωση υπέρβασης του ύψους θα οδηγεί το όχημα προς παράκαμψη της σήραγγας.
- (5) Η εγκατάσταση θα είναι συνεχούς ενημέρωσης (ON LINE) και θα δέχεται εισαγωγή δεδομένων από διάφορες και ποικίλες πηγές (MULTI SOURCE OATA).
- (6) Η εγκατάσταση θα αποτελείται από τα ακόλουθα:
- α. Τις κεντρικές συσκευές της εγκατάστασης SCADA από τις οποίες ελέγχεται η εγκατάσταση φωτεινής σηματοδότησης.
  - β. Τους φωτεινούς σηματοδότες δυο φανών (παλλόμενο κίτρινο)
  - γ. Τις φωτεινές πινακίδες ορίου ταχύτητας
  - δ. Τους σηματοδότες καθορισμού λωρίδας κυκλοφορίας
  - ε. Τα συστήματα ελέγχου ύψους οχήματος και τις σχετιζόμενες με αυτά φωτεινές πινακίδες εξόδου από την αρτηρία.
  - στ. Τις πινακίδες μεταβλητού μηνύματος (VMS)
  - ζ. Τις καλωδιώσεις ισχύος και μεταφοράς δεδομένων
- (7) Οι βασικές λειτουργίες της εγκατάστασης είναι οι ακόλουθες:
- α. Κανονική λειτουργία της κυκλοφορίας μέσω της σήραγγας με τις πινακίδες μεταβαλλόμενου μηνύματος (VMS) να δίνουν διάφορα πληροφοριακά στοιχεία. Π.χ. όριο ταχύτητας, ώρα κλπ.
  - β. Κανονική λειτουργία της κυκλοφορίας μέσω της σήραγγας αλλά με μεταβολή (μείωση) του ορίου ταχύτητας λόγω Π.χ. βροχής ή ομίχλης ή κατάσταση ανάγκης (διακοπή παροχής ΔΕΗ κλπ). Το μειωμένο όριο ταχύτητας αναγράφεται στις πινακίδες μεταβλητού μηνύματος (VMS) και στις πινακίδες ορίου ταχύτητας.
  - γ. Κλείσιμο μιας λωρίδας κυκλοφορίας λόγω συντήρησης ή μικρού ατυχήματος. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται η εναπομένουσα λωρίδα για την εναλλάξ κίνηση και των δυο ρευμάτων δι' αυτής. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση των σηματοδοτών καθορισμού λωρίδας κυκλοφορίας, με τους οποίους σταματάει η κίνηση κατά την μια κατεύθυνση, ενώ επιτρέπεται κατά την άλλη κατεύθυνση για ορισμένο χρονικό διάστημα και στην συνέχεια αντιστρέφεται.



- Οι πινακίδες μεταβλητού μηνύματος ενημερώνουν ταυτόχρονα τους οδηγούς.
- δ. Κλείσιμο της σήραγγας για μικρό χρονικό διάστημα Π.χ. λόγω αυξημένων ρύπων, με την χρήση των πινακίδων καθορισμού λωρίδας κυκλοφορίας και με ενημέρωση των οδηγών από τις πινακίδες VMS.
- ε. Μακροχρόνιο κλείσιμο της σήραγγας λόγω Π.χ. πυρκαγιάς. Γίνεται εκτροπή της κυκλοφορίας από τον πλησιέστερο ισόπεδο κόμβο ανά κατεύθυνση με επέμβαση της τροχιάς.
- (8) Για την μέτρηση του ύψους οχήματος (ύψος άνω των 5,0m) προβλέπονται τα εξής:
- α. Μια εγκατάσταση για την προσέγγιση των οχημάτων προς το δυτικό στόμιο της σήραγγας, με εκτροπή προς την SR20. Η εγκατάσταση αυτή περιλαμβάνει:
- Μέτρηση ύψους στη Χ.Θ. 16+250
  - Ενημέρωση από πινακίδα VMS στη Χ.Θ. 16+540
  - Πινακίδα εξόδου στη Χ.Θ. 16+600
- β. Μια εγκατάσταση για την προσέγγιση προς το ανατολικό στόμιο της σήραγγας πριν από τον Ι.Κ. ΑΓΕΤ και με εκτροπή των οχημάτων από τον ισόπεδο αυτόν κόμβο, που περιλαμβάνει:
- Μέτρηση ύψους στην Χ.Θ. 18+340
  - Ενημέρωση από πινακίδα VMS στην Χ.Θ. 18+215
  - Πινακίδα εξόδου στην Χ.Θ 18+070
- γ. Μια εγκατάσταση για την προσέγγιση προς το ανατολικό στόμιο της σήραγγας (για τα οχήματα που μπαίνουν στην αρτηρία από τον ισόπεδο κόμβο της ΑΓΕΤ) με αναστροφή στο πλάτυσμα που προβλέπεται περί την Χ.Θ 17+820, που περιλαμβάνει:
- Μέτρηση ύψους στην Χ.Θ 18+015
  - Ενημέρωση από πινακίδα VMS στην Χ.Θ 17+932
  - Πινακίδα στάσης και αναστροφής στην Χ.Θ 17+832
- (9) Οι θέσεις των διαφόρων πινακίδων εμφανίζονται στα σχέδια και τα σχετικά διαγράμματα.

#### 12.14 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΟΠΤΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ (SCADA)

##### **12.14.1 Γενικά**

- (1) Ένα σύστημα γενικού ελέγχου και συγκέντρωσης στοιχείων (SCADA Supervisory Control And Data Acquisition System) θα προβλεφθεί προκειμένου να ελέγχει την κατάσταση των διαφόρων συστημάτων εντός της σήραγγας και για να παρέχεται η δυνατότητα ελέγχου και προειδοποίησης κινδύνου.
- (2) Ο κεντρικός ηλεκτρονικός εξοπλισμός του συστήματος SCADA θα βρίσκεται μέσα στο κέντρο ελέγχου.

##### **12.14.2 Εξοπλισμός συστήματος**

- (1) Ο εξοπλισμός του συστήματος ελέγχου θα περιλαμβάνει Προγραμματιζόμενους Λογικούς Ελεγκτές (PLC - Programmable Logic Controllers) που θα περιέχουν το πρόγραμμα λειτουργίας, τους προκαθορισμένους στόχους και τις συνθήκες μεταβολής σε EPROM που θα καλύπτει απόλυτα και θα επαναφέρει όλα τα συστήματα στην κανονική τους λειτουργία.
- (2) Για την σήραγγα προβλέπεται ένα PLC. Ένα δεύτερο PLC προβλέπεται στο κτίριο διοίκησης και Υποσταθμού.
- (3) Ένα PLC προβλέπεται τέλος στην περιοχή του πλατύσματος πριν από τον Ι.Κ. ΑΓΕΤ για τις συσκευές μέτρησης ύψους και λοιπούς φωτεινούς σηματοδότες.



- (4) Στο κέντρο ελέγχου εγκαθίστανται οι κεντρικές συσκευές του συστήματος που είναι:
- α. Δύο servers, ο ένας εφεδρικός του άλλου. Κάθε server συνδέεται με έναν Η/Υ προγραμματισμού της εγκατάστασης.
  - β. Δυο θέσεις χειριστών (CLIENT) από τις οποίες η μια εφεδρική. Σε κάθε θέση χειρισμού θα προβλέπονται:
    - Ένας Η/Υ
    - Μια οθόνη (MONITOR) 21"
    - Ένας εκτυπωτής
    - Μια μονάδα πραγματικού χρόνου
- (5) Τέλος η εγκατάσταση θα περιλαμβάνει και έναν φορητό υπολογιστή για τον τοπικό προγραμματισμό των PLC.
- (6) Το δίκτυο επικοινωνίας μεταξύ των PLCs και των SERVERS θα γίνεται μέσω δικτύου FAST INDUSTRIAL ETHERNET, 100 Mbits/s μέσω διακοπών (switches), σε επίπεδο πλήρους αμφιδρομίας (FULL DUPLEX), βάσει του πρότυπου 100 BASE FX. Το δίκτυο θα είναι διπλού βρόχου (REDUNDANT RING) με οπτικές ίνες.
- (7) Καθένα από τα παρακάτω συστήματα της σήραγγας θα παρίσταται γραμμικά σαν μια πινακίδα στην οθόνη 21" του χειριστή.
- Σύστημα διανομής ισχύος (κανονικής, εφεδρικής και αδιάλειπτης)
  - Σύστημα αερισμού σήραγγας
  - Σύστημα φωτισμού σήραγγας
  - Σύστημα πυροσβέσεως σήραγγας με νερό - Ερμάρια ανάγκης σήραγγας
  - Τηλέφωνα έκτακτης ανάγκης και τηλεφωνικά δίκτυα
  - Σύστημα πυρανίχνευσης σήραγγας
  - Σύστημα CCTV
  - Σύστημα Ραδιοεπικοινωνιών
  - Σύστημα μέτρησης κυκλοφορίας
  - Σύστημα φωτεινής σηματοδότησης
  - Εγκατάσταση SCADA
  - Σημεία ρύθμισης για κάθε σύστημα
  - Διαγράμματα τάσεων (trends) και γραφικές αναπαραστάσεις δεδομένων
- (8) Γραφική αναπαράσταση επιλεγμένων στοιχείων, θα παρέχεται με βάση συνεχούς ενημέρωσης από αισθητήρες, με ημερήσια, μηνιαία και ετήσια καταχώρηση σχετικά με τα εξής:
- Συνολικό φορτίο ισχύος
  - Συνολική κατανάλωση ισχύος (Kwh)
  - Κατανάλωση συστήματος αερισμού (Kwh)
  - Κατανάλωση συστήματος φωτισμού (Kwh)
  - Καταμέτρηση κυκλοφορίας
- (9) Θα προβλέπεται μενού που θα δίνει τη δυνατότητα άμεσης επιλογής κάθε γραφικής πινακίδας και πλήκτρα συντόμευσης (shortcut-keys). Όλες οι οθόνες θα διαθέτουν χρονική ρύθμιση και εξοικονόμηση ισχύος.

#### 12.14.3 Λειτουργίες Ελέγχου Παρακολούθησης και Συναγερμών

Οι παρακάτω λειτουργίες ελέγχου, παρακολούθησης και συναγερμών θα εξασφαλίζονται και ελάχιστο σε σχέση με τα συστήματα που προτείνονται.

##### A. ΕΛΕΓΧΟΣ

Πίνακας μέσης τάσης	Τάση Ανοικτός/κλειστός για κάθε αυτόματο διακόπτη
Κύριοι διακόπτες εισερχόμενης ΧΤ	Ανοικτός / κλειστός
Εναλλάκτης νιτζέλ	On / Off / Auto / Manual
Τροφοδοτικό αδιάλειπτης ισχύος (UPS)	On / Off / Βλάβη σε μετατροπέα
Φάσεις ενεργοποίησης φωτισμού	On / Off

Ανεμιστήρες αερισμού σήραγγας	On/Off/Auto/Manual/Αναστροφή
Ανεμιστήρας υπερπίεσης θαλάμου απομόνωσης, σήραγγας διαφυγής	On / Off / Auto / Manual
Πυροσβεστικές αντλίες	Auto / Manual
Αντλία διατήρησης πίεσης δικτύου	Auto / Manual

### Β. ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Πινακίδες καθορισμού λωρίδας κυκλοφορίας, πινακίδες ορίου ταχύτητας, σηματοδότες	Επιλεγμένο σήμα
Πινακίδες μεταβλητού μηνύματος (VMS)	Επιλεγμένο μήνυμα/ OFF
Παροχή ισχύος MT	Τάση
Παροχή ισχύος XT (Κύριες μπάρες «κανονικών φορτίων» και «φορτίων ανάγκης»)	Τάση Συχνότητα Φορτίο (KW) Φορτίο (Amp) Συντελ. ισχύος (Cos Φ)
Όλοι οι πίνακες διανομής και ελέγχου	Φορτίο (Amp)
Κύριος πίνακας XT	Διακόπτες ανοικτοί/κλειστοί
Κατανάλωση ισχύος	kWh ανά ημέρα / εβδομάδα / μήνα / έτος
Πίνακας ελέγχου φωτισμού	Τάση Φορτίο (Amp)
Πίνακας ελέγχου αερισμού	Τάση Φορτίο (Amp)
Εναλλάκτης ντιζελ (Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος)	On/Off/Auto/Manual Τάση εξόδου Συχνότητα Φορτίο (Amp) Συντελεστής ισχύος Θερμοκρασία νερού Θερμοκρασία λαδιού Πίεση λαδιού Τάση συσσωρευτή Ώρες λειτουργίας
Σύστημα αδιάλειπτης παροχής ισχύος (UPS)	Διαθέσιμο / on / off / βλάβη Τάση συσσωρευτή Τάση εξόδου Συχνότητα
Σύστημα φωτισμού σήραγγας	Βαθμίδες σε λειτουργία Ώρες λειτουργίας σε κάθε βαθμίδα με συνιστώμενες ώρες αλλαγής λαμπτήρων
Σύστημα αερισμού σήραγγας	Φάση ανεμιστήρα(ων) σε λειτουργία Ανεμιστήρες σε λειτουργία Ώρες λειτουργίας ανά ανεμιστήρα Επίπεδο CO Επίπεδο NOx Επίπεδο ορατότητας Κατεύθυνση και ταχύτητα ροής αέρα
Παρακολούθηση περιβάλλοντος εισόδων σήραγγας	Ταχύτητα ανέμου Διεύθυνση ανέμου
Δεξαμενή νερού πυροσβέσεως	Στάθμη / Περιεχόμενο
Πυροσβεστικές αντλίες	Auto / Manual/ On / Off Ώρες λειτουργίας
Αντλία διατήρησης πίεσης δικτύου(Jockey)	Auto / Manual/ On / Off Ώρες λειτουργίας
Θύρες Ερμαρίων Ανάγκης Σήραγγας (E.A.Σ)	Ανοικτές / Κλειστές Συναγερμός και προκαθορισμένη σκαμνιστή κάμερας CCTV



Υ.ΥΠΟΜΕ.Δι / Δ1

ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Θύρες Ερμαρίων Διανομής Σήραγγας (Ε.Δ.Σ)	Ανοικτές / Κλειστές Συναγερμός και προκαθορισμένη σκόπευση κάμερας CCTV
Δεξαμενή κατακράτησης ρύπων	Στάθμη υγρών
Θύρες οδού διαφυγής	Ανοικτές / Κλειστές Συναγερμός και προκαθορισμένη σκόπευση κάμερας CCTV
Σύστημα επιτήρησης κυκλοφορίας	Μέτρηση οχημάτων ανά ημέρα / εβδομάδα / μήνα / έτος Ταχύτητα κυκλοφορίας (χλμ/ώρα) Αριθμός οχημάτων εντός σήραγγας Χαμένο όχημα. Συναγερμός και προκαθορισμένη σκόπευση κάμερας CCTV

## Γ.ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΙ

Σύστημα παροχής και διανομής ισχύος	Διακοπή παροχής ισχύος MT Διακοπή «κανονικής παροχής» ισχύος XT Διακοπή «παροχής ανάγκης» ισχύος XT Αποτυχία διόρθωσης cosφ
Εναλλάκτης νιζελ	Διακοπή λειτουργίας κινητήρα νιζελ Υψηλή θερμοκρασία νερού Υψηλή θερμοκρασία λαδιού Χαμηλή πίεση λαδιού Συναγερμός χαμηλής στάθμης καυσίμου
Μετατροπέας UPS	Βλάβη (Λειτουργία σε παράκαμψη)
Σύστημα αερισμού σήραγγας	CO 200 ppm NOx 25 ppm Ορατότητα 0.009/m Βλάβη ανεμιστήρα(ων)
Σύστημα φωτισμού σήραγγας	Βλάβη μεμονωμένης φάσης Βλάβη συστήματος ρύθμισης φωτισμού
Ερμάρια Ανάγκης Σήραγγας (Ε.Α.Σ)	Θύρα ανοικτή (Προκαθορισμένη σκόπευση CCTV) Τηλέφωνο εκτός θέσης (Προκαθορισμένη σκόπευση CCTV)
Τηλεφωνικό δίκτυο έκτακτης ανάγκης	Βλάβη σε σύστημα
Ερμάριο Διανομής Σήραγγας (Ε.Δ.Σ)	Θύρα ανοικτή (Προκαθορισμένη σκόπευση CCTV)
Πυροσβεστικό δίκτυο με νερό	Χαμηλή στάθμη δεξαμενής νερού Χαμηλή θερμοκρασία νερού δεξαμενής Χαμηλή πίεση πυροσβεστικού δικτύου Βλάβη πυροσβεστικής αντλίας(ων) Βλάβη αντλίας διατήρησης πίεσης δικτύου (Jockey pump)
Θύρα οδού διαφυγής	Θύρα ανοικτή (Προκαθορισμένη σκόπευση CCTV)
Σύστημα CCTV	Βλάβη κύριας παροχής ισχύος Βλάβη παροχής ισχύος στις κάμερες (για κάθε κάμερα)
Ελλιπής τροφοδότηση επαγωγικού βρόχου	Βλάβη παροχής ισχύος Βλάβη συστήματος
Σύστημα επιτήρησης κυκλοφορίας	Βραδεία κυκλοφορία Σταματημένο όχημα (Προκαθορισμένη σκόπευση κάμερας CCTV)
Σύστημα σηματοδότησης	Βλάβη συστήματος Βλάβη παροχής ισχύος
Σύστημα συναγερμού εισβολέα ή πυρκαγιάς	Συναγερμός

ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ  
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΟΡΙΤΣΑ - ΑΓΡΙΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΚΑΜΨΗ ΒΟΛΟΥ





κτιρίου υποσταθμού	(Προκαθορισμένη σκόπευση εξωτερικής κάμερας CCTV)
Σύστημα ραδιοεπικοινωνιών	Βλάβη
Εγκατάσταση πυρανίχνευσης σήραγγας	Συναγερμός (Προκαθορισμένη σκόπευση κάμερας CCTV)

#### 12.14.4 Προσπέλαση ασφάλειας συστήματος

Θα παρέχονται 4 επίπεδα ασφάλειας ως εξής:

- α. Επίπεδο 1 : Προσπέλαση για απεικόνιση στην οθόνη μόνο μεμονωμένων σελίδων. Δεν επιτρέπεται προσπέλαση στη λειτουργία του συστήματος, ρύθμιση προκαθορισμένων σημείων (setpoints), γνωστοποίηση λήψης ή ακύρωση συναγερμών.
- β. Επίπεδο 2 : Όπως και στο επίπεδο 1 και επί πλέον προσπέλαση στη λειτουργία των συστημάτων και εξοπλισμού καθώς και γνωστοποίησης λήψης/ακύρωσης σημάτων κινδύνου.
- γ. Επίπεδο 3 : Όπως και στο επίπεδο 2 και επιπλέον δυνατότητα ρύθμισης προκαθορισμένων σημείων (setpoints) εντός προκαθορισμένων ορίων.
- δ. Επίπεδο 4 : Προσπέλαση στον πλήρη προγραμματισμό (απαιτείται διπλή κλείδα («πάσσο») προσπέλασης)

Επί πλέον θα απαιτηθούν ατομικές κλειδες («πάσσο») προσπέλασης (passwords) για προσπέλαση στα διάφορα επίπεδα που θα καθορίζουν επίσης την ταυτότητα του χειριστή τα οποία θα δύνανται να τροποποιούνται. Ο αριθμός των χαρακτήρων στις κλειδες αυτές («πάσσο») θα αυξάνεται ανάλογα με το επίπεδο. Το επίπεδο 4 θα παρέχει το υψηλότερο βαθμό ασφαλείας και θα απαιτεί δυο κλειδες («πάσσο») για προσπέλαση στις προγραμματικές λειτουργίες.

#### 12.14.5 Συμβάντα και Συναγερμοί

- (1) Θα παρέχεται δυνατότητα λήψης και καταχώρησης γεγονότων και συναγερμών με ημερομηνία και ώρα και θα είναι επίσης δυνατή η προσπέλαση σε γεγονότα και συναγερμούς είτε με ημερομηνία και ώρα είτε με ημερήσια επιλογή για οποιαδήποτε περίοδο απαιτηθεί μέχρι το σημείο που οι πληροφορίες λαμβάνονται από τον δίσκο του υπολογιστή για αποθήκευση.
- (2) Επίσης θα πρέπει να παρέχεται δυνατότητα προσδιορισμού του ελεύθερου χώρου στον σκληρό δίσκο καθώς και μηνύματα που να υποδεικνύουν πότε πρέπει να γίνει ανάληψη των παρασχεθέντων στοιχείων για αρχειοθέτηση.
- (3) Σε περίπτωση συναγερμού, το σύστημα, θα μεταπίπτει αυτόματα σε απεικόνιση της σχετικής πινακίδας του συστήματος και θα μαρκάρει το συναγερμό στη πινακίδα και τον αντίστοιχο εξοπλισμό.
- (4) Οι συναγερμοί μπορούν να γνωστοποιούνται και να ακυρώνονται από έναν χειριστή που έχει δυνατότητα προσπέλασης Επιπέδου 2 και 3. Η γνωστοποίηση/ακύρωση συναγερμών θα καταχωρείται επίσης κατά ημέρα και ώρα με αναφορά στην ταυτότητα του χειριστή που έκανε την επέμβαση. Η αναφορά αυτή θα μπορεί να είναι ο κωδικός του χειριστή.
- (5) Η καταχώρηση των γεγονότων και συναγερμών καθώς και οι γνωστοποιήσεις τους θα γίνονται στον σκληρό δίσκο του υπολογιστή μαζί με εκτύπωση στην θέση του χειριστή.

#### 12.14.6 Παροχή ισχύος συστήματος

Το σύστημα ελέγχου θα διαθέτει ασφαλή παροχή από την εγκατάσταση αδιάλειπτης παροχής ισχύος (UPS) που θα καλύπτει το σύστημα.

**12.14.7 Επικοινωνία συστήματος ελέγχου με σύστημα CCTV**

- (1) Το σύστημα ελέγχου θα έχει τη δυνατότητα επικοινωνίας με το CCTV. Οι μεταδιδόμενες πληροφορίες θα ενεργοποιούν τις μηχανές λήψης (CAMERA) CCTV ώστε να μεταδίδουν εικόνα από προκαθορισμένες θέσεις και να μεταφέρουν αυτόματα την εικόνα στην αίθουσα ελέγχου. Οι μεταδιδόμενες πληροφορίες θα είναι οι εξής:
- Θύρα οδού διαφυγής ανοικτή (για όσες θύρες υπάρχει οπτική επαφή με camera)
  - Θύρα Ερμαρίου Διανομής Σήραγγας (Ε.Δ.Σ) ανοικτή
  - Θύρα Ερμαρίου Ανάγκης Σήραγγας (Ε.Α.Σ.) ανοικτή
  - Σταματημένη κυκλοφορία στη σήραγγα
  - «Χαμένο» όχημα στη σήραγγα
  - Συναγερμός εισβολέα ή πυρκαγιάς κτιρίου (εξωτερική camera)
- (2) Η ενεργοποίηση ενός από τους παραπάνω συναγερμούς θα δραστηριοποιεί αυτόματα την εγγραφή σε βίντεο της περιοδικής σειράς εικόνων από την αντίστοιχη μηχανή λήψης.

**12.15 ΔΙΚΤΥΑ ΤΗΛΕΦΩΝΟΔΟΤΗΣΗΣ & ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΟΤΕ ΜΕΣΑ ΣΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑ**

Τα δίκτυα σωληνώσεων για τηλεφωνοδότηση και εξυπηρέτηση του ΟΤΕ θα περάσουν και μέσα από την Σήραγγα Γορίτσας.

**12.16 ΕΚΤΕΛΕΣΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΜΗ ΕΚΤΕΛΕΣΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ****Εκτελεσμένες εργασίες**

- 1.Τμήμα των ηλεκτρομηχανολογικών εργασιών σήραγγας ήτοι :
- Φωτιστικά οροφής, καλωδιώσεις, πίνακες φωτισμού και σύδεσή τους με φωτιστικά T14.1
  - Φωτιστικά οροφής, καλωδιώσεις, πίνακες φωτισμού και σύδεσή τους με φωτιστικά T14.2
  - Γραμμικό καλώδιο πυρανίχνευσης T14.1
  - Υποδομή για διέλευση καλωδίων στο σκυρόδεμα της τελικής επένδυσης της σήραγγας (σωλήνες, καλώδια πίνακες, φωτιστικά)

**Μη εκτελεσμένες εργασίες**

- 1.Το κύριο δίκτυο της πυρόσβεσης-πυρασφάλειας της σήραγγας και του κτιρίου ελέγχου
- 2.Το δίκτυο κλιματισμού, ισχυρών και ασθενών ρευμάτων του κτιρίου ελέγχου
- 3.Η εγκατάσταση αερισμού της σήραγγας
- 4.Οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις τροφοδοσίας του κτιρίου και οι πίνακες κίνησης των μηχανημάτων της σήραγγας
- 5.Η εγκατάσταση τηλεφώνου σήραγγας και τα δίκτυα ασθενών ρευμάτων της σήραγγας
- 6.Εγκατάσταση ραδιοεπικοινωνιών
- 7.Εγκατάσταση φωτεινής σηματοδότησης
- 8.Εγκατάσταση κλειστού κυκλώματος τηλεόρασης
- 9.Εγκατάσταση επιτήρησης κυκλοφορίας
- 10.Εγκατάσταση εποπτείας και ελέγχου σήραγγας και κτιρίου ελέγχου και υποσταθμού

**Πέραν των εργασιών που εκτελέστηκαν υπάρχει και υλικό το οποίο έχει προσκομισθεί στο έργο και απομένει προς εκτέλεση η εργασία ενσωμάτωσής του στο έργο.**

**Άρθρο 13: Η/Μ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΥΠΑΙΘΡΙΩΝ ΟΔΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ****13.1 ΓΕΝΙΚΑ**

- (1) Στις Η/Μ εγκαταστάσεις των υπαίθριων οδικών έργων περιλαμβάνονται:
- α. Οι εγκαταστάσεις Οδοφωτισμού
  - β. Τα δίκτυα τηλεφωνοδότησης και εξυπηρέτησης ΟΤΕ



- (2) Αναλυτικότερα, οι ως άνω εγκαταστάσεις περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους της παρούσας

### 13.2 ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΣ

#### 13.2.1 Γενικά

Ο οδοφωτισμός του δημοπρατούμενου οδικού τμήματος Παράκαμψης Βόλου Γορίτσα (ΟΔΟΣ ΑΛΚΙΠΗΣ) – Χ.Θ. 19+200, προβλέπεται μη συνεχής. Συγκεκριμένα προβλέπεται φωτισμός για τα εξής τμήματα:

- α. Από τον Ι.Κ. της οδού Π28 (Αλκίπης) με την αρτηρία (Χ.Θ. περίπου 16+200) μέχρι το δυτικό στόμιο της κύριας σήραγγας Γορίτσας (Χ.Θ. περίπου 16+719) καθώς και για την οδό SR 20.
- β. Από το ανατολικό στόμια της σήραγγας Γορίτσας (Χ.Θ. περίπου 17+299) μέχρι τη Χ.Θ. 18+370 περίπου.
- γ. Της οδού Π 19 στην έκταση που φαίνεται στα σχέδια.

#### 13.2.2 Ιστοί και φωτιστικά σώματα ηλεκτροφωτισμού

- (1) Οι ιστοί οδοφωτισμού θα είναι χαμηλοί (δεν χρησιμοποιούνται δηλαδή πυλώνες), ύψους 10m ή 12m, μεταλλικοί, οκταγωνικοί ή κυκλικοί, συνεχώς μεταβαλλόμενης διατομής.
- (2) Τα φωτιστικά σώματα οδοφωτισμού θα είναι τύπου βραχίονα, κατάλληλα για λαμπτήρες ατμών Na υψηλής πίεσης (NaΥΠ) 250W ή 400W.
- (3) Το τμήμα της αρτηρίας πριν από το δυτικό στόμιο της σήραγγας της Γορίτσας θα φωτισθεί με ιστούς ύψους 12,0m, με ιστούς τοποθετημένους αντικριστά ή σε διάταξη ζγκ-ζαγκ. Κάθε ιστός θα φέρει ένα Φ.Σ. NaΥΠ 250W.
- (4) Η βοηθητική οδός SR20 θα φωτισθεί με ιστούς ύψους 10,0m, στην μια πλευρά του δρόμου. Κάθε ιστός θα φέρει ένα Φ.Σ. NaΥΠ 250W.
- (5) Μετά το ανατολικό στόμιο της σήραγγας, η αρτηρία θα φωτισθεί με ιστούς ύψους 12,0m που τοποθετούνται στην μια πλευρά του δρόμου. Κάθε ιστός φέρει ένα Φ.Σ. NaΥΠ 250W.
- (6) Στην περιοχή των ισόπεδων κόμβων της αρτηρίας με την οδό Π19 (Ι.Κ. ΑΓΕΤ), λόγω της διαπλάτυνσης της αρτηρίας από τις αριστερές στροφές, οι ιστοί για τον φωτισμό της αρτηρίας τοποθετούνται και στις δυο πλευρές αντικριστά. Οι ιστοί θα είναι ύψους 12,0m και καθένας θα φέρει ένα Φ.Σ. NaΥΠ 250m. Οι λωρίδες επιτάχυνσης και επιβράδυνσης των ισόπεδων κόμβων φωτίζονται από τους ίδιους πλευρικοί τοποθετημένους ιστούς. Τα φωτιστικά σώματα στην περιοχή των ισόπεδων κόμβων θα είναι για λαμπτήρα NaΥΠ 400W.
- (7) Η οδός Π19 φωτίζεται με ιστούς ύψους 12,0 που τοποθετούνται στην μια πλευρά του δρόμου. Κάθε ιστός φέρει ένα Φ.Σ. NaΥΠ 250W. Στην περιοχή των ισόπεδων κόμβων προβλέπονται ιστοί ύψους 12,0m και στις δυο πλευρές της οδού, αντικριστά. Κάθε ιστός θα φέρει ένα Φ.Σ. NaΥΠ 250W ή 400W.

#### 13.2.3 Ηλεκτρική τροφοδότηση οδικού φωτισμού

- (1) Η τροφοδότηση του ηλεκτροφωτισμού του τμήματος αυτού της οδού παράκαμψης του Βόλου, θα γίνει από τέσσερα πύλλαρς που τροφοδοτούνται με Χ.Τ. από την ΔΕΗ. Τα Φ.Σ. πλησίον των δυο στομιών της σήραγγας Γορίτσας θα τροφοδοτηθούν από τον δικτύο χαμηλής τάσεως της Σήραγγας και όχι απ' ευθείας από την ΔΕΗ.



- (2) Η τροφοδότηση των ιστών θα γίνει με τριφασική γραμμή με καλώδια NY 4X10mm<sup>2</sup>. Κάθε ιστός θα τροφοδοτείται από μια φάση του δικτύου. Οι διακλαδώσεις των καλωδίων θα γίνονται μέσα στο ακροκιβώτιο (κοφρέ) κάθε ιστού, δηλαδή το καλώδιο θα μπαίνει και θα βγαίνει σε κάθε ιστό.
- (3) Τα καλώδια θα τοποθετηθούν μέσα στο έδαφος σε βάθος περίπου 70cm. Τα καλώδια θα τοποθετηθούν μέσα σε πλαστικούς σωλήνες από πολυαιθυλένιο Φ 90mm, 6 atm. Σε κάθε σωλήνα τοποθετείται γενικά ένα μόνο καλώδιο οδικού φωτισμού. Όμως σε ορισμένες διαδρομές (που σημειώνονται στα σχέδια), τοποθετείται μέσα στον ίδιο σωλήνα και το καλώδιο τηλεχειρισμού των ηλεκτροβαννών άρδευσης. Στις διαβάσεις των δρόμων θα τοποθετείται πάντοτε ένας επί πλέον σωλήνας για μελλοντική χρήση.
- (4) Προβλέπονται φρεάτια για το τράβηγμα των καλωδίων στην προκατασκευασμένη βάση στηρίζεως κάθε ιστού και στις διαβάσεις των δρόμων κλπ όπως φαίνεται στα σχέδια.
- (5) Τα δίκτυα σωληνώσεων για τα καλώδια ηλεκτροφωτισμού πάνω σε γέφυρα θα κατασκευασθούν με σιδηροσωλήνες γαλβανισμένους Φ 2 1/2", που τοποθετούνται μέσα στα πεζοδρόμια των γεφυρών. Για το τράβηγμα των καλωδίων αλλά και στις θέσεις αρμών διαστολής των γεφυρών, προβλέπονται μεταλλικά φρεάτια σύμφωνα με τα σχέδια λεπτομερειών. Αντίστοιχα στους τοίχους αναχαίτισης μορφώνονται φρεάτια μέσα στον τοίχο.
- (6) Από το ακροκιβώτιο (κοφρέ) κάθε ιστού θα ξεκινάει καλώδιο NYM 3X1,5mm<sup>2</sup> για την τροφοδότηση κάθε φωτιστικού σώματος του ιστού. Σε κάθε ακροκιβώτιο θα υπάρχουν οι ασφάλειες προστασίας των καλωδίων προς τα φωτιστικά, οι ακροδέκτες συνδέσεως των εισερχομένων και εξερχομένων καλωδίων, γειώσεως κλπ.
- (7) Κάθε Πίλλαρ και στεγανή διανομή θα γειωθεί μέσω μιας πλάκας γειώσεως. Από κάθε στεγανή διανομή θα ξεκινάει ο αγωγός γειώσεως για κάθε τροφοδοτική γραμμή, ο οποίος θα είναι γυμνός χαλκός διατομής 25mm<sup>2</sup>. Ο αγωγός γειώσεως θα τοποθετηθεί στο ίδιο χαντάκι με τον σωλήνα και το καλώδιο. Το ακροκιβώτιο κάθε στύλου θα συνδέεται με τον κύριο αγωγό γειώσεως, με ένα γυμνό χάλκινο αγωγό διατομής 6mm<sup>2</sup> και με ένα κατάλληλο γαλβανισμένο σφικτήρα. Στο τέλος κάθε τροφοδοτικής γραμμής, μετά τον τελευταίο ιστό, ο κύριος αγωγός γειώσεως (25mm<sup>2</sup>) θα γειώνεται ξανά, πάλι μέσω μιας πλάκας γειώσεως.
- (8) Κάθε Πίλλαρ θα χωρίζεται σε δυο μέρη από τα οποία, στο ένα θα εγκατασταθεί ο μετρητής της ΔΕΗ και η συσκευή Τ.Α.Σ. (Τηλεχειρισμός Ακουστικής Συχνότητας) και στο άλλο η στεγανή διανομή που θα περιλαμβάνει όλα τα όργανα διακοπής και προστασίας των γραμμών. Η εγκατάσταση θα λειτουργεί αυτόματα και οι εντολές (ON-OFF) θα δίνονται από την συσκευή ΤΑΣ σε επαφείς (CONTACTORS) που προβλέπεται να υπάρχουν μετά τον διακόπτη και ασφάλεια κάθε αναχωρούσης γραμμής.
- (9) Ειδικώς για τα φωτιστικά σώματα που τροφοδοτούνται από την σήραγγα, οι εντολές (ON-OFF) θα δίνονται από το SCADA.
- (10) Η τροφοδότηση των στεγανών διανομών μέσα στα Πίλλαρς θα γίνει από τα δίκτυα Χ.Τ. ή Μ.Τ. (μέσω μετασχηματιστή) της ΔΕΗ, ανάλογα με την θέση που βρίσκεται κάθε Πίλλαρ. Οι δαπάνες για την ηλεκτροδότηση των Πίλλαρς από την ΔΕΗ βαρύνουν τον Εργοδότη.

#### 13.4 ΔΙΚΤΥΑ ΤΗΛΕΦΩΝΟΔΟΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΟΤΕ

- (1) Τα δίκτυα αυτά προβλέπονται κατά μήκος της οδού παράκαμψης του Βόλου για να καλύψουν τις ακόλουθες μελλοντικές ανάγκες:
  - α. Εγκατάσταση τηλεφώνων ανάγκης (S.O.S) κατά μήκος του δρόμου και στις δυο κατευθύνσεις (τηλεφωνοδότηση).
  - β. Υπεραστικά δίκτυα ΟΤΕ



- (2) Στην φάση αυτή προβλέπεται η κατασκευή των υπόγειων δικτύων σωληνώσεων (για τα μελλοντικώς εγκατασταθησόμενα καλώδια) με τα φρεάτια τραβήγματος καλωδίων.
- (3) Τα δίκτυα σωληνώσεων θα περιλαμβάνουν:
  - α. Μια σωλήνωση από πολυαιθυλένιο Φ 90mm, 6atm (τηλεφωνοδότηση)
  - β. Δυο σωλήνες από πολυαιθυλένιο Φ 40mm, 10atm (ΟΤΕ)
- (4) Οι θέσεις των τηλεφώνων S.O.S. φαίνονται στα σχέδια. Σε κάθε θέση τηλεφώνου S.O.S. προβλέπεται φρεάτιο 400X500mm.
- (5) Φρεάτια τραβήγματος καλωδίων προβλέπονται και κατά μήκος των δικτύων σε αποστάσεις κατά μέγιστο 200m.

### 13.5 ΕΚΤΕΛΕΣΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΜΗ ΕΚΤΕΛΕΣΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

#### **Εκτελεσμένες εργασίες**

1. Βάσεις ιστού φωτισμού, φρεάτια σύνδεσης φωτισμού, σωληνώσεις διέλευσης καλωδίων φωτισμού, από Χ.Θ. 16+300 έως Χ.Θ. 17+784
2. Βάσεις ιστού φωτισμού και σωληνώσεις διέλευσης καλωδίων στους τοίχους αναχαίτισης καταπτώσεων ήτοι:
  - από Χ.Θ. 17+838,33 έως Χ.Θ. 17+914,48
  - από Χ.Θ. 18+048,64 έως Χ.Θ. 18+198,22
  - από Χ.Θ. 18+199,67 έως Χ.Θ. 18+212,13
  - από Χ.Θ. 18+223,14,67 έως Χ.Θ. 18+260,49
  - από Χ.Θ. 18+557,43 έως Χ.Θ. 18+629,38
  - Στην Π19 από Χ.Θ. 0+244,01 έως Χ.Θ. 0+408,34 αριστερά
  - Στην Π19 από Χ.Θ. 0+629,40 έως Χ.Θ. 0+764,43 αριστερά & δεξιά

#### **Μη εκτελεσμένες εργασίες**

Όλες οι εργασίες ηλεκτροφωτισμού εκτός από τις προαναφερθείσες

### Άρθρο 14: ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΡΑΣΙΝΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

#### 14.1 ΓΕΝΙΚΑ

- 14.1.1 (1) Για την διασφάλιση της ευστάθειας των πρανών, την προφύλαξη αυτών από τις διαβρώσεις, την περιβαλλοντική ένταση των έργων και γενικότερα την αύξηση της ασφάλειας της οδικής κυκλοφορίας και της λειτουργικότητας των έργων, στο συμβατικό αντικείμενο περιλαμβάνεται η εκτέλεση έργων εγκατάστασης πρασίνου και συντήρησης αυτού, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στην Ε.Σ.Υ.
- (2) Η εκτέλεση των εργασιών πρασίνου και προστασίας περιβάλλοντος θα γίνει από ειδικευμένο οίκο εκτέλεσης σχετικών εργασιών πρασίνου, που θα συμβληθεί με τον ανάδοχο του Έργου.
- 14.1.2 Τα έργα πρασίνου που θα εγκατασταθούν από την παρούσα εργολαβία αναφέρονται τόσο σε έργα μακροπρόθεσμης προστασίας, όσο και σε έργα βραχυμεσοπρόθεσμης προστασίας (υδροσπορές).  
Τα έργα μακροπρόθεσμης προστασίας αναφέρονται σε φυτεύσεις βαθύρριζων φυτών και θα γίνουν:
  - α. Σε όλες τις πλευρικές φυτικές λωρίδες της αρτηρίας και άλλων κύριων οδικών έργων.
  - β. Σε όλα τα πρανή επιχωμάτων οδικών έργων.
  - γ. Σε όλα τα πρανή μη βραχωδών ορυγμάτων των έργων.



- δ. Σε όλες τις «μπακίνες» των υψηλών (H>10 μ.) πρηνών βραχωδών ορυγμάτων, στις οποίες θα έχει γίνει τοποθέτηση φυτικών γαιών.
- ε. Στις τάφρους αναχαίτισης βραχωδών καταπτώσεων, ("βραχοπαγίδες"), στις οποίες θα έχει γίνει τοποθέτηση φυτικών γαιών.
- στ. Σε νησίδες της αρτηρίας και άλλων κύριων έργων.
- ζ. Στις περίπου οριζόντιες επιφάνειες, οπουδήποτε διαμορφώνονται (για τη συγκεκριμένη εργολαβία αναφέρεται ότι στην παρούσα περίπτωση κατατάσσεται και το εργοταξιακό πλάτυσμα που διαμορφώνεται μετά το ακρόβαθρο Α2 της Τ15).

- 14.1.3 Η εγκατάσταση του πρασίνου μακροπρόθεσμης προστασίας (φυτεύσεις βαθύρριζων φυτών, μετά την επένδυση με φυτική γη) θα πρέπει να έχει ολοκληρωθεί μέσα στη φυτευτική περίοδο που έπεται της ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΠΡΟΘΕΣΜΙΑΣ κατασκευής του έργου (με τις εγκεκριμένες παρατάσεις της).
- 14.1.4 Ο ανάδοχος θα είναι υποχρεωμένος να συντηρεί τα έργα πρασίνου "μακροπρόθεσμης προστασίας" μέχρι το πέρας της περιόδου υποχρεωτικής συντήρησης των έργων.
- 14.1.5 Όλες οι δαπάνες πρασίνου, και προστασίας του περιβάλλοντος, τόσο για έργα μακροπρόθεσμης προστασίας, όσο και τυχόν βραχυμεσοπρόθεσμης προστασίας ("υδροσπορές" κλπ), θα πληρωθούν με τις τιμές του Τιμολογίου Προσφοράς αυτού.
- 14.1.6 Όλες οι εργασίες πρασίνου βραχυμεσοπρόθεσμης προστασίας («υδροσποράς») και μακροπρόθεσμης προστασίας (φυτεύσεις βαθύρριζων φυτών) θα εκτελεσθούν σύμφωνα με την υπάρχουσα εγκεκριμένη φυτοτεχνική μελέτη, τα στοιχεία της οποίας στηρίζονται στα δεδομένα της ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ που έχει συνταχθεί.

#### 14.2 ΥΔΡΟΣΠΟΡΑ ΚΑΙ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ (ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΥΔΡΟΣΠΟΡΑ)

- 14.2.1. Οι εργασίες των υδροσπορών γίνονται με σκοπό:
  - α. Τη σταθεροποίηση επικλινών εδαφών, τη συγκράτηση του επιφανειακού χώματος και την αποφυγή ραγαδώσεων στην επιφάνεια του εδάφους, που προκαλούνται κυρίως από τις βροχοπτώσεις.
  - β. Την αναχλόαση των πρηνών και το άμεσο αισθητικό αποτέλεσμα που επιτυγχάνεται στο τραυματισμένο, από την κατασκευή του συγκοινωνιακού έργου, τοπίο και
  - γ. Συμπληρωματικά, για τη δημιουργία ευνοϊκότερων εδαφολογικών συνθηκών, με τη διατήρηση και βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους, για τις μελλοντικές φυτεύσεις βαθύρριζων φυτών που θα ακολουθήσουν, διότι εμπλουτίζεται το έδαφος με οργανικά (υπολείμματα ριζών κλπ.) και ανόργανα (άζωτο κλπ.) συστατικά και δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη των απαραίτητων για τα φυτά μικροοργανισμών.
- 14.2.2 Στην παρούσα σύμβαση προβλέπεται να εκτελεσθούν εργασίες υδροσποράς αχυροκάλυψης.
- 14.2.3 Ανάλυση σχετικά με το ποσοστό επιτυχίας των παραπάνω εργασιών, περιγραφή των επί μέρους εργασιών, επιμέτρηση και πληρωμή, χρόνο εκτέλεσης των εργασιών και λοιπές λεπτομέρειες αναφέρονται λεπτομερειακά στο Τιμολόγιο Μελέτης.
- 14.2.4 Το πεδίο εφαρμογής των υδροσπορών κλπ. προσδιορίζεται στη σχετική μελέτη φυτεύσεων, που κατά την κατασκευή θα μπορεί να τροποποιηθεί εφόσον το απαιτήσουν οι τοπικές συνθήκες, σύμφωνα με τις εντολές της Υπηρεσίας.

#### 14.3 ΜΟΝΙΜΕΣ ΦΥΤΕΥΣΕΙΣ

- 14.3.1 Οι "Μόνιμες Φυτεύσεις" αναφέρονται στις φυτεύσεις "μακροπρόθεσμης προστασίας" με βαθύρριζα φυτά σύμφωνα με την παραπάνω παράγραφο 15.1.2.



- 14.3.2 Η εγκατάσταση των μόνιμων φυτεύσεων θα γίνει σύμφωνα με την εγκεκριμένη ειδική φυτοτεχνική μελέτη (μελέτη φυτεύσεων) σύμφωνα με όσα αναφέρονται στην παραπάνω παρ. 15.1.7 και 15.1.8 της παρούσας.
- 14.3.3 Λεπτομέρειες του φυτικού υλικού που θα χρησιμοποιηθεί περιλαμβάνονται στη μελέτη φυτεύσεων.

#### **Άρθρο 15: ΠΑΡΑΛΛΑΓΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ Ο.Κ.Ω.**

- 15.1 Κατά την κατασκευή των έργων προβλέπεται να γίνουν περιορισμένες μετακινήσεις εναέριων γραμμών Ο.Τ.Ε. από τις οποίες ο Ανάδοχος αυτής της εργολαβίας θα εκτελέσει τις εργασίες τοποθέτησης ξύλινων στύλων. Τις καλωδιακές εργασίες θα εκτελέσει το προσωπικό του Ο.Τ.Ε., το οποίο θα εποπτεύει και τις σχετικές εργασίες που θα εκτελεσθούν από τον Ανάδοχο κατασκευής του οδικού έργου.  
Σε περίπτωση που γίνει σχετική συνεννόηση μεταξύ της Υπηρεσίας και της Δ.Ε.Η. για την εκτέλεση παρόμοιων εργασιών, ο Ανάδοχος είναι υποχρεωμένος να εκτελέσει και τις αντίστοιχες εργασίες για τις οποίες θα διαταχθεί, οι οποίες θα πληρωθούν με τις τιμές μονάδας των αντίστοιχων εργασιών του Τιμολογίου Προσφοράς.
- 15.2 Εκτός από τις εργασίες που περιγράφηκαν παραπάνω στην παράγρ. 16.1, είναι δυνατόν να εκτελεσθούν και διάφορες άλλες εργασίες αποκατάστασης, συμπλήρωσης, παραλλαγής κλπ. δικτύων και εγκαταστάσεων Ο.Κ.Ω., που θα πληρωθούν με τις τιμές μονάδας των αντιστοιχών εργασιών του Τιμολογίου Προσφοράς του Αναδόχου.  
Από τις εργασίες αυτές μερικές (κυρίως κατηγορίας έργων Πολιτικού Μηχανικού) είναι δυνατόν να εκτελεσθούν ύστερα από εντολή της Υπηρεσίας από τον Ανάδοχο αυτής της εργολαβίας.  
Τέτοιες εργασίες αναφέρονται ενδεικτικά:
- Εκακαφές θεμελίων (κατασκευή φρεατίων κλπ.) και τάφρων τοποθέτησης αγωγών Ο.Κ.Ω., διερευνητικών τομών κλπ.
  - Κατασκευή σωληνώσεων διέλευσης καλωδίων ή/και άλλων αγωγών.
  - Κατασκευή σκυροδεμάτων (σάπλων ή/και σπλισμένων) περιβλημάτων ή/και προστασίας αγωγών, κατασκευής φρεατίων κλπ.
  - Ανάσχυση και τοποθέτηση καλωδίων Ο.Κ.Ω.
  - Προστασία καλωδίων και άλλων αγωγών ή/και σωληνώσεων με άμμο ή/και τούβλα.
  - Χυτοσιδηρά καλύμματα και σιδηρά είδη φρεατίων σύμφωνα με τις οδηγίες των Ο.Κ.Ω. και τις εντολές της Επιβλέψουσας Υπηρεσίας.
  - Λοιπές εργασίες σύμφωνα με τις εντολές της Επιβλέπουσας Υπηρεσίας.
- 15.3 Για τους παραπάνω αγωγούς και λοιπές εγκαταστάσεις των Ο.Κ.Ω. θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή με στενή συνεργασία και συνεννόηση με τους αντίστοιχους Οργανισμούς για να προγραμματισθούν και κατασκευασθούν οι σχετικές εργασίες μαζί με την κατασκευή του έργου.
- 15.4 Όλες οι παραπάνω εργασίες παραλλαγών δικτύων Ο.Κ.Ω. περιλαμβάνονται στο συμβατικό αντικείμενο των έργων.