

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

**ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

**«Μοντέλα και τεχνικές ανάλυσης ατυχημάτων σε οδικές  
σήραγγες»**

Σπήλιος Λεωνίδας

Επιβλέπων Καθηγητής: Κηρυτόπουλος Κωνσταντίνος

ΑΘΗΝΑ

Ιούλιος 2013

---

**Έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον Οδηγό συγγραφής Διπλωματικών εργασιών. Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας Διπλωματικής εργασίας είναι προϊόν δικής μου δουλειάς και υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα.**

***Σπήλιος Λεωνίδας***

---

## Περιεχόμενα

<b>1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ</b> .....	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΣΕ ΟΔΙΚΕΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ</b> <b>12</b>	
3.1	ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΟΔΙΚΕΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ .....	13
3.1.1	<i>Οδικές σήραγγες στην Ελλάδα</i> .....	26
3.2	ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΣΕ ΟΔΙΚΕΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ- ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΠΛΕΟΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ .....	27
3.2.1	<i>Περιγραφή ατυχήματος στη σήραγγα Mont Blanc</i> .....	27
3.2.2	<i>Περιγραφή ατυχήματος στη σήραγγα Tauern</i> .....	39
3.2.3	<i>Περιγραφή ατυχήματος στη σήραγγα St. Gotthard</i> .....	44
3.3	ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΟΔΙΚΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ .....	50
3.3.1	<i>Ως χρήστης</i> .....	51
3.3.2	<i>Ως χειριστής του κέντρου ελέγχου</i> .....	53
3.3.3	<i>Ως διασώστης</i> .....	55
<b>4</b>	<b>ΜΕΘΟΟΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ &amp; ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ –</b> <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ</b> .....	<b>57</b>
4.1	ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ (ACCIDENT INVESTIGATION METHODS).....	57
4.1.1	<i>Τα βασικά στάδια μιας μεθόδου διερεύνησης</i> .....	59
4.2	ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ .....	62
4.2.1	<i>Γραμμικά μοντέλα</i> .....	63
4.2.2	<i>Επιδημιολογικά Μοντέλα</i> .....	65
4.2.3	<i>Συστημικά Μοντέλα</i> .....	69
<b>5</b>	<b>ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΠΛΕΟΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ</b> <b>ΟΔΙΚΕΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ</b> .....	<b>73</b>
5.1	ΤΟ ΑΤΥΧΗΜΑ ΣΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤ BLANC .....	75
5.1.1	<i>Ανάλυση με Fault tree</i> .....	75
5.1.2	<i>Ανάλυση με τη HFACS (μοντέλο Reason)</i> .....	78
5.1.3	<i>Ανάλυση με το μοντέλο STAMP</i> .....	79
5.2	ΤΟ ΑΤΥΧΗΜΑ ΣΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑ ΤΟΥ ΤΑΥΕΡΝ.....	83
5.2.1	<i>Ανάλυση με Fault tree</i> .....	83
5.2.2	<i>Ανάλυση με τη HFACS (μοντέλο Reason)</i> .....	85
5.3	ΤΟ ΑΤΥΧΗΜΑ ΣΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑ ΤΟΥ ST. GOTTHARD .....	86
5.3.1	<i>Ανάλυση με Fault tree</i> .....	86
5.3.2	<i>Ανάλυση με τη HFACS (μοντέλο Reason)</i> .....	88
<b>6</b>	<b>ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	<b>89</b>
<b>7</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	<b>93</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΩΝ</b> <b>ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΟΔΙΚΕΣ ΣΗΡΑΓΓΕΣ</b> .....	<b>98</b>

---

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 3.1 Ποσοστό θανατηφόρων ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες.....	25
Εικόνα 3.2 Ποσοστό ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες με τουλάχιστον ένα νεκρό ή τραυματία.....	25
Εικόνα 3.3 Ποσοστό θανατηφόρων ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες με εκδήλωση φωτιάς.....	26
Εικόνα 3.4 Η σήραγγα του Mont Blanc μετά το ατύχημα.....	29
Εικόνα 3.5 Το σημείο που σταμάτησε το φορτηγό εντός της σήραγγας.....	32
Εικόνα 3.6 Η είσοδος ενός καταφυγίου μετά το τέλος της φωτιάς.....	36
Εικόνα 3.7 Ένα από τα φορτηγά που κάηκαν ολοσχερώς.....	38
Εικόνα 3.1 Το εσωτερικό της σήραγγας του Tauern μετά την καταστροφή.....	41
Εικόνα 3.9 Σημείο ατυχήματος εντός της σήραγγας του Tauern.....	42
Εικόνα 3.10 Πορεία φορτηγού πριν τη σύγκρουση.....	46
Εικόνα 3.11 Η πρώτη φωτογραφία που τραβήχτηκε ενώ το ατύχημα στη σήραγγα St. Gotthard ήταν σε εξέλιξη.....	47
Εικόνα 3.12 Συνεργεία διάσωσης στο εσωτερικό της σήραγγας μετά την κατάσβεση της φωτιάς.....	49
Εικόνα 3.13 Μοντέλο με χρονική ακολουθία διαστημάτων για εκκένωση σήραγγας από χρήστες.....	53
Εικόνα 4.1 Το μοντέλο του Ντόμινο σύμφωνα με τον Heinrich.....	63
Εικόνα 4.2 Το μοντέλο του Ελβετικού τυριού κατά Reason.....	67
Εικόνα 4.3 Κατηγορίες ταξινόμησης αστοχιών στην HFACS.....	68
Εικόνα 4.4 Το ιεραρχικό μοντέλο του Rasmussen.....	70
Εικόνα 4.5 Ταξινόμηση λανθασμένων περιορισμών ελέγχου.....	71
Εικόνα 5.1 Ανάλυση ατυχήματος στη σήραγγα Mont Blanc με FT (1).....	75
Εικόνα 5.2 Ανάλυση ατυχήματος στη σήραγγα Mont Blanc με FT (2).....	76
Εικόνα 5.3 Ανάλυση ατυχήματος στη σήραγγα Mont Blanc με FT (3).....	77
Εικόνα 5.4 Αποτελέσματα ανάλυσης ατυχήματος Mont Blanc με HFACS.....	78
Εικόνα 5.5 Ιεραρχικό δομικό διάγραμμα εφαρμογής περιορισμών ελέγχου στη σήραγγα Mont Blanc.....	79
Εικόνα 5.6 Απαιτήσεις και περιορισμοί ελέγχου του κάθε επιπέδου.....	80
Εικόνα 5.7 Ανάλυση με το μοντέλο STAMP για το ρόλο των χρηστών, των χειριστών των κέντρων ελέγχου και των διασσωστικών δυνάμεων.....	81

---

Εικόνα 5.8 Ανάλυση με το μοντέλο STAMP για το ρόλο της Διακυβερνητικής Επιτροπής, τη κοινής Επιτροπής Διοίκησης και των δυο εταιριών λειτουργίας.....	82
Εικόνα 5.9 Ανάλυση ατυχήματος στη σήραγγα Tauern με FT (1).....	83
Εικόνα 5.10 Ανάλυση ατυχήματος στη σήραγγα Tauern με FT (2).....	84
Εικόνα 5.11 Αποτελέσματα ανάλυσης ατυχήματος Tauern με HFACS.....	85
Εικόνα 5.12 Ανάλυση ατυχήματος στη σήραγγα St. Gotthard με FT (1).....	86
Εικόνα 5.13 Ανάλυση ατυχήματος στη σήραγγα St. Gotthard με FT (2).....	87
Εικόνα 5.14 Αποτελέσματα ανάλυσης ατυχήματος St. Gotthard με HFACS.....	88

---

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Συνοπτική περιγραφή ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες.....	14
Πίνακας 2 Χρονική ακολουθία σημαντικότερων γεγονότων του ατυχήματος στη σήραγγα Mont Blanc.....	34
Πίνακας 3 Χρονική ακολουθία σημαντικότερων γεγονότων του ατυχήματος στη σήραγγα Tauern.....	43
Πίνακας 4 Χρονική ακολουθία σημαντικότερων γεγονότων του ατυχήματος στη σήραγγα St. Gotthard.....	48
Πίνακας 5 Οι πιο διαδεδομένες τεχνικές ανάλυσης.....	58
Πίνακας 6 Τα βασικά σύμβολα της μεθόδου FTA.....	65

---

## Έποψη

Τα ατυχήματα που συνέβησαν τα τελευταία χρόνια σε οδικές σήραγγες, με αποκορύφωμα τα τρία μεγαλύτερα στον ευρωπαϊκό χώρο την τριετία 1999-2001 στις σήραγγες Mont Blanc, Tauern, St. Gotthard που συνολικά στοίχισαν τη ζωή 62 ανθρώπων, συγκλόνισαν τη κοινή γνώμη και την επιστημονική κοινότητα αναδεικνύοντας τα κενά ασφαλείας που υπήρχαν. Η Ε.Ε. αντιλαμβανόμενη το πρόβλημα εξέδωσε την κοινοτική οδηγία 2004/54 (στη χώρα μας προσαρμόστηκε και παρουσιάστηκε στο Π.Δ. 230/2007) που καθόριζε τα στοιχειώδη όρια που πρέπει να τηρούν οι χώρες-μέλη ενώ κατέστησε υποχρεωτική και θέμα μείζονος σημασίας την ανάλυση ατυχημάτων που συμβαίνουν εντός μιας σήραγγας.

Η μελέτη των ατυχημάτων βοηθά στην βελτίωση του επιπέδου ασφαλείας διότι αναδεικνύει τα λάθη και τις παραλείψεις, φωτίζοντας τις περιοχές που πρέπει να ληφθούν διορθωτικά μέτρα προκειμένου να μην επαναληφθούν παρόμοια περιστατικά στο μέλλον. Ωστόσο η εύρεση του συνόλου των αιτιών δεν είναι εύκολη υπόθεση καθώς οι οδικές σήραγγες αποτελούν ένα πολύπλοκο κοινωνικοτεχνικό σύστημα με πολλά επίπεδα ιεραρχίας (Κυβέρνηση, Διοικητική Αρχή-Υπουργείο Μεταφορών, Διαχειριστής σήραγγας, Χειριστές κέντρου ελέγχου, Διασωστικές δυνάμεις, Χρήστες) με έντονες αλληλοσυνδέσεις, πολλαπλή συμμετοχή του ανθρώπινου παράγοντα και ισχυρή εξάρτηση με τεχνολογικές διατάξεις.

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας παρουσιάσαμε μοντέλα και τεχνικές ανάλυσης ατυχημάτων μελετώντας την εξέλιξή τους στη διάρκεια των χρόνων. Διαχωρίσαμε τα μοντέλα σε τρεις μεγάλες κατηγορίες *γραμμικά*, *επιδημιολογικά* και *συστημικά*, παρουσιάζοντας τα πλεονεκτήματα και τις αδυναμίες τους. Επιλέγοντας μία αντιπροσωπευτική τεχνική ανάλυσης από κάθε κατηγορία, προχωρήσαμε σε πρακτική εφαρμογή τους στα 3 σημαντικότερα ατυχήματα που έλαβαν χώρα σε σήραγγες της Ε.Ε. Στόχος ήταν ο εντοπισμός αιτιών και παραγόντων που συνέβαλαν στα ατυχήματα σε όποιο επίπεδο ιεραρχίας και να υπάγονταν -από το επίπεδο του χρήστη ως της Κυβέρνησης- ενώ ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στη κατανόηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς καθώς ο άνθρωπος αποτελεί τόσο το δημιουργό όσο και τον αποδέκτη των συνεπειών ενός περιστατικού.

---

## 1 Εισαγωγή

Το οδικό δίκτυο μιας χώρας αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο για τη μεταφορά των ανθρώπων και τη διακίνηση των αγαθών της ενώ μέσα στο σημερινό πλαίσιο των σύγχρονων οικονομιών και της παγκόσμιας αγοράς, η σπουδαιότητά του είναι αυξανόμενη. Οι οδικές σήραγγες αποτελώντας αναπόσπαστο κομμάτι του συνολικού δικτύου βελτιώνουν την ποιότητα των συγκοινωνιών αλλά ταυτόχρονα επηρεάζουν άμεσα και το επίπεδο ασφαλείας του συστήματος.

Αν και τα ατυχήματα που συμβαίνουν σε ανοιχτά τμήματα του οδικού δικτύου είναι συχνότερα από αυτά που συμβαίνουν εντός των σηράγγων ανά μονάδα κυκλοφοριακού έργου, οι συνέπειες από την εξέλιξη ενός ατυχήματος εντός μιας σήραγγας είναι κατά μέσο όρο δυσμενέστερες από ότι ένα αντίστοιχο στον ανοιχτό δρόμο (Papaioannou και Georgiou 2008). Το κλειστό περιβάλλον της συντελεί στην απρόβλεπτη εξέλιξη ενός γεγονότος καθώς ιδιαίτερα η ανάπτυξη φωτιάς και η έκλυση καπνού σε περιορισμένο χώρο είναι ικανά να δημιουργήσουν ταχύτατα θανάσιμες συνθήκες. Στα τρία μεγαλύτερα ατυχήματα σε σήραγγες σε χώρες της Ε.Ε με δημιουργία φωτιάς την τριετία 1999-2001 (Mont Blanc, Tauern, St. Gotthard) υπήρξαν 62 νεκροί (Beard και Carvel 2005).

Το μέγεθος και οι συνέπειες των τριών αυτών ατυχημάτων συγκλόνισαν τόσο την κοινή γνώμη όσο και την επιστημονική κοινότητα καθώς ανέδειξαν τα κενά ασφαλείας που υπήρχαν. Οι σήραγγες είναι ένα πολύπλοκο κοινωνικοτεχνικό σύστημα όπου η ασφάλειά του εξαρτάται από την αλληλεπίδραση μεταξύ του ίδιου (υποδομές, διοίκηση και διαδικασίες, χειριστές κέντρου ελέγχου) και των χρηστών που ανταποκρίνονται στα ερεθίσματα που λαμβάνουν (PIARC 2008). Η μελέτη των ατυχημάτων που έχουν συμβεί σε μια σήραγγα βοηθά καταλυτικά στη βελτίωση του επιπέδου ασφαλείας διότι αναδεικνύει τα λάθη και τις παραλείψεις που έγιναν, φωτίζοντας τις περιοχές που πρέπει να ληφθούν διορθωτικά μέτρα προκειμένου να μην επαναληφθούν παρόμοια περιστατικά στο μέλλον (Sklet 2002).

Η ανάλυση ατυχημάτων στις σήραγγες, πέρα από ερευνητικό και επιστημονικό ενδιαφέρον, απέκτησε και πολιτικό χαρακτήρα καθώς έγινε υποχρέωση για τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.) μέσω της Κοινοτικής Οδηγίας 2004/54 της 29<sup>ης</sup> Απριλίου 2004, η οποία προσαρμόστηκε και δημοσιεύθηκε στην Εφημερίδα της Κυβέρνησης της Ελληνικής Δημοκρατίας στις 23 Νοεμβρίου 2007 (Π.Δ 230/2007). Η οδηγία επηρεάζει και αφορά άμεσα και την Ελλάδα καθώς στο πλαίσιο βελτίωσης του οδικού δικτύου της χώρας μας τα τελευταία χρόνια, η εκτέλεση αναπτυξιακών



---

έργων έχει πολλαπλασιάσει τον συνολικό αριθμό των σηράγγων με αποτέλεσμα η Ελλάδα να είναι τέταρτη χώρα σε ιεράρχηση στην Ε.Ε. ως προς τον αριθμό των σηράγγων μήκους 500 μέτρων και άνω (Kirytopoulos και λοιποί 2010).

Η κοινοτική οδηγία προκειμένου να καθορίσει ένα ενιαίο πλαίσιο ασφαλείας για όλα τα κράτη θέτει τα ελάχιστα, στοιχειώδη όρια για όλες τις σήραγγες από 500 μ. και άνω, είτε αυτές λειτουργούν είτε βρίσκονται στο στάδιο μελέτης ή/και σχεδιασμού. Θα επικεντρώσουμε το ενδιαφέρον μας στην ανάλυση ατυχημάτων, ξεκινώντας από το άρθρο 5 όπου ορίζεται ότι ο Διαχειριστής της σήραγγας οφείλει να συντάσσει έκθεση για κάθε σημαντικό ατύχημα που λαμβάνει χώρα εντός της, περιλαμβάνοντας τα συμπεράσματα που μπορούν να προκύψουν. Η αξιολόγηση του κάθε περιστατικού είναι κατά κύριο λόγο ευθύνη του Αρμόδιου Ασφαλείας όπως ορίζεται από το άρθρο 6. Ωστόσο η κυριότερη απαίτηση που τίθεται από την οδηγία 2004/54 και θέτει την ανάλυση ατυχημάτων θέμα μείζονος σημασίας, καταγράφεται στην παράγραφο 1 του άρθρου 15:

*<<Ανά διετία η Διοικητική Αρχή συντάσσει έκθεση για περιστατικά που συνέβησαν στα σήραγγες (όπως πυρκαγιές και ατυχήματα) τα οποία σαφώς θίγουν την ασφάλεια των χρηστών των σηράγγων και για τη συχνότητα και τα αίτια των περιστατικών αυτών. Η έκθεση αξιολογεί τα περιστατικά και παρέχει πληροφορίες για τον πραγματικό ρόλο και την αποτελεσματικότητα των εγκαταστάσεων και των μέτρων ασφαλείας. Η έκθεση διαβιβάζεται στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή μέχρι το τέλος του μηνός Σεπτεμβρίου του έτους που ακολουθεί το έτος το οποίο καλύπτει η έκθεση.>>*

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αν και η οδηγία θέτει ξεκάθαρα τους στόχους που πρέπει να επιτύχουμε κατά την ανάλυση ατυχημάτων, δεν καθορίζει με σαφήνεια τους τρόπους που θα οδηγήσουν στην επίτευξη τους. Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να καλύψει ένα τμήμα αυτού του κενού, επικεντρώνοντας κυρίως σε δυο σημεία:

1. Να παρουσιάσει μοντέλα και τεχνικές κατάλληλα για την ανάλυση ατυχημάτων σε σήραγγες. Τα μοντέλα για ένα πολύπλοκο σύστημα όπως είναι αυτό των σηράγγων, πρέπει να είναι σε θέση να αποτυπώσουν τις αλληλεξαρτήσεις και τις συνδέσεις μεταξύ των επιπέδων με τελικό ζητούμενο τον εντοπισμό όλων των αιτιών και των λανθανουσών συνθηκών που οδήγησαν σε ένα συμβάν. Η αναζήτηση αιτιών δεν πρέπει να περιορίζεται

---

στις προφανείς αιτίες αλλά πρέπει να εκτείνεται σε βάθος από το επίπεδο των χρηστών μέχρι το επίπεδο της Κυβέρνησης.

2. Στη μελέτη και κατανόηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς που εμπλέκεται σε όλες τις φάσεις εξέλιξης ενός ατυχήματος καθώς ο άνθρωπος αποτελεί τόσο το δημιουργό όσο και τον αποδέκτη των συνεπειών του, είτε ως χρήστης (οδηγοί και επιβάτες), είτε ως χειριστής του κέντρου ελέγχου ή ως διασώστης. Δίνεται έμφαση στον εντοπισμό των διαφορών μεταξύ των προσδοκώμενων και των πραγματικών συμπεριφορών όλων των εμπλεκόμενων προσώπων αφού αναδεικνύοντας και καταγράφοντας τις λανθασμένες συμπεριφορές, μπορούμε να λάβουμε διορθωτικά μέτρα ενώ είμαστε σε θέση να τις χρησιμοποιήσουμε για να βελτιώσουμε το σχεδιασμό και τη λειτουργία των σηράγγων καθώς και τις διαδικασίες εκπαίδευσης όλων των εμπλεκόμενων προσώπων (PIARC 2011).

Η δομή της διπλωματικής εργασίας περιγράφεται παρακάτω. Στο κεφάλαιο 2 αναλύεται η μέθοδος έρευνας που ακολουθήθηκε ενώ το κεφάλαιο 3 περιέχει συνοπτική καταγραφή ατυχημάτων σε σήραγγες σε παγκόσμια κλίμακα, ακολουθεί αναλυτική περιγραφή των τριών σημαντικότερων που έλαβαν χώρα στην Ε.Ε ενώ κλείνει μελετώντας την συμμετοχή του ανθρώπινου παράγοντα. Στο κεφάλαιο 4 περιγράφονται οι μέθοδοι διερεύνησης και η ταξινόμηση των μοντέλων ανάλυσης ατυχημάτων ενώ στο κεφάλαιο 5 που ακολουθεί πραγματοποιείται η μοντελοποίηση των τριών μεγαλύτερων ατυχημάτων. Τέλος, στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται σχολιασμός των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν και αναφέρονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν.

---

## 2 Μέθοδος έρευνας

Αρχικά πραγματοποιήθηκε μια εκτεταμένη μελέτη της βιβλιογραφίας προκειμένου να εντοπιστούν και να κατανοηθούν οι παράγοντες που επηρεάζουν το επίπεδο ασφαλείας του συστήματος των σιδηρόδρομων, με επίκεντρο έρευνες που αφορούν τη συμμετοχή και την επιρροή του ανθρώπινου παράγοντα σε ατυχήματα είτε ως χρήστη, χειριστή του κέντρου ελέγχου ή διασώστη.

Για να αξιολογηθεί η σημασία των ατυχημάτων και η ανάγκη για διερεύνησή τους παρουσιάστηκε μια συνοπτική περιγραφή των σημαντικότερων από το 1949 έως σήμερα. Αποφασίστηκε η περαιτέρω έρευνα και αναλυτική περιγραφή των τριών μεγαλύτερων ατυχημάτων που συνέβησαν στον ευρωπαϊκό χώρο (Mont Blanc, Tauern, St. Gotthard), χρησιμοποιώντας ως κριτήρια τις συνέπειες που προκάλεσαν (ανθρώπινες απώλειες και τραυματισμούς, υλικές - οικονομικές ζημιές) και τη σημασία που είχαν τόσο για την επιστημονική κοινότητα όσο και για την κοινή γνώμη.

Ακολούθησε η βιβλιογραφική αναζήτηση διαθέσιμων τεχνικών διερεύνησης, δίνοντας έμφαση στα μοντέλα ανάλυσης και στην κατηγοριοποίησή τους σε τρεις μεγάλες κατηγορίες *γραμμικά*, *επιδημιολογικά* και *συστημικά*, στηριζόμενοι στην εξέλιξή τους στη πορεία των χρόνων. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η μοντελοποίηση των τριών ατυχημάτων τέθηκε το ερώτημα ποιες τεχνικές ανάλυσης θα χρησιμοποιήσουμε. Για πιο αξιόπιστα αποτελέσματα και για να μελετήσουμε τις διαφορετικές προσεγγίσεις επιλέχθηκαν οι :

- Ανάλυση Δέντρου Αιτιών- Fault Tree Analysis
- Ανάλυση και Ταξινόμηση Ανθρώπινων και Συστημικών Παραγόντων- HFACS, που στηρίζεται στο μοντέλο Ελβετικού τυριού του Reason
- Ανάλυση στηριζόμενη στο μοντέλο STAMP

έτσι ώστε το μοντέλο στο οποίο στηρίζεται η κάθε μια να εκπροσωπεί τις κατηγορίες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Αν και ιδανικός στόχος ήταν η μοντελοποίηση του κάθε ατυχήματος με κάθε τεχνική, η έλλειψη δεδομένων για τα ατυχήματα στις σιδηρόδρομους του Tauern και του St. Gotthard κατέστησαν δύσκολη την ανάλυση τους με τη συστημική μέθοδο αφού θα προκύπτανε αμφίβολα αποτελέσματα. Τέλος μετά το πέρας των αναλύσεων ακολούθησε σχολιασμός των συμπερασμάτων.

---

### 3 Ατυχήματα σε οδικές σήραγγες - Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Η βελτίωση του επιπέδου ασφαλείας του συστήματος των σηράγγων και η διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας αποτελούν κομβικής σημασίας ζητήματα και η κοινοτική οδηγία 2004/54 κινείται προς αυτή τη κατεύθυνση, θέτοντας τις στοιχειώδεις προδιαγραφές που πρέπει να τηρούνται από τα κράτη-μέλη. Άλλωστε η Ε.Ε. εξέδωσε την οδηγία αναγνωρίζοντας τα κενά ασφαλείας που υπήρχαν και τη σοβαρότητα των συνεπειών που μπορεί να προκαλέσει η δημιουργία ενός ατυχήματος εντός της σήραγγας και ιδιαίτερα όταν συνοδεύεται από εκδήλωση φωτιάς, όπως κατέδειξαν με emphaticό τρόπο 3 ατυχήματα μεταξύ 1999 και 2001 που στοίχισαν τις ζωές 62 ανθρώπων (Beard και Carvel 2005).

Η ασφάλεια της σήραγγας εξαρτάται από την αλληλεπίδραση μεταξύ του συστήματος της σήραγγας (υποδομές, διοίκηση και διαδικασίες, χειριστές κέντρου ελέγχου) και των χρηστών που αντιδρούν στα ερεθίσματα που δέχονται από το σύστημα (PIARC 2008). Η κατάσταση των οχημάτων και τα φορτία που μεταφέρουν είναι επίσης κρίσιμοι παράγοντες. Τα τελευταία χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί έρευνες που επιχειρούν από τη μία να κατανοήσουν την ανθρώπινη συμπεριφορά των εμπλεκόμενων προσώπων (αναλυτική περιγραφή στην ενότητα **3.3**) και από την άλλη να προτείνουν διορθωτικά μέτρα στις υποδομές και στο τρόπο λειτουργίας της σήραγγας, επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον στα θέματα (CETU 2010) :

- έλεγχος της κυκλοφορίας
- λειτουργία του συστήματος εξαερισμού
- δυνατότητες εκκένωσης σε περίπτωση κινδύνου
- αντίδραση συστημάτων σε περίπτωση φωτιάς
- ανταλλαγή πληροφοριών
- διαδικασίες ασφαλείας

Ο αυστηρός προσδιορισμός ενός ενιαίου πλαισίου δεν είναι εύκολη υπόθεση καθώς υπάρχουν σήραγγες που έχουν κατασκευαστεί πριν δεκαετίες, σχεδιασμένες η κάθε μια με διαφορετικά χαρακτηριστικά όπως είναι το μήκος, η γεωμετρία, αν είναι μονής ή διπλής κυκλοφορίας, οι λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση, το είδος του συστήματος εξαερισμού, η ύπαρξη παράλληλης στοάς έκτακτης ανάγκης ή χώρων στάθμευσης.

---

### 3.1 Καταγραφή ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες

Η μελέτη ατυχημάτων που έχουν συμβεί στο παρελθόν έχει καθοριστική αξία διότι αναδεικνύει τα λάθη και τις παραλείψεις του κάθε εμπλεκόμενου στο σύστημα προκειμένου να ληφθούν διορθωτικά μέτρα και να μην επαναληφθούν παρόμοια περιστατικά στο μέλλον. Η μελέτη δεν πρέπει να αφορά μόνο τα ατυχήματα μεγάλης κλίμακας αλλά και μικρότερης διότι στοιχεία που ενδεχομένως για ένα συγκεκριμένο ατύχημα να θεωρούνται αδιάφορα, όταν καταγράφονται και παρουσιάζονται σε πολλές περιπτώσεις φωτίζουν συγκεκριμένες περιοχές (Krausmann και Mushtaq 2009). Η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων και η κοινοποίηση των πληροφοριών διευκολύνει την επίτευξη του στόχου της αποτελεσματικής ανάδρασης από το παρελθόν και της ενημέρωσης όλων των αρμόδιων φορέων (Tesson 2010).

Στον **Πίνακα 1** που ακολουθεί παρουσιάζεται συνοπτική καταγραφή και βασικά στοιχεία ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες από το 1949 έως το 2012 σε παγκόσμια κλίμακα και συντάχθηκε στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας του Π.Παπαπαύλου (2012). Για κάθε ατύχημα αναφέρονται η ημερομηνία και η χώρα που συνέβη, το όνομα και το μήκος της σήραγγας, ο αριθμός των θυμάτων και των τραυματιών και εάν υπήρξε εκδήλωση φωτιάς εξαιτίας της σημασίας της στην εξέλιξη ενός περιστατικού. Είναι προφανές ότι ο πίνακας δεν συγκεντρώνει το σύνολο των ατυχημάτων που έχουν συμβεί στο κόσμο αυτή τη χρονική περίοδο αλλά καταγράφει ένα μεγάλο κομμάτι αυτών που έχουν δοθεί στη δημοσιότητα και έχουν γίνει αντικείμενο μελέτης σημαντικών ερευνών λόγω της σημασίας και των συνεπειών που προκάλεσαν.

Στο Παράρτημα που βρίσκεται στο τέλος της παρούσας εργασίας υπάρχει αναλυτική περιγραφή για τα σημαντικότερα ατυχήματα του πίνακα (εξαιρώντας τα τρία μεγαλύτερα του ευρωπαϊκού χώρου που περιγράφονται στην ενότητα **3.2**). Το ενδιαφέρον μας επικεντρώθηκε σε αυτά που προκάλεσαν ανθρώπινες απώλειες, τραυματισμούς, αξιοσημείωτες υλικές ζημιές ενώ είχαν αντίκτυπο στη κοινή γνώμη. Επιπλέον κριτήρια αποτέλεσαν το πλήθος και η αξιοπιστία των πηγών που ήταν διαθέσιμες στη βιβλιογραφία.

Πίνακας 1 Συνοπτική περιγραφή ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες

Ημερομηνία	Όνομα σήραγγας	Μήκος σήραγγας (σε χιλιόμετρα)	Περιοχή/ Χώρα	Αριθμός τραυματιών	Αριθμός νεκρών	Εκδήλωση φωτιάς
13/05/1949	Holland	2,55	Νέα Υόρκη, ΗΠΑ	66	0	Ναι
01/01/1965	Blue Mountain	1,30	ΗΠΑ	0	0	Ναι
06/03/1967	Suzaka	0,24	Ιαπωνία	2	0	Ναι
31/08/1968	Moorfleet	0,24	Αμβούργο, Γερμανία	0	0	Ναι
01/10/1970	Wallace	1,00	Alabama I -10, ΗΠΑ	0	0	Ναι
28/01/1974	Mont Blanc	11,60	Γαλλία – Ιταλία	1	0	Ναι
03/04/1974	Chesapeake Bay	1,60	ΗΠΑ	1	0	Ναι
14/08/1975	Guadarrama	3,30	Ισπανία	0	0	Ναι
11/08/1976	Crossing BP - A6	0,43	Παρίσι, Γαλλία	12	0	Ναι
21/09/1976	San Bernardino	6,60	Ελβετία	0	0	Ναι
23/03/1978	Baltimore Harbour Freeway		ΗΠΑ	0	0	Ναι
15/04/1978	Mont Blanc	11,60	Γαλλία – Ιταλία	0	0	Ναι
11/08/1978	Velsen	0,77	Haarlem, Ολλανδία	5	5	Ναι
11/07/1979	Nihonzaka	2,05	Shitzuoka, Ιαπωνία	2	7	Ναι
17/04/1980	Kajiwara	0,74	Ιαπωνία	0	1	Ναι

Ημερομηνία	Όνομα σήραγγας	Μήκος σήραγγας (σε χιλιόμετρα)	Περιοχή/ Χώρα	Αριθμός τραυματιών	Αριθμός νεκρών	Εκδήλωση φωτιάς
15/07/1980	Sakai	0,46	Ιαπωνία	5	5	Ναι
17/09/1981	Mont Blanc	11,60	Γαλλία – Ιταλία	0	0	Ναι
1982	Lafontaine	1,39	Canada	0	1	Ναι
07/04/1982	Caldecott	1,03	Oakland, ΗΠΑ	2	7	Ναι
03/11/1982	Salang	2,60	Kabul, Αφγανιστάν	0	176 - 2000	Ναι
01/02/1983	Pecorila Galleria	0,66	Genes, Ιταλία	22	9	Ναι
03/02/1983	Frejus	12,90	Γαλλία	1	0	Ναι
01/07/1984	Felbertauern	5,13	Αυστρία	0	0	Ναι
02/04/1984	St. Gotthard	16,90	Ελβετία	0	0	Ναι
09/09/1986	L' arme	1,11	Nice, Γαλλία	5	3	Ναι
30/12/1986	Herzogberg	2,00	Αυστρία	0	0	Ναι
18/02/1987	Gumefens	0,34	Berne, Ελβετία	5	2	Ναι
15/05/1987	Munden	1,20	Γερμανία	0	0	Ναι
02/07/1987	Tanzenberg	2,40	Αυστρία	1	0	Ναι
02/09/1988	Mont Blanc	11,60	Γαλλία – Ιταλία	0	0	Ναι
18/05/1989	Brenner	0,41	Αυστρία	9	2	Ναι
11/01/1990	Mont Blanc	11,60	Γαλλία – Ιταλία	2	0	Ναι

Ημερομηνία	Όνομα σήραγγας	Μήκος σήραγγας (σε χιλιόμετρα)	Περιοχή/ Χώρα	Αριθμός τραυματιών	Αριθμός νεκρών	Εκδήλωση φωτιάς
19/08/1990	Roldal	4,66	Νορβηγία	1	0	Ναι
01/02/1993	Serra Ripoli	0,44	Bologne - Florence, Ιταλία	4	4	Ναι
01/06/1993	Vardo	2,90	Νορβηγία	0	0	Ναι
13/06/1993	Hovden	1,29	Hoyanger, Νορβηγία	5	0	Ναι
27/02/1994	Huguenot	3,91	Νότια Αφρική	28	1	Ναι
14/04/1994	Castellar	0,57	Γαλλία	0	0	Ναι
05/07/1994	St. Gotthard	16,90	Ελβετία	0	0	Ναι
15/10/1994	Kingsway	2,00	Liverpool, Αγγλία	0	0	Ναι
24/01/1995	Hitra	5,60	Νορβηγία	0	0	Ναι
10/04/1995	Pfänder	6,72	Αυστρία	4	3	Ναι
18/03/1996	Isola delle Femmine	0,15	πλησίον Παλέρμο, Ιταλία	34	5	Ναι
21/08/1996	Ekeberg	1,60	Νορβηγία	0	0	Ναι
13/01/1997	Prapontin	4,90	πλησίον Susa, Ιταλία	5	0	Ναι
17/09/1997	St. Gotthard	16,90	Ελβετία	0	0	Ναι
31/10/1997	St. Gotthard	16,90	Ελβετία	1	0	Ναι
08/09/1998	Gleinalm	8,30	πλησίον Graz, Αυστρία	0	0	Ναι



Ημερομηνία	Όνομα σήραγγας	Μήκος σήραγγας (σε χιλιόμετρα)	Περιοχή/ Χώρα	Αριθμός τραυματιών	Αριθμός νεκρών	Εκδήλωση φωτιάς
24/03/1999	Mont Blanc	11,60	Γαλλία - Ιταλία	0	39	Ναι
29/05/1999	Tauern	6,40	Αυστρία	0	12	Ναι
29/06/1999	Oslofjord	7,20	Νορβηγία	15	2	Ναι
30/08/1999	Candid	0,25	Μόναχο, Γερμανία	0	0	Ναι
10/01/2000	Tauern	6,40	, Αυστρία	0	0	Ναι
01/02/2000	Toulon	2,97	Γαλλία	0	0	Ναι
04/03/2000	Lermoos	3,20	Αυστρία	0	0	Ναι
26/04/2000	L' Ems	1,00	Γερμανία	0	0	Ναι
29/05/2000	Cross-harbour	2,00	Hong Kong	0	0	Ναι
14/07/2000	Seljestad	1,27	Νορβηγία	20	0	Ναι
29/07/2000	Rotsethorn	1,20	Νορβηγία	0	0	Ναι
24/08/2000	Saukopftunnel	2,70	Weinheim, Γερμανία	0	0	Ναι
28/09/2000	Oslofjord	7,20	Νορβηγία	0	0	Ναι
27/11/2000	Laerdal	24,50	Νορβηγία	0	0	Ναι
2001	Ville Marie	8,40	Canada	0	0	Ναι
12/04/2001	Helbersberg	0,80	Αυστρία	2	10	Όχι
28/05/2001	Prapontin	4,41	πλησίον Susa, Ιταλία	19	0	Ναι
10/07/2001	Tauern	6,40	Αυστρία	0	0	Ναι

Ημερομηνία	Όνομα σήραγγας	Μήκος σήραγγας (σε χιλιόμετρα)	Περιοχή/ Χώρα	Αριθμός τραυματιών	Αριθμός νεκρών	Εκδήλωση φωτιάς
29/07/2001	Gleinalm	8,32	πλησίον Graz, Αυστρία	0	0	Ναι
06/08/2001	Gleinalm	8,32	πλησίον Graz, Αυστρία	4	5	Ναι
08/08/2001	Amberg	2,98	Αυστρία	0	3	Όχι
13/08/2001	Reigersdorf	0,30	Αυστρία	24	0	Όχι
26/08/2001	St. Gotthard	16,90	Ελβετία	6	0	Όχι
31/08/2001	Sonnstein	1,09	Αυστρία	1	0	Όχι
31/08/2001	Lainberg	2,20	Αυστρία	2	2	Όχι
31/08/2001	Katschberg	5,44	Αυστρία	6	0	Όχι
03/09/2001	Gleinalm	8,32	πλησίον Graz, Αυστρία	0	0	Ναι
17/10/2001	Guldborgsund	0,50	Δανία	9	5	Όχι
24/10/2001	St. Gotthard	16,90	Ελβετία	0	11	Ναι
2002	-	0,62	στον Α 86, Γαλλία	0	2	Ναι
18/01/2002	Tauern	6,40	Αυστρία	0	1	Ναι
20/03/2002	Valderoy	4,20	Νορβηγία	0	0	Ναι
19/05/2002	Ted Williams	2,60	Βοστώνη, ΗΠΑ	0	0	Ναι
20/05/2002	96 – France	4,10	Γαλλία	1	0	Ναι
02/06/2002	80 - North tube	1,84	Γαλλία	0	0	Όχι
07/06/2002	52 - Interior tube	0,66	Γαλλία	2	0	Ναι

Ημερομηνία	Όνομα σήραγγας	Μήκος σήραγγας (σε χιλιόμετρα)	Περιοχή/ Χώρα	Αριθμός τραυματιών	Αριθμός νεκρών	Εκδήλωση φωτιάς
03/11/2002	Homer	1,20	Νέα Ζηλανδία	4	0	Ναι
15/05/2003	Bretelle de Monaco	1,59	Γαλλία	1	0	Όχι
14/04/2003	Baregg	1,39	Ελβετία	21	2	Ναι
07/06/2003	Berici	-	πλησίον Vicenza, Ιταλία	6	38	Όχι
07/06/2003	Erzincan	-	Τουρκία	0	27	Όχι
30/06/2003	44 – France	0,62	Γαλλία	0	2	Ναι
24/07/2003	Prudential	-	Γαλλία	0	0	Ναι
25/07/2003	Locica	0,80	Σλοβενία	0	0	Ναι
16/08/2003	St. Gotthard	16,90	Ελβετία	5	1	Όχι
25/09/2003	Mont Blanc	11,60	Γαλλία - Ιταλία	2	0	Ναι
10/11/2003	Floyfjell	3,10	Bergen, Νορβηγία	0	0	Ναι
20/12/2003	Golovec	0,70	Ljubljana, Σλοβενία	0	0	Ναι
2004	Baregg	1,39	Ελβετία	1	1	Ναι
2004	Naxberg	0,52	Ελβετία	1	0	Ναι
18/01/2004	Dullin	1,55	Γαλλία	0	0	Ναι
03/02/2004	Kinkempois	0,60	πλησίον Λιέγης, Βέλγιο	0	0	Ναι
21/02/2004	Frejus	12,90	Γαλλία - Ιταλία	0	0	Ναι

Ημερομηνία	Όνομα σήραγγας	Μήκος σήραγγας (σε χιλιόμετρα)	Περιοχή/ Χώρα	Αριθμός τραυματιών	Αριθμός νεκρών	Εκδήλωση φωτιάς
04/06/2005	Frejus	12,9	Γαλλία - Ιταλία	21	2	Ναι
06/06/2005	Hamburg's Elb	2,60	Γερμανία	24	0	Όχι
17/08/2005	Roppener	5,10	Αυστρία	0	1	Όχι
20/08/2005	Isla-Bella	2,45	Ελβετία	2	1	Όχι
25/12/2005	-	-	στον Β 31 πλησίον Eriskirch, Γερμανία	20	5	Ναι
28/07/2006	Ledenik	0,74	Κροατία	0	4	Όχι
25/07/2006	Spering	2,85	Αυστρία	1	1	Όχι
16/09/2006	Viamala	0,75	Ελβετία	6	9	Ναι
26/10/2006	Eidsvoll	1,2	Νορβηγία	1	1	Ναι
02/11/2006	St. Gotthard	16,9	Ελβετία	2	1	Όχι
09/11/2006	Hamburg's Elb	2,60	Γερμανία	8	0	Όχι
17/12/2006	Tauern	6,4	Αυστρία	30	0	Όχι
24/12/2006	Farchanter	2,4	Γερμανία	0	1	Όχι
2007	Caldecott	1,03	Oakland, ΗΠΑ	0	0	Ναι
19/01/2007	Ehrentalerberg	3,35	Αυστρία	12	0	Όχι
23/03/2007	Burnley	3,4	Αυστραλία	3	3	Ναι
10/05/2007	Pfänder	6,72	Αυστρία	4	0	Όχι

Ημερομηνία	Όνομα σήραγγας	Μήκος σήραγγας (σε χιλιόμετρα)	Περιοχή/ Χώρα	Αριθμός τραυματιών	Αριθμός νεκρών	Εκδήλωση φωτιάς
27/08/2007	Tarvisio	2,3	Ιταλία	3	1	Όχι
10/09/2007	San Martino	4,8	Ιταλία	10	2	Ναι
18/09/2007	Ehrentalerberg	3,35	Αυστρία	0	0	Όχι
12/10/2007	Newhall Pass	0,17	στον I-5, Καλιφόρνια	23	3	Ναι
03/11/2007	Waasland	1,73	Βέλγιο	3	0	Όχι
29/11/2007	Grossliedl	0,43	Αυστρία	1	0	Όχι
2008	Bay Aqua-Line	9,58	Ιαπωνία	2	1	Όχι
18/01/2008	Ofenauer	1,39	Αυστρία	17	0	Όχι
23/02/2008	Gleinalm	8,32	πλησίον Graz, Αυστρία	3	0	Όχι
29/06/2008	Banzole	1,29	Ιταλία	0	0	Ναι
05/07/2008	Plabutsch	10	Αυστρία	0	2	Όχι
06/07/2008	Vösendorf	0,82	Αυστρία	1	1	Όχι
07/07/2008	Amberg	2,98	Αυστρία	0	1	Όχι
20/07/2008	Amberg	2,98	Αυστρία	0	1	Όχι
07/11/2008	Mona-Liza	0,8	Αυστρία	3	0	Όχι
17/12/2008	Bosruck	5,5	Αυστρία	2	0	Όχι
18/01/2009	Britzer	1,71	Γερμανία	1	0	Όχι
18/01/2009	Tiergarten	2,9	Γερμανία	1	0	Όχι

Ημερομηνία	Όνομα σήραγγας	Μήκος σήραγγας (σε χιλιόμετρα)	Περιοχή/ Χώρα	Αριθμός τραυματιών	Αριθμός νεκρών	Εκδήλωση φωτιάς
25/02/2009	Gubrist	3,2	Ελβετία	4	0	Ναι
27/02/2009	Amberg	2,98	Αυστρία	0	1	Όχι
02/03/2009	Plabutsch	10	Αυστρία	0	1	Όχι
23/03/2009	Mappo-Moretina	5	Ελβετία	1	1	Όχι
24/03/2009	Gubrist	3,2	Ελβετία	2	0	Όχι
27/03/2009	Munich's Petuel	1,55	Γερμανία	2	0	Όχι
12/05/2009	Pfänder	6,72	Αυστρία	2	0	Όχι
16/03/2009	St. Gotthard	16,9	Ελβετία	4	0	Όχι
26/05/2009	Nollinger Berg	1,23	Γερμανία	1	0	Όχι
28/06/2009	Eiksund	7,7	Νορβηγία	0	5	Ναι
26/07/2009	Kohlberg	0,6	Γερμανία	1	1	Όχι
09/09/2009	Bosruck	5,5	Αυστρία	2	0	Όχι
14/09/2009	Arlberg	13,98	Αυστρία	2	1	Όχι
2010	St. Gotthard	16,9	Ελβετία	0	11	Ναι
2010	St Bernhard	5,8	Ελβετία	0	1	Όχι
2010	Bay Aqua-Line	9,58	Ιαπωνία	0	2	Όχι
2010	Trojane	0,89	Σλοβενία	5	0	Ναι
2010	Wuxi Lihu		Κίνα	19	24	Ναι

Ημερομηνία	Όνομα σήραγγας	Μήκος σήραγγας (σε χιλιόμετρα)	Περιοχή/ Χώρα	Αριθμός τραυματιών	Αριθμός νεκρών	Εκδήλωση φωτιάς
29/01/2010	Heslacher	2,3	Γερμανία	2	0	Όχι
29/01/2010	Heslacher	2,3	Γερμανία	1	0	Όχι
10/02/2010	Gubrist	3,2	Ελβετία	0	0	Όχι
10/02/2010	Höchi		Ελβετία	0	0	Όχι
10/02/2010	Höchi		Ελβετία	1	0	Όχι
11/02/2010	Echinger	0,41	Γερμανία	4	0	Όχι
13/02/2010	Seelisberg	9	Ελβετία	5	0	Όχι
11/03/2010	Schönbuch	0,6	Γερμανία	2	0	Όχι
28/03/2010	Islisberg	4,95	Ελβετία	2	0	Όχι
27/05/2010	Amberg	2,98	Αυστρία	1	0	Όχι
2011	Summer	1,72	Βοστώνη, ΗΠΑ	0	1	Όχι
27/01/2011	Alberg	13,98	Αυστρία	4	1	Όχι
24/02/2011	Lincoln	2,5	Νέα Υόρκη, ΗΠΑ	59	0	Όχι
31/03/2011	Hamburg's Elb	2,60	Γερμανία	2	0	Ναι
14/06/2011	Tauern	6,4	Αυστρία	3	0	Όχι
17/07/2011	Gernsbach	1,53	Γερμανία	8	0	Όχι
12/12/2011	Eggfluh	0,69	Ελβετία	5	1	Ναι
30/12/2011	Hamburg's Elb	2,60	Γερμανία	3	0	Ναι

Ημερομηνία	Όνομα σήραγγας	Μήκος σήραγγας (σε χιλιόμετρα)	Περιοχή/ Χώρα	Αριθμός τραυματιών	Αριθμός νεκρών	Εκδήλωση φωτιάς
13/03/2012	Sierre	2,46	Ελβετία	24	28	Όχι
24/03/2012	Wattkopf	1,95	Γερμανία	0	1	Ναι
07/05/2012	Dalaas	1,81	Αυστρία	1	1	Όχι
29/07/2012	Tauern	6,4	Αυστρία	1	1	Όχι
1. (BEARD & Carvel 2005) 2. (Fire Accidents 2008) 3. (Projects & Campaigns - EuroTAP 2012) 4. (Transportation Research Board 2011)			5. (Papaioannou & Georgiou 2008) 6. (Bird, Potter & Gilard 2006) 7. (Amundsen 2000)			

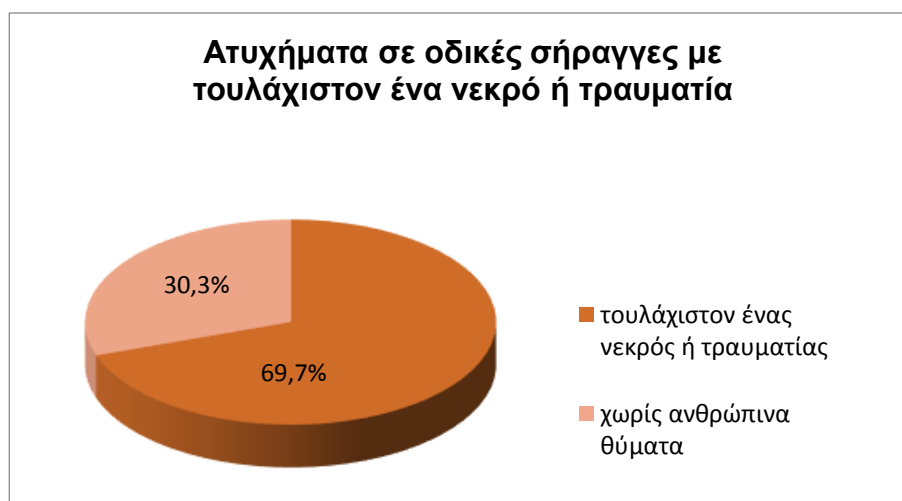


Στον Πίνακα καταγράφηκαν 176 ατυχήματα σε οδικές σήραγγες όλου του κόσμου. Στα 175 από αυτά 340 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους και 801 τραυματίστηκαν χωρίς να συνυπολογίζεται το ατύχημα που συνέβη το 1982 στη σήραγγα Salang στο Αφγανιστάν, για το οποίο δεν έχουν διευκρινιστεί τα αίτια που το προκάλεσαν και ο ακριβής αριθμός των ανθρώπων που έχασαν τη ζωή τους (Beard και Carvel 2005). Από τα συνολικά ατυχήματα στο 37,3% προέκυψε τουλάχιστον ένας θάνατος (**Εικόνα 3.1**).



**Εικόνα 3.2 Ποσοστό θανατηφόρων ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες**

Ενώ αν εκτός από τους νεκρούς ληφθούν υπόψη και οι τραυματίες το ποσοστό σχεδόν διπλασιάζεται φτάνοντας το 69,7% (**Εικόνα 3.2**).



**Εικόνα 3.3 Ποσοστό ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες με τουλάχιστον ένα νεκρό ή τραυματία**

Τέλος στα ατυχήματα που εκδηλώθηκε φωτιά προέκυψε ότι το 34% αυτών ήταν θανατηφόρα (**Εικόνα 3.3**)



**Εικόνα 3.4 Ποσοστό θανατηφόρων ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες με εκδήλωση φωτιάς**

### **3.1.1 Οδικές σήραγγες στην Ελλάδα**

Τα τελευταία χρόνια στο πλαίσιο βελτίωσης του οδικού δικτύου της χώρας, η εκτέλεση αναπτυξιακών έργων όπως η Εγνατία Οδός (680 χμ.), η Αττική Οδός (65 χμ.) και ο ΠΑΘΕ (780 χμ.) έχει πολλαπλασιάσει τον συνολικό αριθμό των σηράγγων (Σαραμούρης 2005). Το αποτέλεσμα είναι σήμερα η Ελλάδα να έρχεται τέταρτη χώρα σε ιεράρχηση στην Ε.Ε. με βάση τον αριθμό των σηράγγων μήκους 500 μέτρων και άνω, με το συνολικό μήκος να ανέρχεται περίπου σε 100 χιλιόμετρα (Kirytoroulos και λοιποί 2010).

Αν και κρίνοντας από τον μεγάλο αριθμό των σηράγγων είναι προφανής η σημασία για την αύξηση του επιπέδου ασφαλείας, η κατάσταση που επικρατεί στη χώρα μας δεν είναι ικανοποιητική. Τα δεδομένα για τα ατυχήματα δεν είναι εύκολα προσβάσιμα και διαθέσιμα στο ευρύ κοινό ενώ δεν υπάρχει ένας κεντρικός φορέας για τη συγκέντρωσή τους σε εθνικό επίπεδο παρά μόνο γίνεται αποσπασματική συλλογή από κάθε αυτοκινητόδρομο. Οι αδυναμίες αυτές δεν επιτρέπουν τη δημιουργία μίας ολοκληρωμένης εικόνας και τον εντοπισμό των κενών ασφαλείας, δυσχεραίνοντας το έργο της επιστημονικής κοινότητας για εξαγωγή συμπερασμάτων και πρόταση διορθωτικών μέτρων.

---

## **3.2 Ατυχήματα σε οδικές σήραγγες- Περιγραφή των πλέον σημαντικών**

Στις υποενότητες **3.2.1 - 3.2.3** περιγράφονται αναλυτικά τα τρία σημαντικότερα ατυχήματα που συνέβησαν στον ευρωπαϊκό χώρο, επιλέγοντάς τα με βάση τις ανθρώπινες απώλειες και το μέγεθος των συνεπειών που προκάλεσαν. Στα ατυχήματα που έλαβαν χώρα την τριετία 1999-2001 στις σήραγγες του Mont Blanc, του Tauern και του St. Gotthard, οι νεκροί ανήλθαν συνολικά στους 62 και είχαν ως επακόλουθα μεγάλες κοινωνικές και οικονομικές ζημιές. Το συνολικό άμεσο κόστος έφτασε τα 210 εκατομμύρια €/έτος, το έμμεσο κόστος στη σήραγγα του Mont Blanc μόνο για την ιταλική πλευρά, εκτιμάται στα 300 - 450 €/έτος ενώ αναγκάστηκε να παραμείνει κλειστή για τρία χρόνια (Papaioannou και Georgiou 2005). Το μέγεθος των ατυχημάτων ανέδειξε τα κενά ασφαλείας που υπήρχαν και την ανάγκη για μια ευρύτερη έρευνα των προδιαγραφών που πρέπει να τηρούνται. Ιδιαίτερα η τραγωδία στη σήραγγα του Mont Blanc που προηγήθηκε χρονικά και είχε τις σοβαρότερες επιπτώσεις προκάλεσε μεγάλη αναστάτωση τόσο στην κοινή γνώμη όσο και στην επιστημονική κοινότητα.

Σκοπός των περιγραφών είναι να παραθέσουν τα χαρακτηριστικά και τις υποδομές που διέθεταν οι σήραγγες την περίοδο των ατυχημάτων, να εξηγήσουν τη πορεία των γεγονότων, τις αντιδράσεις των εμπλεκομένων, τις συνέπειες που προέκυψαν και να εντοπίσουν τα λάθη και τις παραλείψεις που έγιναν. Αν και κάθε σήραγγα και κάθε ατύχημα παρουσιάζουν τις δικές του ιδιαιτερότητες, υπάρχουν ορισμένα κοινά σημεία που καθιστούν δυνατή τη σύγκριση και διευκολύνουν την ανάλυση. Οι τρεις σήραγγες, αποτελούν οδικές σήραγγες που διέρχονται διάμεσου των Άλπεων. Ήταν διπλής κατευθύνσεως, με μια λωρίδα κυκλοφορίας οχημάτων ανά κατεύθυνση, διέθεταν εγκάρσιο ή ημι-εγκάρσιο σύστημα εξαερισμού ενώ και η εξέλιξη των ατυχημάτων συνδυάστηκε με ανάπτυξη και ταχύτατη εξάπλωση φωτιάς.

### **3.2.1 Περιγραφή ατυχήματος στη σήραγγα Mont Blanc**

Στις 24 Μαρτίου του 1999 στη σήραγγα του Mont Blanc συνέβη η μεγαλύτερη τραγωδία στον ευρωπαϊκό χώρο με τους νεκρούς να φτάνουν τους 39, όπου 38 ήταν χρήστες που διέσχιζαν τη σήραγγα και ένας νεκρός πυροσβέστης. Οι πληροφορίες που ακολουθούν βασίζονται στην επίσημη έκθεση του ατυχήματος, που συντάχθηκε από τους Duffé & Marec (1999) και σε έκθεση των PIARC & ITA (2004).

---

### **3.2.1.1 Χαρακτηριστικά Σήραγγας**

Η σήραγγα του Mont Blanc χτίστηκε από κοινού από τις δυο χώρες που ενώνει τη Γαλλία και την Ιταλία, συνδέοντας την Chamonix Valley στη γαλλική είσοδο (υψόμετρο 1,274 μ.) με την Val D'Aoste στην ιταλική είσοδο (υψόμετρο 1,381 μ.). Έχει μήκος 11.600 μ. από τα οποία 7,640 μ. ανήκουν στο γαλλικό έδαφος και τα υπόλοιπα 3,960 μ. στο ιταλικό ενώ ξεκίνησε τη λειτουργία της το 1965.

#### **Διοικητικά Χαρακτηριστικά**

Η σύμβαση που υπογράφει το 1953 μεταξύ Γαλλίας και Ιταλίας καθόριζε δυο επίπεδα διοίκησης. Από την μια 2 εταιρίες, εκπροσωπώντας τη κάθε χώρα, θα αναλάμβαναν να δημιουργήσουν ένα κοινό οργανισμό που θα διασφάλιζε την ομαλή λειτουργία ολόκληρης της σήραγγας και από την άλλη μια Γαλλικό-Ιταλική Διακυβερνητική Επιτροπή που θα ήταν υπεύθυνη για τον έλεγχο και της συντήρησης της. Ωστόσο ο κοινός οργανισμός δεν δημιουργήθηκε ποτέ και στη προσπάθεια να καλυφθεί το κενό οι δυο εταιρίες που η κάθε μια ήταν υπεύθυνη για το μισό μήκος της σήραγγας, η ATMB (Autoroute et Tunnel du Mont Blanc) για τη γαλλική πλευρά και η SITMB (Societa Italiana del Traforo di Monte Bianco) για την ιταλική, συμφώνησαν στη δημιουργία μιας κοινής Επιτροπής Λειτουργίας.

Στην κεφαλή διοίκησης αυτής της επιτροπής διορίζονταν δυο διευθυντές ένας Γάλλος και ένας Ιταλός, δίχως να καθορίζεται με σαφήνεια αν οι θέσεις τους αντιπροσώπευαν την επιτροπή ή ο καθένας την εταιρία της χώρας του. Υπήρχε μια συνεχής διαμάχη μεταξύ της Επιτροπής Λειτουργίας και των εταιριών για την ιεραρχία ενώ και η Διακυβερνητική Επιτροπή είχε ακαθόριστες αρμοδιότητες με περισσότερο τυπικό και επίσημο χαρακτήρα, σημειώνοντας σαν παραμέτρους τη διαρκή εναλλαγή των διορισμένων μελών της και την αργή συχνότητα των συναντήσεων της.

Κάθε εταιρία λειτουργούσε αυτόνομα ενώ οι διαφορετικές διαδικασίες της κάθε μιας σε θέματα διάθεσης κρατικών κονδυλίων συντελούσε σε καθυστερήσεις και σε ανεξάρτητες τροποποιήσεις των συστημάτων ασφαλείας (με σημαντικότερη αυτή στο σύστημα εξαερισμού). Κάθε εταιρία διέθετε ένα κέντρο ελέγχου στην αντίστοιχη είσοδο, με τα δυο κέντρα να λειτουργούν ταυτόχρονα όλο το 24ωρο και τη μεταξύ τους συνεργασία (ακολουθώντας τις σχέσεις των εταιριών) να κρίνεται πλήρως αναποτελεσματική, μην έχοντας η μια πλευρά ακριβή γνώση για τα συστήματα της άλλης. Η έλλειψη επικοινωνίας τόσο μεταξύ των εταιριών όσο και μεταξύ των κέντρων ελέγχου συνδυασμένη με την απουσία ενός ενιαίου κέντρου αποφάσεων έπαιξαν πρωτεύοντα ρόλο στην εξέλιξη του ατυχήματος, σημειώνοντας

---

χαρακτηριστικά την έλλειψη ενός κοινού Γαλλικό-Ιταλικό σχεδίου έκτακτης κατάστασης.

### **Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά & Διαθέσιμος Εξοπλισμός**

Η σήραγγα διέθετε μια λωρίδα κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση, είχε πλάτος 7 μ. και ακόμα 2 πεζοδρόμια μήκους 0,8 μ. το καθένα. Κάθε 300 μ. υπήρχαν περιοχές στάθμευσης για κάποιο όχημα εναλλάξ του οδοστρώματος, οι οποίες αριθμούνταν από το 1-36 ως προς τη κατεύθυνση Γαλλία-Ιταλία.



**Εικόνα 3.5 Η σήραγγα του Mont Blanc μετά το ατύχημα (Carvel 2004)**

Μετά από μια μεγάλη φωτιά το 1990, δημιουργήθηκαν 18 καταφύγια ασφαλείας σε κάθε δεύτερη περιοχή στάθμευσης (κάθε 600 μ.), τα οποία τροφοδοτούνταν με φρέσκο αέρα παρέχοντας προστασία από τη φωτιά για 2 ώρες σε περίπτωση κινδύνου και επέτρεπαν την επικοινωνία με τα κέντρα ελέγχου μέσω τηλεφώνου. Ωστόσο τα καταφύγια δεν συνδέονταν με αγωγούς παροχής αέρα που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για εκκένωση της σήραγγας σε περίπτωση φωτιάς. Ο λόγος για τη μη σύνδεση είναι πιθανότατα ότι η σήραγγα θα σταματούσε τη λειτουργία της για μεγάλο χρονικό διάστημα εξαιτίας της μεγάλης χρήσης εκρηκτικών που απαιτούνταν.

Κάθε 100 μ. υπήρχαν σταθμοί για κλήσεις έκτακτης ανάγκης, που διέθεταν τηλέφωνο, κουμπί για χτύπημα συναγερμού και 2 πυροσβεστήρες ενώ κάθε 150 μ. βρίσκονταν ξεχωριστοί σταθμοί που πρόσφεραν παροχή νερού στις πυροσβεστικές δυνάμεις. Οι φωτεινοί σηματοδότες ρύθμισης της κυκλοφορίας ήταν τοποθετημένοι στις εισόδους και κάθε 1200 μ. μέσα στη σήραγγα στις πλευρές του δρόμου ενώ οι κάμερες ασφαλείας κάθε 300 μ.

---

### **Κανόνες ρύθμισης της κυκλοφορίας**

Το ανώτατο όριο ταχύτητας μέσα στη σήραγγα ήταν τα 80 km/h και το κατώτατο τα 50 km/h ενώ απαγορεύονταν οι προσπεράσεις. Η απόσταση ασφαλείας που έπρεπε τα κινούμενα οχήματα να έχουν ήταν τουλάχιστον τα 100 μ. Αξίζει να σημειωθεί ότι αν και υπήρχε στην έναρξη λειτουργίας της σήραγγας σύστημα που διασφάλιζε τη τήρηση αυτής της απόστασης, είχε τεθεί εκτός λειτουργίας εξαιτίας προβλημάτων συντήρησης ενώ δεν υπήρχε μέριμνα για τις αποστάσεις που έπρεπε να τηρούνται από σταματημένα οχήματα.

### **Μέση κίνηση**

Η μέση ημερησία κίνηση με βάση τα δεδομένα για το 1998 ήταν 5.473 οχήματα, από τα οποία το 39% (2.128) ήταν φορτηγά.

### **Σύστημα Εξαερισμού**

#### Προδιαγραφές

Το σύστημα εξαερισμού εξαιτίας της σημασίας του στην εξέλιξη του ατυχήματος περιγράφεται ξεχωριστά από τον υπόλοιπο εξοπλισμό. Η σήραγγα του Mont Blanc διαθέτει εγκάρσιο σύστημα εξαερισμού με 2 ισομήκη και όμοια συστήματα, το ένα υπεύθυνο για το γαλλικό μισό της σήραγγας και το άλλο για το ιταλικό. Από κάθε είσοδο ξεκινούσαν 4 αγωγοί παροχής φρέσκου αέρα, κάτω από το ύψος του δρόμου αριθμημένοι από το 1-4. Κάθε αγωγός παρείχε αέρα από υποδοχές που βρίσκονται κάθε 10 μ στο κάτω μέρος των πλευρικών τοιχωμάτων, στο ένα τέταρτο του μισού μήκους της σήραγγας (1450 μ.) και η ποσότητα του αέρα αυτού μπορούσε να φτάσει τα 75 m<sup>3</sup>/s, προκύπτοντας μέγιστη παροχή αέρα 300 m<sup>3</sup>/s για τη κάθε είσοδο και συνολικά 600 m<sup>3</sup>/s για όλη τη σήραγγα. Η εξασφάλιση παροχής φρέσκου αέρα στα καταφύγια σε περίπτωση πυρκαγιάς συντελούσε σε αξιοσημείωτη μείωση της δυναμικότητας του συστήματος.

Ακόμα υπήρχε και πέμπτος αγωγός, ο οποίος αρχικά κατασκευάστηκε για την εξαγωγή από τη σήραγγα των καυσαερίων από την κίνηση των οχημάτων με ονομαστική ισχύ 150 m<sup>3</sup>/s, χωρίς η εξαγωγή καπνού σε περίπτωση φωτιάς να αποτελεί κριτήριο σχεδιασμού. Ωστόσο έπειτα από τροποποιήσεις που έγιναν ο αγωγός μετατράπηκε σε αντιστρέψιμο αγωγό διπλής ροής, διαθέτοντας τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί είτε για εξαγωγή καυσαερίων και καπνού σε περίπτωση φωτιάς είτε να παρέχει επιπρόσθετη παροχή αέρα. Οι διαδικασίες αυτές γίνονταν από ανοίγματα που βρίσκονταν στο ταβάνι της σήραγγας κάθε 300 μ. Είναι προφανές ότι ο αέρας που εισάγονταν στη σήραγγα ήταν περισσότερος από αυτόν που μπορεί να εξαχθεί και η ποσότητα αέρα που απέμεινε έβρισκε διαφυγή μέσω των

---

δου εισόδων της σήραγγας. Ο έλεγχος της διαμήκου ροής του αέρα δεν μελετήθηκε καθόλου ως κριτήριο σχεδιασμού παρ' όλη τη σημασία του.

Στη διάρκεια των χρόνων οι δυο εταιρίες χωρίς συνεργασία μεταξύ τους προχώρησαν σε ανεξάρτητες παρεμβάσεις στο σύστημα εξαερισμού δημιουργώντας νέες δυνατότητες. Στη γαλλική πλευρά η εξαγωγή καπνού μπορούσε να γίνει στοχευόμενη και να συγκεντρωθεί σε κάποιο από τα τρία ισομήκη τμήματα του μισού της σήραγγας ενώ στην ιταλική η εξαγωγή μπορούσε να συγκεντρωθεί σε δυο, τρία ή τέσσερα ανοίγματα. Η στοχευόμενη αυτή εξαγωγή καπνού οδηγούσε σε σημαντική μείωση της συνολικής ονομαστικής ισχύς (της τάξης του 30-50%), συμπεριλαμβάνοντας και τις απώλειες των αγωγών και τελικά ίσχυε ότι:

- στη γαλλική πλευρά η εξαγωγή καπνού έφτανε σε δυναμικότητα από 17 m<sup>3</sup>/s/km (για εξαγωγή στα 3/3 ) έως 44 m<sup>3</sup>/s/km (για εξαγωγή στο 1/3)
- και αντίστοιχα στην ιταλική από 22 m<sup>3</sup>/s/km έως 57 m<sup>3</sup>/s για 900 m (ενεργοποίηση για τα τρία πρώτα ανοίγματα).

Οι παραπάνω δυναμικότητες δεν ανταποκρίνονται στις προδιαγραφές που έθετε η γαλλική οδηγία No. 81.109 της 29 Δεκεμβρίου 1981 (French Bulletin No. 81.109) σύμφωνα με την οποία έπρεπε να υπάρχει δυνατότητα εξαγωγής 80 m<sup>3</sup>/s/km σε σήραγγες όπως αυτή του Mont Blanc. Η οδηγία εκδόθηκε 16 χρόνια μετά την έναρξη λειτουργίας της σήραγγας αλλά το σημαντικό είναι ότι δεν έγιναν προσπάθειες να προσαρμοστούν με κυριότερο λόγο το πάχος των βράχων που καθιστούσε αδύνατη τη δημιουργία ενδιάμεσων εγκαταστάσεων εξαερισμού. Η οδηγία ήταν υπό τροποποίηση και είχε δημιουργηθεί ήδη ένα προσχέδιο (πριν το ατύχημα της 24ης Μαρτίου 1999) το οποίο αν και δεν είχε ακόμα νομοθετική ισχύ είχε γνωστοποιηθεί στην επιστημονική κοινότητα. Στο προσχέδιο οριζόταν ότι για δημιουργία φωτιάς που εκλύει 80 m<sup>3</sup>/s καπνού απαιτείται ελάχιστη δυναμικότητα 110 m<sup>3</sup>/s για 600 μ. (περιοχή φωτιάς). Το σύστημα της σήραγγας και από τις δύο πλευρές δε μπορούσε να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις.

#### Διαδικασίες Λειτουργίας

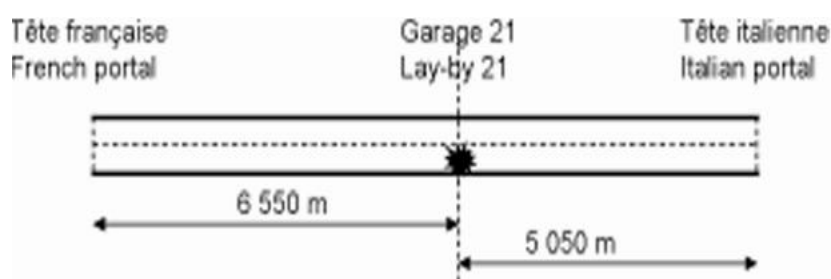
Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας της σήραγγας ο βαθμός λειτουργίας του συστήματος εξαερισμού ρυθμίζεται από τα επίπεδα μέτρησης του μονοξειδίου άνθρακα και τις μετρήσεις από το σύστημα ορατότητας. Σε καταστάσεις φωτιάς οι διαδικασίες ασφάλειας της σήραγγας καθορίζουν ότι στη περιοχή που εντοπίζεται η φωτιά, *οι χειριστές του συστήματος* πρέπει να ρυθμίσουν στη μέγιστη δυνατή λειτουργία τόσο τους αγωγούς εξαγωγής καπνού όσο και τους αγωγούς παροχής φρέσκου αέρα. Το κομμάτι των διαδικασιών που αφορά τη παροχή αέρα έρχεται σε

πλήρη αντίθεση με τις συστάσεις από το προσχέδιο της τροποποίησης της γαλλικής οδηγίας Νο. 81.109 που καθόριζε ότι σε περιπτώσεις που η παροχή γίνεται από το κάτω μέρος των πλαϊνών τοιχωμάτων, όπως στη σήραγγα του Mont Blanc, η παροχή πρέπει να μειώνεται αισθητά.

### 3.2.1.2 Εξέλιξη Ατυχήματος

*(Σημειώνεται ότι επειδή τα ρολόγια μεταξύ των δυο κέντρων ελέγχου δεν ήταν συγχρονισμένα, οι χρόνοι που αναφέρονται παρακάτω μπορεί να έχουν απόκλιση ενός λεπτού.)*

Η φωτιά στη σήραγγα ξεκίνησε μετά από ανάφλεξη ενός φορτηγού που μετέφερε 9 τόνους μαργαρίνης και 12 τόνους αλεύρι σχεδόν στο μέσο της - 6500 μ. από τη γαλλική είσοδο και 5500 μ. από την ιταλική (**Εικόνα 3.5**). Ο οδηγός του φορτηγού που πέρασε τα διόδια της γαλλικής εισόδου στις 10.46, μετά από σήματα με τα φώτα από οδηγούς του αντίθετου ρεύματος στα 2-3 km εντός της σήραγγας αντιλήφθηκε την ύπαρξη λευκού χρώματος καπνού να βγαίνει από το όχημά του και αποφάσισε να ακινητοποιήσει το φορτηγό προκειμένου να διαπιστώσει τι ακριβώς συμβαίνει στις 10.53 στην περιοχή 21. Αφού σταμάτησε προσπάθησε να πιάσει τον πυροσβεστήρα κάτω από το κάθισμα ενώ άρχισαν να εμφανίζονται οι πρώτες φλόγες και μαύρος καπνός. Η φωτιά στο φορτηγό εξελίχθηκε πολύ γρήγορα αφότου σταμάτησε καθώς μέχρι τότε ο αέρας λόγω της κίνησης του την εμπόδιζε με πιθανή αιτία έναρξης να είναι η διαρροή καυσίμου πάνω στις ζεστές επιφάνειες μέσα στο διαμέρισμα της μηχανής του φορτηγού.



**Εικόνα 3.6 Το σημείο που σταμάτησε το φορτηγό, εντός της σήραγγας Mont Blanc (PIARC 2004)**



---

### **Λειτουργία Συναγερμών και Κλείσιμο Εισόδων**

Ένα λεπτό πριν ο οδηγός ακινητοποιήσει το όχημά του, το σύστημα που ελέγχει τα επίπεδα ορατότητας εντός της σήραγγας έδωσε τον πρώτο συναγερμό στο κέντρο ελέγχου για μέτρηση τιμής κοντά στο μέγιστο επιτρεπόμενο όριο για την περιοχή 18. Ο συναγερμός αυτός αυτομάτως οδήγησε τις οθόνες των κέντρων ελέγχου στην περιοχή αυτή ενώ στο γαλλικό κέντρο συνοδεύτηκε και από ηχητικό σήμα. Οι χειριστές του γαλλικού κέντρου ανέλαβαν να ελέγξουν την αξιοπιστία του σήματος και παρατηρώντας τις οθόνες αρχικά στην περιοχή 18 και συνεχίζοντας στις 16,17 και 19, αντιλήφθηκαν την ύπαρξη καπνού. Μετά από αυτή την εξέλιξη και αφού υπήρξε τηλεφωνική επικοινωνία με την ιταλική πλευρά (στις 10.54 δέχτηκε τηλεφώνημα από την περιοχή 22) αποφασίστηκε να ενεργοποιηθούν το συναγερμό όπου στη γαλλική πλευρά ακούστηκε σειρήνα στις 10.54 στην είσοδο της και στις 10.55 οι σηματοδότες για τη ρύθμιση της κυκλοφορίας στην κατεύθυνση Γαλλίας-Ιταλίας έλαβαν κόκκινο χρώμα (και στην είσοδο της σήραγγας και εντός της) ενώ στην ιταλική εκτελέστηκαν τα αντίστοιχα με τη μόνη διαφορά ότι η ιταλική είσοδος έκλεισε στις 10.56 με τεχνητά εμπόδια.

### **Λειτουργία Φωτεινών Σηματοδοτών**

Υπάρχει αμφιβολία αν όλα τα σήματα εντός της σήραγγας λειτούργησαν αφού η συνέχιση κανονικά της ροής της κυκλοφορίας εντός της σήραγγας δημιουργεί κάποιες υποθέσεις. Είτε να σήματα δε δούλεψαν όλα είτε δεν ήταν άμεσα ορατά λόγω του μεγέθους και της θέσης τους είτε οι οδηγοί τα αγνόησαν μη βλέποντας κάποιο εμφανή κίνδυνο. Ωστόσο αυτό οδήγησε στο να σταματήσουν τα οχήματα πολύ κοντά μεταξύ τους όταν ακινητοποιήθηκαν από το φορτηγό που ξεκίνησε τη φωτιά και έτσι αυτή να εξαπλωθεί γρήγορα. Είναι χαρακτηριστικό ότι ακόμα και στη γαλλική είσοδο που λειτούργησαν τα κόκκινα σήματα, 2 φορτηγά εισήλθαν στη σήραγγα.

### **Λειτουργία Συστημάτων Εντοπισμού Φωτιάς**

Αν και υπήρχαν δυο διαφορετικά συστήματα εντοπισμού φωτιάς στις δυο πλευρές δεν ανταποκρίθηκαν άμεσα. Στη γαλλική που το σύστημα στηριζόταν στη μέτρηση θερμοκρασίας με αισθητήρες κάθε 8 μ. έδωσε συναγερμό στις 11.13, δηλαδή 20 λεπτά μετά τον αρχικό συναγερμό του συστήματος ορατότητας ενώ το ιταλικό σύστημα που στηριζόταν στη θέρμανση ενός αερίου σε σωλήνες 70-80 μ. μήκους, επειδή έδινε συχνά λάθος συναγερμούς στην περιοχή που ξεκίνησε η φωτιά, είχε τεθεί εκτός λειτουργίας. Η μη λειτουργία των συστημάτων αυτών δεν επέτρεψε τον γρήγορο και ακριβή καθορισμό του σημείου της φωτιάς, συνυπολογίζοντας και το

γεγονός ότι λόγω του πυκνού καπνού αχρηστεύτηκαν οι κάμερες ασφαλείας. Ο μη εντοπισμός του σημείου καθυστέρησε την εκτέλεση των διαδικασιών από τα κέντρα ελέγχου.

**Πίνακας 2 Χρονική ακολουθία σημαντικότερων γεγονότων του ατυχήματος στη σήραγγα Mont Blanc**

<b>ΩΡΑ</b>	<b>ΓΕΓΟΝΟΣ</b>
10.46	Είσοδος φορτηγού (φορτηγό 1) από όπου ξεκίνησε η φωτιά στη γαλλική πλευρά
10.52	Το σύστημα ορατότητας έδωσε το πρώτο σήμα για υπέρβαση ορίου στην περιοχή 18 και η εικόνα αυτής της περιοχής εμφανίστηκε στις οθόνες του κέντρου ελέγχου
10.52	Το σύστημα ορατότητας έδωσε και νέο σήμα στην περιοχή 14
10.53	Το φορτηγό 1 σταμάτησε στην περιοχή 21
10.53	Οι χειριστές του κέντρου ελέγχου παρατήρησαν την ύπαρξη καπνού στις οθόνες
10.54	Το ιταλικό κέντρο ελέγχου έλαβε τηλεφώνημα από κάποιον στη περιοχή 22
10.54	Ενεργοποιήθηκε σειρήνα στη γαλλική είσοδο
10.55	Ενεργοποιήθηκε ο συναγερμός και στις δυο εισόδους
10.55	Όλοι οι σηματοδότες ρύθμισης της κυκλοφορίας έγιναν κόκκινοι στη κατεύθυνση Γαλλίας-Ιταλίας
10.55	Ένας εργαζόμενος της ATMB σταμάτησε στην περιοχή 18 (750 μ. από το φορτηγό 1)
10.56	Η ιταλική είσοδος έκλεισε με χρήση φυσικών εμποδίων
10.57	Ενεργοποίηση συναγερμού για χρήση φορητού πυροσβεστήρα στη περιοχή 21
10.57	Οι μηχανές για κατάσβεση της φωτιάς της ATMB (5 πυροσβέστες) σταμάτησαν στην περιοχή 17 (1200 μ. μακριά από το φορτηγό 1)
10.59	Συναγερμός στο Κύριο Σωστικό Κέντρο (Main Rescue Center) στο Chamonix
11.01	Διακοπή λειτουργίας φωτισμού εντός της σήραγγας
11.03	Ο αγωγός 5 στην ιταλική πλευρά, που είχε παραμείνει σε κατάσταση παροχής αέρα, έφτασε στα μέγιστα επίπεδα λειτουργίας του

11.05	Ένας Γάλλος αστυνομικός έφτασε 10 μ. από το φορτηγό 1 από την ιταλική πλευρά
11.10	Έφτασε το πρώτο σωστικό όχημα στη γαλλική είσοδο
11.11	Έφτασε το πρώτο σωστικό όχημα (3 διασώστες) στην ιταλική είσοδο από τη Val d'Aoste
11.13	Ο συναγερμός από το σύστημα εντοπισμού φωτιάς ενεργοποιήθηκε στην περιοχή 19
11.15	Το πρώτο όχημα από το Chamonix (6 διασώστες) σταμάτησε στην περιοχή 12 (2700 μ. μακριά από το φορτηγό 1)
11.15	Οι χειριστές στέλνουν μηνύματα στις γαλλικές ραδιοσυχνότητες
11.16	Το πρώτο όχημα από τη Val d'Aoste σταμάτησε στην περιοχή 22 (300 μ. από το φορτηγό 1) και αναγκάστηκε να γυρίσει πίσω
11.36	Το δεύτερο όχημα από το Chamonix (5 διασώστες) σταμάτησε στην περιοχή 5 (4800 μ. μακριά από το φορτηγό 1)
12.02	Πέντε διασώστες βρίσκουν καταφύγιο στην περιοχή 24 (ιταλική πλευρά)
12.55	Ξεκίνησε η επιχείρηση διάσωσης των 17 εγκλωβισμένων πυροσβεστών και διασωστών στην γαλλική πλευρά. Το προσωπικό της ATMB (6 υπάλληλοι) βρήκε καταφύγιο στην περιοχή 17
15.00	Ολοκληρώθηκε η διάσωση των εγκλωβισμένων από το καταφύγιο της περιοχής 24 μέσω του αγωγού 5
18.35	Ολοκληρώθηκε η επιχείρηση διάσωσης των εγκλωβισμένων από το καταφύγιο της περιοχής 17

### **Διαδικασίες Διάσωσης Γαλλικής-Ιταλικής πλευράς**

Στις 10.59 ο συναγερμός δόθηκε στο Κύριο Σωστικό Κέντρο (Main Rescue Center) στο Chamonix, από όπου το πρώτο συνεργείο αναχώρησε μετά από 3 λεπτά και στις 11.10 έφτασαν στη σήραγγα. Αντίστοιχα το πρώτο όχημα από Val d'Aoste αναχώρησε από το σταθμό στις 11.04 και έφτασε μετά από 7 λεπτά, χωρίς να παρατηρηθούν καθυστερήσεις στην έλευση των οχημάτων. Πριν την είσοδο των παραπάνω οχημάτων είχαν ήδη εισέλθει στη σήραγγα προσωπικό τόσο της ATMB όσο και της SITMB.

Ένας υπάλληλος της ATMB, ο πρώτος που μπήκε μόλις 4 λεπτά μετά την έναρξη της φωτιάς από την ιταλική είσοδο, σταμάτησε στην περιοχή 18 λόγω της πυκνότητας του καπνού, δηλαδή 750 μ. μακριά από το φορτηγό που ξεκίνησε τη φωτιά. Στη συνέχεια μπήκαν στη σήραγγα κατά σειρά μια μηχανή κατάσβεσης της

---

φωτιάς (5 πυροσβέστες, σταμάτησε στην περιοχή 17) και δυο σωστικά συνεργεία από το Chamoniix (συνολικά 11 διασώστες). Όλοι οι παραπάνω διασώστες και πυροσβέστες παγιδεύτηκαν, μάλιστα οι 6 υπάλληλοι της ATMB παρέμειναν για περίπου 7 ώρες σε καταφύγιο της περιοχής 17 ενώ ένας διασώστης από το Chamoniix πέθανε λίγο μετά από τον απεγκλωβισμό του.

Στην ιταλική είσοδο μεταξύ 10.57-11.01 είχαν εισέλθει εντός της σήραγγας ένας υπάλληλος της SITMB, ένας γάλλος αστυνομικός που την ώρα του ατυχήματος βρισκόταν στην ιταλική πλευρά και τρεις μηχανές πυρόσβεσης με ισάριθμους πυροσβέστες. Ο γάλλος αστυνομικός κατάφερε αφού πέρασε από το καπνό μεταξύ των περιοχών 22 και 21 να βρεθεί μόλις 10 μ. από το φλεγόμενο φορτηγό αλλά εκτεθειμένος στο κίνδυνο της πυρκαγιάς αναγκάστηκε να γυρίσει προς τα πίσω και να συναντήσει τους συναδέλφους του. Όλοι μαζί κατάφεραν να απεγκλωβίσουν τους οδηγούς των φορτηγών που είχαν σταματήσει πίσω από το φλεγόμενο όχημα. Λίγο αργότερα δυο σωστικά οχήματα από την Val d'Aoste δεν μπόρεσαν λόγω του καπνού να βοηθήσουν και οι συνολικά πέντε επιβαίνοντες βρήκαν καταφύγιο στην περιοχή 24 ,όπου μετά από τρεις ώρες απεγκλωβίστηκαν μέσω του αγωγού 5.



**Εικόνα 3.7 Η είσοδος ενός καταφυγίου μετά το τέλος της φωτιάς (Mont Blanc tunnel accident 2001)**

Σημειώνεται ότι παρά τη γρήγορη ανταπόκριση των σωστικών και πυροσβεστικών συνεργείων η ταχύτατη ροή του καπνού προς τη γαλλική είσοδο εμπόδισε την οποιαδήποτε άμεση παρέμβαση τους, λαμβάνοντας υπόψιν και το σημείο έναρξης της φωτιάς σχεδόν στο μέσον της σήραγγας. Ωστόσο είναι γεγονός ότι ο κακός συντονισμός και η έλλειψη πληροφόρησης από τα κέντρα ελέγχου τόσο

---

μεταξύ τους όσο και με τα συνεργεία οδήγησε στο να φτάσουν πρώτα στην είσοδο της πλευράς με τον πυκνότερο καπνό. Επιπλέον οι χειριστές δεν ήταν σε θέση να γνωρίζουν και να τους πληροφορήσουν αν και ποσά οχήματα είχαν εγκλωβιστεί εντός της σήραγγας, με την έλλειψη ενός αξιόπιστου συστήματος καταμέτρησης των οχημάτων να είναι εμφανής. Η πυκνή ροή του καπνού θα συζητηθεί αναλυτικά παρακάτω.

### **3.2.1.3 Λανθασμένη Λειτουργία Συστήματος Εξαερισμού και Αιτίες**

Κατά την εξέλιξη του ατυχήματος στη γαλλική πλευρά οι 3 από τους 4 αγωγούς παροχή αέρα ρυθμίστηκαν στη μέγιστη λειτουργία ενώ ο τέταρτος (ρύθμιζε το πρώτο κομμάτι) στα  $\frac{3}{4}$  αυτής. Ο αγωγός 5 που ήδη βρισκόταν σε κατάσταση εξαγωγής καυσαερίων ρυθμίστηκε σε κατάσταση λειτουργίας  $\frac{3}{4}$ , με συγκέντρωση στην περιοχή της φωτιάς ενώ και η εγκατάσταση στην γαλλική είσοδο για την εξαγωγή του αέρα που κατευθυνόταν σε αυτήν λειτουργούσε στο μέγιστο βαθμό. Στην ιταλική πλευρά όλοι οι αγωγοί, συμπεριλαμβανομένου και του αγωγού 5 που παρέμεινε σε κατάσταση παροχής αέρα, ρυθμίστηκαν στη μέγιστη λειτουργία. Να τονιστεί ότι η παροχή φρέσκου αέρα από τον αγωγό 5 γινόταν από ανοίγματα στο πάνω μέρος της σήραγγας.

Η κίνηση της ιταλικής πλευράς να αφήσει τον αγωγό 5 σε κατάσταση παροχής αέρα ήταν αντίθετη από τους κανονισμούς που διέπουν τη λειτουργία της σήραγγας του Mont Blanc ενώ αντίθετα οι αποφάσεις της γαλλικής πλευράς ήταν σύμφωνες με αυτούς τους κανονισμούς. Οι αποφάσεις των ιταλών χειριστών, που ισχυρίστηκαν ότι πήραν αυτή την απόφαση βλέποντας από τις οθόνες τους παγιδευμένους ανθρώπους και θέλησαν να τους βοηθήσουν σε συνδυασμό με τη μέγιστη παροχή αέρα από το κάτω μέρος των τοιχωμάτων (και από τις δύο πλευρές) και την εξαγωγή αέρα από την εγκατάσταση στη γαλλική είσοδο συντέλεσε στο να δημιουργηθεί ταχύτερη ροή του καπνού προς τη γαλλική πλευρά. Χαρακτηριστικό είναι ότι σε μόλις 35 λεπτά από την έναρξη της φωτιάς ο καπνός έφτασε στην γαλλική είσοδο ενώ η παροχή αέρα από το πάνω μέρος οδήγησε στη μη στρωματοποίηση του καπνού αφού παρατηρήθηκε για λίγο και μόνο για 100 μ. στην ιταλική πλευρά. *Η λανθασμένη χρήση του συστήματος οφείλεται κυρίως:*

- στην ταυτόχρονη λειτουργία των δύο κέντρων ελέγχου
- στην έλλειψη συνεργασία μεταξύ τους
- στη μη ενσωμάτωση των διεθνών συστάσεων και

- στην ελλιπή κατάρτιση των χειριστών για κατανόηση των διαδικασιών ασφαλείας και για αντίδραση σε έκτακτες καταστάσεις

#### **3.2.1.4 Συνέπειες Ατυχήματος**

##### **Ανθρώπινες Απώλειες**

Η κατάληξη αυτής της μεγάλης τραγωδία ήταν από πλευράς ανθρώπινων απωλειών 39 νεκροί. Ένας από αυτούς ήταν από τους πυροσβέστες που είχαν απεγκλωβιστεί από την γαλλική πλευρά ενώ από τους υπόλοιπους οι 27 βρέθηκαν εντός των οχημάτων τους, 2 σε ξένα οχήματα και 9 έξω από αυτά. Οι 2 από τους 9 που βρέθηκαν εκτός των οχημάτων τους, είχαν βρει καταφύγιο στην περιοχή 20 αλλά δυστυχώς δε μπόρεσαν να επιβιώσουν καθώς η φωτιά σε εκείνο το σημείο διήρκησε 53 ώρες και απεβίωσαν λόγω της θερμότητας ενώ το καταφύγιο παρείχε προστασία μόνο 2 ώρες. Όσοι παγιδεύτηκαν στον καπνό ή παρέμειναν στα οχήματά τους απεβίωσαν από ασφυξία λόγω της τοξικότητας του παραγόμενου καπνού.



**Εικόνα 3.8 Ένα από τα φορτηγά που κάηκαν ολοσχερώς (Mont Blanc tunnel accident 2001)**

##### **Υλικές Ζημιές**

Από πλευράς υλικών ζημιών, κάηκαν συνολικά 23 φορτηγά (15 από τη γαλλική πλευρά και 8 από την ιταλική), 10 επιβατικά αυτοκίνητα και 1 μοτοσυκλέτα. Οι αποστάσεις μεταξύ των 15 οχημάτων ήταν μεταξύ 3-45 μ. και απλώνονταν σε συνολικό μήκος 500 μ. ενώ το πρώτο φορτηγό που σταμάτησε ερχόμενο από την ιταλική είσοδο είχε απόσταση περίπου 290 μ. από βελγικό φορτηγό. Οι κοντινές αποστάσεις μεταξύ των σταματημένων οχημάτων κυρίως στη γαλλική πλευρά συνετέλεσε στην γρήγορη μετάδοση της φωτιάς. Από τα 10 επιβατικά οχήματα που σταμάτησαν πίσω από το καιγόμενο φορτηγό στο γαλλικό μέρος, 4 από αυτά

---

προσπάθησαν να κάνουν αναστροφή αλλά δεν τα κατάφεραν ενώ αντίθετα στην ιταλική πλευρά, όλα τα επιβατικά οχήματα κατάφεραν και διέφυγαν.

Σημειώθηκε σημαντική καταστροφή στο επίπεδο κυκλοφορίας της σήραγγας για 900 μ. και στον εξοπλισμό της για μεγαλύτερο μήκος λόγω της υψηλών θερμοκρασιών και των διαφόρων υποπροϊόντων της φωτιάς που αναπτύχθηκαν. Η σήραγγα αφού επιδιορθώθηκε και ανακαινίστηκε (έπειτα από διαπραγματεύσεις που διήρκησαν ένα χρόνο μεταξύ Γαλλίας-Ιταλίας) επαναλειτούργησε μετά από 3 χρόνια και με το κόστος των επισκευών αυτών να φτάνει τα 350 εκατομμύρια ευρώ.

### **3.2.2 Περιγραφή ατυχήματος στη σήραγγα Tauern**

Στις 29 Μαΐου του 1999 στη σήραγγα του Tauern 12 άνθρωποι βρήκαν θάνατο εξαιτίας σύγκρουσης οχημάτων και φωτιάς που. Οι πληροφορίες για τη περιγραφή της σήραγγας και του ατυχήματος ελήφθησαν από εκθέσεις των PIARC & ITA (2004) και του Leitner (2001).

#### **3.2.2.1 Χαρακτηριστικά Σήραγγας**

Η σήραγγα του Tauern που δόθηκε για χρήση το 1975 βρίσκεται εξ ολοκλήρου στην Αυστρία, έχει μήκος 6400 μ. και ενώνει με κατεύθυνση νότια προς βόρεια τις περιοχές Villach (σε υψόμετρο 1340 μ.) με Salzburg (σε υψόμετρο 1240 μ.). Οι κανονισμοί λειτουργίας της σήραγγας ρυθμιζόνταν από τους νόμους που διέπουν τη χώρα ενώ υπήρχε ένα μοναδικό κέντρο ελέγχου διασφάλιζε την ομαλή κυκλοφορία της.

#### **Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά & Διαθέσιμος Εξοπλισμός**

Η εγκάρσια διατομή της σήραγγας μας δίνει της μορφή της ότι δηλαδή ο χώρος κυκλοφορίας των οχημάτων χωριζόταν με ενδιάμεσο ταβάνι από πάνω μέρος που βρίσκονταν οι αγωγοί του εξαερισμού. Ο χώρος κίνησης των οχημάτων είχε πλάτος 7,5 μ. και μια λωρίδα κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση. Κάθε 212 μ. υπήρχαν σταθμοί έκτακτης ανάγκης που διέθεταν κουμπί για χρήση συναγερμού, τηλέφωνο και 2 πυροσβεστήρες ενώ κάθε 106 μ. υπήρχαν σταθμοί παροχής νερού για τις πυροσβεστικές δυνάμεις σε περίπτωση φωτιάς. Οι χώροι στάθμευσης για τα οχήματα σε περίπτωση ανάγκης, όπου μπορούσαν να κάνουν και αναστροφή, βρίσκονταν κάθε 848 μ. Οι κάμερες ασφαλείας είχαν απόσταση μεταξύ τους 212 μ ενώ τα σήματα ρύθμισης της κυκλοφορίας υπήρχαν στις εισόδους και εσωτερικά κάθε 848 μ.

---

### **Έλλειψη υποδομών για εκκένωση σε περίπτωση ανάγκης**

Σημαντική παράμετρος είναι ότι η σήραγγα του Tauern δεν διέθετε κάποια ξεχωριστή υποδομή για εκκένωση πέρα από τις δύο εισόδους της ούτε κάποιο καταφύγιο με παροχή αέρα για προστασία σε περίπτωση φωτιάς, αν και ήταν προγραμματισμένο να δημιουργηθεί μια παράλληλη σήραγγα και μάλιστα την περίοδο του ατυχήματος είχαν ήδη κατασκευαστεί 60 μ. αυτής. Αυτό ήταν αντίθετο με τις διεθνείς συστάσεις που σημείωναν την ανάγκη να διαθέτει μια σήραγγα εναλλακτικό τρόπο εκκένωσης.

### **Μέση κίνηση**

Με βάση δεδομένα του έτους 1998, η μέση ημερήσια κίνηση της σήραγγας διαμορφωνόταν σε 11.100 οχήματα από τα οποία το 74% ήταν επιβατικά αυτοκίνητα και μηχανές, το 25% οχήματα βαρέου τύπου και το 1% λεωφορεία.

### **Σύστημα Εξαερισμού**

#### Προδιαγραφές

Το σύστημα εξαερισμού αποτελούνταν από 4 ανεξάρτητα τμήματα, (αριθμημένα 1-4) με τα τμήματα 1 και 4 που βρίσκονταν κοντά στις δυο εισόδους να χρησιμοποιούν εγκαταστάσεις δίπλα σε αυτές ενώ τα 2 και 3 λειτουργούσαν μέσω αγωγών ύψους 590 μ. Η δυνατότητα παροχής φρέσκου αέρα έφτανε τα 194 m<sup>3</sup>/s.km ενώ ο ρυθμός για την εξαγωγή καυσαερίων ή καπνού μπορούσε να φτάσει τα 122 m<sup>3</sup>/s.km. Η εξαγωγή αυτή ήταν ομοιόμορφη για καθένα από τα 4 τμήματα και δε μπορούσε να εκτελεστεί στοχευόμενη εξαγωγή σε περιοχή μικρότερου μήκους από το ότι ένα τμήμα εξαερισμού.

#### Τρόπος Λειτουργίας

Η εισαγωγή αέρα εντός τη σήραγγας πραγματοποιούνταν από ανοίγματα που βρίσκονταν κάθε 6 μ. στο πάνω μέρος των πλαϊνών τοιχωμάτων του χώρου κυκλοφορίας, στην γωνία δηλαδή του ενδιάμεσου ταβανιού. Η εισαγωγή αέρα από το σημείο αυτό σε περίπτωση φωτιάς θα κατέστρεφε τη στρωματοποίηση του καπνού και αυτός είναι ο βασικός λόγος όπου στις διαδικασίες ασφαλείας της σήραγγας απαιτούνταν από τους υπεύθυνους στο τμήμα εξαερισμού που εντοπίζεται η φωτιά να διακόπτεται η παροχή του αέρα. Σε περιπτώσεις φωτιάς το σύστημα για την εξαγωγή του καπνού έπρεπε να ρυθμιστεί στη μέγιστη ισχύ του.



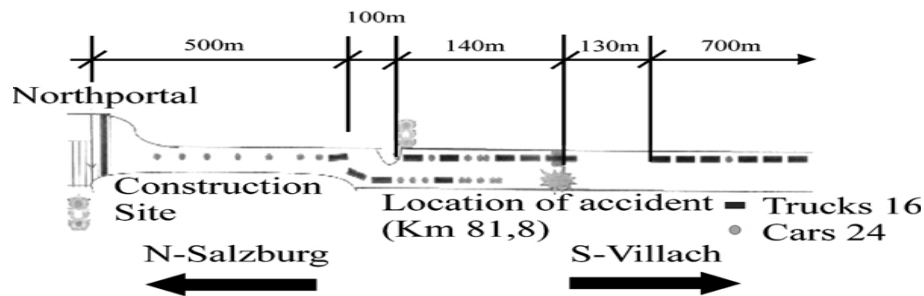


**Εικόνα 3.9 Το εσωτερικό της σήραγγας του Tauern μετά την καταστροφή (Tauern tunnel accident 2012)**

### **3.2.2.2 Εξέλιξη Ατυχήματος**

Το ατύχημα που κόστισε τη ζωή 12 ανθρώπων σημειώθηκε στις 29 Μαΐου του 1999 στις 05.00 π.μ. Οι συνθήκες κυκλοφορίας του επικρατούσαν στη σήραγγα εκείνη την ώρα δεν ήταν οι συνηθισμένες καθώς πραγματοποιούνταν εργασίες στη πλευρά της βόρειας εισόδου, κατά μήκος 500 μ. στη λωρίδα που οδηγούσε νότια. Αυτό σήμαινε ότι σε εκείνο το τμήμα η λωρίδα προς τα νότια ήταν κλειστή και όλα τα οχήματα κινιόντουσαν εκ περιτροπής στην αντίθετη λωρίδα, που κατευθύνονταν προς το Salzburg. Η εκ περιτροπής ρύθμιση της κίνησης και για τις δυο λωρίδες επιτυγχανόταν από φωτεινούς σηματοδότες, που είχαν τοποθετηθεί 600 μ. από τη βόρεια είσοδο.

Τη στιγμή λίγο πριν το ατύχημα το φανάρι για αυτούς που κατευθύνονταν προς τα νότια ήταν πράσινο και προφανώς για αυτούς με κατεύθυνση βόρεια κόκκινο. Καθώς είχε σχηματιστεί μια ουρά οχημάτων που αποτελούνταν από 1 φορτηγό και 4 επιβατικά αυτοκίνητα στην βόρεια λωρίδα περιμένοντας να περάσουν, ένα φορτηγό δε σταμάτησε την πορεία του και προσέκρουσε με ταχύτητα στην ουρά αυτή των οχημάτων, περίπου 750 μ. από τη βόρεια είσοδο (**Εικόνα 3.9**). Μεγάλη ποσότητα καυσίμου χύθηκε στο οδόστρωμα ενώ ένα από τα φορτηγά μετέφερε ιδιαίτερα εύφλεκτο υλικό (μεταλλικά κουτάκια με χρώμα) με αποτέλεσμα η φωτιά που αναπτύχθηκε να εξαπλωθεί ταχύτατα στα γύρω οχήματα και να χρειαστεί 14 ώρες για να κατασβηστεί πλήρως.



**Εικόνα 3.10** Σημείο ατυχήματος εντός της σήραγγας του Tauern (Leitner 2001).

Το σύστημα εντοπισμού φωτιάς, που στηριζόταν στη μέτρηση θερμοκρασίας με αισθητήρες κάθε 8 μ., έδωσε τον πρώτο συναγερμό, καθορίζοντας και την ακριβή θέση της μέσα σε 2 λεπτά από τη σύγκρουση. Ένα λεπτό αργότερα και αφού ειδοποιήθηκαν για το συναγερμό και τα σωστικά συνεργεία, έκλεισε η πρόσβαση στη σήραγγα από τις δύο εισόδους με τη χρήση των φωτεινών σηματοδοτών που έγιναν κόκκινοι. Τα πρώτα σωστικά συνεργεία έφτασαν μέσα σε 15 λεπτά από την νότια πλευρά, από την πλευρά προς την οποία είχε εξαπλωθεί ταχύτερα ο καπνός με συνέπεια να μπορούν να προσεγγίσουν το σημείο της φωτιάς. Από την βόρεια πλευρά τα σωστικά συνεργεία καθυστέρησαν λόγω μια λάθους συνεννόησης για την τοποθεσία του συμβάντος.

Η λειτουργία του συστήματος εξαερισμού ακολούθησε τις προκαθορισμένες διαδικασίες για περίπτωση φωτιάς. Στο τμήμα έναρξης της φωτιάς η εξαγωγή καπνού ρυθμίστηκε στη μέγιστη λειτουργία ενώ διακόπηκε η παροχή αέρα από το πάνω μέρος των πλαϊνών τοιχωμάτων προκειμένου να επιτευχθεί η στρωματοποίηση του καπνού και να διευκολυνθεί η διαφυγή των παγιδευμένων. Ωστόσο η στρωματοποίηση πραγματοποιήθηκε μόνο για τα πρώτα 20 λεπτά και στην συνέχεια διακόπηκε εξαιτίας των εκρήξεων από τα μεταλλικά κουτάκια με το χρώμα.

Μια τροποποίηση στο σύστημα χρειάστηκε να γίνει 41 λεπτά μετά την έναρξη της φωτιάς της λειτουργίας του προκειμένου να απεγκλωβιστούν και να σωθούν 3 άνθρωποι, οι οποίοι παγιδευμένοι από τον καπνό και προκειμένου να προφυλαχτούν θεώρησαν ασφαλές μέρος έναν από τους σταθμούς με τα τηλέφωνα έκτακτης ανάγκης. Η παραμονή στο σταθμό για μεγάλο χρόνο, αν και τους προφύλαξε αρχικά από την τοξικότητα του καπνού, θα αύξανε την πιθανότητα ασφυξίας. Έτσι η τροποποίηση του συστήματος παρέχοντας επιπλέον αέρα, έσπρωξε το καπνό προς τα βόρεια και επέτρεψε τόσο τον απεγκλωβισμό όσο και την επιχείρηση κατάσβεσης από τη νότια πλευρά.

**Πίνακας 3 Χρονική ακολουθία σημαντικότερων γεγονότων του ατυχήματος στη σήραγγα Tauern**

<b>ΩΡΑ</b>	<b>ΓΕΓΟΝΟΣ</b>
05.00	Σύγκρουση φορτηγού με μια σειρά οχημάτων, 750 μ από τη βόρεια είσοδο
05.01	Δημιουργία και εξάπλωση φωτιάς από το καύσιμο που χύθηκε στο οδόστρωμα λόγω της σύγκρουσης
05.02	Το σύστημα εντοπισμού φωτιάς καθόρισε με ακρίβεια την περιοχή της πυρκαγιάς
05.03	Έκλεισαν οι είσοδοι της σήραγγας ενώ οι φωτεινοί σηματοδότες εντός αυτής έγιναν κόκκινοι
05.03	Ειδοποιήθηκαν τα σωστικά συνεργεία
05.15	Τα πρώτα σωστικά συνεργεία έφτασαν από την νότια είσοδο (την είσοδο με τον πυκνότερο καπνό)
05.20	Πραγματοποιήθηκαν εκρήξεις λόγω του φορτίου ενός φορτηγού, που περιείχε μεταλλικά κουτάκια με χρώμα και κατέστρεψαν τη στρωματοποίηση του καπνού
05.41	Τροποποίηση στο σύστημα εξαερισμού για να απεγκλωβιστούν 3 άνθρωποι

### **3.2.2.3 Συνέπειες Ατυχήματος**

#### **Ανθρώπινες Απώλειες**

Από το ατύχημα και τη φωτιά 12 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους από τους οποίους 8 πέθαναν στη σύγκρουση του φορτηγού με τα οχήματα, ένας βρέθηκε νεκρός λόγω ασφυξίας στο επίπεδο του δρόμου 800 μ. από από το σημείο της φωτιάς προς την νότια είσοδο και οι υπόλοιποι τρεις βρέθηκαν εντός οχήματος που άνηκε σε 2 από αυτούς. Φέρεται ο τρίτος να εισήλθε στο όχημα για να προστατευτεί από την τοξικότητα του καπνού και ενώ αν και είχε φύγει από το δικό του, επέστρεψε για να πάρει κάποια έγγραφα. Οι τρεις παραπάνω πέθαναν από ασφυξία ενώ προκαλούνται ερωτήματα γιατί δεν προσπάθησαν να διαφύγουν βλέποντας τους γύρω τους να κάνουν το ίδιο. Είναι γεγονός ότι λόγω της πρόσφατης τραγωδίας στη σήραγγα του Mont Blanc είχε συμβεί μόλις 2 μήνες πριν, οι χρήστες αντιλήφθηκαν γρήγορα τον κίνδυνο και την ανάγκη να διαφύγουν μόνοι τους και έτσι περιορίστηκαν οι απώλειες ζώων. Εκτιμάται ότι 80 χρήστες εγκατέλειψαν τη σήραγγα είτε με τα

---

πόδια είτε με τα οχήματα τους ενώ σημαντικές παράμετροι ήταν το σημείο της φωτιάς κοντά στη βόρεια είσοδο και η στρωματοποίηση του καπνού στα πρώτα λεπτά.

### **Υλικές Ζημιές**

Από πλευρά υλικών ζημιών καταστράφηκαν ολοσχερώς 24 αυτοκίνητα και 16 φορτηγά. Ακόμα σημαντικές ζημιές παρατηρήθηκαν στο χώρο κυκλοφορίας των οχημάτων της σήραγγας για 500 μ. στο τμήμα που βρίσκονταν η φωτιά ενώ στα 300 μ. από αυτά το ενδιάμεσο ταβάνι κατέρρευσε. Η σήραγγα παρέμεινε κλειστή για 3 μήνες και στο πλαίσιο αποκατάστασης των ζημιών κατασκευάστηκε σύστημα εξαερισμού με δυνατότητα στοχευόμενης εξαγωγή καπνού στο σημείο της φωτιάς. Το συνολικό κόστος επισκευών έφτασε τα 6,5 εκατομμύρια δολάρια ενώ τα διαφυγόντα έσοδα από τις απώλειες των διοδίων ήταν 19,5 εκατομμύρια.

## **3.2.3 Περιγραφή ατυχήματος στη σήραγγα St. Gotthard**

Στις 24 Οκτωβρίου του 2001 στη σήραγγα του St. Gotthard μία σύγκρουση μεταξύ δυο φορτηγών οδήγησε στη δημιουργία ισχυρής φωτιάς και στοίχισε τις ζωές 11 ανθρώπων. Οι πληροφορίες για τα παρακάτω δεδομένα ελήφθησαν από την επίσημη αναφορά για το περιστατικό όπως αυτή δημοσιεύτηκε στο βιβλίο των Beard & Carvel (2005) και από έκθεση των PIARC & ITA (2004).

### **3.2.3.1 Χαρακτηριστικά Σήραγγας**

Η σήραγγα του St. Gotthard έχει μήκος 16.920 μ. και βρίσκεται εξ ολοκλήρου στην Ελβετία στα σύνορα μεταξύ δυο διοικητικών περιοχών της. Η λειτουργία της ξεκίνησε το 1980 και ενώνει την περιοχή Aigolo στην νότια είσοδο σε υψόμετρο 1.145 μ. με την Goschenen στην βόρεια είσοδο σε υψόμετρο 1.081 μ. (μέγιστη κλίση 1,4 %). Σε κάθε είσοδο, που υπάγεται σε διαφορετική διοικητική περιοχή της Ελβετίας, λειτουργούσε και ένα κέντρο ελέγχου. Ωστόσο υπεύθυνο για τον έλεγχο και τη τήρηση των κανονισμών ασφαλείας ολόκληρης της σήραγγας ανά πάσα στιγμή ήταν ένα από αυτά, καθώς ενάλλασσαν τη λειτουργία τους.

### **Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά & Διαθέσιμος Εξοπλισμός**

Η εγκάρσια διατομή της σήραγγας μας δίνει της μορφή της ότι δηλαδή ο χώρος κυκλοφορίας των οχημάτων χωριζόταν με ενδιάμεσο ταβάνι από πάνω μέρος που βρίσκονταν οι αγωγοί του εξαερισμού. Το πλάτος του χώρου κυκλοφορίας ήταν 7,8 μ. διαθέτοντας μια λωρίδα κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση. Κάθε 125 μ. υπήρχαν τηλεφωνικοί σταθμοί έκτακτης κατάστασης που περιελάμβαναν εντός τους

---

τηλέφωνο, κουμπί για χρήση συναγερμού και πυροσβεστήρες ενώ οι αποστάσεις των περιοχών που είχαν δυνατότητα να σταματήσουν τα οχήματα σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης ήταν μεταξύ 650-800 μ. Υπήρχαν κάμερες ασφαλείας κάθε 200 μ. ενώ τα σήματα ρύθμισης της κυκλοφορίας βρίσκονταν κάθε 250 μ. εντός της σήραγγας και όχι στις εισόδους.

Η σημαντικότερη δυνατότητα που παρείχε η σήραγγα ήταν η παρουσία *μιας στοάς έκτακτης ανάγκης, παράλληλη στο κύριο χώρο κυκλοφορίας*. Η στοά διέθετε δικό της σύστημα εξαερισμού για περίπτωση φωτιάς και η πρόσβαση γινόταν από εισόδους κάθε 250 μ.

### **Μέση Κίνηση**

Η μέση ημερήσια κίνηση της σήραγγας σύμφωνα με δεδομένα για το 2000 κυμαίνονταν σε 18.700 οχήματα και από αυτά το 16% (2,950) ήταν φορτηγά.

### **Σύστημα Εξαερισμού**

#### Προδιαγραφές

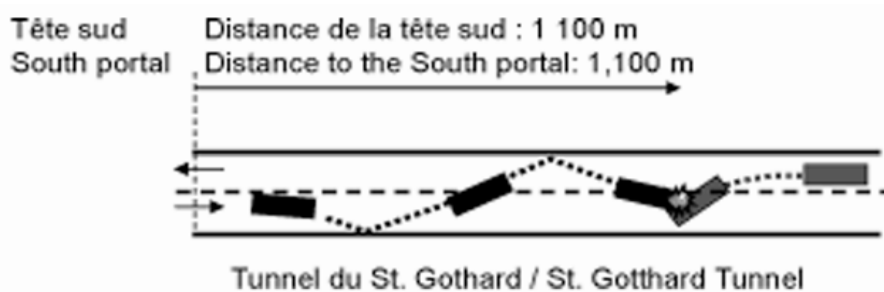
Το σύστημα εξαερισμού της σήραγγας αποτελούνταν από 10 ανεξάρτητα μεταξύ τους τμήματα όπου τα τμήματα που βρίσκονταν κοντά στις δυο εισόδους λειτουργούσαν από 2 εγκαταστάσεις κοντά σε αυτές ενώ στα υπόλοιπα τμήματα στο εσωτερικό της σήραγγας ο εξαερισμός τους γινόταν μέσω 4 αγωγών. Η εξαγωγή καυσαερίων ή καπνού ήταν ομοιόμορφη σε κάθε τμήμα, χωρίς να υπάρχει η δυνατότητα στοχευμένης εξαγωγής σε τμήμα μικρότερου μήκους από κάποιο από τα 10 αρχικά. Η μέγιστη δυνατή παροχή αέρα που μπορούσε να προσφέρει αλλά και η μέγιστη ικανότητα εξαγωγής ήταν 125-130  $m^3/s.km$ . Η εισαγωγή αέρα γινόταν από ανοίγματα που βρίσκονταν κάθε 8 μ. στο κάτω μέρος των πλαϊνών τοιχωμάτων του χώρου κίνησης.

#### Τρόπος Λειτουργίας

Η μεγάλη εισαγωγή αέρα από το κάτω μέρος των τοιχωμάτων σε περίπτωση πυρκαγιάς οδηγεί στη δημιουργία ισχυρής διαμήκου ροή αέρα και στην καταστροφή της στρωματοποίησης του καπνού. Αυτός είναι ο λόγος που οι διαδικασίες ασφαλείας της σήραγγας καθόριζαν ότι στο τμήμα εξαερισμού που εντοπιζόταν η φωτιά η παροχή αέρα *αυτόματα* μειωνόταν στο 30 % της μέγιστης ενώ στο ίδιο τμήμα η εξαγωγή καπνού ρυθμιζόταν στη μέγιστη δυνατή λειτουργία. Στη σήραγγα του St. Gotthard η διαδικασία εξαγωγής ενεργοποιούνταν *αυτόματα* στο εκάστοτε τμήμα ακολουθώντας κάποια προγραμματισμένα σενάρια που είχαν εισαχθεί στο σύστημα και εξαρτιόνταν από το σημείο έναρξης.

### 3.2.3.2 Χρονικό Ατυχήματος

Το ατύχημα συνέβη 24 Οκτωβρίου 2001 στις 09.39 όταν ένα βελγικό βαρέου τύπου όχημα (μετέφερε 7,5 τόνους κυρίως ρούχα και φωτογραφικό υλικό), κατευθυνόμενο βόρεια και χάνοντας τον έλεγχο της πορείας του, χτύπησε διαδοχικά τόσο με το τοίχο στα δεξιά του όσο και με αυτόν του αντίθετου ρεύματος, συγκρούστηκε με ιταλικό φορτηγό που ερχόταν από τα βόρεια. Ο οδηγός του ιταλικού οχήματος, που μετέφερε 15 τόνους ελαστικά αυτοκινήτων, προσπάθησε αλλά δε κατάφερε να αποτρέψει τη σύγκρουση που συνέβη 1.100 μ. από τη νότια είσοδο (**Εικόνα 3.10**). Ο οδηγός του βελγικού οχήματος αν και βγήκε από το φορτηγό του δε κατάφερε να σωθεί και μάλιστα στη νεκροψία που ακολούθησε βρέθηκαν σημαντικές ποσότητες αλκοόλ στο αίμα του, που δικαιολογούν εν μέρει τη πορεία που ακολούθησε πριν τη σύγκρουση.



**Εικόνα 3.11 Πορεία φορτηγού πριν τη σύγκρουση (PIARC 2004)**

Η σύγκρουση οδήγησε στο να χυθεί στο έδαφος καύσιμο από το ντεπόζιτο του βελγικού φορτηγού με τμήμα αυτού να ακουμπά πάνω στις ζεστές επιφάνειες της μηχανής του φορτηγού και να ατμοποιείται ενώ το υπόλοιπο κύλησε στο οδόστρωμα λόγω της κλίσης. Σημαντικό ρόλο στο περιορισμό της ποσότητας που παρέμεινε στο οδόστρωμα έπαιξε το σύστημα για τη συγκέντρωση υγρών μέσω σιφωνίων ενώ ανάφλεξη του ατμοποιημένου καυσίμου οφείλεται πιθανότατα στην δημιουργία σπινθήρων από το κύκλωμα της μπαταρίας του φορτηγού.

Αφού είχε δημιουργηθεί η πρώτη εστία φωτιάς, μεταφέρθηκε άμεσα στο ιταλικό φορτηγό και μέσα σε 4 λεπτά και τα δυο ήταν τυλιγμένα στις φλόγες. Η ποσότητα και το είδος των φορτίων και ιδιαίτερα των ελαστικών του ιταλικού φορτηγού συνετέλεσε στο να εξαπλωθεί ταχύτατα, να δημιουργηθούν ισχυρές φλόγες, να ελευθερωθούν τεράστιες ποσότητες θερμότητας και να δημιουργηθεί ένας ιδιαίτερα πυκνός και τοξικός καπνός. Μέσω των μηχανισμών μεταφοράς θερμότητας της συναγωγής και της ακτινοβολίας η πυρκαγιά, που διήρκησε 24 ώρες, μεταφέρθηκε διαδοχικά σε 5

---

φορτηγά που είχαν σταματήσει-παγιδευτεί πίσω από το ιταλικό με τη μέγιστη απόσταση μεταξύ τους να φτάνει τα 48 μ.



**Εικόνα 3.12 Η πρώτη φωτογραφία που τραβήχτηκε ενώ το ατύχημα στη σήραγγα St. Gotthard ήταν σε εξέλιξη (Beard & Carvel 2005)**

### **Λειτουργία Συναγερμών και Κλείσιμο Εισόδων**

Ο πρώτος συναγερμός δόθηκε μόλις ένα λεπτό μετά την εκδήλωση της φωτιάς από κάποιον εντός της σήραγγας που κάλεσε το τηλέφωνο έκτακτης ανάγκης (112). Ο συναγερμός από το σύστημα εντοπισμού φωτιάς με την ακριβή θέση της δόθηκε 3 λεπτά μετά την έναρξη. Ακολούθησε μετά από λίγο το κλείσιμο της βόρειας εισόδου (η νότια είχε ήδη κλείσει πριν το συμβάν επειδή ένα φορτηγό είχε παραβιάσει το όριο ύψους), στο ίδιο χρονικό σημείο οι σηματοδότες ρύθμισης της κυκλοφορίας εντός της σήραγγας έγιναν κόκκινοι στις δυο κατευθύνσεις, οι υπεύθυνοι έστειλαν μηνύματα μέσω των ραδιοσυχνοτήτων και οι έξοδοι έκτακτης ανάγκης φωτίστηκαν.

### **Ανταπόκριση Σωστικών Συνεργείων**

Οι πυροσβεστικές δυνάμεις από το Airolo έφτασαν στη νότια είσοδο στις 09.47 και συνολικά μέσα σε 10 λεπτά βρίσκονταν στο σημείο της φωτιάς με το χρόνο ανταπόκρισης να είναι ο ελάχιστος δυνατός. Πριν από τις πυροσβεστικές δυνάμεις από τη νότια είσοδο είχε εισέλθει ένας από τους υπεύθυνους λειτουργίας που αν και έφτασε 150 μ. από την εστία της φωτιάς, αυτή είχε ήδη εξαπλωθεί και ήταν αδύνατο να αντιμετωπιστεί με χρήση πυροσβεστήρων. Οι αντίστοιχες ομάδες από το Goschenen δεν ήταν σε θέση να προσεγγίσουν το σημείο λόγω του πυκνού καπνού που είχε εξαπλωθεί βόρεια και σταμάτησαν 2,5 km βόρεια του ατυχήματος, 13 λεπτά μετά την έναρξη της φωτιάς.

**Πίνακας 4 Χρονική ακολουθία σημαντικότερων γεγονότων του ατυχήματος στη  
σήραγγα St. Gotthard**

<b>ΩΡΑ</b>	<b>ΓΕΓΟΝΟΣ</b>
09.39	Σύγκρουση μεταξύ βελγικού και ιταλικού φορτηγού
09.40	Τηλεφώνημα έκτακτης ανάγκης (112) από χρήστη της σήραγγας
09.40	Καύσιμο από το βελγικό φορτηγό χύθηκε και εξαπλώθηκε στο οδόστρωμα
09.41	Το βελγικό φορτηγό αναφλέγει
09.42	Ενεργοποιείται ο συναγερμός από το σύστημα ανίχνευσης φωτιάς και αυτόματα το σύστημα εξαερισμού, καθορίζοντας ακριβώς τη περιοχή έναρξή της
09.42	Όλες οι σωστικές δυνάμεις στο Αιόλο-νότια είσοδο ειδοποιήθηκαν
09.42	Οι φλόγες μεταφέρθηκε και στο ιταλικό όχημα
09.44	Έκλεισε η βόρεια είσοδος και οι φωτεινοί σηματοδότες εντός της σήραγγας έγιναν κόκκινοι
09.49	Οι δυνάμεις από το Αιόλο έφτασαν στο σημείο της φωτιάς
09.52	Οι δυνάμεις από το Goschenen-βόρεια είσοδο σταμάτησαν λόγω της πυκνότητας του καπνού 2,5 km από τη φωτιά
09.59	Οδηγός οχήματος σε απόσταση 1250 μ. από το αρχικό σημείο του συμβάντος, λιποθύμησε μέσα σε αυτό και βρήκε θάνατος
10.10	Συνέβη ισχυρή έκρηξη από το ντεπόζιτο του ιταλικού φορτηγού
10.17	Τμήμα του ενδιάμεσου ταβανιού, ακριβώς πάνω από το βελγικό φορτηγό καταρρέει

Οι πυροσβεστικές δυνάμεις και τα σωστικά συνεργεία, που δεν είχαν γνώση για τον αριθμό των παγιδευμένων ανθρώπων και οχημάτων, προσέγγισαν τη φωτιά μέσω των εισόδων της παράλληλης στοάς. Ωστόσο το σημείο της σύγκρουσης δε μπόρεσαν να το φτάσουν επειδή η πόρτα που οδηγούσε σε αυτό ήταν αδύνατο να ανοίξει εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που είχαν αναπτυχθεί. Οι προσπάθειες των συνεργείων έγιναν δυσχερέστερες εξαιτίας τόσο της κατάρρευσης τμήματος της ενδιάμεσης οροφής (περίπου 37 λεπτά μετά το ατύχημα) που τα ανάγκασε να υποχωρήσουν όσο και μιας ισχυρής έκρηξης από το ντεπόζιτο του ιταλικού φορτηγού.



### **Λειτουργία Συστήματος Εξαερισμού**

Η ταχύτατη διάδοση του καπνού προς τα βόρεια που εγκλώβισε οδηγούς λόγω μη ορατότητας, οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο τρόπο λειτουργία του συστήματος εξαερισμού καθώς όπως μεταφερόταν ο καπνός και τα διάφορα παράγωγα της φωτιάς κατά μήκος της σήραγγας ενεργοποιούνται *αυτόματα* περαιτέρω συναγερμοί και στα άλλα τμήματα. Αυτό αύξησε τη διαμήκη ταχύτητα του αέρα και οδήγησε τόσο στην γρήγορη εξάπλωση του καπνού όσο και στη μη στρωματοποίηση του με το πρόβλημα να μπορούσε να αντιμετωπιστεί μόνο αν υπήρχε κεντρική διαχείριση όλων των τμημάτων εξαερισμού.

#### **3.2.3.3 Συνέπειες Ατυχήματος**

##### **Ανθρώπινες Απώλειες**

Συνολικά 11 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους στο ατύχημα, οι οποίοι παγιδεύτηκαν στον καπνό και απεβίωσαν λόγω της τοξικότητας του μέσα σε 12-15 λεπτά από την έναρξη της φωτιάς. Ο ένας από αυτούς ήταν ο οδηγός του βελγικού φορτηγού, που αν και διέφυγε από το όχημα, βρέθηκε 300 μ από αυτό. Οι περισσότεροι από τους άλλους 10 φαίνεται να είναι οδηγοί και επιβάτες οχημάτων από τη βόρεια πλευρά που μην έχοντας οπτική επαφή από το σημείο της φωτιάς ώντας σε απόσταση 300-600 μ. από αυτό, καθυστέρησαν να αντιληφθούν το μέγεθος του κινδύνου και όταν ο καπνός τους πλησίασε ήταν πλέον αργά για να αντιδράσουν.



**Εικόνα 3.13 Συνεργεία διάσωσης στο εσωτερικό της σήραγγας μετά την κατάσβεση της φωτιάς (St. Gotthard tunnel accident 2007)**

Πέντε θύματα βρέθηκαν μέσα στα αυτοκίνητά τους όπου ένας επέστρεψε για να πάρει κάποια έγγραφα ενώ ένας βρισκόταν εντός του σε απόστασή 1250 μ. και

---

τηλεφωνούσε. Ακόμα 3 θύματα βρέθηκαν στο δρόμο έχοντας διανύσει απόσταση πάνω από 200 μ., απόσταση μεγαλύτερη από αυτή που απαιτούνταν για να βρουν κάποια έξοδο κινδύνου που ερμηνεύεται ότι είτε δεν αντιλήφθηκαν την παρουσία τους είτε δε μπορούσαν να ανοίξουν τις πόρτες εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύχθηκαν. Από τη παράλληλη στοά έκτακτης ανάγκης και τις εξόδους ασφαλείας υπολογίζεται ότι απεγκλωβίστηκαν 30-35 άνθρωποι.

### **Υλικές Ζημιές**

Από πλευράς υλικών ζημιών, εκτός από τα δυο φορτηγά της σύγκρουσης, κάηκαν ολοσχερώς 5 ακόμα που είχαν σταματήσει πίσω από το ιταλικό κατευθυνόμενα νότια ενώ επιπλέον 10 επιβατικά και 6 φορτηγά υπέστησαν σοβαρές ζημιές, με τη μη μετάδοση της φωτιάς σε αυτά να οφείλεται στην έγκαιρη παρέμβαση των πυροσβεστών από τις εισόδους της παράλληλης στοάς. Το ενδιάμεσο ταβάνι της σήραγγας κατέρρευσε για 250 μ. στη περιοχή της φωτιάς, 37 λεπτά μετά την σύγκρουση. Σημαντικό τμήμα του εξοπλισμού στο χώρο κίνησης έπρεπε να αντικατασταθεί ενώ από την άλλη αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι τα καλώδια που βρίσκονταν στον αγωγό παροχής αέρα παρέμειναν ανέπαφα και επέτρεψαν στις επικοινωνίες να λειτουργήσουν κανονικά καθ' όλη τη διάρκεια της φωτιάς και των επιχειρήσεων διάσωσης.

Η σήραγγα επαναλειτούργησε μετά από 2 μήνες με το κόστος των επισκευών, συνυπολογίζοντας και τα διαφυγόντα κέρδη λόγω της μη κυκλοφορίας, να φτάνει το 1,2 εκατομμύριο ευρώ.

### **3.3 Ατυχήματα οδικών σηράγγων και ανθρώπινη συμπεριφορά**

Η κατανόηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς έχει σημαντική συμβολή στη προσπάθεια για τη βελτίωση του επιπέδου ασφαλείας των σηράγγων καθώς ο άνθρωπος λαμβάνει μέρος σε όλες τις φάσεις εξέλιξης ενός ατυχήματος, τόσο στην αρχική ως δημιουργός όσο και στο τέλος ως αποδέκτης των συνεπειών του (Papaioannou και Georgiou 2008). Ζητούμενο μελετών είναι ο εντοπισμός των παραγόντων που επηρεάζουν την συμπεριφορά του ανθρώπου σε όποια μορφή και αν εμπλέκεται με το σύστημα είτε ως χρήστης (οδηγοί και επιβάτες) ή ως χειριστής του κέντρου ελέγχου ή ως διασώστης. Εντοπίζοντας τους παράγοντες είμαστε σε θέση να διορθώσουμε τις λάθος πρακτικές και να βελτιώσουμε το σχεδιασμό και τη λειτουργία των σηράγγων καθώς και τις διαδικασίες εκπαίδευσης όλων των εμπλεκόμενων προσώπων (PIARC 2011).

---

Οι τρεις ομάδες ανθρώπων δεν είναι ανεξάρτητες αλλά ένα σύνολο όπου σε περίπτωση διακοπής της ομαλής λειτουργίας της σήραγγας απαιτείται συνεργασία και διαρκής ανταλλαγή πληροφοριών όλων μεταξύ τους για την αποτελεσματική αντιμετώπιση του κινδύνου. Δίνεται βαρύτητα στην πλευρά των χρηστών διότι τόσο οι χειριστές όσο και οι διασώστες έχουν υποστεί κάποιου είδους εκπαίδευση ενώ από την άλλη η αντίδραση των χρηστών σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης αν και ιδιαίτερα κρίσιμη, είναι απρόβλεπτη και δύσκολα ελεγχόμενη. Στις παρακάτω ενότητες περιγράφονται αναλυτικότερα η συμπεριφορά της κάθε ομάδας, κάνοντας συσχέτιση με τα λάθη και τις παραλείψεις όπως αυτά εντοπίστηκαν στις περιγραφές των ατυχημάτων της ενότητας **3.2**.

### **3.3.1 Ως χρήστης**

Η έννοια χρήστες αναφέρεται στους οδηγούς των οχημάτων και στους επιβάτες τους. Η προσπάθεια διερεύνησης της συμπεριφοράς του χρήστη έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών μελετών τις τελευταίες δεκαετίες με βασικό ζητούμενο την αποτελεσματική ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ του συστήματος της σήραγγας και των χρηστών και την ενημέρωση για το ποια πρέπει να είναι η ενδεδειγμένη αντιμετώπιση έκτακτων καταστάσεων.

Η πρόταση για ένα συγκεκριμένο και απόλυτο τρόπο αντίδρασης δεν είναι εύκολη υπόθεση καθώς δε πρέπει να αγνοήσουμε τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε σήραγγας και την απόκλιση στο επίπεδο εμπειρίας των χρηστών (PIARC 2011). Ωστόσο αυτό που παρατηρείται στη γενικότερη προσέγγιση είναι μια διαφοροποίηση ανάμεσα στις πραγματικές αντιδράσεις των χρηστών και στις προσδοκώμενες σε περίπτωση φωτιάς καθώς ενώ αναμένουμε οι χρήστες να βγούνε από τα οχήματα και να εκκενώσουν άμεσα τη σήραγγα επικρατούν λανθασμένες συμπεριφορές όπως παραμονή σε αυτά ή προσπάθεια αναστροφής (CETU 2010). Στα ατυχήματα του Mont Blanc και του St. Gotthard 27 και 5 θύματα αντίστοιχα βρέθηκαν εντός των αυτοκινήτων τους.

Ένα από τα μεγαλύτερα εμπόδια στην αντίδραση των χρηστών είναι η άρνηση τους να δεχτούν την ύπαρξη κάποιας απειλής και η προσπάθεια τους να την υποβαθμίσουν καθώς ακόμα και αν παρατηρούν τις προειδοποιήσεις, μην έχοντας απευθείας οπτική επαφή με κάποιο συμβάν θεωρούν ότι πρόκειται για λάθος (PIARC 2008). Καθυστερούν να εκτιμήσουν τη κρισιμότητα της κατάστασης με συνέπεια μα μειώνεται ο διαθέσιμος χρόνος για να αντιδράσουν. Και στα τρία ατυχήματα που περιγράφονται στην **3.2** οι περισσότεροι νεκροί ήταν άνθρωποι που παγιδεύτηκαν

---

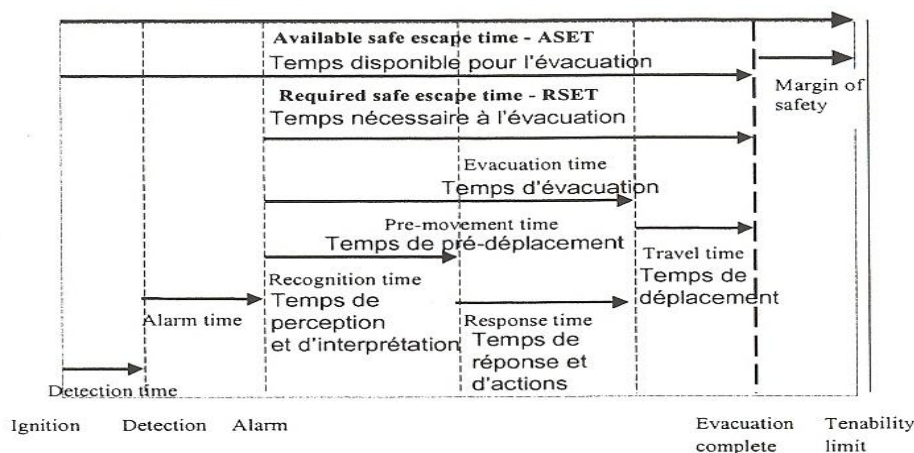
από τον πυκνό καπνό εξαιτίας της καθυστερημένης αντίληψης της φωτιάς με την οποία δεν είχαν οπτική επαφή ενώ υπήρξαν θύματα που αν και είχαν ξεκινήσει να διαφεύγουν επέστρεψαν στα οχήματά τους για να συλλέξουν κάποια έγγραφα.

Για να αλλάξουν άποψη και να προσαρμοστούν στις νέες συνθήκες θα πρέπει ο κίνδυνος να είναι πλέον ορατός και να λάβουν άμεσα ξεκάθαρα και πλήρως κατανοητά ηχητικά και οπτικά σήματα από το σύστημα της σήραγγας που θα τους κατευθύνουν (PIARC 2008). Κάτω από τις συνθήκες πίεσης αναπτύσσονται έντονα αρνητικά συναισθήματα όπως άγχος, φόβος και σύγχυση τα οποία μπορεί να τους οδηγήσουν σε κατάσταση πανικού και να αυξηθούν οι πιθανότητες υιοθέτησης λανθασμένων συμπεριφορών. Πιθανή αντίδραση ενός χρήστη είναι να μιμηθεί τους ανθρώπους γύρω του και να πράξει με βάση το πλήθος, καλύπτοντας έτσι την ανάγκη του για πληροφόρηση και νιώθοντας μεγαλύτερη ασφάλεια σαν μέρος της ομάδας (Papaioannou και Georgiou 2008).

Μέσα από τη γαλλική μελέτη ACTEURS (Améliorer le Couplage Tunnel Equipements Usagers pour Renforcer la Sécurité - Improving links between Tunnels - Operators – Users to reinforce safety) που εκτελέστηκε υπό την εποπτεία του CETU το 2004 και αφού ερωτήθηκαν 620 χρήστες προέκυψαν ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα. Το 48,2 % αγνοούσε το γεγονός ότι υπήρχε απόσταση ασφαλείας και για τα σταματημένα οχήματα ενώ 71 % των χρηστών δε μπορούσαν να υπολογίσουν πόσο χρόνο βρίσκονταν εντός της σήραγγας. Ακόμα το ένα τρίτο παραδέχτηκε ότι δεν ήταν σε θέση να απαντήσουν που οδηγούν οι έξοδοι κινδύνου ενώ 29 % δεν ήξερε τι θα μπορούσε να περιέχει ένα καταφύγιο. Τα παραπάνω φανερώνουν πέρα από την έλλειψη γνώσεων και ενημέρωσης, την αδυναμία των χρηστών να κατανοήσουν τη σημασία των παροχών και την αναγκαιότητά τους σε περίπτωση κινδύνου καθώς και το γεγονός ότι δεν μπορούν να θεωρήσουν εύκολα τον εαυτό τους μέρος του συνολικού συστήματος (CETU 2010). Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι στο ατύχημα του Tauern τρεις άνθρωποι θεώρησαν σαν ασφαλές καταφύγιο έναν σταθμό με τηλέφωνα ανάγκης ενώ στα και τρία ατυχήματα οι οδηγοί ακινητοποίησαν πολύ κοντά τα οχήματα με αποτέλεσμα ταχύτατη εξάπλωση της φωτιάς.

Οι χρήστες σε περίπτωση ατυχήματος και ιδιαίτερα όταν αναπτύσσεται φωτιά πρέπει να είναι σε θέση να συνειδητοποιήσουν τη νέα κατάσταση που δημιουργείται, να επαναπροσδιορίσουν το στόχο τους και να αντιληφθούν την ανάγκη να εκκενώσουν τη σήραγγα. Ο χρόνος που έχουν στη διάθεση τους είναι περιορισμένος ενώ όσο άμεση και αν είναι η ανταπόκριση και η επέμβαση των χειριστών των

κέντρων ελέγχου και των σωστικών συνεργείων η πρωτοβουλία για να διαφύγουν ανήκει στους ίδιους. Η εκκένωση μιας σήραγγας σε περίπτωση φωτιάς χωρίζεται σε τρία χρονικά στάδια όπως φαίνεται στην **Εικόνα 3.13**. Αρχικά είναι το χρονικό διάστημα που απαιτείται ώστε ο χρήστης να αντιληφθεί την ύπαρξη κινδύνου και να ενεργοποιηθεί ο συναγερμός. Ακολουθεί το στάδιο όπου ο χρήστης προσπαθεί να αποφασίσει πως θα πράξει αντλώντας ταυτόχρονα πληροφορίες από το περιβάλλον γύρω του που θα τον κατευθύνουν ενώ τέλος συνεχίζει το στάδιο της εκτέλεσης αυτού που αποφάσισε, όπου η σωστή επιλογή θα ήταν να εγκαταλείψει το όχημα του και να κινηθεί με τα πόδια στις εξόδους κινδύνου. Ο χρόνος διάρκειας της κάθε φάσης καθορίζει και τον συνολικό χρόνο και η καθυστέρηση σε κάποιο από αυτά επηρεάζει και τα υπόλοιπα και ιδιαίτερα το στάδιο των αποφάσεων στο οποίο οι συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον είναι οι δυσμενέστερες (Tesson 2010).



**Egress Time Model (ISO Draft TC92, 2005)**

**Εικόνα 3.14 Μοντέλο με χρονική ακολουθία διαστημάτων για εκκένωση σήραγγας από χρήστες (Tesson 2010)**

### 3.3.2 Ως χειριστής του κέντρου ελέγχου

Η έννοια χειριστές προσδιορίζει τους υπευθύνους των κέντρων ελέγχου που ελέγχουν την ασφαλή λειτουργία της σήραγγας και την ομαλή κυκλοφορία των οχημάτων εντός της προκειμένου να προλαμβάνουν κάθε είδους κίνδυνο. Έχουν καθοριστικό ρόλο και πολλαπλές αρμοδιότητες σε περίπτωση ατυχήματος καθώς είναι οι πρώτοι που καλούνται να το αντιμετωπίσουν άμεσα ενώ πρέπει να

---

παρέχουν ταχύτατα πληροφορίες τόσο στους χρήστες και στα συνεργεία διάσωσης αλλά και στους ανωτέρους τους (CETU 2010).

Ιδιαίτερα η παροχή πληροφοριών και η επικοινωνία με τους χρήστες στα πρώτα λεπτά εξέλιξης ενός ατυχήματος έχει καθοριστική σημασία για την αναγνώριση του κινδύνου και την ασφαλή εκκένωση της σήραγγας. Οι χειριστές αξιολογώντας τα δεδομένα και τις μετρήσεις του εξοπλισμού που διαθέτουν τα κέντρα ελέγχου πρέπει ταχύτατα να προσδιορίσουν τον κίνδυνο, να λάβουν αποφάσεις και να κατευθύνουν τους χρήστες με ενέργειες όπως ενεργοποίηση του συναγερμού, κλείσιμο των εισόδων, τροποποίηση του συστήματος εξαερισμού, μηνύματα στις ραδιοσυχνότητες, ρύθμιση σήμανσης. Επίσης είναι επιφορτισμένοι στο να μεταφέρουν πληροφορίες στα αρμόδια σωστικά συνεργεία σχετικά με τη κατάσταση που επικρατεί όπως την ύπαρξη παγιδευμένων ανθρώπων, το ακριβές σημείο του ατυχήματος, την εξέλιξη φωτιάς και με βάση αυτά τα συνεργεία να καθορίσουν το σχέδιο δράσης τους.

Η αποτελεσματική αντιμετώπιση έκτακτων καταστάσεων απαιτεί να υπάρχουν αναλυτικές και με πλήρως καθορισμένο περιεχόμενο διαδικασίες ασφαλείας σε κάθε σήραγγα όπου οι χειριστές των κέντρων ελέγχου πρέπει να εφαρμόσουν καθώς είναι υπεύθυνοι για την αρχική επέμβαση (Papaioannou και Georgiou 2008). Ωστόσο οι αποφάσεις τους λαμβάνονται σε ένα πλαίσιο πίεσης χρόνου με τις διαθέσιμες πληροφορίες να είναι περιορισμένες ή και συγκεχυμένες. Οι χειριστές οφείλουν να είναι σε διαρκή ετοιμότητα και πρέπει να έχουν υποστεί επαρκή και ολοκληρωμένη εκπαίδευση για αντιμετώπιση τέτοιων περιστατικών. Σημαντικό ζητούμενο είναι η πλήρης και ουσιαστική κατανόηση των διαδικασιών ασφαλείας και οι λόγοι χρήσης τους προκειμένου να είναι σε θέση να προσαρμόζονται στις ιδιαίτερες συνθήκες του εκάστοτε ατυχήματος και να πράττουν έχοντας σαν γνώμονα την ασφάλεια των χρηστών. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι σημαντική συμβολή στην εξέλιξη της τραγωδίας στη σήραγγα του Mont Blanc είχε το γεγονός ότι οι χειριστές του κέντρου της ιταλικής πλευράς δεν εφάρμοσαν τις διαδικασίες για το σύστημα εξαερισμού, θεωρώντας ότι με αυτό τον τρόπο βοηθούσαν τους παγιδευμένους.

Είναι προφανές ότι εκπαίδευση των χειριστών πρέπει να είναι μια συνεχής και διαρκής διαδικασία επιμόρφωσης που να στοχεύει στη βαθύτερη κατανόηση των καθηκόντων τους και των καταστάσεων με τις οποίες μπορεί να βρεθούν αντιμέτωποι αφού τότε οι συνθήκες δεν είναι ακριβώς ίδιες (CETU 2010). Όσο πιο έμπειρος είναι ένας χειριστής τόσο πιο ψύχραιμα αντιμετωπίζει μια κατάσταση ενώ κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσής τους πρέπει να μελετούν λάθη και παραλείψεις από παλιότερα

---

περιστατικά σε αντίστοιχες σήραγγες και να είναι σε θέση να μην τα επαναλάβουν ξανά στο μέλλον. Σημαντικό ρόλο στην διαδικασία εκμάθησης έχουν οι ασκήσεις έκτακτης ανάγκης όπου μπορούμε να ελέγξουμε το βαθμό ετοιμότητας των χειριστών, να παρατηρήσουμε τη συνεργασία τους με τις υπόλοιπες ομάδες και να εντοπίσουμε τυχόν κενά που υπάρχουν στην εκπαίδευση ή στις διαδικασίες ασφαλείας.

### 3.3.3 Ως διασώστης

Με τον όρο διασώστες αναφερόμαστε στις δυνάμεις της Πυροσβεστικής, της Αστυνομίας και των Πρώτων Βοηθειών όπου η παρέμβαση τους στην εξέλιξη ενός ατυχήματος καθίσταται επιτακτική ανάγκη καθώς καλούνται να συμμετάσχουν όταν το ατύχημα κρίνεται ιδιαίτερα σοβαρό και υπάρχει κίνδυνος για τη σωματική ακεραιότητα των χρηστών.

Οι δυνάμεις αφού λάβουν κάποια ειδοποίηση από τους χειριστές του κέντρου ελέγχου και αφού ενημερωθούν όσο το δυνατόν ακριβέστερα για τη κατάσταση του ατυχήματος ακολουθούν τα προκαθορισμένα επιχειρησιακά σχέδια. Τα σχέδια πρέπει να είναι σαφή και να καθορίζουν με ρητό τρόπο *τους ρόλους και τις αρμοδιότητες του κάθε εμπλεκόμενου* ώστε να μην υπάρχουν ασυνεννοησίες και θέματα δικαιοδοσίας (Papaioannou και Georgiou 2005). Απαιτούνται να υπάρχουν διαδικασίες που θα εξασφαλίζουν την αποτελεσματική επικοινωνία και ανταλλαγή πληροφοριών τόσο μεταξύ των ομάδων διάσωσης μεταξύ τους όσο και με τους χειριστές των κέντρων ελέγχου. Η πορεία και τα δεδομένα ενός ατυχήματος αλλάζουν συνεχώς και οι ομάδες πρέπει να τα γνωρίζουν προκειμένου να καθορίζουν ένα πληρέστερο σχέδιο δράσης και μη δημιουργούνται καθυστερήσεις εξαιτίας λανθασμένη αντίληψης της κατάστασης. Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι σε περίπτωση κακού σχεδιασμού και λανθασμένων αποφάσεων είναι πολύ πιθανό να θρηνήσουμε ανθρώπινες απώλειες τόσο χρηστών όσο και ανθρώπων από τις διασωστικές δυνάμεις. Στα ατυχήματα του Mont Blanc και του Tauern οι δυνάμεις λόγω έλλειψης επικοινωνίας εισήλθαν αρχικά από την πλευρά με τον πυκνότερο καπνό και μάλιστα στη πρώτη περίπτωση οδήγησε στον εγκλωβισμό 17 διασωστών από τους οποίους ένας δεν άντεξε και κατέληξε.

Η παροχή κατάλληλου και σύγχρονου εξοπλισμού στις ομάδες είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των κινδύνων καθώς δρουν κάτω από εξαιρετικά επίπονες σωματικές και ψυχολογικές συνθήκες, ιδιαίτερα

---

όταν υπάρχει εκδήλωση φωτιάς. Οι διασώστες πρέπει να παραμένουν ψύχραιμοι με γνώμονα των αποφάσεων τη προστασία των ανθρώπινων ζωών ενώ πέρα από τον επιχειρησιακό τους ρόλο πρέπει να αντιμετωπίσουν και να δείξουν κατανόηση στα αρνητικά συναισθήματα που αναπτύσσουν οι χρήστες.

Προκειμένου να ανταποκριθούν οι διασώστες στις πολλαπλές απαιτήσεις οφείλουν να έχουν υποστεί επαρκή εκπαίδευση για επέμβαση στο περιβάλλον της σήραγγας με χρήση του κατάλληλου εξοπλισμού. Η εκπαίδευση πρέπει να είναι μια διαρκής διαδικασία και να επανεξετάζεται συνεχώς η ετοιμότητα των εμπλεκομένων και το επίπεδο συνεργασίας τους, με έναν ενδεδειγμένο τρόπο ελέγχου να είναι η διεξαγωγή ασκήσεων που φανερώνουν τυχόν λάθη και παραλείψεις και οδηγούν στη διόρθωσή τους και στη βελτίωση των σχεδίων ασφαλείας.



---

## 4 Μέθοδοι διερεύνησης & Μοντέλα ανάλυσης ατυχημάτων – Βιβλιογραφική ανασκόπηση

### 4.1 Τι είναι οι μέθοδοι διερεύνησης (*accident investigation methods*)

Σύμφωνα με τον Rasmussen (1997) ένα ατύχημα προκαλείται από την απώλεια ελέγχου των διαδικασιών του συστήματος και είναι ικανό να προκαλέσει συνέπειες όπως τραυματισμός/απώλεια ανθρώπινων ζώων, καταστροφή εξοπλισμού και γενικότερα περιορισίας και δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η φύση των ατυχημάτων έχει αλλάξει με το πέρασμα των δεκαετιών καθώς από απλά εργατικά ατυχήματα σε κάποιο εργοστάσιο με εργαζόμενους περιορισμένου εύρους καθηκόντων περάσαμε σε συμβάντα σε σύγχρονα πολύπλοκα συστήματα όπως συστήματα μεταφορών, πυρηνικής ενέργειας και τηλεπικοινωνιών. Η είσοδος της τεχνολογίας και των διατάξεων αυτοματισμού έχει καθοριστική σημασία σε αυτή την αλλαγή και στην ανάγκη για δημιουργία νέων μεθόδων εξήγησης των ατυχημάτων (Leveson 2003).

Οι μέθοδοι διερεύνησης ατυχημάτων (*accident investigation methods*) χρησιμοποιούνται για να εξηγήσουν τη πορεία ενός ατυχήματος και να εντοπίσουν τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν προκειμένου να αποτραπεί το ενδεχόμενο να συμβούν παρόμοια περιστατικά στο μέλλον. Σκοπός της διερεύνησης δεν είναι η αναζήτηση των ενόχων για να αποδοθούν οι νομικές ευθύνες αλλά είναι να απαντηθούν αρχικά τα ερωτήματα *τι, πού, πότε* εντοπίζοντας και περιγράφοντας την ακριβή πορεία των γεγονότων που οδήγησαν στο ατύχημα και στη συνέχεια το *γιατί* καθορίζοντας τόσο τις άμεσες αιτίες όσο και τις λανθάνουσες συνθήκες που συνέβαλαν (Sklet 2002).

Υπάρχει πλήθος διαθέσιμων μεθόδων διερεύνησης στη βιβλιογραφία με τη κάθε μια να διακρίνεται για τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της και τα εργαλεία που χρησιμοποιεί, βρίσκοντας εφαρμογή σε διαφορετικά πεδία. Η απόφαση για την επιλογή μιας μεθόδου είναι σημαντική αφού κατευθύνει την διερεύνηση με έναν συγκεκριμένο τρόπο αφού είναι πιθανό μια μέθοδος να θεωρεί ενδιαφέροντα και χρήσιμα στοιχεία, τα οποία για κάποια άλλη να κρίνονται αδιάφορα. Η σημασία της απόφασης διατυπώνεται από τον Hollangel (2008) μέσω της αρχής: *Αυτό που*

Ψάχνεις, είναι Αυτό που Βρίσκεις (*What-You-Look-For-Is-What-You-Find-WYLFIWYF*). Στη προσπάθεια να ολοκληρωθεί ταχύτατα μια έρευνα ικανοποιούμαστε με τα επιφανειακά αποτελέσματα της και δεν προχωράμε σε βάθος την ανάλυση, επηρεάζοντας άμεσα τα μέτρα ασφαλείας καθώς ακολουθείται η προσέγγιση: *Αυτό που Βρίσκεις, είναι Αυτό που Διορθώνεις (You-Find-Is-What-You-Fix -WYFIWYF)* (Lunberg & λοιποί 2009).

Η ομάδα των ειδικών που αναλαμβάνει την διερεύνηση καθορίζει και αυτή στο δικό της βαθμό τη ποιότητα της συνολικής εργασίας. Αν και ο στόχος είναι ο εντοπισμός των αιτιών σε όλα τα επίπεδα, η θέση που κατέχει ο αναλυτής μέσα στο σύστημα επηρεάζει τον τρόπο που αντιλαμβάνεται τη πορεία των γεγονότων και το βάθος της έρευνάς του (Dien και λοιποί 2012). Η αρχή που εκτελεί την έρευνα οφείλει να είναι ανεξάρτητη, να έχει πρόσβαση σε όλα τα δεδομένα, να επιτελεί αντικειμενικά το έργο της χωρίς να βρίσκονται σε καθεστώς πίεσης και να ούτε να υπόκεινται σε σύγκρουση συμφερόντων (Kletz 2009).

Στον **Πίνακα 5** (Sklet 2002, Κατσακιώρη 2010, Dien και λοιποί 2012) καταγράφονται οι πιο διαδεδομένες τεχνικές ανάλυσης, με κύρια κριτήρια για την επιλογή τους τη θεμελίωσή τους στη βιβλιογραφία και κατά πόσο είναι διαδεδομένη η χρήση τους. Αναλυτική περιγραφή των χαρακτηριστικών της κάθε μίας είναι διαθέσιμη στις πηγές που δίνονται ενώ στην ενότητα **4.2** που ακολουθεί εξετάζουμε περαιτέρω ορισμένες με βάση τα μοντέλα ανάλυσης στα οποία στηρίζονται.

**Πίνακας 5 Οι πιο διαδεδομένες τεχνικές ανάλυσης**

<i>FTA (Fault Tree Analysis)</i>
<i>ECFC (Events and Causal Factors Charting and Analysis)</i>
<i>Barrier Analysis</i>
<i>MORT (Management Oversight and Risk Tree)</i>
<i>SCAT (Systematic Cause Analysis Technique)</i>
<i>HFACS (The Human Factors Analysis and Classification System)</i>
<i>STEP (Sequential Timed Events Plotting)</i>
<i>MTO-analysis ((Hu)Man, Technology and Organisation analysis)</i>
<i>AEB Method (Accident Evolution and Barrier Function)</i>
<i>TRIPOD-Delta</i>
<i>Acci-Map</i>
<i>STAMP (Systems-Theoretic Accident Model and Processes)</i>
<i>CREAM (Cognitive Reliability Error Analysis Method)</i>

---

#### 4.1.1 Τα βασικά στάδια μιας μεθόδου διερεύνησης

Τα βασικά στάδια της διερεύνησης ενός ατυχήματος είναι (Lunberg & λοιποί 2009, Sklet 2002) :

1. *Έναρξη μιας διερεύνησης ατυχήματος*: Αφού έχει συμβεί ένα ατύχημα αξιολογείται με χρήση κριτηρίων αν κρίνεται απαραίτητη η περαιτέρω και εις βάθος ανάλυση του.
2. *Σχεδιασμός της διερεύνησης*: Με βάση τους διαθέσιμους πόρους και το διαθέσιμο χρόνο γίνεται ο αρχικός προγραμματισμός για το πώς θα εκτελεστεί η έρευνα και ποιοι θα συμμετέχουν σε αυτή.
3. *Συλλογή και καταγραφή δεδομένων*: Σημαντικό στάδιο της έρευνας για τη μετέπειτα πορεία της διαδικασίας διότι κατά τη διάρκεια αυτού συγκεντρώνονται δεδομένα από ανθρώπινες μαρτυρίες και καταθέσεις, τεχνικό εξοπλισμό που επηρεάστηκε από το ατύχημα και αρχεία γραφικής και ηλεκτρονικής μορφής. Η συλλογή πληροφοριών είναι μια χρονοβόρος και απαιτητική εργασία που απαιτεί αξιολόγηση αυτών που λαμβάνονται καθώς πολλές φορές μπορεί να είναι αντικρουόμενες ή μη αντικειμενικές ενώ η καταγραφή τους πρέπει να γίνεται με πλήρως ευανάγνωστο και κατανοητό τρόπο.
4. *Ανάλυση του ατυχήματος*: Είναι το κεντρικό και σημαντικότερο κομμάτι της έρευνας και αυτό το οποίο θα αναλυθεί εκτενέστερα στην ενότητα **4.2**. Κάθε μέθοδος ανάλογα με το μοντέλο στο οποίο στηρίζεται, επικεντρώνεται σε διαφορετικά σημεία, έχοντας σαν στόχος τον εντοπισμό των αιτιών και των παραγόντων που οδήγησαν στο ατύχημα.
5. *Δημιουργία προτάσεων*: Αφού εντοπιστούν οι προβληματικές περιοχές πρέπει να ληφθούν μέτρα για να διορθωθούν και να αποτρέψουν μελλοντικά ατυχήματα. Η ομάδα θα που θα αναλάβει το κομμάτι αυτό δε πρέπει να περιορίσει το κομμάτι των συστάσεων στις εύκολες λύσεις αλλά πρέπει να προτείνει αλλαγές σε όλα τα επίπεδα ιεραρχίας του συστήματος.
6. *Δημιουργία ολόκληρης της Έκθεσης*: Η έκθεση που συντάσσεται περιλαμβάνει όλα τα παραπάνω και τεκμηριώνει την έρευνα και τη προσπάθεια που καταβλήθηκε. Πρέπει να είναι πλήρης και κατανοητή καθώς θα διαβιβαστεί σε όλους τους αρμόδιους φορείς.

- 
7. *Εφαρμογή των μέτρων και συνεχής αξιολόγηση των προτάσεων*: Αφού αξιολογηθούν οι αρχικές προτάσεις πρέπει να εφαρμοστούν. Η εφαρμογή των μέτρων δεν είναι στατική διαδικασία αλλά συνεχής που απαιτεί μέτρηση της αποτελεσματικότητας τους και δημιουργία νέων συστάσεων.

Τα παραπάνω στάδια δεν αποτελούν ανεξάρτητα τμήματα της συνολικής έρευνας αλλά άμεσα συνδεδεμένα όπου ο τρόπος εκτέλεσης του καθενός επηρεάζει την επιτυχία και του επόμενου (Krausmann και Mushtaq 2009). Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η ακρίβεια και η πληρότητα κατά το στάδιο συλλογής και καταγραφής δεδομένων επηρεάζει καθοριστικά την ποιότητα του σταδίου της ανάλυσης. Για να θεωρηθεί μια διερεύνηση ατυχήματος συνολικά επιτυχημένη απαιτείται να πραγματοποιηθούν ολοκληρωμένα όλα τα στάδια, καθορίζοντας με ακριβή και κατανοητό τρόπο τους στόχους και τις διαδικασίες της κάθε φάσης.

#### **Στάδιο δημιουργίας ολόκληρης της Έκθεσης**

Η σημασία μιας ολοκληρωμένης και πλήρους Έκθεσης διαφαίνεται μέσα από τις δυο παρατηρήσεις των Hendrick and Benner (1987) οι οποίοι τόνισαν ότι οι εκθέσεις είναι τα αρχεία που μένουν στο πέρασμα των χρόνων και ότι μια κακή ποιοτικά έκθεση μπορεί να καταστρέψει μια πολύ καλή έρευνα.

#### **Στάδιο δημιουργίας προτάσεων**

Στο επίπεδο των προτάσεων ιδανικό θα ήταν να κατατίθεντο από τις ομάδες δυο ειδών, η μια να αφορά αποκλειστικά και συγκεκριμένα το ατύχημα για το οποίο τελέστηκε η διερεύνηση και η δεύτερη να αφορά προτάσεις που θα βρίσκουν εφαρμογή γενικότερα στον τομέα που μελετάμε (Krausmann και Mushtaq 2009). Οι προτάσεις πρέπει να θέτουν θέματα αλλαγών σε όλα τα επίπεδα ιεραρχίας του συστήματος και να μην περιορίζονται μόνο στα κατώτερα.

Σημαντική διάκριση μπορεί να γίνει όπως την διατύπωσαν οι Argiris και Schon (1978) ανάμεσα στην μονής ανάδρασης διαδικασία εκμάθησης (single-loop learning) και της διπλής ανάδρασης (double-loop learning). Στη μονής να μεν διορθώνονται τα λάθη που οδήγησαν στο ατύχημα αλλά η διόρθωση γίνεται επιφανειακά, παραμένοντας αναλλοίωτες οι λάθος πρακτικές και πεποιθήσεις που επικρατούσαν στο σύστημα. Αντίθετα στη διπλής όχι μόνο προσπαθούν να εντοπιστούν τα λάθη αλλά μελετώνται ποιες ήταν οι λανθάνουσες συνθήκες που συντέλεσαν στην έναρξη και στην εξέλιξη του συμβάντος. Η διαδικασία διπλής

---

ανάδρασης είναι αποτελεσματικότερη καθώς μέσω αυτής είμαστε σε θέση να ανακαλύπτουμε τις βαθύτερες αιτίες και να προλαμβάνουμε μελλοντικά ατυχήματα που θα είχαν ως πηγή τις ίδιες δυσλειτουργίες.

### **Στάδιο εφαρμογής των μέτρων και συνεχής αξιολόγηση των προτάσεων**

Η αποτελεσματική εφαρμογή των αρχικών προτάσεων εξαρτάται από παράγοντες όπως η δυναμικότητα και η κατάρτιση του δυναμικού, οι διαθέσιμοι πόροι, οι δείκτες κόστους-οφέλους και τα μέσα για τον έλεγχο και την ανάδραση τους. Πρέπει να καταστεί σαφές μέσα στο σύστημα που ερευνάται ότι η εφαρμογή προτάσεων δεν είναι μια στατική διαδικασία αλλά μια διαρκής όπου ο βαθμός επιτυχίας των προτάσεων πρέπει να αξιολογείται συνεχώς (Krausmann και Mushtaq 2009). Η αξιολόγηση, που απαιτεί τη συμμετοχή των εμπλεκόμενων σε όλα τα επίπεδα ιεραρχίας του οργανισμού, κρίνει το βαθμό προσαρμογής των μέτρων στο περιβάλλον του συστήματος και αν αυτός δεν κρίνεται ικανοποιητικός πρέπει να τροποποιούνται ή ακόμα και να αντικαθιστούνται. Πρέπει να καταγράφονται ρητά και αναλυτικά όχι μόνο τα μέτρα αλλά και οι λόγοι για τους οποίους ελήφθησαν καθώς η αιτιολόγησή τους βοηθά να διατηρείται ακέραια η μνήμη του συστήματος και να κατανοεί ο καθένας τους λόγους ύπαρξης των εμποδίων που τέθηκαν, διασφαλίζοντας τη παραμονή και τη συνεχής βελτίωση τους (Kletz 2009).

Η κοινοποίηση της γνώσης και των πληροφοριών διασφαλίζει την ενημέρωση όλων των αρμόδιων φορέων και παρέχει τη δυνατότητα σε κάθε οργανισμό-σύστημα να μαθαίνει μέσα από τη λάθη του άλλου και να αναλύει τη πρακτική εφαρμογή προτάσεων και όχι να μελετά μόνο τη θεωρητική πλευρά τους. Στην κοινοποίηση των πληροφοριών και των δεδομένων, λαμβάνοντας υπόψη ότι υπάρχουν και δεοντολογικά ζητήματα σε κάθε οργανισμό, η δημιουργία μιας κοινής βάσης δεδομένων όπου θα υπάρχει είτε αναλυτική είτε συνοπτική καταγραφή των ατυχημάτων είναι ένα πρώτο βήμα. Η συχνότερη διεξαγωγή συνεδρίων με ταυτόχρονη παρουσία διαφόρων αρμοδίων που θα συζητούσαν τις εμπειρίες τους θα βοηθούσε προς στην κατεύθυνση αυτή.

Να σημειωθεί ότι οι παραπάνω παράγραφοι για την αξιολόγηση και τον έλεγχο των μέτρων προστασίας καλύπτουν και τις απαιτήσεις που τίθενται από την Κοινοτική Οδηγία 2004/54, στο Άρθρο 3 για τα μέτρα ασφαλείας και στο Άρθρο 12 για τις περιοδικές επιθεωρήσεις.

---

## 4.2 Ανασκόπηση μοντέλων ανάλυσης ατυχημάτων

Τα μοντέλα ανάλυσης ατυχημάτων αποτελούν τον πυρήνα των μεθόδων διερεύνησης καθώς το κομμάτι της ανάλυσης κάθε μεθόδου είτε στηρίζεται ρητά σε κάποιο μοντέλο είτε το υπονοεί, στοχεύοντας στην απάντηση του ερωτήματος γιατί συνέβη ένα ατύχημα και στην αποτύπωση των χαρακτηριστικών του και των συνδέσεων μεταξύ αιτιών και αποτελεσμάτων (Qureshi 2008). Τα μοντέλα εξελίχτηκαν στην διάρκεια των χρόνων όπου από την παραδοσιακή προσέγγιση ενός ατυχήματος ως αποτέλεσμα κάποιας μεμονωμένης τεχνικής αστοχίας ή/και κάποιου ανθρώπινου λάθους περάσαμε στη σύγχρονη θεώρησή του ως αποτέλεσμα ενός συνδυασμού αιτιών και παραγόντων που διαμορφώθηκαν σε βάθος χρόνου και εκτείνονται σε ένα ευρύτερο οργανωτικό πλαίσιο (Dien και λοιποί 2004).

Σύμφωνα με τους Hendrick and Benner (1987) ένα μοντέλο ανάλυσης, αξιολογώντας το ως προς 10 χαρακτηριστικά, πρέπει να είναι:

- Ρεαλιστικό
- μη αιτιώδες, να καταγράφει τα γεγονότα με αντικειμενικό τρόπο και να μη προσπαθεί να αποδώσει ευθύνες. Η απόδοση των αιτιών να γίνεται αφού έχει υπάρξει πλήρης κατανόηση
- συνεπές, να παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα σε διαφορετικά είδους ατυχήματα και από διαφορετικούς μελετητές
- πειθαρχημένο, να παρέχει δηλαδή ένα σαφές πλαίσιο διαδικασιών για να πετύχει τους στόχους του
- να είναι διακριτά τα στάδια του
- λειτουργικό για να διευκολύνει τον αναλυτή
- να καθορίζει τα κριτήρια για να αξιολογούνται τα δεδομένα
- κατανοητό
- να παρέχει αποτελέσματα που να καθορίζουν απευθείας τα προβλήματα ασφαλείας
- ικανοποιητικό για όλες τις εμπλεκόμενες πλευρές.

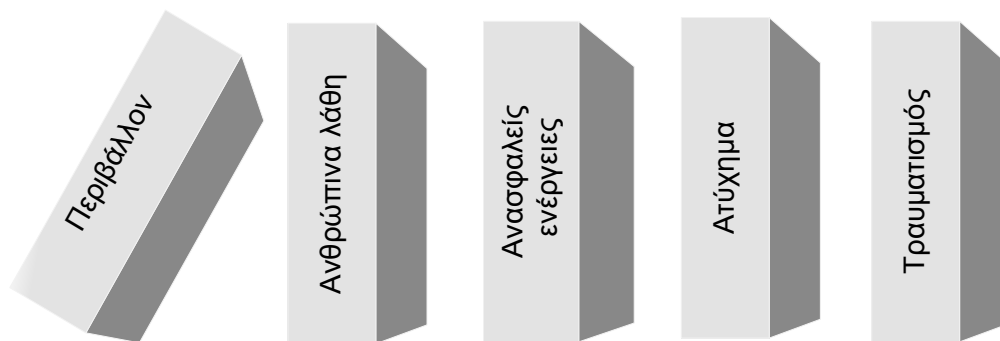
Σαφώς ορισμένα χαρακτηριστικά είναι διφορούμενα και δεν είναι εύκολο να ικανοποιηθούν πλήρως όπως το δεύτερο όντας δύσκολο να καθοριστεί το στάδιο που κάποιος θα έχει πλήρη κατανόηση ή και το τελευταίο όπου είναι σχεδόν αδύνατον να ικανοποιηθούν όλες οι πλευρές δεδομένου το ποιος έχει διατάξει την έρευνα.

Η κατάταξη των μοντέλων ανάλυσης ατυχημάτων σε κατηγορίες διαφοροποιείται ανάλογα με τα κριτήρια που χρησιμοποιεί ο αναλυτής. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι η Κατσακιώρη (2010) διακρίνει τρεις ομάδες μοντέλων: διαδοχικά, επεξεργασίας της ανθρώπινης πληροφορίας και συστημικά ενώ ο Sklet (2004) παραθέτει την διάκριση των μοντέλων που έγινε από τον Kjellén θεωρώντας 6 είδη μοντέλων: Διαδοχής των αιτιών (Causal-sequence ), Διαδικασίας (Process), Ενέργειας (Energy), Λογικού Δέντρου (Logical tree), Ανθρώπινης Επεξεργασίας Πληροφοριών (Human information-processing), Διαχείρισης Ασφάλειας-Υγείας-Περιβάλλοντος (SHE management). Ο διαχωρισμός των μοντέλων που επιλέχθηκε στη παρούσα διπλωματική εργασία λαμβάνει υπόψιν την εξέλιξη τους στη διάρκεια των χρόνων (Qureshi 2008, Hollnagel 2004) και τα ταξινομεί σε 3 μεγάλες ομάδες:

1. *Γραμμικά Μοντέλα ή Διαδοχικών Γεγονότων (Sequential Models)*
2. *Επιδημιολογικά Μοντέλα (Epidemiological Models)*
3. *Συστημικά Μοντέλα (Systemic Models)*

#### 4.2.1 Γραμμικά μοντέλα

Τα γραμμικά μοντέλα είναι τα πρώτα-παραδοσιακά μοντέλα που περιγράφουν τις αιτίες για το ατύχημα σαν μια ακολουθία γεγονότων που πραγματοποιήθηκε σε συγκεκριμένη διάταξη ως προς το χρόνο. Αντιπροσωπευτικό δείγμα της κατηγορίας είναι το μοντέλο που δημιουργήθηκε από τον Heinrich (1959) και είναι ευρέως γνωστό ως το μοντέλο του Ντόμινο και παρουσιάζεται στην **Εικόνα 4.1**.



**Εικόνα 4.1 Το μοντέλο του Ντόμινο σύμφωνα με τον Heinrich**

Σύμφωνα με αυτή τη προσέγγιση υπάρχουν 5 παράγοντες στη γραμμική ακολουθία για ένα ατύχημα όπου οι τρεις πρώτοι παράγοντες που περιγράφονται ως

---

αιτίες των ατυχημάτων είναι το κοινωνικό περιβάλλον, τα ανθρώπινα λάθη και οι μη ασφαλείς πράξεις και συνθήκες. Αν οποιοσδήποτε από αυτούς τους τρεις παράγοντες στην σχηματική ακολουθία του ντόμινο απομακρυνθεί από το επίπεδο της διοίκησης, η ακολουθία μπορεί να σταματήσει και να μην οδηγήσει τα δυο τελευταία στάδια που είναι το ατύχημα και ο τραυματισμός.

Τα τεχνολογικά λάθη θεωρούνται ότι προέρχονται και αυτά από τα ανθρώπινα και καταχωρούνται στις ανασφαλείς πράξεις, μην έχοντας τελικά ακολουθία γεγονότων αλλά ακολουθία παραγόντων (Lunberg & λοιποί 2009). Το μοντέλο παρουσίαζε τη σειρά των γεγονότων με ένα ντετερμινιστικό τρόπο όπου το ένα γεγονός οδηγούσε άμεσα και απευθείας στο επόμενο ενώ ακόμα και η έναρξη του ατυχήματος ήταν αποτέλεσμα μιας και μοναδικής αιτίας χωρίς να αναζητούνται παράγοντες που συνέβαλαν.


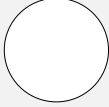
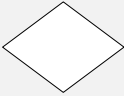



#### **4.2.1.1 Ανάλυση Δέντρου Αιτιών (Fault Tree Analysis-FTA)**

Στην κατηγορία των γραμμικών μοντέλων ανήκει η μέθοδος ανάλυσης Δέντρου Αιτιών (Fault Tree Analysis-FTA). Η μέθοδος αναπτύχθηκε τις αρχές τις δεκαετίας του 60 από τα Bell Laboratories για λογαριασμό της Αμερικάνικης Αεροπορίας και αποτελεί τη πιο διαδεδομένη μέθοδο δέντρου, απεικονίζοντας γραφικά τις συνδέσεις μεταξύ γεγονότων (Κατσακιώρη 2010). Τα γεγονότα μπορεί να είναι τεχνικές αποτυχίες, ανθρώπινα λάθη και παράγοντες από το περιβάλλον που συμβάλλουν σε ένα ατύχημα.

Η μέθοδος ακολουθεί την επαγωγική προσέγγιση όπου επιλέγοντας το ανεπιθύμητο γεγονός και θέτοντας το ως κορυφαίο ακολουθεί η ανάλυση προς τα πίσω προσπαθώντας να εντοπιστούν όλες οι δυνατές συνδέσεις. Επιτυγχάνει να διαχωρίσει ένα ατύχημα σε πολλαπλές ακολουθίες λογικών σχέσεων αιτιών-συνεπειών (root causes) δημιουργώντας μια απλοποιημένη γραφική αποτύπωση του. Το κορυφαίο γεγονός συνδέεται με άλλα γεγονότα και συνθήκες μέσω της χρήσης λογικών πυλών, ΚΑΙ (AND)-Ή (OR) όπου μια πύλη μπορεί να έχει μία ή παραπάνω εισόδους αλλά μόνο μια έξοδο ενώ να σημειωθεί ότι στην ανάλυση δεν εισέρχεται ο παράγοντας χρόνος. Στον πίνακα 5 (Μαρμαράς 2005) καταγράφονται τα βασικά σύμβολα της μεθόδου FTA.



**Πίνακας 6 Τα βασικά σύμβολα της μεθόδου FTA (Μαρμαράς 2005)**

	Το παραλληλόγραμμο απεικονίζει γεγονότα που εξετάζονται περαιτέρω καθώς προχωρά η ανάλυση
	Ο κύκλος απεικονίζει βασικά γεγονότα που δεν αναλύονται περαιτέρω
	Ο ρόμβος απεικονίζει γεγονότα που δεν αναλύονται περαιτέρω είτε λόγω ανεπάρκειας δεδομένων είτε επειδή είναι επουσιώδη
Θύρα ΚΑΙ 	Συνδέει δυο ή περισσότερα γεγονότα (είσοδοι) με ένα γεγονός
Θύρα Ή 	Συνδέει δυο ή περισσότερα γεγονότα (είσοδοι) με ένα γεγονός
	Το τρίγωνο χρησιμοποιείται προκειμένου να μεταβούμε σε άλλο διάγραμμα ή σε άλλο τμήμα του ίδιου διαγράμματος

#### 4.2.2 Επιδημιολογικά Μοντέλα

Τα επιδημιολογικά μοντέλα αποτελούν την συνέχεια των γραμμικών μοντέλων και η εισαγωγή της έννοιάς τους έγινε από τον Gordon (1949) που παρατήρησε ότι ένα αρχικό γεγονός συνδυαζόμενο με παράγοντες του περιβάλλοντος γύρω από το σύστημα μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή, πλήρως δυσανάλογης από τη σημασία του αρχικού. Διατύπωσε ότι κάθε ατύχημα είναι αποτέλεσμα αλληλεπιδράσεων μεταξύ του εργαζομένου, του χώρου εργασίας και του περιβάλλοντος και κεντρικό σημείο της έρευνας ήταν το αρχικό συμβάν και τι συνέβη γύρω από αυτό.

Ο Turner (1978) προχώρησε ένα βήμα παρακάτω καθορίζοντας ότι η περίοδος επώασης, κατά την οποία συσσωρεύεται ένας αριθμός απαραίτητων γεγονότων στο σύστημα, καθορίζει το μέγεθος των συνεπειών ενός ατυχήματος. Το αρχικό συμβάν παύει πλέον να είναι το κεντρικό σημείο της έρευνας καθιστώντας το ακόμα και ασήμαντης σημασίας αφού πυροδοτεί μια ακολουθία γεγονότων που μπορεί να

---

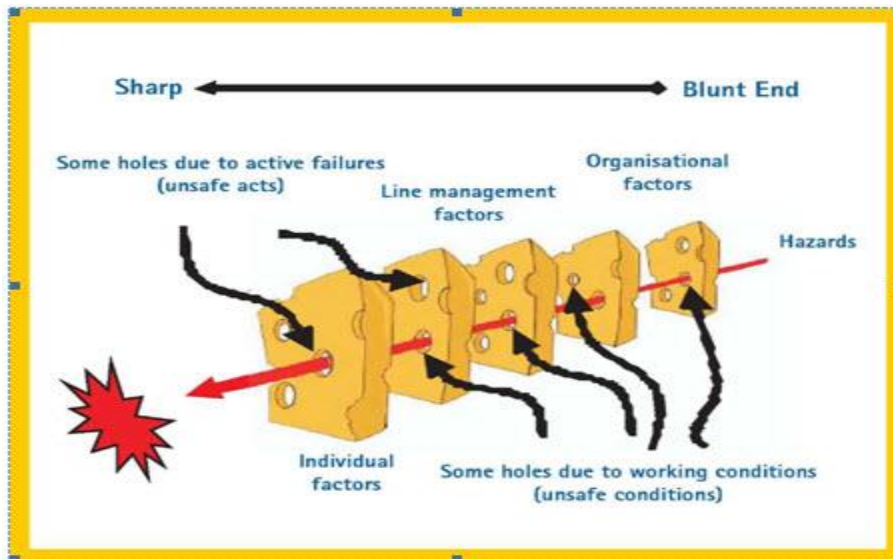
οδηγήσουν σε μια καταστροφή. Εξαιτίας της άγνοιας ύπαρξης αυτών των γεγονότων, η καταστροφή μπορεί να είναι απρόβλεπτη και το σύστημα να μην είναι προετοιμασμένο να την αντιμετωπίσει.

#### **4.2.2.1 Μοντέλο Ελβετικού Τυριού (Swiss Cheese model)**

Το μοντέλο που επικράτησε και αντιπροσωπεύει την κατηγορία των επιδημιολογικών είναι αυτό του Reason γνωστό ως μοντέλο Ελβετικού Τυριού (Swiss Cheese model). Ο Reason (1997) τονίζει ότι τα ατυχήματα σε έναν οργανισμό ορίζονται ως καταστάσεις όπου οι λανθάνουσες συνθήκες συνδυάζονται με γεγονότα πυροδότησης και με ενεργές αποτυχίες. Οι **ενεργές αποτυχίες (active failures)** είναι οι ανασφαλείς πράξεις που πραγματοποιούνται από ανθρώπους που είναι σε άμεση επαφή με το σύστημα και εντοπίζονται εύκολα αποτελώντας τις άμεσες αιτίες του ατυχήματος ενώ από την άλλη οι **λανθάνουσες συνθήκες (latent failures)** είναι αδυναμίες-παθογένειες του συστήματος που μπορεί να κρύβονται σε αυτό ακόμα και χρόνια καθιστώντας δύσκολη την εύρεσή τους και αποκαλύπτονται αφού συνδυαστούν με τις ενεργές αποτυχίες. Η δημιουργία των λανθανουσών συνθηκών οφείλεται σε αποφάσεις που πήραν οι σχεδιαστές, οι κατασκευαστές, η ανώτατη διοίκηση λειτουργίας με παραδείγματα να είναι η ανεπαρκής εκπαίδευση των εργαζομένων, ελλιπής σχεδιασμός συντήρησης, ακατάλληλος εξοπλισμός, πίεση χρόνου, ανεφάρμοστες διαδικασίες.

Στο μοντέλο του Reason, κάθε ακολουθία γεγονότων που οδηγεί σε ατύχημα προκύπτει από συνδυασμό παραγόντων που ταξινομούνται σε 4 επίπεδα, με τα τρία πρώτα να είναι ο Οργανισμός, ο εργασιακός χώρος και ο εργαζόμενος. Η μεγάλη διαφοροποίηση είναι στο τέταρτο επίπεδο που αναφέρεται στην αποτυχία των διαφόρων επιπέδων άμυνας και των εμποδίων του συστήματος να σταματήσουν την πρόκληση του ατυχήματος, με τα εμπόδια να είναι είτε φυσικά είτε να στηρίζονται σε διαδικασίες και ανθρώπινες αντιδράσεις.

Σε κάθε ένα από τα επίπεδα ασφαλείας υπάρχουν κενά που μπορεί να βρίσκονται εκεί από την έναρξη λειτουργίας του συστήματος ή να προέκυψαν στο πέρασμα των χρόνων που παρομοιάζονται με τις τρύπες που υπάρχουν στις φέτες του ελβετικού τυριού με τη σημαντική διαφορά να είναι ότι οι τρύπες στις φέτες είναι συγκεκριμένου μεγέθους σε σταθερά σημεία ενώ στα επίπεδα ασφαλείας κλείνουν, ανοίγουν νέες, αλλάζουν θέση και μέγεθος (Qureshi 2008). Ένα ατύχημα συμβαίνει όταν όλες οι τρύπες ευθυγραμμίζονται στιγμιαία, επιτρέποντας σε έναν συγκεκριμένο κίνδυνο να τις διαπεράσει και να παραβιάσει όλα τα εμπόδια.



**Εικόνα 4.2 Το μοντέλο του Ελβετικού τυριού κατά Reason (Qureshi 2008)**

Αν και τα επιδημιολογικά μοντέλα προχώρησαν την εξέλιξη των γραμμικών, δεν ξέφυγαν πλήρως από τη προσέγγιση αυτή (Hollnagel 2004). Το μοντέλο του Reason παρουσιάζει αδυναμίες καθώς προσπαθώντας να συνδέσει τις αιτίες από το επίπεδο του εργαζομένου στο επίπεδο του οργανισμού θεωρεί ότι μόνο τα κενά ασφαλείας είναι μεταβλητές και το υπόλοιπο σύστημα παραμένει στατικό (Qureshi 2008). Τέλος δεν λαμβάνει υπόψιν επιπλέον οργανωτικούς παράγοντες πέρα από το επίπεδο διοίκησης ενώ δεν καθορίζει με σαφήνεια τα κριτήρια ως προς τα οποία οι διάφορες τρύπες στα επίπεδα αναγνωρίζονται και ταξινομούνται

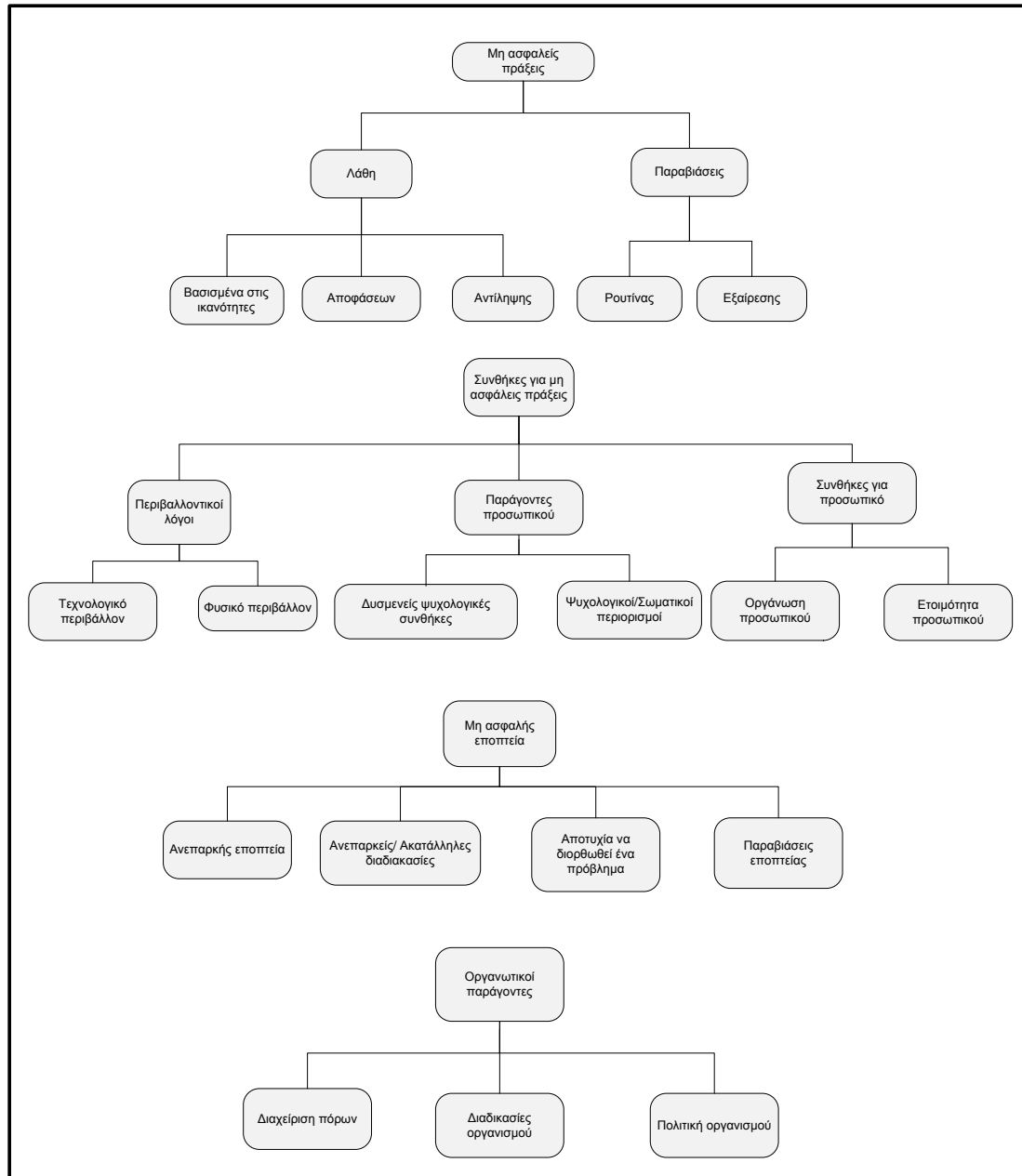
#### **4.2.2.2 Ανάλυση και Ταξινόμηση Ανθρώπινων και Συστημικών Παραγόντων-Human Factors Analysis and Classification System (HFACS)**

Η μέθοδος HFACS (Wiegmann and Shappell 2003) στηρίζεται στο μοντέλο Ελβετικού Τυριού και η δημιουργία της οφείλεται στην προσπάθεια να καλυφτεί η απουσία κριτηρίων εκ μέρους του Reason για την ταξινόμηση των λανθανουσών συνθηκών και ενεργών αποτυχιών και να αποκτήσει η μέθοδος ευρύτερη εφαρμογή πέρα από το πεδίο της αεροπορίας.

Οι αστοχίες ταξινομούνται σε τέσσερα επίπεδα:

- 1) μη ασφαλείς πράξεις (*unsafe acts*)
- 2) συνθήκες για τις μη ασφαλείς πράξεις (*pre-conditions for unsafe acts*)
- 3) ανεπαρκής εποπτεία (*unsafe supervision*) και
- 4) οργανωτικές συνθήκες (*organisational influences*)

Τα τέσσερα αυτά επίπεδα ταυτίζονται ένα προς ένα με τα επίπεδα που ορίζονται στο μοντέλο του Ελβετικού Τυριού. Το κάθε επίπεδο περιλαμβάνει επιμέρους κατηγορίες ταξινόμησης που φαίνονται αναλυτικά στην Εικόνα 14 (Salmon και λοιποί 2011). Η ανάλυση πραγματοποιείται από τα κατώτερο επίπεδο που συγκεντρώνει τις άμεσες αιτίες και προχωρά προς τα πάνω.



**Εικόνα 4.3 Κατηγορίες ταξινόμησης αστοχιών στην HFACS (Salmon και λοιποί 2011)**

---

### 4.2.3 Συστημικά Μοντέλα

Τα πολύπλοκα κοινωνικοτεχνικά συστήματα χαρακτηρίζονται από έντονες αλληλεπιδράσεις μεταξύ ανθρώπων, τεχνολογικού εξοπλισμού και παραγόντων όπως κοινωνικών, οικονομικών, εργασιακών, πολιτικών, νομοθετικών και περιβάλλοντος. Το ζητούμενο για ένα σύστημα είναι η διατήρηση της σταθερής του κατάστασης μέσω των διαδικασιών ελέγχου και ακόμα και αν βρεθεί σε περιπτώσεις κινδύνου και απότομων αλλαγών, να ανταποκριθεί και να ανακτήσει την ισορροπία του. Οι καταστάσεις που μπορεί να φτάσει ένα τέτοιο σύστημα τότε δε μπορούν να καθοριστούν με πλήρη ακρίβεια και ούτε μπορεί να αποτραπούν όλα τα περιστατικά καθώς ορισμένα θεωρούνται ως αναμενόμενα επακόλουθα της πολυπλοκότητας (Dien και λοιποί 2012).

Τα συστημικά μοντέλα αποτελούν την εξέλιξη των γραμμικών και επιδημιολογικών και δημιουργήθηκαν για να καλύψουν τις αδυναμίες τους αφού δεν ήταν σε θέση να αποτυπώσουν επαρκώς τη δυναμική και τις μη γραμμικές συνδέσεις των πολύπλοκων συστημάτων. Αντιμετωπίζουν το σύστημα σαν ένα σύνολο και η πορεία για ένα ατύχημα χαρακτηρίζεται σαν ένα πολύπλοκο και αλληλοσυνδεδεμένο σύνολο γεγονότων μέσα στο οποίο ο άνθρωπος και οι τεχνολογικές διατάξεις δεν πρέπει να διαχωρίζονται αλλά να θεωρούνται μια ένωση (Qureshi 2008). Αντιπροσωπευτικά μοντέλα της κατηγορίας είναι το ιεραρχικό κοινωνικό-τεχνικό μοντέλο του Rasmussen και το STAMP (Systems-Theoretic Accident Model and Processes) που περιγράφονται παρακάτω.

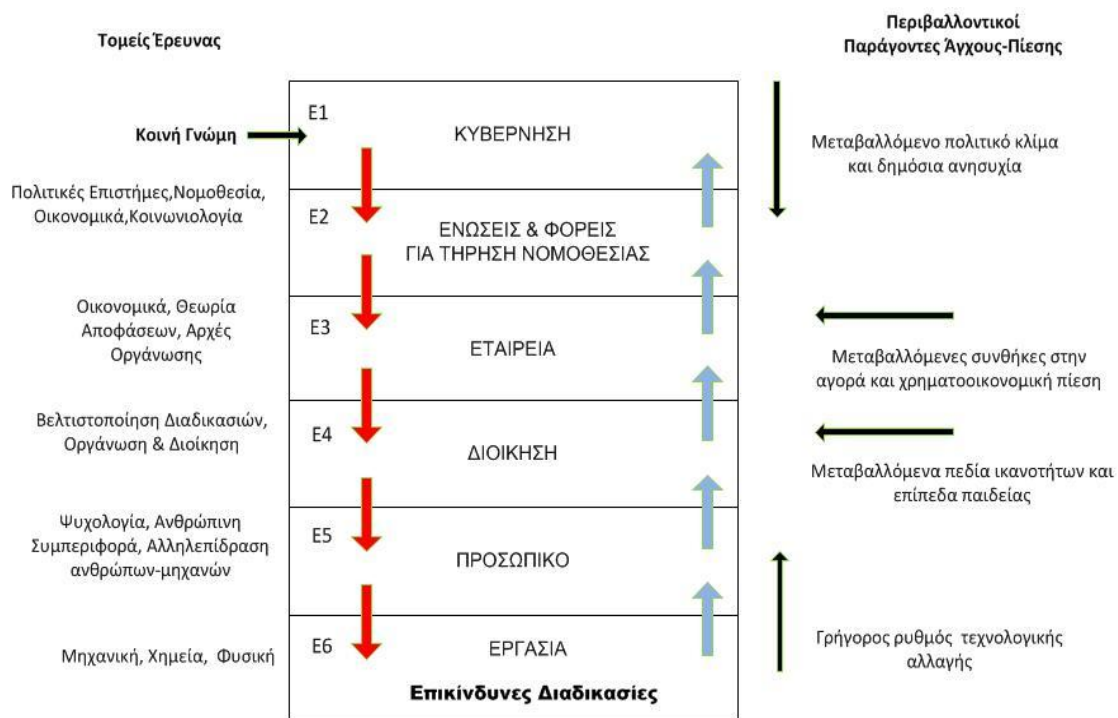
#### 4.2.3.1 *Ιεραρχικό Μοντέλο (Rasmussen's framework)*

Το ιεραρχικό μοντέλο αποτελεί τη βάση πολλών μεθόδων επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον του στην αναζήτηση αιτιών σε όλα τα επίπεδα ενός ευρύτερου οργανωτικού πλαισίου. Σύμφωνα με τον Rasmussen (1997) τα ατυχήματα προκαλούνται από απώλεια ελέγχου των φυσικών διαδικασιών ενός συστήματος και πυροδοτούνται από την ανθρώπινη δραστηριότητα που είτε ξεκινά μια σειρά ανασφαλών ενεργειών είτε διακόπτει την ομαλή λειτουργία. Επιπλέον ο ρυθμός ανάπτυξης και εισόδου της τεχνολογίας στα συστήματα είναι ταχύτερος από τον ρυθμό προσαρμογής των δομών και των διαδικασιών ασφαλείας, αυξάνοντας τη πιθανότητα να συμβεί ένα αναμενόμενο γεγονός (Svedung και Rasmussen 2002).

Στην **Εικόνα 4.4** φαίνεται το κοινωνικό-τεχνικό σύστημα με τα 6 επίπεδα ιεραρχίας από το επίπεδο της Κυβέρνησης - E1 μέχρι αυτό του εργαζόμενου - E6 (ανάλογα με το είδος του συστήματος που μελετάται μπορεί να προστεθούν και

άλλα). Σε κάθε επίπεδο αναφέρονται από τη μια οι τομείς που είναι απαραίτητοι για την κατανόηση της μορφής του και από την άλλη οι κοινωνικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες που μεταβάλλονται διαρκώς και συμβάλλουν στη λήψη των αποφάσεων.

Το χαρακτηριστικό αυτού του μοντέλου είναι ο κάθετος χαρακτήρας που θέτει στην επικοινωνία μεταξύ των επιπέδων τονίζοντας ότι οι αποφάσεις που λαμβάνονται από τα ανώτερα επίπεδα διοίκησης πρέπει να μεταβιβάζονται στα κατώτερα και αντίστροφα οι πληροφορίες που παράγονται από την εκτέλεση των εργασιών σε αυτά να προωθούνται (Salmon και λοιποί 2011). Η προσπάθεια βελτίωσης της ασφάλειας ενός συστήματος πρέπει να γίνεται σε πλαίσιο συνεργασίας και συντονισμού μεταξύ των επιπέδων, αντιλαμβανόμενοι ότι κανένα ατύχημα δεν προκαλείται από μεμονωμένες ενέργειες και αποφάσεις.



Εικόνα 4.4 Το ιεραρχικό μοντέλο του Rasmussen (1997)

#### 4.2.3.2 STAMP (Systems-Theoretic Accident Model and Processes).

Το STAMP είναι ένα μοντέλο που αναπτύχθηκε από την N. Leveson (2004) δίνοντας βαρύτητα στους περιορισμούς ασφαλείας και θεωρεί ότι ένα ατύχημα σε κάποιο πολύπλοκο σύστημα δεν συμβαίνει από αποτυχία κάποιων ανεξάρτητων συνιστωσών του συστήματος αλλά συμβαίνει όταν είτε κάποιος εξωτερικός

παράγοντας είτε κάποια δυσλειτουργία εντός αυτού δεν αντιμετωπίζεται αποτελεσματικά από το σύστημα ελέγχου (Leveson 2004). Το μοντέλο ξεφεύγει από την παραδοσιακή προσέγγιση που θεωρεί ένα ατύχημα ως ακολουθία γεγονότων και το θεωρεί ως αποτέλεσμα ανεπαρκούς ελέγχου και αναποτελεσματικής εφαρμογής περιορισμών στην ανάπτυξη, στον σχεδιασμό και στη λειτουργία του συστήματος (Ouyang και λοιποί 2010).

### **1. Ανεπαρκής Εφαρμογή Περιορισμών-Inadequate Enforcement of Constraints**

*1.1 Μη εντοπισμένοι κίνδυνοι*

*1.2 Ακατάλληλες, αναποτελεσματικές διαδικασίες ελέγχου για εντοπισμένους κινδύνους*

*1.2.1 Ο σχεδιασμός των διαδικασιών ελέγχου δεν επέβαλε περιορισμούς*

*1.2.2 Τα μοντέλα διαδικασιών ασυνεπή, ελλιπή ή ανακριβή (έλλειψη συνδέσεων)*

*1.2.3 Ανεπαρκής συντονισμός μεταξύ αυτών που ελέγχουν και αυτών που αποφασίζουν (ακαθόριστοι ρόλοι και αρμοδιότητες)*

### **2. Ανεπαρκής Εκτέλεση Διαδικασιών Ελέγχου-Inadequate Execution of Control Action**

*2.1 Αποτυχία επικοινωνίας*

*2.2 Λανθασμένη αντίδραση ελεγκτή*

*2.3 Καθυστερημένη χρονικά αντίδραση*

### **3. Ανεπαρκής ή Έλλειψη Ανάδρασης-Inadequate or missing feedback**

*3.1 Δεν λήφθηκε υπόψιν στο σχεδιασμό του συστήματος*

*3.2 Αποτυχία επικοινωνίας*

*3.3 Καθυστερημένη χρονικά αντίδραση*

*3.4 Ανεπαρκής λειτουργία αισθητήρων*

#### **Εικόνα 4.5 Ταξινόμηση λανθασμένων περιορισμών ελέγχου (Leveson 2004)**

Στο STAMP όπως και στο ιεραρχικό μοντέλο του Rasmussen που παρουσιάστηκε παραπάνω υπάρχει προσαρμοσμένη η κάθετη προσέγγιση των επιπέδων. Το σύστημα προσεγγίζεται ως ιεραρχικά επίπεδα ελέγχου και περιορισμών όπου τα ανώτερα επίπεδα επιβάλλουν περιορισμούς στα κατώτερα και κατ' επέκταση τα ελέγχουν ενώ αντίστροφα τα κατώτερα πρέπει να παρέχουν πληροφορίες για την καταλληλότητα και την αποτελεσματικότητα των περιορισμών στα ανώτερα, δημιουργώντας μια ανάδραση για την αξιολόγηση των εμποδίων που έχουν τεθεί (Salmon και λοιποί 2011). Άλλωστε η ανάλυση με το μοντέλο θέτει σαν απαραίτητη προϋπόθεση τη δημιουργία του ιεραρχικού δομικού διαγράμματος εφαρμογής περιορισμών ελέγχου στο σύστημα που μελετάμε.

---

Προκειμένου να διευκολυνθεί η ανάλυση με τη χρήση του μοντέλου, η Leveson πρότεινε κάποιου είδους ταξινόμηση για λανθασμένους περιορισμούς ελέγχου που μπορεί να οδηγήσουν σε κίνδυνο. Η κατηγοριοποίηση που περιγράφεται αναλυτικά στην **Εικόνα 4.5** αφορά τις ομάδες: Ανεπαρκής επιβολή περιορισμών, ανεπαρκής εκτέλεση διαδικασιών, ανεπαρκής ή έλλειψη ανάδρασης και εκτελείται σε κάθε επίπεδο της ιεραρχίας ή έστω σε αυτά που κρίνεται απαραίτητο από τον αναλυτή. Για την καλύτερη αξιολόγηση και κατανόηση κάθε απόφασης το μοντέλο απαιτεί την καταγραφή του πλαισίου μέσα στο οποίο είχαν ληφθεί, περιλαμβάνοντας τις πληροφορίες που ήταν διαθέσιμες, τις πληροφορίες που αν και απαραίτητες δεν είχαν γίνει γνωστές, τις συνθήκες που επικρατούσαν και τις οργανωτικές δομές ενώ επιπλέον απαιτείται και η ψυχολογική κατάσταση αυτών που έλαβαν τις αποφάσεις.



---

## 5 Μοντελοποίηση των πλέον σημαντικών ατυχημάτων στις οδικές σήραγγες

Οι οδικές σήραγγες χαρακτηρίζονται ως πολύπλοκο σύστημα όπως περιγράφονται στο **Κεφάλαιο 4** καθώς αποτελούνται από πολλά επίπεδα ιεραρχίας (Κυβέρνηση, Διοικητική Αρχή-Υπουργείο Μεταφορών, Διαχειριστής σήραγγας, Χειριστές κέντρου ελέγχου, Διασωστικές δυνάμεις, Χρήστες) με έντονες αλληλοσυνδέσεις, πολλαπλή και καθοριστική συμμετοχή του ανθρώπινου παράγοντα, ισχυρή εξάρτηση μεταξύ ανθρώπου και τεχνολογικών διατάξεων για τον έλεγχο της λειτουργίας και για τη μετάδοση πληροφοριών και όλα αυτά δρώντας σε ένα περιβάλλον με επιρροή νομοθετικών, κοινωνικών και οικονομικών παραγόντων.

Η σοβαρότητα των συνεπειών που προκύπτουν καθιστούν επιτακτική την ανάγκη για ανάλυση περιστατικών με οργανωμένο τρόπο και η χρήση των μεθόδων διερεύνησης και των μοντέλων ανάλυσης διασφαλίζουν στον αναλυτή μια ποιοτικότερη εργασία, εξασφαλίζοντας και αξιοπιστία μέσω της τεκμηρίωσης. Η ανεξάρτητη αρχή που αναλαμβάνει την έρευνα οφείλει να είναι εξοικειωμένη με τον τρόπο λειτουργίας μιας σήραγγας και τις διαδικασίες της ενώ σε μεγάλης κλίμακας ατυχήματα απαιτείται η συνεργασία των χειριστών του κέντρου ελέγχου και γενικότερα των υπεύθυνων λειτουργίας της καθώς είναι αυτοί που γνωρίζουν καλύτερα από όλους το σύστημα με τελικό ζητούμενο την κατανόηση των γεγονότων και όχι την απόδοση ευθυνών.

Ένα μεγάλο πρόβλημα που δυσκολεύει την έρευνα είναι η έλλειψη δεδομένων για ένα ατύχημα. Μην έχοντας επαρκή όγκο πληροφοριών δυσχεραίνει το στάδιο της ανάλυσης, δεν οδηγούμαστε στη πλήρη κατανόηση των γεγονότων και στον εντοπισμό όλων των αιτιών και επηρεάζονται όλα τα στάδια της διερεύνησης που ακολουθούν με τελικό αποτέλεσμα τη λήψη ανεπαρκή μέτρων που απλά περιορίζουν επιφανειακά το πρόβλημα και δεν το διορθώνουν τις λάθος πρακτικές.

Στις ενότητες **5.1- 5.3** μοντελοποιούνται τα τρία σημαντικότερα ατυχήματα που περιγράφησαν στην **3.2**, επιλέγοντας τρεις τεχνικές ανάλυσης. Κάθε τεχνική περιγράφεται αναλυτικά στην ενότητα **4.2** και η επιλογή της σχετίζεται με την διάκριση που έγινε στα μοντέλα πρόκλησης αφού αντιπροσωπεύει από μια κατηγορία. Συγκεκριμένα από την κατηγορία των γραμμικών μοντέλων επιλέχθηκε η μέθοδος του FTA, από τα επιδημιολογικά η HFACS που βασίζεται στο μοντέλο του Reason και από την κατηγορία των συστημικών ανάλυση με χρήση του μοντέλου STAMP. Η ανάλυση για το ατύχημα στη σήραγγα του Mont Blanc πραγματοποιήθηκε

---

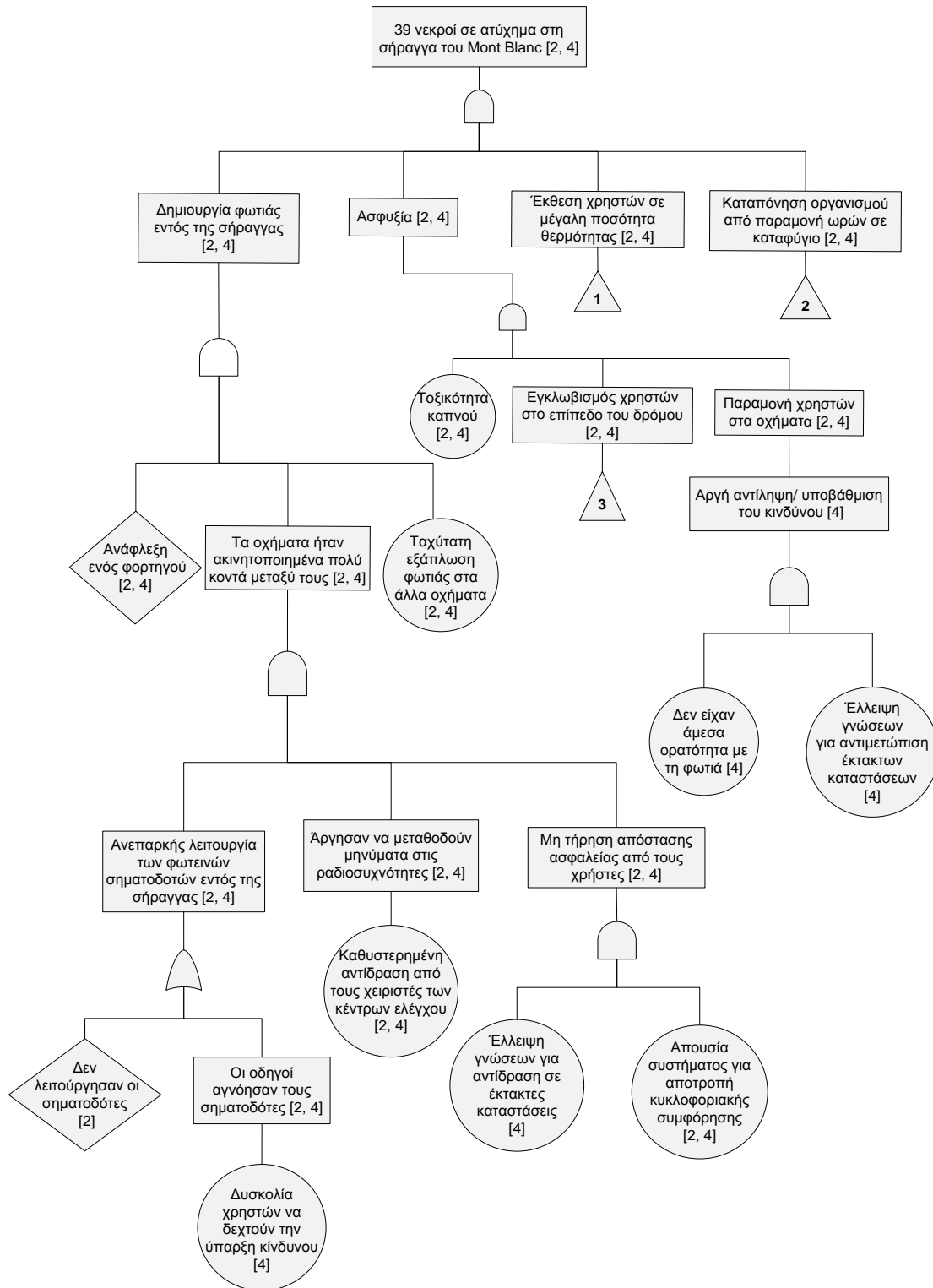
και με τις τρεις παραπάνω μεθόδους ενώ για τα ατυχήματα στις σήραγγες του Tauern και St. Gotthard η ανάλυση έγινε με τη χρήση μόνο των δυο, του Fault Tree και της HFACS. Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι τα δεδομένα που υπάρχουν για τα δύο αυτά ατυχήματα είναι περιορισμένα και η ανάλυση με μια συστημική μέθοδος καθίσταται δύσκολη με αμφίβολα συμπεράσματα.

*Για τη καλύτερη τεκμηρίωση της ανάλυσης στα αποτελέσματα των μοντελοποιήσεων των ενοτήτων 5.1 - 5.3, μετά την παράθεση πληροφοριών υπάρχει ένας αριθμός που αναφέρεται στην πηγή της συγκεκριμένης πληροφορίας. Οι αριθμοί αντιστοιχούν κατά σειρά:*

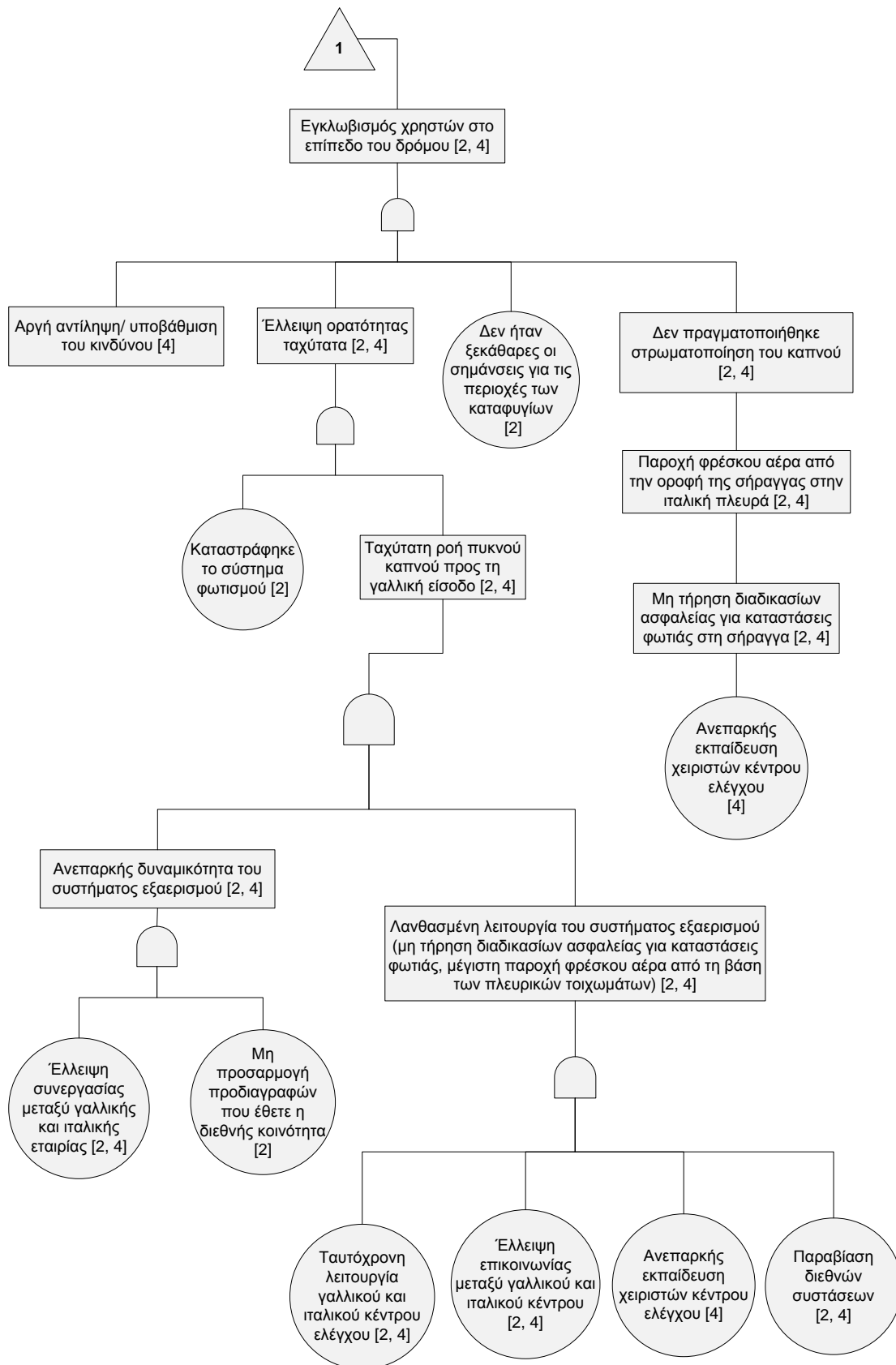
1. Beard, A. & Carvel, R. 2005, *The Handbook of Tunnel Fire Safety*, Thomas Telford, London
2. Duffé, P. & Marec, M. 1999, *TASK FORCE FOR TECHNICAL INVESTIGATION OF THE 24 MARCH 1999 FIRE IN THE MONT BLANC VEHICULAR TUNNEL*, Minister of the Interior - Ministry of Equipment, Transportation and Housing, France
3. Leitner, A. 2001, 'The fire catastrophe in the Tauern Tunnel: experience and conclusions for the Austrian guidelines', *Journal of Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 16, pp. 217-223.
4. PIARC & ITA 2004, 'Fire Safety in Tunnels', Routes-Roads, no 324, World Road Association (PIARC) & International Tunnelling Association (ITA), France.

## 5.1 Το ατύχημα στη σήραγγα του Mont Blanc

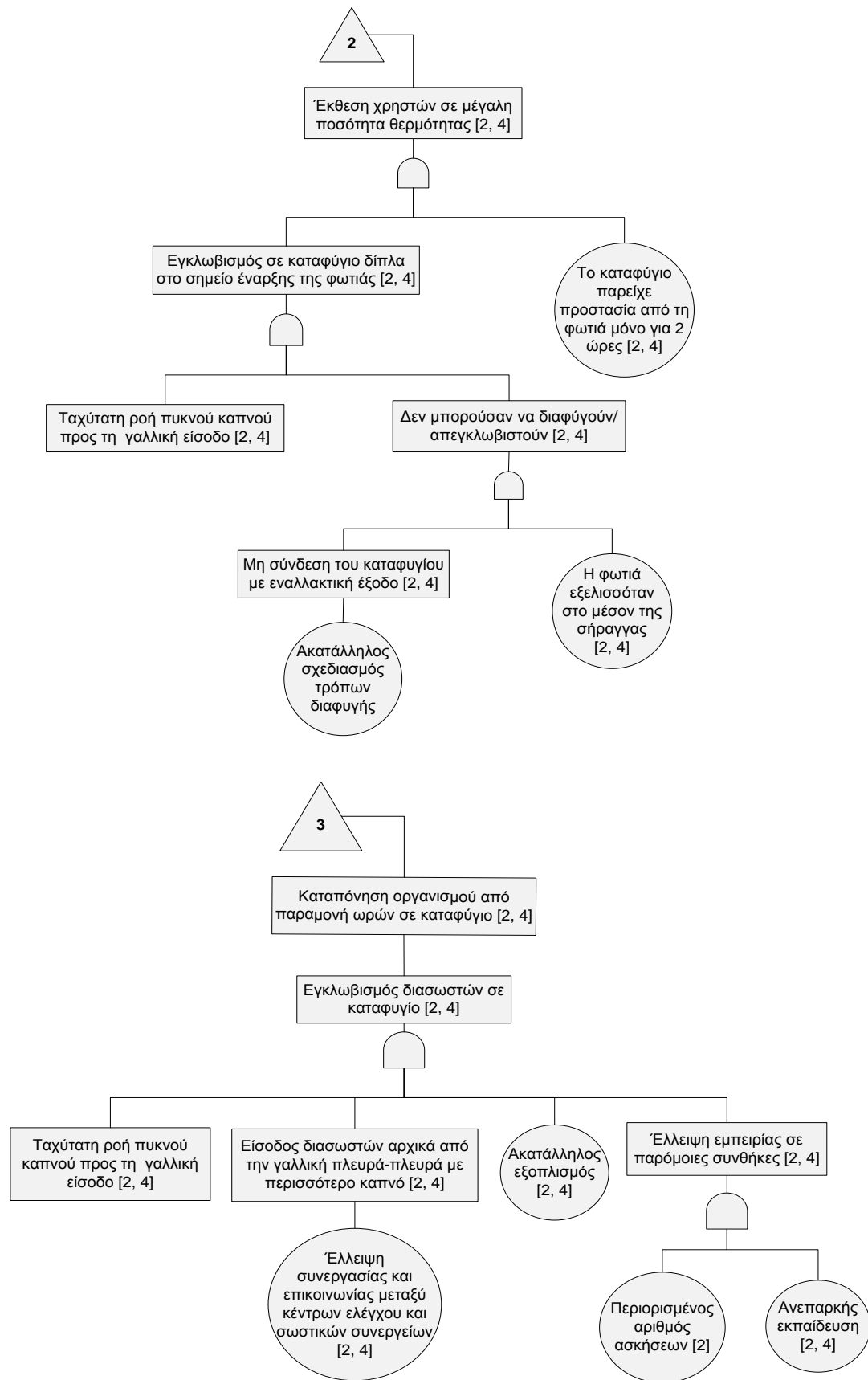
### 5.1.1 Ανάλυση με Fault tree



Εικόνα 5.1 Ανάλυση ατυχήματος στη σήραγγα Mont Blanc με FT (1)



**Εικόνα 5.2 Ανάλυση ατυχήματος στη σήραγγα Mont Blanc με FT (2)**



**Εικόνα 5.3 Ανάλυση ατυχήματος στη σήραγγα Mont Blanc με FT (3)**

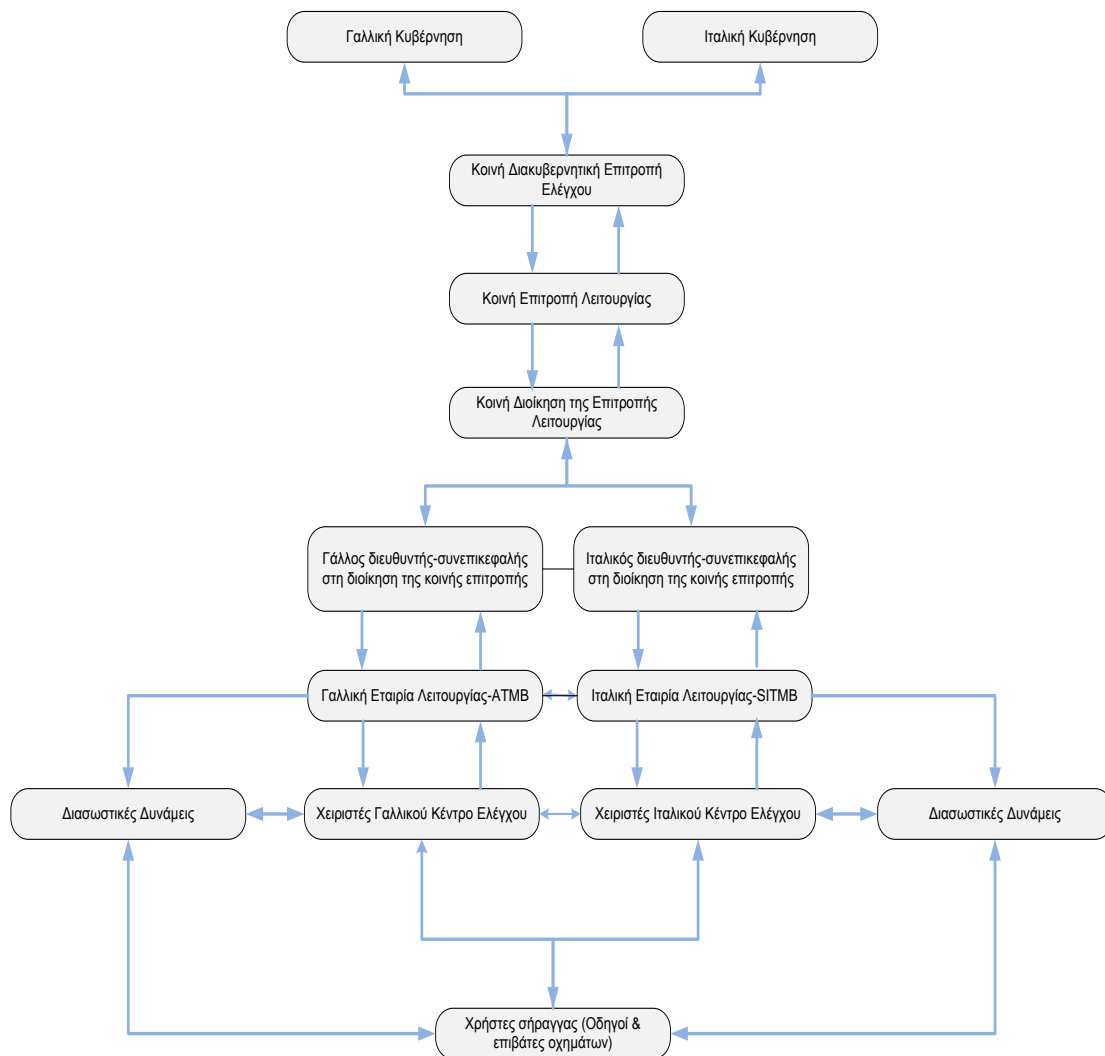
## 5.1.2 Ανάλυση με τη HFACS (μοντέλο Reason)

<p>Οργανωτικές επιρροές</p>	<p><b>Πολιτική Οργανισμού [2]</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Ασαφής καθορισμός αρμοδιοτήτων μεταξύ των διαφόρων εκτελεστικών και διοικητικών οργάνων της σήραγγας</li> <li>-Κυρίως τυπικός ο ρόλος της Γαλλο-Ιταλικής Διακυβερνητικής Επιτροπής</li> <li>-Ελλιπής συνεργασία μεταξύ της Γαλλικής και της Ιταλικής εταιρείας</li> <li>-Απουσία ενός αποτελεσματικού κεντρικού οργάνου διοίκησης</li> </ul>	<p><b>Διαδικασίες Οργανισμού</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Πολύπλοκες και διαφορετικές διαδικασίες μεταξύ των 2 εταιριών για εφαρμογή των κρατικών κεφαλαίων [2]</li> <li>-Έλλειψη κοινού επιχειρησιακού σχεδίου αντιμετώπισης έκτακτων καταστάσεων [2]</li> <li>-Ασαφής καθορισμός ρόλων και λανθασμένη κατανομή αρμοδιοτήτων στα υπάρχοντα σχέδια διάσωσης [2]</li> <li>-Μη εκτέλεση ασκήσεων έκτακτης ανάγκης [2]</li> <li>-Ανεπαρκής ανάδραση από παρόμοια ατυχήματα του παρελθόντος</li> </ul>	<p><b>Κατανομή πόρων</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Μη έγκαιρη και αποτελεσματική διάθεση κονδυλίων για αναβάθμιση του εξοπλισμού [2]</li> </ul>
<p>Μη ασφαλείς εποπτεία</p>	<p><b>Αποτυχία να διορθωθεί ένα πρόβλημα</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Κακός συντονισμός μεταξύ των δυο κέντρων ελέγχου</li> <li>-Μη εξασφάλιση εναλλακτικού τρόπου διαφυγής</li> <li>-Αποτυχία να ενσωματώσει τις διεθνείς συστάσεις για τη δυναμικότητα και τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος εξαερισμού</li> </ul> <p><b>Ανεπαρκής Εποπτεία</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Αποτυχία να παρέχει κατάλληλη εκπαίδευση σε χειριστές και διασώστες</li> <li>-Αποτυχία να κατανοήσουν οι χειριστές το στόχο των διαδικασιών ασφαλείας των συστημάτων εξαερισμού</li> <li>-Αδυναμία να ελέγξει την αποτελεσματικότητα των χειριστών και των διαδικασιών ασφαλείας</li> </ul>	<p><b>Ανεπαρκείς/ακατάλληλες διαδικασίες</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Απουσία ενός ενιαίου κέντρου αποφάσεων για την αντιμετώπιση του ατυχήματος [2, 4]</li> <li>-Ανεπαρκής επικοινωνία-ενημέρωση μεταξύ χειριστών και διασωστών [2, 4]</li> <li>-Αδυναμία ενημέρωσης σχετικά με τον αριθμό των παγιδευμένων εντός σήραγγας [2, 4]</li> </ul> <p><b>Παραβιάσεις Εποπτείας</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Παραβίαση διεθνών συστάσεων για τρόπο λειτουργίας συστήματος εξαερισμού</li> <li>-Μη τήρηση των διαδικασιών ασφαλείας της σήραγγας</li> </ul>	
<p>Συνθήκες για μη ασφαλείς πράξεις</p>	<p><b>Παράγοντες Προσωπικού</b></p> <p><b>Οργάνωση Προσωπικού</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Ταυτόχρονη λειτουργία 2 κέντρων ελέγχου [2, 4]</li> <li>-Έλλειψη συνεργασίας μεταξύ των κέντρων ελέγχου [2, 4]</li> <li>-Εξάρτηση λειτουργίας συστήματος εξαερισμού από το χειριστές (χειροκίνητη ενεργοποίηση και ρύθμιση) [2, 4]</li> </ul> <p><b>Ετοιμότητα Προσωπικού</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Ασάφεια σχεδίων για την αρχική επέμβαση μετά την έναρξη ατυχήματος [2]</li> </ul> <p><b>Συνθήκες για χειριστές/διασώστες</b></p> <p><b>Δυσμενής ψυχολογική κατάσταση</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Πίεση χρόνου [2, 4]</li> </ul> <p><b>Σωματικοί/Ψυχολογικοί περιορισμοί</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Εστιασμένη προσοχή στους παγιδευμένους στην ιταλική πλευρά [2]</li> <li>-Ανεπαρκής εκπαίδευση για άμεση αντιμετώπιση του κινδύνου [2, 4]</li> </ul>	<p><b>Συνθήκες για οδηγούς</b></p> <p><b>Δυσμενής ψυχολογική κατάσταση</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Σύγχυση εξαιτίας απουσίας οπτικής επαφής με τον κίνδυνο [4]</li> <li>-Πιθανή αναμονή για οδηγίες από αρμόδιους</li> </ul> <p><b>Σωματικοί/Ψυχολογικοί περιορισμοί</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Έλλειψη εμπειρίας σε παρόμοια περιστατικά [4]</li> <li>-Ανεπαρκής ενημέρωση για αντιμετώπιση έκτακτων καταστάσεων σε σήραγγα [4]</li> </ul> <p><b>Παράγοντες Περιβάλλοντος</b></p> <p><b>Φυσικό Περιβάλλον</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Κλειστό περιβάλλον σήραγγας</li> <li>-Φωτιά στο μέσον της σήραγγας</li> </ul> <p><b>Τεχνολογικό Περιβάλλον [2, 4]</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Ανεπαρκής δυναμικότητα του συστήματος εξαερισμού</li> <li>-Ακατάλληλο σύστημα εντοπισμού φωτιάς</li> <li>-Απουσία σύνδεσης καταφυγίων με παράλληλη στοά</li> <li>-Αναποτελεσματικά συστήματα για αντιμετώπιση κινδύνου</li> </ul>	
<p>Μη ασφαλείς πράξεις ή λειτουργίες</p>	<p><b>Λάθη Οδηγών</b></p> <p><b>Βασισμένα στις ικανότητες</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Έλλειψη γνώσεων για εκκένωση σήραγγας σε περίπτωση φωτιάς [4]</li> </ul> <p><b>Αποφάσεων</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Παραμονή στα οχήματα [2, 4]</li> <li>-Αγνόησαν τους φωτεινούς σηματοδότες [2, 4]</li> <li>-Ακίνητοποιήσαν τα οχήματα πολύ κοντά μεταξύ τους [2, 4]</li> </ul> <p><b>Αντίληψης</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Προσπάθεια υποβάθμισης του κινδύνου [4]</li> </ul>	<p><b>Λάθη Χειριστών Κέντρων Ελέγχου</b></p> <p><b>Βασισμένα στις ικανότητες</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Μη κατανόηση διαδικασιών ασφαλείας για αντιμετώπιση φωτιάς σε σήραγγα [2, 4]</li> </ul> <p><b>Αποφάσεων</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Τρόπος λειτουργίας συστήματος εξαερισμού [2, 4]</li> <li>-Άρνησαν να στείλουν μηνύματα στις ραδιοσυχνότητες [2, 4]</li> </ul>	<p><b>Λάθη Σωστικών Συνεργείων</b></p> <p><b>Βασισμένα στις ικανότητες</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Χαμηλή τεχνική κατάσταση για αντιμετώπιση φωτιάς σε σήραγγα [2, 4]</li> </ul> <p><b>Αποφάσεων</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Είσοδος αρχικά στη σήραγγα από τη πλευρά με τον πυκνότερο καπνό [2, 4]</li> <li>-Είσοδος με ακατάλληλο εξοπλισμό [2, 4]</li> </ul> <p><b>Παραβιάσεις</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Παραβίαση διεθνών συστάσεων για τρόπο λειτουργίας συστήματος εξαερισμού [2, 4]</li> <li>-Παραβίαση των διαδικασιών ασφαλείας της σήραγγας [2, 4]</li> </ul>

Εικόνα 5.4 Αποτελέσματα ανάλυσης ατυχήματος Mont Blanc με HFACS

### 5.1.3 Ανάλυση με το μοντέλο STAMP

Η εφαρμογή της ανάλυσης με το μοντέλο STAMP απαιτεί σε πρώτη φάση να σχεδιαστεί το ιεραρχικό δομικό διάγραμμα ελέγχου της σήραγγας του Mont Blanc που φαίνεται στην **Εικόνα 5.5** καθώς και να προσδιοριστούν οι περιορισμοί ελέγχου που θέτει κάθε επίπεδο (**Εικόνα 5.6**) προκειμένου να διασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία της σήραγγας, να αποτραπεί ένα ατύχημα ή αν έστω συμβεί να αντιμετωπιστεί άμεσα και αποτελεσματικά. Η καταγραφή των παραπάνω προϋποθέτει βαθιά κατανόηση του συστήματος και των συνιστωσών του καθώς όπως φαίνεται ξεκάθαρα από το δομικό διάγραμμα υπάρχουν ισχυρές αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των όλων των επιπέδων.



**Εικόνα 5.5** Ιεραρχικό δομικό διάγραμμα εφαρμογής περιορισμών ελέγχου στη σήραγγα Mont Blanc

#### **Απαιτήσεις & Περιορισμοί Ελέγχου**

- **Γαλλική & Ιταλική Κυβέρνηση**

Καθορισμός νομικού πλαισίου για τα βαρέυ τύπου οχημάτα και τα φορτία που μεταφέρουν

Καθοδηγεί την Κοινή Διακυβερνητική Επιτροπή Ελέγχου

Ελέγχει την τήρηση και την αποτελεσματικότητα των οδηγιών

- **Κοινή Διακυβερνητική Επιτροπή Ελέγχου**

Υπεύθυνη για τον έλεγχο και την επίβλεψη της λειτουργίας της σήραγγας

Αρμόδια για την εκτέλεση πρόσθετων απαιτούμενων εργασιών

Ενθαρρύνει τη συνεργασία σε όλα τα επίπεδα

Αρμόδια για το καθορισμό του πλαισίου για τη μεταφορά και το είδος των επικίνδυνων φορτίων

- **Κοινή Επιτροπή Λειτουργίας & Διοίκησή της**

Υπεύθυνη για τη συνεργασία μεταξύ των δύο εταιριών

Υπεύθυνη για την εξαγωγή συμπερασμάτων από ατυχήματα του παρελθόντος

Αρμόδια για τη διεξαγωγή ασκήσεων έκτακτων καταστάσεων με τη συμμετοχή και των τοπικών φορέων

Θέσπιση διαδικασιών ελέγχου για αδυναμίες των συστημάτων ασφαλείας

- **Εταιρίες Λειτουργίας**

Καθορισμός κανονισμών και πολιτικής σε θέματα ασφαλείας και μεταφορά τους στα κατώτερα επίπεδα

Διαχείριση κονδυλίων για σχεδιασμό και εκτέλεση αναβάθμισης εξοπλισμού σε ενιαίο πλαίσιο συνεργασίας

Παροχή κατάλληλης εκπαίδευσης στους χειριστές και στους διασώστες

Συνεργασία με τους τοπικούς φορείς για σχεδιασμό αντιμετώπισης έκτακτων καταστάσεων

Έλεγχος για αποτελεσματικότητα διαδικασιών και για εντοπισμό δυσλειτουργιών

- **Χειριστές Κέντρων Ελέγχου**

Έλεγχος για τήρηση της ομαλής κυκλοφορίας και των συνθηκών ασφαλείας, σε συνεργασία των 2 κέντρων

Υπεύθυνοι για την αρχική αντιμετώπιση περιπτώσεων έκτακτης κατάστασης όπως ορίζεται από τις διαδικασίες

ασφαλείας & την παροχή πληροφοριών στους χρήστες

Υπεύθυνοι για έλεγχο και συντήρηση του εξοπλισμού της σήραγγας

Επικοινωνία με τις εταιρίες για τα κενά ασφαλείας και τις ανάγκες βελτίωσης των συστημάτων

- **Διασωστικές Δυνάμεις**

Αντιμετώπιση του κινδύνου σύμφωνα με επιχειρησιακά σχέδια που υπάρχουν

Θέσπιση καναλιών επικοινωνίας τόσο μεταξύ των δυνάμεων όσο και με χειριστές

- **Χρήστες**

Να κινούνται με βάση τους κανόνες ρύθμισης κυκλοφορίας

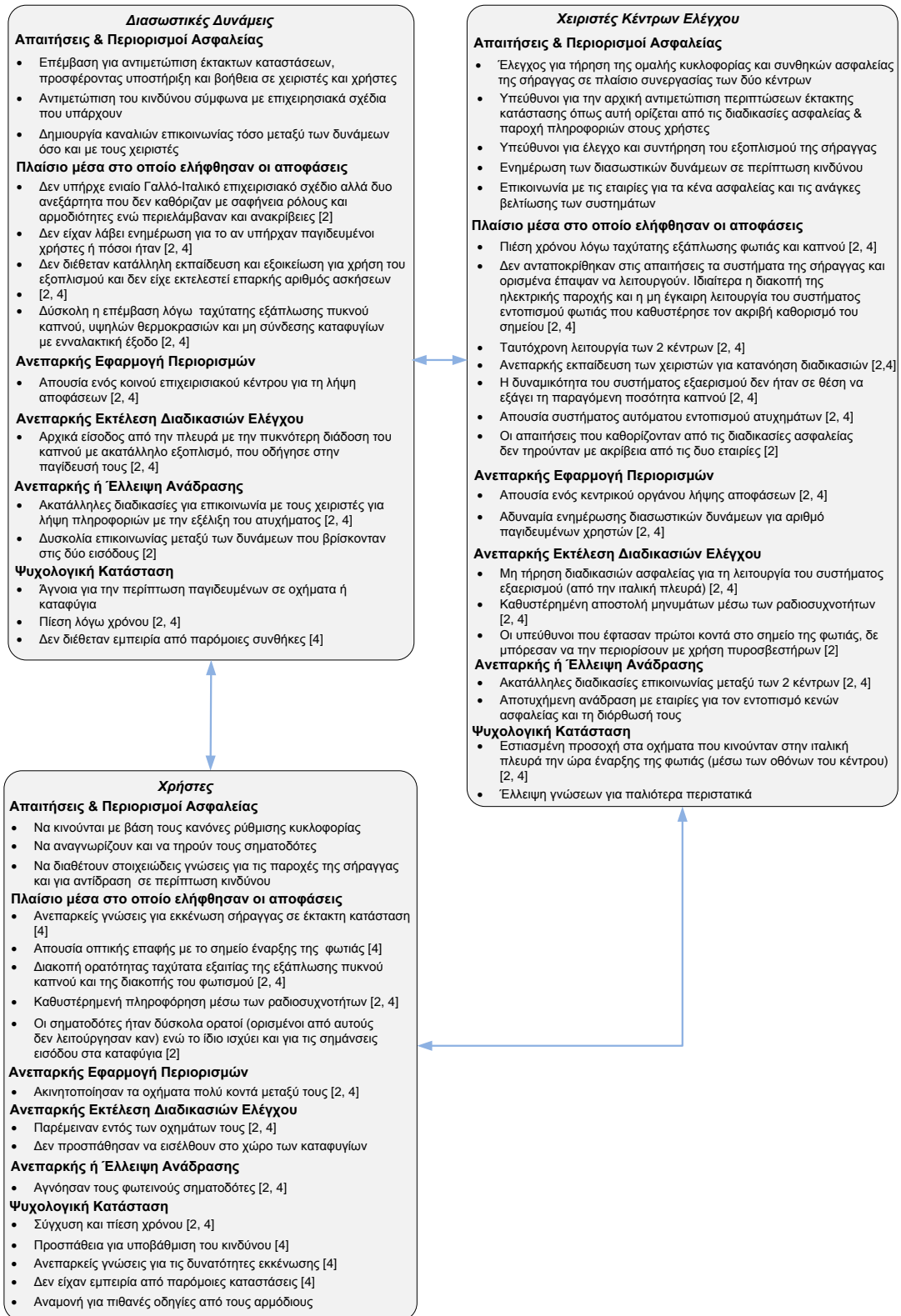
Να αναγνωρίζουν και να τηρούν τους σηματοδότες

Να διαθέτουν στοιχειώδεις γνώσεις για τις παροχές της σήραγγας και για αντίδραση σε περίπτωση κινδύνου

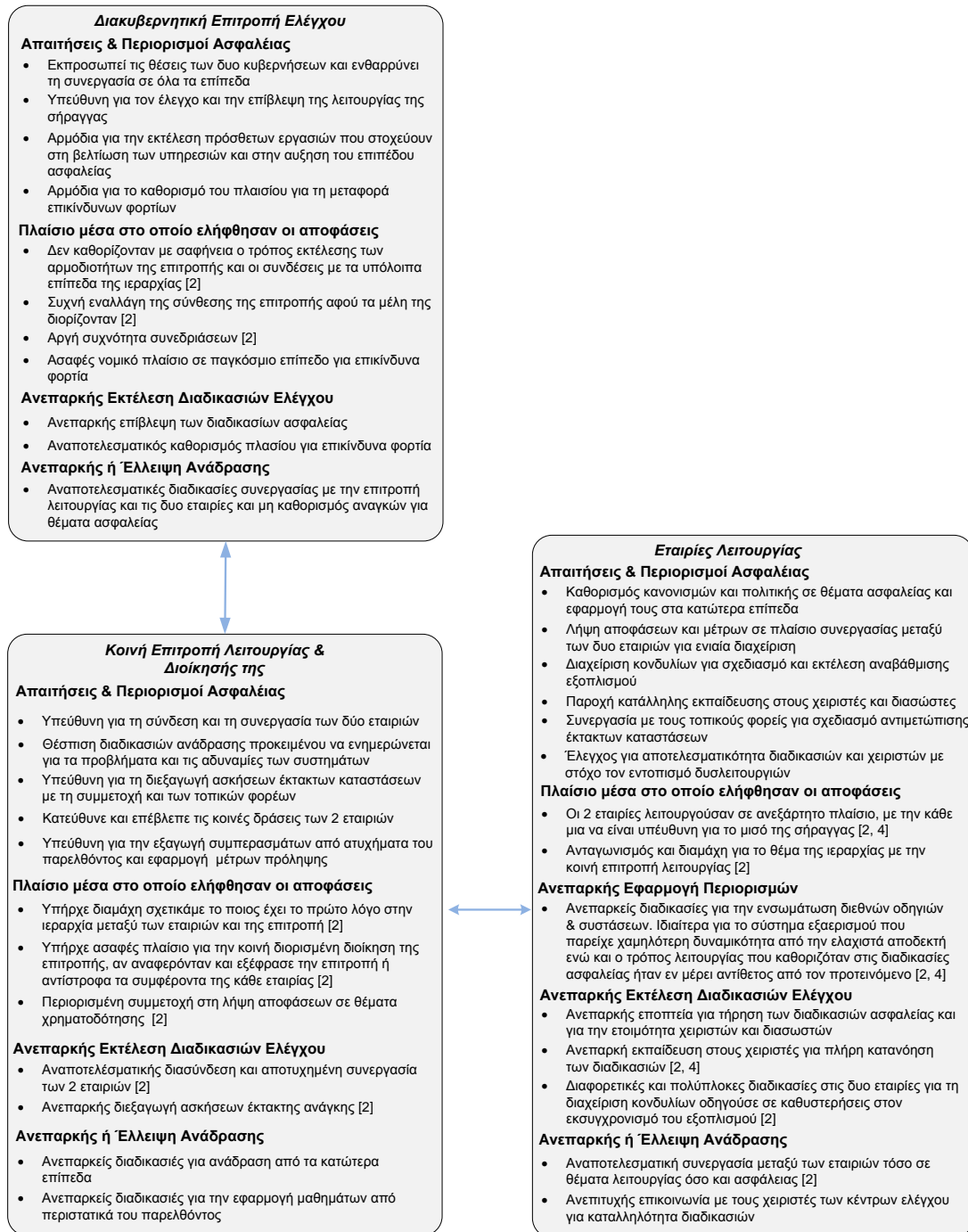
### **Εικόνα 5.6 Απαιτήσεις και περιορισμοί ελέγχου του κάθε επιπέδου της σήραγγας Mont Blanc**

Στη δεύτερη φάση εφαρμογής της μεθόδου για τα σημαντικότερα επίπεδα ιεραρχίας πραγματοποιείται αναλυτική περιγραφή των λανθασμένων περιορισμών ελέγχου και γίνεται ταξινόμηση τους σε ανεπαρκή εφαρμογή, ανεπαρκή εκτέλεση διαδικασιών ή έλλειψη ανάδρασης ενώ επιπλέον καταγράφονται το πλαίσιο μέσα στο οποίο ελήφθησαν οι αποφάσεις και η ψυχολογική κατάσταση των εμπλεκόμενων (Εικόνες 5.7, 5.8).





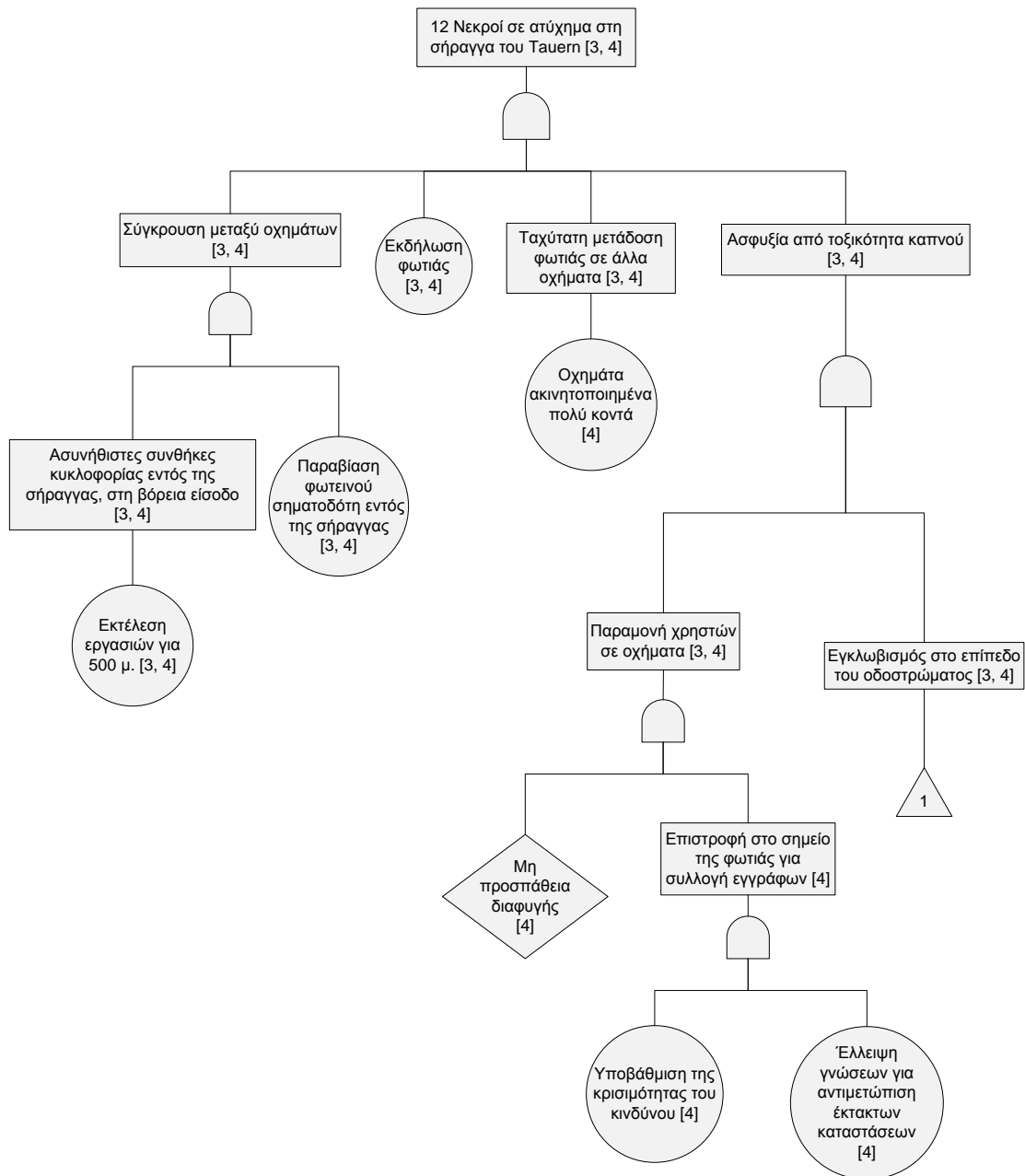
**Εικόνα 5.7** Ανάλυση με το μοντέλο STAMP για το ρόλο των χρηστών, των χειριστών των κέντρων ελέγχου και των διασωστικών δυνάμεων



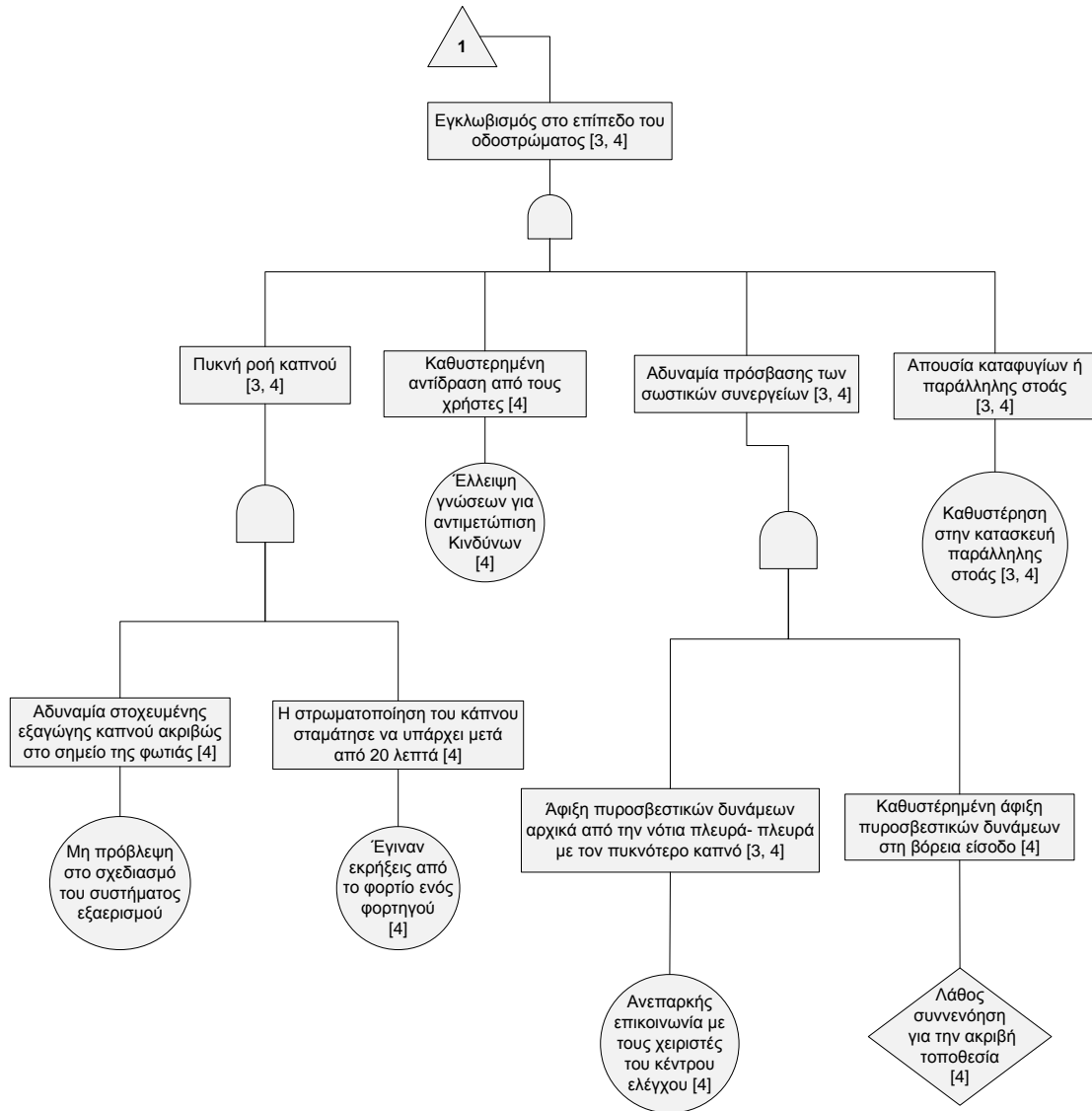
**Εικόνα 5.8 Ανάλυση με το μοντέλο STAMP για το ρόλο της Διακυβερνητικής Επιτροπής, τη κοινής Επιτροπής Διοίκησης και των δυο εταιριών λειτουργίας**

## 5.2 Το ατύχημα στη σήραγγα του Tauern

### 5.2.1 Ανάλυση με Fault tree

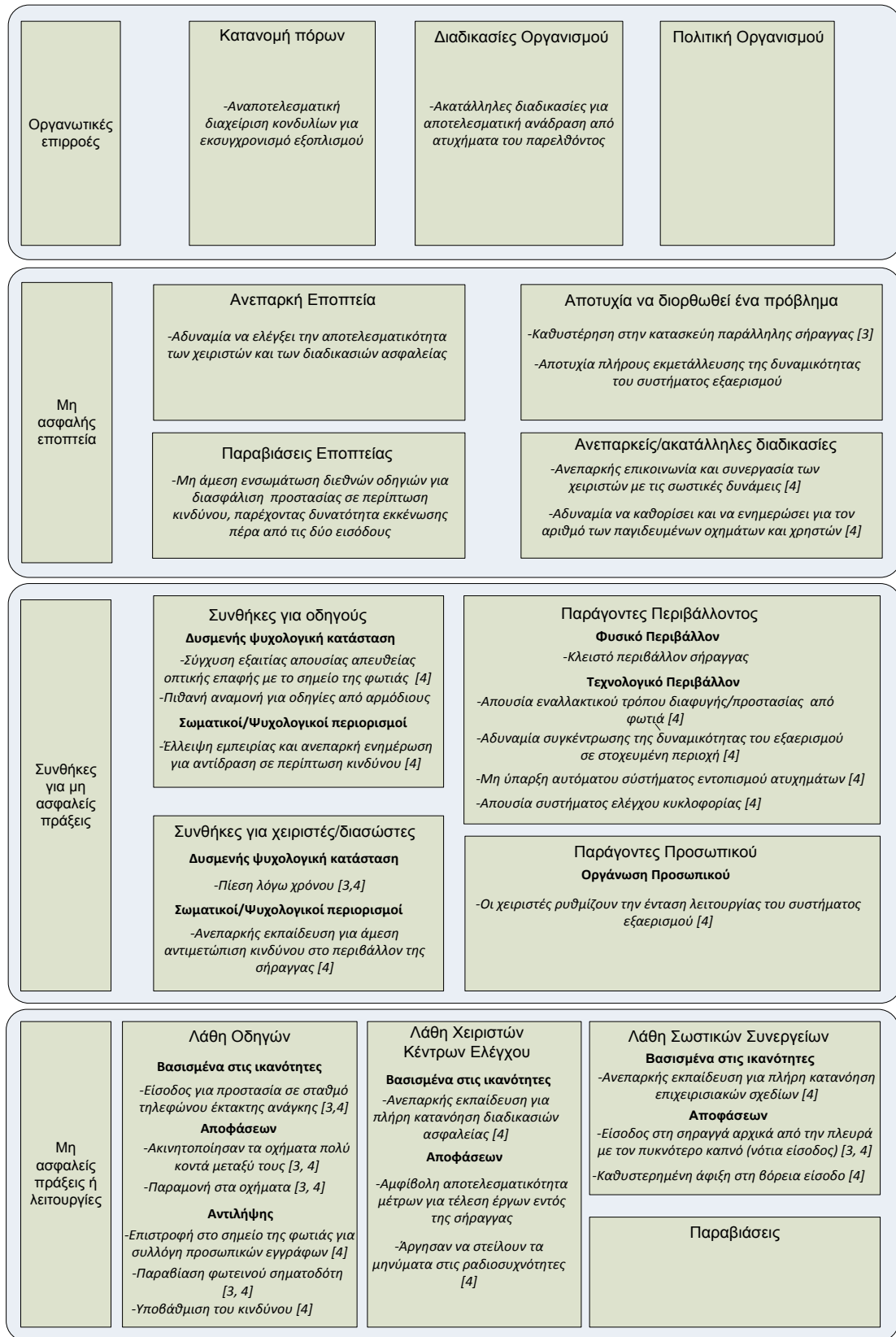


Εικόνα 5.9 Ανάλυση ατυχήματος στη σήραγγα Tauern με FT (1)



**Εικόνα 5.10 Ανάλυση ατυχήματος στη σήραγγα Tauern με FT (2)**

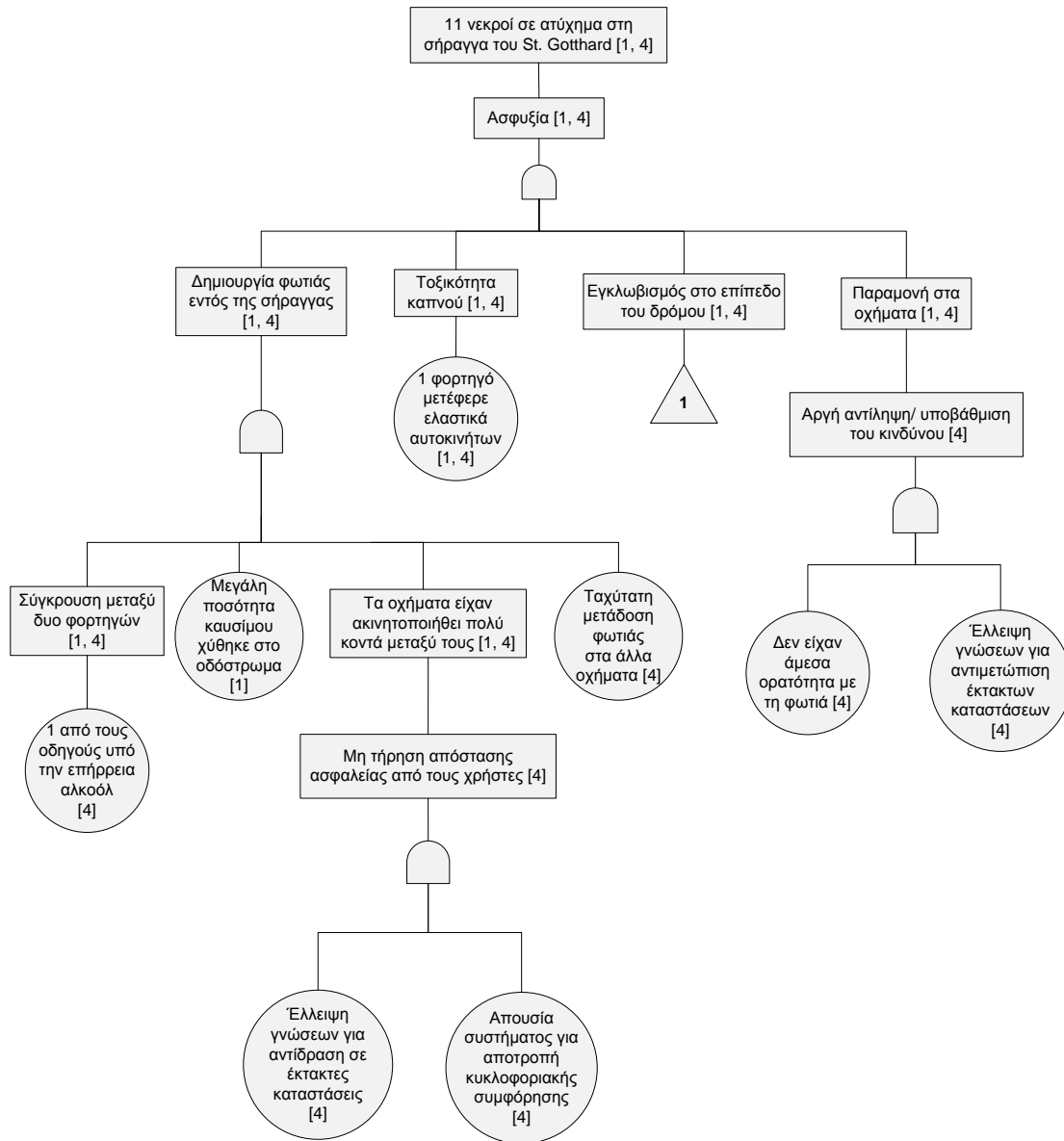
## 5.2.2 Ανάλυση με τη HFACS (μοντέλο Reason)



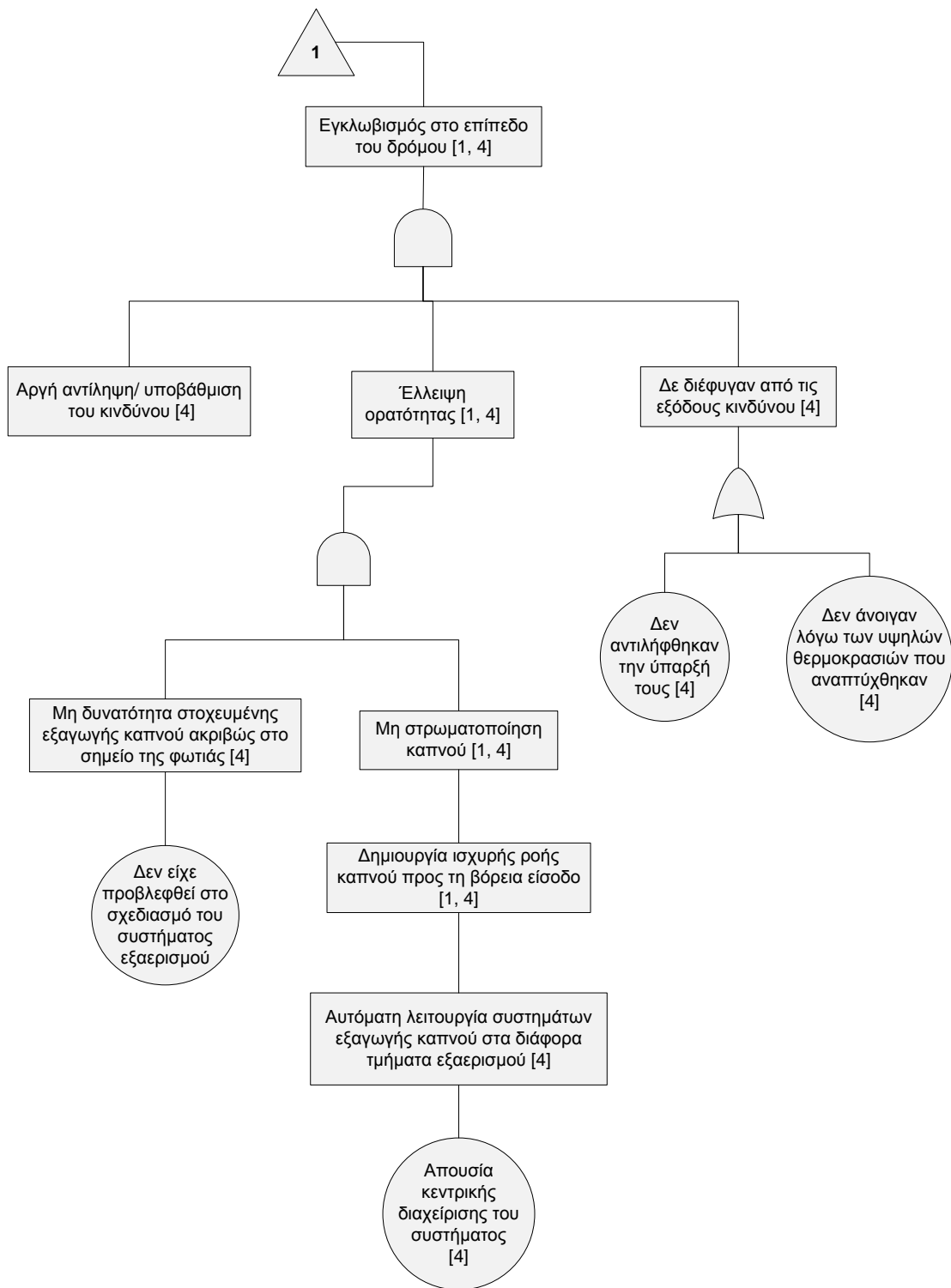
Εικόνα 5.11 Αποτελέσματα ανάλυσης ατυχήματος Tauern με HFACS

## 5.3 Το ατύχημα στη σήραγγα του St. Gotthard

### 5.3.1 Ανάλυση με Fault tree

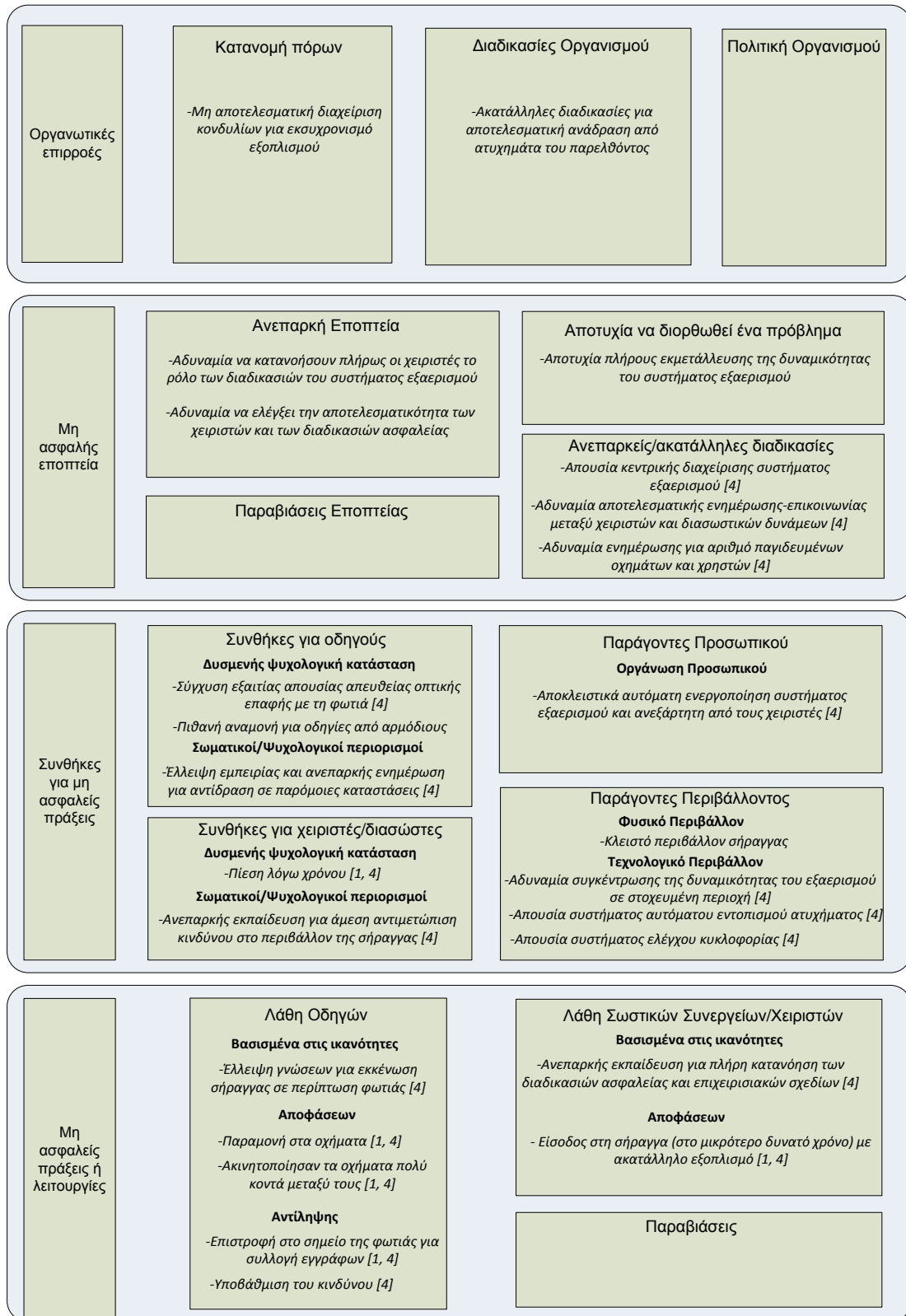


Εικόνα 5.12 Ανάλυση ατυχήματος στη σήραγγα St. Gotthard με FT (1)



Εικόνα 5.13 Ανάλυση ατυχήματος στη σήραγγα St. Gotthard με FT (2)

### 5.3.2 Ανάλυση με τη HFACS (μοντέλο Reason)



Εικόνα 5.14 Αποτελέσματα ανάλυσης ατυχήματος St. Gotthard με HFACS



---

## 6 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αρχικά αναφέρονται οι σημαντικότερες αιτίες των ατυχημάτων που εντοπίστηκαν, σημειώνοντας τις ομοιότητες και τις διαφορές μεταξύ των τριών περιστατικών ενώ έπειτα εκτελείται σύγκριση των τεχνικών ανάλυσης και των προσεγγίσεων που εφαρμόστηκαν.

Στο κομμάτι των υποδομών και του εξοπλισμού καθοριστικός παράγοντας για την εξέλιξη των ατυχημάτων ήταν η δυναμικότητα των συστημάτων εξαερισμού καθώς η ανεπαρκής λειτουργία τους δεν επέτρεψε τη στρωματοποίηση του καπνού ενώ αύξησε και τη διαμήκη ταχύτητά του. Στη σήραγγα του Mont Blanc η δυναμικότητα του συστήματος δεν αρκούσε για να εξάγει τη παραγόμενη ποσότητα καπνού, στις σήραγγες Tauern και St. Gotthard δεν υπήρχε δυνατότητα στοχευμένης εξαγωγής στο τμήμα που εξελισσόταν η φωτιά ενώ στη τελευταία περίπτωση ο εξαερισμός των τμημάτων ενεργοποιούνταν αυτόματα μέσω του διερχόμενου καπνού. Καμία από τις σήραγγες δε διέθετε σύστημα αυτόματου εντοπισμού ατυχημάτων ενώ σε αυτή του Mont Blanc και η λειτουργία του συναγερμού για την ανίχνευση φωτιάς κρίθηκε ανεπαρκής καθώς ενεργοποιήθηκε 20 λεπτά μετά την έναρξή της, καθυστερώντας τον ακριβή προσδιορισμό του σημείου. Οι δυνατότητες για εκκένωση ήταν περιορισμένες αφού στη περίπτωση του Mont Blanc τα καταφύγια προστασίας δε συνδέονταν με κάποιο δρόμο διαφυγής (π.χ με τους αγωγούς παροχής αέρα) με δύο χρήστες να βρίσκουν θάνατο εντός τους καθώς παρείχαν προστασία μόνο για δύο ώρες ενώ η σήραγγα του Tauern δε διέθετε κάποια εναλλακτική πέρα από τις εισόδους.

Περνώντας στον ανθρώπινο παράγοντα και στη μεριά των χρηστών προέκυψε ότι δε διέθεταν επαρκείς γνώσεις για την ενδεδειγμένη αντίδραση σε περίπτωση εκδήλωσης φωτιάς. Μεγάλη καθυστέρηση στην αντίδρασή τους προκαλούσε η άρνηση να δεχτούν τον κίνδυνο και η προσπάθεια να υποβαθμίσουν την κρισιμότητα της κατάστασης, με σημαντικότερη αιτία την απουσία απευθείας οπτικής επαφής με το σημείο της φωτιάς. Στο ατύχημα του Mont Blanc, 27 από τους νεκρούς βρέθηκαν εντός των οχημάτων τους χωρίς να προσπαθήσουν να διαφύγουν, αντίστοιχα 5 βρέθηκαν σε αυτό του St. Gotthard ενώ υπήρξαν θύματα που αν και είχαν απομακρυνθεί από τα αυτοκίνητά τους, επέστρεψαν για να συλλέξουν κάποια έγγραφα. Δείγμα της άγνοιας είναι ότι σε όλα τα ατυχήματα ακινητοποίησαν τα οχήματα σε κοντινές αποστάσεις μεταξύ τους, διευκολύνοντας την επέκταση της φωτιάς ενώ δεν γνώριζαν πλήρως τις υποδομές και τις παροχές που διέθεταν οι

---

σήραγγες με χαρακτηριστικό ότι στο ατύχημα του Tauern τρεις άνθρωποι θεώρησαν ως ασφαλές ένα σταθμό με τηλέφωνα έκτακτης ανάγκης.

Οι χειριστές των κέντρων ελέγχου από την πλευρά τους διέθεταν ανεπαρκή εκπαίδευση για άμεση και αποτελεσματική αντιμετώπιση έκτακτων καταστάσεων ενώ δεν είχαν κατανοήσει πλήρως τις διαδικασίες ασφαλείας που καλούνταν να εφαρμόσουν και το ρόλο που εξυπηρετούσαν. Στο ατύχημα του Mont Blanc, το ιταλικό κέντρο δεν ακολούθησε τις προκαθορισμένες διαδικασίες που υπήρχαν, θεωρώντας ότι έτσι βοηθούσε. Σε όλες τις περιπτώσεις υπήρξε πρόβλημα συνεννόησης ανάμεσα στους χειριστές και στις δυνάμεις διάσωσης οι οποίες αν και έφτασαν στα σημεία στο ταχύτερο δυνατό χρόνο (με εξαίρεση τις δυνάμεις στη βόρεια είσοδο του Tauern), δε βοήθησαν άμεσα. Οι χειριστές δεν ήταν σε θέση να πληροφορήσουν τους διασώστες για τον αριθμό των παγιδευμένων και για την ακριβή εξέλιξη της φωτιάς με συνέπεια στα ατυχήματα του Mont Blanc και του Tauern να εισέλθουν από τις πλευρές με την πυκνότερη διάδοση του καπνού και να παγιδευτούν ενώ στη πρώτη περίπτωση χρειάστηκε να παραμείνουν σε καταφύγιο για επτά ώρες μέχρι τον απεγκλωβισμό τους και μάλιστα ο οργανισμός ενός δεν άντεξε τη καταπόνηση και απεβίωσε. Οι δυνάμεις αποδείχτηκε ότι δεν είχαν εκπαιδευτεί κατάλληλα για την αντιμετώπιση φωτιάς σε σήραγγα με τις ιδιαίτερα δύσκολες και επίπονες συνθήκες που αναπτύσσονταν και επιπλέον, είτε δε διέθεταν είτε δεν ήταν εξοικειωμένοι με τον εξοπλισμό που απαιτούνταν.

Οι διοικήσεις της κάθε σήραγγας έχουν το δικό τους μερίδιο καθώς κινούμενοι σε γενικό πλαίσιο για τα τρία περιστατικά παρατηρούμε ότι δεν είχαν φροντίσει να παρέχουν κατάλληλη εκπαίδευση και να ελέγχουν την αποτελεσματικότητα των χειριστών ενώ ο σχεδιασμός των διαδικασιών ασφαλείας δεν καθόριζε με απλό και κατανοητό τρόπο τους ρόλους και τις αρμοδιότητες του κάθε εμπλεκόμενου. Επιπλέον χρεώνεται στις διοικήσεις η αδυναμία να ενσωματώσουν τα συμπεράσματα που προέκυψαν από παλιότερα περιστατικά και από τα ίδια (του Mont Blanc που προηγήθηκε χρονικά) και να επιταχύνουν τις διαδικασίες διάθεσης κονδυλίων για τον εκσυγχρονισμό των υποδομών και του εξοπλισμού. Αναφερόμενοι συγκεκριμένα στη διακυβερνητική σήραγγα του Mont Blanc υπήρχαν ακαθόριστες αρμοδιότητες και χάσμα επικοινωνίας των οργάνων διοίκησης με συνεχείς διαμάχες για θέματα ιεραρχίας μεταξύ των δύο εταιριών που εκπροσωπούσαν την κάθε χώρα και δρούσαν ανεξάρτητα, της κοινής επιτροπής Διοίκησης και της Διακυβερνητικής επιτροπής. Κρίσιμη παράμετρος ήταν η αδυναμία τους να ενσωματώσουν τις διεθνείς συστάσεις για ζητήματα ασφάλειας όπως ο τρόπος λειτουργία του εξαερισμού.

---

Στο επίπεδο των Κυβερνήσεων των χωρών που εμπλέκονται υπάρχουν ευθύνες για το ασαφές νομικό πλαίσιο σχετικά με τη μεταφορά και το είδος των επικίνδυνων φορτίων, τον έλεγχο της κατάστασης των οχημάτων βαρέου τύπου καθώς και για το γεγονός ότι δεν διέθεταν αποτελεσματικές μορφές ανάδρασης και ελέγχου των διοικήσεων των σηράγγων.

Συσχετίζοντας τις αιτίες που εντοπίστηκαν με τις τεχνικές ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν, πρέπει να σημειώσουμε ότι οι τεχνικές έθεσαν ερωτήματα που οι διαθέσιμες πληροφορίες δεν επαρκούσαν για να απαντηθούν. Στις περιπτώσεις των ατυχημάτων του Tauern και St. Gotthard η έλλειψη δεδομένων για παραμέτρους όπως η καταλληλότητα των μέτρων προστασίας για τη διεξαγωγή εργασιών στη πρώτη περίπτωση, κατά πόσο οι χειριστές μπορούσαν να επέμβουν στην αυτόματη λειτουργία του συστήματος εξαερισμού στη δεύτερη ή ο βαθμός τήρησης των επιχειρησιακών σχεδίων, δεν μας επιτρέπουν βαθύτερη ανάλυση. Αν και έχουν καταγραφεί οι πράξεις χρηστών, χειριστών και διασωστών δεν υπάρχουν πληροφορίες για τον ακριβή ρόλο των διοικήσεων και των οργάνων τους με συνέπεια να μην είμαστε σε θέση να απαντήσουμε κατηγορηματικά σε ποιους τομείς κατανέμονται οι ευθύνες και οι παραλείψεις για τα λάθη που έγιναν. Η απουσία αυτή οδήγησε στην ελλιπή συμπλήρωση της μεθόδου HFACS ενώ δεν επέτρεψε να πραγματοποιηθεί η ανάλυση με το συστημικό μοντέλο STAMP, φανερώνοντας την ανάγκη για δημιουργία ενός πιο οργανωμένου και ομαδοποιημένου τρόπου καταγραφής δεδομένων της έρευνας ενός ατυχήματος.

Παρακάτω εκτελείται μια σύγκριση των τεχνικών και των προσεγγίσεων που χρησιμοποιήθηκαν. Η μέθοδος του Δέντρου Αιτιών δημιουργεί μια απλοποιημένη γραφική απεικόνιση της πορείας του ατυχήματος, ακολουθώντας τη γραμμική προσέγγιση και καταγράφοντας τις δυνατές διαδρομές. Ωστόσο η ανάλυση διαμορφώνεται από τη προσέγγιση και την εμπειρία του αναλυτή καθώς δεν κατευθύνεται με κάποιο τρόπο αλλά ξεκινώντας από μια λευκή κόλλα χαρτί ο ίδιος καθορίζει την πορεία, θέτοντας το αρχικό γεγονός αλλά και τα μετέπειτα γεγονότα-αιτίες που θεωρεί κρίσιμα. Αυτό δημιουργεί αμφιβολίες για την αντικειμενικότητα και τη πληρότητα της ανάλυσης και αν πράγματι έχουν καταγραφεί όλες οι σημαντικές παράμετροι. Επιπλέον είναι σαφές ότι όλοι οι παράγοντες που συνέβαλαν στην εξέλιξη ενός ατυχήματος σε πολύπλοκο σύστημα δεν προσεγγίζονται γραμμικά ως αιτίες-συνέπειες αλλά χαρακτηρίζονται από αλληλεξαρτήσεις μεταξύ επιπέδων ιεραρχίας όπου το μοντέλο δεν μπορεί εύκολα να αποτυπώσει.

---

Η μέθοδος HFACS κατευθύνει τον αναλυτή να κινηθεί σε συγκεκριμένο πλαίσιο αναζήτησης ανασφαλών πράξεων και λανθανουσών συνθηκών αφού του παρέχει διακριτές κατηγορίες ταξινόμησης. Η κατηγοριοποίηση ξεκινά από το κατώτερο επίπεδο (χρήστες) και προχωρά προς τα ανώτερα, συσχετίζοντας τις αιτίες εμφάνισης λαθών μεταξύ των επιπέδων. Οι ομάδες λαθών που θέτει η μέθοδος αν και στη δική μας εφαρμογή ήταν επαρκείς, υπάρχει πιθανότητα σε κάποιο ατύχημα διαφορετικής φύσεως να περιορίζουν τον ανάλυση, καθιστώντας αδύνατη την κατανομή όλων των παραγόντων. Επιπρόσθετα στο επίπεδο των οργανωτικών επιρροών δε καθορίζει με σαφήνεια ποιοι ήταν υπεύθυνοι για τις παραλείψεις ενώ μεγάλο μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι η αναζήτηση περιορίζεται μέχρι το επίπεδο της διοίκησης του συστήματος και δεν λαμβάνει υπόψιν της παράγοντες που συνέβαλαν έξω από αυτή, φτάνοντας σε ανώτερα επίπεδα όπως αυτό της Κυβέρνησης.

Για την εφαρμογή της ανάλυσης με STAMP χρειαζόμαστε μεγαλύτερο αριθμό δεδομένων καθώς το μοντέλο απαιτεί τη δημιουργία του δομικού διαγράμματος ελέγχου και τους περιορισμούς που θέτει το κάθε επίπεδο, δημιουργώντας μια πιο ολοκληρωμένη γνώση του συστήματος. Στη περαιτέρω ανάλυση του κάθε ρόλου παρέχει ένα πίνακα ταξινόμησης των αποτυχημένων περιορισμών ελέγχου, γενικότερο από το αντίστοιχο της HFACS ενώ ζητάει το πλαίσιο μέσα στο οποίο ελήφθησαν οι αποφάσεις και την ψυχολογική κατάσταση αυτών που τις έλαβαν, παρουσιάζοντας με σαφήνεια τις αρμοδιότητες του καθενός, σε τι απέτυχαν και γιατί. Η αδυναμία της μεθόδου στη δική μας εφαρμογή εντοπίστηκε στο γεγονός ότι δε δίνει βαρύτητα στους τεχνολογικούς παράγοντες καθώς δε τονίζει την απευθείας συμμετοχή που είχαν στην εξέλιξη ενός ατυχήματος αλλά αναφέρονται μόνο στο πλαίσιο λήψης αποφάσεων. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε υποτίμηση της σημασίας τους και στη μη λήψη διορθωτικών μέτρων.

Κλείνοντας τη διπλωματική εργασία πρέπει να τονίσουμε την ανάγκη να αλλάξει ο τρόπος που αντιμετωπίζουμε τα ατυχήματα σε οδικές σήραγγες στη χώρα μας. Η σύσταση ενός φορέα που θα δρα σε εθνικό επίπεδο και η συνεργασία μεταξύ των αυτοκινητοδρόμων κρίνεται επιτακτική για τη βελτίωση του επιπέδου ασφαλείας. Δε χρειάζεται να συμβεί κάποιο μεγάλο δυστύχημα για να λάβουμε διορθωτικά μέτρα αλλά η μελέτη περιστατικών μικρότερης κλίμακας μπορεί να φανερώσει επαναλαμβανόμενα λάθη και αναδείξει συγκεκριμένα κενά.

---

## 7 Βιβλιογραφία

Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο της Ευρώπης 2004, ΟΔΗΓΙΑ 2004/54/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 29ης Απριλίου 2004 σχετικά με τις ελάχιστες απαιτήσεις ασφαλείας για τις σήραγγες του Διευρωπαϊκού Οδικού Δικτύου, Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης L 167, Βρυξέλλες

Κατσακιώρη, Π. 2010, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΚΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ, Πανεπιστήμιο Πατρών, Ελλάδα.

Μαρμαράς, Ν. 2005, Ασφάλεια & Υγιεινή της Εργασίας, βιβλίο που διανεμήθηκε στο ομότιτλο μάθημα στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ, Αθήνα 2005

Παπαϊωάννου, Π. & Γεωργίου Γ. 2005, 'Ατυχήματα σε σήραγγες και ανθρώπινη συμπεριφορά', Πρακτικά από το 3ο Πανελλήνιο συνέδριο οδικής ασφάλειας. Διαθέσιμο από: TEE Portal: TEE Digital Library. [15 Ιουνίου 2013]

Παπαπαύλου, Π. 2012, Απαιτούμενες γνώσεις ασφαλείας των χρηστών οδικών σηράγγων, Διπλωματική Εργασία στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ

Προεδρικό Διάταγμα υπ' αριθμόν 230 2007, Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Αρ. Φύλλου 264, Αθήνα.

Σαραμούρτσης, Α 2005, 'Εφαρμογή μεθόδων ποσοτικής ανάλυσης κινδύνου σε οδικές σήραγγες', Πρακτικά από το 3ο Πανελλήνιο συνέδριο οδικής ασφάλειας. Διαθέσιμο από: TEE Portal: TEE Digital Library. [15 Ιουνίου 2013]

ACTUERS 2005, *Results of the ACTEURS project on the behavior of tunnel users.*

Amundsen, F.H. 2000, *DATA ON LARGE TUNNEL FIRES*, Norwegian Public Roads Administration, Oslo

---

Argyris, C. & Schon, D. 1978, *Organisational Learning: A Theory of Action Perspective*, Addison Wesley, Massachusetts.

Beard, A. & Carvel, R. 2005, *The Handbook of Tunnel Fire Safety*, Thomas Telford, London.

CETU 2010, *Signalling and support measures for self-evacuation of users from road tunnels*, Tunnel Study Center (CETU), France.

Dien, Y., Llory, M. & Montmayeul, R. 2004, 'Organisational accidents investigation methodology and lessons learned', *Journal of Hazardous Materials*, vol. 111, pp. 147-153.

Dien, Y., Dechy, N. & Guillaume, E. 2012, 'Accident investigation: From searching direct causes to finding in-depth causes – Problem of analysis or/and of analyst?', *Journal of Safety Science*, vol. 50, pp. 1398-1407.

Duffé, P. & Marec, M. 1999, *TASK FORCE FOR TECHNICAL INVESTIGATION OF THE 24 MARCH 1999 FIRE IN THE MONT BLANC VEHICULAR TUNNEL*, Minister of the Interior - Ministry of Equipment, Transportation and Housing, France

EuroTAP (European Tunnel Assessment Programme) 2012, Projects & Campaigns, Διαθέσιμο από;  
<http://www.eurotestmobility.com/eurotest.php?itemno=439&lang=EN>. [20 Αυγούστου 2012]

Gordon, J. 1949, 'The epidemiology of accidents', *Journal of Public Health*, vol. 39, pp. 504–515.

Heinrich, H.W. 1959, *Industrial Accident Prevention: A Scientific Approach*, McGraw-Hill, New York.

Hendrick, K. & Benner, L. 1987, *Investigating accidents with STEP*, Marcel Dekker, New York.

- 
- Hollnagel, E. 2004, *Barriers and accident prevention*, Burlington, VT Ashgate.
- Hollnagel, E. 2008, *Investigation as an impediment to learning*, Ashgate, UK.
- Kirytopoulos, K., Rentizelas, A., Tatsiopoulos, I. & Papadopoulos, G. 2010, 'Quantitative risk analysis for road tunnels complying with EU regulations', *Journal of Risk Research*, vol. 13, pp. 1027-1041.
- Kletz, T. 2009, 'Accident reports may not tell us everything we need to know', *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 22, pp. 753-756.
- Krausmann, E. & Mushtaq, F. 2009, 'Learning lessons from tunnel accidents – Recommendations in support of the implementation of Article 15 on Reporting of the EU Directive 2004/54/EC', *Journal of Safety Science*, vol. 48, pp. 230-237.
- Leitner, A. 2001, 'The fire catastrophe in the Tauern Tunnel: experience and conclusions for the Austrian guidelines', *Journal of Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 16, pp. 217-223.
- Leveson, N. 2003, *A New Approach to System Safety Engineering*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge
- Levenson, N. 2004, 'A new accident model for engineering safer systems', *Journal of Safety Science*, vol. 42, pp. 237–270.
- Lundberg, J., Rollenhagen, C. & Hollnagel, E. 2009, 'What-You-Look-For-Is-What-You-Find – The consequences of underlying accident models in eight accident investigation manuals', *Journal of Safety Science*, vol. 47, pp. 1297-1311.
- Mont Blanc tunnel accident 2001, Διαθέσιμο από:  
<http://www.landroverclub.net/Club/HTML/MontBlanc.htm>  
[19 Νοεμβρίου 2004]

- 
- Ouyang, M., Hong, L. & Fei, Q. 2010, 'STAMP-based analysis on the railway accident and accident spreading: Taking the China–Jiaoji railway accident for example', *Journal of Safety Science*, vol. 48, pp. 544-555.
- Papaioannou, P. & Georgiou, G. 2008, *Human Behaviour in Tunnel Accidents and Incidents: End-users, Operators and Response Teams*, UPTUN.
- PIARC & ITA 2004, 'Fire Safety in Tunnels', *Routes-Roads*, no 324, World Road Association (PIARC) & International Tunnelling Association (ITA), France.
- PIARC 2008, *Human Factors and Road Tunnel Safety Regarding Users*. World Road Association (PIARC), France.
- PIARC 2011, *Recommendations regarding road tunnel drivers' training and information*. World Road Association (PIARC), France.
- Qureshi, Z. 2008, *A Review of Accident Modelling Approaches for Complex Critical Sociotechnical Systems*, Defence Science and Technology Organisation (DSTO), Australia
- Rasmussen, J. 1997, 'Risk Management in a Dynamic Society: A Modelling Problem', *Journal of Safety Science*, vol. 27, pp. 183 – 213.
- Reason, J. 1997, *Managing the Risks of Organizational Accidents*, Ashgate, England.
- Salmon, P., Cornelissen, M. & Trotter, J. 2011, 'Systems-based accident analysis methods: A comparison of Accimap, HFACS, and STAMP', *Journal of Safety Science*, vol. 50, pp. 1158-1170.
- Sklet, S. 2002, *Methods for accident investigation*, Norwegian University of Science and Technology, Norway
- Sklet, S. 2004, 'Comparison of some selected methods for accident investigation', *Journal of Hazardous Materials*, vol.111, pp. 29-37.



---

St Gotthard tunnel accident 2007, Διαθέσιμο από:

[http://www.wired.com/science/discoveries/news/2007/09/dayintech\\_0905#](http://www.wired.com/science/discoveries/news/2007/09/dayintech_0905#)

[15 Ιουλίου 2013]

Svedung, I. & Rasmussen, J. 2002, 'Graphic representation of accident scenarios: mapping system structure and the causation of accidents', *Journal of Safety Science*, vol. 40, pp. 397-417.

Tauern tunnel accident 2012, Διαθέσιμο από:

<http://www.hpb.at/galleries/main/news/slides/Tauerntunnel.html>

[15 Ιουλίου 2013]

Tesson, M. 2010, 'Recent research results on human factors and organizational aspects for road tunnels', *Πρακτικά του Fourth International Symposium on Tunnel Safety and Security*, Tunnel Study Center (CETU), France

Turner, B. 1978, *Man-Made Disasters*, Wykeham, London

Wiegmann, D. & Shappell, S. 2003, *A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis. The Human Factors Analysis and Classification System*, Ashgate Publishing Ltd, VT.

---

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

**Αναλυτική παρουσίαση σημαντικότερων ατυχημάτων σε οδικές  
σήραγγες**

Ημερομηνία	Όνομα σήραγγας	Μήκος σήραγγας (σε μέτρα)	Περιοχή/ Χώρα	Αριθμός νεκρών	Αριθμός τραυματιών
13/05/1949	Holland	2.550	Νέα Υόρκη, ΗΠΑ	0	66
06/03/1967	Suzaka	240	Ιαπωνία	0	2
28/01/1974	Mont Blanc	11.600	Γαλλία - Ιταλία	0	1
03/04/1974	Chesapeake Bay	1.600	Βιρτζίνια, ΗΠΑ	0	1
11/08/1976	Porte d'Italie	425	Παρίσι, Γαλλία	0	12
15/04/1978	Mont Blanc	11.600	Γαλλία - Ιταλία	0	0
11/08/1978	Velsen	770	Χάρλεμ, Ολλανδία	5	5
11/07/1979	Nihonzaka	2.045	Ιαπωνία	7	3
17/04/1980	Kajiwara	740	Ιαπωνία	1	0
15/07/1980	Sakai	460	Ιαπωνία	5	5
07/04/1982	Caldecott	1.030	Όκλαντ, ΗΠΑ	7	2
01/02/1983	Pecorila Galleria	662	Σαβόνα, Ιταλία	9	22
03/02/1983	Frejus	12.985	Γαλλία	0	1
09/9/1986	L' arme	1.110	Νίκαια, Γαλλία	3	5
18/02/1987	Gumefens	340	Βέρνη, Ελβετία	2	5
11/01/1990	Mont Blanc	11.600	Γαλλία - Ιταλία	0	2
01/02/1993	Serra Ripoli	440	Φλωρεντία, Ιταλία	4	4
13/06/1993	Hovden	1.290	Νορβηγία	0	5
27/02/1994	Huguenot	3.910	Νότια Αφρική	1	28
05/07/1994	St. Gotthard	16.920	Ελβετία	0	0
10/04/1995	Pfänder	6.720	Αυστρία	3	4
18/03/1996	Isola delle Femmine	150	Παλέρμο, Ιταλία	5	34
13/01/1997	Prapontin	4.409	Susa, Ιταλία	0	5
31/10/1997	St. Gotthard	16.920	Ελβετία	0	1
14/07/2000	Seljestad	1.270	Νορβηγία	0	20

Ημερομηνία	Όνομα σήραγγας	Μήκος σήραγγας (σε μέτρα)	Περιοχή/ Χώρα	Αριθμός νεκρών	Αριθμός τραυματιών
28/05/2001	Prapontin	4.409	Susa, Ιταλία	0	18
13/08/2001	Reigersdorf	300	Αυστρία	0	24
17/10/2001	Guldborgsund	0,50	Δανία	5	9
03/11/2002	Homer	1.200	Νέα Ζηλανδία	0	4
7/6/2003	Erzincan	-	Τουρκία	27	0
10/11/2003	Floyfjell	3.100	Νορβηγία	1	0
04/06/2005	Frejus	12.985	Γαλλία - Ιταλία	2	21
06/06/2005	Hamburg's Elb	2.600	Γερμανία	0	24
16/09/2006	Viamala	750	Ελβετία	9	6
17/12/2006	Tauern	6.400	Αυστρία	0	30
19/01/2007	Ehrentalerberg	3.350	Αυστρία	0	12
23/03/2007	Burnley	3.400	Αυστραλία	3	3
10/05/2007	Pfänder	6.720	Αυστρία	0	4
10/9/2007	San Martino	4.800	Ιταλία	2	10
12/10/2007	Newhall Pass	170	Καλιφόρνια, ΗΠΑ	3	23
18/01/2008	Ofenauer	1.390	Αυστρία	0	17
23/2/2008	Gleinalm	8,32	Graz, Αυστρία	0	3
07/11/2008	Mona-Liza	800	Αυστρία	0	3
26/05/2009	Nollinger Berg	1.230	Γερμανία	0	1
28/06/2009	Eiksund	7.700	Νορβηγία	5	0
09/09/2009	Bosruck	5.500	Αυστρία	0	2
10/02/2010	Gubrist	3.200	Ελβετία	0	0
10/02/2010	Höchi	-	Ελβετία	0	0
10/02/2010	Höchi	-	Ελβετία	0	1
10/02/2010	Bubenholtz	600	Ελβετία	0	0
11/02/2010	Echinger	410	Γερμανία	0	4
13/02/2010	Seelisberg	9.000	Ελβετία	0	5
24/02/2011	Lincoln	2.500	Νέα Υόρκη, ΗΠΑ	0	59
13/03/2012	Sierre	2.460	Ελβετία	28	24

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Holland

Όνομα σήραγγας	Holland
Μήκος σήραγγας (m)	2.550
Περιοχή/Χώρα	Νέα Υόρκη/ΗΠΑ
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	66
Ημ/νία ατυχήματος	13/05/1949

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Από την πτώση του φορτίου βαρέου τύπου οχήματος, που μετέφερε 11 τόνους διθειάνθρακα προκλήθηκε έκρηξη. Η φωτιά διήρκησε τέσσερις ώρες καταστρέφοντας 10 βαρέα οχήματα, 13 αυτοκίνητα και 200 μέτρα από την επένδυση της σήραγγας. Ωστόσο η αντίδραση τόσο των σωστικών συνεργείων όσο και των οδηγών απέτρεψε τα χειρότερα αν σημειώσουμε ότι τη στιγμή έναρξης της φωτιάς βρισκονταν εντός της σήραγγας περίπου 125 οχήματα. 66 άνθρωποι χρειάστηκαν ιατρική περίθαλψη λόγω εισπνοής καπνού (BEARD και CARVEL 2005, Amundsen 2000).



Εικόνα 1 Εσωτερική όψη της σήραγγας Holland μετά το ατύχημα

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Suzaka

Όνομα σήραγγας	Suzaka
Μήκος σήραγγας (m)	240
Περιοχή/Χώρα	Ιαπωνία
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	2
Ημ/νία ατυχήματος	06/03/1967

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Φορηγό επτά τόνων έπιασε φωτιά ενώ ήταν φορτωμένο με 600 κουτιά από πολυστυρένιο και άλλα εύφλεκτα υλικά. Η φωτιά ξεκίνησε στο τμήμα της μηχανής και ενώ το φορηγό απείχε 30 μέτρα από την είσοδο της σήραγγας. Ο οδηγός επιχείρησε ανεπιτυχώς να κατασβήσει τη φωτιά χρησιμοποιώντας φορητό πυροσβεστήρα από άλλο φορηγό. Η φωτιά επεκτάθηκε και σε άλλα δώδεκα φορηγά μέσα στη σήραγγα με συνέπεια να τραυματιστούν δύο άνθρωποι. Οι πυροσβέστες κατάφεραν να κατασβήσουν τη φωτιά μετά από έντεκα ώρες (BEARD και CARVEL 2005).



Εικόνα 2 Τοποθεσία της σήραγγας Suzaka

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Mont Blanc

Όνομα σήραγγας	Mont Blanc
Μήκος σήραγγας (m)	11.600
Περιοχή/Χώρα	Γαλλία-Ιταλία
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	1
Ημ/νία ατυχήματος	28/01/1974

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Βαρύ όχημα, που μετέφερε 21,5 τόνους χάλυβα, αναγκάστηκε να σταματήσει 450 μέτρα εντός της σήραγγας (από τη πλευρά της γαλλικής εισόδου) λόγω φωτιάς που εκδηλώθηκε στη μηχανή του. Η πυροσβεστική ομάδα που ανταποκρίθηκε πρώτη από τη γαλλική είσοδο, εισήλθε παρά το πυκνό καπνό που επικρατούσε και είχε δημιουργήσει οριακές συνθήκες για την επιχείρηση κατάσβεσης. Η κοντινή απόσταση που είχε η φωτιά από την είσοδο βοήθησε στο να κατασβηστεί πολύ γρήγορα, μόλις σε 15 λεπτά (BEARD και CARVEL 2005, Duffé και Marec 1999).



Εικόνα 3 Τοποθεσία της σήραγγας Mont Blanc

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Chesapeake Bay

Όνομα σήραγγας	Chesapeake Bay
Μήκος σήραγγας (m)	1.600
Περιοχή/Χώρα	Βιρτζίνια/ΗΠΑ
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	1
Ημ/νία ατυχήματος	03/04/1974

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Το ελαστικό ενός βαρέου τύπου οχήματος εξερράγη και αυτό είχε σαν αποτέλεσμα ο οδηγός να χάσει τον έλεγχο του φορτηγού και αυτό να ανατραπεί. Η ανατροπή προκάλεσε την έκρηξη της γεμάτης δεξαμενής καυσίμου και την ανάπτυξη φωτιάς που επεκτάθηκε σε όλο το όχημα. Η ανταπόκριση των πυροσβεστικών δυνάμεων υπήρξε άμεση και αποτελεσματική και η σήραγγα επαναλειτούργησε μετά από τέσσερις ώρες. Υπήρξε τραυματισμός του οδηγού του οχήματος ενώ καταστράφηκε, πέρα από το φορτηγό, η κεραία τηλεπικοινωνιών στην οροφή της σήραγγας (BEARD και CARVEL 2005, Amundsen 2000).



Εικόνα 4 Τοποθεσία της σήραγγας Chesapeake Bay



### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Porte d'Italie (Crossing BP - A6)

Όνομα σήραγγας	Porte d'Italie (Crossing BP - A6)
Μήκος σήραγγας (m)	425
Περιοχή/Χώρα	Παρίσι/Γαλλία
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	12
Ημ/νία ατυχήματος	11/08/1976

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Φωτιά ξεκίνησε από τη μηχανή ενός φορτηγού (HGV) που μετέφερε 16 τόνους ίνες πολυεστέρα τυλιγμένες σε πλαστικό. Ο οδηγός βλέποντας τη φωτιά έχασε τον έλεγχο του οχήματος, προσέκρουσε στον πλαϊνό τοίχο και αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να ανατραπεί το φορτίο που μετέφερε. Εξαιτίας του είδους φορτίου προκλήθηκε ιδιαίτερα τοξικός καπνός. Ωστόσο επειδή το σημείο έναρξης απείχε μόλις 20 m από την είσοδο, η αναπόκριση των πυροσβεστικών δυνάμεων ήταν άμεση. Η φωτιά διήρκεσε 45 λεπτά, κατάρτισε 150 μέτρα από την επένδυση της σήραγγας και 12 άνθρωποι τραυματίστηκαν από την εισπνοή καπνού (BEARD και CARVEL 2005, Amundsen 2000).



Εικόνα 5 Τοποθεσία της σήραγγας Porte d'Italie

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Mont Blanc

Όνομα σήραγγας	Mont Blanc
Μήκος σήραγγας (m)	11.600
Περιοχή/Χώρα	Γαλλία-Ιταλία
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	0
Ημ/νία ατυχήματος	15/04/1978

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Όχημα αναγκάστηκε να σταματήσει λόγω φωτιάς που εκδηλώθηκε σε αυτό ενώ βρισκόταν 400 m από την ιταλική είσοδο. Ένας Γάλλος αστυνομικός που έκανε μηχανοκίνητη περιπολία αφού την εντόπισε, σταμάτησε τα οχήματα που τον ακολουθούσαν, πέρασε μέσα από τον καπνό που είχε δημιουργηθεί (υπήρχε ισχυρή ροή αέρα με κατεύθυνση από την Γαλλία προς την Ιταλία) και βοήθησε στον απεγκλωβισμό 4 επιβατικών οχημάτων που είχαν παγιδευτεί πίσω από το φλεγόμενο όχημα. Τόσο οι πυροσβεστικές δυνάμεις από τη γαλλική πλευρά που έφτασαν πρώτα όσο και αυτές από την ιταλική έφτασαν έγκαιρα και έσβησαν την φωτιά πριν εξαπλωθεί (Duffé και Marec 1999).



Εικόνα 6 Τοποθεσία της σήραγγας Mont Blanc

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Velsen

Όνομα σήραγγας	Velsen
Μήκος σήραγγας (m)	770
Περιοχή/Χώρα	Χάρλεμ/Ολλανδία
Αριθμός νεκρών	5
Αριθμός τραυματιών	5
Ημ/νία ατυχήματος	11/08/1978

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Φωτιά αναπτύχθηκε μετά από σύγκρουση οχημάτων όταν το λάστιχο ενός προπορευόμενου φορτηγού εξερράγη και ένα από τα οχήματα που ακολουθούσε δεν πρόλαβε να σταματήσει. Αν και οι πυροσβεστικές δυνάμεις έφτασαν στην είσοδο της σήραγγας μέσα σε 4 λεπτά δε μπόρεσαν να προσεγγίσουν άμεσα το σημείο της φωτιάς λόγω πυκνού καπνού ενώ κάποιοι από τους χρήστες προσπάθησαν να την σβήσουν με χρήση πυροσβεστήρων αλλά χωρίς αποτέλεσμα. Η φωτιά διήρκησε 1 ώρα και 45 λεπτά και προκάλεσε σοβαρές ζημιές σε 30 μέτρα της επένδυσης της σήραγγας. Οι ανθρώπινες απώλειες ήταν 5 νεκροί και 5 τραυματίες, με τους νεκρούς να είναι αποτέλεσμα της σύγκρουσης (BEARD και CARVEL 2005, Amundsen 2000)



Εικόνα 7 Τοποθεσία της σήραγγας Velsen

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Nihonzaka

Όνομα σήραγγας	Nihonzaka
Μήκος σήραγγας (m)	2045
Περιοχή/Χώρα	Σιζουόκα/Ιαπωνία
Αριθμός νεκρών	7
Αριθμός τραυματιών	3
Ημ/νία ατυχήματος	11/07/1979

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Φωτιά εκδηλώθηκε στη σήραγγα ύστερα από σύγκρουση στην οποία ενεπλάκησαν 4 φορτηγά και 2 αυτοκίνητα. Η φωτιά επεκτάθηκε σε 189 οχήματα με αποτέλεσμα να πεθάνουν 7 άνθρωποι (6 στη σύγκρουση) και να τραυματιστούν 3. Το πυροσβεστικό σώμα καθυστέρησε να φτάσει λόγω της κυκλοφοριακής συμφόρησης ενώ μετά από μισή ώρα κατάσβεσης χρειάστηκε να διακοπεί η επιχείρηση λόγω έλλειψης νερού στις δεξαμενές των πυροσβεστικών οχημάτων. 208 άνθρωποι κατάφεραν να διαφύγουν ενώ ορισμένοι από αυτούς προσπάθησαν χωρίς επιτυχία να χρησιμοποιήσουν τις μάνικες εντός της σήραγγας. Η φωτιά διήρκησε για περισσότερο από 160 ώρες και προκλήθηκε πλήρης καταστροφή στον εξοπλισμό της σήραγγας για πάνω από 1100 μέτρα (BEARD και CARVEL 2005, Amundsen 2000).



Εικόνα 8 Τοποθεσία της σήραγγας Nihonzaka

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Kajiwara

Όνομα σήραγγας	Kajiwara
Μήκος σήραγγας (m)	740
Περιοχή/Χώρα	Takatsuki/Ιαπωνία
Αριθμός νεκρών	1
Αριθμός τραυματιών	0
Ημ/νία ατυχήματος	17/04/1980

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Ένα πρόβλημα στο κιβώτιο ταχυτήτων ενός φορτηγού, που μετέφερε 1600 λίτρα μπογιάς σε 200 μεταλλικά δοχεία, οδήγησε στην ανατροπή του οχήματος και στην ανάπτυξη φωτιάς, που επεκτάθηκε γρήγορα σε δεύτερο φορτηγό που ακολουθούσε. Στο χώρο έφτασαν 18 πυροσβεστικά οχήματα και 71 πυροσβέστες. Η φωτιά διήρκησε μία ώρα και είκοσι λεπτά και είχε ως αποτέλεσμα ένα νεκρό ενώ σοβαρές ζημιές προκλήθηκαν σε 280 μέτρα της επένδυσης της σήραγγας (BEARD και CARVEL 2005, Amundsen 2000).



Εικόνα 9 Τοποθεσία της σήραγγας Kajiwara

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Sakai

Όνομα σήραγγας	Sakai
Μήκος σήραγγας (m)	460
Περιοχή/Χώρα	Ιαπωνία
Αριθμός νεκρών	5
Αριθμός τραυματιών	5
Ημ/νία ατυχήματος	15/07/1980

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Ένα φορτηγό ξέφυγε της πορείας του και σταμάτησε εντός της σήραγγας σε πλάγια θέση. Ένα βαρέου τύπου όχημα που ακολουθούσε δε κατάφερε να σταματήσει εγκαίρως και συγκρούστηκε με το πρώτο. Ωστόσο η σύγκρουση δε σταμάτησε εκεί καθώς επιπλέον 8 οχήματα που ακολουθούσαν συμμετείχαν. Η φωτιά που δημιουργήθηκε και επεκτάθηκε στο σύνολο των 10 οχημάτων, διήρκησε 3 ώρες. Τα ανθρώπινα θύματα ανήλθαν σε 5 νεκρούς και 5 τραυματίες (BEARD και CARVEL 2005, Amundsen 2000).



Εικόνα 10 Τοποθεσία της σήραγγας Sakai

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Caldecott

Όνομα σήραγγας	Caldecott
Μήκος σήραγγας (m)	1.030
Περιοχή/Χώρα	Όκλαντ/ΗΠΑ
Αριθμός νεκρών	7
Αριθμός τραυματιών	2
Ημ/νία ατυχήματος	07/04/1982

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Επιβατικό όχημα, του οποίου ο οδηγός ήταν υπό την επήρεια αλκοόλ, χτύπησε στο κράσπεδο με αποτέλεσμα να σταματήσει απότομα. Μερικά οχήματα προσπέρασαν το ακινητοποιημένο αυτοκίνητο χωρίς πρόβλημα αλλά και χωρίς να αναφέρουν το συμβάν στους αρμόδιους. Ωστόσο ένα βυτιοφόρο, που μετέφερε 33.000 λίτρα βενζίνης, δε παρατήρησε το όχημα και το χτύπησε ενώ ακολούθως το βυτιοφόρο χτυπήθηκε από ένα λεωφορείο. Η σύγκρουση με το λεωφορείο προκάλεσε την ανατροπή του βυτιοφόρου, ρήξη του βυτίου και διαρροή του φορτίου του. Το καύσιμο ανεφλέγη και οι φλόγες επεκτάθηκαν στο λεωφορείο, στο αυτοκίνητο και σε 5 ακόμη οχήματα μέσα στη σήραγγα. Η σήραγγα γέμισε με πυκνό καπνό μέσα σε μόλις 3 λεπτά καθώς το σύστημα εξαερισμού δεν χρησιμοποιούνταν για εξαγωγή του. Υπολογίζεται ότι περίπου 20 αυτοκίνητα πρόλαβαν και γύρισαν πίσω στην είσοδο.

Οι πυροσβεστικές δυνάμεις ειδοποιήθηκαν 7 λεπτά μετά την αρχική σύγκρουση και χρειάστηκαν περίπου 4 λεπτά για να καταφτάσουν τα πρώτα οχήματα στο σημείο. Η ιδιαίτερης έντασης φωτιά που αναπτύχθηκε εξαιτίας του φορτίου του βυτιοφόρου, διήρκησε δύο ώρες και σαράντα λεπτά έως ότου κατασβηστεί από το πυροσβεστικό σώμα. Οι ανθρώπινες απώλειες ανήλθαν σε 7 νεκρούς και 2 τραυματίες ενώ προκλήθηκαν σοβαρές υλικές ζημιές σε πάνω από 580 μέτρα της επένδυσής της, που η αποκατάστασή τους κόστισε περίπου 3 εκατομμύρια δολάρια (BEARD και CARVEL 2005, Amundsen 2000, Παραϊοαννου και Georgiou 2008).





**Εικόνα 11 Τοποθεσία της σήραγγας Caldecott**



### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Pecorila Galleria

Όνομα σήραγγας	Pecorila Galleria
Μήκος σήραγγας (m)	662
Περιοχή/Χώρα	Σαβόνα/Ιταλία
Αριθμός νεκρών	9
Αριθμός τραυματιών	22
Ημ/νία ατυχήματος	01/02/1983

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Στο συγκεκριμένο ατύχημα υπήρξε εκδήλωση φωτιάς που οφείλεται σε σύγκρουση, η οποία προκλήθηκε από οδηγό φορτηγού (μετέφερε ψάρια) που οδηγούσε εντός τη σήραγγας απρόσεκτα και με μεγάλη ταχύτητα. Το αποτέλεσμα ήταν 9 άνθρωποι να χάσουν τη ζωή τους, ακόμα 22 να τραυματιστούν, 10 αυτοκίνητα να καταστραφούν ενώ η σήραγγα υπέστη μικρές υλικές ζημιές (BEARD και CARVEL 2005, Amundsen 2000).



Εικόνα 12 Τοποθεσία της σήραγγας Pecorila Galleria

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Frejus

Όνομα σήραγγας	Frejus
Μήκος σήραγγας (m)	12.895
Περιοχή/Χώρα	Γαλλία-Ιταλία
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	1
Ημ/νία ατυχήματος	03/02/1983

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Φωτιά προκλήθηκε από βλάβη στο κιβώτιο ταχυτήτων ενός βαρέου οχήματος που μετέφερε πλαστικά. Το όχημα είχε σταματήσει 4,3 km από την ιταλική είσοδο και στο σημείο βρέθηκε άμεσα ο υπεύθυνος ασφαλείας της σήραγγας που προσπάθησε να σβήσει τη φωτιά με τη χρήση πυροσβεστήρων, χωρίς επιτυχία. Παρά την άμεση ανταπόκριση του πυροσβεστικού σώματος η φωτιά χρειάστηκε σχεδόν δύο ώρες για να τεθεί υπό έλεγχο. Ο οδηγός του φορτηγού μεταφέρθηκε τραυματισμένος λόγω εισπνοής καπνού ενώ καταστράφηκαν 200 μέτρα από την επένδυση της σήραγγας (BEARD και CARVEL 2005, Amundsen 2000).



Εικόνα 13 Τοποθεσία της σήραγγας Frejus

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα L' arme

Όνομα σήραγγας	L' arme
Μήκος σήραγγας (m)	1.110
Περιοχή/Χώρα	Νίκαια/Γαλλία
Αριθμός νεκρών	3
Αριθμός τραυματιών	5
Ημ/νία ατυχήματος	09/09/1986

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Η πυρκαγιά που αναπτύχθηκε στο συγκεκριμένο ατύχημα, προκλήθηκε από πολλαπλή σύγκρουση οχημάτων. Η αρχική σύγκρουση οφείλεται σε ένα ρυμουλκό (trailer) ενώ η ένταση της φωτιάς μεγάλωσε όταν επεκτάθηκε στο φορτίο του. Το συμβάν είχε ως αποτέλεσμα τρεις νεκρούς και πέντε τραυματίες. Δυστυχώς αν και επρόκειτο για ένα ιδιαίτερα σοβαρό ατύχημα δεν έχουν καταγραφεί αρκετές πληροφορίες όπως για παράδειγμα η διάρκεια της φωτιάς και οι ζημιές που προκλήθηκαν στη σήραγγα (BEARD και CARVEL 2005, Amundsen 2000).



Εικόνα 14 Τοποθεσία της σήραγγας L' arme

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Gumefens

Όνομα σήραγγας	Gumefens
Μήκος σήραγγας (m)	340
Περιοχή/Χώρα	Βέρνη/Ελβετία
Αριθμός νεκρών	2
Αριθμός τραυματιών	5
Ημ/νία ατυχήματος	18/02/1987

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Ένα φορτηγό έχασε τον έλεγχο του οχήματός του και προκάλεσε πολλαπλή σύγκρουση. Η φωτιά που προκλήθηκε λόγω της διαρροής καυσίμου, επεκτάθηκε σε δύο βαρέα οχήματα, ένα μικρό φορτηγό και πέντε επιβατικά. Καταγράφηκαν δύο νεκροί και πέντε τραυματίες (πιθανότατα αποτέλεσμα τις σύγκρουσης). Η φωτιά διήρκησε για δύο ώρες ενώ σημειώθηκαν μικρές υλικές ζημιές στην επένδυση της σήραγγας (BEARD και CARVEL 2005, Amundsen 2000).



Εικόνα 15 Τοποθεσία της σήραγγας Gumefens

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Mont Blanc

Όνομα σήραγγας	Mont Blanc
Μήκος σήραγγας (m)	11.600
Περιοχή/Χώρα	Γαλλία-Ιταλία
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	2
Ημ/νία ατυχήματος	11/01/1990

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Φορηγό που κινούνταν με κατεύθυνση τη Γαλλία, σταμάτησε φλεγόμενο περίπου έξι χιλιόμετρα από την ιταλική είσοδο. Ο οδηγός παρατήρησε τον καπνό ενώ ήταν ήδη 1,5 χιλιόμετρα εντός της σήραγγας αλλά δεν σταμάτησε παρά μόνο όταν οι φλόγες έφτασαν μέσα στην καμπίνα. Ειδοποίησε τους ελεγκτές της σήραγγας μέσω τηλεφώνου από τον σταθμό έκτακτης ανάγκης. Τόσο οι Γάλλοι όσο και οι Ιταλοί υπεύθυνοι ασφαλείας, που έφτασαν 8 λεπτά μετά τον συναγερμό, σταμάτησαν πριν το σημείο της φωτιάς λόγω του πυκνού καπνού. Οι πυροσβεστικές δυνάμεις κατάφεραν να ελέγξουν άμεσα τη φωτιά αν και είχε εξαπλωθεί σε ολόκληρο το όχημα. 2 άνθρωποι έλαβαν ιατρική περίθαλψη για εισπνοή καπνού (BEARD και CARVEL 2005, Duffé και Marec 1999).



Εικόνα 16 Τοποθεσία της σήραγγας Mont Blanc



### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Serra Ripoli

Όνομα σήραγγας	Serra Ripoli
Μήκος σήραγγας (m)	440
Περιοχή/Χώρα	Μπολόνια-Φλωρεντία/Ιταλία
Αριθμός νεκρών	4
Αριθμός τραυματιών	4
Ημ/νία ατυχήματος	01/02/1993

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Ο οδηγός ενός αυτοκινήτου έχασε τον έλεγχο του οχήματός του, ξέφυγε της πορείας του με αποτέλεσμα να συγκρουστεί με ένα φορτηγό, το οποίο μετέφερε ρολά χαρτιού. Από αυτή τη σύγκρουση προκλήθηκε φωτιά που επεκτάθηκε συνολικά σε έντεκα αυτοκίνητα και σε πέντε βαρέα οχήματα. Υπήρξαν τέσσερις νεκροί ενώ κατεγράφησαν και τέσσερις τραυματίες. Η φωτιά που διήρκεσε 2,5 ώρες, προκάλεσε σοβαρή ζημιά στο ταβάνι της σήραγγας (BEARD και CARVEL 2005, Amundsen 2000).



Εικόνα 17 Τοποθεσία της σήραγγας Serra Ripoli

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Hovden

Όνομα σήραγγας	Hovden
Μήκος σήραγγας (m)	1.290
Περιοχή/Χώρα	Νορβηγία
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	5
Ημ/νία ατυχήματος	13/06/1993

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Μετά από σύγκρουση δύο αυτοκινήτων και μιας μοτοσυκλέτας ξεκίνησε μια μεγάλη φωτιά. Οι πυροσβεστικές δυνάμεις ήταν απροετοίμαστες προκειμένου να σβήσουν τη πυρκαγιά από την επένδυση της σήραγγας, η οποία ήταν φτιαγμένη από πλαστικό (πολυαιθυλένιο) και αναγκάστηκαν να χρησιμοποιήσουν νερό από κοντινή θάλασσα. Πέντε άνθρωποι τραυματίστηκαν στη σύγκρουση ενώ η φωτιά που διήρκησε 1,5 ώρα κατέστρεψε ολοκληρωτικά περίπου 110 m από την επένδυση της σήραγγας και προκάλεσε σοβαρές ζημιές σε συνολικά 400 m αυτής (BEARD και CARVEL 2005, Amundsen 2000).



Εικόνα 18 Τοποθεσία της σήραγγας Hovden

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Huguenot

Όνομα σήραγγας	Huguenot
Μήκος σήραγγας (m)	3.910
Περιοχή/Χώρα	πλησίον Paarl/Νότια Αφρική
Αριθμός νεκρών	1
Αριθμός τραυματιών	28
Ημ/νία ατυχήματος	27/02/1994

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Φωτιά ξέσπασε στο κιβώτιο ταχυτήτων ενός λεωφορείου (πιθανότατα ηλεκτρικό πρόβλημα) που μετέφερε 45 επιβάτες. Αρχικά ο συνοδηγός προσπάθησε ανεπιτυχώς να καταπνίξει τη φωτιά με κάποια ενώ αρκετοί επιβάτες πανικοβλήθηκαν και πήδηξαν από το εν κινήσει λεωφορείο. Στη συνέχεια, ο οδηγός έχασε τον έλεγχο και παρέκκλινε της πορείας του προς το αντίθετο ρεύμα κυκλοφορίας χτυπώντας στον τοίχο της σήραγγας. Ένα επερχόμενο αρθρωτό φορτηγό στην προσπάθειά του να πραγματοποιήσει στάση έκτακτης ανάγκης «δίπλωσε» και μπλόκαρε τη σήραγγα. Αξίζει να σημειωθεί ότι πριν εισέλθει στη σήραγγα, το λεωφορείο είχε περάσει από έλεγχο.

Το πυροσβεστικό σώμα έφτασε στο σημείο μετά από 15 λεπτά από τον πρώτο συναγερμό που ενεργοποιήθηκε από έναν επιβάτη του λεωφορείου (ένα λεπτό αργότερα ενεργοποιήθηκε και ο συναγερμός από τους αισθητήρες καπνού). Αιτία αυτής της μεγάλης καθυστέρησης ήταν η αργή ανταπόκριση των χειριστών του κέντρου ελέγχου. Η φωτιά κατέστρεψε το λεωφορείο και πολλές από τις εγκαταστάσεις της σήραγγας που βρίσκονταν κοντά, αλλά δεν μεταδόθηκε σε άλλα οχήματα. Η φωτιά χρειάστηκε περίπου μία ώρα για να κατασβηστεί και συνολικά 28 άνθρωποι τραυματίστηκαν από εισπνοή καπνού ενώ ο οδηγός του λεωφορείου έχασε τη ζωή του. Η σήραγγα επαναλειτούργησε μετά από τέσσερις μέρες αφότου πραγματοποιηθήκαν οι απαραίτητες επισκευές (BEARD και CARVEL 2005, Amundsen 2000).





**Εικόνα 19 Τοποθεσία της σήραγγας Huguenot**

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα St. Gotthard

Όνομα σήραγγας	St. Gotthard
Μήκος σήραγγας (m)	16.920
Περιοχή/Χώρα	Ελβετία
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	0
Ημ/νία ατυχήματος	05/07/1994

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Εκδηλώθηκε φωτιά στο ελαστικό βαρέου τύπου οχήματος που μετέφερε 750 ποδήλατα σε χάρτινα κουτιά. Η φωτιά διήρκησε δύο ώρες και κατέστρεψε το φορτηγό. Επίσης αν και κανείς δεν τραυματίστηκε προκλήθηκαν σημαντικές ζημιές σε 50 μέτρα της επένδυσης της σήραγγας. Είναι χαρακτηριστικό ότι για την πλήρη αποκατάστασή τους και για την επαναλειτουργία της σήραγγας χρειάστηκαν 2,5 μέρες (BEARD και CARVEL 2005, Amundsen 2000).



Εικόνα 20 Τοποθεσία της σήραγγας St. Gotthard

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Pfänder

Όνομα σήραγγας	Pfänder
Μήκος σήραγγας (m)	6.720
Περιοχή/Χώρα	Αυστρία
Αριθμός νεκρών	3
Αριθμός τραυματιών	4
Ημ/νία ατυχήματος	10/04/1995

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Ο οδηγός ενός αυτοκινήτου αποκοιμήθηκε με αποτέλεσμα να παρεκκλίνει και να διασταυρωθεί με την πορεία ενός διερχόμενου φορτηγού. Λόγω της σύγκρουσης το φορτηγό ανατράπηκε και σύρθηκε κατά μήκος του δρόμου έως ότου συγκρούστηκε με ένα μικρό λεωφορείο. Τρεις άνθρωποι στο λεωφορείο πέθαναν ακαριαία ως αποτέλεσμα της σύγκρουσης. Παρόλο που ο εξαερισμός έκτακτης ανάγκης ενεργοποιήθηκε σχεδόν αμέσως, ο καπνός γέμισε τη σήραγγα και δυσκόλεψε το έργο του πυροσβεστικού σώματος. Η φωτιά κατασβήστηκε μετά από 1 ώρα και σε αυτό το χρονικό διάστημα 4 άνθρωποι τραυματίστηκαν ενώ προκλήθηκαν σοβαρές ζημιές στην επένδυση της σήραγγας που επαναλειτούργησε μετά από 2,5 μέρες (BEARD και CARVEL 2005, Amundsen 2000).



Εικόνα 21 Τοποθεσία της σήραγγας Pfänder

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Isola delle Femmine

Όνομα σήραγγας	Isola delle Femmine
Μήκος σήραγγας (m)	150
Περιοχή/Χώρα	Παλέρμο/Ιταλία
Αριθμός νεκρών	5
Αριθμός τραυματιών	34
Ημ/νία ατυχήματος	18/03/1996

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Στον ανατολικό κλάδο της δύο λωρίδων σήραγγας δημιουργήθηκε κυκλοφοριακή συμφόρηση 16 οχημάτων. Βυτιοφόρο που μετέφερε υγραέριο (LPG) πραγματοποίησε στάση έκτακτης ανάγκης εντός της σήραγγας πριν φτάσει τα οχήματα που είχαν σταματήσει. Ωστόσο ένα τουριστικό λεωφορείο και 4 αυτοκίνητα που ακολουθούσαν, συγκρούστηκαν με το πίσω μέρος του βυτιοφόρου με συνέπεια τη ρήξη στο πάνω μέρος του βυτίου και μια μικρή έκρηξη. Στην εξέλιξη του ατυχήματος προκλήθηκε φωτιά στο μπροστινό μέρος του τουριστικού λεωφορείου. Όλοι οι επιβάτες, εκτός από 5 άτομα, διέφυγαν από σπασμένο παράθυρο στο πίσω μέρος του λεωφορείου. Οι τέσσερις από τους πέντε εναπομείναντες επιβάτες βρέθηκαν αργότερα νεκροί μέσα στο λεωφορείο, ενώ ο πέμπτος βρέθηκε νεκρός στο δρόμο.

Μετά από έξι με επτά λεπτά, στο οποίο χρονικό διάστημα όλοι οι επιζήσαντες είχαν εκκενώσει τη σήραγγα, έγινε μεγάλη έκρηξη. Από τις δύο πύλες της σήραγγας παρατηρήθηκε πυκνός καπνός και φλόγες, καθώς και από τις εγκάρσιες διαβάσεις που επικοινωνούσαν με τον διπλανό κλάδο της σήραγγας. Οι αυτόπτες μάρτυρες έξω από τη σήραγγα ανέφεραν ότι ένιωσαν το ωστικό κύμα που προήλθε από την έκρηξη στο εσωτερικό της σήραγγα. Η δεύτερη έκρηξη έχει χαρακτηριστεί ως έκρηξη οφειλόμενη σε απότομη διαστολή ατμών στο εσωτερικό του βυτίου, από το οποίο μόνο τέσσερα μεγάλα κομμάτια παρέμειναν μετά την έκρηξη.

Περίπου 34 άνθρωποι χρειάστηκαν ιατρική περίθαλψη για εγκαύματα, 16 από τους οποίους διακομίσθηκαν στο νοσοκομείο. Όσοι χρειάστηκε να νοσηλευτούν παρέμειναν για πάνω από δέκα μέρες στο νοσοκομείο ενώ πέντε από αυτούς για πάνω από ένα μήνα λόγω της σοβαρότητας της κατάστασής τους (BEARD και CARVEL 2005, Amundsen 2000).



**Εικόνα 22 Φλόγες στην έξοδο της σήραγγας μετά την έκρηξη οφειλόμενη σε απότομη διαστολή ατμών (Masellis et al. 1997)**



**Εικόνα 23 Το εσωτερικό της σήραγγας μετά την κατάσβεση της φωτιάς (Masellis et al. 1997)**

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Prapontin

Όνομα σήραγγας	Prapontin
Μήκος σήραγγας (m)	4.409
Περιοχή/Χώρα	Susa/Ιταλία
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	5
Ημ/νία ατυχήματος	13/01/1997

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Φωτιά προκλήθηκε λόγω υπερθέρμανσης των φρένων ενός βαρέου οχήματος που μετέφερε 36 τόνους συνθετικών υφασμάτων. Υπήρξε πρόβλημα συνεργασίας μεταξύ των διαφόρων σωστικών δυνάμεων, αν και έφτασαν έγκαιρα στο σημείο. Την κατάσβεση της φωτιάς δυσκόλεψε ο πυκνός καπνός, οι υψηλές θερμοκρασίες, ο εκρηκτικός θρυμματισμός του σκυροδέματος της επένδυσης, η λανθασμένη χρήση του συστήματος εξαερισμού και η έλλειψη νερού στους πυροσβεστικούς κρουούς. Η φωτιά κατασβήστηκε σε τέσσερις ώρες και πέντε άνθρωποι έλαβαν ιατρική περίθαλψη για εισπνοή καπνού (BEARD και CARVEL 2005, Amundsen 2000, Παραιοαννου και Georgiou 2008).



Εικόνα 24 Τοποθεσία της σήραγγας Prapontin

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα St. Gotthard

Όνομα σήραγγας	St. Gotthard
Μήκος σήραγγας (m)	16.920
Περιοχή/Χώρα	Ελβετία
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	1
Ημ/νία ατυχήματος	31/10/1997

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Υπερθέρμανση της μηχανής ενός βαρέου τύπου οχήματος που μετέφερε οκτώ επιβατικά οχήματα (car transporter) προκάλεσε φωτιά. που στη συνέχεια επεκτάθηκε τόσο ολοκληρωτικά στο ίδιο όσο και στα οκτώ αυτοκίνητα. Το φορτηγό είχε σταματήσει ένα περίπου χιλιόμετρο από την πλευρά της είσοδο του Airolo. Με τη βοήθεια αστυνομικής δύναμης που έφτασε άμεσα στο σημείο απομακρύνθηκε από της σήραγγα ο οδηγός του φορτηγού. Η φωτιά διήρκησε τρεις ώρες προκαλώντας μικρές ζημιές στη σήραγγα ενώ και ένας χρήστης χρειάστηκε περίθαλψη λόγω εισπνοής καπνού (BEARD και CARVEL 2005, Amundsen 2000).



Εικόνα 25 Τοποθεσία της σήραγγας St. Gotthard



### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Seljestad

Όνομα σήραγγας	Seljestad
Μήκος σήραγγας (m)	1.270
Περιοχή/Χώρα	Norβηγία
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	20
Ημ/νία ατυχήματος	14/07/2000

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Φορτηγό συγκρούστηκε με σειρά από σταματημένα αυτοκίνητα με αποτέλεσμα να προκληθεί καραμπόλα 8 οχημάτων. Η σειρά δημιουργήθηκε όταν δυο φορτηγά συναντήθηκαν και δε χωρούσαν να περάσουν, εξαιτίας του μικρού πλάτους τη σήραγγας. Αμέσως μετά τη σύγκρουση σε ένα από τα οχήματα ξέσπασε φωτιά η οποία εξαπλώθηκε γρήγορα στα υπόλοιπα με το πυροσβεστικό σώμα να φτάνει μέσα σε μισή ώρα. Χρειάστηκε να διακομισθούν 20 άνθρωποι στο νοσοκομείο αλλά κανείς δεν τραυματίστηκε σοβαρά. Δεν υπήρξαν νεκροί παρόλο που 4 άνθρωποι ήταν εγκλωβισμένοι μέσα στον καπνό για μια ώρα και προκειμένου να σωθούν ξάπλωσαν στο επίπεδο του οδοστρώματος όπου ο καπνός ήταν λιγότερος (BEARD και CARVEL 2005, Παραιοαννου και Georgiou 2008).



Εικόνα 26 Τοποθεσία της σήραγγας Seljestad



### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Prapontin

Όνομα σήραγγας	Prapontin
Μήκος σήραγγας (m)	4.409
Περιοχή/Χώρα	Susa/Ιταλία
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	18
Ημ/νία ατυχήματος	28/05/2001

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Φορτηγό που μετέφερε ζαχαρότευτλα (beets) έπιασε φωτιά λόγω μηχανικής βλάβης, πιθανότατα στο σύστημα πέδησης. Η φωτιά λόγω του φορτίου του φορτηγού δημιούργησε πυκνό καπνό, που δυσκόλεψε τις προσπάθειες των πυροσβεστικών δυνάμεων. Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι όλοι οι συμμετέχοντες στην επιχείρηση ήταν σε πλήρη ετοιμότητα λόγω των ασκήσεων που είχαν γίνει στη σήραγγα. 18 άνθρωποι χρειάστηκαν ιατρική περίθαλψη εξαιτίας εισπνοής καπνού ενώ η σήραγγα προκειμένου να αποκατασταθούν οι μικρές υλικές ζημιές που υπέστη, παρέμεινε κλειστή 8 ημέρες (BEARD και CARVEL 2005, Παραιοαννου και Georgiou 2008).



Εικόνα 27 Τοποθεσία της σήραγγας Prapontin

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Reigersdorf

Όνομα σήραγγας	Reigersdorf
Μήκος σήραγγας (m)	300
Περιοχή/Χώρα	Αυστρία
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	24
Ημ/νία ατυχήματος	13/08/2001

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Λεωφορείο που μετέφερε επιβάτες από τη Βαρσοβία στη Ρώμη συγκρούστηκε με την πύλη της σήραγγας. Το λεωφορείο σύμφωνα με αυτόπτες μάρτυρες συγκρούστηκε με μεγάλη ταχύτητα με αποτέλεσμα ο οδηγός του να εκτιναχθεί περίπου 30 μέτρα. Παρά τη σφοδρότητα της σύγκρουσης δεν υπήρξαν νεκροί, αλλά τραυματίστηκαν 24 άνθρωποι εκ των οποίων ορισμένοι σοβαρά (Projects & Campaigns - EuroTAP 2012).



Εικόνα 28 Τα συντρίμια του λεωφορείου απομακρύνονται από την πύλη της σήραγγας Reigersdorf (Third Austrian crash 2001)

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Guldborgsund

Όνομα σήραγγας	Guldborgsund
Μήκος σήραγγας (m)	500
Περιοχή/Χώρα	Δανία
Αριθμός νεκρών	5
Αριθμός τραυματιών	9
Ημ/νία ατυχήματος	17/10/2001

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Στο συγκεκριμένο ατύχημα δεν αναπτύχθηκε φωτιά. Οδηγός νταλίκας συγκρούστηκε με άλλο όχημα λόγω κακής ορατότητας που ήταν σε χαμηλά επίπεδα εξαιτίας των συνθηκών πυκνής ομίχλης που επικρατούσαν. Στη συνέχεια ενεπλάκησαν και άλλα οχήματα και στην καραμπόλα που δημιουργήθηκε 5 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους και 9 τραυματίστηκαν εκ των οποίων ορισμένοι σοβαρά (BEARD και CARVEL 2005, Projects & Campaigns - EuroTAP 2012).



Εικόνα 29 Τοποθεσία της σήραγγας Guldborgsund

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Homer

Όνομα σήραγγας	Homer
Μήκος σήραγγας (m)	1.200
Περιοχή/Χώρα	Νέα Ζηλανδία
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	4
Ημ/νία ατυχήματος	03/11/2002

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Οδηγός ενός τουριστικού λεωφορείου αντιλήφθηκε φλόγες να βγαίνουν από τη μηχανή στο πίσω μέρος του λεωφορείου και πραγματοποίησε στάση 150 μέτρα πριν την έξοδο της σήραγγας. Οι επιβάτες εγκατέλειψαν γρήγορα το λεωφορείο ενώ η φωτιά κατέστρεψε τα φρένα του οχήματος και χωρίς πλέον να συγκρατείται κύλησε προς τα πίσω για 50 μέτρα. 3 από τους επιβάτες μεταφέρθηκαν αεροπορικώς στο πλησιέστερο νοσοκομείο. Τα καμένα υπολείμματα του λεωφορείου μπλόκαραν τη σήραγγα και ανάγκασαν 750 τουρίστες να παραμείνουν στο Milford Sound, καθώς η σήραγγα του Homer είναι η μόνη διαδρομή που συνδέει την πόλη με το υπόλοιπο South Island (BEARD και CARVEL 2005).



Εικόνα 30 Τοποθεσία της σήραγγας Homer

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Erzincan

Όνομα σήραγγας	Erzincan
Μήκος σήραγγας (m)	-
Περιοχή/Χώρα	Τουρκία
Αριθμός νεκρών	27
Αριθμός τραυματιών	0
Ημ/νία ατυχήματος	07/06/2003

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Λεωφορείο συγκρούστηκε στην πύλη της σήραγγας. Ωστόσο δεν είναι καθορισμένες πλήρως οι συνθήκες του ατυχήματος καθώς είναι γεγονός ότι δεν βρέθηκαν στο σημείο ίχνη πέδησης. Το αποτέλεσμα της σύγκρουσης αυτής ήταν τραγικό καθώς ο οδηγός και 26 ακόμα άτομα έχασαν τη ζωή τους. Δεν σημειώθηκε ανάπτυξη φωτιάς (Projects & Campaigns - EuroTAP 2012).



Εικόνα 31 Τοποθεσία της σήραγγας Erzincan

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Floyfjell

Όνομα σήραγγας	Floyfjell
Μήκος σήραγγας (m)	3.100
Περιοχή/Χώρα	Νορβηγία
Αριθμός νεκρών	1
Αριθμός τραυματιών	0
Ημ/νία ατυχήματος	10/11/2003

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Το ατύχημα συνέβη περίπου 1,9 χιλιόμετρα μέσα στη σήραγγα όταν όχημα αρχικά συντρίβει στον αριστερό τοίχο της σήραγγας και έπειτα προσέκρουσε σε ένα τηλέφωνο έκτακτης ανάγκης δεξιά. Αμέσως ξέσπασε φωτιά που εξαπλώθηκε στο υλικό επένδυσης της σήραγγας. Η σήραγγα Floyfjell διαθέτει σύστημα καταιονισμού (sprinkler system) το οποίο δεν συναντάται συχνά στις ευρωπαϊκές σήραγγες. Έντεκα κεφαλές καταιονισμού ενεργοποιήθηκαν αυτόματα (μέσα σε ένα λεπτό από τη συντριβή) και έσβησαν τη φωτιά που είχε εξαπλωθεί στο υλικό επένδυσης, αλλά όχι στο αυτοκίνητο. Κάποιοι από τους χρήστες της σήραγγας επιχείρησαν να σβήσουν τη φωτιά στο αυτοκίνητο με φορητούς πυροσβεστήρες, αλλά δεν κατάφεραν να πλησιάσουν λόγω της έντασής της. Ο οδηγός παγιδεύτηκε μέσα στο αυτοκίνητο και απανθρακώθηκε (BEARD και CARVEL 2005).



Εικόνα 32 Τοποθεσία της σήραγγας Floyfjell

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Frejus

Όνομα σήραγγας	Frejus
Μήκος σήραγγας (m)	12.900
Περιοχή/Χώρα	Γαλλία-Ιταλία
Αριθμός νεκρών	2
Αριθμός τραυματιών	21
Ημ/νία ατυχήματος	04/06/2005

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Όχημα βαρέου τύπου που μετέφερε ελαστικά αναφλεγεί. Ο οδηγός του φορτηγού καθυστέρησε να αντιληφθεί τη φωτιά και να ενεργοποιήσει το συναγερμό ενώ και οι χειριστές του κέντρου ελέγχου δεν μπόρεσαν να εντοπίσουν άμεσα το ακριβές σημείο του συμβάντος. Οι φλόγες επεκτάθηκαν σε τρία ακόμη νταλίκες και εξαιτίας του φορτίου των ελαστικών δημιουργήθηκε ιδιαίτερα τοξικός καπνός. Συνολικά δύο άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους και είκοσι ένας τραυματίστηκαν, με επτά να δηλητηριάζονται από την εισπνοή καπνού (Projects & Campaigns – EuroTAP 2012).



Εικόνα 33 Υπολείμματα φορτηγού εντός της σήραγγας Frejus (Haack 2006)



### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Hamburg's Elb

Όνομα σήραγγας	Hamburg's Elb
Μήκος σήραγγας (m)	2.600
Περιοχή/Χώρα	Αμβούργο/Γερμανία
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	24
Ημ/νία ατυχήματος	06/06/2005

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Ένα λεωφορείο που μετέφερε 40 παιδιά συγκρούστηκε με ένα φορτηγό, το οποίο είχε σταματήσει εντός της σήραγγας λόγω κυκλοφοριακής συμφόρησης. Αν και ένα διώροφο λεωφορείο που ακολουθούσε πρόλαβε και σταμάτησε εγκαίρως, δε συνέβη το ίδιο με ένα φορτηγό πίσω από αυτό με το αποτέλεσμα να είναι μια πολλαπλή σύγκρουση μεταξύ των τεσσάρων οχημάτων. Από τη σφοδρότητα αυτής προέκυψαν 24 τραυματίες, ανάμεσα στους οποίους τα 20 ήταν παιδιά (Projects & Campaigns – EuroTAP 2012 ).



Εικόνα 34 Τοποθεσία της σήραγγας Hamburg's Elb



### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Viamala

Όνομα σήραγγας	Viamala
Μήκος σήραγγας (m)	750
Περιοχή/Χώρα	Ελβετία
Αριθμός νεκρών	9
Αριθμός τραυματιών	6
Ημ/νία ατυχήματος	16/09/2006

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Επιβατικό όχημα ξέφυγε της κανονικής του πορείας και συγκρούστηκε με διερχόμενο αυτοκίνητο που κινούνταν στο αντίθετο ρεύμα. Το δεύτερο αυτοκίνητο χάνοντας τον έλεγχο χτύπησε στον τοίχο και κινήθηκε και αυτό με τη σειρά του αντίθετα όπου συγκρούστηκε με λεωφορείο που ακολουθούσε το πρώτο όχημα. Στη συνέχεια το λεωφορείο μην προλαβαίνοντας να φρενάρι έγκαιρα συντρίβει στο ακινητοποιημένο όχημα και το παρέσυρε για 100 μέτρα. Τα δύο οχήματα έπιασαν φωτιά και πυκνός καπνός γέμισε γρήγορα τη σήραγγα. Από το κλειστό κύκλωμα παρακολούθησης παρατηρήθηκε πολλά οχήματα να πραγματοποιούν επιτόπου αναστροφή αμέσως μόλις άρχισε να εκλύεται καπνός. Παρά το γεγονός ότι απαγορεύεται αυστηρά η πραγματοποίηση αναστροφής εντός της σήραγγας, η ενέργεια αυτή μείωσε δραστικά τον αριθμό των θυμάτων. Συνολικά εννιά άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους και έξι τραυματίστηκαν (Projects & Campaigns – EuroTAP 2012).



**Εικόνα 35 Τα υπολείμματα των οχημάτων που προκάλεσαν το ατύχημα**



**Εικόνα 36 Τοποθεσία σήραγγας Viamala**

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Tauern

Όνομα σήραγγας	Tauern
Μήκος σήραγγας (m)	6.400
Περιοχή/Χώρα	Αυστρία
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	30
Ημ/νία ατυχήματος	17/12/2006

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Λεωφορείο που βρισκόταν εντός του αυτοκινητοδρόμου A 10, στην είσοδο της σήραγγας του Tauern, συγκρούστηκε με νταλίκι. Το λεωφορείο που μετέφερε 50 επιβάτες ανατράπηκε. Η ανατροπή του λεωφορείου προκάλεσε μεγάλη αναταραχή και συνολικά 30 άνθρωποι τραυματίστηκαν (Projects & Campaigns - EuroTAP 2012).



Εικόνα 37 Τοποθεσία σήραγγας Tauern

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Ehrentalerberg

Όνομα σήραγγας	Ehrentalerberg
Μήκος σήραγγας (m)	3.350
Περιοχή/Χώρα	Αυστρία
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	12
Ημ/νία ατυχήματος	19/01/2007

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Πολυάριθμη καραμπόλα προκλήθηκε όταν είκοσι εννέα αυτοκίνητα, εννέα νταλίκες και ένα λεωφορείο συγκρούστηκαν. Δώδεκα άνθρωποι τραυματίστηκαν αλλά κανείς σοβαρά ενώ περίπου 150 χρήστες εκκένωσαν με ασφάλεια τη σήραγγα. Χρειάστηκαν δώδεκα ώρες για να αδειάσει η σήραγγα από τα οχήματα. Το ατύχημα προκλήθηκε από την ολισθηρότητα που προκάλεσαν σταγόνες βερνικιού το οποίο άπλωσαν τα αυτοκίνητα καθώς κινούνταν (Projects & Campaigns - EuroTAP 2012).



**Εικόνα 38 Όψη της σήραγγας μετά την πολυάριθμη καραμπόλα  
(Massenkarambolage in Tunnel 2007)**

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Burnley

Όνομα σήραγγας	Burnley
Μήκος σήραγγας (m)	3.400
Περιοχή/Χώρα	Αυστραλία
Αριθμός νεκρών	3
Αριθμός τραυματιών	3
Ημ/νία ατυχήματος	23/03/2007

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Αστοχία ελαστικού νταλίκας προκάλεσε σύγκρουση τριών βαρέων οχημάτων και τεσσάρων οχημάτων και ακολούθως την εκδήλωση φωτιάς. Κατά την πρόκληση του ατυχήματος, υπήρχε πυκνή κυκλοφορία οχημάτων εντός της σήραγγας. Συνολικά τρεις άνθρωποι σε τρία διαφορετικά οχήματα έχασαν τη ζωή τους. Η ενεργοποίηση του συστήματος εξαερισμού έγινε 2 λεπτά μετά την έναρξη της φωτιάς χειροκίνητα από το κέντρο ελέγχου της σήραγγας, το οποίο ειδοποιήθηκε για το συμβάν από το κλειστό κύκλωμα παρακολούθησης (CCTV). Με τη λειτουργία των συστημάτων ο καπνός και η φωτιά περιορίστηκαν. Τελικά, η φωτιά κατασβήστηκε από το πυροσβεστικό σώμα περίπου μία ώρα μετά την έναρξη του συμβάντος. Περίπου 400 άτομα εκκένωσαν τη σήραγγα (Beard STOA 2008).



**Εικόνα 39 Κατεστραμμένα βαρέα οχήματα μετά την κατάσβεση της φωτιάς  
(Transportation Research Board 2011)**

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Pfänder

Όνομα σήραγγας	Pfänder
Μήκος σήραγγας (m)	6.720
Περιοχή/Χώρα	Αυστρία
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	4
Ημ/νία ατυχήματος	10/05/2007

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Εντός της σήραγγας του Pfänder, που βρίσκεται στον αυτοκινητόδρομο A 14, ο οδηγός ενός γερμανικού φορτηγού έχασε τον έλεγχο του οχήματός του και συγκρούστηκε μετωπικά με ένα διερχόμενο τσέχικο φορτηγό στο αντίθετο ρεύμα. Το δεύτερο μετά τη σύγκρουση βρέθηκε ανάμεσα και στις δυο λωρίδες εμποδίζοντας κάποιον να περάσει. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να προσκρούσουν πάνω του μια μηχανή και ένα αυτοκίνητο. Τραυματίστηκαν σοβαρά οι δυο επιβάτες της μηχανής ενώ υπέστησαν ελαφρότερα τραύματα οι δυο επιβάτες του αυτοκινήτου. (Projects & Campaigns - EuroTAP 2012).



Εικόνα 40 Τοποθεσία της σήραγγας Pfänder



### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα San Martino

Όνομα σήραγγας	San Martino
Μήκος σήραγγας (m)	4.800
Περιοχή/Χώρα	Ιταλία
Αριθμός νεκρών	2
Αριθμός τραυματιών	10
Ημ/νία ατυχήματος	10/09/2007

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Ένα φορτηγό προσέκρουσε με ταχύτητα στα τοιχώματα της σήραγγας του San Martino και μετέπειτα έπιασε φωτιά. Η φωτιά δημιούργησε μια γενική αναστάτωση που έγινε εντονότερη από τη μεγάλη καθυστέρηση της άφιξης των πυροσβεστικών και σωστικών δυνάμεων, οι οποίες έφτασαν στο σημείο μετά από 45 λεπτά. Οι ανθρώπινες απώλειες από τη φωτιά ήταν 2 νεκροί ενώ 10 άνθρωποι χρειάστηκαν ιατρική περίθαλψη εξαιτίας της εισπνοής καπνού (Projects & Campaigns - EuroTAP 2012).



Εικόνα 41 Τοποθεσία της σήραγγας San Martino

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Newhall Pass

Όνομα σήραγγας	Newhall Pass
Μήκος σήραγγας (m)	170
Περιοχή/Χώρα	Καλιφόρνια/ΗΠΑ
Αριθμός νεκρών	3
Αριθμός τραυματιών	23
Ημ/νία ατυχήματος	12/10/2007

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Μεγάλη φωτιά ξέσπασε όταν φορτηγό εξερχόμενο από τη σήραγγα έχασε τον έλεγχο και χτύπησε στη διαχωριστική νησίδα. Το γεγονός αυτό προκάλεσε αλυσιδωτή αντίδραση με αποτέλεσμα 33 εμπορικά οχήματα και ένα επιβατικό να εμπλακούν σε καραμπόλα που κάλυψε όλο το μήκος της σήραγγας. Από τα 34 οχήματα τα 25, συμπεριλαμβανομένου του επιβατικού, ενεπλάκησαν στη φωτιά. Σύμφωνα με αναφορές, η φωτιά ήταν ορατή στην έξοδο της σήραγγας μόλις 15 λεπτά αφότου ξεκίνησε (United States Nuclear Regulatory Commission 2011).



**Εικόνα 42 Φλεγόμενα οχήματα στην έξοδο της σήραγγας (United States Nuclear Regulatory Commission 2011)**



### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Ofenauer

Όνομα σήραγγας	Ofenauer
Μήκος σήραγγας (m)	1.390
Περιοχή/Χώρα	Αυστρία
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	17
Ημ/νία ατυχήματος	18/01/2008

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Καραμπόλα μεταξύ 3 φορτηγών και 15 αυτοκινήτων σημειώθηκε στο συγκεκριμένο ατύχημα. Μάλιστα μεταξύ των αυτοκινήτων ήταν και ένα περιπολικό της αστυνομίας. Η σύγκρουση μεταξύ των οχημάτων οφείλεται πιθανότατα στην ολισθηρότητα του οδοστρώματος στην είσοδο της σήραγγας λόγω του ισχυρού πάγου. Συνολικά υπήρξαν 17 τραυματίες από τους οποίους οι 3 ήταν σε σοβαρή κατάσταση (Projects & Campaigns - EuroTAP 2012).



Εικόνα 43 Τοποθεσία της σήραγγας Ofenauer

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Mona-Liza

Όνομα σήραγγας	Mona-Liza
Μήκος σήραγγας (m)	800
Περιοχή/Χώρα	Λιντς/Αυστρία
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	3
Ημ/νία ατυχήματος	07/11/2008

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Ένας νεαρός οδηγός, που ήταν μεθυσμένος επιστρέφοντας από νυχτερινή διασκέδαση τις πρωινές ώρες, έχασε τον έλεγχο του οχήματός του και συγκρούστηκε με ένα διερχόμενο αυτοκίνητο που κινούνταν στην αντίθετη κατεύθυνση. Το πρώτο όχημα ανατράπηκε με συνέπεια τόσο οδηγός του όσο και ο συνεπιβάτης του να τραυματιστούν σοβαρά όπως και ο οδηγός του δευτέρου αυτοκινήτου (Projects & Campaigns - EuroTAP 2012).



Εικόνα 44 Τοποθεσία της σήραγγας Mona-Liza

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Nollinger Berg

Όνομα σήραγγας	Nollinger Berg
Μήκος σήραγγας (m)	1.230
Περιοχή/Χώρα	Γερμανία
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	1
Ημ/νία ατυχήματος	26/05/2009

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Το ατύχημα προκλήθηκε όταν μια γυναικά οδηγός ξαφνικά άλλαξε πορεία και οδηγώντας προς ειδική διαπλάτυση έκτακτης ανάγκης συγκρούστηκε με τον τοίχο της σήραγγας. Το αυτοκίνητο περιστράφηκε κατά μήκος της λωρίδας κυκλοφορίας πριν ανατραπεί και σταματήσει δίπλα στον τοίχο. Ως πιθανότερη αιτία του ατυχήματος θεωρείται η βλάβη ελαστικού. Η γυναίκα που όπως φαίνεται δεν φορούσε ζώνη ασφαλείας εκτοξεύτηκε μέσα από το παρμπρίζ και χτύπησε στο οδόστρωμα. Χρειάστηκε να μεταφερθεί αεροπορικώς σε νοσοκομείο καθώς είχε υποστεί σοβαρά τραύματα (Projects & Campaigns - EuroTAP 2012).



Εικόνα 45 Τοποθεσία της σήραγγας Nollinger Berg

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Eiksund

Όνομα σήραγγας	Eiksund
Μήκος σήραγγας (m)	7.700
Περιοχή/Χώρα	Norβηγία
Αριθμός νεκρών	5
Αριθμός τραυματιών	0
Ημ/νία ατυχήματος	28/06/2009

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Νταλικά συγκρούστηκε με μικρό φορτηγό στο μέσον της σήραγγας με αποτέλεσμα την άμεση εκδήλωση φωτιάς και στα δυο οχήματα. Εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών και του πυκνού καπνού, τα συνεργεία διάσωσης χρειάστηκαν πολλή ώρα για να φτάσουν στο συμβάν. Πέντε άνθρωποι νεαρής ηλικίας έχασαν τη ζωή τους. Η σήραγγα Eiksund, μήκους 7.7 χιλιομέτρων, βρίσκεται 267 μέτρα κάτω από το επίπεδο της θάλασσας και ως εκ τούτου είναι η βαθύτερη υποθαλάσσια σήραγγα στον κόσμο (Projects & Campaigns - EuroTAP 2012).



Εικόνα 46 Τοποθεσία της σήραγγας Eiksund

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Bosruck

Όνομα σήραγγας	Bosruck
Μήκος σήραγγας (m)	5.500
Περιοχή/Χώρα	Αυστρία
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	2
Ημ/νία ατυχήματος	09/09/2009

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Ένα αγόρι έξι ετών, που έπασχε από ασθένεια των οστών, τραυματίστηκε σοβαρά σε αυτό το ατύχημα στη σήραγγα του Bosruck. Το ατύχημα συνέβη όταν ένα επιβατικό όχημα χτύπησε το αυτοκίνητο (minivan) της οικογένειας που επέβαινε και το μικρό παιδί. Αυτό είχε σαν συνέπεια το δεύτερο όχημα να προσκρούσει στο τοίχο της σήραγγας και να αναποδογυρίσει. Ακόμα ένα μέλος της οικογένειας τραυματίστηκε ελαφρά (Projects & Campaigns - EuroTAP 2012).



Εικόνα 47 Τοποθεσία της σήραγγας Bosruck



### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγες κοντά στη Ζυρίχη

Ονόματα σηράγγων	Gubrist, Höchi, Bubenzholz
Μήκος σήραγγας (m)	-
Περιοχή/Χώρα	κοντά στη Ζυρίχη/ Ελβετία
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	1
Ημ/νία ατυχήματος	10/02/2010

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Στην ευρύτερη περιοχή γύρω από την Ζυρίχη συνέβησαν την ίδια μέρα, μέσα σε δυο ώρες, 4 ατυχήματα σε 3 σήραγγες (Gubrist, Höchi και Bubenzholz). Τα ατυχήματα δεν είχαν σοβαρές συνέπειες παρά μόνο έναν ελαφρύ τραυματισμό. Το κοινό χαρακτηριστικό αυτών των ατυχημάτων ήταν ότι σε όλα οι οδηγοί έχασαν τον έλεγχο των οχημάτων τους κοντά στις εισόδους των σηράγγων. Αυτό οφείλεται στο φαινόμενο όταν το εσωτερικό της σήραγγας είναι στεγνό και το εξωτερικό βρεγμένο έχει παρατηρηθεί η δημιουργία πάγου στην είσοδο της σήραγγας. Η χρήση αλατιού δεν είναι πάντα αποτελεσματική μέθοδος αντιμετώπισης αυτού (Projects & Campaigns - EuroTAP 2012).



Εικόνα 48 Τοποθεσία στην οποία βρίσκονται οι σήραγγες Gubrist, Höchi και Bubenzholz

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Echinger

Όνομα σήραγγας	Echinger
Μήκος σήραγγας (m)	410
Περιοχή/Χώρα	Γερμανία
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	4
Ημ/νία ατυχήματος	11/02/2010

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Οδηγός έχασε τον έλεγχο του αυτοκινήτου της προσπαθώντας να αποφύγει ένα κομμάτι πάγου και συγκρούστηκε με τον τοίχο της σήραγγας. Το όχημα σταμάτησε στη δεξιά λωρίδα, η οδηγός του πήγε στον τηλεφωνικό θάλαμο έκτακτης ανάγκης και ένα αυτοκίνητο επιβράδυνε και σταμάτησε πίσω από πρώτο όχημα. Ένας οδηγός νταλίκας έπεσε πάνω στα σταματημένα αυτοκίνητα και στη συνέχεια ακολούθησε πολλαπλή σύγκρουση όπου συμμετείχαν ακόμα 2 φορτηγά και 2 αυτοκίνητα. Τα φορτηγά δημιούργησαν μία στοίβα ύψους τεσσάρων μέτρων. Ένας εκ των οδηγών παγιδεύτηκε στην καμπίνα του και τραυματίστηκε σοβαρά ενώ ακόμη τρεις άνθρωποι χρειάστηκε να διακομισθούν σε νοσοκομείο (Projects & Campaigns - EuroTAP 2012).



Εικόνα 49 Τοποθεσία της σήραγγας Echinger

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Seelisberg

Όνομα σήραγγας	Seelisberg
Μήκος σήραγγας (m)	9.000
Περιοχή/Χώρα	Ελβετία
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	5
Ημ/νία ατυχήματος	13/02/2010

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Οδηγός υπό την επήρεια αλκοόλ πέρασε στο αντίθετο ρεύμα κυκλοφορίας και συγκρούστηκε με διερχόμενο όχημα. Το διερχόμενο όχημα από τη σφοδρότητα της σύγκρουσης εκτινάχτηκε στον τοίχο της σήραγγας και ανατράπηκε. Συνολικά τραυματίστηκαν πέντε άνθρωποι. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι συνθήκες κυκλοφορίας εντός της σήραγγα τη στιγμή του ατυχήματος ήταν ασυνήθιστες καθώς πραγματοποιούνταν τεχνικά έργα. (Projects & Campaigns - EuroTAP 2012).



Εικόνα 50 Τοποθεσία της σήραγγας Seelisberg



### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Lincoln

Όνομα σήραγγας	Lincoln
Μήκος σήραγγας (m)	2.500
Περιοχή/Χώρα	Νέα Υόρκη/ΗΠΑ
Αριθμός νεκρών	0
Αριθμός τραυματιών	59
Ημ/νία ατυχήματος	24/02/2011

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Στο ατύχημα ενεπλάκησαν τρία λεωφορεία και μία μηχανή. Ο οδηγός της μηχανής τραυματίστηκε σοβαρά, καθώς παρασύρθηκε κάτω από το ένα λεωφορείο. Από τη σύγκρουση μεταξύ των λεωφορείων 58 άνθρωποι τραυματίστηκαν ελαφρά. Περίπου οι μισοί διακομίστηκαν σε νοσοκομείο για περαιτέρω ιατρική περίθαλψη (Lincoln Tunnel 2011).



Εικόνα 51 Ένα από το λεωφορείο που συμμετείχαν στη σύγκρουση (Lincoln Tunnel 2011)

### Χαρακτηριστικά Ατυχήματος: Σήραγγα Sierre

Όνομα σήραγγας	Sierre
Μήκος σήραγγας (m)	2.460
Περιοχή/Χώρα	Ελβετία
Αριθμός νεκρών	28
Αριθμός τραυματιών	24
Ημ/νία ατυχήματος	13/03/2012

### Συνοπτική Περιγραφή Ατυχήματος

Λεωφορείο συγκρούστηκε μετωπικά με την εσοχή που δημιουργεί ο τοίχος της σήραγγας λόγω διαπλάτυνσης που υπάρχει στην είσοδο της σήραγγας. Το λεωφορείο μετέφερε 52 άτομα εκ των οποίων 46 παιδιά ηλικίας περίπου 12 ετών. Είκοσι δύο παιδιά, οι δύο οδηγοί και οι τέσσερις δάσκαλοι που συνόδευαν την εκδρομή πέθαναν ακαριαία λόγω της σφοδρότητας της σύγκρουσης. Ακόμα είκοσι τέσσερα παιδιά τραυματίστηκαν εκ των οποίων ορισμένα σοβαρά. Το λεωφορείο κινούταν εντός των ορίων ταχύτητας και όλα τα παιδιά φορούσαν ζώνη. Τα ακριβή αίτια του ατυχήματος δεν έχουν ανακοινωθεί επίσημα ακόμα καθώς εξετάστηκαν οι πιθανότητες ανθρώπινου λάθους, αδιαθεσίας του οδηγού και τεχνικού σφάλματος (Swiss tunnel crash 2012).



**Εικόνα 52 Το λεωφορείο μετά τη σύγκρουση (Swiss tunnel crash 2012)**



**Εικόνα 53 Συνεργεία διάσωσης προσπαθούν να βοηθήσουν (Swiss tunnel crash 2012)**

---

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ

Amundsen, F.H. 2000, *DATA ON LARGE TUNNEL FIRES*, Norwegian Public Roads Administration, Oslo

Beard, A. & Carvel, R. 2005, *THE HANDBOOK OF TUNNEL SAFETY*, Thomas Telford, London

Beard, A. & Cope, D. 2008, *Assessment of the Safety of Tunnels - Report IP/A/STOA/FWC/2005-28/SC22/29*, European Parliament, Science and Technology, Options Assessment (STOA).

Duffé, P. & Marec, M. 1999, *TASK FORCE FOR TECHNICAL INVESTIGATION OF THE 24 MARCH 1999 FIRE IN THE MONT BLANC VEHICULAR TUNNEL*, Minister of the Interior - Ministry of Equipment, Transportation and Housing, France

EuroTAP (European Tunnel Assessment Programme) 2012, Projects & Campaigns, Διαθέσιμο από:  
<http://www.eurotestmobility.com/eurotest.php?itemno=439&lang=EN> [20 Αυγούστου 2012]

Haack, A. 2006, 'OVERVIEW OF EUROPEAN TUNNEL RESEARCH AND ITA COMMITTEE ON OPERATIONAL SAFETY OF UNDERGROUND FACILITIES', WORKSHOP ON SAFETY IN TUNNELS AND UNDERGROUND STRUCTURES-RIYADH 8-9 NOV., 2006, Germany.

Lincoln Tunnel 2011, Διαθέσιμο από:  
<http://abclocal.go.com/wabc/gallery?section=news&id=7977775&photo=3> [20 Ιουνίου 2013].

Massenkarambolage in Tunnel 2007, Διαθέσιμο από:  
<http://www.oe24.at/oesterreich/chronik/Massenkarambolage-in-Tunnel/72523>  
[19 Ιανουαρίου 2007]

---

Masellis, M., Iaia, A., Sferrazza, G., Pirillo, E., D'Arpa, N., Cucchiara, P., Sucameli, M., Napoli, B., Alessandro, G. & Giairni, S. 1997, *Annals of Burns and Fire Disasters* - vol. X - n. 4, Palermo, Italy.

Papaioannou, P. & Georgiou, G. 2008, *Human Behaviour in Tunnel Accidents and Incidents: End-users, Operators and Response Teams*, UPTUN

Swiss tunnel crash 2012, Διαθέσιμο από: <http://www.tunneltalk.com/Discussion-Forum-Mar12-Switzerland-Sierre-tunnel-bus-crash-safety-issues.php> [15 Ιουλίου 2013]

Third Austrian crash injures 24, 2001. Available from:  
<[news.bbc.co.uk/2/hi/europe/1488570.stm](http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/1488570.stm)>. [15 Ιουλίου 2013]

Transportation Research Board of national academies 2011, *Design Fires in Road Tunnels: A Synthesis of Highway Practice*, TRB, Washington.

United States Nuclear Regulatory Commission 2011, *Structural Materials Analyses of the Newhall Pass Tunnel Fire*, USNRC, Texas.