



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ  
Δ.Π.Μ.Σ. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ  
Συμμετέχουσες Σχολές: Μηχανικών Μεταλλείων- Μεταλλουργών  
Πολιτικών Μηχανικών

# «Ανάλυση ατυχημάτων σε υπόγεια δίκτυα μεταφοράς» Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Παπαδήμα Μαρίνα

Επιβλέπων καθηγητής: Ανδρέας Μπενάρδος

Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2012









ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ  
Δ.Π.Μ.Σ. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ  
Συμμετέχουσες Σχολές: Μηχανικών Μεταλλείων- Μεταλλουργών  
Πολιτικών Μηχανικών

«Ανάλυση ατυχημάτων σε υπόγεια δίκτυα μεταφοράς»  
Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Παπαδήμα Μαρίνα

Επιβλέπων: Ανδρέας Μπενάρδος  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή

Μπενάρδος Ανδρέας, Λέκτορας .....

Καλιαμπάκος Δημήτριος, Καθηγητής .....

Σοφιανός Αλέξανδρος, Καθηγητής .....

Copyright © Παπαδήμα Μαρίνα, 2012  
Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της εργασίας είναι η αξιολόγηση του κινδύνου, η ανάλυση των βασικών αιτιών καθώς και της συχνότητας ατυχημάτων που συνέβησαν κατά την λειτουργική φάση οδικών και σιδηροδρομικών σηράγγων. Ταυτόχρονα, αξιολογούνται οι επιδόσεις με βάση τα αποδεκτά όρια κινδύνου που υπάρχουν σε διάφορες χώρες και γίνεται η εκτίμηση του κόστους ατυχημάτων.

Αφορμή για την πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής στάθηκε η εκπόνηση εργασίας από κοινού με τη συμφοιτήριά μου κα. Χρυσόθεμη Παρασκευοπούλου με θέμα τα ατυχήματα σε οδικές σήραγγες.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον **κ. Ανδρέα Μπενάρδο, Λέκτορα ΕΜΠ**, ο οποίος δέχτηκε για δεύτερη φορά, μην έχοντας κάνει εκτίμηση του κινδύνου, να αναλάβει και να με βοηθήσει με κάθε δυνατό τρόπο στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Επιπλέον θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου και στους φίλους μου **Φωτεινή Ιατρού, Παναγιώτα Κακοτρίχη, Διονύση Καλογερόπουλο, Σωτήρη Μπακογιάννη, Χρυσόθεμη Παρασκευοπούλου, Ηρώ Πετούνα**, για τη βοήθεια και συμπαράσταση τους κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών και της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.





## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το ζήτημα της ασφάλειας των σιδηρόδρομων και υπογείων έργων είναι εξαιρετικά σημαντικό ιδιαίτερα κατά τα τελευταία χρόνια που η υιοθέτηση τέτοιων κατασκευαστικών λύσεων αλλά και η χρήση τους γίνεται ολοένα και πιο ευρεία.

Βασικός στόχος της εργασίας είναι η αξιολόγηση του κινδύνου, η ανάλυση των βασικών αιτιών καθώς και της συχνότητας ατυχημάτων που συνέβησαν κατά την λειτουργική φάση οδικών και σιδηροδρομικών σιδηρόδρομων. Ταυτόχρονα, αξιολογούνται οι επιδόσεις με βάση τα αποδεκτά όρια κινδύνου που υπάρχουν σε διάφορες χώρες και γίνεται η εκτίμηση του κόστους ατυχημάτων.

Γίνεται η καταγραφή και ανάλυση των ατυχημάτων που συνέβησαν σε υπόγεια δίκτυα μεταφοράς σε παγκόσμιο επίπεδο, σχεδόν από την αρχή του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Κάτι τέτοιο μπορεί να δώσει σημαντικές πληροφορίες για το επίπεδο ασφάλειας των συγκεκριμένων υποδομών. Ταυτόχρονα, μπορεί να βοηθήσει στην αξιολόγηση και τη σύγκριση του επιπέδου ασφαλείας τους σε σχέση με τα επιφανειακά δίκτυα. Συνολικά καταγράφηκαν 89 ατυχήματα σε οδικές σιδηρόδρομους, 32 ατυχήματα σε σιδηροδρομικές σιδηρόδρομους και 42 ατυχήματα σε υπόγεια αστικά δίκτυα (μετρό). Για τα ατυχήματα αυτά που υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα γίνεται η στατιστική ανάλυση, ομαδοποιούνται ανά δεκαετία, ανά ηπείρους και ανά ευρωπαϊκή χώρα για καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων. Μελετήθηκαν τα αίτια των ατυχημάτων και η συχνότητα εμφάνισής τους και έγινε σύγκριση του αριθμού των νεκρών και των τραυματιών ανά δεκαετία.

Επιπλέον θέμα που αναλύεται στην εργασία είναι οι μέθοδοι που εφαρμόζονται για την ανάλυση κινδύνου σε σιδηρόδρομους για διάφορες χώρες που ανήκουν στην PIARC (World Road Association), ενώ συγκεντρώνονται για πρώτη φορά όλοι οι διαθέσιμοι στατιστικοί δείκτες ατυχημάτων σε σιδηρόδρομους σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι δείκτες αυτοί είναι απαραίτητοι ως βασικό σημείο εκκίνησης για την εκπόνηση μελετών εκτίμησης του κινδύνου και συνεπώς η ολοκληρωμένη και στοιχειοθετημένη εξέταση και επιλογή τους είναι κρίσιμη για την πιστότητα των αποτελεσμάτων.

Δίνονται οι ορισμοί βασικών εννοιών και αναλύονται οι αρχές οι οποίες χρησιμοποιούνται για την αποδοχή ή όχι των κινδύνων και εξετάζεται μέσω της χρήσης καμπυλών F-N το επίπεδο του αποδεκτού κοινωνικού κινδύνου για τα υπόγεια δίκτυα μεταφοράς. Εκτός από τη συνολική απεικόνιση των θανατηφόρων ατυχημάτων κάθε κατηγορίας, γίνεται διαχωρισμός των οδικών ατυχημάτων κάποιων χωρών και η σύγκριση τους με τα όρια που έχουν προταθεί από τις αντίστοιχες χώρες. Επιπροσθέτως, γίνεται η σύγκριση των δύο τελευταίων δεκαετιών, για κάθε κατηγορία σηράγγων, ώστε να διαπιστωθεί αν έχει μειωθεί η συχνότητα των θανατηφόρων με τη εφαρμογή των μέτρων ασφαλείας.

Τέλος, γίνεται μια απόπειρα εκτίμησης του κόστους των ατυχημάτων που έχουν συμβεί σε υπόγεια δίκτυα μεταφοράς βάσει του κόστους της ανθρώπινης ζωής όπως έχει διαμορφωθεί από το Υπουργείο Μεταφορών της Μεγάλης Βρετανίας.

## ABSTRACT

The issue for the safety of the tunnels and underground works is extremely important especially during the last years that the use of such constructive solutions, becomes more and more extended.

The basic goal of this study is the risk evaluation, the analysis of the main causes along with the frequency of accidents that took place during the operational phase of the road and railway tunnels. Furthermore, the performances based on accepted risk limits that apply in several countries , are evaluated and the cost of accidents is estimated.

Accidents in underground transfer networks are recorded and analysed in a global level, almost from the beginning of the 20<sup>th</sup> century. This may provide important information for the safety level of these specific infrastructures. In addition, it might help in the evaluation of the safety levels in comparison to the surface networks . In total, 89 accidents have been registered in road tunnels, 32 accidents in railway tunnels and 42 accidents in underground urban networks (metro).

The accidents, for which facts are available, are grouped by decade, continent and European country and a statistical analysis is carried out. The causes of accidents and the frequency of their appearance have been studied and a comparison of the number of deaths and injuries throughout the decades took place.

Another issue which is analysed in the study is the methods that are implemented for the risk evaluation in tunnels for several countries that belong to PIARC (World Road Association), while for the first time all the available accident indicators in tunnels are gathered worldwide. These indicators are necessary as a basic starting off point for the production of the studies, concerning the evaluation of risk and consequently their complete and evidenced examination is crucial for the credibility of the results.

The definitions of the basic concepts are given and the principles which are used for the acceptance or not of the risks, while it is examined, through the creation of curves F-N, the level of the accepted social risk for the underground transfer networks. Apart from the total display of lethal accidents of each kind, there is a separation of road accidents in some countries and a comparison with the limits that are proposed by these countries. Moreover, the comparison in the last two decades is done for every tunnel category, so as to be confirmed if the frequency of lethal accidents have been reduced with the implementation of the safety measures.

Finally, an indicative estimation of the cost of accidents, that have occurred in underground transfer networks, is given based on the cost of human life as this is established by the Department of Transportation of Great Britain.

## Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	1
Περιεχόμενα Εικόνων.....	5
Περιεχόμενα Πινάκων.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΡΓΑ ΚΑΙ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ.....	9
1.1 Εισαγωγή.....	9
1.2 Ατυχήματα σε υπόγεια δίκτυα μεταφορών.....	10
1.3 Χαρακτηριστικά ατυχήματα σε υπόγεια δίκτυα μεταφορών.....	12
1.3.1 Ατυχήματα σε οδικές σήραγγες.....	13
1.3.2 Ατυχήματα σε σιδηροδρομικές σήραγγες.....	16
1.3.3 Ατυχήματα σε σήραγγες Μετρό.....	19
1.4 Ελάχιστα επίπεδα ασφάλειας στις ευρωπαϊκές οδικές σήραγγες.....	20
1.5 Εφαρμογή μέτρων ασφάλειας σε διάφορες χώρες.....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ.....	27
2.1 Εισαγωγή.....	27
2.2 Ορισμοί.....	27
2.3 Εκτίμηση κινδύνου (Risk Assessment).....	28
2.4 Ανάλυση κινδύνου (Risk Analysis).....	28
2.5 Διαχείριση κινδύνου.....	30
2.6 Μέθοδοι εκτίμησης κινδύνου αστοχίας ενός συστήματος.....	31
2.6.1 Ποσοτικές μέθοδοι.....	31
2.6.1.1 Δένδρα Σφαλμάτων (Fault Trees).....	31
2.6.1.2 Δένδρα Γεγονότων (Event Trees).....	32
2.6.2 Ποιοτικές μέθοδοι.....	33
2.7 Αποδεκτά Επίπεδα Κινδύνου.....	35
2.7.1 Αποδεκτός κίνδυνος.....	35
2.7.2 Αρχή ALARP.....	35
2.7.3 Καμπύλες F-N.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΧΩΡΑ.....	43
3.1 Εισαγωγή.....	43
3.2 Ανάλυση ρίσκου για χώρες μέλη της PIARC.....	43
3.2.1 Γαλλία.....	44
3.2.2 Ηνωμένο Βασίλειο.....	44

3.2.3 Ολλανδία .....	45
3.2.3.1 Δείκτες ατυχημάτων για συγκεκριμένες σήραγγες της Ολλανδίας από την PIARC .....	46
3.2.4. Νορβηγία.....	46
3.2.4.1 Υποθαλάσσιες σήραγγες στη Νορβηγία .....	49
3.2.4.2 Δείκτες ατυχημάτων για συγκεκριμένες σήραγγες της Νορβηγίας από την PIARC .....	50
3.2.5 Αυστρία .....	51
3.2.5.1 Δείκτες ατυχημάτων για συγκεκριμένες σήραγγες της Αυστρίας από την PIARC .....	54
3.2.6 Γερμανία .....	55
3.2.7 Ελβετία .....	56
3.2.8 Ελλάδα.....	56
3.2.9 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής .....	57
3.2.9.1 Δείκτες ατυχημάτων για συγκεκριμένες σήραγγες των Ηνωμένων Πολιτειών από την PIARC .....	57
3.2.10 Ιαπωνία.....	58
3.2.11 Κίνα.....	58
3.2.12 Χονγκ – Κονγκ .....	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	63
4.1 Εισαγωγή .....	63
4.2 Στατιστική ανάλυση ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες.....	64
4.3 Στατιστική ανάλυση ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες.....	73
4.4 Στατιστική ανάλυση ατυχημάτων σε υπόγεια αστικά δίκτυα .....	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΚΑΜΠΥΛΕΣ F-N.....	87
5.1 Παρουσίαση του κοινωνικού ρίσκου στα υπόγεια δίκτυα μεταφοράς σε καμπύλες F-N .....	87
5.1.1 Καμπύλες F-N για τις οδικές σήραγγες .....	87
5.1.1.1 Παρουσίαση κοινωνικού ρίσκου σε καμπύλες F-N για διάφορες χώρες.....	96
5.1.2 Καμπύλες F-N για τις σιδηροδρομικές σήραγγες .....	103
5.1.3 Καμπύλες F-N για τα υπόγεια αστικά δίκτυα .....	110
5.1.4 Σύγκριση των καμπυλών για οδικές, σιδηροδρομικές σήραγγες και αστικά υπόγεια δίκτυα.....	116
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ .....	119
6.1 Εκτίμηση Κόστους των Ατυχημάτων .....	119

6.1.1 Διάκριση των μεθόδων εκτίμησης κόστους.....	119
6.1.1.1 Μέθοδος Εκτίμησης: Κόστος Αποκατάστασης .....	120
6.1.1.2 Μέθοδος Εκτίμησης: Ανθρώπινο Κεφάλαιο .....	120
6.1.1.3 Μέθοδος Εκτίμησης: Προθυμία να πληρώσει κανείς/ Προθυμία να πληρώσει η κοινωνία .....	121
6.2 Κατηγοριοποίηση κόστους οδικών ατυχημάτων .....	122
Κόστος ανά ατύχημα .....	123
6.3 Εκτίμηση κόστους οδικών ατυχημάτων στη Μεγάλη Βρετανία .....	124
6.4 Εκτίμηση κόστους σιδηροδρομικών ατυχημάτων και Μετρό .....	125
6.5 Κόστος οδικών ατυχημάτων.....	126
6.6 Κόστος σιδηροδρομικών ατυχημάτων.....	127
6.7 Κόστος ατυχημάτων σε υπόγεια αστικά δίκτυα .....	128
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	130
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	135
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	141





## Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1. 1 Σύγκριση συχνότητας ατυχημάτων σε σήραγγες με ανοικτά τμήματα στη Νορβηγία (OECD, 2006) .....	11
Εικόνα 1. 2 Συχνότητα αιτίων ατυχημάτων σε σήραγγες και ανοικτά τμήματα (Hoj, 2006) .	12
Εικόνα 1. 3 Σήραγγα Mont Blanc μετά το ατύχημα .....	13
Εικόνα 1. 4 Σήραγγα Mont Blanc μετά το δεύτερο ατύχημα.....	14
Εικόνα 1. 5 Φωτιά σε εξέλιξη στη σήραγγα St. Gotthard .....	15
Εικόνα 1. 6 Απεικόνιση ατυχήματος Karrun.....	17
Εικόνα 1. 7 Συρμός μετά το ατύχημα στο μετρό Daegu .....	19
Εικόνα 2. 1 Καθορισμός της ανάλυσης κινδύνου .....	29
Εικόνα 2. 2 Ανάλυση και εκτίμηση κινδύνου ως τμήματα του συστήματος διαχείρισης κινδύνου .....	30
Εικόνα 2. 3 Διάγραμμα δένδρου σφαλμάτων.....	32
Εικόνα 2. 4 Διάγραμμα δένδρου συμβάντων .....	33
Εικόνα 2. 5 Αρχή ALARP.....	36
Εικόνα 2. 6 Καμπύλη F-N για σιδηροδρομικά ατυχήματα στη Μ. Βρετανία (1967-2001) .....	38
Εικόνα 2. 7 Απεικόνιση ALARP σε διάγραμμα F-N.....	39
Εικόνα 2. 8 Εξέλιξη του ανώτερου αποδεκτού επιπέδου απο το 1981-2001 στη Μεγάλη Βρετανία.....	41
Εικόνα 3. 1 Κατηγοριοποίηση ζωνών σήραγγας από τη Road Data Bank της Νορβηγίας .....	48
Εικόνα 3. 2 Δείκτες ατυχημάτων σε ανοικτά τμήματα του οδικού δικτύου και σε σήραγγες της Αυστρίας .....	52
Εικόνα 3. 3 Δείκτες ατυχημάτων σε σήραγγες μονής και διπλής κατεύθυνσης κυκλοφορία	53
Εικόνα 3. 4 Δείκτες ατυχημάτων σε σχέση με τα km που διανύθηκαν στο Χονγκ Κονγκ .....	60
Εικόνα 4. 1 Χιλιόμετρα Οδικών Σηράγγων σε κάθε Χώρα .....	64
Εικόνα 4. 2 Ατυχήματα ανά ήπειρο.....	66
Εικόνα 4. 3 Ποσοστά ατυχημάτων στις ευρωπαϊκές χώρες .....	67
Εικόνα 4. 4 Αριθμός ατυχημάτων .....	68
Εικόνα 4. 5 Απώλειες και τραυματίες ανά δεκαετίες σε ατυχήματα σε οδικές σήραγγες.....	69
Εικόνα 4. 6 Ποσοστιαία αναλογία απωλειών και τραυματιών ανά δεκαετίες σε ατυχήματα σε οδικές σήραγγες.....	69
Εικόνα 4. 7 Σύγκριση ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες που προκλήθηκαν από φορτηγό ....	70
Εικόνα 4. 8 Ποσοστό ατυχημάτων σε μονής και διπλής κυκλοφορίας οδικές σήραγγες .....	71
Εικόνα 4. 9 Απώλειες και τραυματίες σε μονής και διπλής κυκλοφορίας οδικές σήραγγες .	72
Εικόνα 4. 10 Χιλιόμετρα Σιδηροδρομικών Σηράγγων σε κάθε Χώρα .....	73
Εικόνα 4. 11 Ατυχήματα ανά ήπειρο σε σιδηροδρομικές σήραγγες .....	74
Εικόνα 4. 12 Ποσοστά ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες στις ευρωπαϊκές χώρες .	75

Εικόνα 4. 13 Αριθμός ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες ανά δεκαετίες.....	76
Εικόνα 4. 14 Απώλειες και τραυματίες σε σιδηροδρομικές σήραγγες ανά δεκαετίες.....	77
Εικόνα 4. 15 Ποσοστιαία αναλογία απωλειών και τραυματιών σε σιδηροδρομικές σήραγγες ανά δεκαετίες.....	78
Εικόνα 4. 16 Αιτίες ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες.....	79
Εικόνα 4. 17 Ατυχήματα σε διπλής/μονής γραμμής και δίδυμες σιδηροδρομικές σήραγγες	79
Εικόνα 5. 1 Καμπύλη F-N όλων των καταγραφέντων ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες .....	89
Εικόνα 5. 2 Σύγκριση με ατυχήματα σε οδικά δίκτυα της Αγγλίας.....	90
Εικόνα 5. 3 Σύγκριση καμπύλης F-N με διάφορα κριτήρια αποδοχής ρίσκου σε οδικές σήραγγες .....	92
Εικόνα 5. 4 Σύγκριση τελευταίων δύο εικοσαετιών και γραμμής Canvey .....	96
Εικόνα 5. 5 Καμπύλη F-N για ατυχήματα στην Ελβετία και ελβετικά όρια αποδοχής .....	98
Εικόνα 5. 6 Καμπύλη F-N για ατυχήματα στην Αυστρία και αυστριακά όρια αποδοχής.....	100
Εικόνα 5. 7 Καμπύλη F-N για ατυχήματα στη Νορβηγία και νορβηγικά όρια αποδοχής ....	102
Εικόνα 5. 8 Σύγκριση καμπύλης F-N όλων των καταγραφέντων ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες με τη γραμμή Canvey.....	105
Εικόνα 5. 9 Σύγκριση με ατυχήματα σε σιδηροδρομικά δίκτυα Αγγλίας.....	106
Εικόνα 5. 10 Σύγκριση τελευταίων δύο εικοσαετιών και γραμμής Canvey για τα σιδηροδρομικά ατυχήματα.....	109
Εικόνα 5. 11 Σύγκριση καμπύλης F-N όλων των καταγραφέντων ατυχημάτων σε υπόγεια αστικά δίκτυα με τη γραμμή Canvey .....	112
Εικόνα 5. 12 Σύγκριση τελευταίων δύο εικοσαετιών και γραμμής Canvey σε υπόγεια αστικά δίκτυα.....	115
Εικόνα 5. 13 Σύγκριση καμπυλών F-N για ατυχήματα σε οδικές, σιδηροδρομικές σήραγγες και μετρό .....	116
Εικόνα 6. 1 Μέθοδοι εκτίμησης κόστους οδικών ατυχημάτων .....	120
Εικόνα 6. 2 Κόστος ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες ανά δεκαετίες .....	127
Εικόνα 6. 3 Κόστος ατυχημάτων ανά δεκαετίες .....	128
Εικόνα 6. 4 Κόστος ατυχημάτων ανά δεκαετίες .....	129

## Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 2.1 Πίνακας βαθμολόγησης κινδύνου .....	34
Πίνακας 3.1 Δείκτες ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες της Ολλανδίας (PIARC) .....	46
Πίνακας 3.2 Δείκτες ατυχημάτων για κάθε ζώνη των σηράγγων στη Νορβηγία .....	48
Πίνακας 3.3 Δείκτες ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες της Νορβηγίας (PIARC) .....	51
Πίνακας 3.4 Δείκτες ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες της Αυστρίας (PIARC) .....	54
Πίνακας 3.5 Δείκτες ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες στη Γερμανία .....	55
Πίνακας 3.6 Δείκτες ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες της Αυστρίας (PIARC) .....	58
Πίνακας 3.7 Δείκτες ατυχημάτων σε κάθε ζώνη των οδικών σηράγγων στην Κίνα .....	59
Πίνακας 4.1 Αριθμός ατυχημάτων σε μονής και διπλής κυκλοφορίας οδικές σήραγγες .....	72
Πίνακας 4.2 Αριθμός ατυχημάτων σε μονής και διπλής γραμμής σε σιδηροδρομικές σήραγγες .....	80
Πίνακας 4.3 Μήκος υπόγειων αστικών δικτύων κάθε χώρας .....	81
Πίνακας 5.1 Αριθμός νεκρών και τον αριθμό των ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες .....	88
Πίνακας 5.2 Αριθμός νεκρών και συχνότητα ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες .....	89
Πίνακας 5.3 Αριθμός νεκρών και τον αριθμό των ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες για την περίοδο 1991-2010 .....	93
Πίνακας 5.4 Αριθμός νεκρών και συχνότητα ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες για την περίοδο 1991-2010 .....	94
Πίνακας 5.5 Αριθμός νεκρών και τον αριθμό των ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες για την περίοδο 1971-1990 .....	95
Πίνακας 5.6 Αριθμός νεκρών και συχνότητα ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες για την περίοδο 1971-1990 .....	95
Πίνακας 5.7 Αριθμός νεκρών και τον αριθμό των ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες της Ελβετίας .....	97
Πίνακας 5.8 Αριθμός νεκρών και συχνότητα ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες της Ελβετίας .....	97
Πίνακας 5.9 Αριθμός νεκρών και ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες της Αυστρίας .....	99
Πίνακας 5.10 Αριθμός νεκρών και συχνότητα ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες της Αυστρίας .....	99
Πίνακας 5.11 Αριθμός νεκρών και τον αριθμό των ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες της Νορβηγίας .....	101
Πίνακας 5.12 Αριθμός νεκρών και συχνότητα ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες της Νορβηγίας .....	101
Πίνακας 5.13 Αριθμός νεκρών και τον αριθμό των ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες .....	103
Πίνακας 5.14 Αριθμός νεκρών και συχνότητα ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες .....	104

Πίνακας 5.15 Αριθμός νεκρών και τον αριθμό των ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες για την περίοδο 1991-2010.....	107
Πίνακας 5.16 Αριθμός νεκρών και συχνότητα ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες για την περίοδο 1991-2010 .....	107
Πίνακας 5.17 Αριθμός νεκρών και τον αριθμό των ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες για την περίοδο 1971-1990.....	108
Πίνακας 5.18 Αριθμός νεκρών και συχνότητα ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες για την περίοδο 1991-2010 .....	108
Πίνακας 5.19 Αριθμός νεκρών και αριθμός ατυχημάτων σε υπόγεια αστικά δίκτυα.....	110
Πίνακας 5.20 Αριθμός νεκρών και συχνότητα ατυχημάτων σε υπόγεια αστικά δίκτυα.....	111
Πίνακας 5.21 Αριθμός νεκρών και αριθμός ατυχημάτων σε υπόγεια αστικά δίκτυα για την περίοδο 1991-2010.....	113
Πίνακας 5.22 Αριθμός νεκρών και συχνότητα ατυχημάτων σε υπόγεια αστικά δίκτυα για την περίοδο 1991-2010.....	113
Πίνακας 5.23 Αριθμός νεκρών και αριθμός ατυχημάτων σε υπόγεια αστικά δίκτυα για την περίοδο 1971-1990.....	114
Πίνακας 5.24 Αριθμός νεκρών και συχνότητα ατυχημάτων σε υπόγεια αστικά δίκτυα για την περίοδο 1971-1990.....	114
Πίνακας 6.1 Κατηγοριοποίηση κόστους των οδικών τροχαίων ατυχημάτων .....	123
Πίνακας 6.2 Κόστος οδικών ατυχημάτων σε €.....	125
Πίνακας 6.3 Κόστος σιδηροδρομικών ατυχημάτων σε €.....	125

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΡΓΑ ΚΑΙ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ

### 1.1 Εισαγωγή

Η ανάπτυξη και δυναμική που εμφανίζουν τα τελευταία χρόνια τα υπόγεια έργα, τροφοδοτείται από το γενικότερο πνεύμα της αειφόρου ανάπτυξης που καθορίζει σε στρατηγικό επίπεδο τις επιλογές του σύγχρονου κόσμου. Η απότομη αύξηση του πληθυσμού, σε συνδυασμό με την έλλειψη χώρου αλλά και ανάλογου χωροταξικού σχεδιασμού, οδηγεί συχνά σε υποβάθμιση της ποιότητας ζωής, ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές. Έτσι, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια μεγάλη αύξηση στο πλήθος και στο μέγεθος των υπόγειων κατασκευών. Σήμερα αποτελούν ένα μεγάλο μέρος της καθημερινής ζωής στις ανεπτυγμένες χώρες, ενώ οι υπηρεσίες και το εύρος των εφαρμογών που προσφέρουν συνεχίζουν να αυξάνουν, προσπαθώντας να δώσουν λύσεις στις σύγχρονες ανάγκες (Μπενάρδος, 2002). Τα παραπάνω περιλαμβάνονται στον όρο «υπόγεια ανάπτυξη» (Underground Development), η οποία είναι η τάση που υποστηρίζει την εκμετάλλευση του υπόγειου χώρου με σκοπό την ικανοποίηση των σύγχρονων αναγκών (Καλιαμπάκος, 2003).

Τα πλεονεκτήματα που πηγάζουν από τη μεταφορά ορισμένων δραστηριοτήτων σε υπόγειους χώρους, και κατ' επέκταση της δημιουργίας υπόγειων οδικών, σιδηροδρομικών δικτύων και άλλων υπόγειων χώρων, είναι κατά κύριο λόγο περιβαλλοντικά. Ορισμένα από αυτά είναι: η διατήρηση της υπάρχουσας χρήσης της γης, καμιά διακοπή της συνέχειας του οικοσυστήματος, η μη πρόκληση οπτικής ρύπανσης εξαιρώντας τα στόμια των σηράγγων, η ελαχιστοποίηση των επιδράσεων στο ακουστικό περιβάλλον, η δυνατότητα ελέγχου αλλά και αποτελεσματικής αντιμετώπισης της αέριας ρύπανσης, αλλά και της ρύπανσης των εδαφών και των υδροφόρων οριζόντων και τέλος η δυνατότητα χρήσης των επιφανειακών εκτάσεων για άλλους σκοπούς.

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί μια αύξηση στην κατασκευή υπόγειων δικτύων μεταφοράς. Εκτός από τα εκτενή υπόγεια αστικά δίκτυα που προϋπήρχαν στις μεγαλύτερες πόλεις του κόσμου και κατασκευάστηκαν και τα τελευταία χρόνια

σε λιγότερο ανεπτυγμένες πόλεις, σημειώνεται μια μεγάλη αύξηση κατασκευής οδικών και σιδηροδρομικών σηράγγων σε όλα τα μεγάλα οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα. Μερικά παραδείγματα αποτελούν η οδική σήραγγα του St. Gotthard, μήκους 16,4 km, στην Ελβετία που κατασκευάστηκε το 1980 αλλά και η σιδηροδρομική σήραγγα του St. Gotthard, μήκους 57 km, η οποία είναι υπό κατασκευή και αποτελεί τη μεγαλύτερη σιδηροδρομική σήραγγα μετά την Ιαπωνική υποθαλάσσια σιδηροδρομική σήραγγα Seikan μήκους 53,85km. Μια ακόμα υποθαλάσσια σήραγγα που κατασκευάστηκε πρόσφατα και έχει διευκολύνει τις μετακινήσεις στην Ευρώπη είναι η σήραγγα της Μάγχης (Channel tunnel) που ενώνει τη Μεγάλη Βρετανία με την ηπειρωτική Ευρώπη.

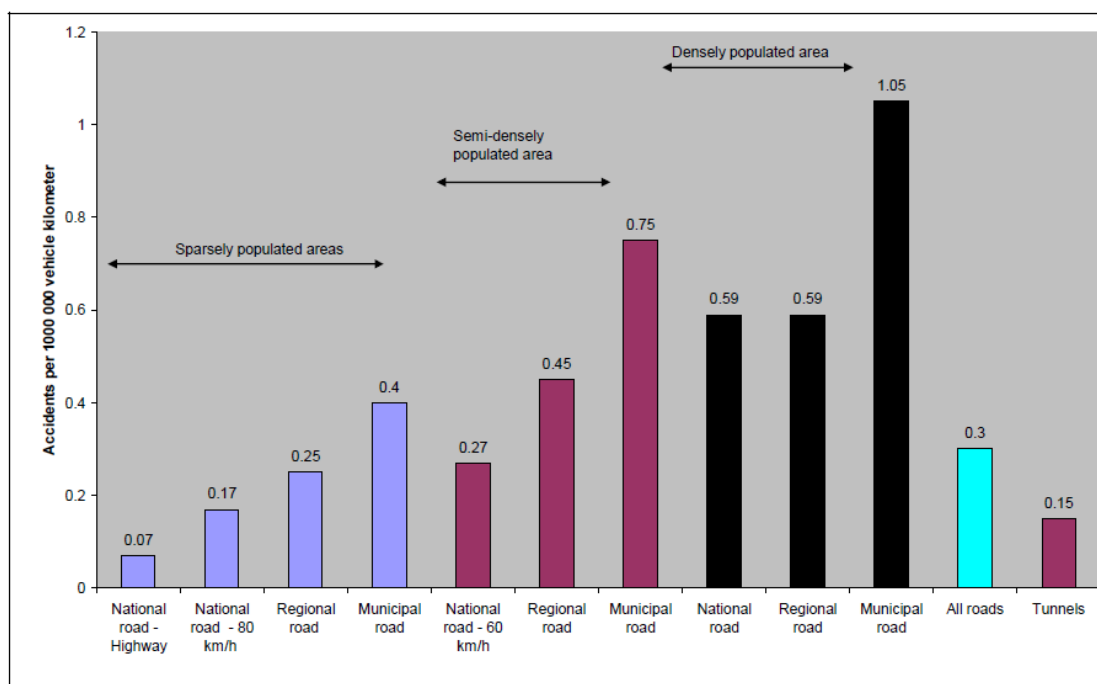
Σε αντίθεση με τα παραπάνω πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα υπόγεια δίκτυα μεταφοράς, καθώς και με τη μείωση των αποστάσεων και του χρόνου μεταφοράς, υπάρχουν ακόμα πολλοί που αμφισβητούν την ασφάλεια που προσφέρουν αυτές οι υπόγειες κατασκευές. Πολύ μεγάλο ρόλο παίζει ο ανθρώπινος παράγοντας, κυρίως από ψυχολογικής απόψεως, καθώς σημαντικός αριθμός ανθρώπων αισθάνεται άβολα όταν οδηγεί μέσα σε μια σήραγγα ή απλά όταν παρευρίσκεται σε κάποιον υπόγειο χώρο. Βέβαια, αυτό εξηγείται από την έλλειψη φυσικού φωτισμού που περιορίζει την ικανότητα του προσανατολισμού και της ορθής αντίληψης του τόπου και του χρόνου καθώς και από το φόβο πιθανού ατυχήματος ή πρόκληση φωτιάς μέσα σε αυτόν τον περιορισμένο χώρο.

## **1.2 Ατυχήματα σε υπόγεια δίκτυα μεταφορών**

Σε σύγκριση με ατυχήματα σε ανοικτά τμήματα του οδικού δικτύου υπάρχει η αίσθηση ότι οι συνέπειες των ατυχημάτων μπορεί να είναι χειρότερες σε μια σήραγγα. Ωστόσο, οι διεθνείς έρευνες δείχνουν ότι οι σήραγγες έχουν σχετικά λιγότερα ατυχήματα με τραυματισμό σε σχέση με τα ανοικτά τμήματα του οδικού δικτύου (Brilon & Lemke, 2000, Nusbaumer, 2007). Σύμφωνα με τον Høj (2006), οι θάνατοι σε σήραγγες είναι μόνο ένα μικρό μέρος των θανατηφόρων ατυχημάτων

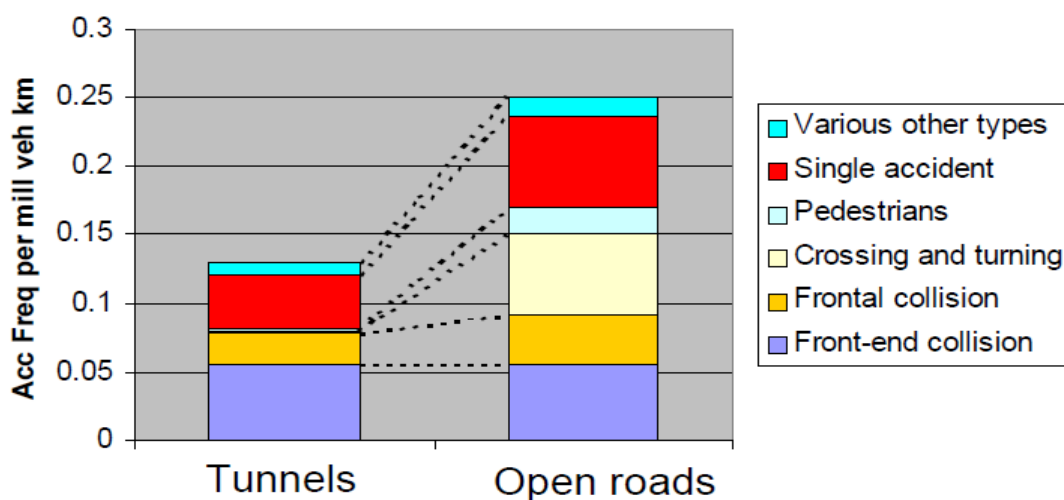
που συμβαίνουν στα μεταφορικά δίκτυα, όπου υπολογίζεται ότι στους δρόμους χάνονται περίπου 150.000 ζωές ετησίως στην Ευρώπη.

Οι διαθέσιμες μελέτες και οι στατιστικές δείχνουν ότι τα τροχαία ατυχήματα είναι σχετικά σπάνια στις σήραγγες. Μια ανάλυση των ατυχημάτων στο εθνικό οδικό δίκτυο της Ελβετίας μεταξύ 1992 και 1999 αποκαλύπτει ότι το μέσο ποσοστό των ατυχημάτων σε σήραγγες είναι 0,35 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.κm, σε σύγκριση με 0,47 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.κm σε ανοιχτούς δρόμους (Salvisberg *et al.*, 2004). Αντίστοιχη είναι και η εικόνα για την περίπτωση της Νορβηγίας. Στην Εικόνα 1.1 παρουσιάζεται η συχνότητα των τροχαίων ατυχημάτων σε σήραγγες στη Νορβηγία. Σύμφωνα με τα στοιχεία είναι συγκρίσιμη με εκείνη των ατυχημάτων σε εθνικές οδούς υψηλής ταχύτητας σε αραιοκατοικημένες περιοχές (όπου βρίσκονται πολλές από τις μεγαλύτερες οδικές σήραγγες Νορβηγίας). Παρατηρείται μάλιστα η συχνότητα των ατυχημάτων είναι μισή σε σχέση με τα ατυχήματα που γίνονται σε όλο το οδικό δίκτυο της χώρας.



Εικόνα 1. 1 Σύγκριση συχνότητας ατυχημάτων σε σήραγγες με ανοικτά τμήματα στη Νορβηγία (OECD, 2006)

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.2, η μειωμένη πιθανότητα ατυχημάτων σε σήραγγες μπορεί να εξηγηθεί από την απουσία μιας σειράς εξωτερικών παραγόντων κινδύνου - διασταυρώσεις, αλληλεπίδραση με άλλους χρήστες όπως οι πεζοί ή τα ποδήλατα, κατολισθήσεις πετρωμάτων, κακοκαιρία, κλπ. Την ίδια στιγμή οι συνθήκες μετακίνησης είναι καλύτερες, με αρτιότερους δρόμους - λιγότερες καμπύλες και μικρότερη κλίση (Elvik et al., 2000), χαμηλότερο όριο ταχύτητας στις σήραγγες και πιο προσεχτική οδήγηση (Salvisberg et al., 2004 ). Τέλος, υπάρχουν λιγότερα διαθέσιμα στοιχεία σχετικά με άλλες πηγές κινδύνου, όπως οι ελλείψεις υποδομής των σηράγγων ή οι βλάβες σε οχήματα, οι οποίες φαίνεται να είναι η αιτία της πλειοψηφίας των επιβλαβών γεγονότων. Από την Εικόνα 1.2 παρατηρείται επίσης ότι η συχνότητα πρόκλησης ατυχήματος που εμπλέκεται ένα όχημα και των νωτομετωπικών συγκρούσεων, παραμένει η ίδια στις σήραγγες και στο υπόλοιπο οδικό δίκτυο.



Εικόνα 1. 2 Συχνότητα αιτίων ατυχημάτων σε σήραγγες και ανοικτά τμήματα (Hoj, 2006)

### 1.3 Χαρακτηριστικά ατυχήματα σε υπόγεια δίκτυα μεταφορών

Η πρόσφατη ιστορία των ατυχημάτων σε σήραγγες δημιούργησε αμφιβολίες για την ασφάλεια αυτών των υποδομών από το ευρύ κοινό. Η πιθανότητα αυτά τα



ατυχήματα να κλιμακωθούν σε σημαντικά γεγονότα είναι χαμηλή (OECD, 2006), ωστόσο, οι συνέπειες των ατυχημάτων αυτών μπορεί να είναι σοβαρές όσον αφορά στα θύματα, στις υλικές ζημιές στη υποδομή και στις επιπτώσεις στην οικονομία των μεταφορών.

Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένα χαρακτηριστικά ατυχήματα που έχουν συμβεί κατά τη διάρκεια λειτουργίας κάποιων οδικών, σιδηροδρομικών και υπόγειων αστικών σηράγγων.

### **1.3.1 Ατυχήματα σε οδικές σήραγγες**

Ένα από τα πιο αξιοσημείωτα ατυχήματα σε οδικές σήραγγες ήταν η πυρκαγιά στη σήραγγα του Mont Blanc μεταξύ της Γαλλίας και της Ιταλίας στις 24 Μαρτίου 1999. Το ατύχημα προκλήθηκε από πυρκαγιά στη μηχανή ενός φορτηγού που μετέφερε αλεύρι και μαργαρίνη. Ο οδηγός σταμάτησε το φορτηγό, στη μέση της σήραγγας, και προσπάθησε να σβήσει τη φωτιά, αλλά η φωτιά γρήγορα επεκτάθηκε. Το σύστημα εξαερισμού οδήγησε τα αέρια καύσης προς τη γαλλική έξοδο της σήραγγας, όπου σχηματίστηκε ένα παχύ στρώμα καπνού και άκαυστων αερίων.



**Εικόνα 1. 3 Σήραγγα Mont Blanc μετά το ατύχημα**

Οι υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης δεν είχαν καμία πληροφορία για το μέγεθος της φωτιάς ή τον αριθμό των οχημάτων που εμπλέκονταν στο ατύχημα και απέτυχε η προσπάθειά τους να φτάσουν στο φλεγόμενο φορτηγό. Τα καταφύγια δεν άντεξαν τη θερμότητα της φωτιάς, δεν υπήρχε βοηθητική σήραγγα, και τα αυτοκίνητα συνέχισαν να εισέρχονται στη σήραγγα ακόμα και αφού εντοπίστηκε η πυρκαγιά. Η φωτιά συνέχισε να καίει για 53 ώρες, φτάνοντας θερμοκρασίες περίπου 1000°C, με αποτέλεσμα την τήξη της ασφάλτου και την κατάρρευση της μόνιμης επένδυσης. Συνολικά 39 άτομα έχασαν τη ζωή τους, κυρίως από ασφυξία, και η άμεση ζημία εκτιμήθηκε σε περίπου 200 εκ. ευρώ. Η σήραγγα δεν λειτούργησε μέχρι τον Μάρτιο του 2002 (Salvisberg et al., 2004).

Στις 29 Μαΐου 1999, δύο μήνες μετά το ατύχημα στη Mont-Blanc, στη σήραγγα Tauern στην Αυστρία, ξέσπασε πυρκαγιά μετά τη σύγκρουση φορτηγού με οχήματα που περίμεναν σε φανάρι, συμπεριλαμβανομένου κι ενός φορτηγού φορτωμένου με σπρέι το οποίο και εξερράγη. Ακόμα 24 οχήματα έπιασαν στη συνέχεια φωτιά. Ο καπνός που δημιούργησε η πυρκαγιά αρχικά παρέμεινε κατά μήκος της οροφής, κάτι που επέτρεπε στους ανθρώπους την έξοδο από το τούνελ, αλλά αρκετές εκρήξεις που προκλήθηκαν στη συνέχεια αύξησαν τόσο πολύ τη θερμοκρασία και τον καπνό που ήταν αδύνατο να κρατηθεί το οδόστρωμα χωρίς καπνό. Οκτώ άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους ως άμεση συνέπεια της σύγκρουσης, ενώ τέσσερις άλλοι έχασαν τη ζωή τους στην πυρκαγιά μετά το ατύχημα (A. Leitner, 2001). Οι οικονομικές απώλειες υπολογίστηκαν στα 36 εκατ. Ευρώ (Salvisberg et al., 2004).



Εικόνα 1. 4 Σήραγγα Mont Blanc μετά το δεύτερο ατύχημα

Δύο χρόνια αργότερα, στις 24 Οκτωβρίου 2001, άλλο ένα σοβαρό ατύχημα συνέβη στη σήραγγα του St.Gotthard στην Ελβετία, μια από τις μεγαλύτερες οδικές σήραγγες στον κόσμο, με πολύ υψηλή πυκνότητα κυκλοφορίας (21 000 οχήματα / ημέρα το 1999). Το ατύχημα προκλήθηκε από τη σύγκρουση δύο φορτηγών, ένα από τα οποία μετέφερε ελαστικά και μουσαμάδες που έπιασε φωτιά. Οι πυροσβέστες δεν μπόρεσαν να εισέλθουν στη σήραγγα μετά το ατύχημα λόγω των υψηλών θερμοκρασιών και του καπνού. Ωστόσο, η εύρυθμη λειτουργία των μέτρων ασφαλείας περιόρισε τις απώλειες. Η ύπαρξη βοηθητικής σήραγγας βοήθησε στη διάσωση των οδηγών, αυτόματες μπάρες σταμάτησαν την είσοδο επιπλέον αυτοκινήτων στη σήραγγα ενώ τα συστήματα εξαερισμού λειτούργησαν σωστά και τα σωστικά συνεργεία επενέβησαν έγκαιρα. Παρόλα αυτά, 11 άτομα έχασαν τη ζωή τους, κατά κύριο λόγο από ασφυξία. Εκτιμάται ότι το κόστος επισκευής της σήραγγας αλλά και το κόστος των οχημάτων που καταστράφηκαν ανήλθε σε 12 εκατ. Ευρώ (Salvisberg *et al.*, 2004).



**Εικόνα 1. 5 Φωτιά σε εξέλιξη στη σήραγγα St. Gotthard**

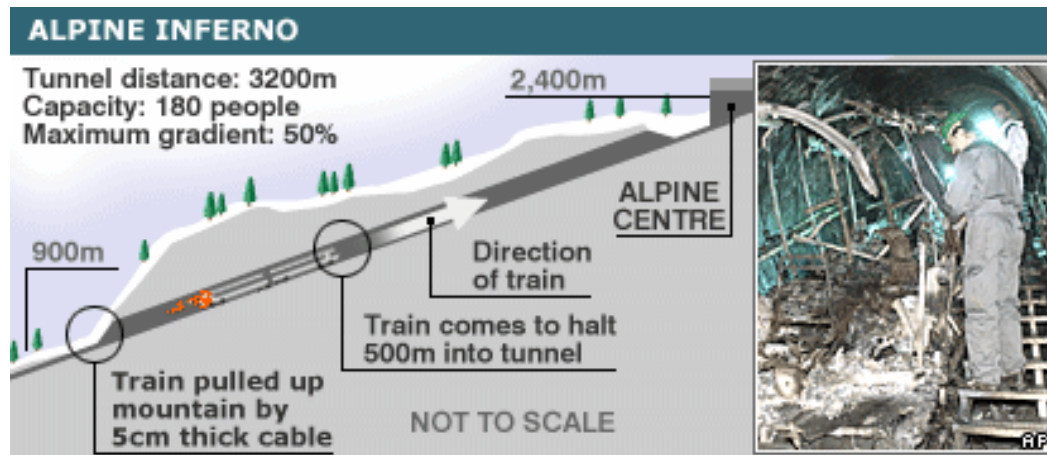
### 1.3.2 Ατυχήματα σε σιδηροδρομικές σήραγγες

Στις 17 Ιουνίου 1972 στην αρκετά παλιά σήραγγα Vierzy μεταξύ Παρισιού Gare de Nord και Soissons, τμήματα της οροφής κατέρρευσαν με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η διέλευση τρένων. Ταυτόχρονα, τρένα και από τις δύο κατευθύνσεις διασχίζουν τη σήραγγα και συγκρούστηκαν με τα κομμάτια της οροφής αλλά και μεταξύ τους. Δεν υπήρχε κανένα σημάδι από το ατύχημα έξω από τη σήραγγα, εκτός από το κώδωνα κινδύνου σε μια ενεργοποιημένη ισόπεδη διάβαση. Το έργο της διάσωσης ήταν πολύ δύσκολο λόγω του φόβου για περαιτέρω κατολισθήσεις, της έλλειψης χώρου και του ανεπαρκούς εξοπλισμού. Ο απολογισμός ήταν 108 νεκροί και 240 τραυματίες. Σύμφωνα με τις αρχές δύο ήταν οι πιθανές αιτίες:

- είτε οι δονήσεις που προκλήθηκαν από την ταυτόχρονη διέλευση των τρένων
- είτε οι εργασίες συντήρησης που γινόντουσαν στη σήραγγα (lotsberg.net).

Στις 23 Δεκεμβρίου 1984 μια βόμβα εξερράγη σε μια επιβατική αμαξοστοιχία στο κέντρο της σήραγγας San Benedetto μεταξύ της Μπολόνια και της Φλωρεντίας. Η έκρηξη κατέστρεψε εντελώς 2 αμαξοστοιχίες, αλλά δεν αναπτύχθηκε μεγάλη πυρκαγιά. Χρειάστηκαν όμως, περισσότερες από 2 ώρες πριν η ομάδα διάσωσης φτάσει τους τραυματισμένους επιβάτες στη σήραγγα, με αποτέλεσμα να χάσουν τη ζωή τους 15 άνθρωποι και να τραυματιστούν περισσότεροι από 200. Οι αιτίες για τη μεγάλη καθυστέρηση των σωστικών συνεργείων ήταν η πολύ μεγάλη διαδρομή, τα σκορπισμένα κομμάτια από τα συντρίμια, η βλάβη της κύριας ηλεκτρικής παροχής και το απόλυτο σκοτάδι (lotsberg.net).

Μια ειδική περίπτωση είναι η φωτιά στη σήραγγα Kargun στην Αυστρία, στις 11 Νοεμβρίου 2000, σε ένα τρένο τελεφερίκ που μεταφέρει τουρίστες στο χιονοδρομικό κέντρο Kitzsteinhorn. Η πυρκαγιά πιθανότατα ξεκίνησε από μια ελαττωματική εγκατάσταση θέρμανσης στο πίσω μέρος του τρένου και εξαπλώθηκε γρήγορα στο πλαστικό δάπεδο.



Εικόνα 1. 6 Απεικόνιση ατυχήματος Karrun

Λόγω της φωτιάς το τρένο σταμάτησε 600m από την είσοδο στο εσωτερικό της μήκους 3,2km σήραγγας (Εικόνα 1.6). Τα φώτα έσβησαν, και οι πόρτες στην αρχή ήταν αδύνατο να ανοίξουν. Κάποιες από τις πόρτες έγινε δυνατό να ανοίξουν ύστερα από λίγο. Ωστόσο η διατομή της σήραγγας είναι πολύ μικρή (διαμέτρου 3,6 m) και ο χώρος στο πλάι πολύ περιορισμένος. Οι επιβάτες προσπάθησαν να διαφύγουν ανεβαίνοντας τη σήραγγα καθώς η απόσταση από την πάνω έξοδο ήταν η πιο σύντομη, αλλά ο καπνός και τα ζεστά αέρια προκάλεσαν το θάνατό τους. Μόνο 12 από τους 167 επιβάτες κατάφεραν να διασωθούν καθώς βγήκαν νωρίς από ένα σπασμένο παράθυρο και απομακρύνθηκαν προς τα κάτω(lotsberg.net).

Η πυρκαγιά στη σήραγγα της Μάγχης της 18ης Νοεμβρίου 1996 προκλήθηκε σε ένα τρένο που μετέφερε φορτηγά οχήματα και τους οδηγούς τους, από τη Γαλλία προς τη Μεγάλη Βρετανία.

Η φωτιά, σε ένα από τα φορτηγά που μεταφέρονταν, ξεκίνησε αφού το τρένο είχε φορτωθεί και λίγο πριν εισέλθει στη σήραγγα. Οι φλόγες είχαν παρατηρηθεί από τους φρουρούς ασφαλείας λίγο πριν από το τρένο μπει στο υπόγειο τμήμα. Παρά το γεγονός ότι χτύπησε ο συναγερμός, το τρένο ήταν αρκετά μέσα στο τούνελ. Ο οδηγός προσπάθησε να οδηγήσει το τρένο στο άλλο άκρο, αλλά μια ένδειξη για βλάβη ανάγκασε τον οδηγό να κάνει μια ελεγχόμενη στάση στη σήραγγα. Ο οδηγός

προσπάθησε να απασφαλίσει το βαγόνι που μετέφερε το φορτηγό αλλά δεν τα κατάφερε. Λόγω της στάσης οι φλόγες κατέστρεψαν ηλεκτρικά καλώδια με αποτέλεσμα να μην μπορεί να ξεκινήσει το τρένο. Μετά από περίπου είκοσι λεπτά έκθεσης στον καπνό, οι επιβάτες και το πλήρωμα απομακρύνθηκαν στην παρακείμενη σήραγγα υπηρεσίας.

Κανείς δεν σκοτώθηκε κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς, αν και επτά άτομα μεταφέρθηκαν στο νοσοκομείο που πάσχουν από εισπνοή καπνού. Η πυρκαγιά κατέστρεψε μια ατμομηχανή και δέκα φορτηγά και προκάλεσε μεγάλες ζημιές σε περίπου ένα χιλιόμετρο της υποδομής της σήραγγας.

Μετά την πυρκαγιά, η Eurotunnel κάνει σημαντικές αλλαγές σε διαδικασίες ασφαλείας της.



**Εικόνα 1. 7 Το καμμένο βαγόνι μετά το ατύχημα στη σήραγγα της Μάγχης**

### 1.3.3 Ατυχήματα σε σήραγγες Μετρό

Στις 20 Οκτωβρίου 1975 στην πόλη του Μεξικού, μετά από νωτομετωπική σύγκρουση συρμών, έχασαν τη ζωή τους 34 άνθρωποι και 119 τραυματίστηκαν. Αιτία αποτέλεσε η λάθος σήμανση του προπορευόμενου τρένου που όταν ενεργοποίησε την έκτακτη πέδηση, με αποτέλεσμα το τρένο που ακολουθούσε να μην σταματήσει. Η σύγκρουση έγινε με μεγάλη ταχύτητα και ένα από τα βαγόνια βρέθηκε πάνω από τα άλλα και κατέστρεψε την οροφή (lotsberg.net).

Το πιο πρόσφατο σοβαρό ατύχημα έγινε στο υπόγειο μετρό Daegu στην Κορέα στις 18 Φεβρουαρίου 2003. Κατά τη διάρκεια μιας εμπρηστικής επίθεσης, εύφλεκτο υγρό διασκορπίστηκε σε κάποιο βαγόνι. Η φωτιά εξαπλώθηκε γρήγορα και στα υπόλοιπα βαγόνια αλλά και σε ένα δεύτερο συρμό, που έφθασε στο σταθμό μετά την έναρξη της πυρκαγιάς (Εικόνα 1.7). Το σύστημα φωτισμού έσβησε αυτόματα όταν η πυρκαγιά ξεκίνησε, αφήνοντας εκείνους που προσπαθούσαν να ξεφύγουν στο σκοτάδι. Ο τελικός απολογισμός ήταν 198 νεκροί και 147 τραυματίες (Dong-A Ilbo, 2003).



Εικόνα 1. 8 Συρμός μετά το ατύχημα στο μετρό Daegu

Εκτροχιασμός συρμού σημειώθηκε στη Βαλένθια στις 3 Ιουλίου 2006, μεταξύ των σταθμών Jesús και Plaza d'Espanya. Τουλάχιστον 43 άνθρωποι σκοτώθηκαν και περισσότεροι από 47 τραυματίστηκαν σοβαρά. Δεν ήταν αμέσως φανερό τι προκάλεσε τη συντριβή, που συνέβη σε μια στροφή λίγο έξω από τον σταθμό του Jesús. Ωστόσο, τα στοιχεία από το μαύρο κουτί του τρένου έδειξαν ότι η ταχύτητα του τρένου στο σημείο εκτροχιασμού ήταν 80 km/h, γεγονός που σημαίνει ότι ταξίδευε με διπλάσια ταχύτητα του επιτρεπόμενου ορίου των 40 km/h στη συγκεκριμένη θέση. Ελαττωματικοί τροχοί ή ακόμη και η πιθανή κατάρρευση τοιχωμάτων της σήραγγας θεωρήθηκαν επίσης ως πιθανές αιτίες του δυστυχήματος (Dong-A Ilbo, 2006).

#### **1.4 Ελάχιστα επίπεδα ασφάλειας στις ευρωπαϊκές οδικές σήραγγες**

Τα τελευταία έτη το θέμα της λειτουργίας και ασφάλειας των σηράγγων έχει απασχολήσει πολλά αρμόδια όργανα και Οργανισμούς στην Ευρώπη αλλά και τις υπηρεσίες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής με αποτέλεσμα την χρηματοδότηση αρκετών έργων έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης με στόχο την αντιμετώπιση μιας σειράς ζητημάτων. Μεταξύ αυτών των έργων περιλαμβάνονται τα θέματα ομογενοποίησης των προδιαγραφών σχεδιασμού των σηράγγων, του καθορισμού του ελάχιστου εξοπλισμού ανάλογα με το είδος και τις συνθήκες λειτουργίας της σήραγγας, της προτυποποίησης της σήμανσης και σηματοδότησης καθώς και του τρόπου οργάνωσης και διαχείρισης των σηράγγων αλλά και του ελέγχου της ασφάλειάς τους.

Σημαντικό πρόβλημα είναι η συνύπαρξη νέων και παλαιών σηράγγων που έχουν σχεδιασθεί και κατασκευασθεί με διαφορετικά πρότυπα τόσο σε ότι αφορά την κατασκευή όσο και τι αφορά τον εξοπλισμό τους. Πρόσφατα εγκρίθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο στα πλαίσια της Πολιτικής της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την Ασφάλεια των Σηράγγων σχετική Οδηγία που αφορά πολλά από τα παραπάνω ζητήματα.



Η οδηγία 2004/54/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 29ης Απριλίου 2004, σχετικά με τις ελάχιστες απαιτήσεις ασφαλείας για τις σήραγγες του Διευρωπαϊκού Οδικού [Επίσημη Εφημερίδα L 167, 30.04.2004], συνοπτικά αναφέρει:

Οι σήραγγες αποτελούν σημαντικές υποδομές οι οποίες διευκολύνουν την επικοινωνία μεταξύ των περιφερειών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) και είναι συνεπώς αναγκαίες για τις μεταφορές μεγάλων αποστάσεων και για την ανάπτυξη των περιφερειακών οικονομιών.

Ωστόσο, τα ατυχήματα τα οποία συμβαίνουν μέσα στις σήραγγες, ιδιαίτερα οι πυρκαγιές, είναι δυνατόν να έχουν δραματικές συνέπειες και να αποβούν εξαιρετικά επαχθή από πλευράς ανθρώπινων ζωών, αύξησης της συμφόρησης, της ρύπανσης και των εξόδων αποκατάστασης.

Στο πλαίσιο αυτό, η Επιτροπή, προβληματισμένη από την αύξηση της συχνότητας των ατυχημάτων, έχει ανακοινώσει στη Λευκή Βίβλο με τίτλο «Η ευρωπαϊκή πολιτική των μεταφορών με ορίζοντα το 2010: η ώρα των αποφάσεων» ελάχιστες απαιτήσεις ασφαλείας που εφαρμόζονται στις σήραγγες του διευρωπαϊκού οδικού δικτύου.

Η οδηγία καθορίζει ένα σύνολο ελάχιστων εναρμονισμένων κανόνων ασφαλείας που αφορούν οργανωτικές, διαρθρωτικές, τεχνικές και λειτουργικές πτυχές.

Η οδηγία επιδιώκει όλες οι σήραγγες άνω των 500m μήκους, υπό εκμετάλλευση, υπό κατασκευή ή υπό μελέτη, οι οποίες αποτελούν τμήμα του οδικού διευρωπαϊκού δικτύου να υπόκεινται σε νέες εναρμονισμένες απαιτήσεις ασφαλείας. Οι σήραγγες με μήκος μικρότερο των 500m δεν χρειάζεται, γενικά, να είναι εξοπλισμένες με συστήματα μηχανικού εξαερισμού δεδομένου ότι οι θερμοί ατμοί των πυρκαγιών στρωματοποιούνται φυσιολογικά.

Στις νέες σήραγγες χωρίς λωρίδα έκτακτης ανάγκης, πρέπει να προβλέπονται πεζοδρόμια έκτακτων αναγκών, υπερυψωμένα ή όχι, τα οποία οι χρήστες της σήραγγας θα χρησιμοποιούν σε περίπτωση μηχανικής βλάβης ή ατυχήματος. Η διάταξη αυτή δεν εφαρμόζεται αν τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της σήραγγας

δεν το επιτρέπουν ή εάν η σχετική δαπάνη είναι δυσανάλογη προς το αποτέλεσμα και εφόσον η σήραγγα είναι μιας κατεύθυνσης και διαθέτει μόνιμο σύστημα επιτήρησης και κλεισίματος λωρίδων.

Πρέπει να υπάρχουν έξοδοι κινδύνου εάν οι αναλύσεις των σχετικών επικινδυνοτήτων, στις οποίες περιλαμβάνονται η εξάπλωση του καπνού και ταχύτητα διάδοσης υπό τις τοπικές συνθήκες, δείχνουν ότι ο εξαερισμός και τα άλλα μέτρα δεν επαρκούν για να εξασφαλίσουν την ασφάλεια των χρηστών.

Στις νέες σήραγγες πρέπει να υπάρχουν έξοδοι κινδύνου όταν ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι μεγαλύτερος από 2.000 οχήματα την ημέρα. Στις υφιστάμενες σήραγγες μήκους άνω των 1.000m και των οποίων ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι μεγαλύτερος από 2.000 οχήματα, πραγματοποιείται μελέτη για την εκτίμηση της σκοπιμότητας και της αποτελεσματικότητας της κατασκευής νέων εξόδων κινδύνου. Όταν υπάρχουν έξοδοι κινδύνου, η απόσταση μεταξύ δύο εξόδων κινδύνου δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 500m.

Η εξάπλωση του καπνού και της θερμότητας στις οδούς διαφυγής πίσω από την έξοδο κινδύνου πρέπει να προλαμβάνεται με κατάλληλα μέσα, όπως θύρες, ούτως ώστε οι χρήστες της σήραγγας να μπορούν να φθάσουν ασφαλώς στον εξωτερικό χώρο και οι υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης να έχουν πρόσβαση στη σήραγγα.

Στις σήραγγες δύο κλάδων, εφόσον οι δύο κλάδοι ευρίσκονται στο ίδιο ή σχεδόν στο ίδιο επίπεδο, οι διασυνδέσεις πρέπει να είναι κατάλληλες για τη διέλευση των οχημάτων των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης τουλάχιστον κάθε 1.500 μέτρα.

Κάθε κράτος μέλος υποδεικνύει μία ή περισσότερες διοικητικές αρχές, υπεύθυνες για την ασφάλεια εν γένει και η οποία λαμβάνει τα μέτρα που είναι αναγκαία για την διασφάλιση της συμμόρφωσης με την παρούσα οδηγία.

Η διοικητική αρχή πρέπει να μεριμνά ώστε να εξασφαλίζεται η διεκπεραίωση των ανωτέρω υποχρεώσεων:

- με τακτικό έλεγχο, δοκιμή των σήραγγων και κατάρτιση των σχετικών απαιτήσεων ασφαλείας

- με θέσπιση επιχειρησιακών οργανωτικών σχημάτων (συμπεριλαμβανομένων σχεδίων επέμβασης σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης) για την εκπαίδευση και τον εξοπλισμό των υπηρεσιών επέμβασης·
- με καθορισμό της διαδικασίας άμεσου κλεισίματος μιας σήραγγας σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης·
- με θέσπιση των αναγκαίων μέτρων περιορισμού των κινδύνων.

Για κάθε σήραγγα, ο διαχειριστής της σήραγγας υποδεικνύει έναν υπεύθυνο ασφαλείας, ο οποίος πρέπει να έχει γίνει εκ των προτέρων αποδεκτός από τη διοικητική αρχή και ο οποίος συντονίζει όλα τα μέτρα πρόληψης και προστασίας που αποβλέπουν στην ασφάλεια των χρηστών και του προσωπικού εκμετάλλευσης.

Ο υπεύθυνος ασφαλείας ασκεί τα εξής καθήκοντα:

- εξασφαλίζει τον συντονισμό των υπηρεσιών επέμβασης και συμμετέχει στην κατάρτιση των επιχειρησιακών σχεδίων·
- συμμετέχει στον σχεδιασμό, την εκτέλεση και την αξιολόγηση των επεμβάσεων σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης·
- συμμετέχει στην κατάρτιση των σχεδίων ασφαλείας και τον καθορισμό των εξοπλισμών υποδομής·
- ελέγχει την εκπαίδευση του προσωπικού εκμετάλλευσης και των υπηρεσιών επέμβασης και συμμετέχει στην οργάνωση ασκήσεων που λαμβάνουν χώρα σε τακτά χρονικά διαστήματα·
- γνωμοδοτεί επί της αδείας χρήσεως της δομής, των εξοπλισμών και της εκμετάλλευσης των σηράγγων·
- ελέγχει τη συντήρηση και επιδιόρθωση της δομής και των εξοπλισμών της σήραγγας·
- συμμετέχει στην αξιολόγηση κάθε σημαντικού συμβάντος ή ατυχήματος.

Τα κράτη μέλη οφείλουν να μεριμνούν ώστε οι έλεγχοι, οι αξιολογήσεις και οι δοκιμές να πραγματοποιούνται από τους φορείς ελέγχου.

Η διοικητική αρχή βεβαιώνει ότι οι τακτικοί έλεγχοι πραγματοποιούνται από τον φορέα ελέγχου, ούτως ώστε να εξασφαλίζεται ότι όλες οι σήραγγες που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της οδηγίας είναι σύμμορφες προς τις σχετικές διατάξεις. Το διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών ελέγχων μιας σήραγγας δεν πρέπει να υπερβαίνει τα έξι έτη.

Πραγματοποιείται ανάλυση των κινδύνων, βάσει ενιαίας μεθοδολογίας, η οποία εξειδικεύεται σε εθνικό επίπεδο, από ανεξάρτητο οργανισμό και αιτήσει της διοικητικής αρχής, για δεδομένη σήραγγα, συνεκτιμώντας το σύνολο των σχεδιαστικών πτυχών και των συνθηκών κυκλοφορίας που επιδρούν στην ασφάλεια, ιδίως δε τα χαρακτηριστικά και τον τύπο της κυκλοφορίας, το μήκος και τη γεωμετρία της σήραγγας, καθώς και τον αριθμό των βαρέων φορτηγών που προβλέπεται ότι θα διέρχονται καθημερινά.

Ανά διετία, τα κράτη μέλη οφείλουν να συντάσσουν εκθέσεις για τις πυρκαγιές στις σήραγγες και τα ατυχήματα που επηρεάζουν κατά τρόπο έκδηλο την ασφάλεια των χρηστών της οδικής σήραγγας, καθώς και τη συχνότητά τους και τα σχετικά αίτια, προβαίνουν στις σχετικές αξιολογήσεις και κοινοποιούν πληροφορίες για το ρόλο και την αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων και των μέτρων ασφαλείας.

## **1.5 Εφαρμογή μέτρων ασφαλείας σε διάφορες χώρες**

Αρκετές χώρες λαμβάνουν μέτρα με στόχο να μειώσουν δραστικά τους κινδύνους στις μεταφορές μακροπρόθεσμα, με την έναρξη της χρήσης του προγράμματος Vision Zero, πολιτικής που έχει σκοπό το μηδενισμό των θανάτων και των τραυματισμών μέχρι 2020 κυρίως για τις οδικές μεταφορές (Elvik and Amundsen, 2000). Η βασική σκέψη είναι ότι η ασφάλεια των χρηστών του οδικού δικτύου και η ανοχή στα σφάλματα θα πρέπει να ενσωματωθούν στα συστήματα μεταφοράς καθώς και να θεωρείται ο κάθε θάνατος ως «μη αποδεκτός» (OECD, 2006). Παραδείγματα εφαρμογής τέτοιων προγραμμάτων είναι το «Sustainable Safety Program» της Ολλανδίας και το «Vision Zero» που εφαρμόζεται στη Σουηδία. Και

άλλες χώρες είναι στη διαδικασία σχεδιασμού ή εφαρμογής αντίστοιχων προγραμμάτων, όπως η Νορβηγία και η Σουηδία.

Αρκετές χώρες έχουν ήδη αρχίσει την αναδιοργάνωση των τακτικών διαχείρισης των οδικών σηράγγων με σκοπό τη βελτίωση του επιπέδου ασφαλείας μετά και από κάποια σημαντικά ατυχήματα που σημειώθηκαν (OECD, 2006).

Στη Γαλλία, μετά το ατύχημα του Mont Blanc το Μάρτιο του 1999, μια επιτροπή αξιολόγησης εξέτασε όλες τις σήραγγες άνω των 1000m. Οι συστάσεις της οδήγησαν σε τροποποιήσεις των υπαρχόντων κανονισμών και του ρυθμιστικού καθεστώτος. Διμερείς συμφωνίες θα εξασφαλίσουν την εφαρμογή των κανονισμών και σε σήραγγες που βρίσκονται μεταξύ δύο χωρών (OECD, 2006).

Μετά το ατύχημα στη σήραγγα Tauern το 1999 και η Αυστρία ίδρυσε μια επιτροπή για τη σύσταση μέτρων για τη βελτίωση της ασφάλειας των σηράγγων. Η επιτροπή, με σύμβαση ορισμένου χρόνου θητείας, είχε διεπιστημονική σύνθεση και κατέθεσε τις προτάσεις σε στενή συνεργασία με τους φορείς εκμετάλλευσης των οδικών δικτύων και των περιφερειών (OECD, 2006).

Η Ελβετία έχει επίσης υιοθετήσει ισχυρά μέτρα για τον έλεγχο των οδικών εμπορευματικών μεταφορών, περιλαμβανομένης της απόφασης να μειωθεί ο αριθμός των φορτηγών που διασχίζουν την Ελβετικές Άλπεις στο δρόμο από 1,4 εκατομμύρια σε 650.000 ετησίως (OECD, 2006).

Η πολυμερής συνεργασία ενισχύθηκε περαιτέρω μετά το ατύχημα του St. Gotthard το 2001. Οι Υπουργοί των χωρών των Άλπεων συναντήθηκαν λίγο μετά την πυρκαγιά και υπέγραψαν μια συμφωνία με σκοπό να βελτιωθεί η ασφάλεια στις σήραγγες. Δημιουργήθηκε μια ομάδα εργασίας υπό την προεδρία της Ελβετίας με σκοπό να προτείνει νέα μέτρα ασφαλείας.(OECD, 2006).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

### 2.1 Εισαγωγή

Η Διαχείριση Κίνδυνου (Risk Management) ως συγκεκριμένη τεχνική αναγνώρισης κινδύνων, εκτίμησης των συνεπειών και λήψης μέτρων μετριασμού αυτών, ξεκινάει ουσιαστικά τις δεκαετίες του 1960 και 1970 και συγκεκριμένα μετά τη ραγδαία άνοδο της πυρηνικής και χημικής βιομηχανίας (Cooke, 2009). Οι αυξημένες συνέπειες σε περίπτωση ατυχήματος, τόσο ως προς τη σοβαρότητα τους όσο και στο μέγεθος του πληθυσμού που θα επηρέαζαν, οδήγησε στην ανάγκη αντιμετώπισης του κινδύνου με τρόπο πιο οργανωμένο και επιστημονικό, ο οποίος εκτός των άλλων θα περιόριζε δραστικά τα περιθώρια για υποκειμενικές κρίσεις (πχ. τι σημαίνει αποδεκτό ρίσκο ή γενικότερα τι σημαίνει ρίσκο).

### 2.2 Ορισμοί

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η έννοια της διαχείρισης του κινδύνου σε θέματα υγείας και ασφάλειας εύλογο θα ήταν να ορισθούν κάποιες έννοιες όπως η επικινδυνότητα και ο κίνδυνος, έννοιες που πολλές φορές συγχέονται.

Σύμφωνα με τον Βρετανικό Οργανισμό Τυποποίησης British Standards Institution, (1991). **κίνδυνος** «είναι ο συνδυασμός της πιθανότητας ή συχνότητας εμφάνισης μιας επικίνδυνης κατάστασης (επικινδυνότητα - hazard) και του μεγέθους των επιπτώσεων εμφάνισής της».

Αντίστοιχα, **επικινδυνότητα** «είναι μια κατάσταση, η οποία μπορεί να συμβεί κατά τη διάρκεια ζωής ενός έργου, συστήματος ή λειτουργίας και η οποία ενέχει τη δυνατότητα να προκαλέσει ανθρώπινο τραυματισμό, καταστροφή περιουσίας, επιπτώσεις στο περιβάλλον ή οικονομική ζημιά»

Ένας άλλος ορισμός του κινδύνου δίνεται από την προδιαγραφή AS4360/1999 με την παρακάτω διατύπωση:

«Κίνδυνος είναι η πιθανότητα να συμβεί κάτι που θα είχε αρνητική επίδραση σε μια επιδιωκόμενη κατάσταση.»

Αυτή η θεώρηση του Κινδύνου διατυπώνεται συνοπτικά παρακάτω:

$$\text{ΚΙΝΔΥΝΟΣ} = \text{ΣΥΝΕΠΕΙΑ} \times \text{ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ}$$

### **2.3 Εκτίμηση κινδύνου (Risk Assessment)**

Η εκτίμηση κινδύνου είναι ουσιαστικά μια διαδικασία η οποία βοηθά στον προσδιορισμό της σοβαρότητας μιας απειλής που κρύβεται σε μία δραστηριότητα ή διαδικασία (HSE). Μερικές φορές οι μέθοδοι εκτίμησης του κινδύνου διαφέρουν μεταξύ τους, όμως στις περισσότερες περιπτώσεις περιλαμβάνουν την εκτίμηση της πιθανότητας και των συνεπειών. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι εκτίμησης του κινδύνου: ποιοτικές, ποσοτικές και ημιποσοτικές. Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούν εμπειρικά ή στατιστικά κριτήρια για να περιγράψουν, να χαρακτηρίσουν και να ταξινομήσουν τον κίνδυνο στην κατάλληλη κατηγορία της εκάστοτε κλίμακας.

### **2.4 Ανάλυση κινδύνου (Risk Analysis)**

Ανάλυση κινδύνου είναι η μεθοδολογία που συνεισφέρει στον καθορισμό των μέτρων που πρέπει να ληφθούν για τον έλεγχο των κινδύνων που υφίστανται σε μία συγκεκριμένη δραστηριότητα ή σύστημα (Τερεζόπουλος, 2003).

Η γενική μεθοδολογία Ανάλυσης Κινδύνου ακολουθεί τα παρακάτω βήματα, τα οποία φαίνονται και στην Εικόνα 2.1:



1. Καθορισμός των πηγών του κινδύνου και στη συνέχεια θεώρηση των ανεπιθύμητων ενδεχομένων γεγονότων που είναι δυνατόν να προέλθουν από κάθε μορφή κινδύνου.
2. Εκτίμηση των κινδύνων που σχετίζονται με κάθε ένα από τα ανεπιθύμητα γεγονότα που ορίστηκαν στο πρώτο βήμα.
3. Απόφαση περί αποδοχής ή μη των κινδύνων των οποίων η εκτίμηση έγινε στο δεύτερο βήμα. Σημειώνεται ότι τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για τη λήψη μιας τέτοιας απόφασης είναι δυνατόν να ορίζονται από α) την κοινωνική ευαισθησία β) το τεχνικό επιμελητήριο της εκάστοτε βιομηχανίας γ) την πολιτική της εταιρίας και δ) την τεκμηριωμένη γνώμη των τεχνικών συμβούλων.
4. Σε περίπτωση που κάποιος εκ των κινδύνων κριθεί ως μη αποδεκτός, πρέπει να γίνουν προτάσεις για τη λήψη των απαιτούμενων μέτρων ούτως ώστε το επίπεδο του εν λόγω κινδύνου να μειωθεί σε κάποια αποδεκτή τιμή.



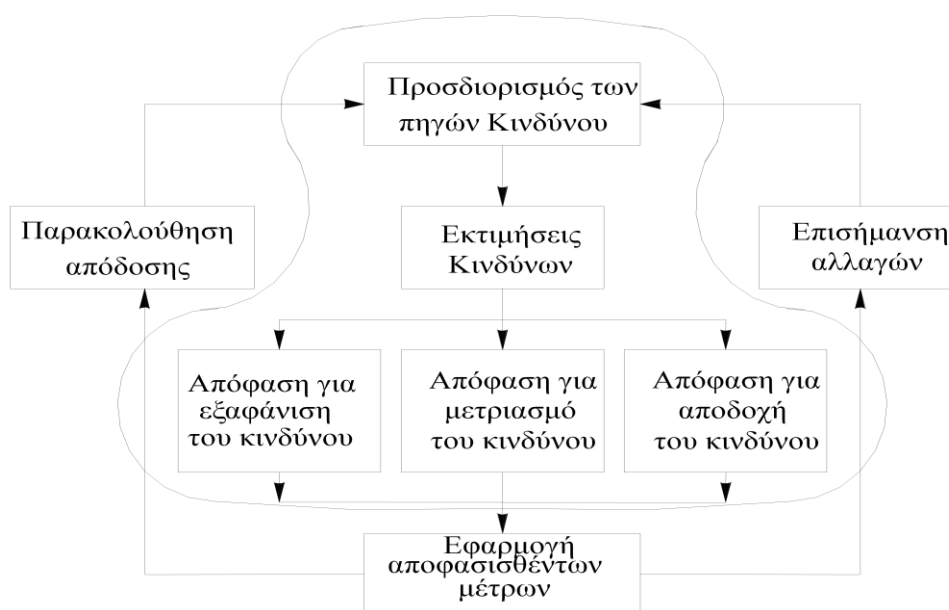
Εικόνα 2. 1 Καθορισμός της ανάλυσης κινδύνου

## 2.5 Διαχείριση κινδύνου

Ως διαχείριση κινδύνου, σύμφωνα με τον Τερεζόπουλο (2003), ορίζονται όλες οι ενέργειες που πραγματοποιούνται από μια εταιρεία ή οργανισμό και έχουν ως απώτερο σκοπό την προστασία των εργαζομένων αλλά και την αύξηση των κερδών της εταιρίας.

Ο όρος διαχείριση κινδύνου περιλαμβάνει τον εντοπισμό των πηγών κινδύνων, την εκτίμηση τους χρησιμοποιώντας μια από τις υπάρχουσες μεθόδους. Έπειτα, αποφασίζεται αν θα ληφθούν μέτρα με στόχο την εξάλειψη του κινδύνου ή τον περιορισμό του ή την αποδοχή του, λόγω του υψηλού κόστους διαχείρισής του. Το επόμενο βήμα της διαχείρισης κινδύνου περιλαμβάνει την εφαρμογή των αποφασισθέντων μέτρων.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η εκτίμηση του κινδύνου είναι τμήμα της διαδικασίας ανάλυσης του κινδύνου, οι οποίες με κάποιες άλλες ενέργειες απαρτίζουν το γενικότερο σύστημα διαχείρισης κινδύνου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.2.



Εικόνα 2. 2 Ανάλυση και εκτίμηση κινδύνου ως τμήματα του συστήματος διαχείρισης κινδύνου

## **2.6 Μέθοδοι εκτίμησης κινδύνου αστοχίας ενός συστήματος**

### **2.6.1 Ποσοτικές μέθοδοι**

Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούνται για τη λήψη αποφάσεων τύπου Ναι- Όχι περί της αποδοχής ή μη του κινδύνου που υφίσταται σε μία δραστηριότητα ή για τη σύγκριση δύο ή περισσότερων εναλλακτικών προτάσεων για τη βελτίωση του συστήματος.

Με τη βοήθεια στατιστικών δεδομένων υπολογίζεται η τιμή του κινδύνου κατά την εκτέλεση της εκάστοτε δραστηριότητας και συγκρίνεται με την καθορισμένη αποδεκτή οριακή τιμή.

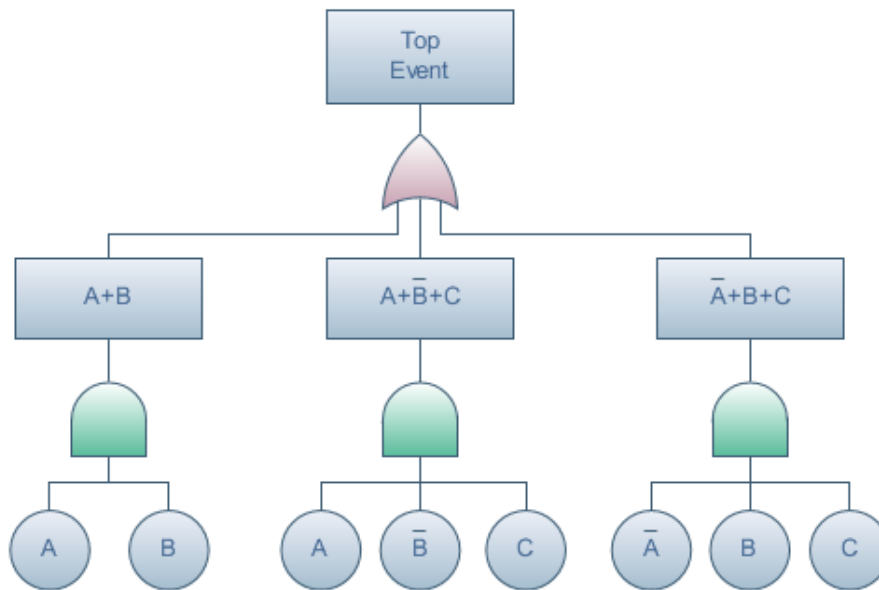
Παρακάτω παρουσιάζονται δύο από τις μεθόδους ποσοτικής εκτίμησης κινδύνου.

#### **2.6.1.1 Δένδρα Σφαλμάτων (Fault Trees)**

Αποτελούν μέθοδο για την γραφική/ αναλυτική αναπαράσταση των λογικών συνδυασμών αιτιών που δυνητικά προκαλούν ένα ανεπιθύμητο γεγονός (Δημήτρης, 2007). Η δομή ενός Δένδρου Σφαλμάτων βασίζεται στη διασύνδεση των διαφόρων επιπέδων των γεγονότων μέσω λογικών πυλών μορφής AND/OR

Βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι,

- βοηθά στην αναγνώριση κινδύνων σε πολύπλοκα συστήματα
- προσφέρει μια εποπτική εικόνα για το πώς τα σφάλματα μπορούν να οδηγήσουν σε ανεπιθύμητες συνέπειες.
- παρέχει ποσοτικά συμπεράσματα πάνω στην πιθανότητα (συχνότητα) μια τοπική αστοχία να οδηγήσει σε γενικευμένη και ακολούθως σε ατύχημα(Δημήτρης, 2007).



Εικόνα 2. 3 Διάγραμμα δένδρου σφαλμάτων

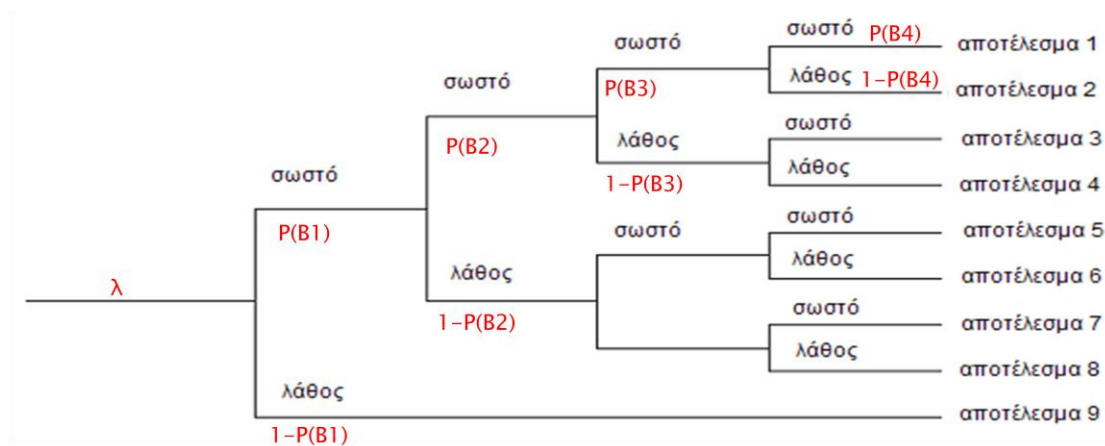
### 2.6.1.2 Δένδρα Γεγονότων (Event Trees)

Τα Δένδρα Γεγονότων είναι μια συστηματική προσέγγιση - διάγραμμα που χρησιμοποιείται για την ανάλυση των επιπτώσεων ενός ατυχήματος, μιας αστοχίας, ή γενικότερα ενός ανεπιθύμητου γεγονότος (Νικόλαος et al., 2005).

Παρέχουν ποιοτική περιγραφή των πιθανών συνεπειών που ξεκινούν από ένα ατύχημα, αστοχία, ανεπιθύμητο γεγονός και δίνουν την πιθανότητα το ατύχημα αυτό να προκαλέσει συνέπειες συγκεκριμένου τύπου. Μπορεί να συμπεριληφθούν ασφαλιστικές δικλείδες που έχουν ως στόχο να μετριάσουν τις συνέπειες από το αρχικό γεγονός και ελέγχουν το αν και κατά πόσο επιτυγχάνουν το στόχο τους.

Τελικά, η πιθανότητα υλοποίησης της εκάστοτε προκαθορισμένης συνέπειας προκύπτει ως η πιθανότητα πρόκλησης ατυχήματος (μπορεί να προκύπτει ως αποτέλεσμα ενός Fault Tree) επί την πιθανότητα επιτυχίας ή αποτυχίας των ασφαλιστικών δικλείδων, για κάθε αναπτυσσόμενη διαδρομή γεγονότων.

	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	
Τυχαιο γεγονός	Πρόσθετο γεγονός 1	Λειτουργία εμποδίου 1	Λειτουργία εμποδίου 2	Πρόσθετο γεγονός 2	Έκβαση/ συνέπεια



Εικόνα 2. 4 Διάγραμμα δένδρου συμβάντων

## 2.6.2 Ποιοτικές μέθοδοι

Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούνται για μια προκαταρκτική εκτίμηση κινδύνου η οποία κάνει χρήση των ποιοτικών δεδομένων και εξαγει ποιοτικά συμπεράσματα. Διαθέτει μια κλίμακα διακριτών βαθμίδων για την αξιολόγηση της σοβαρότητας μιας συνέπειας και μια άλλη κλίμακα διακριτών βαθμίδων για το χαρακτηρισμό της πιθανότητας εμφάνισης ενός δυσάρεστου επακόλουθου.

### Αξιολόγηση σοβαρότητας συνεπειών:

Υψηλή (High), για μόνιμες συνέπειες.

Μέση (Medium), για σημαντικές προσωρινές συνέπειες.

Χαμηλή (Low), για μη σημαντικές προσωρινές συνέπειες.

Πιθανότητα εμφάνισης επακόλουθου-συνέπειες:

Υψηλή (High), για Κινδύνους που εμφανίζονται συχνά.

Μέση (Medium), για Κινδύνους που εμφανίζονται σπανίως.

Χαμηλή (Low), για Κινδύνους που εμφανίζονται σχεδόν ποτέ.

Το επίπεδο του κινδύνου χαρακτηρίζεται υψηλό (H), μέσο (M) ή χαμηλό (L) βάσει του συνδυασμού συνέπειας πιθανότητας, όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα 2.1.

**Πίνακας 2. 1 Πίνακας βαθμολόγησης κινδύνου**

Συνέπεια	Πιθανότητα	Κίνδυνος
H	H	H
H	M	H
H	L	M
M	H	H
M	M	M
M	L	M
L	H	M
L	M	M
L	L	L

## **2.7 Αποδεκτά Επίπεδα Κινδύνου**

### **2.7.1 Αποδεκτός κίνδυνος**

Ο χαρακτηρισμός του κινδύνου ως αποδεκτού ή όχι βασίζεται στην αντίληψη του κινδύνου και των πηγών του κινδύνου. Εκτός από την αντικειμενική ποσοτική εκτίμηση που μπορεί κανείς να κάνει για τον κίνδυνο, υπάρχει και η υποκειμενική η οποία αλλάζει από άνθρωπο σε άνθρωπο.

Οι απόφαση και η κρίση των υπευθύνων για τα αποδεκτά όρια ενός κινδύνου είναι τελείως υποκειμενική. Στην πράξη δεν υπάρχει μηδενικός κίνδυνος αφού κάποιο ποσοστό κινδύνου πάντα θα υπάρχει σε κάθε προσωπική ή επαγγελματική δραστηριότητα, ο οποίος δεν είναι πάντα εφικτό να εξαλείφει τελείως (Τερεζόπουλος, 2003).

Συνεπώς οι κρίσεις και οι αποφάσεις λαμβάνονται για:

- Το επίπεδο του αποδεκτού κινδύνου
- Τι θεωρείται ασφαλές
- Τι θα ληφθεί ως αρκετά ασφαλές.

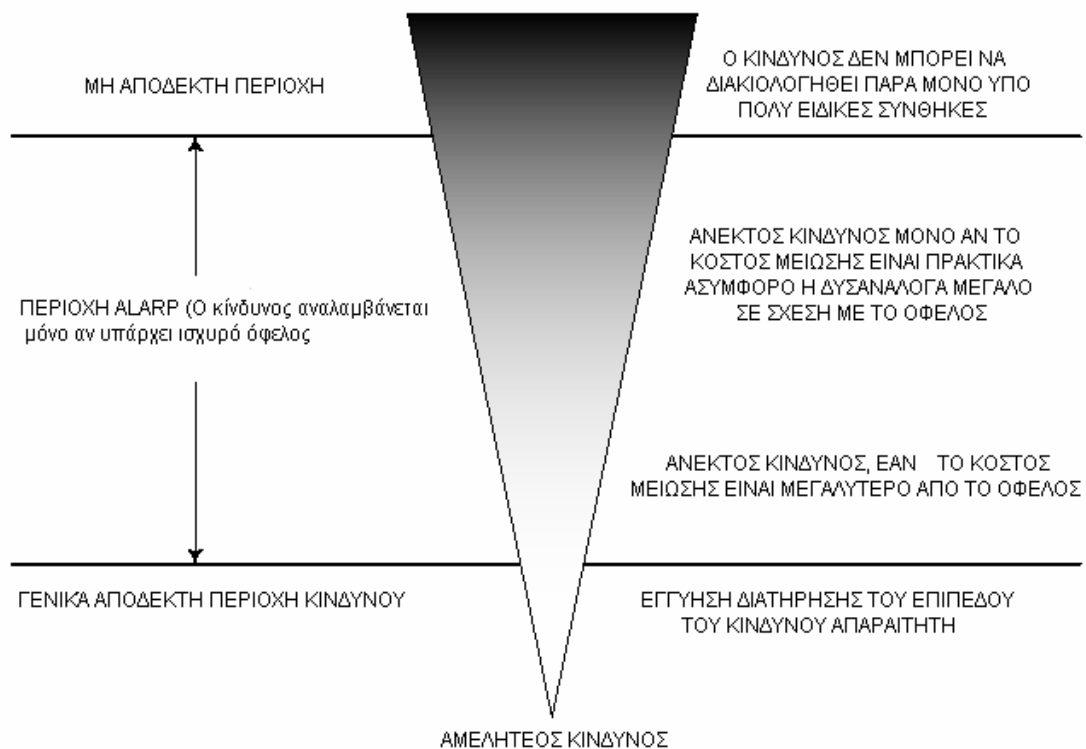
Ο αποδεκτός Κίνδυνος πρέπει να χαρακτηρίζεται με βάση το σκοπό που η συγκεκριμένη εργασία ή ενέργεια που εμπεριέχει τον Κίνδυνο επιδιώκει να υπηρετήσει και με βάση τις συνέπειες (Τερεζόπουλος, 2003).

### **2.7.2 Αρχή ALARP**

Η αρχή ALARP (As Low As Reasonably Possible), η οποία είναι πλέον ευρέως εφαρμόσιμη στον τομέα της ασφάλειας λήψης αποφάσεων, προϋποθέτει ότι οι

υπεύθυνοι για την ασφάλεια θα πρέπει να μειώσουν τους κινδύνους σε επίπεδα που είναι «τόσο χαμηλά όσο είναι πρακτικά εφικτό». Ως εκ τούτου, η αρχή προβλέπει ουσιαστική αναγνώριση του γεγονότος ότι, ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις ο κίνδυνος μπορεί να μειωθεί, πέρα από κάποιο σημείο περαιτέρω μείωση του δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα (Jones-Lee and Aven, 2011).

Θα πρέπει να τονιστεί ότι στο Ηνωμένο Βασίλειο η αρχή ALARP έχει σημασία μόνο εάν ο ενδιαφερόμενος κίνδυνος είναι κάτω από το «μέγιστο ανεκτό επίπεδο», όπως ορίζεται από το HSE (Health and Safety Executive), το οποίο για τους κινδύνους θνησιμότητας ορίζεται σε 1 στις 10.000 ετησίως για τα μέλη του κοινού και 1 στα 1000 ανά έτος για τους κινδύνους στο χώρο εργασίας. Ωστόσο, αν ο κίνδυνος είναι πάνω από το μέγιστο ανεκτό επίπεδο το HSE απαιτεί ότι ο κίνδυνος θα πρέπει να μειωθεί ή η δραστηριότητα η οποία οδήγησε σε αυτόν να διακοπεί, ανεξάρτητα από το κόστος.



Εικόνα 2. 5 Αρχή ALARP



### 2.7.3 Καμπύλες F-N

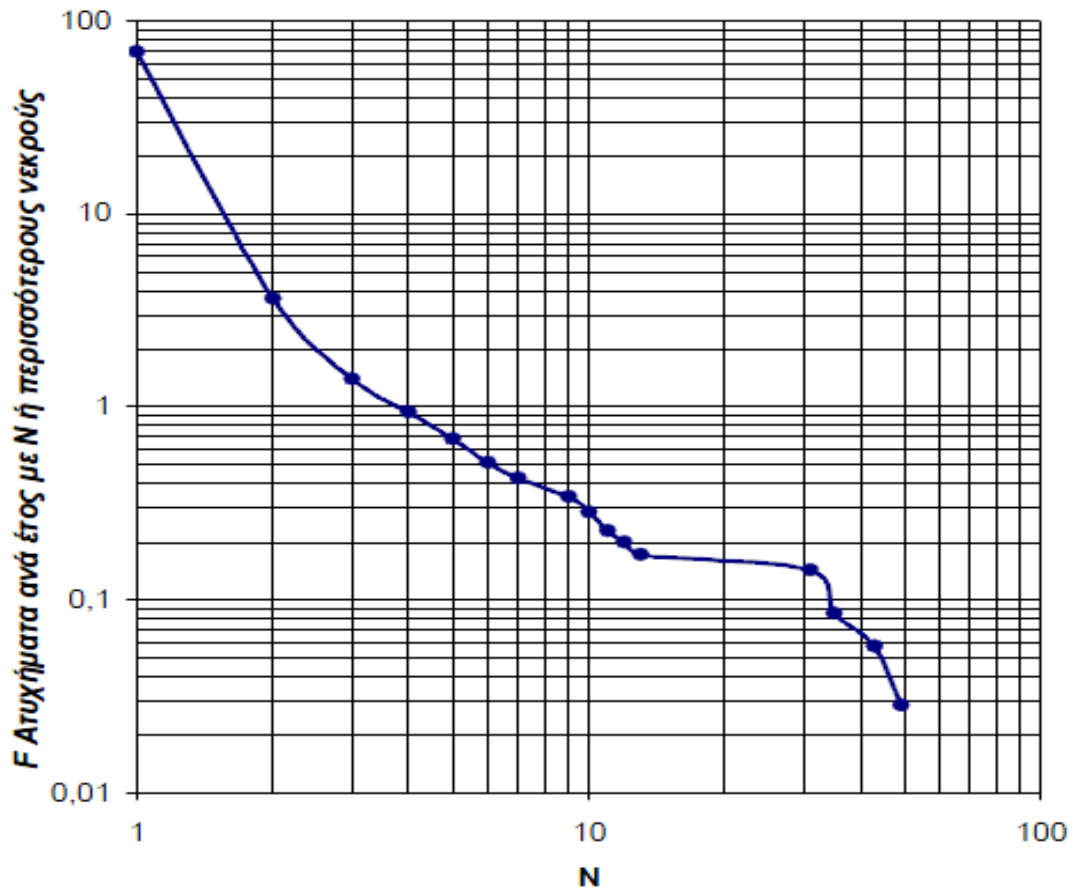
Σύμφωνα με τον Jones (1985) κοινωνικός κίνδυνος είναι η σχέση μεταξύ της συχνότητας και του αριθμού των ανθρώπων που επηρεάζονται από ένα συγκεκριμένο επίπεδο «βλάβης» σε προσδιορισμένο πληθυσμό από την πραγματοποίηση συγκεκριμένων κινδύνων.

Οι καμπύλες F-N (Frequency – Number of deaths) είναι μια γραφική παρουσίαση των πληροφοριών σχετικά με τη συχνότητα των θανατηφόρων ατυχημάτων σε ένα σύστημα και την κατανομή του αριθμού των θανάτων σε τέτοιου είδους ατυχήματα. Συσχετίζονται η συχνότητα F των ατυχημάτων με N ή περισσότερους θανάτους, όπου N κυμαίνεται πάνω από το 1 έως το μέγιστο δυνατό αριθμό των θανάτων στο σύστημα. Επειδή οι τιμές των F και N μερικές φορές έχουν μεγάλο εύρος τιμών, οι καμπύλες F-N συνήθως συντάσσονται σε λογαριθμική κλίμακα (Evans, 2003).

Για τη δημιουργία μιας καμπύλης F-N, ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

- Αρχικά προσδιορίζεται ο αριθμός των νεκρών που προκύπτουν από ένα Ατύχημα, αναλύοντας τα στατιστικά στοιχεία και καταγράφοντας τον αριθμό των νεκρών ανά ατύχημα
- Στη συνέχεια υπολογίζεται η αθροιστική συχνότητα όλων των ατυχημάτων που έδωσαν N ή περισσότερους νεκρούς, με N ακέραιο ο οποίος κυμαίνεται από 1 έως τον μέγιστο αριθμό νεκρών που μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα το ατύχημα.
- Τέλος με βάση τα παραπάνω στοιχεία σχηματίζεται η καμπύλη F-N.

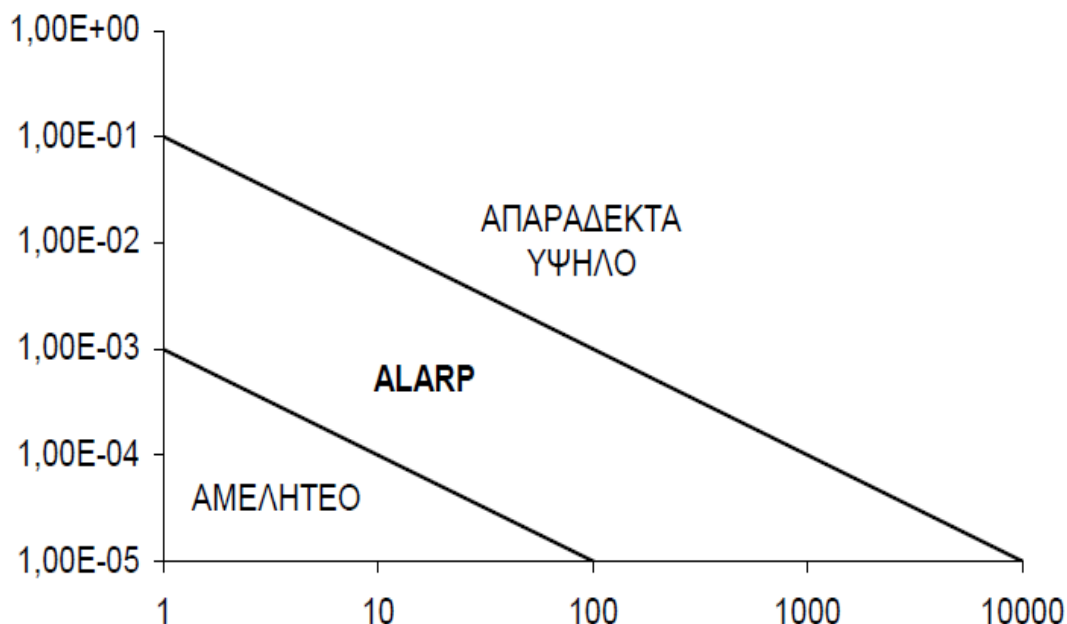
Στην Εικόνα 2.6 παρουσιάζεται η καμπύλη F-N για τα Σιδηροδρομικά ατυχήματα στην Αγγλία από το 1967 έως και το 2001 (Evans, 2003).



Εικόνα 2. 6 Καμπύλη F-N για σιδηροδρομικά ατυχήματα στη Μ. Βρετανία (1967-2001)

Σύμφωνα με τον Evans (2003) οι καμπύλες F-N αποτελούν απλά ένα μέσο για την παρουσίαση περιγραφικών πληροφοριών για τη συχνότητα των θανατηφόρων ατυχημάτων και την κατανομή των απωλειών σε αυτά. Για να επιβεβαιωθεί αν ένα σύστημα είναι ασφαλές ή όχι, έχουν δημοσιευτεί κάποια κριτήρια αποδοχής κοινωνικού ρίσκου. Ο πιο προφανής τύπος κριτηρίου είναι μια γραμμή στο γράφημα-FN. Αν η καμπύλη του συστήματος βρίσκεται εξ ολοκλήρου κάτω από τη γραμμή κριτηρίου, το σύστημα θεωρείται ως ανεκτό, αλλά εάν οποιοδήποτε μέρος της καμπύλης περάσει την γραμμή του κριτηρίου, το σύστημα θεωρείται ως μη αποδεκτό (Evans, 2003).

Ενδιαφέρον έχει ένα παράδειγμα απεικόνισης της ALARP πάνω σε ένα διάγραμμα F-N, όπως χαρακτηριστικά δίνεται στην Εικόνα 2.7.



Εικόνα 2. 7 Απεικόνιση ALARP σε διάγραμμα F-N

Σύμφωνα με τους Ball & Floyd (1998), οι καμπύλες F-N έχουν τουλάχιστον τρεις χρήσεις,

- να απεικονίσουν την ιστορική πορεία των ατυχημάτων
- να παρουσιάσουν τα αποτελέσματα ποσοτικών Αναλύσεων Κινδύνου
- να απεικονίσουν κριτήρια αποδοχής των αποτελεσμάτων μιας ποσοτικής Ανάλυσης Κινδύνου.

Τα κριτήρια αυτά περιλαμβάνουν την αποκαλούμενη «γραμμή Canvey», η οποία βασίζεται στις μελέτες που έγιναν από το HSE στη Νήσο Canvey, όπου λειτουργεί πετροχημικό εργοστάσιο, την περίοδο 1978-1981. Οι μελέτες αυτές καθιέρωσαν το “σημείο Canvey” ( $1000, 10^{-4}$ ) ως το μέτρο του εκ των πραγμάτων αποδεκτού ρίσκου. Οι αρχές του Ην. Βασιλείου σχημάτισαβ τη γραμμή που περνάει από το σημείο και έχει κλίση -1 και την ονόμασαν “γραμμή Canvey” (American Institute of Chemical Engineers, 2009). Όλα αυτά τα κριτήρια αναπτύχθηκαν κυρίως για να αξιολογήσουν

την ανεκτικότητα του κινδύνου σε επικίνδυνες περιοχές, όπως τις βιομηχανίες χημικών.

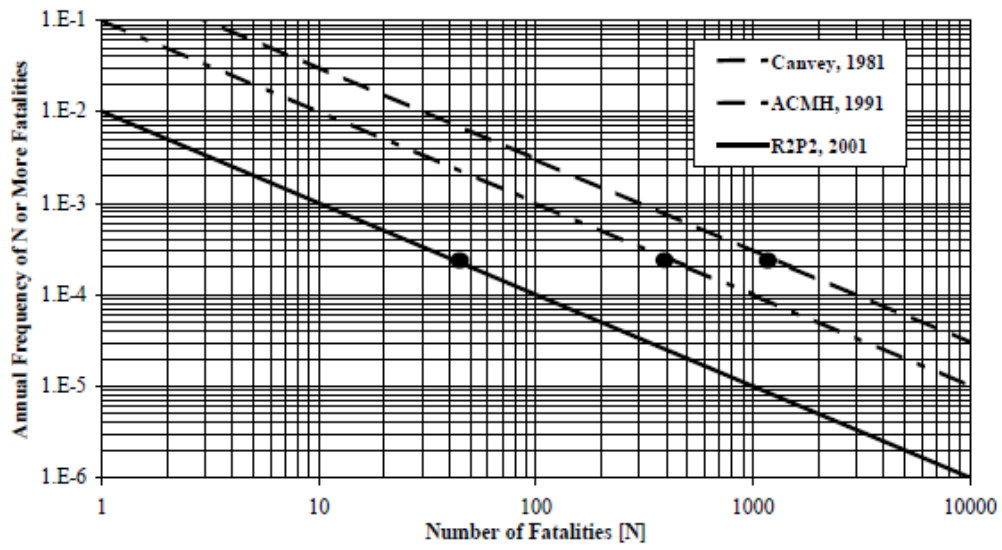
Να σημειωθεί ότι μια προσέγγιση που επικρατεί για την σύγκριση των καμπυλών αποτελεί η σύγκριση του ρίσκου μιας δραστηριότητας με αυτό που προέρχεται από κάποια άλλη δραστηριότητα και το οποίο έχει ήδη κριθεί αποδεκτό μέσα από δημόσιο διάλογο και επίσημες έρευνες.

Η ανάλυση Κόστους/ Οφέλους εφαρμόζεται μέσα στη ζώνη της ALARP, δηλαδή στην περιοχή μεταξύ των δύο ευθειών του παραπάνω σχήματος. Υψηλότερα της «πάνω» ευθείας το ρίσκο είναι πλέον πολύ μεγάλο ώστε να πρέπει να αντιμετωπισθεί ανεξαρτήτως κόστους, ενώ αντίθετα χαμηλότερα της «κάτω» ευθείας δεν έχει νόημα η εφαρμογή μέτρων περιορισμού του καθώς είναι ήδη αρκετά χαμηλό.

Η προέλευση των κοινωνικών κριτηρίων κινδύνου στο Ηνωμένο Βασίλειο μπορούν να αναχθούν στα τέλη του 1970 (Ball & Floyd, 1998). Η Advisory Committee on Major Hazards πρότεινε το 1976 ότι ένα σοβαρό ατύχημα σε μια μονάδα ήταν απίθανο να συμβεί πιο συχνά από μία φορά στα 10.000 χρόνια, πράγμα που θα μπορούσε να αποτελέσει τα όρια της αποδοχής (ACMH, 1976).

Αυτό έχει συχνά ληφθεί ως σημείο σύγκρισης για την καμπύλη FN, όπου η πιθανότητα ενός ατυχήματος στο οποίο εμπλέκονται 10 ή περισσότεροι θάνατοι δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1 στα 10.000 ανά έτος. Στη δεύτερη έκθεση Canvey (HSE, 1981), προτάθηκε ότι ένα γεγονός με 1.500 θανάτους και τη συχνότητα των  $2 \times 10^{-4}$  ανά έτος (2 σε 10.000) θα μπορούσε να κριθεί ως μη αποδεκτή.

Ωστόσο το 2001 η HSE πρότεινε ότι ο κίνδυνος ενός ατυχήματος που προκάλεσε το θάνατο 50 ατόμων και άνω με την συχνότητα 1 σε 5.000 ετησίως μπορεί να θεωρηθεί ως μη αποδεκτό. Το ευρέως αποδεκτό όριο κινδύνου προτείνεται ως γραμμή τρεις δεκάδες κάτω από το ανώτερο αποδεκτό όριο. Η εξέλιξη του ανώτερου αποδεκτού επιπέδου κινδύνου για την περίοδο 1981-2001 παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.8, και καταδεικνύει σαφώς την αξία των ALARP και τον σαφή στόχο για μείωση των ανώτερων επιπέδων ανοχής των κινδύνων (Trbojevic, 2005).



Εικόνα 2. 8 Εξέλιξη του ανώτερου αποδεκτού επιπέδου από το 1981-2001 στη Μεγάλη Βρετανία



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΧΩΡΑ**

### **3.1 Εισαγωγή**

Κατά την τελευταία δεκαετία, έχουν σημειωθεί πολλά ατυχήματα σε οδικές σήραγγες με συνέπεια την αύξηση του διεθνούς ενδιαφέροντος για τη δημιουργία προτύπων ασφάλειας, με κύριο στόχο την πρόληψη εκδήλωσης ατυχημάτων.

Έτσι, έχουν γίνει προσπάθειες σε εθνικό, ευρωπαϊκό και διεθνές επίπεδο για τη σύνταξη προτύπων ασφαλείας για τις οδικές σήραγγες. Τα συγκεκριμένα πρότυπα έχουν προκύψει από στατιστικές αναλύσεις που έγιναν μελετώντας κυρίως τα αίτια – παράγοντες εκδήλωσης των ατυχημάτων (θανατηφόρων και μη) και τα προβλήματα ασφαλείας στις σήραγγες. Στις επόμενες παραγράφους γίνεται ενδεικτική αναφορά τέτοιων στατιστικών αναλύσεων.

Τέλος, στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αρχικά αναφορά στις μεθόδους εφαρμογής της Ανάλυσης Κινδύνου σε σήραγγες για διάφορες χώρες που ανήκουν στην PIARC (World Road Association) και στη συνέχεια γίνεται προσπάθεια συλλογής όλων των δεικτών ατυχημάτων που έχουν υπολογιστεί σε σήραγγες κάποιων χωρών.

### **3.2 Ανάλυση ρίσκου για χώρες μέλη της PIARC**

Οι δείκτες ατυχημάτων δεν μπορεί να είναι οι ίδιοι για όλες τις σήραγγες. Για να υπάρξουν ορθά αποτελέσματα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως η χώρα, η περιοχή, η γεωμετρία της σήραγγας, ο φόρτος κυκλοφορίας και η χρονική περίοδος. Κάποιες χώρες χρησιμοποιούν εδώ και αρκετά χρόνια μεθόδους Ανάλυσης Κινδύνου, αλλά για αρκετές άλλες είναι καινούργια τακτική (PIARC, 2008).

Παρακάτω παρουσιάζονται οι μέθοδοι εφαρμογής της Ανάλυσης Κινδύνου σε σήραγγες για διάφορες χώρες.

### **3.2.1 Γαλλία**

Με αφορμή το τραγικό ατύχημα στη σήραγγα του Mont Blanc, οι κανονισμοί ασφαλείας επανεξετάστηκαν και πλέον ακολουθείται μια καινούργια μεθοδολογία η Specific Hazard Investigation. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στη δημιουργία σεναρίων και δίνει την δυνατότητα διερεύνησης των ποσοτικών στοιχείων, όπως ο καπνός ή ροή της φωτιάς. Στη συνέχεια γίνεται μια ποσοτική εκτίμηση της συχνότητας των γεγονότων που προκαλούν τα ατυχήματα και ακολουθεί η κατάταξη τους, η οποία οδηγεί σε τυποποιημένο πίνακα Συχνοτήτων-Συνεπειών. Στη συνέχεια πραγματοποιείται η ποσοτική ανάλυση για μια σειρά από σεσάρια που επελέγησαν από τον παραπάνω πίνακα. Η ειδική έρευνα των κινδύνων θα πρέπει να έχει ως αποτέλεσμα τη συμμόρφωση της σήραγγας με τις γαλλικές τεχνικές οδηγίες και / ή την οδηγία της ΕΕ (PIARC, 2008).

### **3.2.2 Ηνωμένο Βασίλειο**

Η χρήση της ανάλυσης κινδύνου έχει μακρά παράδοση στο Ηνωμένο Βασίλειο και η ανάλυση κινδύνου για την ασφάλεια σηράγγων έχει τυποποιηθεί από το 1978. Στο Ηνωμένο Βασίλειο γίνεται χρήση μιας αρκετά μεγάλης ποικιλίας ποιοτικών αναλύσεων (Risk Priority Number method), ντετερμινιστικών αναλύσεων σεναρίων, καθώς και ad-hoc πιθανοτικών αναλύσεων κινδύνου (Privara, 2009).



### 3.2.3 Ολλανδία

Τα τελευταία χρόνια στην Ολλανδία, για τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης των ατυχημάτων, έχει εισαχθεί μια μέθοδος ανάλυσης κινδύνου η οποία βασίζεται στη δημιουργία σεναρίων, η " Dutch scenario analysis for road tunnels". Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την εφαρμογή διαφόρων ποσοτικών χαρακτηριστικών. Η ανάλυση κινδύνου με δημιουργία σεναρίων είναι μια ντετερμινιστική μέθοδος εντοπισμού πιθανών αδύνατων σημείων της σήραγγας. Η ανάλυση αρχικά γίνεται ποιοτικά αλλά καθώς προχωράει προστίθενται και ποσοτικά δεδομένα (αριθμός ατόμων στη σήραγγα, απώλειες κ.α.). Τα προκαθορισμένα σενάρια αξιολογούνται με βάση τα κριτήρια και τα συμπεράσματα και τις συστάσεις που γίνονται. Ωστόσο, δεν γίνεται υπολογισμός κινδύνου, έτσι δεν μπορεί να υπάρξει αξιολόγηση κόστους-αποτελεσματικότητας.

Μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η Tun- Prim, μια ποσοτική ανάλυση κινδύνου που χρησιμοποιείται κυρίως σε σήραγγες με διπλή κυκλοφορία και διαμήκη αερισμό. Αυτή η μέθοδος υπολογίζει με τη βοήθεια στατιστικών στοιχείων, τις συχνότητες των αρχικών συμβάντων για τη δημιουργία δένδρου συμβάντων και τον υπολογισμό των συχνοτήτων των διάφορων σεναρίων.

Από το 2004 έως το 2007 καταγράφηκαν 39 ατυχήματα με σημαντικές συνέπειες σε σήραγγες αυτοκινητοδρόμου στην Ολλανδία. Στα ατυχήματα αυτά, τρεις άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους και 49 τραυματίστηκαν. Τα αυτά ατυχήματα στις οδικές σήραγγες για το χρονικό διάστημα των 3 ετών αποτέλεσαν το 1,1 % του συνολικού αριθμού ατυχημάτων που συνέβησαν στους αυτοκινητοδρόμους της Ολλανδία – 3.444 εγγεγραμμένα ατυχήματα. Συνεπώς το ποσοστό των ατυχημάτων σε σήραγγες είναι πολύ μικρός και είναι συνάρτηση του έτους, μιας και 23 από τα 39 σοβαρά ατυχήματα έγιναν το 2004, ενώ το 2006 συνέβησαν μόνο 2. Ο μικρός αριθμός των ατυχημάτων που συνέβησαν στις σήραγγες μπορεί εύκολα να εξηγηθεί λόγω του

μικρού αριθμού οδικών σήραγγων που υπάρχουν στους αυτοκινητοδρόμους των Κάτω Χωρών (μόνο 15).

### 3.2.3.1 Δείκτες ατυχημάτων για συγκεκριμένες σήραγγες της Ολλανδίας από την PIARC

Στον πίνακα φαίνεται ότι αρκετές από τις σήραγγες που μελετήθηκαν περίπου την περίοδο 1989-1992 έχουν αρκετά υψηλούς δείκτες ατυχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, η σήραγγα Benelux μήκους 0,8km έχει τον μεγαλύτερο δείκτη ατυχημάτων με τιμή 1,57 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km, ενώ αρκετά υψηλούς δείκτες έχουν και οι σήραγγες Botlek και Drecht, με τιμές 1,57 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km και 1,05 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km αντίστοιχα.

Πίνακας 3. 1 Δείκτες ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες της Ολλανδίας (PIARC, 1995)

Όνομα σήραγγας	Έτη μελέτης	Τιμές για 10 <sup>6</sup> οχημ.km	
		Ατυχήματα	Ατυχήματα με τραυματίες
Schiphol 540m	1988-1992	0.8	0.1
Benelux 800m	1988-1992	1.22	0.08
Botlek 500m	1988-1992	1.57	0.13
Drecht 600m	1988-1992	1.05	0.15

### 3.2.4. Νορβηγία

Η Νορβηγία έχει 91.450 km δημοσίων οδών και 4 077 km σιδηροδρομικού δικτύου. Η χώρα διαθέτει έναν από τους υψηλότερους μέσους όρους χιλιομέτρων οδικής σήραγγας ανά κάτοικο στην Ευρώπη, με 844 σήραγγες και συνολικό μήκος αυτών 768 km. Επιπλέον, υπάρχουν 702 σιδηροδρομικές σήραγγες.

Θεωρήθηκε αναγκαίο λοιπόν να μελετηθούν τα ατυχήματα στις οδικές σήραγγες. Η ασφάλεια των σιηράγγων της Νορβηγίας αποτέλεσε επίσης αντικείμενο συζητήσεων στα μέσα ενημέρωσης. Το Υπουργείο των Δημοσίων Έργων της Νορβηγίας έλαβε την απόφαση να εκπονηθεί μελέτη για τα τροχαία ατυχήματα με βάση τα σοβαρά ατυχήματα που είχαν ήδη καταγραφεί από την αστυνομία. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι σήραγγες είναι εξίσου ασφαλείς συγκριτικά με το υψηλό επίπεδο του οδικού δικτύου της χώρας. Το ποσοστό των ατυχημάτων, ωστόσο ήταν υψηλότερο στις ζώνες εισόδου των σιηράγγων, ενώ η σοβαρότητα των ατυχημάτων είναι μεγαλύτερη στις σήραγγες σε αντίθεση με το υπόλοιπο οδικό δίκτυο (Amundsen et al., 2000).

Τα συμπεράσματα της μελέτης των Amundsen et al.(2000) βασίζονται σε δεδομένα από 587 οδικές σήραγγες, περισσότερες από τις οποίες είχαν δοθεί στην κυκλοφορία το 1992 ή νωρίτερα. Υπήρξαν και 388 σήραγγες, 66% του συνόλου, που για περίοδο 5 ετών δεν παρατηρήθηκε κανένα ατύχημα με τραυματισμό. Συνολικά 745 πρόσωπα τραυματίστηκαν σε 499 ατυχήματα που περιλαμβάνονται στην εν λόγω μελέτη.

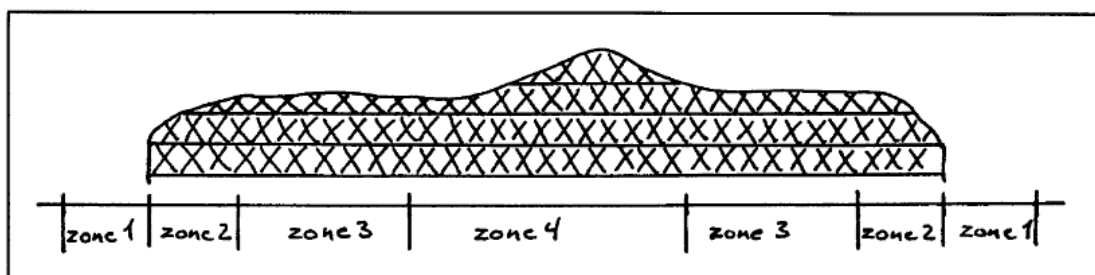
Στοιχεία σχετικά με ατυχήματα και τοποθεσίες ανακτήθηκαν από την Road Data Bank της Νορβηγίας για τα έτη 1992-1996 και ομαδοποιήθηκαν στις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες (Εικ. 3.1):

Ζώνη 1: τα πρώτα 50 m εμπρός από τα ανοίγματα της σήραγγας,

Ζώνη 2: τα πρώτα 50 m μέσα από τη σήραγγα,

Ζώνη 3: τα επόμενα 100 m μέσα στη σήραγγα,

Ζώνη 4: η μεσαία ζώνη



Εικόνα 3. 1 Κατηγοριοποίηση ζωνών σήραγγας από τη Road Data Bank της Νορβηγίας

Ο πίνακας 3.2 δείχνει ότι ο δείκτης ατυχημάτων στη ζώνη 1 είναι τρεις φορές υψηλότερος από εκείνον του της ζώνης 4, 0,30 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.κm και 0.10 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.κm αντίστοιχα. Η ζώνη 3 έχει δείκτη ατυχημάτων 0,16 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.κm σχεδόν στο μισό της ζώνης 1 που έχει δείκτη 0,30 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.κm.

Συγκρίνοντας τα παραπάνω με έρευνα που είχε διεξαχθεί το 1985 από την SINTEF(εταιρεία ερευνών στη Νορβηγία) φαίνεται ότι οι δείκτες ατυχημάτων είναι σημαντικά μειωμένοι. Πιο συγκεκριμένα για τη ζώνη 1/εισόδου από 0,86 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.κm στα 0,20 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.κm και για τη μεσαία ζώνη (Ζώνες 3 και 4 στην έρευνα των Amudsen et al.)από 0,17 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.κm ο δείκτης μειώθηκε στα 0,10-0,16 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.κm.

Πίνακας 3. 2 Δείκτες ατυχημάτων για κάθε ζώνη των σηράγγων στη Νορβηγία

Ζώνες	Αριθμός Ατυχημάτων	Δείκτες (ατυχ./10 <sup>6</sup> οχημ.κm)
Ζώνη 1	127	0.30
Ζώνη 2	95	0.23
Ζώνη 3	94	0.16
Ζώνη 4	176	0.10
Όλη η σήραγγα (εκτός ζώνης 1)	365	0.13
Όλες οι ζώνες	492	0.15

Η μελέτη επίσης δείχνει ότι η σήραγγες μεγάλου μήκους είναι ασφαλέστερες από μικρές σήραγγες. Το ποσοστό των ατυχημάτων σε σήραγγες με μήκος μικρότερο από 100m υπολογίστηκε 0,35 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km και το ποσοστό σε μεγαλύτερες από 3km σε 0,05 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km. Τελευταίο συμπέρασμα της μελέτης ήταν ότι τα ατυχήματα μέσα σε σήραγγες είναι κάπως πιο σοβαρά από ατυχήματα στο ανοιχτό οδικό δίκτυο.

#### **3.2.4.1 Υποθαλάσσιες σήραγγες στη Νορβηγία**

Από τις 844 νορβηγικές οδικές σήραγγες οι 25 είναι υποθαλάσσιες. Η έρευνα των Melby et al.(2002) εξετάζει 19 ατυχήματα με τραυματίες σε 17 σήραγγες στις υπόλοιπες 8 δεν έχουν αναφερθεί καθόλου ατυχήματα. Υπολογίζεται ο δείκτης ατυχημάτων για όλες τις υποθαλάσσιες σήραγγες είναι 0,09 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km ατυχήματα ανά 1 εκ. όχημα.km/έτος. Η σήραγγα με τον υψηλότερο δείκτη ατυχημάτων είναι η υποθαλάσσια σήραγγα του Hvaler, όπου είναι 0,45 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km.

Από τις υποθαλάσσιες σήραγγες στη Νορβηγία μόνο στο Tromsøund υπάρχει δίδυμη σήραγγα και δύο λωρίδες σε κάθε σήραγγα. Ο δείκτης ατυχημάτων στη συγκεκριμένη σήραγγα είναι 0,05 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km. Στις υπόλοιπες σήραγγες ο δείκτης είναι 0,07 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km σε όσες έχουν τρεις λωρίδες και αρκετά πιο μεγάλος 0,31 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km σε όσες έχουν δύο λωρίδες. Ωστόσο, θα πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι αυτές οι σήραγγες συχνά έχουν χαμηλή κυκλοφορία και απότομη κλίση.

Σύμφωνα με την έρευνα των Melby et al. (2002) δίνονται τα ακόλουθα:

- Ατυχήματα προκλήθηκαν μόνο σε σήραγγες μακρύτερες από 3,5km εκτός από ένα ατύχημα στη σήραγγα Fannefjord (2.750m). Ο δείκτης ατυχημάτων σε αυτές τις 9 σήραγγες είναι 0,10 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km.

- Οι 7 σήραγγες με AADT μεγαλύτερο από 1500 έχουν δείκτη ατυχημάτων 0,06 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km ενώ οι υπόλοιπες με μικρότερη κυκλοφορία έχουν δείκτη 0,21 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km.
- Οι 7 σήραγγες με κλίση 9-10% έχουν δείκτη ατυχημάτων 0,18 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km ενώ οι σήραγγες με κλίση 8-8,5% έχουν δείκτη 0,06 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km.
- Τέλος, αναφέρεται ότι αντίθετα με τις απλές οδικές σήραγγες τα 18 από τα 19 ατυχήματα προκλήθηκαν στο εσωτερικό των σηράγγων (βλ. Ζώνη 4 στην παραπάνω έρευνα).

#### **3.2.4.2 Δείκτες ατυχημάτων για συγκεκριμένες σήραγγες της Νορβηγίας από την PIARC**

Στον πίνακα φαίνεται ότι αρκετές από τις σήραγγες που μελετήθηκαν περίπου την περίοδο 1989-1992 έχουν αρκετά υψηλούς δείκτες ατυχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, η σήραγγα Flekkeroy μήκους 2,3km έχει τον μεγαλύτερο δείκτη ατυχημάτων με τιμή 1,92 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km, ενώ αρκετά υψηλούς δείκτες έχουν και οι σήραγγες Velrenga και Ellingsoy, με τιμές 0,69 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km και 0,63 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km αντίστοιχα.

**Πίνακας 3. 3 Δείκτες ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες της Νορβηγίας (PIARC, 1995)**

Όνομα σήραγγας	Έτη μελέτης	Τιμές για 10 <sup>6</sup> οχημ. km	
		Ατυχήματα μόνο με υλικές ζημιές	Ατυχήματα με τραυματίες
Oslo Tunnel 1,8km	1990-1993	0.33	0.07
Valrenga 800m	1991-1992	0.69	0.57
Floyfjell 3.9km	1988-1992	0.3	0.05
Lovstakk 2km	1992	0.13	-
Hvaler 3,8km (υποθαλάσσια)	1989-1990	0	0.96
Flekkeroy 2,3km	1989-1990	1.92	1.92
Ellingsoy 3,5km (υποθαλάσσια)	1988-1990	0.63	0.51
Valderoy 4,5km (υποθαλάσσια)	1988-1992	0.06	0.05
Godoy 3,8km (υποθαλάσσια)	1989-1992	-	0.14
Hoyanger 7,5km	1983-1992	0.242	0.18
Amanipa	1992	0.247	0.25

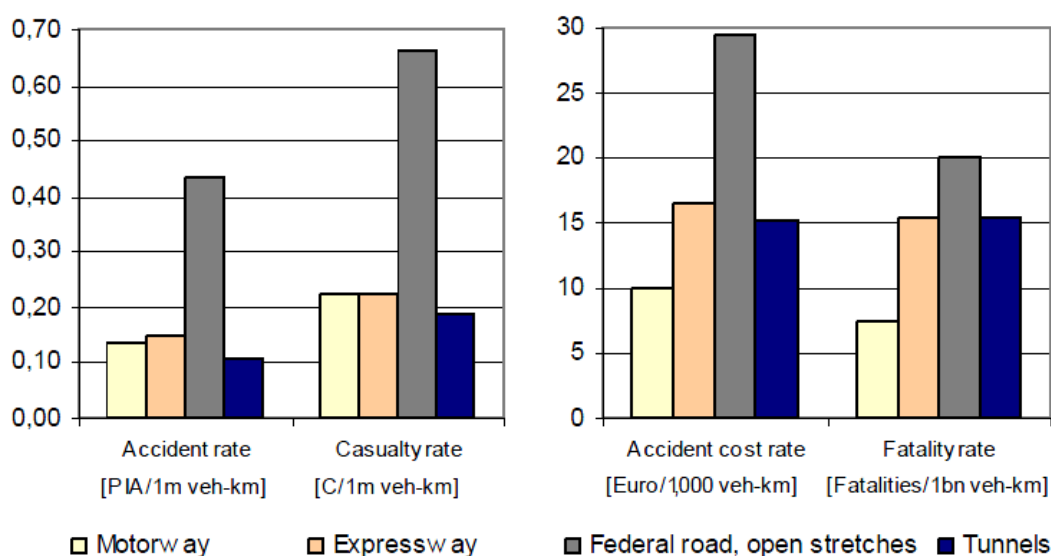
### 3.2.5 Αυστρία

Στην Αυστρία, κατά το παρελθόν η αξιολόγηση της ασφάλειας των οδικών σηράγγων βασίστηκε κυρίως στην εμπειρία. Κατά τη διάρκεια της σύνταξης του αυστριακού κώδικα σχεδιασμού για τον αερισμό των οδικών σηράγγων, αποφασίστηκε η ανάπτυξη μιας νέας μεθοδολογίας για πιο ολοκληρωμένη ποσοτική ανάλυση κινδύνου. Με βάση τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης κινδύνου, ήταν σκόπιμο να καθορισθεί μια απλούστερη μέθοδος για τις τυποποιημένες σήραγγες (χωρίς ειδικά χαρακτηριστικά). Το αυστριακό μοντέλο κινδύνου επικεντρώνεται στα ατυχήματα σηράγγων. Το TuRisMo (Austrian Tunnel Risk Model, RVS 09.03.11 (2008)) είναι ένα σύνολο ποσοτικών μεθόδων που

περιλαμβάνει ποσοτική ανάλυση συχνοτήτων (δέντρα συμβάντων για την ανάλυση των αλληλουχιών των γεγονότων από την αρχική εκδήλωση) και ποσοτική ανάλυση συνεπειών (ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων των ατυχημάτων μέσα σε σήραγγες).

Στην Αυστρία κάθε χρόνο συμβαίνουν κατά μέσο όρο 88 ατυχήματα σε σήραγγες αυτοκινητοδρόμων και δρόμων ταχείας κυκλοφορίας, που έχουν ως αποτέλεσμα 13 θανάτους, 37 σοβαρούς τραυματισμούς και 108 ελαφρούς τραυματισμούς, κατά μέσο όρο. Η έρευνα της Nussbaumer (2007) εξετάζει ατυχήματα τα οποία έγιναν από το 1999 έως και το 2003.

Γίνεται σύγκριση των ατυχημάτων που συμβαίνουν σε σήραγγες και στα ανοικτά τμήματα του οδικού δικτύου (Εικόνα 3.2). Συγκεκριμένα ο δείκτης ατυχημάτων σε σήραγγες είναι 0,10 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.κμ ενώ στα ανοικτά τμήματα ο δείκτης κυμαίνεται από 0,15-0,45 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.κμ. Αντίστοιχα, ο δείκτης απωλειών (casualties rate) για τις σήραγγες είναι 0,19 απώλ./10<sup>6</sup>οχημ.κμ ενώ στα ανοικτά τμήματα κυμαίνεται από 0,21-0,65 απώλ./10<sup>6</sup>οχημ.κμ. Ενδιαφέρον έχει και ο δείκτης κόστους των ατυχημάτων. Στους αυτοκινητόδρομους ο δείκτης είναι αρκετά χαμηλός 10 €/10<sup>3</sup>οχημ.κμ, για τις σήραγγες και τις οδούς ταχείας κυκλοφορίας ο δείκτης είναι περίπου 15 €/10<sup>3</sup>οχημ.κμ άνω για τις τοπικές οδούς ο δείκτης κόστους φτάνει στα 30 €/10<sup>3</sup>οχημ.κμ.

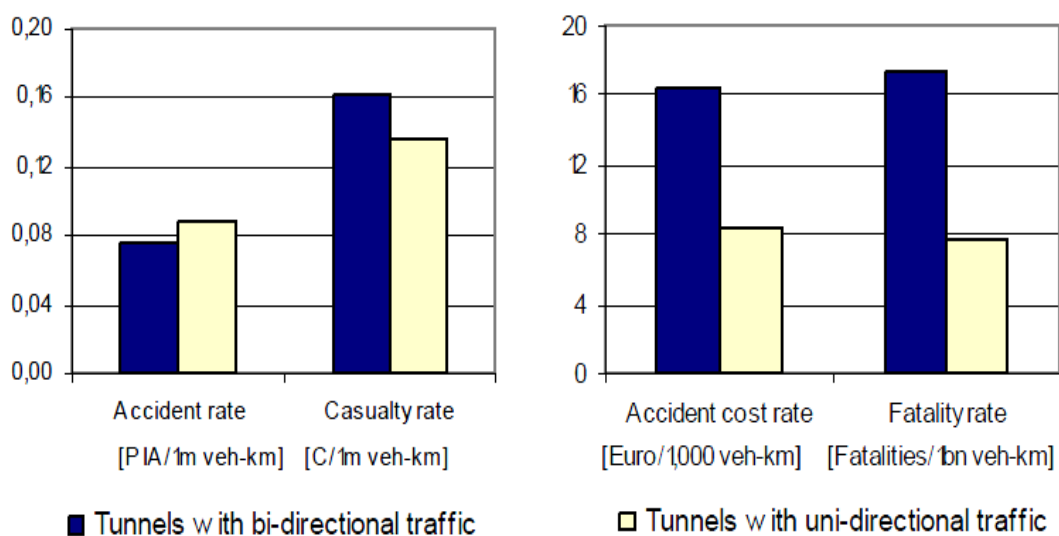


Εικόνα 3. 2 Δείκτες ατυχημάτων σε ανοικτά τμήματα του οδικού δικτύου και σε σήραγγες της Αυστρίας (Nussbaumer, 2007)



Σε σήραγγες διπλής κατεύθυνσης κυκλοφορίας όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.3, ο δείκτης ατυχημάτων - σε 0,076 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.κm - είναι ελαφρώς χαμηλότερο από ότι σε σήραγγες μονής κατεύθυνσης κυκλοφορίας, όπου το αντίστοιχο ποσοστό είναι 0,088 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.κm.

Η πιθανότητα τραυματισμού ή θανάτου σε ατύχημα είναι 19% υψηλότερη σε σήραγγες διπλής κατεύθυνσης από ότι σε σήραγγες με μονής κατεύθυνσης κυκλοφορία. Όπως φαίνεται στη Εικόνα 3.3, ενώ το ποσοστό ατυχημάτων σε σήραγγες διπλής κατεύθυνσης κυκλοφορία είναι 0,163 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.κm, το αντίστοιχο ποσοστό σε σήραγγες μονής κατεύθυνσης κυκλοφορία είναι 0,137 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.κm. Σε σήραγγες διπλής κατεύθυνσης κυκλοφορία, το ποσοστό του κόστους των ατυχημάτων και το ποσοστό θνησιμότητας είναι, αντίστοιχα, 2 φορές και 2,3 φορές υψηλότερες από ότι σε σήραγγες με μονής κατεύθυνσης κυκλοφορία. Ενώ σε σήραγγες διπλής κατεύθυνσης κυκλοφορία, 17,3 απώλ./10<sup>9</sup>οχημ.κm, το αντίστοιχο ποσοστό για τις σήραγγες με μονής κατεύθυνσης κυκλοφορία είναι 7,6 απώλ./10<sup>9</sup>οχημ.κm. Το ποσοστό του κόστους των ατυχημάτων σε σήραγγες διπλής κατεύθυνσης κυκλοφορία ανέρχεται σε 16,4 €/10<sup>3</sup>οχημ.κm και σε σήραγγες με μονής κατεύθυνσης κυκλοφορία σε 8,4 €/10<sup>3</sup>οχημ.κm.



Εικόνα 3. 3 Δείκτες ατυχημάτων σε σήραγγες μονής και διπλής κατεύθυνσης κυκλοφορίας (Nussbaumer, 2007)

### 3.2.5.1 Δείκτες ατυχημάτων για συγκεκριμένες σήραγγες της Αυστρίας από την PIARC

Στον Πίνακα 3.4 φαίνεται ότι αρκετές από τις σήραγγες που μελετήθηκαν περίπου την περίοδο 1987-1992 έχουν αρκετά υψηλούς δείκτες ατυχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, η σήραγγα Favoriten μήκους 0,3km έχει τον μεγαλύτερο δείκτη ατυχημάτων με τιμή 1,52 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km, ενώ αρκετά υψηλούς δείκτες έχουν και οι σήραγγες Arlberg και Hiefler, με τιμές 1,09 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km και 0,93 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km αντίστοιχα.

Ένα συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί από τα παραπάνω δεδομένα είναι ότι οι σήραγγες της Αυστρίας έχουν σαφώς βελτιωθεί από άποψη ασφάλειας, δεδομένου ότι ο δείκτης ατυχημάτων από το 1999 έως και το 2003 είναι 0,10 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km ενώ για την περίοδο 1987-1992 ο χαμηλότερος δείκτης ατυχημάτων είναι αυτός στη σήραγγα Kaiser Mühlen 0,41 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km.

Πίνακας 3. 4 Δείκτες ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες της Αυστρίας (PIARC, 1995)

Όνομα σήραγγας	Έτη μελέτης	Τιμές για 10 <sup>6</sup> οχημ.km	
		Ατυχήματα μόνο με υλικές ζημιές	Ατυχήματα με τραυματίες
Favoriten 0.3km	1987-1991	1.52	0
Kaiser Mühlen 1km	1989-1991	0.41	0
Hiefler 2km	1987-1991	0.93	-
Tanzenberg 2.4km	1987-1990	0.57	-
Perjen 2.9km	1987-1991	0.63	0
Arlberg 14km	1987-1991	1.09	-
Katschberg 5.4km	1987-1991	0.55	0.07
Tauern 6.4km	1987-1991	0.69	0.04
Amberg 3km	1987-1991	0.42	-
Gräbern 2.1km	1983-1992	0.51	0

### 3.2.6 Γερμανία

Στη Γερμανία γίνεται χρήση κυρίως δεσμευτικών κατευθυντήριων γραμμών (RABT) και σε λίγες συγκεκριμένες περιπτώσεις γίνεται χρήση ανάλυσης κινδύνου. Δεν υπάρχει ενιαία προσέγγιση αλλά πολλά διαφορετικά μοντέλα για τις σήραγγες που κατασκευάζονται. Λόγω της Οδηγίας της ΕΕ όμως μια νέα ποσοτική μέθοδος αναπτύσσεται. Για τη μεταφορά των επικίνδυνων εμπορευμάτων χρησιμοποιείται το μοντέλο του OECD / PIARC DG QRA (Privara, 2009).

Έρευνα που διεξήχθη από το πανεπιστήμιο Ruhr στο Bochum της Γερμανίας, έδειξε ότι η πιθανότητα πρόκλησης ατυχήματος σε ανοικτά τμήματα του οδικού δικτύου είναι γενικώς πιο μεγάλη από την πιθανότητα να προκληθεί σε οδική σήραγγα (Lemke, 1999). Η έρευνα υποστηρίζει ότι κάτι τέτοιο είναι φυσικό καθώς στις περισσότερες σήραγγες ισχύει ο περιορισμός του ορίου ταχύτητας στα 80km/h και επίσης ότι επικίνδυνα καιρικά φαινόμενα, όπως παγωμένο οδόστρωμα, έντονη βροχή, ομίχλη ή εκτυφλωτικός ήλιος, δεν επικρατούν στις σήραγγες. Στην έρευνα μελετήθηκαν 784 ατυχήματα μεταξύ 1993 και 1997 σε 68 οδικές σήραγγες.

Παρακάτω δίνονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα. Φαίνεται ότι οι σήραγγες είτε σε εθνικά δίκτυα είτε σε τοπικές οδούς είναι σαφώς πιο ασφαλείς σε σχέση με τα ανοικτά τμήματα των αντίστοιχων δικτύων. Πιο, συγκεκριμένα για τα εθνικά δίκτυα ο δείκτης ατυχημάτων των σηράγγων είναι 0,130 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km ενώ για τα ανοικτά τμήματα 0,202 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km και για τις τοπικές οδούς ο δείκτης ατυχημάτων των σηράγγων είναι 0,141 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km ενώ για τα ανοικτά τμήματα 0,315 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km.

Πίνακας 3. 5 Δείκτες ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες στη Γερμανία

Τύπος σήραγγας	Ατυχ./10 <sup>6</sup> οχημ.km	
	Τραυματισμοί	Υλικές ζημιές
<b>Σήραγγες σε εθνικά δίκτυα</b>	0,130	0,354
<b>(ανοικτά τμήματα εθνικών οδών)</b>	(0,202)	(0,923)
<b>Σήραγγες σε τοπικές οδούς</b>	0,141	0,249
<b>(ανοικτά τμήματα τοπικών οδών)</b>	(0,315)	(0,983)

### 3.2.7 Ελβετία

Στην Ελβετία εφαρμόζεται το «Διάταγμα για την αποφυγή σοβαρών ατυχημάτων». Πρόκειται για ποσοτική ανάλυση των κινδύνων που ωστόσο περιορίζεται στην αξιολόγηση της μεταφοράς επικίνδυνων εμπορευμάτων και, συνεπώς, αυτή η μεθοδολογία δεν μπορεί να επεκταθεί στην αξιολόγηση κινδύνου γενικά στις οδικές σήραγγες. Προς το παρόν δεν υπάρχουν άλλες μέθοδοι ανάλυσης κινδύνου που αναπτύσσονται (Privara, 2009).

Ανάλυση που έγινε για τα ατυχήματα στο εθνικό δίκτυο της Ελβετίας μεταξύ 1992 και 1999 έδειξε ότι ο μέσος δείκτης ατυχημάτων σε σήραγγες είναι 0,35 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km σε σύγκριση με 0,47 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km που ισχύει σε ανοικτά τμήματα του εθνικού δικτύου (Salvisberg *et al.*, 2004).

### 3.2.8 Ελλάδα

Στην Ελλάδα παρότι γίνονται διάφορες προσπάθειες δημιουργίας βάσεων δεδομένων οδικών ατυχημάτων δεν υφίσταται ένα κεντρικό σύστημα διαχείρισης των οδικών ατυχημάτων το οποίο να δίνει τη δυνατότητα σε όλους τους αρμόδιους φορείς λειτουργίας των οδικών δικτύων να το χρησιμοποιούν ως εργαλείο για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας.

Η Διοικητική Αρχή Σηράγγων (Δ.Α.Σ.), η οποία έχει συσταθεί από το Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ, προσπαθεί τα τελευταία χρόνια να εντάξει την Ανάλυση Επικινδυνότητας στις μελέτες σηράγγων με τη Διοικητική Αρχή Σηράγγων (Δ.Α.Σ.).

Αξίζει να αναφερθεί η προσπάθεια που διεξάγεται από την Εγνατία Οδός Α.Ε. αλλά και των Αττικών Διαδρομών Α.Ε. για την καταγραφή των ατυχημάτων που λαμβάνουν χώρα στις σήραγγες του αυτοκινητόδρομου, με τη δημιουργία ειδικού λογισμικού καταγραφής.

### 3.2.9 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής γίνεται χρήση ντετερμινιστικών και πιθανοτικών μεθόδων ανάλυσης κινδύνου κυρίως για διάφορα σενάρια πυρκαγιάς. Οι παλιές σήραγγες έχουν αναβαθμιστεί με βάση το Αμερικανικό Εθνικό πρότυπο Πυροπροστασίας για "τις οδικές σήραγγες, γέφυρες, και άλλες περιορισμένες εθνικές οδοί πρόσβασης" (NFPA502). Ωστόσο, δεν υπάρχει εθνικό έγγραφο αξιολόγησης της ασφάλειας, και η εφαρμογή κάποιας μεθόδου εκτίμησης των κινδύνων που προορίζεται για την συγκεκριμένη χρήση (Privara, 2009).

Το 1991 στο Duluth της Μινεσότα ορίστηκε επιτροπή που θα εξέταζε και θα αξιολογούσε δύο εναλλακτικές διαδρομές για τη διέλευση φορτηγών με επικίνδυνα φορτία. Η αξιολόγηση αυτή έδειξε ότι στη μία σήραγγα (I-35) ο δείκτης ατυχημάτων ήταν 1,91 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km και για την άλλη (T.H. 61) ο δείκτης ατυχημάτων ήταν 8,3 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km. Όπως ήταν αναμενόμενο η διαδρομή που επιλέχθηκε ήταν η πρώτη λόγω του χαμηλότερου δείκτη ατυχημάτων αλλά και γιατί δεν περνούσε από κατοικημένες περιοχές (Shaver et al.,1998) .

#### 3.2.9.1 Δείκτες ατυχημάτων για συγκεκριμένες σήραγγες των Ηνωμένων Πολιτειών από την PIARC

Στον Πίνακα 3.6 φαίνεται ότι αρκετές από τις σήραγγες που μελετήθηκαν την περίοδο 1987-1992 έχουν αρκετά υψηλούς δείκτες ατυχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, η σήραγγα Queens Midtown μήκους 0,3km έχει ιδιαίτερα μεγάλο δείκτη ατυχημάτων με τιμή 3,14 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km.

**Πίνακας 3. 6 Δείκτες ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες των Ηνωμένων Πολιτειών (PIARC, 1995)**

Όνομα σήραγγας	Έτη μελέτης	Τιμές για 10 <sup>6</sup> οχημ. km	
		Ατυχήματα	Ατυχήματα με τραυματίες
Brooklyn Battery 3.2km	1989-1991	1.86	0.5
Queens Midtown 2.8km	1989-1991	3.14	0.81
Holland 2.6km	1987-1991	1.13	0.33
Lincoln 2.5km	1987-1991	0.89	0.3

### **3.2.10 Ιαπωνία**

Στην Ιαπωνία έχουν αναπτύξει και εισάγει πολλά μέτρα ασφαλείας και πρόληψης. Η προστασία της ζωής είναι η κορυφαία προτεραιότητα στην περίπτωση της φωτιάς, με αποτέλεσμα να γίνεται κάθε δυνατή προσπάθεια για έγκαιρη ανίχνευση του ατυχήματος και της πυρκαγιάς, τον έλεγχο της κυκλοφορίας, την γρήγορη εκκένωση της σήραγγας από τους χρήστες και την κατάσβεση της φωτιάς. Τα χαρακτηριστικά ασφαλείας περιλαμβάνουν προληπτικά μέτρα (ευαισθητοποίηση των χρηστών των σηράγγων για τους πιθανούς κινδύνους, κατάλληλη εγκατάσταση του συστήματος εξαερισμού, διαχείριση της σήραγγας, κ.λπ.) και εγκαταστάσεις έκτακτης ανάγκης (Privara, 2009).

### **3.2.11 Κίνα**

Σύμφωνα με τους Zhuang-lin et al (2008)., τα τελευταία 10 χρόνια η οικονομική ανάπτυξη της Κίνας έχει βοηθήσει στην κατασκευή μεγάλων οδικών δικτύων αλλά και σηράγγων.

Στην έρευνα των Zhuang-lin et al (2008) επιλέχθηκαν 4 σήραγγες. Κατά το 2003-2004, συνολικά προκλήθηκαν 134 ατυχήματα από τα οποία τα 6 ήταν θανατηφόρα, τα 32 με τραυματίες και τα υπόλοιπα 96 μόνο με υλικές ζημιές.

Σε αντίθεση με τη Νορβηγική έρευνα οι ζώνες χωρίζονται ως εξής:

Ζώνη 1: τα πρώτα 100 m εμπρός από τα ανοίγματα της σήραγγας,

Ζώνη 2: τα πρώτα 100 m μέσα στη σήραγγα,

Ζώνη 3: τα επόμενα 300 m μέσα στη σήραγγα,

Ζώνη 4: η μεσαία ζώνη

Σήραγγες με μήκος μικρότερο από 200 m έχουν μόνο τις ζώνες 1 και 2, ενώ σήραγγες με μήκος μικρότερο από 800 m δεν διαθέτουν τη ζώνη 4.

Ο συγκεντρωτικός Πίνακας 3.6 δείχνει ότι ο δείκτης ατυχημάτων στη ζώνη 3 (100–400 m μέσα από τη σήραγγα) είναι υψηλότερος από τις άλλες, ενώ το ποσοστό ατυχημάτων στη ζώνη 4 ( μεσαία ζώνη) είναι το χαμηλότερο.

Πιο συγκεκριμένα ο δείκτης ατυχημάτων στη Ζώνη 4 είναι 0,45 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km, στη Ζώνη 3 είναι 0,58 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km και συνολικά ο δείκτης για τις σήραγγες στην Κίνα είναι ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km.

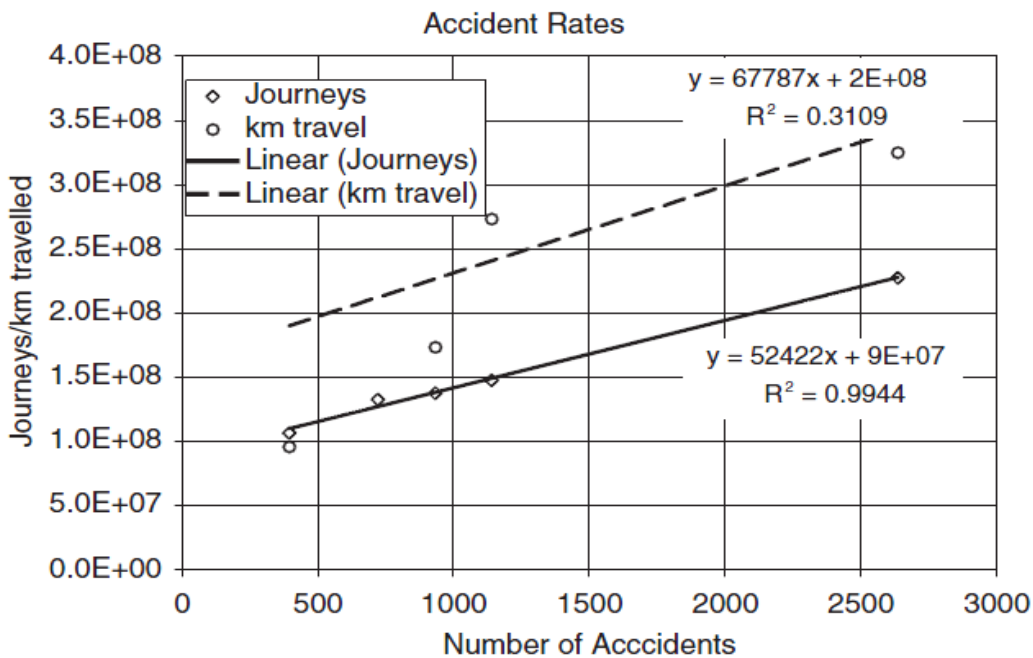
**Πίνακας 3. 7 Δείκτες ατυχημάτων σε κάθε ζώνη των οδικών σηράγγων στην Κίνα**

Ζώνες	Αριθμός Ατυχημάτων	Δείκτες (ατυχ./10 <sup>6</sup> οχημ.km)
Ζώνη 1	18	0.56
Ζώνη 2	17	0.53
Ζώνη 3	42	0.58
Ζώνη 4	57	0.45
Όλη η σήραγγα (εκτός ζώνης 1)	134	0.51
Όλες οι ζώνες	116	0.50

### 3.2.12 Χονγκ - Κονγκ

Στην περιοχή του Χονγκ-Κονγκ τα ατυχήματα και τα υπόλοιπα περιστατικά σε οδικές σήραγγες καταγράφονται λεπτομερώς, κάτι που βοήθησε πολύ τους Armstrong, et al.(2001) να συλλέξουν δεδομένα από 5 σήραγγες για περίοδο 7 χρόνων και να εξάγουν τους παρακάτω δείκτες. Στην εικόνα 3.2 δίνονται οι δείκτες ατυχημάτων σε σχέση με τον αριθμό των διαδρομών (journeys) που έγιναν στις σήραγγες καθώς και σε σχέση με τα συνολικά χιλιόμετρα που διανύθηκαν.

Με την έρευνα αυτή έγινε ο συσχετισμός των ατυχημάτων με τον αριθμό των διαδρομών που γίνονται στις σήραγγες, δηλαδή αυξάνοντας τον αριθμό των οχημάτων που χρησιμοποιούν τη σήραγγα αυξάνεται και η συχνότητα πρόκλησης ατυχημάτων. Επίσης κατέληξαν και στο συμπέρασμα ότι το μήκος της σήραγγας αποτελεί δευτερεύοντα παράγοντα για τα ατυχήματα. Συνήθως λοιπόν τα ατυχήματα λαμβάνουν χώρα στις εισόδους/εξόδους των σηράγγων ή σχετίζονται με τον όγκο της κυκλοφορίας. Η εξήγηση που δίνεται για αυτό το φαινόμενο είναι ότι η κίνηση στο εσωτερικό της σήραγγας είναι σταθερή και δεν επηρεάζεται από διακλαδώσεις, πεζούς κ.α



Εικόνα 3. 4 Δείκτες ατυχημάτων σε σχέση με τα km που διανύθηκαν στο Χονγκ Κονγκ



Συγκρίνοντας τη πιθανότητα πρόκλησης ατυχημάτων με τραυματίες σε ανοιχτούς δρόμους του Χονγκ-Κονγκ φαίνεται ότι είναι η διπλάσια από αυτή σε οδικές σήραγγες. Πιο συγκεκριμένα, κατά μέσο όρο στις σήραγγες ο δείκτης ατυχημάτων με τραυματία είναι 0,71 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km σε αντίθεση με τα 1,42 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km στους ανοιχτούς δρόμους.

### 3.3 Εκτίμηση μέσου όρου δεικτών ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες

Παρακάτω παρουσιάζεται ο συγκεντρωτικός Πίνακας 3.8 με τους μέσους όρους των δεικτών ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες στις παραπάνω χώρες. Το μεγαλύτερο δείκτη ατυχημάτων φαίνεται ότι επικρατεί στις Ηνωμένες Πολιτείες με 2,87 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km και ακολουθεί η Ολλανδία με πολύ μικρότερο δείκτη της τάξης του 1,16 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km. Οι δείκτες των υπόλοιπων χώρων κυμαίνονται από 0,01 έως 0,71 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km. Ο συνολικός μέσος όρος προκύπτει 0,66 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km.

Πίνακας 3. 8 Μέσος όρος δεικτών ατυχημάτων

Χώρα	Μέσος Όρος Δεικτών Ατυχημάτων (ατυχ./10 <sup>6</sup> οχημ.km)
Η.Π.Α.	2,87
Ολλανδία	1,16
Κίνα	0,5
Ελβετία	0,35
Γερμανία	0,21
Νορβηγία	0,125
Αυστρία	0,10
Χονγκ - Κονγκ	0,01
<b>Σύνολο</b>	<b>0,66</b>



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ

### 4.1 Εισαγωγή

Παρακάτω παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που βγήκαν από την ανάλυση των στοιχείων που συλλέχτηκαν. Για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων το δείγμα ομαδοποιήθηκε ανά δεκαετία, ανά ήπειρο και ανά ευρωπαϊκή χώρα. Μελετήθηκαν τα αιτία των ατυχημάτων καθώς και η συχνότητα εμφάνισης τους.

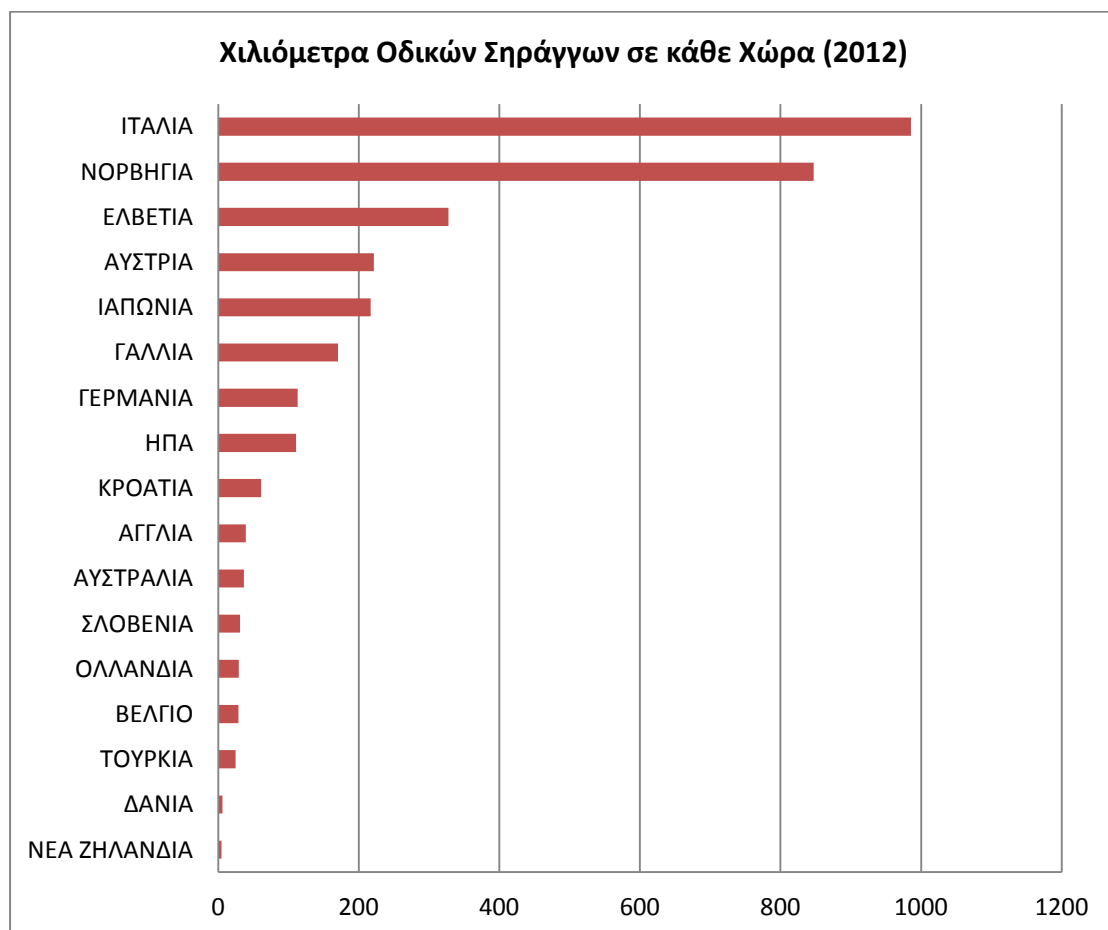
Επίσης, συγκρίνονται ο αριθμός καθώς και το ποσοστό των θυμάτων και των τραυματιών σε κάθε δεκαετία. Γίνεται ακόμα η σύγκριση του αριθμού των ατυχημάτων, των τραυματιών και των νεκρών σε σχέση με τη γεωμετρία των σηράγγων- δίδυμες, διπλής κυκλοφορίας με ή χωρίς νησίδα.

Στο Παράρτημα I παρουσιάζονται οι αναλυτικοί πίνακες με τα καταγεγραμμένα ατυχήματα, το υπαίτιο όχημα, την πιθανή αιτία καθώς και τις συνέπειες σε ανθρώπινες ζωές. Επίσης αναφέρεται η γεωμετρία των σηράγγων ( δίδυμες σήραγγες, σήραγγες διπλής κυκλοφορίας με ή χωρίς νησίδα) και το μήκος της κάθε σήραγγας.

Να σημειωθεί ότι τα ατυχήματα που καταγράφηκαν είναι αυτά που δόθηκαν στη δημοσιότητα. Προφανώς τα ατυχήματα που έχουν λάβει χώρα κυρίως σε οδικές αλλά και σε σιδηροδρομικές ή υπόγεια αστικά δίκτυα, είναι πολύ περισσότερα αλλά τα στοιχεία δεν είναι προσβάσιμα στο κοινό παρά μόνο αν υπάρξει συνεργασία με την αρμόδια αρχή της κάθε χώρας. Ωστόσο στη παρούσα διπλωματική έγινε μια προσπάθεια καταγραφής και ανάλυσης των ατυχημάτων με βάση τους παράγοντες που αναφέρονται παραπάνω.

## 4.2 Στατιστική ανάλυση ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες

Ο πληθυσμός του δείγματος που λήφθηκε υπόψη για την στατιστική ανάλυση περιλαμβάνει 89 ατυχήματα που προκλήθηκαν σε σήραγγες σε όλο τον κόσμο από το 1949 έως και το 2011. Από αυτά τα 51 είχαν απώλειες σε ανθρώπινες ζωές και τα 24 είχαν μόνο τραυματίες. Πιο συγκεκριμένα, στα ατυχήματα που μελετώνται έχασαν τη ζωή τους 625 άνθρωποι και τραυματίστηκαν 605. Στην Εικόνα 4.1 φαίνονται οι χώρες που βρίσκονται οι σήραγγες που μελετώνται, καθώς και το συνολικό μήκος των οδικών σηράγγων σε κάθε χώρα.



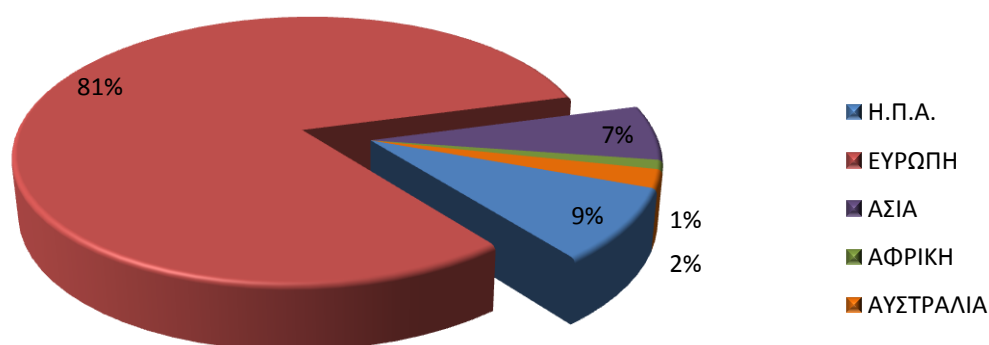
Εικόνα 4. 1 Χιλιόμετρα Οδικών Σηράγγων σε κάθε Χώρα

Είναι εμφανής η επικράτηση των Ευρωπαϊκών χωρών στην κατασκευή οδικών σηράγγων και οφείλεται στο ορεινό της ανάγλυφο που επιβάλλει την κατασκευή σηράγγων. Στην πρώτη θέση βρίσκεται η Ιταλία με 985km οδικών σηράγγων, όπου εκτός από τις Άλπεις υπάρχουν και τα Απέννινα Όρη. Τα Απέννινα Όρη αποτελούν οροσειρά που εκτείνεται 1350χλμ. από το βορρά ως το νότο της Ιταλίας κατά μήκος της ανατολικής ακτής, διασχίζοντας όλη τη χερσόνησο. Ακολουθεί η Νορβηγία με 847km οδικών σηράγγων. Το νορβηγικό τοπίο είναι σε γενικές γραμμές έντονο και αρκετά ορεινό ενώ το βασικό χαρακτηριστικό της εκτεταμένης ακτογραμμής (με μήκος 21.925 χιλιόμετρα) είναι τα φιόρντ και τα πολλά μικρά ή μεγαλύτερα νησιά.

Η αλπική ζώνη καταλαμβάνει τα 3/5 της Ελβετίας κάτι που δικαιολογεί τα 327km οδικών σηράγγων. Η Αυστρία είναι επίσης πολύ ορεινή χώρα καθώς περίπου το 60% της συνολικής της έκτασης καλύπτεται από τις Άλπεις και άλλα μικρότερα βουνά. Και τέλος, οι Γαλλικές Άλπεις καθώς και τα Πυρηναία, τα Ιούρα και τα Βόσγια Όρη επικρατούν στο ανάγλυφο της Γαλλίας και απαιτούν την ύπαρξη 170km οδικών σηράγγων.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.2 το ποσοστό των ατυχημάτων στην Ευρώπη αποτελεί το 81% των ατυχημάτων που μελετώνται. Ακολουθούν οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και η Ασία με 9% και 7% αντίστοιχα. Κάτι τέτοιο είναι λογικό, καθώς από τα 3.250km οδικών σηράγγων των χωρών που μελετώνται, τα 2.860km είναι Ευρωπαϊκών χωρών.

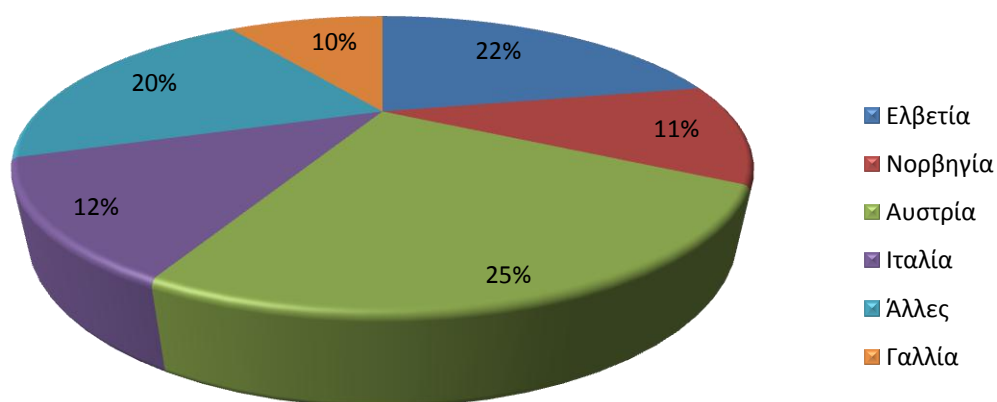
## Ατυχήματα ανά ήπειρο



Εικόνα 4. 2 Ατυχήματα ανά ήπειρο

Αναλυτικότερα τα ποσοστά των ατυχημάτων σε Ευρωπαϊκές χώρες φαίνονται στην Εικόνα 4.3 . Εξαιτίας των αλπικών οροσειρών, χώρες όπως η Αυστρία, η Ελβετία, η Ιταλία και η Γαλλία έχουν οδικό σύστημα που αποτελείται από μεγάλο αριθμό σηράγγων και κατ' επέκταση δικαιολογείται το μεγάλο ποσοστό ατυχημάτων σε σήραγγες σε σχέση με τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες, με 25%, 22%, 12% και 10% αντίστοιχα. Επίσης, καθώς η Νορβηγία βρίσκεται στη δεύτερη θέση μετά την Ιταλία στο συνολικό μήκος των οδικών σηράγγων, είναι εύλογο να έχει αρκετά ατυχήματα.

### Ποσοστά ατυχημάτων στις ευρωπαϊκές χώρες

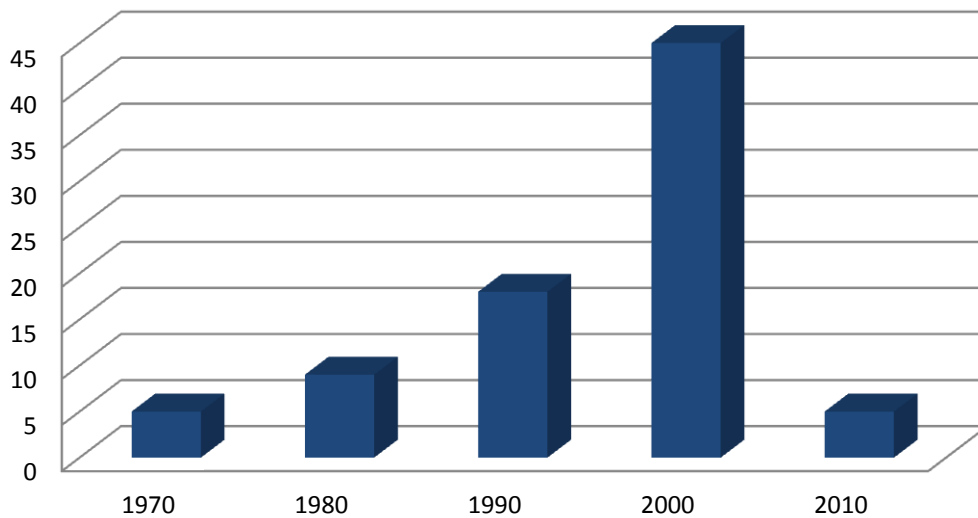


Εικόνα 4. 3 Ποσοστά ατυχημάτων στις ευρωπαϊκές χώρες

Τα ατυχήματα όπως είναι αναμενόμενο, λόγω της αύξησης του αριθμού των αυτοκινήτων και των σηράγγων, όσο περνάνε οι δεκαετίες αυξάνονται, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.4. Παρατηρείται μία συνεχής αύξηση των ατυχημάτων από τη δεκαετία του 1970 μέχρι τη δεκαετία του 2000 με απότομη άνοδο την τελευταία δεκαετία, η οποία μπορεί να δικαιολογηθεί από το μεγάλο αριθμό σηράγγων που κατασκευάστηκαν τα τελευταία χρόνια καθώς και τη συνεχώς αυξανόμενη χρήση των αυτοκινήτων.

Πιο συγκεκριμένα, ενώ το 1970, 1980 και 1990 καταγράφηκαν 6,10 και 18 ατυχήματα αντίστοιχα, τη δεκαετία του 2000 ο αριθμός διπλασιάζεται στα 45. Όσον αφορά τη δεκαετία που διανύεται, δεν μπορούν να βγουν συμπεράσματα αλλά είναι εμφανής η τάση για αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων.

## Ατυχήματα



Εικόνα 4. 4 Αριθμός ατυχημάτων

Στην εικόνα 4.5 φαίνεται ότι ο αριθμός των απωλειών σε ανθρώπινες ζωές και των τραυματιών αυξάνεται αναλογικά με τον αριθμό των ατυχημάτων, με εξαίρεση την δεκαετία του 1980, που ο μεγάλος αριθμός νεκρών οφείλεται στο ατύχημα που συνέβη το 1982 στη σήραγγα Salang στο Αφγανιστάν και οδήγησε στο θάνατο πάνω από 400 ανθρώπων εξαιτίας του ανεπαρκούς σχεδίου διάσωσης ([www.lotsberg.net](http://www.lotsberg.net)).

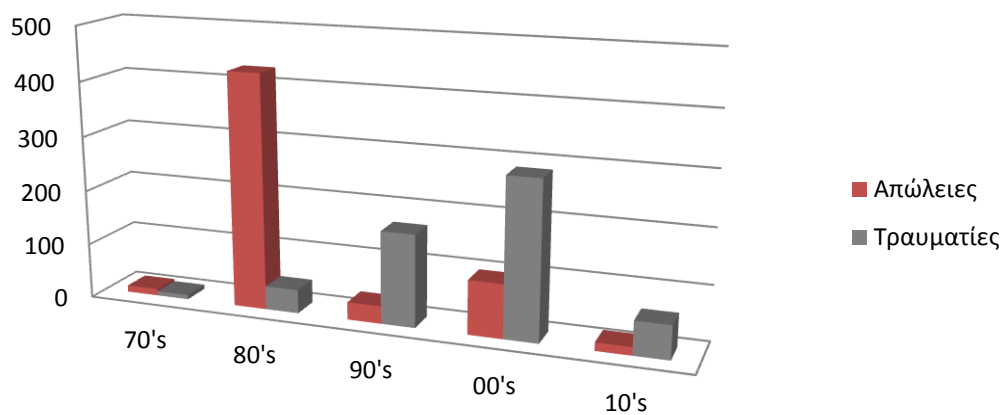
Πιο συγκεκριμένα, κατά τη δεκαετία του 1970 έχασαν τη ζωή τους 13 και τραυματίστηκαν 8 ενώ τη δεκαετία του 1980, λόγω του ατυχήματος που αναφέρθηκε, οι νεκροί έφτασαν τους 428 και οι τραυματίες παρέμειναν σε φυσιολογικά όριο στους 43.

Όσον αφορά στις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται μία αισθητή μείωση του ποσοστού των νεκρών σε σχέση με τους τραυματίες, παρόλο που ο αριθμός των ατυχημάτων αυξήθηκε, αυτό μπορεί να οφείλεται στην σύνταξη και εφαρμογή προτύπων ασφαλείας στις οδικές σήραγγες. Πιο συγκεκριμένα, από το 1990 έως το 1999 οι νεκροί ανήλθαν στους 32 και οι τραυματίες στους 168, και τη δεκαετία του 2000 οι νεκροί ανήλθαν στους 98 και οι τραυματίες στους 286.



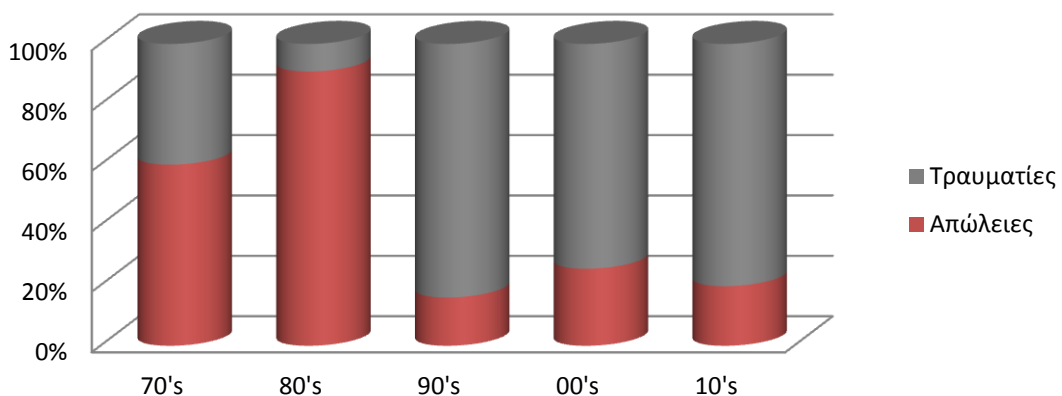
Οι προηγούμενες παρατηρήσεις γίνονται καλύτερα αντιληπτές στην ποσοστιαία αναλογία απωλειών και τραυματιών (Εικόνα 4.6). Τη δεκαετία του 1970 η αναλογία είναι περίπου 1:1, ενώ τη δεκαετία του 1980 το ποσοστό των τραυματιών είναι μόνο 10%. Τις υπόλοιπες δεκαετίες το ποσοστό των νεκρών φαίνεται να είναι σταθερό στο 20-30%.

### Απώλειες και τραυματίες σε ατυχήματα σε σήραγγες ανά δεκαετίες



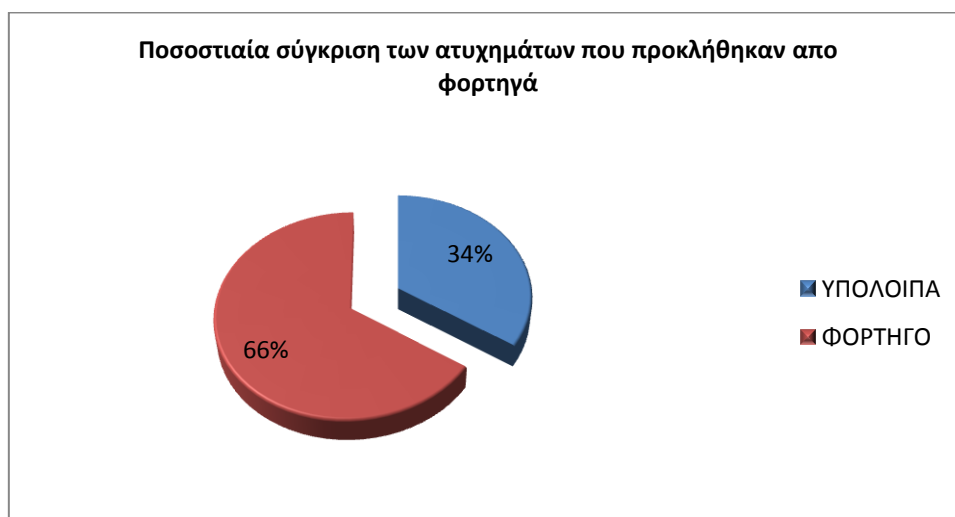
Εικόνα 4. 5 Απώλειες και τραυματίες σε ατυχήματα σε οδικές σήραγγες ανά δεκαετίες

### Ποσοστιαία αναλογία απωλειών και τραυματιών σε ατυχήματα ανά δεκαετίες



Εικόνα 4. 6 Ποσοστιαία αναλογία απωλειών και τραυματιών σε ατυχήματα σε οδικές σήραγγες ανά δεκαετίες

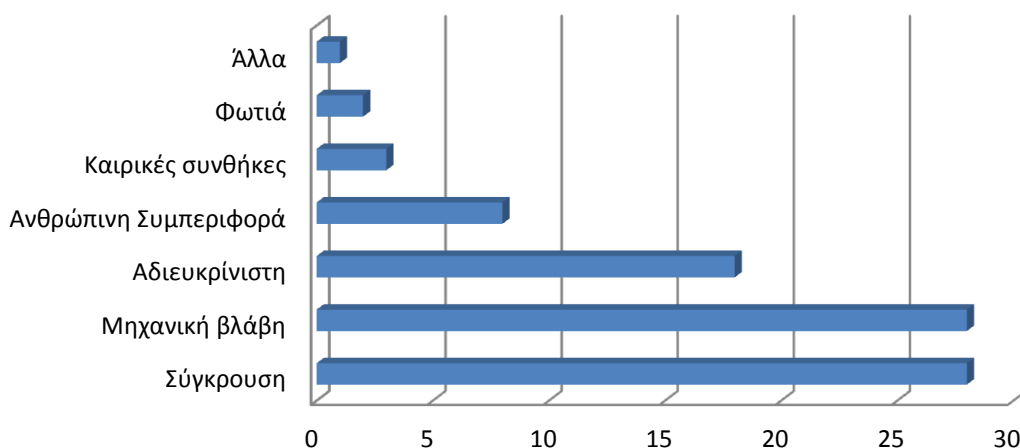
Βλέποντας τους βασικότερους παράγοντες που προκαλούν τα ατυχήματα στις οδικές σήραγγες ο κυριότερος είναι τα φορτηγά τα οποία είτε εμφανίζουν μηχανικές βλάβες είτε περιορίζουν την ορατότητα των υπόλοιπων οχημάτων και πολλές φορές μεταφέρουν εύφλεκτα προϊόντα (Εικόνα 4.7). Πιο συγκεκριμένα τα ατυχήματα στα οποία εμπλέκονται φορτηγά αποτελούν το 66% των ατυχημάτων.



Εικόνα 4. 7 Σύγκριση ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες που προκλήθηκαν από φορτηγό

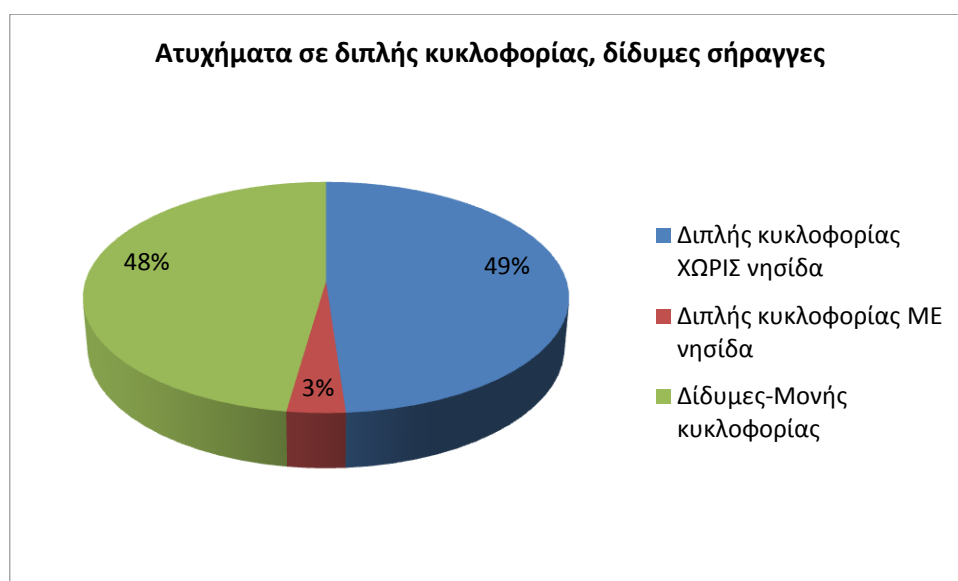
Βασικότερη αιτία των ατυχημάτων αποτελεί η σύγκρουση, μετωπική ή νωτομετωπική, (με 28 ατυχήματα) η οποία στη συνέχεια προκαλεί μια σειρά συμβάντων που καταλήγουν σε δυστύχημα (Εικόνα 4.8). Ακολουθούν οι μηχανικές βλάβες (με 28 ατυχήματα), που μπορεί να προκύψουν είτε σε φορτηγά είτε σε ΙΧ και περιλαμβάνουν τις βλάβες κινητήρα, την αστοχία του συστήματος πέδησης κ.α, και την ανθρώπινη συμπεριφορά. Έπονται οι καιρικές συνθήκες (με 3 ατυχήματα), που συνήθως επηρεάζουν τους οδηγούς κατά την είσοδο και έξοδο των οδηγών από τη σήραγγα, και η πρόσκληση φωτιάς. Αξίζει να σημειωθεί ότι η κατασκευαστική αστοχία των σηράγγων αποτελεί σπάνια αιτία πρόκλησης ατυχήματος στην Εικόνα 4.8. Τέλος, για το 18% των ατυχημάτων δεν διευκρινίζονται οι αιτίες τους.

### Αιτίες ατυχημάτων



Εικόνα 4. 8 Αιτίες ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες

Ενώ κανείς θα περίμενε τα ατυχήματα σε δίδυμες μονής κυκλοφορίας σήραγγες να είναι λιγότερα, η διαφορά με τις σήραγγες διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα είναι μόνο 4% (Εικόνα 4.2). Όπως φαίνεται και στον πίνακα 4.1 , τα ατυχήματα σε σήραγγες διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα είναι 42, σε δίδυμες είναι 39 ενώ σε διπλής κυκλοφορίας με νησίδα μόνο 3.

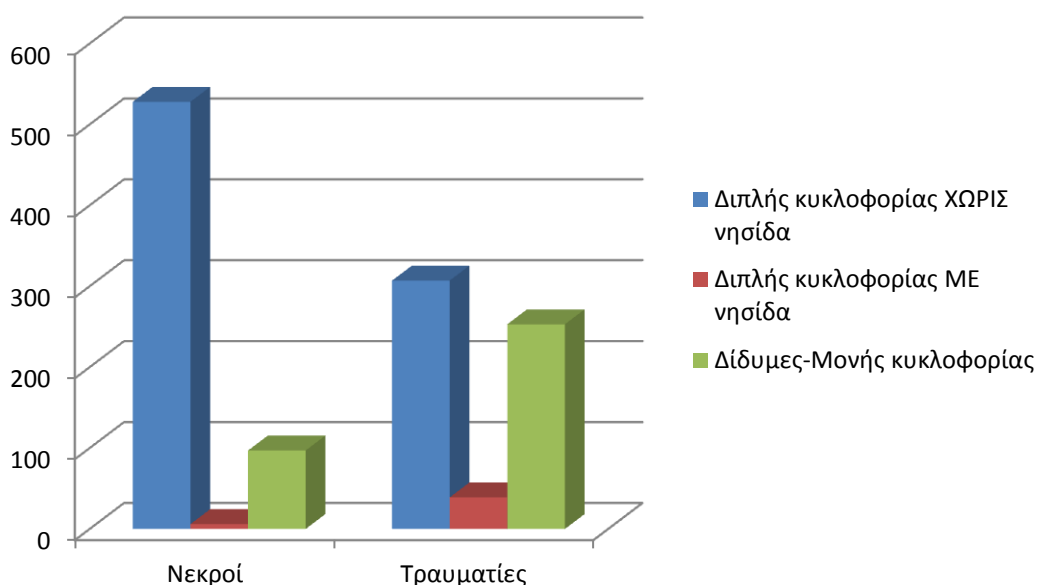


Εικόνα 4. 8 Ποσοστό ατυχημάτων σε μονής και διπλής κυκλοφορίας οδικές σήραγγες

Όπως φαίνεται λοιπόν από την Εικόνα 4.9 ενώ η συχνότητα των ατυχημάτων είναι πολύ κοντά και στις δύο περιπτώσεις, ο αριθμός των νεκρών στις σήραγγες διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα εκτινάσσεται. Πιο συγκεκριμένα, στις σήραγγες διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα είναι 528 νεκροί ενώ στις δίδυμες είναι 98 νεκροί. Στους τραυματίες όμως η διαφορά μειώνεται σημαντικά με 307 και 253 αντίστοιχα. Άρα ένα συμπέρασμα που βγαίνει είναι ότι στις σήραγγες χωρίς νησίδα είναι πιο πιθανό να προκληθούν πολύνεκρα ατυχήματα.

**Πίνακας 4. 1 Αριθμός ατυχημάτων σε μονής και διπλής κυκλοφορίας οδικές σήραγγες**

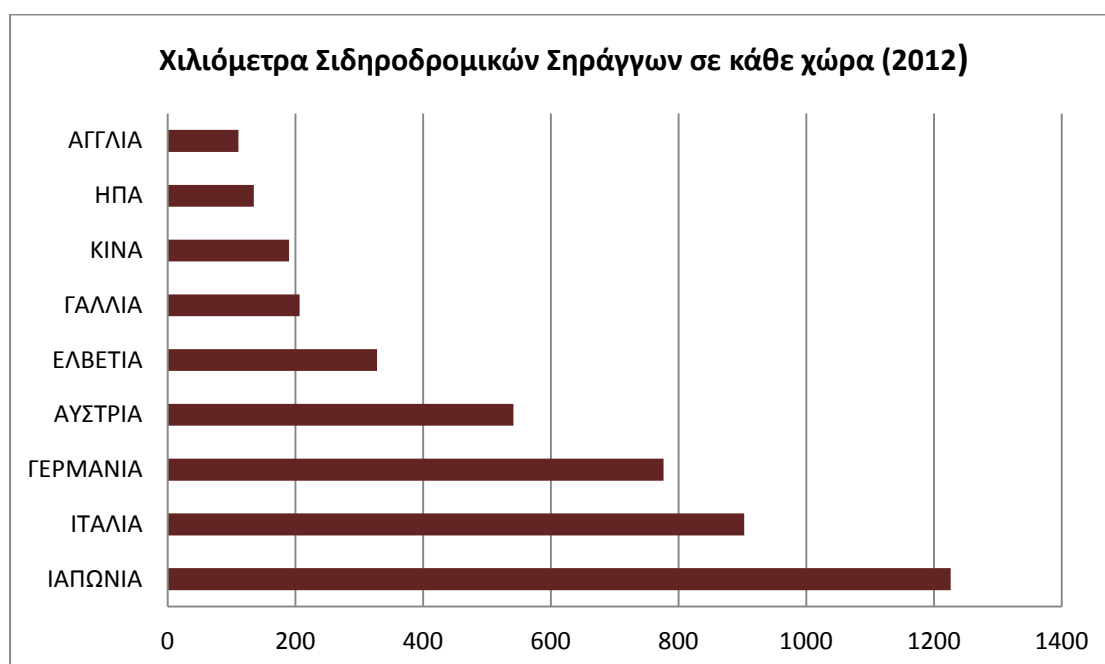
	Ατυχήματα	Νεκροί	Τραυματίες
Διπλής κυκλοφορίας ΧΩΡΙΣ νησίδα	43	528	307
Διπλής κυκλοφορίας ΜΕ νησίδα	3	6	39
Δίδυμες-Μονής κυκλοφορίας	42	98	253



**Εικόνα 4. 9 Απώλειες και τραυματίες σε μονής και διπλής κυκλοφορίας οδικές σήραγγες**

### 4.3 Στατιστική ανάλυση ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες

Ο πληθυσμός του δείγματος που λήφθηκε υπόψη για την στατιστική ανάλυση περιλαμβάνει 32 ατυχήματα που προκλήθηκαν σε σιδηροδρομικές σήραγγες σε όλο τον κόσμο από το 1921 έως και το 2011. Από αυτά τα 19 είχαν απώλειες σε ανθρώπινες ζωές και τα 12 είχαν μόνο τραυματίες. Πιο συγκεκριμένα, στα ατυχήματα που μελετώνται έχασαν τη ζωή τους 1.012 άνθρωποι και τραυματίστηκαν 2.565. Στην Εικόνα 4.10 φαίνονται οι χώρες που βρίσκονται οι σήραγγες που μελετώνται, καθώς και το συνολικό μήκος των σιδηροδρομικών σηράγγων σε κάθε χώρα.



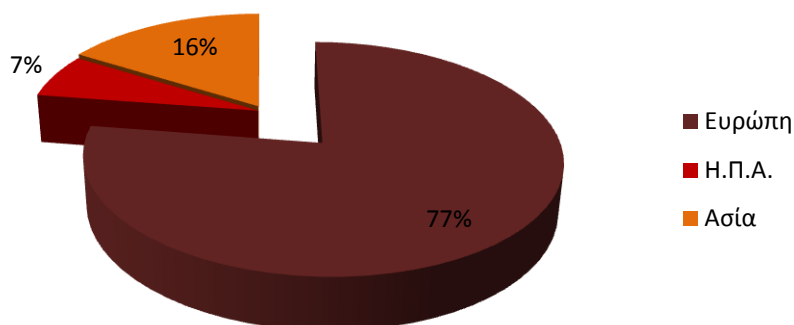
Εικόνα 4. 10 Χιλιόμετρα Σιδηροδρομικών Σηράγγων σε κάθε Χώρα

Και πάλι είναι εμφανής η επικράτηση των Ευρωπαϊκών χωρών στα χιλιόμετρα των σιδηροδρομικών σηράγγων και οφείλεται στο ορεινό της ανάγλυφο που επιβάλλει την κατασκευή σηράγγων. Στην πρώτη θέση όμως αυτή τη φορά βρίσκεται η Ιαπωνία, της οποίας το ανάγλυφο είναι πολύ ορεινό και ηφαιστειογενές, με 1226km σιδηροδρομικών σηράγγων. Ακολουθούν η Ιταλία, η Γερμανία, η Αυστρία, η Ελβετία και η Γαλλία με 902km, 776km, 541km, 327km και 206km αντίστοιχα. Στην

τελευταία θέση βρίσκεται το Ηνωμένο Βασίλειο, που αν και αποτελεί το παλαιότερο και από τα μεγαλύτερα συστήματα, λόγω του πεδινού ανάγλυφου της χώρας δεν έχουν κατασκευαστεί πολλές σήραγγες, μόνο 110km.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.11 το ποσοστό των ατυχημάτων στην Ευρώπη αποτελεί το 77% των ατυχημάτων που μελετώνται. Ακολουθούν οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και η Ασία με 7% και 16% αντίστοιχα.

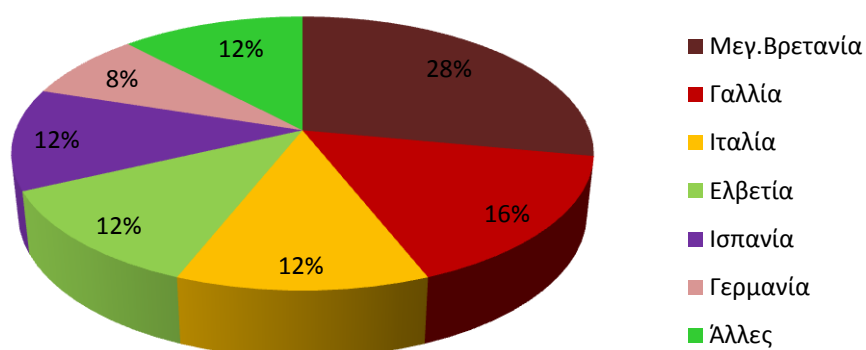
### Ατυχήματα ανά ήπειρο



Εικόνα 4. 11 Ατυχήματα ανά ήπειρο σε σιδηροδρομικές σήραγγες

Αναλυτικότερα τα ποσοστά των Ευρωπαϊκών χωρών φαίνονται στην Εικόνα 4.12 . Εξαιτίας των αλπικών οροσειρών, χώρες όπως η Γαλλία, η Ελβετία και η Ιταλία έχουν και σιδηροδρομικό σύστημα που αποτελείται από μεγάλο αριθμό σηράγγων και κατ' επέκταση δικαιολογείται το μεγάλο ποσοστό ατυχημάτων σε σήραγγες σε σχέση με τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες, με 16%, 12% και 12% αντίστοιχα. Πρώτη όμως έρχεται το Μεγάλη Βρετανία με 28%, της οποίας το σιδηροδρομικό σύστημα είναι το παλαιότερο στον κόσμο, με την πρώτη ατμομηχανή για δημόσια μεταφορά το 1825. Από το 2010, αποτελείται από 15.754 χιλιόμετρα τυποποιημένων γραμμών (η 18η μεγαλύτερη στον κόσμο), από τις οποίες είναι ηλεκτροφόρες τα 5.249 χιλιόμετρα ("National rail trends yearbook 2010-11" Office of Rail Regulation).

## Ποσοστά ατυχημάτων στις ευρωπαϊκές χώρες

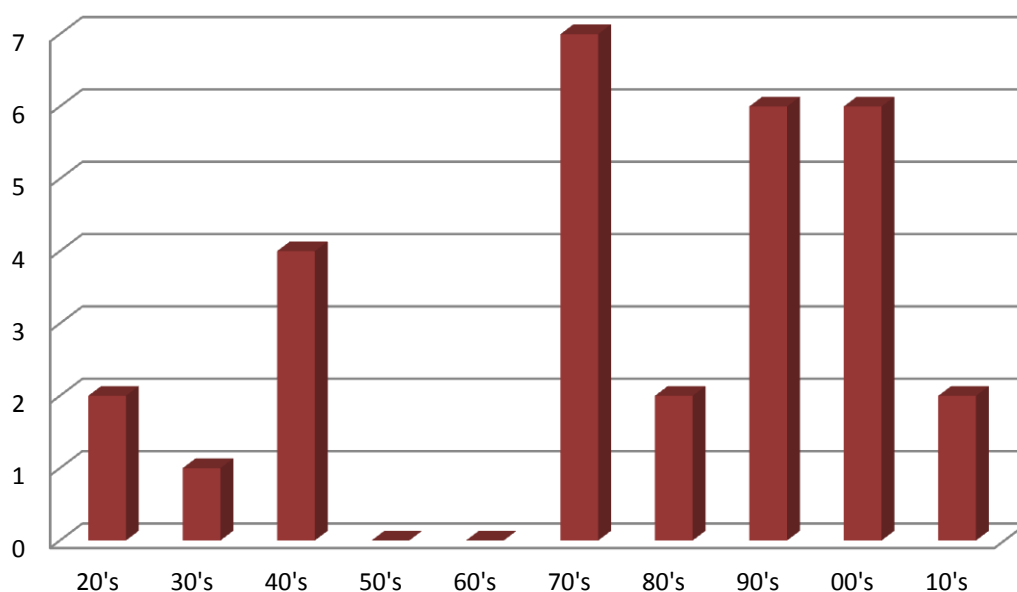


Εικόνα 4. 12 Ποσοστά ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες στις ευρωπαϊκές χώρες

Τις δεκαετίες 1920-1940 τα ατυχήματα ήταν αρκετά, 7 συνολικά, και οφείλονται κυρίως σε κακή συντήρηση αλλά και στη χρήση του κάρβουνου για καύσιμο. Το 1950 και 1960 δεν παρατηρήθηκαν ατυχήματα σε σιδηροδρομικές σήραγγες. Με εξαίρεση τη δεκαετία του 1980, οπότε έγιναν μόνο δύο ατυχήματα, ο αριθμός των ατυχημάτων στις υπόλοιπες δεκαετίες παραμένει σταθερός με μια μικρή μείωση από τη δεκαετία του 1980 (Εικόνα 4.13).

Πιο συγκεκριμένα, τη δεκαετία του 1970 προκλήθηκαν 7 ατυχήματα, ενώ τις δεκαετίες 1990 και 2000 προκλήθηκαν 6 ατυχήματα. Κάτι τέτοιο μπορεί να οφείλεται στον εκσυγχρονισμό των σιδηροδρομικών συστημάτων τα τελευταία χρόνια. Τέλος, το 2011 σημειώθηκαν 2 ατυχήματα, στη σήραγγα Shin-Noborikawa στην Ιαπωνία με 39 τραυματίες και στη σήραγγα El Clot στην Ισπανία με 18 τραυματίες.

## Ατυχήματα



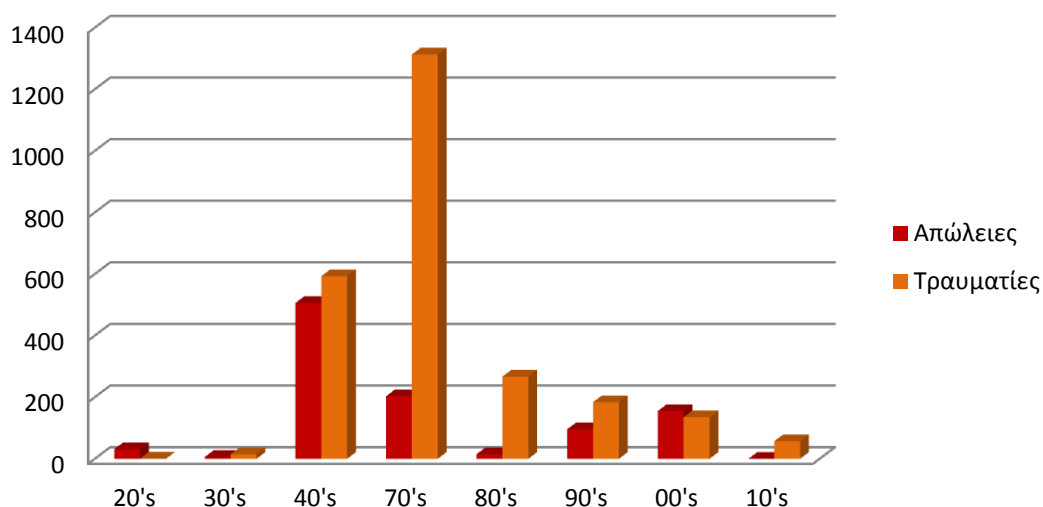
Εικόνα 4. 13 Αριθμός ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες ανά δεκαετίες

Όπως φάνηκε και παραπάνω η δεκαετία του 1970 είναι αυτή με τα περισσότερα ατυχήματα και όπως ήταν αναμενόμενο με τους περισσότερους νεκρούς και τραυματίες. Πιο συγκεκριμένα, από τα 7 ατυχήματα που σημειώθηκαν σε αυτήν τη δεκαετία τα 5 κατέληξαν σε φωτιά και ήταν πολύνεκρα. Ο τελικός απολογισμός ήταν 203 νεκροί και 1313 τραυματίες. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1940, σημειώθηκαν μόνο 4 ατυχήματα αλλά, λόγω της ελλιπούς τεχνογνωσίας πάνω στη διάσωση σε τέτοια ατυχήματα, τα 2 κατέληξαν με πολλούς νεκρούς και τραυματίες (Εικόνα 4.14). Συνολικά 506 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους και ακόμα 593 τραυματίστηκαν αυτή τη δεκαετία. Το 1984, αν και υπήρξαν μόνο 2 ατυχήματα οι τραυματίες είναι αρκετοί (267) λόγω της βομβιστικής επίθεσης στο San Benedetto της Ιταλίας.

Στις επόμενες δύο δεκαετίες, ενώ έχουν τον ίδιο αριθμό ατυχημάτων, παρατηρείται μια μικρή αύξηση από το 2000 στις απώλειες σε ανθρώπινες ζωές, λόγω του δυστυχήματος στο Karryn της Αυστρίας με 155 νεκρούς και 12 τραυματίες ([www.lotsberg.net](http://www.lotsberg.net)).



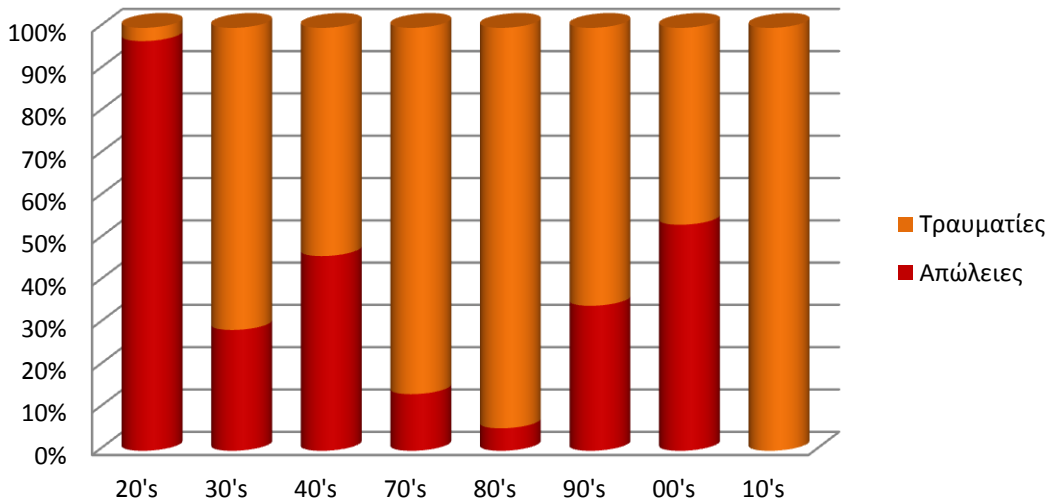
### Απώλειες και τραυματίες σε ατυχήματα σε σήραγγες ανά δεκαετίες



Εικόνα 4. 14 Απώλειες και τραυματίες σε σιδηροδρομικές σήραγγες ανά δεκαετίες

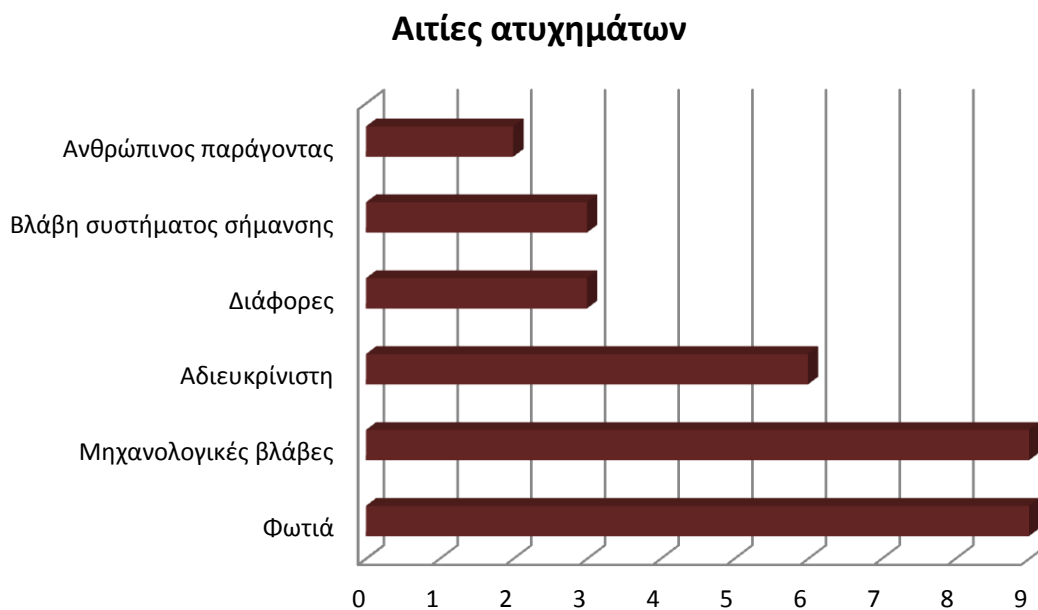
Αν εξαιρεθεί η δεκαετία του 1920 όπου ο αριθμός των νεκρών σε σχέση με τους τραυματίες έφτασε το 97%, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.15, τις υπόλοιπες δεκαετίες το ποσοστό των τραυματιών είναι σταθερά πάνω από το 50%. Πιο συγκεκριμένα, τη δεκαετία του 1930 το ποσοστό των τραυματιών ανέρχεται στο 71% ενώ το 1940 μειώνεται στο 53%. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970 το ποσοστό των τραυματιών σε σχέση με τους νεκρούς ανέρχεται στο 86% και το 1984 το ποσοστό αυξάνεται σημαντικά στο 94%. Τις δεκαετίες 1990 και 2000 αν και προκλήθηκαν ισάριθμα ατυχήματα το ποσοστό των τραυματιών διαφέρει κατά 20%. Αξιοσημείωτο είναι ότι από το 2000 έως το 2009 το μόνο θανατηφόρο ατύχημα ήταν αυτό στο Karun με 155 νεκρούς. Τέλος, από το 2010 και μετά δεν έχουν καταγραφεί νεκροί από ατυχήματα σε σιδηροδρομικές σήραγγες.

### Ποσοστιαία αναλογία απωλειών και τραυματιών σε ατυχήματα ανά δεκαετίες



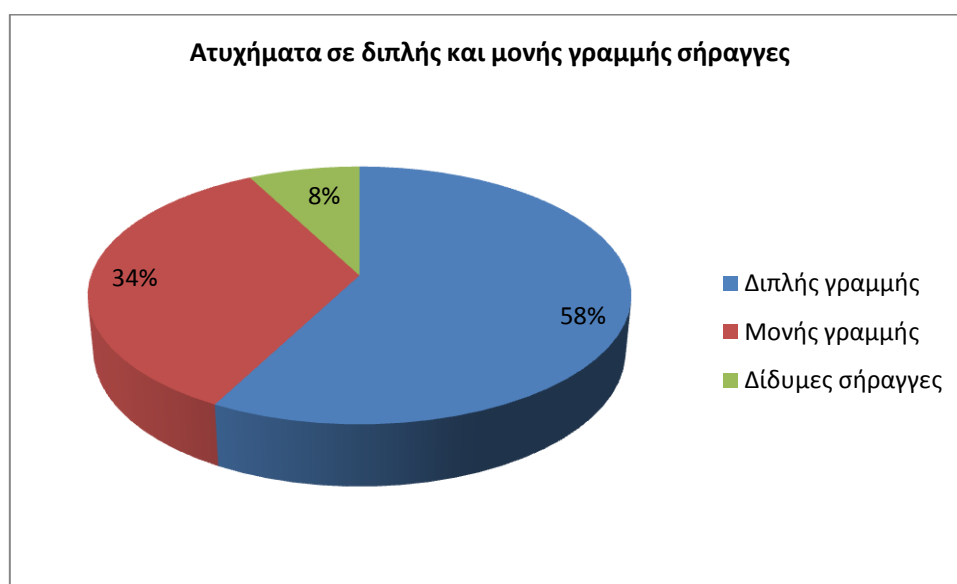
Εικόνα 4. 15 Ποσοστιαία αναλογία απωλειών και τραυματιών σε σιδηροδρομικές σήραγγες ανά δεκαετίες

Όσον αφορά στις αιτίες που προκαλούν τα ατυχήματα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.16 επικρατούν η φωτιά και οι μηχανολογικές βλάβες των συρμών. Η φωτιά κυρίως προκαλείται από κάποιο μεταφερόμενο όχημα ή σε κάποιο βαγόνι του συρμού από διάφορες αιτίες. Πολλά από τα περιστατικά έχουν παραμείνει με αδιευκρίνιστες τις συνθήκες οι οποίες τα προκάλεσαν. Τέλος, το σύστημα σήμανσης αλλά και η συμπεριφορά του οδηγού του συρμού όπως φαίνεται έχουν αρκετά μικρό ποσοστό συμμετοχής.



Εικόνα 4. 16 Αιτίες ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες

Τα ατυχήματα σε διπλής γραμμής σήραγγες φτάνουν το 58% και ακολουθούν τα ατυχήματα σε μονής γραμμής με 34%, ενώ τα ατυχήματα στις δίδυμες σήραγγες αποτελούν το 8% (Εικόνα 4.17). Όπως φαίνεται και στον πίνακα 4.2, τα ατυχήματα σε σήραγγες διπλής γραμμής είναι 15, σε σήραγγες μονής γραμμής είναι 9 ενώ σε δίδυμες είναι μόνο 2.

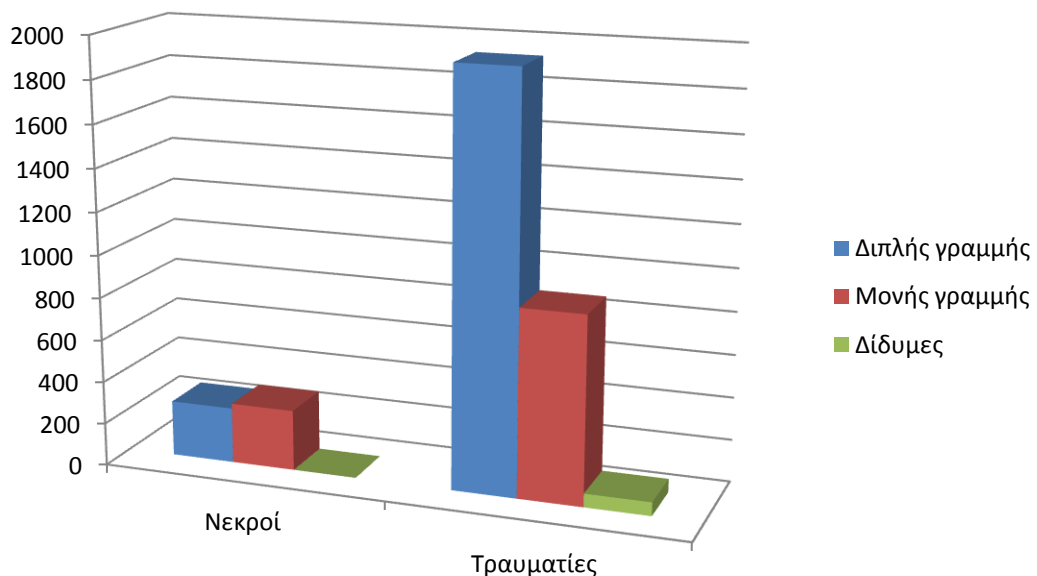


Εικόνα 4. 17 Ατυχήματα σε διπλής/μονής γραμμής και δίδυμες σιδηροδρομικές σήραγγες

**Πίνακας 4. 2 Αριθμός ατυχημάτων σε μονής και διπλής γραμμής σε σιδηροδρομικές σήραγγες**

	<b>Ατυχήματα</b>	<b>Νεκροί</b>	<b>Τραυματίες</b>
Διπλής γραμμής	15	262	1932
Μονής γραμμής	9	285	880
Δίδυμες	2	0	64

Όπως φαίνεται λοιπόν από την Εικόνα 4.18 ενώ ο αριθμός των νεκρών είναι πολύ κοντά και στις δύο περιπτώσεις, ο αριθμός των τραυματιών στις σήραγγες διπλής γραμμής έχει απότομη αύξηση. Πιο συγκεκριμένα, στις σήραγγες διπλής γραμμής οι νεκροί έφτασαν τους 285, στις σήραγγες μόνης γραμμής τους 262 ενώ στις δίδυμες δεν έχουν σημειωθεί απώλειες. Στους τραυματίες όμως η διαφορά αυξάνεται σημαντικά με 1932 και 880 αντίστοιχα.



**Εικόνα 4. 18 Ατυχήματα, απώλειες και τραυματίες σε μονής και διπλής γραμμής σε σιδηροδρομικές σήραγγες**

#### 4.4 Στατιστική ανάλυση ατυχημάτων σε υπόγεια αστικά δίκτυα

Ο πληθυσμός του δείγματος που λήφθηκε υπόψη για την στατιστική ανάλυση περιλαμβάνει 42 ατυχήματα που προκλήθηκαν σε σιδηροδρομικές σήραγγες σε όλο τον κόσμο από το 1918 έως και το 2011. Από αυτά τα 24 είχαν απώλειες σε ανθρώπινες ζωές και τα 15 είχαν μόνο τραυματίες. Πιο συγκεκριμένα, στα ατυχήματα που μελετώνται έχασαν τη ζωή τους 857 άνθρωποι και τραυματίστηκαν 2.534. Στον παρακάτω Πίνακα 4.4 φαίνονται οι πόλεις που βρίσκονται οι σήραγγες που μελετώνται, καθώς και το συνολικό μήκος του υπόγειου αστικού σιδηρόδρομου κάθε πόλης.

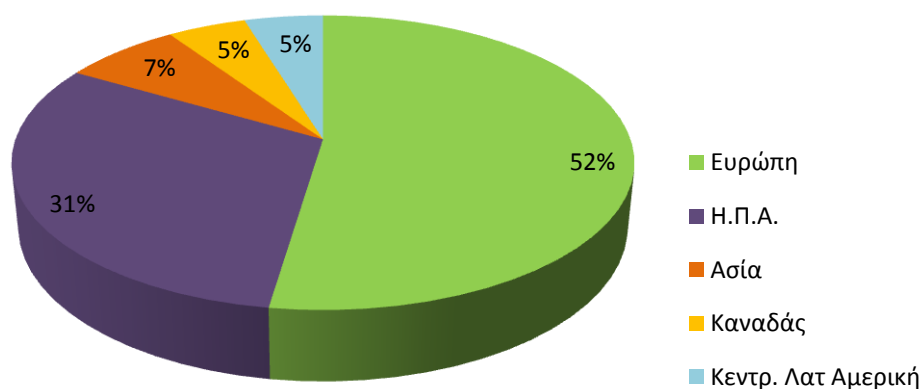
Πίνακας 4. 3 Μήκος υπόγειων αστικών δικτύων κάθε χώρας

Πόλη	Συνολικό μήκος του υπόγειου αστικού σιδηρόδρομου (m)
ΜΙΝΣΚ	30.300
ΜΠΑΚΟΥ	34.600
ΚΑΡΑΚΑΣ	52.400
ΜΟΝΤΡΕΑΛ	69.200
ΤΟΡΟΝΤΟ	70.000
ΑΜΒΟΥΡΓΟ	100.700
ΣΑΝ ΦΡΑΝΣΙΣΚΟ	167.000
ΟΥΑΣΙΝΓΚΤΟΝ	171.100
ΒΑΛΕΝΘΙΑ	175.000
ΜΕΞΙΚΟ	176.771
ΚΟΛΩΝΙΑ	192.000
ΠΑΡΙΣΙ	215.000
ΜΟΣΧΑ	301.200
ΝΕΑ ΥΟΡΚΗ	381.000
ΛΟΝΔΙΝΟ	402.000
ΣΑΓΚΑΗ	424.800
<b>ΕΥΡΩΠΗ</b>	<b>1.416.200</b>
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>2.963.071</b>

Σε αυτήν την κατηγορία τα ευρωπαϊκά υπόγεια αστικά δίκτυα που μελετώνται δεν επικρατούν των υπόλοιπων χωρών. Παρατηρείται λοιπόν, ότι το μεγαλύτερο υπόγειο αστικό δίκτυο, από τις πόλεις που μελετώνται, βρίσκεται στη Σαγκάη και ακολουθεί αυτό του Λονδίνου.

Στο ποσοστό των ατυχημάτων όμως τα Ευρωπαϊκά δίκτυα επανέρχονται στην πρώτη θέση με 52% και ακολουθούν οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής με 31% (Εικόνα 4.19). Ακολουθούν η Ασία, ο Καναδάς και η Κεντρική Αμερική με 7%,5% και 5% αντίστοιχα.

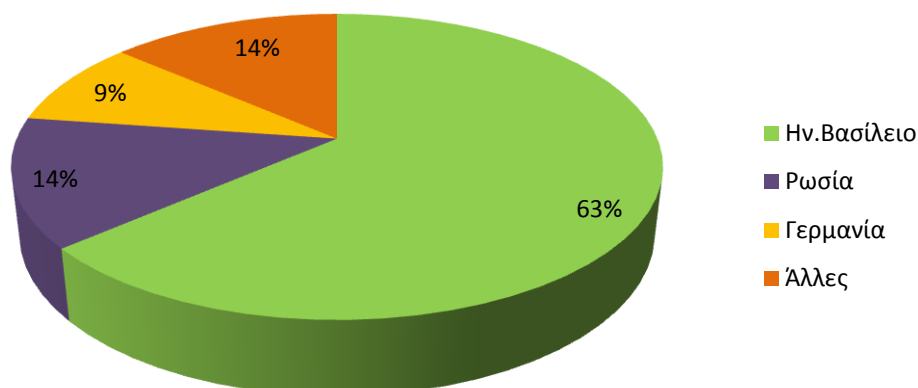
### Ατυχήματα ανά ήπειρο



Εικόνα 4. 19 Ατυχήματα σε σήραγγες μετρό ανά ήπειρο

Η Μεγάλη Βρετανία, με το παλαιότερο υπόγειο αστικό δίκτυο στον κόσμο αυτό του Λονδίνου, με το πρώτο του τμήμα να ανοίγει το 1863, βρίσκεται στην πρώτη θέση των ευρωπαϊκών χωρών σε ποσοστά ατυχημάτων με 63%. Ακολουθεί το δίκτυο της Ρωσίας, με το δεύτερο σε χρήση υπόγειο αστικό δίκτυο αυτό της Μόσχας, με 14% και η Γερμανία με τα υπόγεια αστικά δίκτυα του Αμβούργου και της Κολωνίας, με ποσοστό 9% (Εικόνα 4.20).

## Ποσοστά ατυχημάτων στις ευρωπαϊκές χώρες

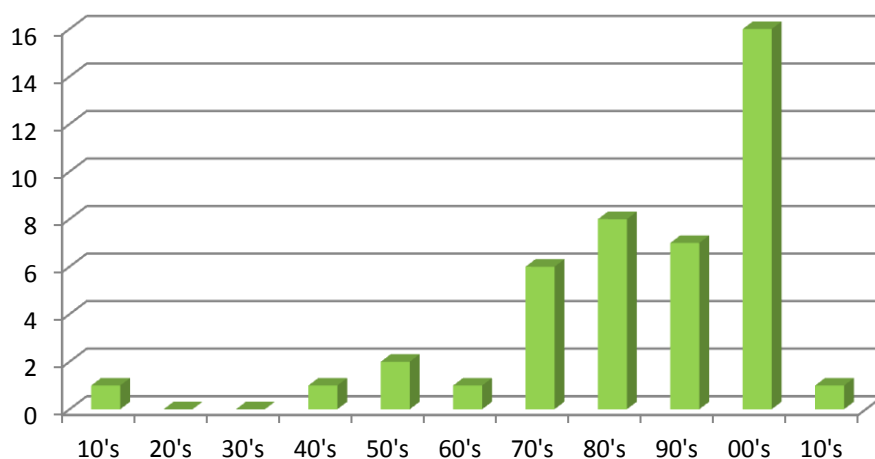


Εικόνα 4. 20 Ποσοστά ατυχημάτων σε σήραγγες μετρό στις ευρωπαϊκές χώρες

Με εξαίρεση τις δεκαετίες 1920,1930, οπότε δεν σημειώθηκαν ατυχήματα, και το 1960 παρατηρείται μια συνεχής ανοδική πορεία των ατυχημάτων σε υπόγεια αστικά δίκτυα, η οποία μπορεί να δικαιολογηθεί από την αύξηση των δικτύων αλλά και της χρήσης τους. Το 1940 και 1950 συνέβησαν 1 και 2 ατυχήματα αντίστοιχα.

Από τη δεκαετία του 1970 τα ατυχήματα αυξάνονται αισθητά, με 6 ατυχήματα να γίνονται σε αυτήν τη δεκαετία, 8 ατυχήματα το 1980 και 7 ατυχήματα το 1990. Απότομη αύξηση παρατηρείται τη δεκαετία του 2000 οπότε και σημειώθηκαν 16 ατυχήματα, τα περισσότερα από όλες τις δεκαετίες. Τα τελευταία χρόνια το μετρό έχει γίνει τρόπος ζωής για τους περισσότερους ανθρώπους με αποτέλεσμα να έχουν αυξηθεί και τα δρομολόγια, άρα μεγαλώνει και η πιθανότητα εκδήλωσης ατυχήματος.

## Ατυχήματα



Εικόνα 4. 21 Αριθμός ατυχημάτων σε σήραγγες μετρό ανά δεκαετίες

Ενώ τη δεκαετία του 1990 σημειώθηκαν μόνο 7 ατυχήματα, πολύ λιγότερα από τη δεκαετία του 2000, οι άνθρωποι που έχασαν τη ζωή τους ή τραυματίστηκαν είναι κατά πολύ περισσότεροι. Αυτό οφείλεται στα δύο πολύνεκρα ατυχήματα που σημειώθηκαν στο Μπακού λόγω φωτιάς και στο Μινσκ λόγω συνωστισμού, οδηγώντας στο θάνατο 289 και 54 άτομα και τραυματίζοντας 265 και 250 άτομα αντίστοιχα.

Πιο συγκεκριμένα, κατά τη δεκαετία του 1910 έχασαν τη ζωή τους 93 και τραυματίστηκαν 100 άτομα αν και σημειώθηκε μόνο 1 ατύχημα, όπως και τις δεκαετίες του 1940 και 1960, οπότε όμως μόνο 1 άνθρωπος έχασε τη ζωή του και 15 και 38 τραυματίστηκαν αντίστοιχα.

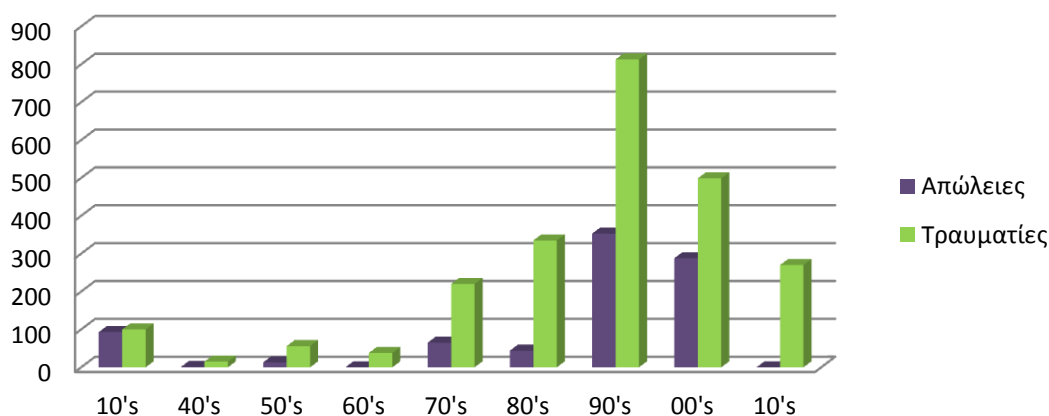
Από το 1950 έως το 1959 έχασαν τη ζωή τους 13 άτομα και τραυματίστηκαν 56. Τη δεκαετία του 1970 ο αριθμός των νεκρών και των τραυματιών αρχίζει να αυξάνεται και φτάνει στους 65 και 220 αντίστοιχα. Μια μικρή μείωση στους 44 νεκρούς και μια αύξηση στους 335 τραυματίες σημειώνεται τη δεκαετία του 1980.

Ενώ τη δεκαετία του 1990 τα ατυχήματα είναι τα υποδιπλάσια από τα ατυχήματα που σημειώθηκαν από το 2000 έως το 2009, ο αριθμός των νεκρών και των τραυματιών είναι αρκετά μεγαλύτερος και ανέρχεται στους 353 νεκρούς και 813 αντίστοιχα, ενώ τη δεκαετία του 2000 υπήρξαν 288 νεκροί και 499 τραυματίες.



Τέλος, τη δεκαετία που διανύεται έχει σημειωθεί μόνο ένα ατύχημα μόνο με τραυματίες, στο Χίηhua της Σανγκάη λόγω υψηλής ταχύτητας οπότε προκλήθηκε νωτομετωπική σύγκρουση με άλλον συρμό.

### Απώλειες και τραυματίες σε ατυχήματα σε σήραγγες ανά δεκαετίες

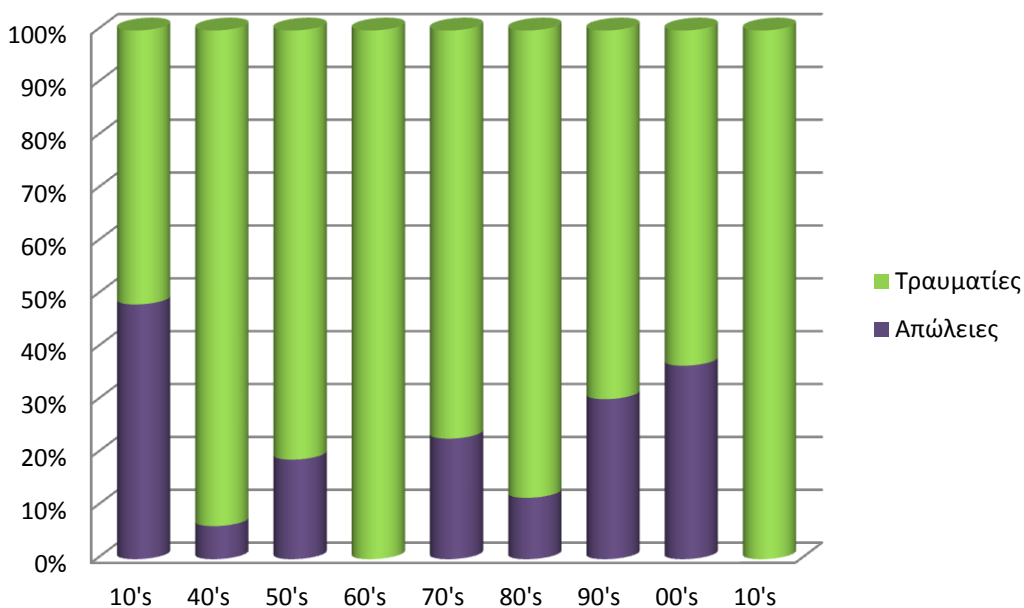


Εικόνα 4. 22 Απώλειες και τραυματίες σε σήραγγες μετρού ανά δεκαετίες

Με εξαίρεση τη δεκαετία του 1910 όπου η αναλογία των νεκρών και των τραυματιών είναι σχεδόν 1:1, όλες τις υπόλοιπες δεκαετίες το ποσοστό των τραυματιών είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτό των νεκρών. Πιο συγκεκριμένα, για τη δεκαετία του 1940 το ποσοστό τραυματιών είναι 98% και του 1950 είναι 81%. Τέλος, για τις δεκαετίες του 1970, 1980, 1990 και 2000 το ποσοστό των τραυματιών είναι 77%, 88%, 69% και 63% (Εικόνα 4.23).

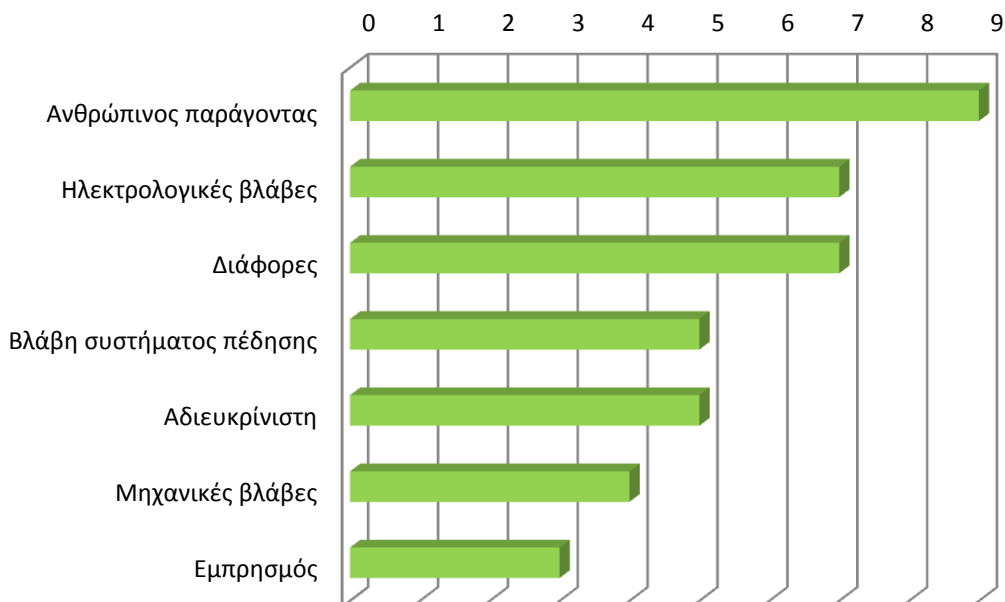
Βασικότερη αιτία για τα ατυχήματα σε υπόγεια αστικά δίκτυα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.24, αποτελεί ο ανθρώπινος παράγοντας, δηλαδή η συμπεριφορά του οδηγού του συρμού (κακή εκτίμηση, μέθη, καρδιακό επεισόδιο) και ακολουθούν οι ηλεκτρολογικές βλάβες (Εικόνα 4.24). Λόγω των συχνών στάσεων και των μεγάλων ταχυτήτων που αναπτύσσονται οι βλάβες στο σύστημα πέδησης αποτελούν συχνή αιτία των ατυχημάτων. Ακολουθούν οι μηχανικές βλάβες και ο εμπρησμός.

### Ποσοστιαία αναλογία απωλειών και τραυματιών σε ατυχήματα ανά δεκαετίες



Εικόνα 4. 23 Ποσοστιαία αναλογία απωλειών και τραυματιών σε σήραγγες μετρό ανά δεκαετίες

### Αιτίες ατυχημάτων



Εικόνα 4. 24 Αιτίες ατυχημάτων σε σήραγγες μετρό

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΚΑΜΠΥΛΕΣ F-N**

### **5.1 Παρουσίαση του κοινωνικού ρίσκου στα υπόγεια δίκτυα μεταφοράς σε καμπύλες F-N**

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται η κατασκευή των καμπυλών F-N για τα ατυχήματα που καταγράφηκαν (Παράρτημα Ι) με σκοπό τη μελέτη τη συχνότητα των θανατηφόρων ατυχημάτων και την εξαγωγή προκαταρκτικών εκτιμήσεων για τα επίπεδα ασφάλειας των σηράγγων.

Για την ανάλυση κινδύνου σε συγκεκριμένες σήραγγες, οι καμπύλες F-N γίνονται ανά έτος και ανά km σήραγγας. Στην παρούσα εργασία όπως και ο Evans (2003) η ανάλυση γίνεται μόνο ανά έτος. Σύμφωνα με τον Evans (2003) για την κατασκευή καμπυλών F-N με τον εμπειρικό τρόπο, όπως γίνεται στην παρούσα εργασία, χρειάζεται να γίνει η καταγραφή πολλών συμβάντων. Το γεγονός ότι ο αριθμός των ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή περισσότερους νεκρούς διαιρείται με τα χρόνια που μελετώνται ώστε να μετατραπούν σε συχνότητες, επιτρέπει τη σύγκριση των αποτελεσμάτων ακόμα και αν τα χρόνια που μελετώνται είναι αρκετά. Παράδειγμα αποτελεί η μελέτη των θανατηφόρων ατυχημάτων σε οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα και με αεροπλάνα σε παγκόσμιο επίπεδο για την περίοδο 1967-2001 της HSE (Health and Safety Executive).

#### **5.1.1 Καμπύλες F-N για τις οδικές σήραγγες**

Από τα καταγεγραμμένα πραγματικά ατυχήματα σε οδικά δίκτυα ( Πίνακας 1, Παράρτημα Ι) προκύπτει ο παρακάτω Πίνακας 5.1 με τον αριθμό N των νεκρών σε κάθε ατύχημα, τον αριθμό των ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς και τον αριθμό των ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς.

Πίνακας 5. 1 Αριθμός νεκρών και τον αριθμό των ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες

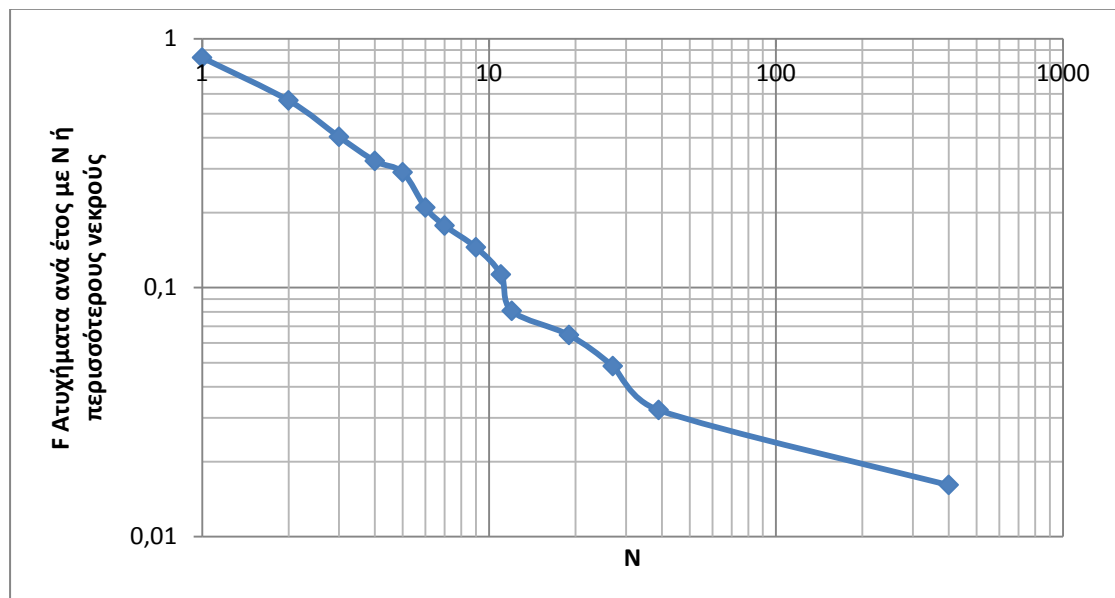
Αριθμός Νεκρών, N	Αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
1	17	52
2	10	35
3	5	25
4	2	20
5	5	18
6	2	13
7	2	11
9	2	9
11	2	7
12	1	5
19	1	4
27	1	3
39	1	2
400	1	1
<b>Σύνολο</b>	52	

Ανάγοντας τα δεδομένα σε συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες ( διαιρώντας τον αριθμό των ατυχημάτων με ακριβώς N και N ή παραπάνω νεκρούς με το 62 που είναι ο αριθμός των ετών από το 1949 έως το 2011 ) προκύπτει ο ακόλουθος Πίνακας 5.2:

Πίνακας 5. 2 Αριθμός νεκρών και συχνότητα ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες

Αριθμός Νεκρών, N	Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
1	0,27	0,83
2	0,16	0,56
3	0,08	0,40
4	0,03	0,32
5	0,08	0,29
6	0,03	0,20
7	0,03	0,17
9	0,03	0,14
11	0,03	0,11
12	0,01	0,08
19	0,01	0,06
27	0,01	0,04
39	0,01	0,03
400	0,01	0,01

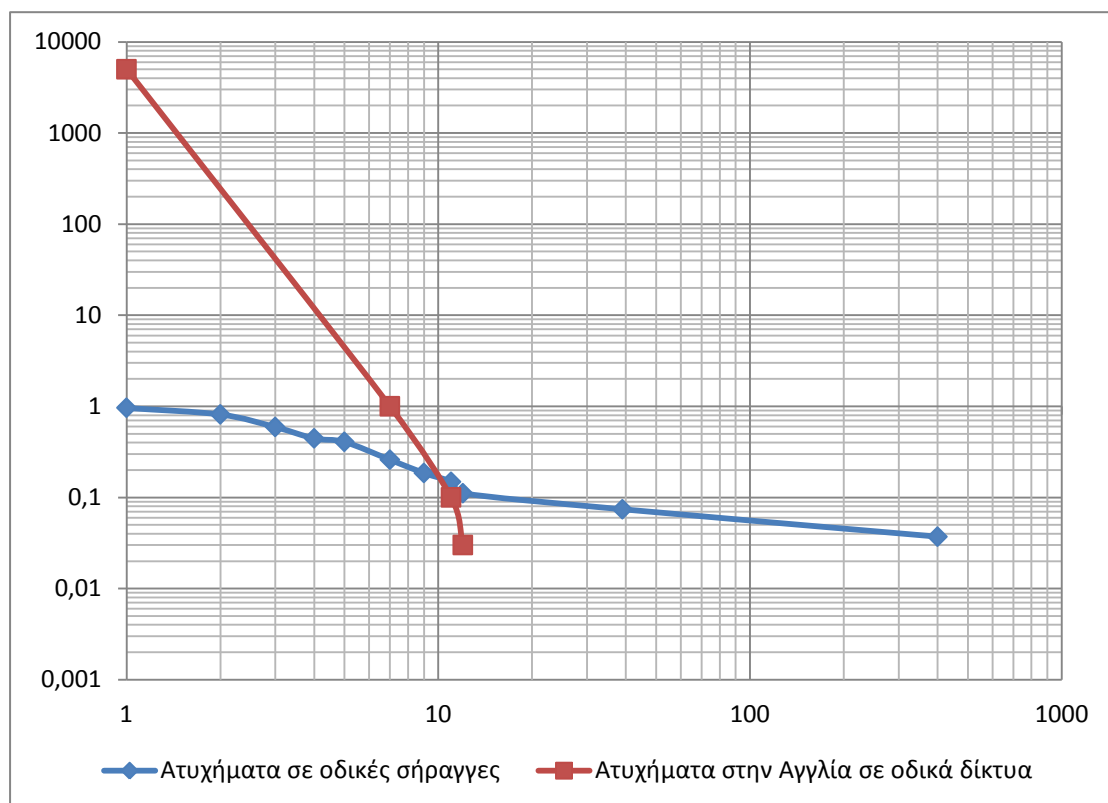
Έχοντας τις αθροιστικές συχνότητες των ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες, είναι δυνατή η σχεδίαση της καμπύλης F-N.



Εικόνα 5. 1 Καμπύλη F-N όλων των καταγραφέντων ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες

Μερικές πρόχειρες παρατηρήσεις είναι οι εξής. Αρχικά η καμπύλη εμφανίζει μια σαφέστατη τάση για μείωση των συχνοτήτων F-N καθώς το N μεγαλώνει. Αυτό σημαίνει ότι η πλειονότητα των ατυχημάτων περιλαμβάνουν μικρό αριθμό νεκρών κάτι που είναι σε πρώτη φάση ενθαρρυντικό για το επίπεδο του ρίσκου. Όμως η παραπάνω άποψη ότι «προκαλούνται λίγα πολύνεκρα ατυχήματα ανά έτος», θα μπορούσε να αντιστραφεί στο «προκαλούνται πολλά ατυχήματα ανά έτος με μικρό αριθμό νεκρών».

Συγκρίνοντας τώρα την καμπύλη F-N που σχεδιάστηκε με τα ατυχήματα σε οδικά δίκτυα της Αγγλίας από το 1969 έως το 2001 (Evans, 2003), φαίνεται ότι η συχνότητα των ατυχημάτων με λιγότερους από 10 νεκρούς είναι είναι πολύ μικρότερη στις οδικές σήραγγες. Παρατηρείται όμως ότι τα πολύνεκρα ατυχήματα, σχεδόν δεν εμφανίζονται στην καμπύλη της Αγγλίας.



Εικόνα 5. 2 Σύγκριση με ατυχήματα σε οδικά δίκτυα της Αγγλίας

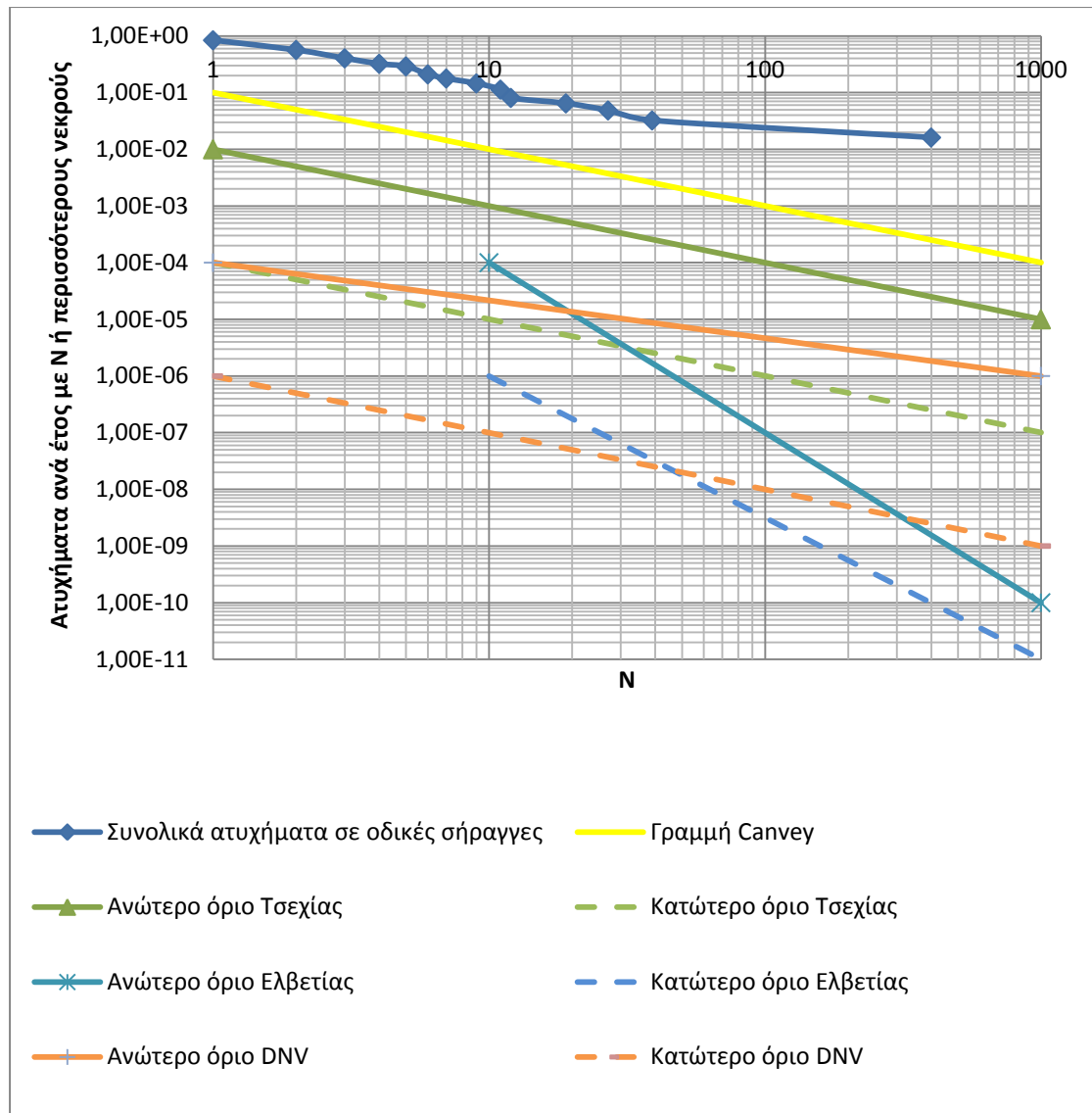
Τα διαγράμματα F-N δεν μπορούν να θεωρηθούν αυστηρά μαθηματικά εργαλεία, ενώ δεν μπορούν και να αποτελέσουν από μόνα τους Κριτήρια Αποδοχής Ρίσκου. Το

διάγραμμα που δημιουργήθηκε, δεν αποτελεί μεν ένα απόλυτο μέτρο του Κοινωνικού Ρίσκου της συγκεκριμένης δραστηριότητας, απεικονίζει ωστόσο την ιστορική πορεία των ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες κατά τα έτη 1949-2011.

Παρακάτω γίνεται σύγκριση της καμπύλης που σχεδιάστηκε με τα ανώτερα και κατώτερα όρια κριτηρίων αποδοχής ρίσκου διαφόρων χωρών για τα ατυχήματα σε οδικές σήραγγες (Satra, 2007 και Holický, 2007).

Να σημειωθεί ότι μια προσέγγιση που επικρατεί για την σύγκριση των καμπυλών αποτελεί η σύγκριση του ρίσκου μιας δραστηριότητας με αυτό που προέρχεται από κάποια άλλη δραστηριότητα και το οποίο έχει ήδη κριθεί αποδεκτό μέσα από δημόσιο διάλογο και επίσημες έρευνες. Αυτή η αντίληψη οδήγησε στο σημείο Canvey ( Canvey Point ), που αποτελεί το μέτρο του εκ των πραγμάτων αποδεκτού ρίσκου στη Νήσο Canvey και είναι το  $(1000, 10^{-4})$ .

Η ευθεία Canvey συμπίπτει με το ανώτατο όριο του Αυστριακού και του Αγγλικού κριτηρίου.



Εικόνα 5. 3 Σύγκριση καμπύλης F-N με διάφορα κριτήρια αποδοχής ρίσκου σε οδικές σήραγγες

Παρατηρείται ότι η καμπύλη που σχεδιάστηκε βρίσκεται υπερβολικά ψηλότερα από τα ανώτατα όρια των κριτηρίων της Τσεχίας και της Ελβετίας αλλά σχετικά κοντά στα ανώτατα όρια της Αυστρίας και της Αγγλίας. Η ερμηνεία αυτού του φαινομένου θα μπορούσε κατ' αρχήν να είναι ότι συγκρίνονται διαφορετικά δεδομένα καθώς η συχνότητα της καμπύλης που σχεδιάστηκε είναι ανά έτος ενώ τα υπόλοιπα κριτήρια έχουν αναχθεί στον αριθμό των δρομολογιών. Παρόλα αυτά μπορεί να εξαχθεί ένα αρχικό συμπέρασμα ότι οι οδικές σήραγγες δεν έχουν ακόμα πλησιάσει τα αποδεκτά όρια και ότι είναι αναγκαία λήψη επιπλέον μέτρων προστασίας.



Εξετάζεται επίσης και η πορεία της συχνότητας των θανατηφόρων ατυχημάτων τα τελευταία 20 χρόνια. Από τα δεδομένα προέκυψε ο Πίνακας 5.3 με τον αριθμό Ν των νεκρών σε κάθε ατύχημα, τον αριθμό των ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς Ν νεκρούς και τον αριθμό των ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα Ν ή παραπάνω νεκρούς.

Ανάγοντας τα δεδομένα σε συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες ( διαιρώντας τον αριθμό των ατυχημάτων με ακριβώς Ν και Ν ή παραπάνω νεκρούς με το 20 που είναι ο αριθμός των ετών από το 1991 έως το 2010 ) προκύπτει ο Πίνακας 5.4.

**Πίνακας 5. 3 Αριθμός νεκρών και τον αριθμό των ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες για την περίοδο 1991-2010**

<b>Αριθμός Νεκρών, Ν</b>	<b>Αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς Ν νεκρούς</b>	<b>Αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα Ν ή παραπάνω νεκρούς</b>
<b>1</b>	17	41
<b>2</b>	8	24
<b>3</b>	4	16
<b>4</b>	2	12
<b>5</b>	3	10
<b>6</b>	1	7
<b>9</b>	1	6
<b>11</b>	2	5
<b>12</b>	1	3
<b>27</b>	1	2
<b>39</b>	1	1
	41	

Πίνακας 5. 4 Αριθμός νεκρών και συχνότητα ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες για την περίοδο  
1991-2010

Αριθμός Νεκρών, N	Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
1	0,85	2,05
2	0,4	1,2
3	0,2	0,8
4	0,1	0,6
5	0,15	0,5
6	0,05	0,35
9	0,05	0,3
11	0,1	0,25
12	0,05	0,15
27	0,05	0,1
39	0,05	0,05

Καθώς τα δεδομένα ανάγονται στο χρόνο η σύγκριση των ατυχημάτων των 20 τελευταίων χρόνων με τα συνολικά ατυχήματα δεν είναι ορθή. Για το λόγο αυτό θα γίνει σύγκριση των δυο τελευταίων 20ετιών ώστε να βγουν εύλογα συμπεράσματα.

Παρακάτω δίνεται ο Πίνακας 5.5 με τον αριθμό N των νεκρών σε κάθε ατύχημα, τον αριθμό των ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς και τον αριθμό των ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς για την περίοδο 1971-1990.

Ανάγοντας τα δεδομένα σε συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες ( διαιρώντας τον αριθμό των ατυχημάτων με ακριβώς N και N ή παραπάνω νεκρούς με το 20 που είναι ο αριθμός των ετών από το 1970 έως το 1990 ) προκύπτει ο Πίνακας 5.6.

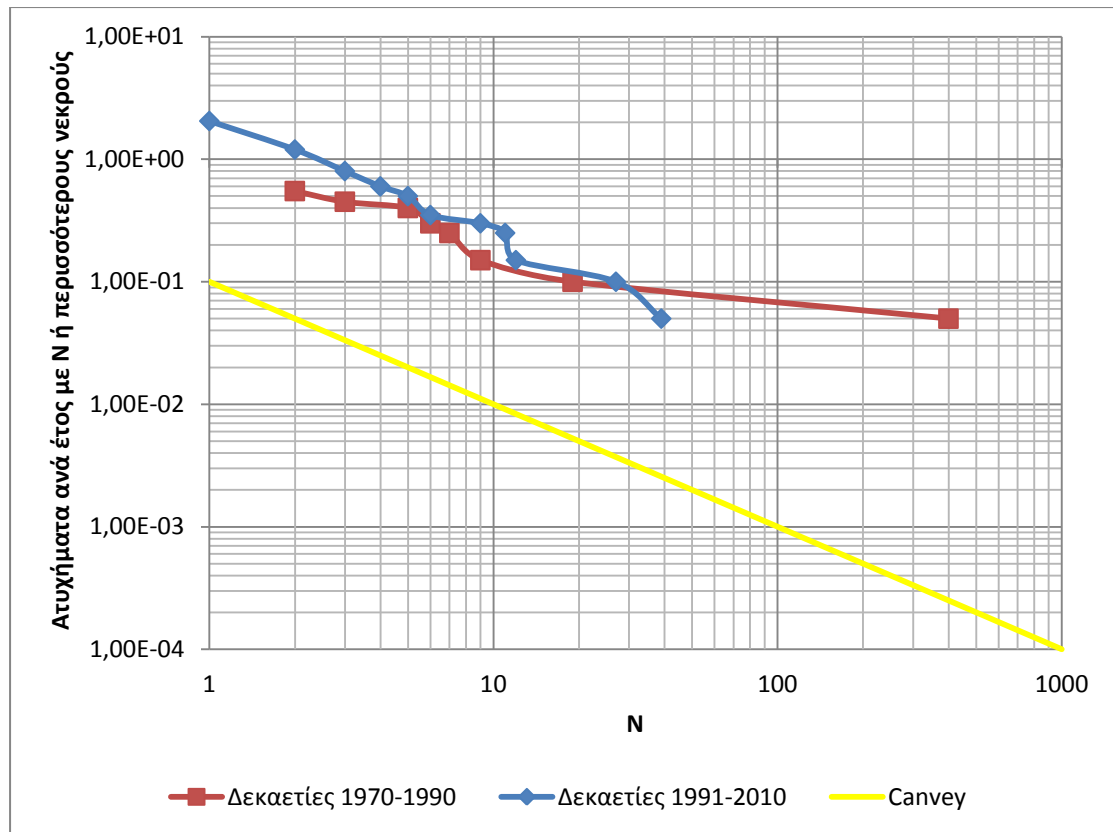
Πίνακας 5. 5 Αριθμός νεκρών και τον αριθμό των ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες για την περίοδο  
1971-1990

Αριθμός Νεκρών, N	Αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
2	2	11
3	1	9
5	2	8
6	1	6
7	2	5
9	1	3
19	1	2
400	1	1
	11	

Πίνακας 5. 6 Αριθμός νεκρών και συχνότητα ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες για την περίοδο  
1971-1990

Αριθμός Νεκρών, N	Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
2	0,1	0,55
3	0,05	0,45
5	0,1	0,4
6	0,05	0,3
7	0,1	0,25
9	0,05	0,15
19	0,05	0,1
400	0,05	0,05

Έχοντας τις αθροιστικές συχνότητες των ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες, είναι δυνατή η σχεδίαση της καμπύλης F-N.



Εικόνα 5. 4 Σύγκριση τελευταίων δύο εικοσαετιών και γραμμής Canvey

Από τα δεδομένα που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο φαίνεται ότι τις δεκαετίες του 1990 και του 2000 ο αριθμός των ατυχημάτων αλλά και των νεκρών αυξάνεται αρκετά σε σχέση με τις προηγούμενες δεκαετίες. Στο παραπάνω διάγραμμα F-N όντως επιβεβαιώνεται το προηγούμενο συμπέρασμα, αφού όπως φαίνεται η καμπύλη των τελευταίων 20 χρόνων δείχνει ότι αυξάνεται η συχνότητα των θανατηφόρων ατυχημάτων σε σχέση με τα 20 προηγούμενα χρόνια. Η κλίση παραμένει σχεδόν ίδια κάτι που υποδηλώνει την τάση για μείωση των πολύνεκρων ατυχημάτων. Η βασική διαφορά σε σχέση με τα συνολικά χρόνια είναι ότι έχουν εξαληφθεί τα ατυχήματα με πάνω από 40 νεκρούς.

#### 5.1.1.1 Παρουσίαση κοινωνικού ρίσκου σε καμπύλες F-N για διάφορες χώρες

Παρακάτω γίνεται ξεχωριστή απεικόνιση του κοινωνικού ρίσκου σε καμπύλες F-N για τις οδικές σήραγγες της Ελβετίας, της Αυστρίας και της Νορβηγίας για τις οποίες

βρέθηκαν τα ανώτερα και κατώτερα όρια των κριτηρίων αποδοχής κοινωνικού ρίσκου. Με αυτόν τον τρόπο θα γίνει προσπάθεια μιας πιο λεπτομερούς ανάλυσης για τη συχνότητα των ατυχημάτων με νεκρούς σε αυτές τις χώρες καθώς και θα επιβεβαιωθεί αν οι καμπύλες βρίσκονται μέσα στην περιοχή του αποδεκτού ρίσκου.

## ΕΛΒΕΤΙΑ

Μετά την καταγραφή των ατυχημάτων που έγιναν σε οδικές σήραγγες της Ελβετίας, προέκυψαν οι παρακάτω Πίνακες 5.7 και 5.8. Από το 1976 έως και το 2010 καταγράφηκαν 15 ατυχήματα από τα οποία τα 12 ήταν θανατηφόρα με 42 νεκρούς. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα 7 από αυτά έλαβαν χώρα στη σήραγγα του St. Gotthard.

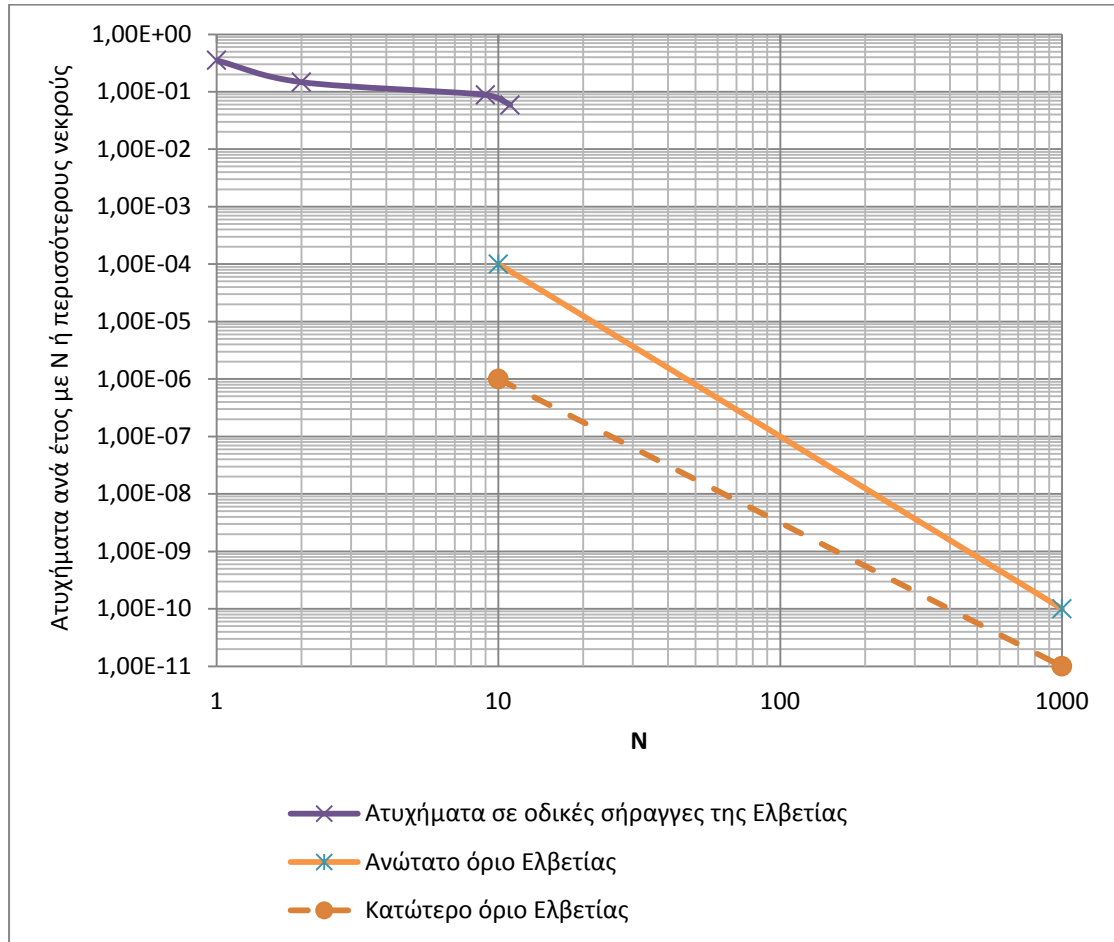
Πίνακας 5. 7 Αριθμός νεκρών και τον αριθμό των ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες της Ελβετίας

Αριθμός Νεκρών, N	Αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
1	7	12
2	2	5
9	1	3
11	2	2
	12	

Πίνακας 5. 8 Αριθμός νεκρών και συχνότητα ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες της Ελβετίας

Αριθμός Νεκρών, N	Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
1	0,2	0,35
2	0,05	0,14
9	0,02	0,08
11	0,05	0,05

Σύμφωνα με τα όρια του αποδεκτού κοινωνικού ρίσκου που δίνονται από τους Libouchec and Panenska (2007) προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα F-N (Εικόνα 5.4).



Εικόνα 5. 5 Καμπύλη F-N για ατυχήματα στην Ελβετία και ελβετικά όρια αποδοχής

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό τα ελβετικά όρια για το αποδεκτό κοινωνικό ρίσκο δεν έχουν λάβει υπόψη τα ατυχήματα με λιγότερους από 10 νεκρούς κάτι που εκ των πραγμάτων εμποδίζει τη σωστή σύγκριση. Παρ' όλα αυτά παρατηρείται ότι ακόμα και αν υπήρχε προέκταση του κριτηρίου, με την ίδια κλίση και για ατυχήματα με λιγότερους από 10 νεκρούς, και πάλι η καμπύλη που σχεδιάστηκε δεν είναι εντός περιοχής των ορίων.

## ΑΥΣΤΡΙΑ

Μετά την καταγραφή των ατυχημάτων που έγιναν σε οδικές σήραγγες της Αυστρίας, προέκυψαν οι παρακάτω Πίνακες 5.9 και 5.10. Από το 1986 έως και το 2008 καταγράφηκαν 19 ατυχήματα από τα οποία τα 9 ήταν θανατηφόρα με 25 νεκρούς.

Σύμφωνα με τα όρια του αποδεκτού κοινωνικού ρίσκου που δίνονται από τους Libouchec and Panenska (2007) προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα F-N.

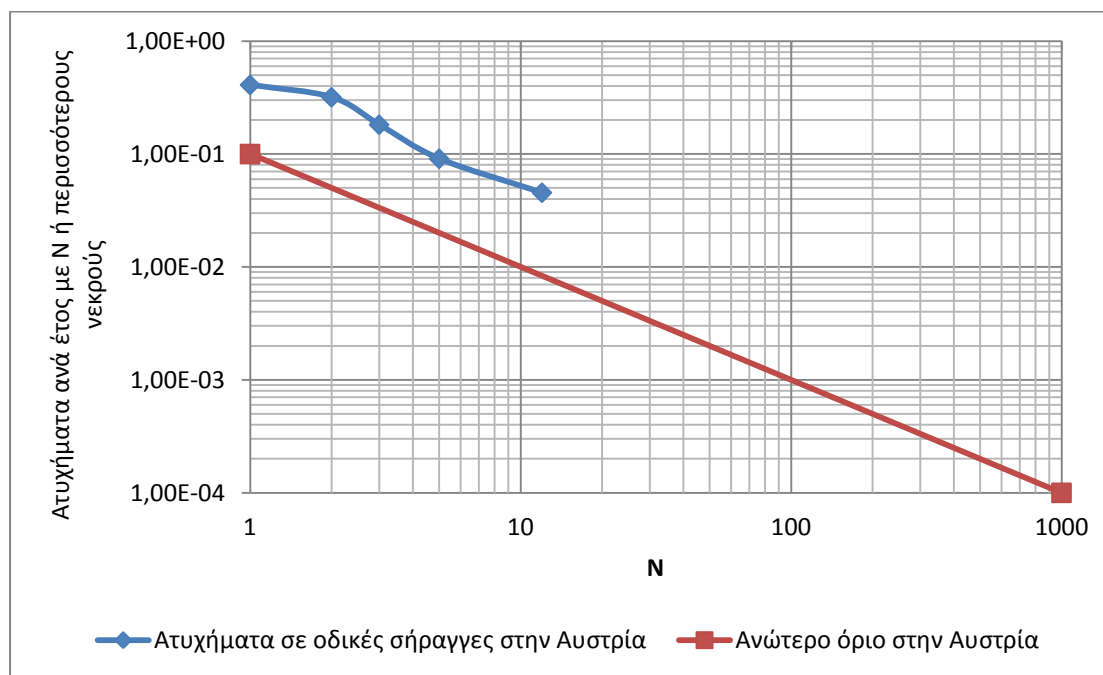
Πίνακας 5. 9 Αριθμός νεκρών και ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες της Αυστρίας

Αριθμός Νεκρών, N	Αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
1	2	9
2	3	7
3	2	4
5	1	2
12	1	1
	9	

Πίνακας 5. 10 Αριθμός νεκρών και συχνότητα ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες της Αυστρίας

Αριθμός Νεκρών, N	Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
1	0,09	0,4
2	0,13	0,31
3	0,09	0,18
5	0,04	0,09
12	0,04	0,04

Παρατηρείται και πάλι μια μεγάλη απόκλιση από το ανώτατο όριο του αποδεκτού κοινωνικού ρίσκου για τις αυστριακές οδικές σήραγγες, η οποία όμως είναι σαφώς μικρότερη από την απόκλιση των συνολικών ατυχημάτων με το ανώτατο αυστριακό όριο όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.5.



Εικόνα 5. 6 Καμπύλη F-N για ατυχήματα στην Αυστρία και αυστριακά όρια αποδοχής

## ΝΟΡΒΗΓΙΑ

Μετά την καταγραφή των ατυχημάτων που έγιναν σε οδικές σήραγγες της Νορβηγίας, προέκυψαν οι παρακάτω Πίνακες 5.11 και 5.12. Από το 1990 έως και το 2006 καταγράφηκαν 8 ατυχήματα από τα οποία τα 4 ήταν θανατηφόρα με 5 νεκρούς.



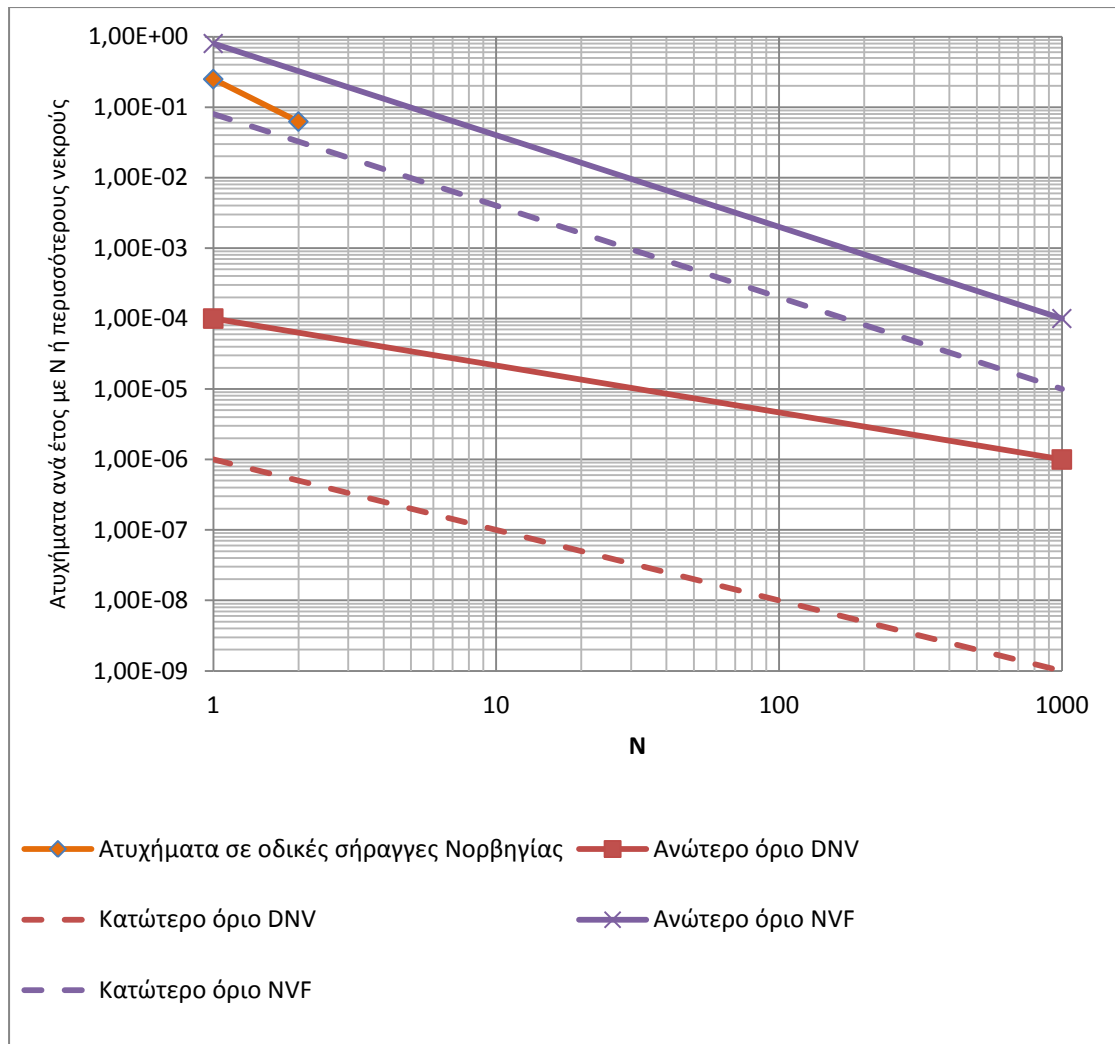
Πίνακας 5. 11 Αριθμός νεκρών και τον αριθμό των ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες της Νορβηγίας

Αριθμός Νεκρών, N	Αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
1	3	4
2	1	1
	4	

Πίνακας 5. 12 Αριθμός νεκρών και συχνότητα ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες της Νορβηγίας

Αριθμός Νεκρών, N	Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
1	0,18	0,25
2	0,06	0,06

Για τη συγκεκριμένη σύγκριση θα χρησιμοποιηθούν δύο κριτήρια. Το ένα προτείνεται από την εταιρεία Det Norske Veritas (Davidsson et al., 1997) και το άλλο από την NVF Technical Committee (NVF seminar, 2002). Προκύπτει λοιπόν το παρακάτω διάγραμμα F-N (Εικόνα 5.6).



Εικόνα 5. 7 Καμπύλη F-N για ατυχήματα στη Νορβηγία και νορβηγικά όρια αποδοχής

Παρατηρείται ότι τα όρια που προτείνει η DNV είναι σαφώς πιο συντηρητικά από αυτά της NVF. Όμως η καμπύλη που σχεδιάστηκε με τα καταγραφέντα ατυχήματα φαίνεται ότι είναι εντός ορίων αποδεκτού ρίσκου της NVF κάτι που χονδρικά υποδηλώνει ότι οι οδικές σήραγγες είναι αρκετά ασφαλείς.

### 5.1.2 Καμπύλες F-N για τις σιδηροδρομικές σήραγγες

Από τα καταγεγραμμένα πραγματικά ατυχήματα σε σιδηροδρομικά δίκτυα ( Πίνακας 2, Παράρτημα Ι) προκύπτει ο παρακάτω πίνακας με τον αριθμό N των νεκρών σε κάθε ατύχημα, τον αριθμό των ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς και τον αριθμό των ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς.

Πίνακας 5. 13 Αριθμό νεκρών και τον αριθμό των ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες

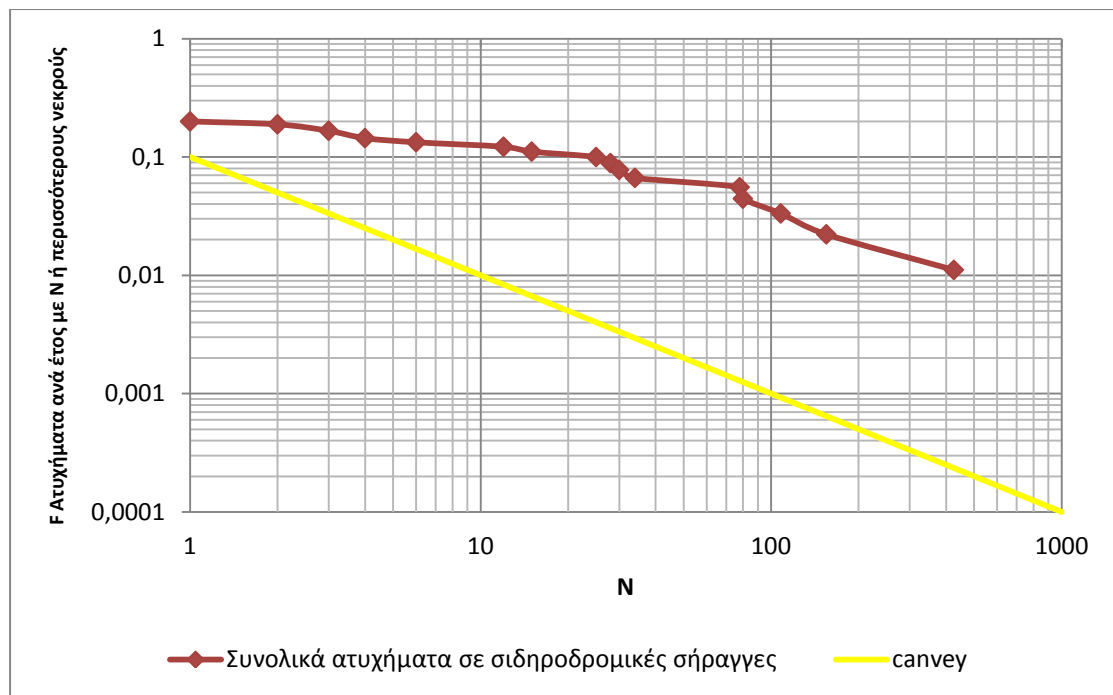
Αριθμός Νεκρών, N	Αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
1	1	18
2	2	17
3	2	15
4	1	13
6	1	12
12	1	11
15	1	10
25	1	9
28	1	8
30	1	7
34	1	6
78	1	5
80	1	4
108	1	3
155	1	2
426	1	1
<b>Σύνολο</b>	<b>18</b>	

Ανάγοντας τα δεδομένα σε συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες ( διαιρώντας τον αριθμό των ατυχημάτων με ακριβώς N και N ή παραπάνω νεκρούς με το 90 που είναι ο αριθμός των ετών από το 1921 έως το 2011 ) προκύπτει ο ακόλουθος Πίνακας 5.14:

Πίνακας 5. 14 Αριθμός νεκρών και συχνότητα ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες

Αριθμός Νεκρών, N	Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
1	0,01	0,2
2	0,02	0,18
3	0,02	0,16
4	0,01	0,14
6	0,01	0,13
12	0,01	0,12
15	0,01	0,11
25	0,01	0,1
28	0,01	0,08
30	0,01	0,07
34	0,01	0,06
78	0,01	0,05
80	0,01	0,04
108	0,01	0,03
155	0,01	0,02
426	0,01	0,01

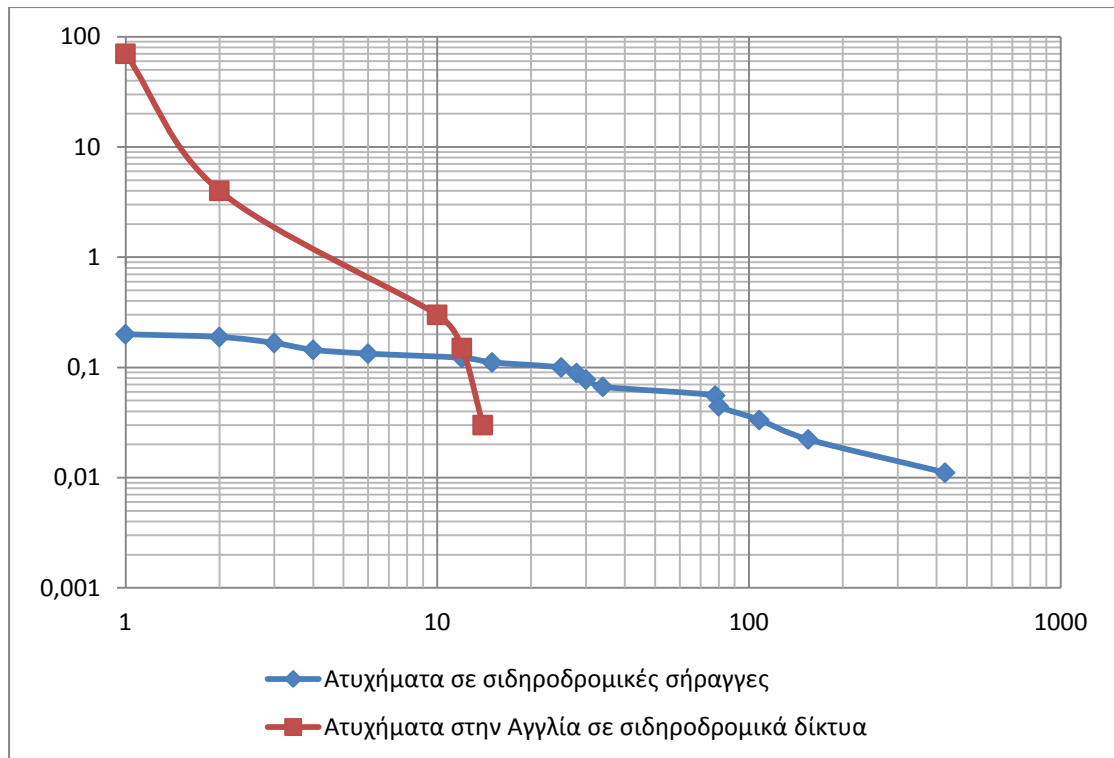
Έχοντας τις αθροιστικές συχνότητες των ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες, είναι δυνατή η σχεδίαση της καμπύλης F-N. Δίνεται παρακάτω σε σύγκριση με την ευθεία Canvey.



Εικόνα 5. 8 Σύγκριση καμπύλης F-N όλων των καταγραφέντων ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες με τη γραμμή Canvey

Μια πρώτη εκτίμηση του διαγράμματος είναι ότι η κλίση της καμπύλης δεν είναι αρκετά απότομη, πράγμα που υποδεικνύει ότι δεν υπάρχει τάση μείωσης της συχνότητας των πολύνεκρων ατυχημάτων. Μια δεύτερη παρατήρηση είναι ότι η απόσταση της καμπύλης από την ευθεία Canvey δεν είναι πολύ μεγάλη άρα οι σιδηροδρομικές σήραγγες πλησιάζουν τα Αποδεκτά Όρια Ρίσκου.

Συγκρίνοντας τώρα την καμπύλη F-N που σχεδιάστηκε με τα ατυχήματα σε σιδηροδρομικά δίκτυα της Αγγλίας από το 1969 έως το 2001 (Evans, 2003), φαίνεται ότι η συχνότητα των ατυχημάτων με λιγότερους από 10 νεκρούς είναι είναι πολύ μικρότερη στις σιδηροδρομικές σήραγγες. Παρατηρείται όμως και πάλι ότι τα πολύνεκρα ατυχήματα, σχεδόν δεν εμφανίζονται στην καμπύλη της Αγγλίας.



**Εικόνα 5. 9 Σύγκριση με ατυχήματα σε σιδηροδρομικά δίκτυα Αγγλίας**

Εξετάζεται επίσης και η πορεία της συχνότητας των θανατηφόρων ατυχημάτων τα τελευταία 20 χρόνια. Από τα δεδομένα προέκυψε ο Πίνακας 5.15 με τον αριθμό N των νεκρών σε κάθε ατύχημα, τον αριθμό των ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς και τον αριθμό των ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς.

Ανάγοντας τα δεδομένα σε συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες ( διαιρώντας τον αριθμό των ατυχημάτων με ακριβώς N και N ή παραπάνω νεκρούς με το 20 που είναι ο αριθμός των ετών από το 1991 έως το 2010) προκύπτει ο Πίνακας 5.16.

Πίνακας 5. 15 Αριθμός νεκρών και τον αριθμό των ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες για την περίοδο 1991-2010

Αριθμός Νεκρών, N	Αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
4	1	4
12	1	3
80	1	2
155	1	1
	4	

Πίνακας 5. 16 Αριθμός νεκρών και συχνότητα ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες για την περίοδο 1991-2010

Αριθμός Νεκρών, N	Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
4	0,05	0,2
12	0,05	0,15
80	0,05	0,1
155	0,05	0,05

Όπως προαναφέρθηκε, καθώς τα δεδομένα ανάγονται στο χρόνο η σύγκριση των ατυχημάτων των 20 τελευταίων χρόνων με τα συνολικά ατυχήματα δεν είναι ορθή. Για το λόγο αυτό θα γίνει σύγκριση των δυο τελευταίων 20ετιών ώστε να βγουν εύλογα συμπεράσματα.

Παρακάτω δίνεται ο Πίνακας 5.17 με τον αριθμό N των νεκρών σε κάθε ατύχημα, τον αριθμό των ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς και τον αριθμό των ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς.

Ανάγοντας τα δεδομένα σε συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες ( διαιρώντας τον αριθμό των ατυχημάτων με ακριβώς N και N ή παραπάνω νεκρούς με το 20 που είναι ο αριθμός των ετών από το 1970 έως το 1990 ) προκύπτει ο Πίνακας 5.18.

Πίνακας 5. 17 Αριθμός νεκρών και τον αριθμό των ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες για την περίοδο 1971-1990

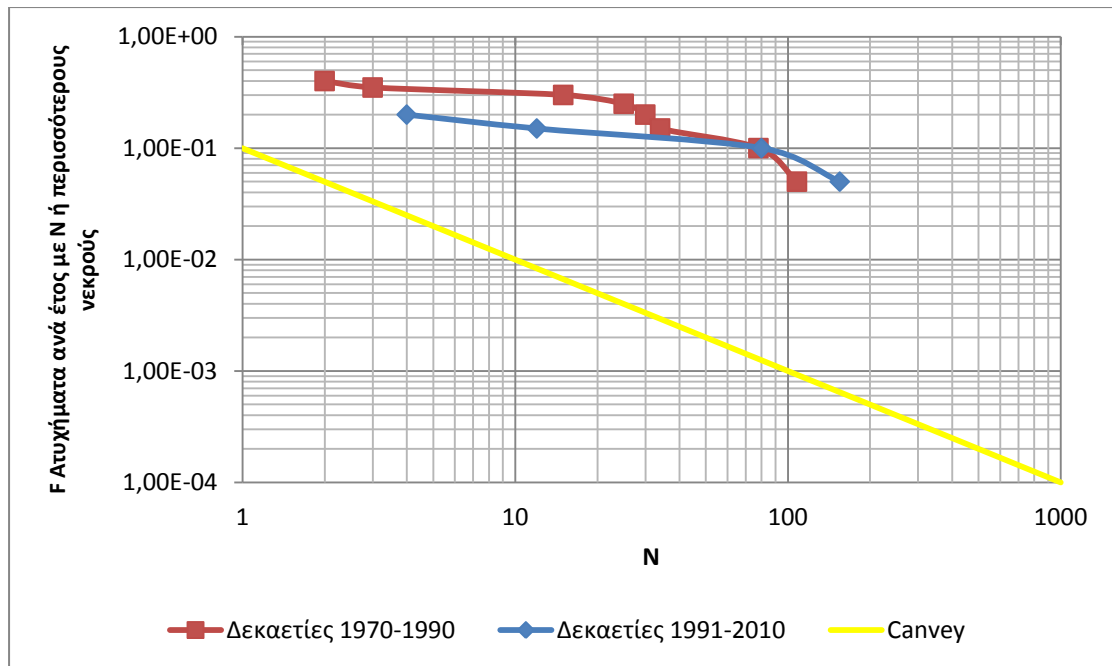
Αριθμός Νεκρών, N	Αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
2	1	8
3	1	7
15	1	6
25	1	5
30	1	4
34	1	3
78	1	2
108	1	1
	8	

Πίνακας 5. 18 Αριθμός νεκρών και συχνότητα ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες για την περίοδο 1991-2010

Αριθμός Νεκρών, N	Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
2	0,05	0,4
3	0,05	0,35
15	0,05	0,3
25	0,05	0,25
30	0,05	0,2
34	0,05	0,15
78	0,05	0,1
108	0,05	0,05

Έχοντας τις αθροιστικές συχνότητες των ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες, είναι δυνατή η σχεδίαση της καμπύλης F-N.





Εικόνα 5. 10 Σύγκριση τελευταίων δύο εικοσαετιών και γραμμής Canvey για τα σιδηροδρομικά ατυχήματα

Από τα δεδομένα που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο φαίνεται ότι τις δεκαετίες του 1990 και του 2000 ο αριθμός των ατυχημάτων αλλά και των νεκρών μειώνεται αρκετά σε σχέση με τις δύο προηγούμενες δεκαετίες. Ιδιαίτερα τη δεκαετία του 1980 τα πολύνεκρα ατυχήματα είναι πολύ αυξημένα. Στο παραπάνω διάγραμμα F-N όντως επιβεβαιώνεται το προηγούμενο συμπέρασμα, αφού όπως φαίνεται η καμπύλη των τελευταίων 20 χρόνων δείχνει ότι μειώνεται η συχνότητα των θανατηφόρων ατυχημάτων σε σχέση με τα συνολικά χρόνια. Η κλίση πλέον είναι πιο σταθερή κάτι που υποδηλώνει την τάση για μείωση των πολύνεκρων ατυχημάτων.

### 5.1.3 Καμπύλες F-N για τα υπόγεια αστικά δίκτυα

Από τα καταγεγραμμένα πραγματικά ατυχήματα σε αστικά υπόγεια δίκτυα ( Πίνακας 3, Παράρτημα Ι) προκύπτει ο παρακάτω πίνακας με τον αριθμό N των νεκρών σε κάθε ατύχημα, τον αριθμό των ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς και τον αριθμό των ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς.

Πίνακας 5. 19 Αριθμός νεκρών και αριθμός ατυχημάτων σε υπόγεια αστικά δίκτυα

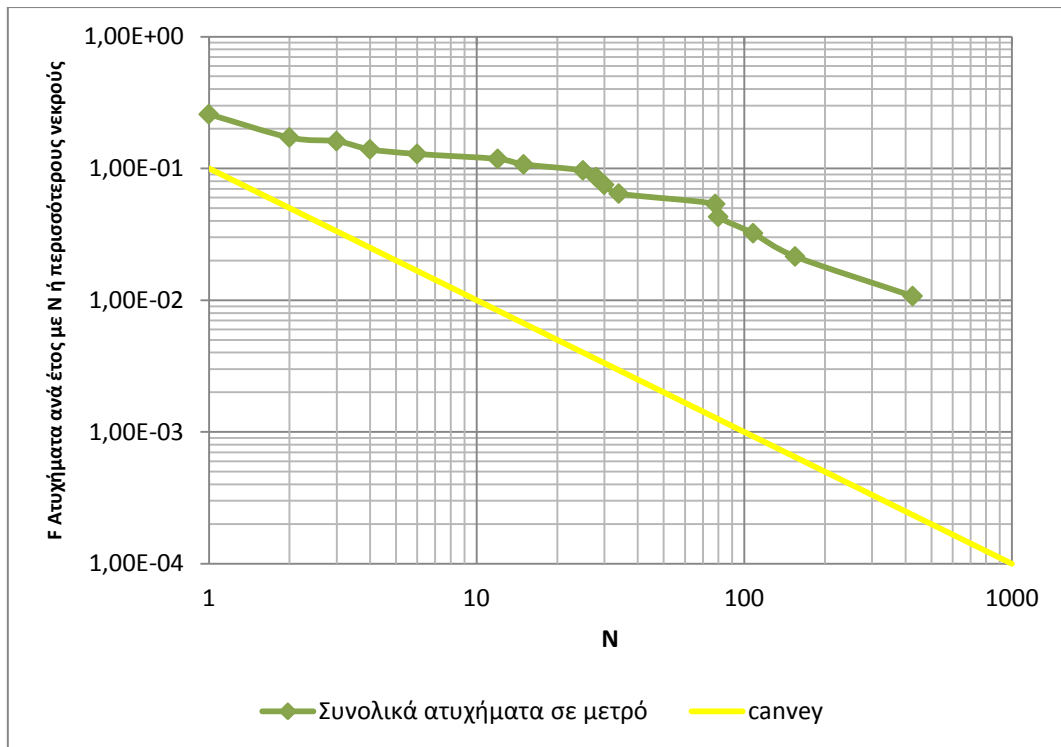
Αριθμός Νεκρών, N	Αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
1	8	24
2	1	16
3	2	15
5	1	13
7	1	12
9	1	11
12	1	10
20	1	9
31	1	8
39	1	7
41	1	6
43	1	5
54	1	4
93	1	3
289	1	2
198	1	1
<b>Σύνολο</b>	<b>24</b>	

Ανάγοντας τα δεδομένα σε συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες ( διαιρώντας τον αριθμό των ατυχημάτων με ακριβώς N και N ή παραπάνω νεκρούς με το 93 που είναι ο αριθμός των ετών από το 1918 έως το 2011 ) προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας:

Πίνακας 5. 20 Αριθμός νεκρών και συχνότητα ατυχημάτων σε υπόγεια αστικά δίκτυα

Αριθμός Νεκρών, N	Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
1	0,08	0,25
2	0,01	0,17
3	0,02	0,16
4	0,01	0,13
6	0,01	0,12
12	0,01	0,11
15	0,01	0,1
25	0,01	0,09
28	0,01	0,08
30	0,01	0,07
34	0,01	0,06
78	0,01	0,05
80	0,01	0,04
108	0,01	0,03
155	0,01	0,02
426	0,01	0,01

Έχοντας τις αθροιστικές συχνότητες των ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες, είναι δυνατή η σχεδίαση της καμπύλης F-N. Δίνεται παρακάτω σε σύγκριση με την ευθεία Canvey.



Εικόνα 5. 11 Σύγκριση καμπύλης F-N όλων των καταγραφέντων ατυχημάτων σε υπόγεια αστικά δίκτυα με τη γραμμή Canvey

Παρατηρείται και πάλι ότι η κλίση της καμπύλης είναι ομαλή αλλά είναι εμφανής η τάση για μείωση της συχνότητας των ατυχημάτων με περισσότερους από 100 νεκρούς.

Εξετάζεται επίσης και η πορεία της συχνότητας των θανατηφόρων ατυχημάτων τα τελευταία 20 χρόνια. Από τα δεδομένα προέκυψε ο Πίνακας 5.21 με τον αριθμό N των νεκρών σε κάθε ατύχημα, τον αριθμό των ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς και τον αριθμό των ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς.

Ανάγοντας τα δεδομένα σε συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες ( διαιρώντας τον αριθμό των ατυχημάτων με ακριβώς N και N ή παραπάνω νεκρούς με το 20 που είναι ο αριθμός των ετών από το 1991 έως το 2011 ) προκύπτει ο Πίνακας 5.22.

Πίνακας 5. 21 Αριθμός νεκρών και αριθμός ατυχημάτων σε υπόγεια αστικά δίκτυα για την περίοδο 1991-2010

Αριθμός Νεκρών, N	Αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
1	1	9
3	1	8
5	1	7
9	1	6
39	1	5
41	1	4
54	1	3
198	1	2
289	1	1
	9	

Πίνακας 5. 22 Αριθμός νεκρών και συχνότητα ατυχημάτων σε υπόγεια αστικά δίκτυα για την περίοδο 1991-2010

Αριθμός Νεκρών, N	Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
1	0,05	0,45
3	0,05	0,4
5	0,05	0,35
9	0,05	0,3
39	0,05	0,25
41	0,05	0,2
54	0,05	0,15
198	0,05	0,1
289	0,05	0,05
	0,45	

Όμοια με πριν, καθώς τα δεδομένα ανάγονται στο χρόνο η σύγκριση των ατυχημάτων των 20 τελευταίων χρόνων με τα συνολικά ατυχήματα δεν είναι ορθή.

Για το λόγο αυτό θα γίνει σύγκριση των δυο τελευταίων 20ετιών ώστε να βγουν εύλογα συμπεράσματα.

Παρακάτω δίνεται ο Πίνακας 5.23 με τον αριθμό N των νεκρών σε κάθε ατύχημα, τον αριθμό των ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς και τον αριθμό των ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς.

Ανάγοντας τα δεδομένα σε συχνότητες και αθροιστικές συχνότητες ( διαιρώντας τον αριθμό των ατυχημάτων με ακριβώς N και N ή παραπάνω νεκρούς με το 20 που είναι ο αριθμός των ετών από το 1971 έως το 1990 ) προκύπτει ο Πίνακας 5.24.

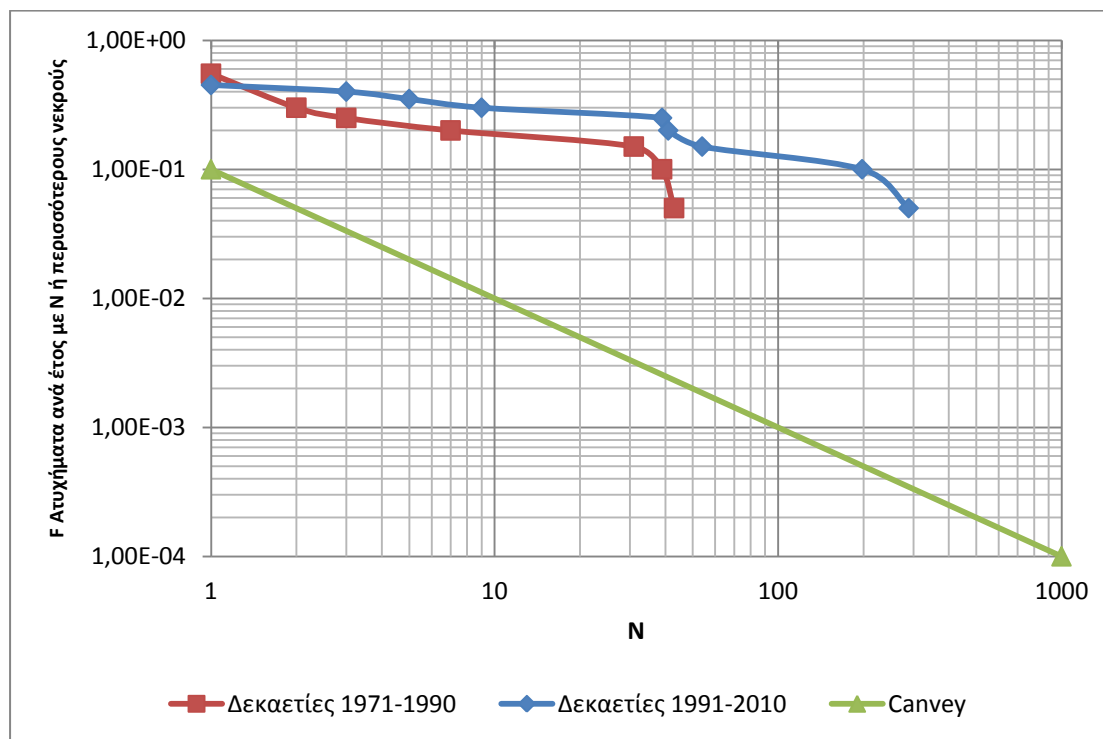
**Πίνακας 5. 23 Αριθμός νεκρών και αριθμός ατυχημάτων σε υπόγεια αστικά δίκτυα για την περίοδο 1971-1990**

Αριθμός Νεκρών, N	Αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Αριθμός ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
1	5	11
2	1	6
3	1	5
7	1	4
31	1	3
39	1	2
43	1	1
	11	

**Πίνακας 5. 24 Αριθμός νεκρών και συχνότητα ατυχημάτων σε υπόγεια αστικά δίκτυα για την περίοδο 1971-1990**

Αριθμός Νεκρών, N	Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα ακριβώς N νεκρούς	Συχνότητα ατυχημάτων που είχαν ως αποτέλεσμα N ή παραπάνω νεκρούς
1	0,25	0,55
2	0,05	0,3
3	0,05	0,25
7	0,05	0,2
31	0,05	0,15
39	0,05	0,1
43	0,05	0,05

Έχοντας τις αθροιστικές συχνότητες των ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες, είναι δυνατή η σχεδίαση της καμπύλης F-N.



Εικόνα 5. 12 Σύγκριση τελευταίων δύο εικοσαετιών και γραμμής Canvey σε υπόγεια αστικά δίκτυα

Από την στατιστική ανάλυση των δεδομένων που έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο προέκυψε χονδρικά το συμπέρασμα ότι στα υπόγεια αστικά δίκτυα τα ατυχήματα τα τελευταία χρόνια αυξάνονται όπως επίσης και ο αριθμός των θυμάτων. Πράγματι από το παραπάνω διάγραμμα F-N επιβεβαιώνεται ότι η συχνότητα των θανατηφόρων ατυχημάτων αυξάνεται και επίσης ενώ τις δεκαετίες 1971-1990 οι περισσότεροι νεκροί σε ατύχημα ήταν 43 τις επόμενες δύο δεκαετίες ο αριθμός αυτός αυξήθηκε δραματικά στους 289.





μπορούσε να αντιστραφεί στο «προκαλούνται πολλά ατυχήματα ανά έτος με μικρό αριθμό νεκρών».

Συμπερασματικά λοιπόν, αν και οι καμπύλες δίνουν μια πρώτη εκτίμηση της κατάστασης χρίζουν περαιτέρω διερεύνησης και ανάλυσης με περισσότερα στοιχεία για τον κυκλοφοριακό φόρτο των σηράγγων ώστε να μπορεί να γίνει μια ορθότερη σύγκριση και με τα όρια των κριτηρίων που έχουν θεσμοθετηθεί από τις διάφορες χώρες.



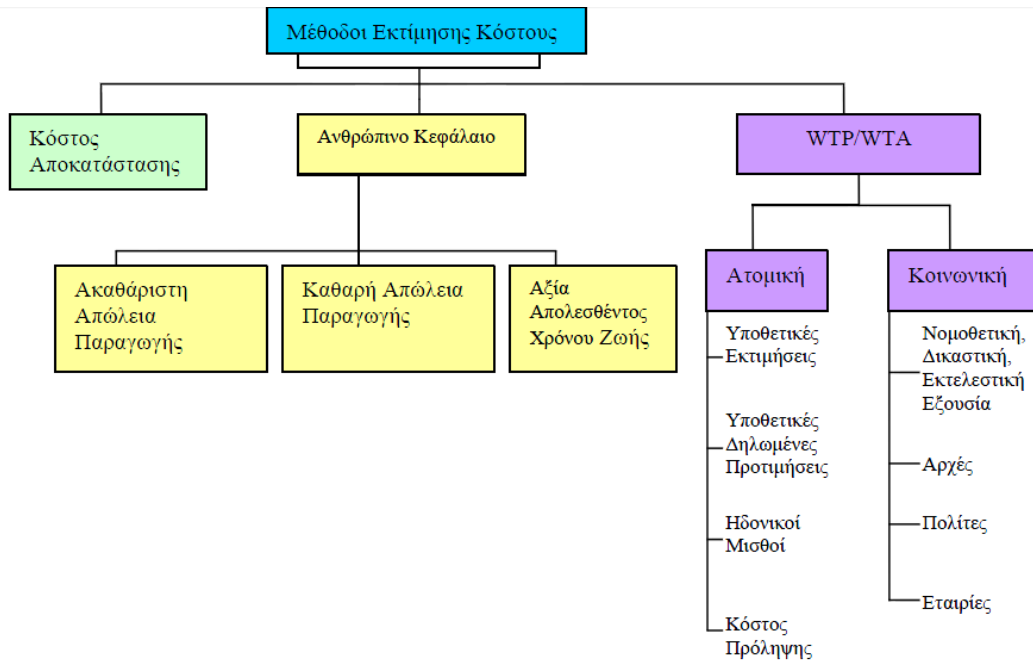
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ

### 6.1 Εκτίμηση Κόστους των Ατυχημάτων

Το κόστος των οδικών και σιδηροδρομικών ατυχημάτων αποτελεί συνιστώσα του κοινωνικού – μη χρηματικού κόστους. Θεωρείται από τις σημαντικότερες συνιστώσες του κοινωνικού κόστους και είναι δυνατόν να μεταφραστεί, έστω και προσεγγιστικά σε χρηματικές αξίες (Demogianni et al., 2005). Το κόστος των ατυχημάτων θεωρείται συνιστώσα του λειτουργικού κόστους της υποδομής. Ωστόσο, δεν ενσωματώνεται άμεσα στον προϋπολογισμό κατασκευής και λειτουργίας του συγκοινωνιακού έργου, αλλά μεταφράζεται σε κόστος νοσηλείας, απώλεια εισοδήματος κ.α. Υπό αυτή την έννοια το κόστος οδικών ατυχημάτων είναι εξωτερικό κόστος, που μετακυλίεται στους μη υπαίτιους για τη δημιουργία του και εδώ έγκειται η δυσκολία προσδιορισμού του, καθιστώντας τον υπολογισμό του μία δύσκολη και σύνθετη εργασία (Mintsis et al, 1994, Παραϊοαννου et al. 1994).

#### 6.1.1 Διάκριση των μεθόδων εκτίμησης κόστους

Οι πρώτες εκτιμήσεις του κόστους των τροχαίων ατυχημάτων έγιναν γύρω στο 1950 στη Μεγάλη Βρετανία και στις Η.Π.Α. Οι περισσότερες από τις πρώτες εκτιμήσεις αφορούσαν μόνο το «άμεσο» κόστος, οριζόμενο ως ζημίες στην περιουσία, ιατρική περίθαλψη, δικαστικά έξοδα και διάφορα «μικρά» έξοδα (Dawson, R.F.F. 1967). Κατά τη διάρκεια των επόμενων δεκαετιών σε όλες τις αναλύσεις που έγιναν σε διάφορες χώρες, το εκτιμώμενο κόστος παρουσιάζεται ολοένα και πιο υψηλό. Αυτή η αύξηση δεν είναι μόνο αποτέλεσμα της γενικής ανόδου τιμών στην κοινωνία, αλλά και αποτέλεσμα της περιοδικής αναθεώρησης των μεθόδων εκτίμησης (Eivik, R., 1995). Διάφορες μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί στην προσπάθεια εκτίμησης του κόστους των τροχαίων ατυχημάτων. Οι μέθοδοι εκτίμησης κόστους παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.8 (Alfaro. et al. 1994):



WTP: Willingness to pay (Προθυμία να πληρώσει κανείς)  
 WTA: Willingness to accept (Προθυμία να αποδεχτεί κανείς)

**Εικόνα 6. 1 Μέθοδοι εκτίμησης κόστους οδικών ατυχημάτων**

### 6.1.1.1 Μέθοδος Εκτίμησης: Κόστος Αποκατάστασης

Αυτή η μέθοδος βασίζεται στην εκτίμηση εκείνων των ποσών και πόρων που καταβάλλονται με σκοπό την εξάλειψη των επιπτώσεων ενός τροχαίου ατυχήματος. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, υπολογίζεται ποιο είναι το κόστος εκείνο που πληρώνει η κοινωνία προκειμένου να επαναφέρει τα θύματα ή τους συγγενείς και τους φίλους των θυμάτων στην κατάσταση που βρίσκονταν πριν το ατύχημα.

### 6.1.1.2 Μέθοδος Εκτίμησης: Ανθρώπινο Κεφάλαιο

Με τη μέθοδο αυτή υπολογίζεται η απώλεια με την οποία επιβαρύνεται η κοινωνία από το θάνατο ή την αναπηρία ενός μέλους της. Βασίζεται στην αξία του εργάσιμου χρόνου ή την αξία της παραγωγής, με την οποία σχετίζεται το θύμα του τροχαίου. Η

μέθοδος διακρίνεται σε τρεις επιμέρους προσεγγίσεις: 1. Ακαθάριστη απώλεια παραγωγής, 2. Καθαρή απώλεια παραγωγής, 3. Αξία απολεσθέντος χρόνου ζωής

### **6.1.1.3 Μέθοδος Εκτίμησης: Προθυμία να πληρώσει κανείς/ Προθυμία να πληρώσει η κοινωνία**

Ένα από τα πιο σύνθετα ζητήματα στην εκτίμηση του κόστους των τροχαίων ατυχημάτων είναι το πόσο αποτιμάται η ανθρώπινη ζωή και ο πόνος, ή αλλιώς, ποια η αξία της πιθανότητας μειωμένου κινδύνου να σκοτωθεί κάποιος σε τροχαίο ατύχημα ή να τραυματιστεί ή να αποκτήσει κάποιο πρόβλημα υγείας. Η αξία της ζωής τυπικά αναφέρεται στο ποσό των χρημάτων που το άτομο είναι πρόθυμο να ανταλλάξει για μία μικρή αλλαγή σε μία πιθανότητα επιβίωσής του (Pearch, D.W. 1978). Προκειμένου να περιοριστούν οι πιθανές προκαταλήψεις που προέρχονται από συναισθήματα ή άλλες προσωπικές, χωρικές ή στρατηγικές θεωρήσεις, η αξία της ζωής που χρησιμοποιείται είναι ανώνυμη και γι' αυτό καλείται "Στατιστική" (Blomquist, G.C. 2000). Το ποσό που μία ομάδα ανθρώπων συλλογικά δαπανά για τη διάσωση μίας ζωής από κάποιον κίνδυνο καλείται «Αξία της στατιστικής ζωής» (Value of statistical life – VOSL).

Αυτή η μέθοδος είναι γνωστή στους οικονομολόγους ως «Προθυμία να πληρώσει κανείς» (Willingness to pay – WTP). Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να αντιληφθεί κανείς το γεγονός ότι δεν εκτιμάται η ζωή ενός συγκεκριμένου ατόμου, αλλά μία ζωή σε ένα μεγάλο δείγμα πληθυσμού. Η Αξία της Στατιστικής Ζωής στην οδική ασφάλεια είναι η αξία της σωτηρίας μιας ζωής σε ένα μεγάλο δείγμα πληθυσμού χρηστών της οδού, δηλαδή η αξία της μείωσης κατά μία μονάδα στην επικινδυνότητα θνησιμότητας (Blaeij et al. 2003)

Το κράτος ή η κοινωνία σαν σύνολο, αναγνωρίζει την αξία της ανθρώπινης ζωής και της υγείας, συχνά δε αυτονόητα, μέσα από σχετικές αποφάσεις («Προθυμία να πληρώσει η κοινωνία» Social Willingness to pay). Γι' αυτό, μέτρα πρόληψης λαμβάνονται μόνο όταν η αναμενόμενη ωφέλεια ξεπερνά το κόστος. Τέτοιες αποφάσεις λαμβάνονται από τη νομοθετική, εκτελεστική και δικαστική εξουσία του

κράτους, από τις διοικητικές αρχές, από τους πολίτες (μέσω ψηφοφορίας ή δημοψηφίσματος) ή μέσω της επιρροής των εμπορικών εταιριών και της αγοράς (Alfaro, J.L. et al. 1994)..

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση το άμεσα μετρήσιμο κόστος των τροχαίων ατυχημάτων ανέρχεται σε 45 δισεκατομμύρια ευρώ. Το έμμεσο κόστος (συμπεριλαμβανομένων των φυσικών και ηθικών βλαβών για τα θύματα και τις οικογένειές τους) υπολογίζεται ότι είναι τριπλάσιο ή τετραπλάσιο. Ετησίως, διατίθεται ποσό ύψους 160 δισεκατομμυρίων ευρώ (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2001).

## **6.2 Κατηγοριοποίηση κόστους οδικών ατυχημάτων**

Το κόστος ενός τροχαίου ατυχήματος μπορεί να διακριθεί σε κόστος ανά θύμα τροχαίου και κόστος ανά ατύχημα, όπου το καθένα από αυτά μπορεί να διακριθεί σε δύο περαιτέρω κατηγορίες: α. Άμεσο κόστος (ιατρικό κόστος, κόστος αποκατάστασης, ζημιές σε περιουσία, διοικητικό κόστος) και β. Έμμεσο κόστος, το οποίο επιβάλλεται στην κοινωνία και επηρεάζει την ευημερία της (απώλεια παραγωγικής ικανότητας και ανθρώπινο κόστος). Η κατηγοριοποίηση του κόστους των οδικών τροχαίων ατυχημάτων παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.1.

Πίνακας 6. 1 Κατηγοριοποίηση κόστους των οδικών τροχαίων ατυχημάτων

Κόστος ανά θύμα τροχαίου	Κόστος ανά ατύχημα
<p><b>I. Ιατρικό κόστος</b>                      Πρώτες βοήθειες και μεταφορά θύματος, Υπηρεσίες ατυχημάτων και εκτάκτου ανάγκης, Νοσηλεία σε νοσοκομείο, κινητή νοσηλεία, νοσηλεία εκτός νοσοκομείου</p>	<p><b>I. Καταστροφές (συμπεριλαμβανομένης της καταστροφής του περιβάλλοντος)</b>                      Ζημίες οχημάτων (επισκευή ή αντικατάσταση), καταστροφές στο οδόστρωμα, καταστροφές σε κτίρια, ζημίες σε προσωπική περιουσία, ζημίες κατά τη διάρκεια της διαδικασίας φόρτωσης οχήματος σε όχημα οδικής βοήθειας, περιβαλλοντικές καταστροφές</p>
<p><b>II. Μη ιατρικό κόστος αποκατάστασης</b>                      Κόστος αλλαγών διαρρύθμισης κατοικίας ώστε να είναι κατάλληλη για άτομα με ειδικές ανάγκες, ειδικά μέσα μεταφοράς ατόμων με ειδικές ανάγκες, επαγγελματική αποκατάσταση, ιδιαίτερη εκπαιδευτική φροντίδα και διαπαιδαγώγηση παιδιών</p>	<p><b>II. Διοικητικά έξοδα</b>                      Κόστος αστυνόμευσης, κόστος πυροσβεστικής υπηρεσίας, κόστος κλάδου υγείας κόστος ασφάλισης θύματος, άλλης ασφάλισης, κόστος διεκδίκησης αποζημίωσης</p>
<p><b>III. Απώλεια παραγωγικής ικανότητας</b>                      Απώλεια παραγωγικότητας στους εργαζόμενους, απώλεια παραγωγικότητας εκτός χώρου εργασίας (π.χ. οικιακή και συζυγική δραστηριότητα), πιθανή μελλοντική απώλεια παραγωγής (π.χ. ανεργία)</p>	<p><b>III. Διάφορα</b>                      Κόστος λόγω απώλειας της ποιότητας επένδυσης (π.χ. οχήματος), κόστος κατανάλωσης πηγών πρώτης ύλης (π.χ. κατανάλωση καύσιμης ύλης, μόλυνση του αέρα, χρονικές καθυστερήσεις κ.α.), απώλεια παραγωγής των ατόμων που έχουν εμπλακεί ή εγκλωβιστεί λόγω ατυχήματος</p>
<p><b>IV. Άλλο οικονομικό κόστος</b>                      π.χ. Επισκέψεις σε γιατρούς, έξοδα κηδείας, οικιακή βοήθεια</p>	
<p><b>V. Ανθρώπινο κόστος</b>                      Μείωση διάρκειας ζωής λόγω θανατηφόρου ατυχήματος, φυσικός και ψυχικός πόνος του θύματος (πόνος, λύπη, επιδείνωση του επιπέδου ζωής, παραμένουσα εξωτερική παραμόρφωση), ψυχικός πόνος συγγενών και φίλων του θύματος (πόνος, λύπη και μείωση του επιπέδου ζωής)</p>	

Το ζήτημα του κοινωνικοοικονομικού κόστους των τροχαίων ατυχημάτων είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο, δεδομένου ότι η ανθρώπινη ζωή είτε δεν αποτιμάται σε χρήμα, είτε τα κριτήρια αποτίμησης διαφέρουν από χώρα σε χώρα, εξαρτώμενα από πολιτικά συστήματα και μορφές κοινωνικής οργάνωσης. Η μέθοδος εκτίμησης διαμορφώνει καθοριστικά το επίπεδο των τιμών του εκτιμώμενου κόστους. Αν το ανθρώπινο κόστος εκτιμάται μόνο από την απολεσθείσα οικονομική παραγωγή (προσέγγιση που εφαρμόζουν πολλές επίσημες κυβερνητικές στατιστικές), τα ποσά είναι σημαντικά μικρότερα από εκείνα που προκύπτουν όταν η βάση της εκτίμησης θεωρείται η μέθοδος «Προθυμία να πληρώσει κανείς» (ECMT 1998).

Η Ε.Ε. καθιέρωσε σε αναλύσεις κόστους – ωφέλειας σχετικές με ασφάλεια, την τιμή του ενός (1) εκατομμυρίου ευρώ ανά ανθρώπινη ζωή. Αυτό γενικά αναφέρεται ως «η αρχή του ενός εκατομμυρίου ευρώ». Η αξία αυτή καθορίστηκε μέσω μιας προσέγγισης που βασίζεται στην εκτίμηση της απώλειας παραγωγικότητας, εννοώντας ότι η αξία της ζωής εκτιμάται ως η ακαθάριστη απώλεια παραγωγής. Ωστόσο, η «αρχή του ενός εκατομμυρίου ευρώ» δε λαμβάνει υπόψη την προθυμία να πληρώσει κανείς για την αποφυγή εκείνου του στοιχείου του κόστους που αναφέρεται στον πόνο, θλίψη και βάσανα (Lee, et al. 2003). Γενικά, το υλικό κόστος (περιουσιακή ζημία, διοικητικά, ιατρικά και νοσοκομειακά έξοδα, καθαρή απώλεια παραγωγής) αποτελεί μόλις το 9% του συνολικού κόστους ενός θανατηφόρου ατυχήματος, το 20% ατυχήματος με σοβαρό τραυματισμό, το 40% ατυχήματος με ελαφρύ τραυματισμό, ενώ το «ανθρώπινο κόστος» είναι το κυρίαρχο στοιχείο (Lee, Group3 1999).

### **6.3 Εκτίμηση κόστους οδικών ατυχημάτων στη Μεγάλη Βρετανία**

Οι τιμές που υπολογίστηκαν κατά το έτος 2009 σύμφωνα με το Υπουργείο Μεταφορών της Μεγάλης Βρετανίας (Department of Transport) με τη μέθοδο εκτίμησης «Προθυμία να πληρώσει κανείς» δίνονται παρακάτω ως «μέσο όρο ανά ατύχημα»:



Πίνακας 6. 2 Κόστος οδικών ατυχημάτων σε €

Σοβαρότητα Ατυχήματος	Απώλεια Παραγωγής €	Ιατρικά Έξοδα €	Ανθρώπινο Κόστος €	Σύνολο €
Θανατηφόρο	695.382	6.543	1.369.500	2.071.425
Σοβαρό	27.698	16.600	188.465	232.763
Ελαφρό	3.448	1.460	16.420	21.328

Να σημειωθεί ότι ως σοβαρός τραυματισμός ορίζεται στο Ηνωμένο Βασίλειο μια ολονύκτια παραμονή στο νοσοκομείο, ενώ μια ελαφριά ζημία είναι απλά οποιοδήποτε ασήμαντος τραυματισμός από ατύχημα. Για όλους τους τραυματισμούς ως εκ τούτου, το μέσο συνολικό κόστος ανά ατύχημα, είναι 59.141€ (£ 52.070) εκ των οποίων 71% είναι το "ανθρώπινο" κόστος και τα υπόλοιπα είναι πιο άμεσες δαπάνες.

#### 6.4 Εκτίμηση κόστους σιδηροδρομικών ατυχημάτων και Μετρό

Σύμφωνα με το Υπουργείο Μεταφορών της Μεγάλης Βρετανίας (Department of Transport) η διάκριση και η κοστολόγηση των ατυχημάτων βάσει της σοβαρότητας τους φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6. 3 Κόστος σιδηροδρομικών ατυχημάτων σε €

Σοβαρότητα Ατυχήματος	Περιγραφή	Μέσο κόστος €
Θανατηφόρο	Θάνατος εντός ενός χρόνου από το ατύχημα.	1.847.800
Σοβαρός τραυματισμός	Ζημία που είχε ως αποτέλεσμα την παραμονή σε νοσοκομείο για περισσότερο από 24 ώρες.	184.780
Ελαφρός τραυματισμός	Για το εργατικό δυναμικό, οποιαδήποτε ζημία που προκύπτει σε περισσότερες από 3 ημέρες απουσίας από την εργασία. Για τους επιβάτες και τα μέλη του κοινού, οποιαδήποτε βλάβη που οδηγεί σε μεταφορά από το σημείο του ατυχήματος στο νοσοκομείο για θεραπεία.	9.240

## 6.5 Κόστος οδικών ατυχημάτων

Το κόστος των ανθρώπινων ζωνών και των τραυματισμών είναι πολύ μεγάλο. Δεδομένου ότι το κόστος ενός θανάτου αντιστοιχεί στο συνολικό κόστος περίπου 9 σοβαρών τραυματισμών δικαιολογεί τη μεγάλη απόκλιση του κόστους σε σχέση με το αριθμό των θανάτων και των τραυματισμών. Το συνολικό κόστος των ατυχημάτων που μελετήθηκαν ανέρχεται σε περίπου 1,4 δις. €.

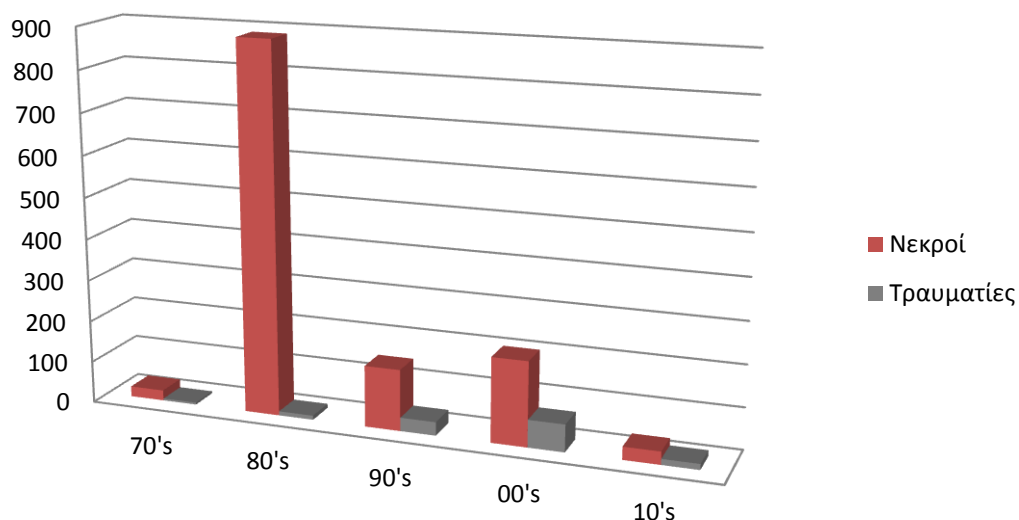
Πιο συγκεκριμένα, τη δεκαετία του 1970 το κόστος από τις απώλειες ανθρώπινων ζωνών ανήλθε στα 24,84 εκ.€ και από τους τραυματίες στα 4,6 εκ.€. Παρατηρείται ότι αν και οι απώλειες είναι μόνο 4 παραπάνω από τους τραυματισμούς το κόστος είναι το εξαπλάσιο (Εικόνα 6.2). Η δεκαετία του 1980 όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι ιδιαίτερη περίπτωση λόγω των 400 νεκρών στο ατύχημα του Salang. Έτσι, το σχεδόν δεκαπλάσιο κόστος των απωλειών (885,96 εκ €) σε σχέση με των τραυματισμών (9,89 εκ.€) είναι απόλυτα αναμενόμενο .

Για τις δύο επόμενες δεκαετίες, του 1990 και του 2000, η αναλογία μεταξύ του κόστους των απωλειών και των τραυματισμών μένει σταθερή, και το πρώτο είναι τετραπλάσιο από το κόστος των τραυματιών (146,97 εκ € και 202,86 εκ € για τις απώλειες και 32,43 εκ € και 65,78 εκ € για τους τραυματίες αντίστοιχα).

Ενδεικτικά εκτιμάται ότι το ετήσιο κόστος που επιφέρουν τα ατυχήματα σε οδικές σήραγγες, λαμβάνοντας υπόψη μόνο το ανθρώπινο κόστος, είναι 35,4 εκ €.

Να σημειωθεί ότι το γεγονός ότι δεν βρέθηκαν οι τιμές που αντιστοιχούν στα ατυχήματα τις προηγούμενες δεκαετίες, παρά μόνο οι τιμές το 2009 για το Ηνωμένο Βασίλειο, δυσκολεύει τον υπολογισμό του συνολικού κόστους των ατυχημάτων αλλά και τη σύγκριση του κόστους για κάθε δεκαετία. Έτσι λοιπόν, χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές του 2009 για όλες τις δεκαετίες καθώς εάν γινόταν προσπάθεια αποπληθωρισμού θα έπρεπε οι τιμές στη συνέχεια να πλωριστούν και ουσιαστικά θα κατέληγαν στις αρχικές τιμές του 2009.

### Κόστος ατυχημάτων ανά δεκαετίες σε εκ.€



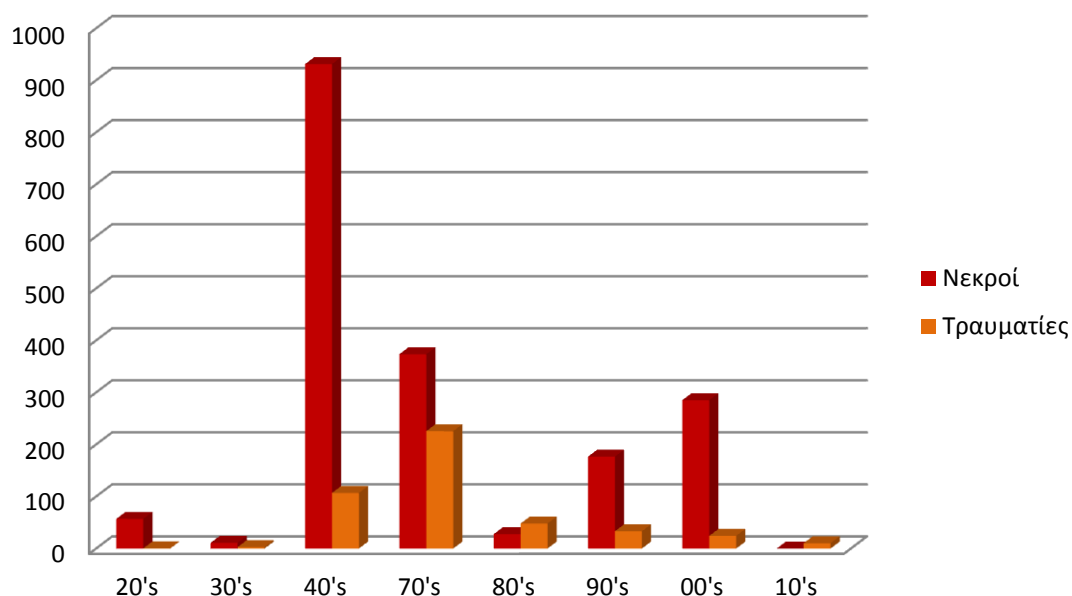
Εικόνα 6. 2 Κόστος ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες ανά δεκαετίες

### 6.6 Κόστος σιδηροδρομικών ατυχημάτων

Δεδομένου ότι το κόστος ενός θανάτου αντιστοιχεί στο συνολικό κόστος περίπου 10 σοβαρών τραυματισμών δικαιολογεί τη μεγάλη απόκλιση του κόστους σε σχέση με το αριθμό των θανάτων και των τραυματισμών. Ιδιαίτερα κατά τη δεκαετία του 1940, όπου το ποσοστό των νεκρών και των τραυματιών είναι περίπου το ίδιο, η διαφορά γίνεται έντονα αντιληπτή, 930 εκ.€ και 106 εκ.€ αντίστοιχα (Εικόνα 6.3). Το συνολικό κόστος των ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες που μελετήθηκαν ανέρχεται σε περίπου 2,2δισ. €.

Ενδεικτικά εκτιμάται ότι το ετήσιο κόστος που επιφέρουν τα ατυχήματα σε σιδηροδρομικές σήραγγες, λαμβάνοντας υπόψη μόνο το ανθρώπινο κόστος, είναι 24,9 εκ. €.

### Κόστος ατυχημάτων ανά δεκαετίες σε εκ.€



Εικόνα 6. 3 Κόστος ατυχημάτων σε σιδηροδρομικές σήραγγες ανά δεκαετίες

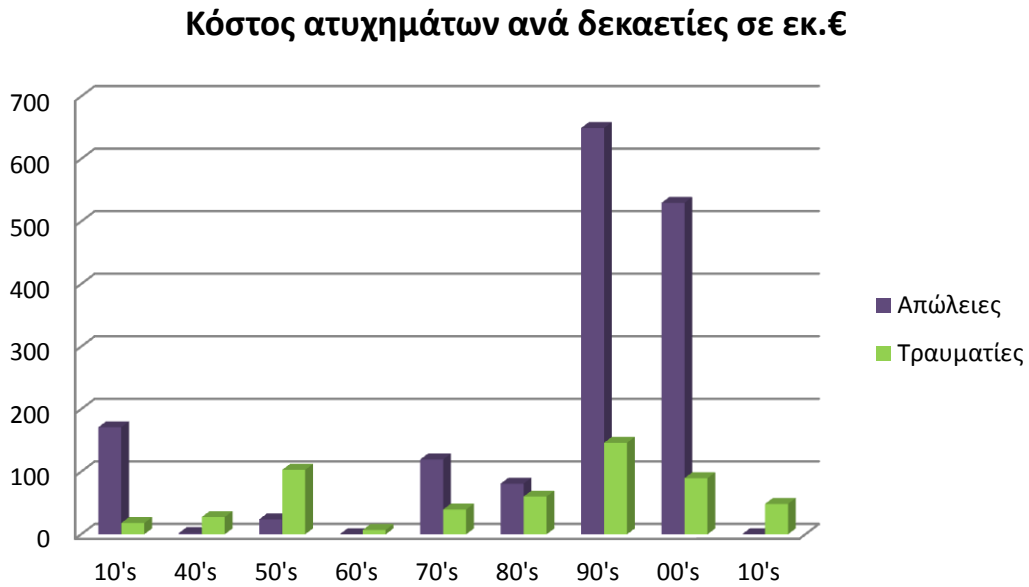
### 6.7 Κόστος ατυχημάτων σε υπόγεια αστικά δίκτυα

Όπως προαναφέρθηκε, το κόστος ενός θανάτου αντιστοιχεί στο συνολικό κόστος περίπου 10 σοβαρών τραυματισμών δικαιολογεί τη μεγάλη απόκλιση του κόστους σε σχέση με το αριθμό των θανάτων και των τραυματισμών.

Ιδιαίτερα κατά τη δεκαετία του 1910, όπου το ποσοστό των νεκρών και των τραυματιών είναι περίπου το ίδιο, η διαφορά γίνεται έντονα αντιληπτή, 171,12 εκ.€ και 18 εκ.€ αντίστοιχα (Εικόνα 6.4). Το κόστος είναι αντιστοίχως αυξημένο για τη δεκαετία του 1990 και του 2000 και ανέρχεται στα 649,52 εκ.€ 529,92 εκ.€ για τους νεκρούς και 146,34 εκ.€ και 89,82 εκ.€ για τους τραυματίες αντίστοιχα.

Το συνολικό κόστος των ατυχημάτων ανέρχεται στα 2,11 δις.€. Το κόστος των ατυχημάτων σε υπόγεια αστικά δίκτυα υπολογίστηκε βάσει των τιμών των σιδηροδρομικών δικτύων καθώς δε βρέθηκαν σχετικά δεδομένα.

Ενδεικτικά εκτιμάται ότι το ετήσιο κόστος που επιφέρουν τα ατυχήματα σε υπόγεια αστικά δίκτυα, λαμβάνοντας υπόψη μόνο το ανθρώπινο κόστος, είναι 21,2 εκ. €.



**Εικόνα 6. 4 Κόστος ατυχημάτων σε υπόγεια αστικά δίκτυα ανά δεκαετίες**



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα τελευταία χρόνια η ανάπτυξη των υπογείων έργων, και κατ'επέκταση των υπόγειων αστικών δικτύων μεταφοράς, είναι σε άνθηση. Ως εκ τούτου, τα ατυχήματα που συμβαίνουν σε αυτά έχουν αυξηθεί. Ακόμα και έτσι όμως από τις διάφορες μελέτες προκύπτει ότι ο δείκτης ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες είναι πολύ μικρότερος (από 35-50%) από αυτόν στα ανοικτά τμήματα του οδικού δικτύου.

Στην παρούσα εργασία έγινε μια προσπάθεια συλλογής όλων των δεικτών ατυχημάτων σε σήραγγες που έχουν υπολογιστεί για κάποιες χώρες, η σύγκριση των οποίων οδήγησε στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα με τους μέσους όρους των δεικτών ατυχημάτων των χωρών για τις οποίες βρέθηκαν στοιχεία. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 7.1, οι δείκτες ατυχημάτων κυμαίνονται από 0,01- 2,87 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km, με μέσο όρο 0,66 ατυχ./10<sup>6</sup>οχημ.km. Εκτιμάται ότι τα πλέον αντιπροσωπευτικά στοιχεία αφορούν στη Νορβηγία και στην Αυστρία, καθώς είναι οι χώρες στις οποίες έχουν γίνει οι πλέον συστηματικές έρευνες.

Πίνακας 7. 1 Μέσος όρος δεικτών ατυχημάτων

Χώρα	Μέσος Όρος Δεικτών Ατυχημάτων (ατυχ./10 <sup>6</sup> οχημ.km)
Η.Π.Α.	2,87
Ολλανδία	1,16
Κίνα	0,5
Ελβετία	0,35
Γερμανία	0,21
Νορβηγία	0,125
Αυστρία	0,10
Χονγκ - Κονγκ	0,01
<b>Σύνολο</b>	<b>0,66</b>

Επίσης μπορούν να δοθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα σχετικά με τις αιτίες των ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες:

- Το μεγαλύτερο ποσοστό ατυχημάτων εντοπίζεται στην περιοχή της εισόδου των σηράγγων (πριν και μετά τα στόμια) κατά την είσοδο των οχημάτων σε αυτές.
- Τα πιο συχνά ατυχήματα αφορούν σε νωτομετωπική σύγκρουση οχημάτων, ενώ επίσης σημαντικός είναι ο αριθμός ατυχημάτων με ανάμειξη μόνο ενός οχήματος (μηχανολογικές βλάβες).
- Στις σήραγγες με διπλής κατεύθυνσης κυκλοφορία ο δείκτης θνησιμότητας είναι περίπου 2,5 φορές μεγαλύτερος από αυτόν στις σήραγγες με μονής κατεύθυνσης κυκλοφορία, αν και η συχνότητα των ατυχημάτων είναι σχεδόν η ίδια.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της στατιστικής ανάλυσης των ατυχημάτων φαίνεται ότι η Ευρώπη είναι ο κρίσιμος χώρος των ατυχημάτων και λόγω μεγέθους έργων και λόγω χρήσης.

Το 81% των ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες συμβαίνει στην Ευρωπαϊκή ήπειρο. Όπως είναι αναμενόμενο, λόγω της αύξησης του αριθμού των αυτοκινήτων αλλά και των σηράγγων, ο αριθμός των ατυχημάτων αυξάνεται με το πέρας των δεκαετιών αλλά τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια αισθητή μείωση του ποσοστού των νεκρών σε σχέση με τους τραυματίες.

Στις σιδηροδρομικές σήραγγες τα περισσότερα ατυχήματα επίσης παρουσιάζονται στην Ευρώπη (77%) και κυρίως στο Ην. Βασίλειο. Εδώ, ο αριθμός των ατυχημάτων δεν ακολουθεί ανοδική πορεία με το πέρας των δεκαετιών και το ίδιο συμβαίνει με το ποσοστό των τραυματιών και των νεκρών. Βασικότερες αιτίες αποτελούν η φωτιά και οι μηχανολογικές βλάβες των συρμών. Τέλος, οι σήραγγες με διπλές γραμμές έχουν πολύ περισσότερους τραυματίες από αυτές με μονή γραμμή.

Όμοια με προηγούμενα, επικρατούν η Ευρωπαϊκή ήπειρος και το Ην. Βασίλειο στα ατυχήματα σε μετρό. Τα ατυχήματα αυξάνονται όσο περνάνε οι δεκαετίες και το



ίδιο συμβαίνει με τους νεκρούς και τους τραυματίες. Βασικότερο αίτιο των ατυχημάτων είναι ο ανθρώπινος παράγοντας, δηλαδή η συμπεριφορά του οδηγού του συρμού.

Από την απεικόνιση σε καμπύλες F-N όλων των ατυχημάτων σε σήραγγες προκύπτει ότι οι σήραγγες σε παγκόσμιο επίπεδο δε συμμορφώνονται με τα αποδεκτά όρια κοινωνικού ρίσκου χωρών όπως η Αγγλία, η Ελβετία, η Τσεχία.

Από τη σύγκριση των ατυχημάτων σε οδικές σήραγγες των δύο τελευταίων εικοσαετιών, προκύπτει ότι την εικοσαετία 1991-2010 έχουν αυξηθεί πολύ τα ατυχήματα με λιγότερους από 10 νεκρούς σε σχέση με την εικοσαετία 1971-1990, ενώ, αντίστοιχα, έχουν μειωθεί τα ατυχήματα με περισσότερους από 10 νεκρούς. Στα ατυχήματα σε σιδηροδρομικές σήραγγες έχει σημειωθεί μείωση των θανατηφόρων ατυχημάτων την εικοσαετία 1991-2010. Αντίθετα, παρατηρείται μια αισθητή αύξηση στα πολύνεκρα ατυχήματα σε υπόγεια αστικά δίκτυα.

Τέλος, όσον αφορά κόστους των ατυχημάτων σε υπόγεια δίκτυα μεταφοράς, που καταγράφηκαν, (με βάση το κόστος της ανθρώπινης ζωής) προέκυψε ότι το κόστος των ανθρώπινων ζωών και τραυματισμών είναι σημαντικό. Έτσι, από τα συνολικά τα ατυχήματα που έχουν καταγραφεί το κόστος τους εκτιμάται σε 5,71 δις € χωρίς να συμπεριλαμβάνεται το κόστος των υλικών ζημιών.

Συμπερασματικά, από την επεξεργασία των δεδομένων που καταγράφηκαν φαίνεται ότι οι ακόμα υπάρχουν σημαντικά περιθώρια βελτίωσης του επιπέδου ασφαλείας των σηράγγων, καθώς τα δεδομένα δείχνουν ότι τα ατυχήματα ακόμα παραμένουν σε υψηλά επίπεδα. Γι' αυτό το λόγο γίνονται προσπάθειες εκσυγχρονισμού των σηράγγων και έχουν εκδοθεί και οι νέες οδηγίες της ΕΕ. Σημαντικό στοιχείο ακόμα που προκύπτει είναι ότι η ανάλυση και η εξέταση των ατυχημάτων στις σήραγγες, όπου έχει γίνει, έχει οδηγήσει σε σταδιακή μείωσή

τους. Είναι αναγκαίο λοιπόν να γίνεται διάκριση και καταγραφή των ατυχημάτων σε σήραγγες με σκοπό τη βελτίωση του επιπέδου ασφάλειας σε αυτές. Εκτιμάται επομένως ότι και στην Ελλάδα θα πρέπει να γίνεται συστηματική και ενιαία καταγραφή των ατυχημάτων στις σήραγγες ώστε να αποσαφηνιστούν οι παράγοντες που προκαλούν τα ατυχήματα και να βελτιωθεί περαιτέρω το επίπεδο ασφάλειας σε αυτές.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### Ξένη Βιβλιογραφία

Alfaro, J.L., Chapuis, M., Fabre, F. 1994. Cost 313, Volkswirtschaftliche Kosten der Strassenverkehrsunfalle, Schlussberich. Brussel: Europäische Kommission.

American Institute of Chemical Engineers. Center for Chemical Process Safety, "Guidelines for developing quantitative safety risk criteria", John Wiley and Sons, 2009.

Amundsen F.N. and Ranæs G., "Studies on Traffic Accidents in Norwegian Road Tunnels", Tunneling and Underground Space~ Technology, Vol. 15, No. 1, pp. 3-11, 2000.

Armstrong J., Powell D., Savill M., " Hong Kong: Fire strategy, life safety and ventilation in road tunnels", RETC proceedings 2001.

Ball, D J and P J Floyd, "Societal Risks. Final Report to HSE. HSE Books", 1998.

Blaeij A., Florax, R.J.G., Rietveld, P., Verhoet, E. 2003. The value of statistical life in road safety: a meta-analysis. Accident Analysis and Prevention, 35: 973-986.

Blomquist, G.C. 2000. The Value of Life. USA: University of Kentucky.

Criteria for highway routing of hazardous materials Deborah K. Shaver, Marsha Kaiser, National Research Council (U.S.). Transportation Research Board, National Cooperative Highway Research Program, American Association of State Highway and Transportation Officials, United States. Federal Highway Administration.

Dawson, R.F.F. 1967. Cost of Road Accidents in Great Britain. Crowthorne: RRL Report LR79.

ECMT European Conference of Ministers of Transport 1998. Efficient Transport for Europe, Policies for Internalization of External Costs. Paris: OECD Publications.

Elvik, R. 1995. An Analysis of official economic valuations of traffic accident fatalities in 20 motorized countries, *Accident Analysis and Prevention* 27: 237-247.

Evans, A.W., 2003, *Transport Fatal Accidents and FN-curves: 1967-2001*, HSE Research Report 073.

Haack A., "Current safety issues in traffic tunnels".

Holický M., Risk criteria for road tunnels, Special Workshop on Risk Acceptance and Risk Communication, 2007, Stanford University

Jones, D, 1985. Nomenclature for hazard and risk assessment in the process industries. 2<sup>nd</sup> Edition. IChemE

Jones-Lee M., Aven T. "ALARP—What does it really mean?", *Reliability Engineering and System Safety* 96 (2011) 877–882.

Knoflacher H., Pfaffenbichler P. C., "A comparative risk analysis for selected austrian tunnels", International Conference „Tunnel Safety and Ventilation“ 2004, Graz.

Kohl B., Botschek K., Hörhan R., "Austrian Risk Analysis for Road Tunnels Development of a new Method for the Risk Assessment of Road Tunnels", 3rd International Conference: "Tunnel Safety and Ventilation" 2006, Graz.

Lindberg G, "Calculating transport accident costs final report of the expertadvisors to the high levelgroup on infrastructure charging", Working Group 3, 1999.

Nussbaumer C., "Comparative analysis of safety in tunnels", Young Researchers Seminar 2007, Brno.

OECD studies in risk management, "Norway tunnel safety", 2006.

Office of Rail Regulation "National rail trends yearbook 2010-11" Current National Rail Trends (NRT) publications

Papaioannou P., Mintsis G., Taxiltaris, Ch. 1994. The Cost of Accidents in Greece. 3<sup>rd</sup> International Conference on Safety and the Environment on the 21th century, Tel Aviv. 494-505.

PIARC Technical Committee C3.3 Road tunnel operation – “Risk Analysis for Road Tunnels”, 2008.

PIARC Technical Committee, «ROAD SAFETY IN TUNNELS», 1998

Salvisberg U.; Allenbach R., «Road accidents in Switzerland.» IATSS research Vol. 27, no. 1 (2003), p. 86-87.

The Accidents Sub-Objective TAG Unit 3.4.1, April 2011, Department for Transport, Transport Analysis Guidance (TAG).

Trbojevic, V.M., Risk Criteria in EU, ESREL’05, Poland, 27-30 June 2005.

Whitelegg J. and Haq G., “VISION ZERO: Adopting a Target of Zero for Road Traffic Fatalities and Serious Injuries”, The Stockholm Environment Institute, 2006.

Work Group3 1999. Calculating Transport Accident Costs, Final Report of the Expert Advisors to the High Level Group on Infrastructure charging.

Zhuang-lin M., Chun-fu S, Sheng-rui Z., “Characteristics of traffic accidents in Chinese freeway tunnels”, Tunneling and Underground Space Technology 24(2009) 350–355.

### Ελληνική Βιβλιογραφία

Καλιαμπάκος Δ., «Ειδικά Υπόγεια Έργα: Ένα πεδίο δυναμικής ανάπτυξης της μεταλλευτικής». Εισήγηση για την Ημερίδα με θέμα: «Σύγχρονες εξελίξεις και προοπτικές ανάπτυξης του κλάδου Μεταλλευτικής και Μεταλλουργίας», ΤΕΕ, 2003.

Μίντσης, Γ., Ταξιλάρης, Χ., Πετρόπουλος, Ι. 1994. Συμβολή στον προσδιορισμό του κόστους οδικών ατυχημάτων με παθόντα πρόσωπα. 1<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Οδικής Ασφάλειας, Θεσσαλονίκη, 268-278.

Μπενάρδος Α., «Εκτίμηση επικινδυνότητας κατά την όρυξη υπογείων έργων με μηχανήματα ολομέτωπης κοπής. Η περίπτωση του Μετρό Αθηνών.», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Μηχ. Μεταλλείων – Μεταλλουργών Ε.Μ.Π., 2002

Ντεμογιάννη Σ., Μίντσης Γ., Ταξιλάρης Χ., Μπάσμπας Σ., «Μέθοδοι εκτίμησης του κόστους των οδικών τροχαίων ατυχημάτων», 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Βόλος, 18-20 Μαΐου 2005.

#### Βιβλιογραφία για Οδικά Ατυχήματα

Beard A., Carvel R., “The handbook of tunnel fire safety”, 2005.

Duckworth I. J., “Fires in vehicular tunnels, an overview” 12<sup>th</sup> North American/US Mine Ventilation Symposium, 2008.

Det Norske Veritas, “Fires on ro-ro decks”, paper series no. 2005-p018, 2005.

Leitner A., “The fire catastrophe in the Tauern Tunnel: experience and conclusions for the Austrian guidelines”, Tunneling and Underground Space Technology 16 (2001) 217-223.

Lonnermark A., “On the characteristics of fires in tunnels” Doctoral thesis, Lund University, 2005.

Valente A., “Geometric and functional characteristics of the road tunnels and anas guidelines for designing safety in road tunnels according to applicable standards”, Le Strade, 2011.

[http://lotsberg.net/artiklar/brann/en\\_tab.html](http://lotsberg.net/artiklar/brann/en_tab.html)

[http://articles.boston.com/2011-12-25/metro/30553881\\_1\\_car-accident-state-troopers-ford-mustang](http://articles.boston.com/2011-12-25/metro/30553881_1_car-accident-state-troopers-ford-mustang)

<http://www.eurotestmobility.com/eurotest.php?itemno=361&lang=EN&PHPSESSID=da66124d46bdbaef498b6e4a7e1fff9e>

<http://www.dailymail.co.uk/news/article-80452/80-missing-Swiss-tunnel-crash.html>

[http://gothamist.com/2011/02/25/bus\\_rolled\\_over\\_motorcyclist\\_in\\_lin.php](http://gothamist.com/2011/02/25/bus_rolled_over_motorcyclist_in_lin.php)

<http://business.highbeam.com/435559/article-1G1-233303773/lead-2-bikers-die-accident-tokyo-bay-undersea-tunnel>

<http://www.nytimes.com/2006/07/12/us/12tunnel.html?pagewanted=all>

#### Βιβλιογραφία για Σιδηροδρομικά Ατυχήματα

Department of transport, "Report on the Collision that occurred on 11th September 1986 at Bridgeton", 1988.

Lonnermark A., "On the characteristics of fires in tunnels" Doctoral thesis, Lund University, 2005.

Valente A., "Geometric and functional characteristics of the road tunnels and anas guidelines for designing safety in road tunnels according to applicable standards", Realization of infrastructures and tunnels, 2011.

Wannick H., "Risk management for tunneling projects", Schadenspiegel "Special feature issue Risk factor of earth", 2007.

[http://lotsberg.net/artiklar/andersen/en\\_table\\_1.html](http://lotsberg.net/artiklar/andersen/en_table_1.html)

<http://danger-ahead.railfan.net/accidents/modane/home.html>

<http://newspapers.nl.sg/Digitised/Article/straitstimes19321219.2.67.aspx>

<http://www.model-railroad-resources.com/railroadaccidents.html>

<http://www.nts.gov/doclib/reports/2004/RAB0408.pdf>

[http://www.wecowi.de/view/ICE-Unfall\\_bei\\_Fulda](http://www.wecowi.de/view/ICE-Unfall_bei_Fulda)

[http://www.raib.gov.uk/cms\\_resources.cfm?file=/101122\\_ReportET2010\\_eurotunnel\\_eng.pdf](http://www.raib.gov.uk/cms_resources.cfm?file=/101122_ReportET2010_eurotunnel_eng.pdf)

<http://www.railwaysarchive.co.uk/eventssummary.php?eventID=6689>

<http://english.donga.com/srv/service.php3?biid=2003022774538>





## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

**Πίνακας 1 - Ατυχήματα σε οδικές σήραγγες**

α/α	Έτος	Μήκος Σήραγγας	Γεωμετρία Σηράγγων	Τοποθεσία Χώρα	Υπαίτιο Όχημα	Πιθανή αιτία ατυχήματος	Αποτέλεσμα ατυχήματος	Συνέπειες σε ανθρώπους
1	1949	Holland 8.550 m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	New York USA	Φορτηγό με 1tn διθειάνθρακα	Πτώση φορτίου, έκρηξη	Φωτιά	66 τραυματίες
2	1965	Blue Mountain 1.302	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	Pennsylvania,USA	Φορτηγό με λάδι	Μηχανή	Φωτιά	0 νεκροί 0 τραυματίες
3	1968	Moorfleet 243m	Δίδυμες	Hamburg, Germany	Φορτηγό με αδρανή	Βλάβη φρένων	Φωτιά	1 νεκροί 0 τραυματίες
4	1974	Mont Blanc 11.600m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	France-Italy	Φορτηγό	Μηχανή	Φωτιά	1 τραυματίας
5	1974	Chesapeake Bay	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	USA	Φορτηγό με βενζίνη	Λάστιχο	Φωτιά	1 τραυματίας
6	1975	Guaderrama 2.345m	Δίδυμες	Madrid, Spain	Φορτηγό με ρετσίνι	Αδιευκρίνιστη	Φωτιά	0 νεκροί 0 τραυματίες
7	1976	San Bernadino 6.600m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	Ελβετία	1 λεωφορείο	Μηχανική βλάβη	Φωτιά	0 νεκροί 0 τραυματίες
8	1978	Velsen 770m	Δίδυμες	Velsen Netherland	4 φορτηγά 2 ΙΧ	Μετωπική Σύγκρουση	Φωτιά	5 νεκροί 5 τραυματίες
9	1979	Nihonzaka 2.045m	Δίδυμες	Shitzuoka Japan	147 φορτηγά 46 ΙΧ	Μετωπική Σύγκρουση	Φωτιά	7 νεκροί 1 τραυματίας
10	1980	Sakai tunnel 460m	Δίδυμες	Japan	1 φορτηγό	Νωτομετωπική σύγκρουση	Φωτιά	5 νεκροί, 5 τραυματίες

α/α	Έτος	Μήκος Σήραγγας	Γεωμετρία Σηράγγων	Τοποθεσία Χώρα	Υπαίτιο Όχημα	Πιθανή αιτία ατυχήματος	Αποτέλεσμα ατυχήματος	Συνέπειες σε ανθρώπους
11	1982	Caldecott 1.028m	Δίδυμες	Oakland USA	1 ΙΧ, 1 λεωφορείο, 1 φορτηγό 33000 l βενζίνης	Μεθυσμένος οδηγός	Μετωπική Σύγκρουση Φωτιά	7 νεκροί 2 τραυματίες
12	1982	Salang 2.700m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	Mazar-e-Sharif - Kabul Afghanistan	Σοβιετική φάλαγγα με 1 φορτηγό με καύσιμα	Μετωπική Σύγκρουση	Φωτιά	> 400 νεκροί
13	1983	Pecorila Galleria 662m	Δίδυμες	Genes Savone Italy	Φορτηγό με ψάρια	Μετωπική Σύγκρουση	Φωτιά	9 νεκροί 22 τραυματίες
14	1983	Frejus 12.870m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	France	Φορτηγό με πλαστικό	Μηχανή	Φωτιά	0 νεκροί 0 τραυματίες
15	1984	St. Gotthard 16.300m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	Ελβετία	Φορτηγό με πλαστικό	Μηχανή	Φωτιά	0 νεκροί 0 τραυματίες
16	1986	L'Arme 1.105m	Δίδυμες	Nice France	Φορτηγό με ρυμουλκούμενο	Πέδηση με υψηλή ταχύτητα	Φωτιά	3 νεκροί 5 τραυματίες
17	1986	Herzogberg 2000m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	Αυστρία	1 φορτηγό	Υπερθερμασμένα φρένα	Φωτιά	0 νεκροί 0 τραυματίες
18	1987	Gumefens 343 m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	Berne Switzerland	1 φορτηγό	Μετωπική Σύγκρουση	Φωτιά	2 νεκροί
19	1989	Brenner 1.200m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	Αυστρία	1 ΙΧ	Ανθρώπινος παράγοντας	Σύγκρουση με τοίχο, φωτιά	2 νεκροί, 9 τραυματίες
20	1990	Røldal 4.656m		Røldal Norway	VW βαν με trailer		Φωτιά	1 τραυματίας
21	1990	Mont Blanc 11.600m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	France-Italy	Φορτηγό με 20 t βαμβάκι	Μηχανή	Φωτιά	2 τραυματίες
22	1993	Serra Ripoli 442m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	Bologna-Florence Italy	1 ΙΧ + φορτηγό με ρολά χαρτί	Σύγκρουση	Φωτιά	4 νεκροί 4 τραυματίες

α/α	Έτος	Μήκος Σήραγγας	Γεωμετρία Σηράγγων	Τοποθεσία Χώρα	Υπαίτιο Όχημα	Πιθανή αιτία ατυχήματος	Αποτέλεσμα ατυχήματος	Συνέπειες σε ανθρώπους
23	1993	Hovden 1.290m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	Heyanger Norway	Μοτοσικλέτα 2 ΙΧ	Μετωπική Σύγκρουση	Φωτιά	5 τραυματίες
24	1994	Huguenot 3.914 m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	South-Africa	Λεωφορείο με 45 επιβάτες	Ηλεκτρική Βλάβη	Φωτιά	1 νεκρός 28 τραυματίες
25	1994	Castellar 570m	Δίδυμες	Γαλλία	1 φορτηγό με απορρίμματα χαρτιού	Υπερθέρμανση λάστιχου	Φωτιά	0 νεκροί 0 τραυματίες
26	1994	St. Gotthard 16.300 m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	Ελβετία	Φορτηγό με τρέιλερ	Υπερθέρμανση λάστιχου	Φωτιά	1 νεκροί 0 τραυματίες
27	1994	Kingsway 2.400m	Διπλής κυκλοφορίας με νησίδα	Ην. Βασίλειο	1 λεωφορείο	Μηχανική βλάβη	Φωτιά	0 νεκροί 0 τραυματίες
28	1995	Hitra tunnel 5.600m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	Νορβηγία	Κινητός γερανός	Υπερθέρμανση μηχανής	Φωτιά	1 νεκροί 0 τραυματίες
29	1995	Pfander 6.719 m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	Austria	Φορτηγό με ρυμουλκούμενο	Σύγκρουση	Φωτιά	3 νεκροί από τη σύγκρουση 4 τραυματίες
30	1996	Isola delle Femmine 148 m	Μονής κυκλοφορίας	Palermo Italy	1 βυτιοφόρο με υγρό αέριο + 1 μικρό λεωφορείο	Μετωπική Σύγκρουση	Φωτιά	5 νεκροί 20 τραυματίες
31	1996	Ekeberg tunnel 1.600m	Δίδυμες	Νορβηγία	1 λεωφορείο	Μηχανική βλάβη	Φωτιά	0 νεκροί 0 τραυματίες
32	1997	St. Gotthard 16.300 m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	Ελβετία	Φορτηγό που μετέφερε αυτοκίνητα	Υπερθέρμανση μηχανής	Φωτιά	1 νεκροί 0 τραυματίες
33	1997	St. Gotthard 16.300m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	Ελβετία	1 λεωφορείο	Υπερθέρμανση μηχανής	Φωτιά	2 νεκροί 0 τραυματίες

α/α	Έτος	Μήκος Σήραγγας	Γεωμετρία Σηράγγων	Τοποθεσία Χώρα	Υπαίτιο Όχημα	Πιθανή αιτία ατυχήματος	Αποτέλεσμα ατυχήματος	Συνέπειες σε ανθρώπους
34	1999	Mont Blanc 11.600m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	France-Italy	Φορτηγό με αλεύρι και μαργαρίνη	Διαρροή λαδιού μηχανής	Φωτιά	39 νεκροί, 12 τραυματίες
35	1999	Tauern tunnel 6.401m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	A 10 between Villach and Salzburg Austria	1 Φορτηγό	Καραμπόλα 60 αυτοκινήτων	Φωτιά	12 νεκροί 50 τραυματίες
36	1999	Oslo Fjord tunnel 7.200m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	Νορβηγία	1 Φορτηγό	Αδιευκρίνιστη	Φωτιά	2 νεκροί, 15 τραυματίες
37	1999	Munich Candid tunnel 252m	Μονής κυκλοφορίας	Γερμανία	1 ΙΧ	Μηχανική βλάβη	Νωτομετωπική σύγκρουση	0 νεκροί 0 τραυματίες
38	2000	Seljestad 1.272m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	E 134 Drammen - Haugesund Norway	Φορτηγό όπου είχε εκδηλωθεί πυρκαγιά πριν εισέλθει στη σήραγγα.	Μετωπική Σύγκρουση Φορτηγό σε 5 ΙΧ που είχαν σταματήσει πίσω	Φωτιά	6 τραυματίες
39	2001	Prapontin 4.409m	Δίδυμες	A 32 Torino - Bardonecchia Italy	Φορτηγό φορτωμένο	Μηχανική βλάβη	Φωτιά	19 τραυματίες από καπνό
40	2001	Helbersberg tunnel 800m	Δίδυμες	Αυστρία	-	Αδιευκρίνιστη	Νωτομετωπική σύγκρουση	2 νεκροί 10 τραυματίες
41	2001	Guldborgsund tunnel 460m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	Δανία	1 Φορτηγό που μετέφερε γουρούνια, 2 ΙΧ	Πυκνή ομίχλη	Μετωπική Σύγκρουση	3 νεκροί, 6 τραυματίες
42	2001	Gleinalm 8.320 m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	A 9 near Graz Austria	ΙΧ	Βραχυκύκλωμα	Φωτιά	5 νεκροί 4 τραυματίες
43	2001	St. Gotthard 16.300 m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	A 2 Switzerland	Φορτηγό	Μετωπική σύγκρουση 2 φορτηγών	Φωτιά	11 νεκροί
44	2001	Sonnstein tunnel 1.090m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	Austria	1 ΙΧ	Λάστιχο	Πρόσκρουση στο στόμιο της σήραγγας	1 τραυματίας

α/α	Έτος	Μήκος Σήραγγας	Γεωμετρία Σηράγγων	Τοποθεσία Χώρα	Υπαίτιο Όχημα	Πιθανή αιτία ατυχήματος	Αποτέλεσμα ατυχήματος	Συνέπειες σε ανθρώπους
45	2001	Lainberg tunnel 2000m	Δίδυμες	A9 near Windischgarsten Austria	2 ΙΧ	Μετωπική σύγκρουση 2 οχημάτων	Τρακάρισμα	2 νεκροί 2 τραυματίες
46	2001	Katschberg tunnel 5.439m	Δίδυμες	A 10 near St. Michael in Lungau Austria	2 ΙΧ	Σύγκρουση	Τρακάρισμα	6 τραυματίες
47	2001	Amberg tunnel 2.967m	Δίδυμες	A 14 between Frastanz and Feldkirch Austria	1 πούλμαν 1 βαν	Σύγκρουση	Καραμπόλα	3 νεκροί
48	2002	Homer tunnel 1.200m	Μονής κυκλοφορίας	Νέα Ζηλανδία	1 λεωφορείο	Μηχανική βλάβη	Φωτιά	4 τραυματίες
49	2003	Erzincan tunnel	Δίδυμες	Τουρκία	1 λεωφορείο	Αδιευκρίνιστη	Σύγκρουση στην είσοδο	27 νεκροί
50	2003	Berici tunnel 1.866m	Διπλής κυκλοφορίας με νησίδα	Ιταλία	1 λεωφορείο	Αδιευκρίνιστη	Σύγκρουση με τοιχο	6 νεκροί 38 τραυματίες
51	2003	Bretelle de Monaco 1.591m	Διπλής κυκλοφορίας με νησίδα	Γαλλία	1 Φορτηγό και 1 ΙΧ	Αδιευκρίνιστη	Μετωπική Σύγκρουση	1 τραυματίας
52	2003	Locica tunnel 810m	Δίδυμες	Σλοβενία	1 Φορτηγό	Αδιευκρίνιστη	Φωτιά	0 νεκροί 0 τραυματίες
53	2003	Gotthard tunnel 16.300m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	A 2 between Lucerne and Chiasso Switzerland	1 Φορτηγό και 1 ΙΧ	Σύγκρουση	Τρακάρισμα	1 νεκρός 5 τραυματίες
54	2003	Floyfjell tunnel 3.100m	Δίδυμες	Νορβηγία	1 ΙΧ	Αδιευκρίνιστη	Σύγκρουσή με τοιχο, φωτιά	1 νεκρός
55	2004	Baregg tunnel 1.148m	Δίδυμες	A 1 between Zurich and Basel Switzerland	1 Φορτηγό και 1 ΙΧ	Σύγκρουση	Καραμπόλα - Φωτιά	1 νεκρός 5 τραυματίες
56	2004	Kinkempois tunnel 600m	Δίδυμες	Βέλγιο	1 Φορτηγό	Αδιευκρίνιστη	Φωτιά	0 νεκροί 0 τραυματίες

α/α	Έτος	Μήκος Σήραγγας	Γεωμετρία Σηράγγων	Τοποθεσία Χώρα	Υπαίτιο Όχημα	Πιθανή αιτία ατυχήματος	Αποτέλεσμα ατυχήματος	Συνέπειες σε ανθρώπους
57	2004	Naxberg tunnel 515m	Δίδυμες	Ελβετία	1 Φορτηγό και 1 ΙΧ	Αδιευκρίνιστη	Σύγκρουση, φωτιά	1 τραυματίας
58	2005	Eriskirch tunnel 245m	Μονής κυκλοφορίας	Γερμανία	2 ΙΧ	Λάθος χειρισμός	Μετωπική Σύγκρουση Φωτιά	5 νεκροί, 20 τραυματίες
59	2005	Hamburg's Elb tunnel 2.653m	Δίδυμες	Γερμανία	1 λεωφορείο	Λάθος χειρισμός	Νωτομετωπική σύγκρουση	24 τραυματίες
60	2005	Frejus 12.895 m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	T 2France - Italy	Φορτηγά με ελαστικά, τυρί, κόλλα και άλλα υλικά	Διαρροή πετρελαίου από φορτηγά	Φωτιά	2 νεκροί 21 τραυματίες
61	2005	Isla-Bella tunnel 2.500m	Δίδυμες	A 13 south of Chur Switzerland	2 ΙΧ	Σύγκρουση	Τρακάρισμα	1 νεκρός 2τραυματίες
62	2005	Roppener tunnel 5.000m	Δίδυμες	A 12 in Tirol's Oberland Austria	1 Μικρό λεωφορείο με 1 Φορτηγό	Σύγκρουση	Τρακάρισμα	1 νεκρός
63	2006	Ledenik tunnel 740m	Δίδυμες	Croatia	1 Φορτηγό και 1 ΙΧ	Σύγκρουση	Τρακάρισμα	4 νεκροί
64	2006	Hamburg's Elb tunnel 2.653m	Δίδυμες	Γερμανία	1 λεωφορείο 1 φορτηγό	Αδιευκρίνιστη	Νωτομετωπική σύγκρουση	8 τραυματίες
65	2006	Tauern tunnel 6.401m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	A 10 between Villach and Salzburg Austria	1 πούλμαν 1 Φορτηγό	Μετωπική σύγκρουση 2 οχημάτων	Τρακάρισμα	30 Τραυματίες
66	2006	Spering tunnel 2.862m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	Αυστρία	1 φορτηγό	Λάθος χειρισμός	Μετωπική σύγκρουση	1 νεκρός 1 τραυματίας
67	2006	Farchanter Tunnel 2.390m	Μονής κυκλοφορίας	B 2 near Garmisch-Patenkirchen Germany	1 πούλμαν-βαν	Διαρροή Λαδιών	Τρακάρισμα	1 νεκρός
68	2006	Crapteig tunnel 2.171m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	near Thusis in the Swiss canton of Graubünden Switzerland	1 Φορτηγό φορτωμένο με ξύλα	Τεχνικά Προβλήματα	Φωτιά	0 νεκροί 0 τραυματίες

α/α	Έτος	Μήκος Σήραγγας	Γεωμετρία Σηράγγων	Τοποθεσία Χώρα	Υπαίτιο Όχημα	Πιθανή αιτία ατυχήματος	Αποτέλεσμα ατυχήματος	Συνέπειες σε ανθρώπους
69	2006	Gotthard tunnel 16.300m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	A 2 between Lucerne and Chiasso Switzerland	1 Φορτηγό και 1 ΙΧ	Σύγκρουση	Τρακάρισμα	1 νεκρός 2 τραυματίες
70	2006	Eidsvoll tunnel 1.200m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	Oslo Norway	1 Φορτηγό και 1 ΙΧ	Σύγκρουση	Φωτιά	1 νεκρός 1 τραυματίας
71	2006	Viamala tunnel 742m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	A 13 south of Chur Switzerland	1 Μικρό λεωφορείο με 1 ΙΧ	Πρόσκρουση του λεωφορείου με τα τοιχώματα της σήραγγας	Φωτιά	9 νεκροί 5 τραυματίες
72	2007	Großliedl tunnel 427m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	Bad St. Leonhard Αυστρία	1 φορτηγό	Υψηλή ταχύτητα	Νωτομετωπική σύγκρουση	1 τραυματίας
73	2007	Ehrentalerberg tunnel 3.345 m	Δίδυμες	Αυστρία	2 Φορτηγά	Αδιευκρίνιστη	Νωτομετωπική σύγκρουση	0 τραυματίες
74	2007	Waasland tunnel 1.717m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	Βέλγιο	2 ΙΧ	Αδιευκρίνιστη	Μετωπική σύγκρουση	3 τραυματίες
75	2007	Los Angeles and San Francisco tunnel	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	USA	2 Φορτηγά	Βρεγμένο οδόστρωμα	Καραμπόλα Φωτιά	10 τραυματίες
76	2007	San Martino tunnel 2.444m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	Ιταλία	1 φορτηγό	Αδιευκρίνιστη	Καραμπόλα	2 νεκροί, 10 τραυματίες
77	2007	Tarvisio Tunnel 2.362m	Δίδυμες	Ιταλία	1 ΙΧ	Αδιευκρίνιστη	Νωτομετωπική σύγκρουση	1 νεκρός 3 τραυματίες
78	2007	Pfander tunnel 6.719 m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	Αυστρία	2 Φορτηγά	Αδιευκρίνιστη	Μετωπική σύγκρουση	4 τραυματίες



α/α	Έτος	Μήκος Σήραγγας	Γεωμετρία Σηράγγων	Τοποθεσία Χώρα	Υπαίτιο Όχημα	Πιθανή αιτία ατυχήματος	Αποτέλεσμα ατυχήματος	Συνέπειες σε ανθρώπους
79	2007	Ted Williams (Big Dig) tunnel 2.600m	Δίδυμες	I 90 Route Boston U.S.A.		Ανεπαρκής υποστήριξη οροφής - Προβλήματα ευστάθειας	Κατάρρευσης Οροφής	1 νεκρός
80	2007	Burnley 3.400 m	Δίδυμες	Melbourne Australia	3 Φορτηγά 4 ΙΧ	Διαρροή Λαδιών λόγω σύγκρουσης	Φωτιά	3 νεκροί 3 τραυματίες
81	2007	Ehrentalerberg tunnel 3.345 m	Δίδυμες	A 2 near Klagenfurt Austria	1 Μικρό λεωφορείο με 29 οχήματα	Διαρροή Βερνικιού	Καραμπόλα	12 ελαφρά τραυματίες
82	2008	Ofenauer tunnel 1.385m	Δίδυμες	A 10 Tauern motorway Austria	3 φορτηγά 15 ΙΧ	Πάγος στο οδόστρωμα	Καραμπόλα	17 τραυματίες
83	2008	Bay Aqua-Line 9.576m undersea tunnel	Δίδυμες	Ιαπωνία	2 ΙΧ	Σύγκρουση	Τρακάρισμα	2 νεκροί 1 τραυματίες
84	2010	St. Gotthard tunnel 16.300m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	A 2 between Lucerne and Chiasso Switzerland	2 Φορτηγά	Αδιευκρίνιστη	Φωτιά, έκρηξη, κατάρρευση οροφής	>11 νεκροί
85	2010	Bay Aqua-Line 9576m undersea tunnel	Δίδυμες	Ιαπωνία	Ποδηλάτες	Σύγκρουση με άλλα ποδήλατα		2 νεκροί (ποδηλάτες)
86	2010	St Bernhard 5.800m	Διπλής κυκλοφορίας χωρίς νησίδα	Switzerland	1 Φορτηγό με μικρό λεωφορείο	Ανατροπή φορτηγού σε στενή στροφή	Τρακάρισμα	1 νεκρός
87	2011	Sumner tunnel 1.720m	Δίδυμες	Boston U.S.A.	1 Φορτηγό	Πρόσκρουση φορτηγού με τη ράμπα	Τρακάρισμα	1 νεκρός
88	2011	Lincoln Tunnel 2.504m	Δίδυμες	New York City U.S.A.	2 Λεωφορείο και 1 μοτοσυκλέτα	Σύγκρουση Οχημάτων	Τρακάρισμα	61 τραυματίες
89	2011	Σήραγγα Βριλησίων 730m	Δίδυμες	Αττική Οδός, Ελλάδα	1 φορτηγό 1 ΙΧ	Αδιευκρίνιστη	Τρακάρισμα	0 νεκροί 0 τραυματίες

**Πίνακας 2 - Ατυχήματα σε σιδηροδρομικές σήραγγες**

α/α	Έτος	Σήραγγα	Γεωμετρία Σηράγγων	Τοποθεσία Χώρα	Πιθανή αιτία ατυχήματος	Αποτέλεσμα ατυχήματος	Συνέπειες σε ανθρώπους
1	1921	Batignolles Tunnel 1km	Διπλής γραμμής	Παρίσι	Λάθος συνεννόηση	Νωτομετωπική σύγκρουση συρμών	28 νεκροί
2	1929	Combe Down Tunnel 1,6km	Μονής γραμμής	Ην. Βασίλειο	Αναθυμιάσεις στη σήραγγα	Εκτροχιασμός	3 νεκροί, 1 τραυματίας
3	1932	Gutsch Tunnel 360m	Μονής γραμμής	Ελβετία	Παράβλεψη Σήμανσης	Μετωπική σύγκρουση	6 νεκροί, 15 τραυματίες
4	1944	Torre del Bierzo Tunnel	Διπλής γραμμής	Ισπανία	Αστοχία φρένων	Μετωπική σύγκρουση συρμών	78 νεκροί, 500 τραυματίες
5	1944	Armi Tunnel 1,5km	Μονής γραμμής	Ιταλία	Κακή ποιότητα κάρβουνου	Δηλητηρίαση από CO	426 νεκροί, 60 τραυματίες
6	1945	King's Cross	Μονής γραμμής	Ην. Βασίλειο	Κακή συντήρηση ράγων	Εκτροχιασμός	2 νεκροί, 26 τραυματίες
7	1949	Penmanshiel Tunnel 250m	Διπλής γραμμής	Ην. Βασίλειο	Τσιγάρο ή σπύρτο	Εκτεταμένη φωτιά	7 τραυματίες
8	1969	Simplon Tunnel 19,8km	Διπλής γραμμής	Ελβετία-Ιταλία	Φωτιά σε βαγόνι	Φωτιά	0
9	1971	Vranduck Tunnel 1,6km	Μονής γραμμής	Γιουγκοσλαβία	Φωτιά στη μηχανή	Φωτιά	34 νεκροί, 120 τραυματίες
10	1971	Hakusan Tunnel	Μονής γραμμής	Ιαπωνία	Αδιευκρίνιστη	Νωτομετωπική σύγκρουση συρμών	25 νεκροί, 236 τραυματίες
11	1972	Vierzy Tunnel 800m	Διπλής γραμμής	Γαλλία	Κατάρρευση οροφής	Εκτροχιασμός	108 νεκροί, 240 τραυματίες

α/α	Έτος	Σήραγγα	Γεωμετρία Σηράγγων	Τοποθεσία Χώρα	Πιθανή αιτία ατυχήματος	Αποτέλεσμα ατυχήματος	Συνέπειες σε ανθρώπους
12	1972	Hokuriku Tunnel 13,9km	Διπλής γραμμής	Ιαπωνία	Φωτιά σε βαγόνι εστιατόριο	Φωτιά και διακοπή ρεύματος	30 νεκροί, 637 τραυματίες
13	1973	Tunnel close to Østerport station		Δανία	Αδιευκρίνιστη	Νωτομετωπική σύγκρουση συρμών	2 νεκροί, 23 τραυματίες
14	1977	Saint Julien 1km		Γαλλία	Αδιευκρίνιστη	Μετωπική σύγκρουση συρμών	1 νεκρός
15	1978	Clayton tunnel 2km	Διπλής γραμμής	Ην. Βασίλειο	Απροσεξία οδηγού	Νωτομετωπική σύγκρουση συρμών	3 νεκροί, 57 τραυματίες
16	1984	Summit Tunnel 2,6km	Διπλής γραμμής	Ην. Βασίλειο	Ελαττωματικό λιποκιβώτιο	Εκτροχιασμός και φωτιά	0 νεκροί, 0 τραυματίες
17	1984	San Benedetto tunnel 18,5km	Διπλής γραμμής	Ιταλία	Βομβιστική επίθεση	Έκρηξη	15 νεκροί, 267 τραυματίες
18	1991	Hirschengraben Tunnel 1,3km	Διπλής γραμμής	Ζυρίχη, Ελβετία	Φωτιά σε βαγόνι	Φωτιά	20 τραυματίες
18	1991	Severn tunnel 6,8km	Διπλής γραμμής	Ην. Βασίλειο	Βλάβη στο σύστημα σηματοδότησης	Νωτομετωπική σύγκρουση συρμών	100 τραυματίες
19	1993	Vega de Anzo		Ισπανία	Αδιευκρίνιστη	Μετωπική σύγκρουση συρμών	12 νεκροί, 5 τραυματίες

α/α	Έτος	Σήραγγα	Γεωμετρία Σηράγγων	Τοποθεσία Χώρα	Πιθανή αιτία ατυχήματος	Αποτέλεσμα ατυχήματος	Συνέπειες σε ανθρώπους
20	1996	Channel Tunnel	Διπλής γραμμής	Ην. Βασίλειο-Γαλλία	Φωτιά σε μεταφερόμενο φορτηγό πριν την είσοδο	Φωτιά και βλάβη στο ηλεκτρικό δίκτυο	30 τραυματίες
21	1998	Gueizhou 0,8km		Κίνα	Έκρηξη σε κουτί φυσικού αερίου	Φωτιά	80 νεκροί
22	1999	Salerno Tunnel 10km		Ιταλία	Φωτιά από οπαδούς επιβάτες	Φωτιά	4 νεκροί, 9 τραυματίες
23	1999	Fukuoka Tunnel 8,5km	Διπλής γραμμής	Ιαπωνία	Αστοχία μόνιμης επένδυσης	Κατάρρευση οροφής	
24	2000	Kaprun Tunnel 3,4km 43°	Μονής γραμμής	Αυστρία	Διαρροή λιπαντικού	Φωτιά	155 νεκροί, 12 τραυματίες
25	2000	Garmisch-Partenkirchen Tunnel	Δίδυμες σήραγγες	Γερμανία	Λάθος συστήματος (σήραγγα με 1 λωρίδα)	Μετωπική σύγκρουση συρμών	58 τραυματίες
26	2001	Howard street Tunnel 2,5km	Μονής γραμμής	Βαλτιμόρη, Η.Π.Α.	Αδιευκρίνιστη	Εκτροχιασμός Φωτιά	5 τραυματίες
27	2007	Norristown tunnel	Διπλής γραμμής	Φιλαδέλφεια, Η.Π.Α.	Λάθος σχεδιασμού	Μετωπική σύγκρουση συρμών	35 τραυματίες
28	2008	Channel Tunnel	Δίδυμες σήραγγες	Ην. Βασίλειο-Γαλλία	Φωτιά σε μεταφερόμενο φορτηγό	Φωτιά	6 τραυματίες
29	2008	Landrücken Tunnel 10,7km	Διπλής γραμμής	Γερμανία	Σύγκρουση με κοπάδι προβάτων	Απότομη πέδηση	19 τραυματίες

α/α	Έτος	Σήραγγα	Γεωμετρία Σηράγγων	Τοποθεσία Χώρα	Πιθανή αιτία ατυχήματος	Αποτέλεσμα ατυχήματος	Συνέπειες σε ανθρώπους
30	2010	Summit Tunnel 2,6km	Διπλής γραμμής	Ην. Βασίλειο	Πάγος στις ράγες	Εκτροχιασμός	0 νεκροί, 0 τραυματίες
31	2011	Shin-Noborikawa Tunnel 5,8km	Μονής γραμμής	Ιαπωνία	Αδιευκρίνιστη	Εκτροχιασμός Φωτιά	39 τραυματίες
32	2011	El Clot Tunnel		Βαρκελώνη, Ισπανία	Σφάλμα σε σιδηροδρομική γραμμή	Νωτομετωπική σύγκρουση συρμών	18 τραυματίες

**Πίνακας 3 - Ατυχήματα σε υπόγεια αστικά δίκτυα**

α/α	Έτος	Σήραγγα	Τοποθεσία Χώρα	Πιθανή αιτία ατυχήματος	Αποτέλεσμα ατυχήματος	Συνέπειες σε ανθρώπους
1	1918	Brooklyn Rapid Transit	Νέα Υόρκη, Η.Π.Α.	Απότομο φρενάρισμα σε στροφή	Εκτροχιασμός	93 νεκροί, 100 τραυματίες
2	1946	Edgware	Λονδίνο, Ην. Βασίλειο	Θάνατος οδηγού από καρδιακό επεισόδιο	Πρόσκρουση συρμού στον τοίχο	1 νεκρός, 15 τραυματίες
3	1953	Stratford tube	Λονδίνο, Ην. Βασίλειο	Αυξημένη ταχύτητα	Νωτομετωπική σύγκρουση συρμών	12 νεκροί, 5 τραυματίες
4	1958	Holland Park station	Λονδίνο, Ην. Βασίλειο	Σπίθα στον ηλεκτροτεχνικό εξοπλισμό	Ισχυρό ηλεκτρικό τόξο και φωτιά	1 νεκρός, 51 τραυματίες
5	1960	Redbridge	Λονδίνο, Ην. Βασίλειο	Σπίθα στον ηλεκτροτεχνικό εξοπλισμό	Ισχυρό ηλεκτρικό τόξο και φωτιά	38 τραυματίες
6	1971	Montreal subway	Μόντρεαλ, Καναδάς	Αδιευκρίνιστη	Πρόσκρουση συρμού στο τερματικό τοίχο	1 νεκρός, 35 τραυματίες
7	1974	Moscow subway	Μόσχα, Ρωσία	Φωτιά σε δωμάτιο υπηρεσίας	Καπνοί και μεγάλη θερμοκρασία	0 νεκροί, 5 τραυματίες

α/α	Έτος	Σήραγγα	Τοποθεσία Χώρα	Πιθανή αιτία ατυχήματος	Αποτέλεσμα ατυχήματος	Συνέπειες σε ανθρώπους
8	1975	Moorgate station	Λονδίνο, Ην. Βασίλειο	Αδιευκρίνιστη	Πρόσκρουση συρμού στο τερματικό τοίχο	43 νεκροί, 74 τραυματίες
9	1975	Mexico city subway	Μεξικό	Λάθος σήμανση	Νωτομετωπική σύγκρουση συρμών	39 νεκροί, 119 τραυματίες
10	1975	Kenmore Square station	Βοστώνη, Η.Π.Α.	Χαλασμένα εναέρια καλώδια	Φωτιά	34 τραυματίες
10	1979	BART station	Σαν Φρανσίσκο, Η.Π.Α.	Φωτιά σε σύνδεσμο βαγονιών	Μη έναρξη του συρμού, καθυστέρηση εκκένωσης	1 νεκρός, 58 τραυματίες
11	1980	U-Bahn station	Αμβούργο, Γερμανία	Εμπρησμός καθίσματος βαγονιού	Καπνοί και μεγάλη θερμοκρασία	3 τραυματίες
12	1980	Goodge Street station	Λονδίνο, Ην. Βασίλειο	Φωτιά από τσιγάρο	Τοξικοί καπνοί από φλεγόμενα καλώδια	1 νεκρός, 16 τραυματίες
13	1980	Holborn station	Λονδίνο, Ην. Βασίλειο	Λάθος οδηγού	Νωτομετωπική σύγκρουση με ακινητοποιημένο συρμό	1 τραυματίας

α/α	Έτος	Σήραγγα	Τοποθεσία Χώρα	Πιθανή αιτία ατυχήματος	Αποτέλεσμα ατυχήματος	Συνέπειες σε ανθρώπους
14	1981	Brooklyn subway	Νέα Υόρκη, Η.Π.Α.	Αστοχία συστήματος πέδησης έκτακτης ανάγκης	Νωτομετωπική σύγκρουση με ακινητοποιημένο συρμό	1 νεκρός, 135 τραυματίες
15	1981	Oktyabrskaya station	Μόσχα, Ρωσία	Ηλεκτρική βλάβη	Εκτεταμένη φωτιά	7 νεκροί, 75 τραυματίες
16	1982	Smithsonian and Federal Triangle stations	Ουάσινγκτον, Η.Π.Α.	Λάθος οδηγού	Εκτροχιασμός	3 νεκροί, 25 τραυματίες
17	1984	Leyton station	Λονδίνο, Ην. Βασίλειο	Λάθος οδηγού	Νωτομετωπική σύγκρουση συρμών	1 νεκρός, 20 τραυματίες
18	1987	King's Cross Metro station	Λονδίνο, Ην. Βασίλειο	Φωτιά σε σκάλα σταθμού από σπίρτο	Εκτεταμένη φωτιά	31 νεκροί, 60 τραυματίες
19	1990	Brooklyn subway	Νέα Υόρκη, Η.Π.Α.	Ηλεκτρική βλάβη	Φωτιά	2 νεκροί, 188 τραυματίες
20	1991	Union Square station	Νέα Υόρκη, Η.Π.Α.	Μεθυσμένος οδηγός	Εκτροχιασμός	5 νεκροί, 200 τραυματίες
21	1995	Narimanov station	Μπακού, Αζερμπαϊτζάν	Ηλεκτρική βλάβη	Φωτιά	289 νεκροί, 265 τραυματίες



α/α	Έτος	Σήραγγα	Τοποθεσία Χώρα	Πιθανή αιτία ατυχήματος	Αποτέλεσμα ατυχήματος	Συνέπειες σε ανθρώπους
22	1995	Yonge-University-Spadina line	Τορόντο, Καναδάς	Λάθος σχεδιασμού	Νωτομετωπική σύγκρουση συρμών	3 νεκροί, 30 τραυματίες
23	1996	Shady Grove station	Ουάσινγκτον, Η.Π.Α.	Βλάβη υπολογιστή ελέγχου πέδησης	Σύγκρουση σε τοίχο	1 τραυματίας
24	1999	Nyamiha station	Μινσκ, Λευκορωσία	Ξαφνική καταιγίδα	Συνωστισμός 2000 άτομα	54 νεκροί, 250 τραυματίες
25	1999	U-Bahn station	Κολωνία, Γερμανία	Βλάβη συστήματος πέδησης σε δοκιμαστικό συρμό	Νωτομετωπική σύγκρουση	67 τραυματίες
26	2000	Notre Dame - de-Lorette	Παρίσι, Γαλλία	Υψηλή ταχύτητα σε στροφή πριν το σταθμό	Εκτροχιασμός και ανατροπή	24 τραυματίες
27	2003	Chancery Lane	Λονδίνο, Ην. Βασίλειο	Αποκόλληση κινητήρα από μηχανή	Εκτροχιασμός	32 τραυματίες
28	2003	Hammersmith station	Λονδίνο, Ην. Βασίλειο	Σπασμένες ράγες	Εκτροχιασμός	0
29	2003	Jungangno station	Νταεγού, Κορέα	Εμπρησμός	Φωτιά	198 νεκροί, 147 τραυματίες

α/α	Έτος	Σήραγγα	Τοποθεσία Χώρα	Πιθανή αιτία ατυχήματος	Αποτέλεσμα ατυχήματος	Συνέπειες σε ανθρώπους
30	2003	Camden Town station	Λονδίνο, Ην. Βασίλειο	Λάθος σχεδιασμού	Εκτροχιασμός	7 τραυματίες
31	2004	Moscow subway	Μόσχα, Ρωσία	Βόμβα	Έκρηξη φωτιά	39 νεκροί, 100 τραυματίες
32	2004	Adams Morgan station	Ουάσινγκτον, Η.Π.Α.	Αδιευκρίνιστη	Αναποδογύρισμα συρμού και σύγκρουση με συρμό	20 τραυματίες
33	2004	White City station	Λονδίνο, Ην. Βασίλειο	Λάθος σχεδιασμού	Εκτροχιασμός	0
34	2006	Moscow subway	Μόσχα, Ρωσία	Κατάρρευση οροφής	Εγκλωβισμός συρμού	0
35	2006	Valencia subway	Βαλένθια, Ισπανία	Αυξημένη ταχύτητα	Εκτροχιασμός	41 νεκροί, 47 τραυματίες
36	2007	Plaza Sucre station	Καράκας, Βενεζουέλα	Βλάβη συστήματος πέδησης	Νωτομετωπική σύγκρουση συρμών	1 νεκρός, 11 τραυματίες
37	2007	Convention Center station	Ουάσινγκτον, Η.Π.Α.	Αδιευκρίνιστη	Εκτροχιασμός	18 τραυματίες
38	2007	Mile End station	Λονδίνο, Ην. Βασίλειο	Αποκόλληση εξαρτήματος λόγω ανέμων	Εκτροχιασμός	21 τραυματίες
39	2007	Pennsylvania Station	Νέα Υόρκη, Η.Π.Α.	Χαλασμένα εναέρια καλώδια	Εγκλωβισμός συρμού	0

α/α	Έτος	Σήραγγα	Τοποθεσία Χώρα	Πιθανή αιτία ατυχήματος	Αποτέλεσμα ατυχήματος	Συνέπειες σε ανθρώπους
40	2008	Queens to Brooklyn subway	Νέα Υόρκη, Η.Π.Α.	Βλάβη συστήματος πέδησης	Εκτροχιασμός	2 τραυματίες
41	2009	Shady Grove station	Ουάσινγκτον, Η.Π.Α.	Αδιευκρίνιστη	Νωτομετωπική σύγκρουση συρμών	9 νεκροί, 70 τραυματίες
42	2011	Shanghai station	Χινηua, Σανγκάη	Υπέρβαση ορίου ταχύτητας	Νωτομετωπική σύγκρουση συρμών	270 τραυματίες