

## Επιλογή μεθόδων ανάλυσης επικινδυνότητας οδικών σηράγγων

### Choice of methods for risk analysis of road tunnels

ΜΠΑΚΟΓΙΑΝΝΗΣ Ι. Μεταλλειολόγος Μηχανικός, Υπ. Υπο.ΜΕ.ΔΙ. – Διοικητική Αρχή Σηράγγων  
ΝΙΚΟΛΑΟΥ Δ. Πολιτικός Μηχανικός, πρώην Γενικός Διευθυντής Υπ. Υπο.ΜΕ.ΔΙ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Η επιλογή της μεθοδολογίας ανάλυσης επικινδυνότητας, κατά τις προβλέψεις της Οδηγίας 2004/54/ΕΚ, έλαβε υπόψη τις ιδιαιτερότητες και τις συνθήκες του Ελληνικού χώρου και ιδιαίτερα την ανυπαρξία στατιστικώς επαρκούς και αξιόπιστης βάσης δεδομένων ατυχημάτων, διαμορφώνοντας δύο διακριτές μεθόδους, μια για τη μεταφορά επικίνδυνων εμπορευμάτων (ΕΕ) και μία για τα λοιπά οχήματα. Η μεθοδολογία για τη μεταφορά των ΕΕ αποτελείται από δύο βασικά στάδια με τη χρήση του προσομοιώματος DG QRAM. Στο πρώτο στάδιο εξετάζεται η εγγενής επικινδυνότητα της σήραγγας, ενώ στο δεύτερο στάδιο και εφόσον η εγγενής επικινδυνότητα υπερβαίνει συγκεκριμένη οριακή τιμή, συγκρίνονται οι διάφορες εναλλακτικές διαδρομές. Η μεθοδολογία χωρίς εμπλοκή ΕΕ ανήκει στην οικογένεια των σεναριακών μεθόδων και διερευνά κυρίως τις συνέπειες κάθε διακριτού εξεταστέου σεναρίου.

ABSTRACT : The choice of methodology for risk analysis, in accordance with the provisions of Directive 2004/54/EC, took into account the specificity and conditions of the Greek countryside and in particular the lack of statistically adequate and reliable database of accidents, creating two distinct methods, one for transport of dangerous goods (DG) and one for all other vehicles. The methodology for the transfer of the EU consists of two main stages using the model is DG QRAM. The first stage examines the intrinsic risk of the tunnel, while the second stage, where the intrinsic risk exceeds this threshold, comparing the various alternative routes. The methodology without involvement of DGs belongs to the family of scenario based methods and explores mainly the consequences of any particular discrete scenario under examination.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με το Προεδρικό Διάταγμα 230/2007 (ΦΕΚ 264/2007) πραγματοποιήθηκε η προσαρμογή της Ελληνικής Νομοθεσίας στην Οδηγία 2004/54/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 29<sup>ης</sup> Απριλίου 2004 σχετικά με τις ελάχιστες απαιτήσεις ασφάλειας για τις σήραγγες του διευρωπαϊκού οδικού δικτύου. Η εξασφάλιση αυτών των ελάχιστων απαιτήσεων ασφάλειας επιτυγχάνεται με την υιοθέτηση και διάδραση τεσσάρων πυλώνων:

- Διοικητικές διαρρυθμίσεις (υιοθέτηση Διοικητικής Αρχής, Διαχειριστή σήραγγας, Αρμόδιου ασφάλειας)
- Διαδικασίες (εκπόνηση φάκελου ασφάλειας σε κάθε φάση υλοποίησης και λειτουργίας

κάθε σήραγγας, διαδικασία για απόδοση κάθε σήραγγας σε χρήση κ.λ.π.)

- Κατάλογο οδηγιών ελάχιστων απαιτούμενων μέτρων και απαιτήσεων. Πρόκειται για ένα κλασσικού τύπου κατάλογο, περιγραφικού τύπου, με τη θεώρηση ότι αν μια σήραγγα ικανοποιεί αυτές τις απαιτήσεις, εξασφαλίζεται ένα αποδεκτό επίπεδο ασφάλειας.
- Ανάλυση επικινδυνότητας (ΑΕ). Η εκπόνησή της προβλέπεται σε συγκεκριμένες περιπτώσεις και ειδικότερα:
  - ✓ Αιτιολόγηση εναλλακτικών μέτρων ισοδύναμου επιπέδου προστασίας
  - ✓ Για την διερεύνηση της επίδρασης ειδικών χαρακτηριστικών
  - ✓ Επίδραση μεγάλης κατά μήκος κλίσης
  - ✓ Επίδραση λωρίδων μικρού πλάτους

- ✓ Διέλευση ΕΕ (σύστημα αποχέτευσης αποστράγγισης)
- ✓ Απόφαση για Σύστημα αερισμού
- ✓ Απόφαση για την θέση των υπηρεσιών διάσωσης
- ✓ Ανάλυση επικινδυνότητας από διέλευση ΕΕ
- ✓ Διερεύνηση της δυνατότητας να επιτρέπεται στα φορτηγά το προσπέρασμα

## 2. ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΑΕ

-

### 2.1 Οι συνθήκες στον Ελληνικό χώρο

-

Η Ελλάδα δε διαθέτει διαδεδομένη εμπειρία στην εφαρμογή προτυποποιημένων μεθόδων ανάλυσης και αποτίμησης της επικινδυνότητας έργων μηχανικού. Κατά κύριο λόγο η επίτευξη της ασφάλειας υλοποιείται με την υιοθέτηση κανονιστικών κειμένων που περιέχουν προκαθορισμένους κανόνες, όρους και τιμές. Ειδικότερα η εφαρμογή ποσοτικών μεθόδων ανάλυσης και αποτίμησης της επικινδυνότητας έχει μικρό πεδίο εφαρμογής.

Το ελληνικό νομικό σύστημα δεν έχει προβλέψεις για απόλυτες τιμές κριτηρίων αποδοχής της επικινδυνότητας, σχετικά με τις διάφορες κατηγορίες αυτής και τις ομάδες του πληθυσμού που πιθανώς να επηρεάζονται. Δεν είναι απολύτως σαφές που ανήκει η αρμοδιότητα για την νομική κατοχύρωση και θέσπιση τέτοιων κριτηρίων. Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι παρόλο που η επικινδυνότητα και τα κριτήρια αποδοχής της εμπλέκονται αμέσως στη δραστηριότητα του μηχανικού, εντούτοις δεν είναι πρόβλημα προς επίλυση μόνο από τον μηχανικό. Επομένως μια σχετική διαβούλευση και δημόσια συζήτηση θα απαιτούσε μακρό χρονικό διάστημα και δεν μπορεί να περιοριστεί μόνο στις οδικές σήραγγες. Οι οδικές σήραγγες αποτελούν στην ουσία ένα τμήμα του οδικού δικτύου, με τα ιδιαίτερα βεβαίως χαρακτηριστικά που προκύπτουν από τον τρόπο κατασκευής τους και το περιορισμένο περιβάλλον. Τυχόν θέσπιση απολύτων κριτηρίων αποδοχής της επικινδυνότητας δεν μπορεί να περιοριστεί μόνο στο "μέρος" αλλά πιθανότατα θα πρέπει να επεκταθεί στο "όλον" σύστημα της οδού. Τούτο θα μπορούσε να δημιουργήσει πολλαπλά προβλήματα σε διάφορα επίπεδα (π.χ. νομικά, κατασκευαστικά).

Τα υπάρχοντα στατιστικά στοιχεία ατυχημάτων στις σήραγγες, προς το παρόν, δεν θεωρούνται ικανά να διαμορφώσουν στατιστικώς επαρκή και αξιόπιστη βάση

δεδομένων, με την οποία θα προσεγγιστούν οι απαραίτητοι, για την εκπόνηση πλήρως ποσοτικής ΑΕ, δείκτες (όπως π.χ. ο σχετικός ρυθμός ατυχημάτων σε συνάρτηση με τη διανυθείσα απόσταση, ανάλυση της σοβαρότητας των ατυχημάτων, ειδικές αναλύσεις για τον ρυθμό και τον τύπο του ατυχήματος σε σχέση με την τοποθεσία που συμβαίνει το ατύχημα, ο τύπος των οχημάτων που εμπλέκονται σε πυρκαγιές). Η προτυποποίηση του τρόπου καταγραφής και παρουσίασης αυτών των σχετικών στοιχείων θα συμβάλει τα μέγιστα στην απόληψη αξιόπιστων βάσεων δεδομένων και αντίστοιχων δεικτών.

Εξαιτίας και όσων αναφέρονται παραπάνω παρατηρείται στις Υπηρεσίες μια επιφυλακτικότητα απέναντι στις πλήρως ποσοτικές ΑΕ και διστακτικότητα στην αποδοχή και εμπιστοσύνη των αποτελεσμάτων τους.

Η μεγάλη πλειοψηφία των οδικών σηράγγων που εμπíπτουν στο πεδίο εφαρμογής του Π.Δ. 230/2007 και της Οδηγίας 2004/54/ΕΚ είναι μικρής ηλικίας, εξοπλισμένες με σύγχρονα συστήματα και σχετικά λίγες παρεκκλίσεις από τις απαιτήσεις τους.

-

### 2.2 Ανασκόπηση της διεθνούς πρακτικής

-

Η χρήση ποσοτικών μεθόδων ανάλυσης και αποτίμησης της επικινδυνότητας έχει επικρατήσει, τουλάχιστον στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η χρήση ποιοτικών μεθόδων και πρακτικών (όπως πίνακες και μήτρες πιθανοτήτων γεγονότων – συνεπειών) έχει περιοριστεί σε επί μέρους εφαρμογές στα πλαίσια συνολικών μεθόδων.

Αρκετές χώρες (Γαλλία, Αυστρία, Τσεχία, Μεγάλη Βρετανία, Γερμανία) χρησιμοποιούν για την ανάλυση επικινδυνότητας από την διέλευση ΕΕ το προσομοίωμα DG QRAM που προέκυψε από την συνεργασία OECD – PIARC με την οικονομική συμβολή της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Παράλληλα κάποιες από τις χώρες αυτές έχουν αναπτύξει ξεχωριστές μεθόδους για την ανάλυση όλων των άλλων περιπτώσεων (Γαλλία, Αυστρία, Τσεχία). Η Ιταλία έχει αναπτύξει και υιοθετήσει την μέθοδο IRAM (Italian Risk Analysis Method) με την οποία προσεγγίζονται όλες οι πιθανές καταστάσεις (επικίνδυνα και μη εμπορεύματα).

Κάποιες χώρες χρησιμοποιούν απόλυτα κριτήρια αποδοχής της επικινδυνότητας ενώ κάποιες άλλες ως κριτήρια αποδοχής

χρησιμοποιούν κάποιες καταστάσεις αναφοράς (π.χ. μία σήραγγα ίδιων χαρακτηριστικών με την υπό διερεύνηση, η οποία συμμορφώνεται πλήρως στις προβλέψεις της Οδηγίας).

Διεθνώς οι εφαρμοζόμενες μέθοδοι κατατάσσονται σε δύο μεγάλες ομάδες μεθόδων προσέγγισης της επικινδυνότητας:

➤ **ΣΕΝΑΡΙΑΚΗ:** καθορίζει ένα σύνολο σεναρίων, σε κάθε ένα ξεχωριστά γίνεται υπολογισμός πιθανότητας και κυρίως των συνεπειών. Οι κυριότερες δυνατότητες: Βελτιστοποίηση οδών διαφυγής, διερεύνηση ειδικών προβλημάτων, χρονική εξέλιξη των συνεπειών και σχεδιασμός έκτακτων μέτρων. Ανήκει στις αιτιοκρατικές μεθόδους

➤ **ΣΥΣΤΗΜΙΚΗ:** διερευνά το συνολικό σύστημα σε ενοποιημένη διαδικασία, που περιλαμβάνει όλα τα σχετικά σενάρια που μπορούν να επηρεάσουν την επικινδυνότητα του συστήματος. Αξιολόγηση διαφόρων μέτρων μείωσης της επικινδυνότητας. Πιθανοτική μέθοδος. Μπορεί να αποδώσει τη μαθηματική έκφραση της επικινδυνότητας ( $R=P*C$ ). Ουσιώδης και βασική προϋπόθεση εφαρμογής: Η ύπαρξη στατιστικώς αξιόπιστης, επαρκούς και πλήρους βάσεως δεδομένων για ατυχήματα και συνέπειες

-

### 2.3 Η βασική επιλογή της μεθοδολογίας

-

Η αρχική απόφαση στην διαδικασία επιλογής μεθόδου ΑΕ των οδικών σηράγγων αναφέρεται στην υιοθέτηση μιας «καθολικής» μεθόδου, ή την πρόκριση δύο διακριτών μεθόδων: μίας για την επικινδυνότητα από διέλευση οχημάτων μεταφοράς ΕΕ και μίας για την επικινδυνότητα από την διέλευση όλων των λοιπών οχημάτων.

Σε ότι αφορά τα επικίνδυνα εμπορεύματα θα πρέπει να σημειώσουμε τα παρακάτω:

- Η διακίνηση των ΕΕ διέπεται στην Ευρωπαϊκή Ένωση από σχετικές Οδηγίες, οι οποίες ουσιαστικά εφαρμόζουν τις εκάστοτε ισχύουσες συμφωνίες ADR. Επομένως είναι απολύτως έγκυρη η υπόθεση της ισχύος ομογενών κανόνων μεταφοράς ΕΕ στο χωρικό αυτό σύνολο.

- Τα οχήματα μεταφοράς ΕΕ έχουν συγκεκριμένες κατασκευαστικές και λειτουργικές απαιτήσεις και διαδικασίες πιστοποίησης, προβλεπόμενες από τις οδηγίες αυτές, και παρουσιάζουν σε μεγάλο βαθμό ομοιογενή χαρακτηριστικά στις χώρες που εφαρμόζουν τις οδηγίες.

- Οι οδηγοί των οχημάτων μεταφοράς ΕΕ προβλέπεται να έχουν ειδικές ικανότητες και

γνώσεις, με συγκεκριμένες διαδικασίες πιστοποίησης, ουσιαστικά κοινές και ομοιογενείς στις χώρες που εφαρμόζουν τις οδηγίες.

- Η σύνθεση του τμήματος του κυκλοφοριακού φόρτου των οχημάτων μεταφοράς ΕΕ μπορεί να προσεγγιστεί ικανοποιητικά με χρήση στοιχείων από διάφορες πηγές (π.χ. στοιχεία καταναλώσεων με κατάλληλη θεώρηση των προορισμών, αντιστοίχιση των διαφόρων τύπων ΕΕ με κάποια πρότυπα ΕΕ).

- Τα στατιστικά στοιχεία ατυχημάτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης και αυτά της PIARC μπορούν να θεωρηθούν ως επαρκής βάση για χρήση μεθόδων ΑΕ που ποσοτικοποιούν την πιθανότητα να συμβεί κάποιο συγκεκριμένο σενάριο και των συνεπειών του. Προφανώς απαιτείται προσεκτική χρήση διαφόρων προεπιλεγμένων τιμών, όπου χρησιμοποιούνται, ώστε με την κατάλληλη βαθμονόμηση να προσομοιώνουν με επάρκεια τις συνθήκες του ελληνικού χώρου.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω είναι απολύτως εφικτή η υιοθέτηση μιας πλήρως ποσοτικής μεθοδολογίας που αφορά την επικινδυνότητα από διέλευση οχημάτων μεταφοράς ΕΕ. Τα χαρακτηριστικά των ατυχημάτων από μεταφορά ΕΕ έχουν σαφή χαρακτήρα μικρής πιθανότητας εμφάνισης και μεγάλων συνεπειών όταν συμβούν, συνεπώς τα ατυχήματα αυτά πρέπει να διαπραγματεύονται υπό την οπτική θεώρηση «κοινωνικής» επικινδυνότητας.

Σε ότι αφορά την ΑΕ από διέλευση όλων των λοιπών οχημάτων, θα πρέπει να σημειώσουμε ότι δεν υπάρχει ο αντίστοιχος ομοιογενής χώρος, για τη διαμόρφωση της στατιστικής βάσης δεδομένων με δάνεια στοιχεία από άλλες χώρες. Συνεπώς η εφαρμογή ποσοτικών μεθόδων θα πρέπει να υποστηριχθεί από αντίστοιχη Ελληνική βάση δεδομένων, διαφορετικά ελλοχεύει ο κίνδυνος η ανάλυση επικινδυνότητας να αναφέρεται σε κάποια «εικονική» χώρα και όχι στην πραγματικότητα που διαμορφώνουν οι ελληνικές συνθήκες.

Με βάση την ανωτέρω θεώρηση αποφασίστηκε να επιλεγεί διπλή μεθοδολογία ΑΕ, το ένα σκέλος της οποίας θα διαπραγματεύεται την επικινδυνότητα που προκύπτει από τη διέλευση των οχημάτων μεταφοράς ΕΕ από τις οδικές σήραγγες και το δεύτερο την επικινδυνότητα από τη διέλευση όλων των άλλων οχημάτων, μια πρακτική που όπως αναφέρθηκε έχει υιοθετηθεί σε αρκετές Ευρωπαϊκές χώρες.

-  
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ Α.Ε. ΑΠΟ ΔΙΕΛΕΥΣΗ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΕ

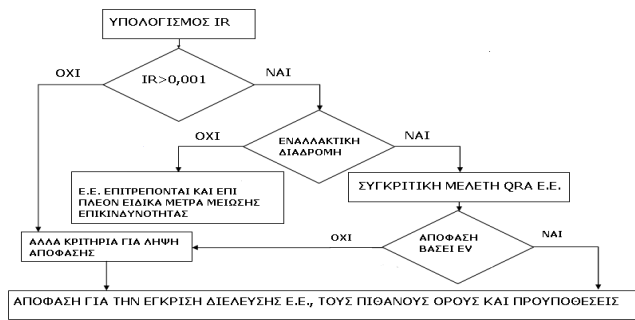
-  
Η Α.Ε. διενεργείται σε μια σταδιακή διαδικασία χρησιμοποιώντας το προσομοίωμα DG QRAM και περιορίζοντας σε πρώτη φάση τις συνέπειες μόνο σε αυτές που αφορούν ανθρώπινες ζωές.

**Α ΣΤΑΔΙΟ.** Στο πρώτο στάδιο εφαρμόζεται μια απλοποιημένη προσέγγιση. Χρησιμοποιείται περιορισμένος αριθμός δεδομένων (χαρακτηριστικά της σήραγγας και του κυκλοφοριακού φόρτου, μετεωρολογικά στοιχεία και το χρονικό διάστημα που καλύπτει η Α.Ε.) με την εύλογα αποδεκτή διακύμανσή τους. Μετρητής της λεγόμενης εγγενούς επικινδυνότητας (intrinsic risk IR) είναι η αναμενόμενη τιμή EV (μέσος ετήσιος αριθμός θανάτων από ατυχήματα Ε.Ε. για τη συγκεκριμένη σήραγγα και χωρίς περιορισμούς διέλευσης). Οριακή τιμή για την αποδοχή επικινδυνότητας είναι  $EV < 0,001$  θάνατοι (από εμπλοκή σε ατύχημα με ΕΕ)/έτος σήραγγα. Η τιμή αυτή δεν πρέπει να προσεγγιστεί ως απόλυτο κριτήριο αποδοχής της επικινδυνότητας, αλλά έχει προκύψει από την ανασκόπηση περίπου είκοσι σήραγγων, στη Γαλλία, που υποβλήθηκαν σε συγκριτική ανάλυση επικινδυνότητας, κατά τη δημιουργία του προσομοιώματος. Η τιμή αυτή σχετίζεται επίσης με τις μεθόδους και πρακτικές προσομοίωσης που χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο προσομοίωμα και έχει υιοθετηθεί επίσης στη Γαλλία και Αυστρία. Η βασική ιδέα της υιοθέτησης της τιμής αυτής είναι να μην ασχοληθεί περαιτέρω η ανάλυση με πολύ μικρές τιμές επικινδυνότητας οι οποίες δεν συνιστούν πρόβλημα για το κοινωνικό σύνολο. Η αποτίμηση της εγγενούς επικινδυνότητας στο στάδιο αυτό γίνεται με τις παρακάτω επιλογές:

- ✓  $EV < 0,001$  → Δεν απαιτούνται άλλες ενέργειες και η Α.Ε. τερματίζεται
- ✓  $EV$  κοντά  $0,001$  → ανάλυση ευαισθησίας και απόφαση από τη ΔΑΣ μετά από πρόταση του Διαχειριστή και του διενεργούντος την Α.Ε.
- ✓  $EV > 0,001$  → δύο δυνατότητες
  - ❖ Στην περίπτωση μη ύπαρξης εναλλακτικής διαδρομής, μείωση της επικινδυνότητας με λήψη μέτρων
  - ❖ Η Α.Ε. προχωρά στο δεύτερο στάδιο για τη σύγκριση εναλλακτικών διαδρομών

**Β ΣΤΑΔΙΟ:** σύγκριση διαδρομών. Το Β στάδιο περιλαμβάνει:

- ✓ Καθορισμό εναλλακτικών διαδρομών (max. 3)
- ✓ Συλλογή δεδομένων για τις διαδρομές (Ο χρόνος αναφοράς ισχύος και εγκυρότητας των δεδομένων θα είναι κατ' ελάχιστον 6 χρόνια). Κρίσιμα στοιχεία: εύλογες διακυμάνσεις, συμβατότητα του βαθμού λεπτομερειών και ακρίβειας, διακριτοποίηση των χρονικών περιόδων
- ✓ Επιλογή αντιπροσωπευτικών σεναρίων
- ✓ Υπολογισμούς
- Μετρητής της επικινδυνότητας για τη σύγκριση των διαδρομών είναι η αναμενόμενη τιμή EV. Η αποτίμηση της επικινδυνότητας στο στάδιο αυτό γίνεται με τις παρακάτω επιλογές:
  - **EV1/ EV2 < 3:** Λόγω των αβεβαιοτήτων (δεδομένων και προσομοιώματος) η επικινδυνότητα των δύο διαδρομών θεωρείται ως ισοδύναμη και θα πρέπει για την επιλογή της διαδρομής να εφαρμοστούν άλλα κριτήρια.
  - **3 < EV1/ EV2 < 10:** απαιτείται ανάλυση ευαισθησίας για να αποφασιστεί η κατάταξη στις άλλες δύο περιπτώσεις
  - **EV1/ EV2 > 10:** επιλέγεται η διαδρομή 2.
- Άλλα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για τη λήψη απόφασης:
  - ✓ Αποστροφή της επικινδυνότητας (risk aversion) Η συμπεριφορά κάποιου να αποτιμά μια επικινδυνότητα μεγαλύτερη από την στατιστικώς αναμενόμενη τιμή της
  - ✓ Συνεκτίμηση των ατυχημάτων με φορτηγά που μεταφέρουν ΕΕ, χωρίς απελευθέρωση αυτών καθαυτών των ΕΕ.
  - ✓ Εξέταση άλλων συνεπειών από την υλοποίηση σεναρίου π.χ. στο φυσικό, δομημένο περιβάλλον, σε πολιτιστικά αγαθά,
  - ✓ Οικονομικές επιπτώσεις σε διάφορες πληθυσμιακές ομάδες
  - ✓ Εφικτότητα υλοποίησης μιας διαδρομής από διάφορους κινδύνους και βιωσιμότητά της σε διάφορες χρονικές περιόδους
  - ✓ Δυνατότητα υλοποίησης ενός αποτελεσματικού ΣΑΕΚ (π.χ. απαιτούμενος χρόνος άφιξης Υπηρεσιών έκτακτων Καταστάσεων)
- Σχηματικά η όλη διαδικασία παρουσιάζεται στο σχήμα 1 (όπου IR intrinsic risk η εγγενής επικινδυνότητα με μετρητή την EV):
  - Τα αποτελέσματα** δίνονται στους παρακάτω τύπους και μορφές:
    - ✓  $EV$  που αντιστοιχεί σε όλα τα σενάρια και για όλα τα Ε.Ε.
    - ✓  $EV$  για κάθε ειδικό σενάριο ή για ομάδα σεναρίων, ή για όλα τα σενάρια που σχετίζονται με ένα ειδικό τύπο Ε.Ε.
    - ✓ F-N διαγράμματα.



Σχήμα 1: Διάγραμμα εφαρμογής της μεθοδολογίας ανάλυσης επικινδυνότητας από μεταφορά Ε.Ε, μέσω οδικών σηράγγων.

#### 4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΕ ΑΠΟ ΔΙΕΛΕΥΣΗ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΧΩΡΙΣ ΕΜΠΛΟΚΗ ΕΕ

##### 4.1 Αρχική επιλογή χαρακτηριστικών μεθόδου

Τα γενικά χαρακτηριστικά της μεθόδου είναι:

- ✓ Σεναριακή (αιτιοκρατική) προσέγγιση
- ✓ Ποσοτική όσο το δυνατόν περισσότερο

(δεδομένου ότι η αντίληψη του κινδύνου και της επικινδυνότητας είναι υποκειμενική καθώς σχετίζεται αμέσως με την εξοικείωση του υποκειμένου με το θεωρούμενο σύστημα της σήραγγας)

✓ Τα αποτελέσματα της ανάλυσης θα συγκρίνονται με αυτά που αντιστοιχούν σε μια εικονική σήραγγα αναφοράς, η οποία ικανοποιεί το σύνολο των ελάχιστων απαιτήσεων του Π.Δ. 230/2007

✓ Η υιοθέτηση της αρχής της αυτό-διάσωσης. Αναφέρεται στους ανθρώπους (οδηγούς και επιβάτες) οι οποίοι αμέσως μετά το κρίσιμο συμβάν απομακρύνονται με τα ίδια μέσα, προσεγγίζοντας ασφαλείς, για επιβίωση και μη πρόκληση βλαβών στην υγεία, θέσεις, όπως αυτές προβλέπονται για κάθε σήραγγα. Τα δύο χαρακτηριστικά της αυτό-διάσωσης είναι τα παρακάτω:

- Ενέργειες αμέσως μετά την εκδήλωση του κρίσιμου συμβάντος, από τα άτομα που βρίσκονται εκείνη τη στιγμή μέσα στη σήραγγα.
- Ο όρος "με τα ίδια μέσα" υποδηλώνει την απουσία βοήθειας από τις Υπηρεσίες Έκτακτων Καταστάσεων, αλλά και το προσωπικό της σήραγγας.

Το κύριο μέγεθος που αναφέρεται στην αυτό-διάσωση είναι ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για να προσεγγίσει το άτομο μια ασφαλή θέση. Ο συνολικός αυτός χρόνος αποτελείται από δύο βασικές περιόδους:

- Την περίοδο συνειδητοποίησης του γεγονότος δηλαδή το χρόνο που απαιτείται στους χρήστες της σήραγγας να αντιληφθούν τη σοβαρότητα της κατάστασης και την ανάγκη ανάληψης από αυτούς συγκεκριμένων ενεργειών και την έναρξη ανάληψης αυτών των ενεργειών. Η περίοδος αυτή, όπως δείχνουν πειραματικές μελέτες και τα αποτελέσματα δοκιμών και ασκήσεων εκκένωσης, κυμαίνεται από 5 έως 15 λεπτά μέχρι το άτομο να αποφασίσει αν πρέπει να αναλάβει κάποια ενέργεια και να οριστικοποιήσει το είδος αυτής.

- Την περίοδο απομάκρυνσης δηλαδή το χρόνο που απαιτείται για να διανυθεί η απόσταση μέχρι την ασφαλή θέση. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται από την ταχύτητα απομάκρυνσης και την απόσταση που πρέπει να διανυθεί μέχρι την προσέγγιση σε ασφαλή θέση, την ορατότητα στη διαδρομή, την ύπαρξη ευδιάκριτων σημάτων ένδειξης της κατάλληλης διαδρομής εκκένωσης στις συνθήκες ορατότητας, την ύπαρξη μεγαφωνικής εγκατάστασης με την οποία μπορεί να γίνει μεταβίβαση κατάλληλων πληροφοριών από το κέντρο της σήραγγας, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της όδευσης διαφυγής, την ύπαρξη στενώσεων στην όδευση διαφυγής που προξενεί καθυστερήσεις και συμφόρηση, την παρουσία ατόμων με μειωμένη ικανότητα κινητικότητας.

Από την άλλη πλευρά η υποβοηθούμενη εκκένωση από τις Υπηρεσίες Έκτακτων Καταστάσεων μπορεί να αρχίσει μόνο μετά την άφιξη αυτών στη θέση του κρίσιμου συμβάντος, την αναγνώριση της κατάστασης, τη λήψη των σχετικών αποφάσεων για τις εφαρμοζόμενες διαδικασίες και ενέργειες και την ενεργοποίηση των απαραίτητων πόρων (ανθρώπων και εξοπλισμού). Εκτιμάται ότι ο χρόνος έναρξης αυτής της υποβοηθούμενης εκκένωσης δεν μπορεί να είναι μικρότερος από 20-30 λεπτά.

Οι δυνατότητες της μεθοδολογίας πέρα των ανωτέρω ρητών απαιτήσεων του ΠΔ είναι:

- Πληροφορίες για την κατάρτιση του ΣΑΕΚ
- Πληροφορίες για την επιλογή συστήματος αερισμού
- Διερεύνηση της επίδρασης της λειτουργικής απώλειας τμημάτων του εξοπλισμού
- Διερεύνηση διαφορετικών ανθρώπινων συμπεριφορών
- Επιλογή των οδών διαφυγής

Με βάση τα παραπάνω η μεθοδολογία είναι απολύτως σε θέση να διαχειριστεί τις απαιτήσεις της ειδικής έρευνας κινδύνων,

όπως προβλέπεται στην παρ. 2.3 του Παραρτήματος II του ΠΔ 230/07 και γι' αυτό συνιστάται η χρήση της.

-

#### 4.2 Η δομή της μεθόδου

-

Το βασικό περίγραμμα της μεθόδου φαίνεται παρακάτω στα περιεχόμενά της:

Κεφάλαιο 1: Το πεδίο ορισμού στο οποίο νοείται η ασφάλεια της σήραγγας

Κεφάλαιο 2: Αποκλίσεις από ελάχιστες απαιτήσεις ασφαλείας, καθορισμός σήραγγας αναφοράς.

Κεφάλαιο 3: Καθορισμός κινδύνων και επιλογή σεναρίων

Κεφάλαιο 4: Εξέταση των σεναρίων

Κεφάλαιο 5: Περίληψη – Συμπεράσματα - Προτάσεις

-

4.3 Το πεδίο ορισμού στο οποίο νοείται η ασφάλεια της σήραγγας

-

Περιλαμβάνει:

- Τις απαιτήσεις επιτελεσματικότητας της σήραγγας
- Την τεχνική διάρκεια ζωής της σήραγγας και των επί μέρους στοιχείων και υποσυστημάτων
- Την χρονική περίοδο αναφοράς της ανάλυσης (όχι μικρότερη από 6 χρόνια)
- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Τη θέση του κέντρου ελέγχου και των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης
- Τις περιβαλλοντικές συνθήκες (φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον)
- Τις συνθήκες του οδικού δικτύου προσέγγισης της σήραγγας
- Τον κυκλοφοριακό φόρτο (σύνθεση, κ.λ.π.)
- Τις λειτουργικές και οργανωτικές διαρρυθμίσεις
- Τις κυκλοφοριακές διαρρυθμίσεις, καταστάσεις και κανονισμούς
- Τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό καθώς και τον εξοπλισμό έκτακτων καταστάσεων

Η διαδικασία οριστικοποίησης των στοιχείων του Κεφαλαίου 1 περιλαμβάνει σύσκεψη στην οποία συμμετέχουν: Ο διαχειριστής (επισπεύδων, συγκαλεί τη σύσκεψη), ο φορέας που διενεργεί την Α.Ε. (εισηγείται τα στοιχεία του Κεφαλαίου 1), ο αρμόδιος ασφαλείας, οι Υπηρεσίες Έκτακτων Καταστάσεων, ο Κύριος του Έργου, ο Φορέας λειτουργίας της σήραγγας. Σκοπός της σύσκεψης είναι η ανταλλαγή των απόψεων όλων των φορέων που αποτελούν συνιστώσες στη διαχείριση μιας έκτακτης κατάστασης και η

απευθείας κοινοποίηση αυτών σε όλους τους αμέσως εμπλεκόμενους. Στη σύσκεψη δεν λαμβάνονται αποφάσεις και δεν γίνονται ψηφοφορίες.

-

4.4 Αποκλίσεις από ελάχιστες απαιτήσεις ασφαλείας, καθορισμός σήραγγας αναφοράς.

-

Στο κεφάλαιο αυτό καταγράφονται οι αποκλίσεις των χαρακτηριστικών της σήραγγας από τις ελάχιστες απαιτήσεις του Π.Δ. 230/2007 και της Οδηγίας.

Ως σήραγγα αναφοράς ορίζεται μια σήραγγα, η οποία εκπληρώνει και ικανοποιεί το σύνολο των ελάχιστων απαιτήσεων ασφαλείας του Π.Δ. 230/2007 και της Οδηγίας, ενώ κατά τα λοιπά το πεδίο ορισμού της ασφαλείας της, κατά την έννοια του κεφαλαίου 1, ταυτίζεται με αυτό της υπό εξέταση σήραγγας.

-

4.5 Καθορισμός κινδύνων και επιλογή σεναρίων

-

Στο κέντρο της προσέγγισης για τον καθορισμό των κινδύνων και την επιλογή των σεναρίων, βρίσκεται η έννοια του κρίσιμου συμβάντος. Τα κρίσιμα συμβάντα προσεγγίζονται με διάφορες τεχνικές (π.χ. Λίστες (checklist), Περιπτώσιολογία (casuistry), Ανάλυση τύπου "What if", Προκαταρκτική ανάλυση κινδύνου (PHA), Μελέτη κινδύνου και λειτουργικότητας (HAZOP), Ανάλυση του τύπου αστοχίας, αποτελεσμάτων και κρισιμότητας (FMCA), Ανάλυση δένδρου σφαλμάτων (FTA), Ανάλυση δένδρου γεγονότων (ETA), Ανάλυση αιτίων – συνεπειών)

#### Επιλογή σεναρίων:

❖ Η αναπαράσταση των πιθανών αιτίων του κρίσιμου συμβάντος θα γίνεται μέσω του **δένδρου σφαλμάτων**, για να καταστεί δυνατή και η διερεύνηση της αποτελεσματικότητας των μέτρων ασφαλείας που αναφέρονται στην πρόληψη.

❖ Η τεχνική του **δένδρου γεγονότων** θα χρησιμοποιείται για τη διερεύνηση της εξέλιξης των γεγονότων, με εκκίνηση το καθορισμένο κρίσιμο συμβάν και κάθε κλάδο να αποτελεί ένα πιθανό σενάριο εξέλιξης του ατυχήματος. Πέρας της έκτακτης κατάστασης και του σεναρίου θα θεωρείται η χρονική στιγμή που το σύνολο των επιζώντων θα έχει μετακινηθεί σε ασφαλή θέση.

**Τα γενικά κριτήρια που θα πρέπει να ικανοποιούν τα σενάρια είναι:**

➤ Ρεαλιστικά και υλοποιήσιμα, δηλαδή φυσικώς εφικτά και δυνατά. Επιπλέον σενάρια με εξαιρετικά χαμηλές πιθανότητες εμφάνισης πρέπει να επιλέγονται με πολλή προσοχή και επιφύλαξη

➤ Να δοκιμάζουν τις οριακές συνθήκες του συστήματος της σήραγγας, ελέγχοντας την επιτελεσματικότητα και αποτελεσματικότητα όλων των υποσυστημάτων της σήραγγας

➤ Αναπαράξιμα, για αποφυγή αυθαίρετων προσεγγίσεων

#### 4.6 Εξέταση των σεναρίων

Οι αναλύσεις θα λαμβάνουν υπόψη:

➤ Τις ιδιαίτερες συνθήκες του περιβάλλοντος της σήραγγας, οι οποίες παίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην έκταση των συνεπειών.

➤ Τις συνθήκες που μπορούν να δημιουργήσουν κατά την εξέλιξη του δένδρου γεγονότων, τα συστήματα της σήραγγας με την ενεργοποίησή τους.

➤ Τις συνθήκες που μπορούν να δημιουργήσουν οι κινήσεις των οχημάτων.

➤ Την προσομοίωση του πληθυσμού της σήραγγας από την εμφάνιση του κρίσιμου συμβάντος και μέχρι την κατάληξη του σεναρίου.

➤ Τη συμπεριφορά των χρηστών της σήραγγας κατά την εξέλιξη του σεναρίου.

➤ Τις οριακές τιμές για την ορατότητα, θερμότητα, τοξικότητα, θερμοκρασία, θόρυβο, στις οποίες οι προσβαλλόμενοι αρχίζουν να νοιώθουν πόνο ή να καθίσταται δύσκολη η διατήρηση της δυνατότητας εκκένωσης με την προσέγγιση ασφαλών θέσεων. Η αρχή της αυτό-διάσωσης θα πρέπει να βρίσκεται στο βασικό πυρήνα των στόχων της ανάλυσης, ενώ η υποβοηθούμενη διάσωση, θα έχει επικουρικό και συμπληρωματικό ρόλο. Έτσι η δυνατότητα αυτό- διάσωσης θα πρέπει να εξασφαλίζεται τουλάχιστον όπως στη σήραγγα αναφοράς.

Η εξέταση των σεναρίων θα πρέπει να προσεγγίζει και να αποκαλύπτει:

• Τη λειτουργία κάθε συστήματος της σήραγγας και τη συνεισφορά του στην επίτευξη του ισοδύναμου επίπεδου ασφάλειας.

• Τη λειτουργία κάθε διαδικασίας της οργανωτικής δομής της σήραγγας και τη συνεισφορά της στην επίτευξη του ισοδύναμου επίπεδου ασφάλειας.

• Την αποκάλυψη των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διαφόρων συστημάτων και διαδικασιών.

• Τον καθορισμό των ασθενών σημείων (weak points) κάθε ανεξάρτητου συστήματος και του συνόλου της σήραγγας (δηλ. της υποδομής, του εξοπλισμού και των διαδικασιών)

• Τον εντοπισμό των περισσότερο ή λιγότερο επικίνδυνων περιοχών και του αριθμού των ανθρώπων που είναι πιθανό να υποστούν βλαβερές συνέπειες στην ζωή και υγεία.

#### 4.7 Περίληψη – Συμπεράσματα - Προτάσεις

Για κάθε εξεταζόμενο σενάριο θα διενεργείται μια Α.Ε. για την εξεταζόμενη σήραγγα και μια για τη σήραγγα αναφοράς και θα συγκρίνονται τα αποτελέσματα. Η απαίτηση ισοδύναμου επιπέδου προστασίας θεωρείται ότι επιτυγχάνεται όταν τα αποτελέσματα της Α.Ε. (π.χ. θύματα, ανθρωποώρες έκθεσης) για την εξεταζόμενη σήραγγα δεν υπερβαίνουν τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τη σήραγγα αναφοράς, για κάθε εξεταζόμενο σενάριο. Στην περίπτωση που τα αποτελέσματα υπερβαίνουν τα αποτελέσματα για τη σήραγγα αναφοράς, για κάποιο εξεταζόμενο σενάριο, θα γίνεται τροποποίηση των στοιχείων του Κεφαλαίου 1, με προσθήκη κατάλληλων μέτρων ασφάλειας και θα επαναλαμβάνεται η ανάλυση.

#### 4.8 Ειδικά θέματα – Προτυποποίηση στοιχείων της ανάλυσης

Στη διαδικασία της εξέτασης των σεναρίων υπεισέρχονται δύο τύποι χαρακτηριστικών μεγεθών και παραμέτρων:

• Τα στοιχεία που εξαρτώνται από την «ταυτότητα» της σήραγγας. Τον καθορισμό αυτών αναλαμβάνει ο διενεργών την ανάλυση και ο διαχειριστής της σήραγγας.

• Τα στοιχεία που δεν εξαρτώνται από την «ταυτότητα» της σήραγγας. Στον καθορισμό αυτών ο διενεργών την ανάλυση και ο διαχειριστής της σήραγγας θα πρέπει να επιλέγουν από αντίστοιχους καταλόγους προτυποποιημένων στοιχείων. Η προτυποποίηση βοηθά τους εμπλεκόμενους όταν δεν διαθέτουν εξειδικευμένα στοιχεία που αναφέρονται στη συγκεκριμένη σήραγγα, ενώ διευκολύνει τη σύγκριση μεταξύ διαφορετικών σηράγγων απαλείφοντας τη διασπορά των αποτελεσμάτων λόγω διαφορετικών υποθέσεων.

Τα στοιχεία της δεύτερης περίπτωσης που πρέπει να προτυποποιηθούν είναι:

• Οι πυρκαγιές στα οχήματα.

• Η συμπεριφορά των χρηστών στη σήραγγα.

Σε ότι αφορά τις τυποποιημένες πυρκαγιές προβλέπονται τα παρακάτω σενάρια:

➤ **Σενάριο 1.** Εμπλοκή στη φωτιά 1-2 επιβατικών οχημάτων → HRR αιχμής 5 MW, με :  $t_{max}=3$  min,  $t_D=3$  και  $t_d=45$  min.

➤ **Σενάριο 2.** Εμπλοκή στη φωτιά 2-3 επιβατικών οχημάτων, ή ενός μικρού ημιφορτηγού → HRR αιχμής 10 MW, με τις :  $t_{max}=3$  min,  $t_D=23$  min και  $t_d=45$  min.

➤ **Σενάριο 3.** Εμπλοκή στη φωτιά ενός μεγάλου ημιφορτηγού, ή ενός λεωφορείου, ή πολλαπλών επιβατικών οχημάτων → HRR αιχμής 20 MW, με :  $t_{max}=3$  min,  $t_D=33$  min και  $t_d=50$  min.

➤ **Σενάριο 4.** Εμπλοκή στη φωτιά ενός λεωφορείου, ή κενού βαρέως φορτηγού → HRR αιχμής 30 MW με :  $t_{max}=5$  min,  $t_D=5$  min και  $t_d=55$  min.

➤ **Σενάριο 5.** Εμπλοκή στη φωτιά ενός φορτηγού με καύσιμο φορτίο → HRR αιχμής 50 MW, με :  $t_{max}=5$  min,  $t_D=65$  min και  $t_d=80$  min.

➤ **Σενάριο 6.** Εμπλοκή στη φωτιά ενός βαρέως φορτηγού με καύσιμο φορτίο (περίπου 4 τόνοι) → HRR αιχμής 70 MW, με :  $t_{max}=5$  min,  $t_D=55$  min και  $t_d=75$  min.

➤ **Σενάριο 7.** Εμπλοκή στη φωτιά ενός βαρέως φορτηγού (μέση τιμή) → HRR αιχμής 100 MW, με :  $t_{max}=5$  min,  $t_D=65$  min και  $t_d=85$  min.

➤ **Σενάριο 8.** Εμπλοκή στη φωτιά ενός βαρέως φορτηγού με καύσιμο φορτίο (περίπου 10 τόνοι) → HRR αιχμής 150 MW, με :  $t_{max}=10$  min,  $t_D=75$  min και  $t_d=100$  min.

➤ **Σενάριο 9.** Εμπλοκή στη φωτιά πολλαπλών βαρέων φορτηγών, (αντίστοιχο βυτιοφόρου με βενζίνη), → HRR αιχμής 200 MW, με :  $t_{max}=15$  min,  $t_D=80$  min και  $t_d=100$  min.

Όπου HRR: Ταχύτητα Έκλυσης Θερμότητας (Heat Release Rate)

$t_{max}$ : ο χρόνος που η HRR φτάνει την τιμή αιχμής (sec)

$t_D$ : ο χρόνος που η HRR εισέρχεται στη φάση εξασθένησης (sec)

$t_d$ : η συνολική χρονική διάρκεια της πυρκαγιάς (sec)

$a_{g,L}$ : γραμμικός συντελεστής αύξησης της HRR σε MW/sec

$a_{D,L}$ : γραμμικός συντελεστής εξασθένησης της HRR σε MW/sec

$E_{tot}$ : η συνολική ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την πυρκαγιά (MJ)

Ισχύουν όπως φαίνεται στον Πίνακα 1:

HRR ως συνάρτηση του χρόνου t (sec)	Χρονικά διαστήματα α (sec)	Χρόνος για HRR αιχμής(sec)	Χρόνος έναρξης εξασθένησης $t_D$ και διάρκεια πυρκαγιάς $t_d$
$HRR=a_{g,L} \cdot t$	$0 < t \leq t_{max}$	$t_{max} = Q_{max} / a_{g,L}$	$t_D = t_d - \{(2/a_{D,L}) \cdot ((a_{g,L}/2) \cdot t_{max}^2 + Q_{max} \cdot (t_d - t_{max}) - E_{tot})\}$
$HRR=a_{g,L} \cdot t_{max}$	$t_{max} < t < t_D$		
$HRR=Q_{max} \cdot a_{D,L} \cdot (t - t_D)$	$t_D < t < t_d$		

Πίνακας 1: Σχέσεις χαρακτηριστικών πυρκαγιάς

Όσον αφορά την προτυποποίηση της συμπεριφοράς των χρηστών αντιμετωπίζεται η δημιουργία στοιχών οχημάτων και δίνονται οι χρόνοι και οι συνθήκες για την εκκένωση ενός πρότυπου ατόμου.

## 5. ΠΡΩΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΕ

✓ Η λήψη απόφασης με βάση εκπονούμενη ΑΕ, απαιτεί εμπειρία, εξοικείωση και "εκπαίδευση" όλων των εμπλεκόμενων σε μία τέτοια διαδικασία (υπηρεσίες, μελετητές, κατασκευαστές, χρηματοδοτούσες αρχές, παραχωρησιούχοι, υπηρεσίες έκτακτων καταστάσεων, διαχειριστές των σιδηρόδρομων, πολιτικοί).

✓ Η χρήση της ΑΕ στο πλαίσιο του ΠΔ 230/07, είναι βοηθητική και συνεπικουρεί τη βασική θεώρηση ότι η σήραγγα είναι ασφαλής όταν ικανοποιεί τις απαιτήσεις ενός περιγραφικού καταλόγου ελάχιστων μέτρων. Τυχόν αποκλίσεις από αυτό τον κατάλογο θα πρέπει να γίνονται μόνο αιτιολογημένα.

✓ Η ΑΕ αποσκοπεί αποκλειστικά στους προβλεπόμενους στόχους και σκοπούς του ΠΔ. Δεν είναι «εργαλείο» συμβατικής διαχείρισης.

✓ Ως συνήθως «ο διάβολος κρύβεται στις λεπτομέρειες». Λεπτομέρειες ως θεωρήσουμε εδώ τις κάθε είδους προεπιλεγμένες τιμές των προσομοιωμάτων και των μεθόδων.

✓ Η αρχή της αυτοδιάσωσης και τα χαρακτηριστικά του πρότυπου ατόμου δεν αντιμετωπίζουν επαρκώς τη διάσωση των ατόμων περιορισμένης κινητικότητας

✓ Η ίδια η ΑΕ εμπεριέχει επικινδυνότητες που θα πρέπει να αναγνωριστούν και να αντιμετωπιστούν, έξω από το σύστημα της ΑΕ.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bakoyannis Y. *Safety in tunneling in Rational Tunnelling* Editors D. Kolymbas, A.



- Laudahn 2<sup>nd</sup> Summerschool Innsbruck 2005, ISBN 3-8325-1012-5 pp 1-48
- Bakoyannis Y. *Risk analysis methodology for transport of dangerous goods in road (TEN) tunnels in Greece* PIARC- TC4 Working Group 2 workshop on implementation of ADR 2007 tunnel regulations Zurich 2009
- Bernhard Kohl, *Evaluation of risk of dg-transport in road tunnels in Austria* PIARC- TC4 Working Group 2 workshop on implementation of ADR 2007 tunnel regulations Prague 2008
- Carvel R. Beard A. Jowirt P. Drysdale D. *Fire size and fire spread in tunnels with longitudinal ventilation systems* Journal of Fire Sciences Vol 23 (2005) pp. 485-517
- CETU, *Guide to Road Tunnel Safety Documentation, Booklet 3 Risk Analyses related to DG transport* ([www.cetu.equipement.gouv.fr/](http://www.cetu.equipement.gouv.fr/))
- CETU, *Guide to Road Tunnel Safety Documentation, Booklet 4, Specific Hazard Investigations*, September 2003 ([www.cetu.equipement.gouv.fr/](http://www.cetu.equipement.gouv.fr/))
- Defert R., Rentzeperis I, Koutsoukos K, Pons P, Lacroix D, *Application of a system-based and a scenario-based risk analysis to the Driskos tunnel. Reflections about accuracy of collected data and uncertainties of risk analysis methods* Fourth International Symposium on Tunnel Safety and Security, Frankfurt am Main, Germany, March 17-19, 2010
- Defert R. *Driskos tunnel Comparative Risk Analysis (Transport of dangerous goods)* [PIARC Road Tunnels and Dangerous Goods - QRA Model](http://www.piarc.org) Paris, France, 26 January 2010
- FSV 2008: RVS 09.03.11 TUNNEL RISK MODEL TuRisMo
- Haukur Ingason, *Design fire curves for tunnels*, Fire Safety Journal 44 (2009) pp 259-265
- Haukur Ingason, *Design fire in tunnel*, Safe & Reliable Tunnels Innovative European Achievements, Second International Symposium Lausanne 2006.
- Heimbecher F. ADR 2007 Tunnel: German approach PIARC- TC4 Working Group 2 workshop on implementation of ADR 2007 tunnel regulations Prague 2008
- Henn V. Lesort J.P. *Continuum traffic flow modeling inside the Mont Blanc tunnel* Presentation at TRISTAN VI conference June 10-15 2007
- HSL/2002/29 *Guidance for HSE Inspectors: "Smoke movement in complex enclosed spaces Assessment of Computational Fluid Dynamics"*.
- HSL/2004/04 *Human Vulnerability to thermal radiation offshore*
- HSE 2002 RESEARCH REPORT 025 *Application of QRA in operational safety issues*
- ISO 13571: 2007 (E), *Life-threatening components of fire – Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data*
- ISO 16733:2006 *Fire Safety Engineering – Selection of Design Fire Scenarios and Design Fires*
- Lemaire T. Kenyon Y. *Large Scale fire tests in the second Benelux tunnel*, Fire Technology 42 (2006), pp. 329-350
- M. Molag, I.J.M. Trijsenaar-Buhre *Risk assessment guidelines for tunnels* Safe & Reliable Tunnels. Innovative European Achievements Second International Symposium, Lausanne 2006
- NFPA 502-2008, *Standard for road tunnels, bridges, and other limited access highways*, PIARC Technical Committee C3.3 Road tunnel Operation, *Risk Analysis for Road tunnels*, 2008R02 ISBN 2-84060-202-4 (<http://piarc.org>)
- PIARC Technical Committee C4.2 Road Tunnel Operation, Report *Current practice for risk evaluation for road tunnels*, in publication
- PIARC, 05.05B-1999, *Fire and smoke control in road tunnels* (<http://piarc.org>)
- PIARC Committee C3.3 Road tunnel Operation, *Systems and equipment for fire and smoke control in road tunnels*, 2008 ISBN 2-84060-175-3 (<http://piarc.org>)
- PIARC Committee C3.3 Road tunnel Operation, *Human factors and road tunnel safety regarding users*, 2008 ISBN 2-84060-218-0 (<http://piarc.org>)
- Thematic Network FIT Fires in Tunnels, *General report, Design fire scenarios, Fire safe design, Fire response management*
- UPTUN Workpackage 2 Fire development and mitigation measures D212 (version September 2008), *Explosion effects in traffic tunnels*, D214 (version September 2008), *CFD modeling of tunnel fires*, D215 (version September 2008), *Design fire scenarios*, D221 (version September 2008), *Target criteria*
- Weger D. *Scenario Analysis for road tunnels*, Safety and Reliability ESREL ISBN 90 5809 551 7, 2003