ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

ΚΡΗΤΙΚΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΠΑΠΑΖΟΓΛΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, 2011

.....

Κωνσταντίνος Κρητικός

Ναυπηγός Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των προπτυχιακών σπουδών μου στη σχολή των Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών στον Τομέα Θαλασσίων Κατασκευών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου προς τον Καθηγητή κ. Β. Παπάζογλου για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου αναθέτοντάς μου τη μελέτη και τη διεκπεραίωση της διπλωματικής αυτής εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ζ. Τσαρακλή για την πολύτιμη και ουσιαστική συμβολή του καθόλη τη διάρκεια εκπόνησής της εργασίας.

Αθήνα, Ιούλιος 2011

Κωνσταντίνος Κρητικός

Ναυπηγός Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πρόβλεψη των πιθανών κινδύνων που σχετίζονται με την αποθήκευση και μεταφορά του υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) μέσω υγραεριοφόρων έχει οδηγήσει στη δημιουργία ενός σημαντικού αριθμών πειραματικών και αναλυτικών μελετών.

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η εννοιολογική προσέγγιση των μηχανισμών μιας πιθανής διαρροής υγροποιημένου φυσικού αερίου στο νερό και στο έδαφος (εξάπλωση, σχηματισμός λίμνης, ανάφλεξη, διασπορά, εξάτμιση κ.α.) και στη συνέχεια ο καθορισμός των κινδύνων που μπορεί να προκύψουν από τη διαρροή του υγρού φορτίου, με ιδιαίτερη έμφαση στην επίδραση που έχουν στους ανθρώπους και στις κοντινές κατασκευές (κτίρια, εγκαταστάσεις, δεξαμενές κτλ.). Σε αυτή τη φάση γίνεται ανάλυση της παραγωγής και μεταφοράς του υγροποιημένου αερίου καθώς και εκτενής περιγραφής του φαινομένου BLEVE.

Στο εμπειρικό μέρος της εργασίας προτείνονται μέτρα πρόληψης των ατυχημάτων μεταφοράς υγροποιημένου αερίου για τις θαλάσσιες, τις οδικές και την σιδηροδρομικές μεταφορές καθώς και τρόποι αντιμετώπισης σε περίπτωση εκδήλωσης ατυχήματος. Για την ολοκλήρωση της εμπειρικής μελέτης εξετάζονται ορισμένα σενάρια ανάλογα με το είδος της μεταφοράς και τη μορφή του ατυχήματος που εκδηλώνεται.

ABSTRACT

The prediction of the potential danger which is related to the storage and the transfer of Liquid Natural Gas through tanks has led to the development of a significant number of experimental researches.

The purpose of the present thesis deals with the literature research of mechanisms of a possible leakage of liquefied natural gas into water and onto the ground (spread, lake formation, ignition, evaporation ect.). Also there is a reference about the dangers that may arise from the leakage of the liquid load, with special emphasis to the impact, that these danger have, to the people and to the nearby constructions (buildings, facilities, tanks ect.). Additionally, this phase includes the analysis of production and transportation of liquid gas as well extensive description of the phenomenon BLEVE.

At the empirical part of this research are suggested measures in order to prevent transportation accidents of the liquid gas which take part in the marine, road and trail transfers. In addition this part describes the basic ways to avoid serious accidents. In conclusion of empirical research, are examined some specific scenarios according to the way of transport and the form of the accident that are manifested.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ **3**
ΠΕΡΙΛΗΨΗ **4**
ABSTRACT **5**
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ **6**
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ **9**
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ **10**
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΑΕΡΙΟΥ **11**
1.1. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΑΕΡΙΩΝ 12
1.2. ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΑΕΡΙΟ 13
1.3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΑΕΡΙΟΥ 15
1.3.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ LNG 15
1.3.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ LPG 18
1.3.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΕΡΙΩΝ 19
1.4. ΚΥΡΙΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ 21
1.5. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΑΕΡΙΟΥ 24
1.5.1 ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ 24
1.5.2 ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ 26
1.5.3 ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ 33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ BLEVE **34**
2.1 ΓΕΝΙΚΑ 35
2.1.1 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΚΡΗΞΗΣ 35
2.1.2 ΑΝΑΦΛΕΞΗ ΚΑΙ ΕΚΤΟΝΩΣΗ 36
2.1.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΚΡΗΞΕΩΝ 37
2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ BLEVE 38
2.3 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΥΜΒΑΝΤΑ 42
2.3.1 ALBERT CITY, IOWA (9 ΑΠΡΙΛΙΟΥ 1998) 42
2.3.2 BURNSIDE, ILLINOIS, (2 ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 1997) 43
2.3.3 ELISABETH DE WARWICK, QUEBEC, CANADA (27 ΙΟΥΝΙΟΥ 1993) 43
2.3.4 ΚΑΜΕΝΑ ΒΟΥΡΛΑ, ΕΛΛΑΔΑ (ΑΠΡΙΛΙΟΣ 1999) 43
2.3.5 ΣΥΝΟΨΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΑΕΡΙΩΝ 44

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ, ΤΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ 46

3.1 ΓΕΝΙΚΑ 47

3.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ 50

3.2.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΔΙΑΡΡΟΕΣ ΤΟΞΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ 52

3.2.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΦΩΤΙΕΣ 56

3.2.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΕΚΡΗΞΕΙΣ 62

3.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ - ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ 71

3.3.1. ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΑΠΟ ΦΩΤΙΕΣ 71

3.3.2. ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΑΠΟ ΕΚΡΗΞΕΙΣ 76

3.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ 83

3.4.1 Η ΕΞΑΣΘΕΝΙΣΗ ΤΗΣ ΣΤΙΒΑΔΑΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ 84

3.4.2 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ 85

3.4.3 ΟΞΥΝΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ 86

3.4.4 ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ, ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΑΠΟΔΕΚΤΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ 86

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΑΕΡΙΟΥ .. 98

4.1 ΓΕΝΙΚΑ 99

4.2 ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ 100

4.2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ 100

4.2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΛΗΨΗ ΕΛΕΥΘΕΡΩΣΗΣ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΑΕΡΙΟΥ 102

4.3 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ 104

4.4 ΘΕΣΜΙΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ 109

4.4.1 Ο ΚΩΔΙΚΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΟΗΕ 109

4.4.2 Η ΣΥΜΦΩΝΙΑ ADR 111

4.4.3 Η ΣΥΜΦΩΝΙΑ RID ΓΙΑ ΤΗ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ 114

4.4.4 ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ 115

4.4.5 ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ 116

4.4.6 Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ 116

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ 122

5.1 ΓΕΝΙΚΑ 123

5.2 ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ 125
5.2.1. ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΣ 125
5.2.2. ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ 125
5.2.3. Η ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ 129
5.3 ΟΙ ΦΟΡΕΙΣ ΠΟΥ ΕΜΠΛΕΚΟΝΤΑΙ 130
5.3.1 Η ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ 130
5.3.2 Η ΑΣΤΥΝΟΜΙΑ 130
5.3.3 ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΑΜΕΣΗΣ ΒΟΗΘΕΙΑΣ (ΕΚΑΒ) 131
5.3.4 ΛΟΙΠΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ 132
5.3.5 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ 133
5.4. ΣΕΝΑΡΙΑ 134
5.4.1 ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ 134
5.4.2 ΟΔΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ 136
5.4.3 ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ 139

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 141
6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 142

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 143
Π1 ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΒΙΒΛΙΑ 144
Π2 ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΑ ΒΙΒΛΙΑ 145
Π3 ΑΡΘΡΑ – ΜΕΛΕΤΕΣ – ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ 146
Π4 ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ 147

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Διαφοροποίηση μεταξύ υγροποιημένων αερίων 15
Σχήμα 2: Τυπικό διάγραμμα ροής LNG 18
Σχήμα 3: Τυπικό διάγραμμα ροής πλοίων μεταφοράς βουτανίου και προπανίου 19
Σχήμα 4: Τυπικό διάγραμμα ροής για την παραγωγή χημικών αερίων 20
Σχήμα 5: Βυτίο τύπου MC331 (*Πηγή: GCTRA, 1995*) 24
Σχήμα 6: Εμπορευματοκιβώτιο βυτίο (Intermodal tank container) (*Πηγή: GCTRA, 1995*) 25
Σχήμα 7: Πλήρως διατηρημένο υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση πλοίο με τρεις δεξαμενές 28
Σχήμα 8: Μεταφορέας αιθυλενίου 29
Σχήμα 9: Fully refrigerated LPG carrier 30
Σχήμα 10: Πλοίο μεταφοράς υγροποιημένων αερίων LNG 31
Σχήμα 11: Rail Car τύπου DOT-113C120W 33
Σχήμα 12: Εσωτερική διάταξη του Rail Car DOT-113C120W 33
Σχήμα 13: Στάδια του φαινομένου BLEVE 39
Σχήμα 14: Έκρηξη τύπου BLEVE σε βυτίο 41
Σχήμα 15: Σχηματική διάταξη της δομής της συμφωνίας ADR 113

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά υγροποιημένων αερίων (Κανονισμός IMO) 14
Πίνακας 2: Βασικοί τύποι βυτίων (Κανονισμός IMO) 32
Πίνακας 3: Ατυχήματα Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου 45
Πίνακας 4: Επιπτώσεις λόγω υπέρβασης των ορίων ERPG 55
Πίνακας 5: Ποσοστά θνησιμότητας περιστατικών που διακομίστηκαν σε νοσοκομεία με εγκαύματα κλιμακούμενης σοβαρότητας συναρτήσει της επιφάνειας του δέρματος που εκτέθηκε και της ηλικιακής ομάδας στην οποία ανήκαν οι τραυματίες (J.C. Lawrwnce, 1991) 57
Πίνακας 6: Επιπτώσεις ανάλογα με την θερμική ακτινοβολία 59
Πίνακας 7: Πιθανότητα ρήξης τυμπάνου σε συνάρτηση με την μέγιστη υπερπίεση 64
Πίνακας 8: Πιθανότητα θανάτου σε συνάρτηση με την μέγιστη υπερπίεση 65
Πίνακας 9: Απώθηση ολόκληρου του σώματος σε συνάρτηση με την ταχύτητα πρόσκρουσης 66
Πίνακας 10: Τραυματισμός από θραύσματα γυαλιού μάζας 10 gr 67
Πίνακας 11:Ταχύτητα πρόσπτωσης στην κοιλιακή χώρα 68
Πίνακας 12: Ο χρόνος έκθεση σε σχέση με την ένταση θερμικής ακτινοβολίας 74
Πίνακας 13: Η κλιμάκωση των υλικών ζημιών σύμφωνα με τον Stephens 76
Πίνακας 14: Τιμές του συντελεστή C_D 77
Πίνακας 15: Ταξινόμηση των ουσιών σύμφωνα με τον UN Transport Code 1993 110
Πίνακας 16: Ταξινόμηση των ουσιών σύμφωνα με την ADR 112
Πίνακας 17: Κατηγορίες θαλάσσιων ρυπαντών 115
Πίνακας 18: Ποσότητα διαρροής ανάλογα με την επιφάνεια λίμνης 137

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΑΕΡΙΩΝ

1.2 ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΑΕΡΙΟ

1.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

1.3.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ LNG

1.3.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ LPG

1.3.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

1.4 ΚΥΡΙΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ

1.5 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

1.5.1 ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

1.5.2 ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

1.5.3 ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

1.1. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΑΕΡΙΩΝ

Στην Επιστήμη της Φυσικής, αέριο ονομάζεται κάθε ουσία που παρατηρείται χωρίς συγκεκριμένο όγκο αλλά ούτε και με καθορισμένο σχήμα.

Το αέριο αποτελεί μία από τις τρεις καταστάσεις της ύλης. Τα σωματίδια (άτομα, μόρια, ιόντα) που συγκροτούν τα αέρια είναι πολύ αραιά κατανεμημένα στο χώρο, σε σχέση με εκείνα των υγρών, πολύ δε περισσότερο των στερεών. Οι μεταξύ τους ελκτικές δυνάμεις είναι πολύ ασθενείς ώστε να συγκρατούν αυτά σε καθορισμένες θέσεις, με αποτέλεσμα να κινούνται αυτά προς διάφορες κατευθύνσεις. Αυτός είναι και ο λόγος που το αέριο δεν έχει ούτε καθορισμένο σχήμα ούτε και όγκο αλλά τείνει όμως να καλύψει όλο το διαθέσιμο χώρο, όπως ακριβώς μια σκόρπια διαδήλωση που αραιώνει για να φαίνεται στο δημοσιογραφικό φακό μεγαλύτερη.

Τόσο τα υγρά όσο και τα αέρια στη Φυσική ονομάζονται επίσης και «ρευστά».

Μεταξύ των αερίων σωμάτων το κοινότερο όλων είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας που αποτελεί μίγμα αερίων κυρίως οξυγόνου, αζώτου με προσμίξεις άλλων ελαφρών αερίων όπως διοξειδίου του άνθρακα και ευγενών αερίων. Η πυκνότητα των αερίων είναι διάφορη, ανάλογα με τη θερμοκρασία και την πίεση αυτών. Επίσης τα αέρια έχουν βάρος το οποίο και διαπιστώνεται αν σε κενή φιάλη που προηγουμένως έχει ζυγιστεί πληρωθεί με αέριο και επαναζυγιστεί, όπου και θα παρατηρηθεί μία διαφορά βάρους.

Τα αέρια μπορούν να χωριστούν ανάλογα με τη συμπεριφορά τους στις παρακάτω κατηγορίες:

- ✓ Τα τέλεια αέρια λέγονται και ιδανικά, γιατί ακολουθούν πλήρως τους Νόμους Boyle - Mariotte και Gay – Lyssac.
- ✓ Τα ευγενή αέρια, π.χ. το ήλιο, ονομάστηκαν έτσι γιατί διαπιστώθηκε ότι "σνομπάρουν" και δεν αντιδρούν πρόθυμα με τα υπόλοιπα αέρια.
- ✓ Στη φυσική υπάρχει επίσης κατηγορία κβαντικών αερίων και φωτονικών αερίων.
- ✓ Τα ασφυξιογόνα αέρια και τα δακρυγόνα (ενν. αέρια) επενεργούν στο αναπνευστικό.
- ✓ Το ιλαρυντικό αέριο προκαλεί γέλιο και αναισθησία.
- ✓ Τα αναισθητικά αέρια χρησιμοποιούνται στα χειρουργεία.

1.2. ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΑΕΡΙΟ

Ένα υγροποιημένο αέριο είναι η υγρή μορφή μιας ουσίας που, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και υπό ατμοσφαιρική πίεση, θα ήταν σε αέρια μορφή.

Τα περισσότερα υγροποιημένα αέρια είναι υδρογονάνθρακες και το βασικό χαρακτηριστικό που κάνει τους υδρογονάνθρακες βασική πηγή ενέργειας επίσης τα καθιστά εγγενώς επικίνδυνα. Επειδή αυτά τα αέρια αντιμετωπίζονται σε μεγάλες ποσότητες είναι επιτακτικό να λαμβάνονται όλα τα απαραίτητα μέτρα για να ελαχιστοποιήσουν τις πιθανότητες διαρροής και να περιορίσουν όλες τις πηγές ανάφλεξης.

Η σημαντικότερη ιδιότητα ενός υγροποιημένου αερίου, σε σχέση με την άντληση και την αποθήκευση, είναι η πίεση ατμού του. Είναι η απόλυτη πίεση που ασκείται όταν το υγρό ισορροπεί με τον ατμό του σε δεδομένη θερμοκρασία. Ο διεθνής θαλάσσιος οργανισμός (IMO), με σκοπό την τήρηση των κανονισμών μεταφοράς υγροποιημένων αερίων, συσχετίζει την εμποτισμένη πίεση ατμού με τη θερμοκρασία, υιοθετώντας τον ακόλουθο κανόνα για τη μεταφορά υγροποιημένων αερίων στη θάλασσα.

Υγρά με πίεση ατμού που υπερβαίνουν τα 2.8 bar διατηρούνται σε θερμοκρασία 37.8 °C.

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται μερικά υγροποιημένα αέρια που μεταφέρονται εν πλω. Συγκρίνονται σύμφωνα με τη πίεση ατμού τους σε 37.8 °C και από την άποψη των ατμοσφαιρικών σημείων βρασμού τους.

Βάσει του παρακάτω κανονισμού του IMO, το οξείδιο του αιθυλενίου (Πίνακας 1) δεν θα ήταν κατάλληλο ως υγροποιημένο αέριο. Εντούτοις, συμπεριλαμβάνεται στο διεθνή κώδικα πλοίων που μεταφέρουν υγροποιημένα αέρια σε μεγάλες ποσότητες επειδή το σημείο βρασμού του σε ατμοσφαιρική πίεση είναι τόσο χαμηλό που θα ήταν δύσκολο να μεταφερθεί το φορτίο με οποιαδήποτε μέθοδο εκτός από εκείνων που ορίζονται για τα υγροποιημένα αέρια.

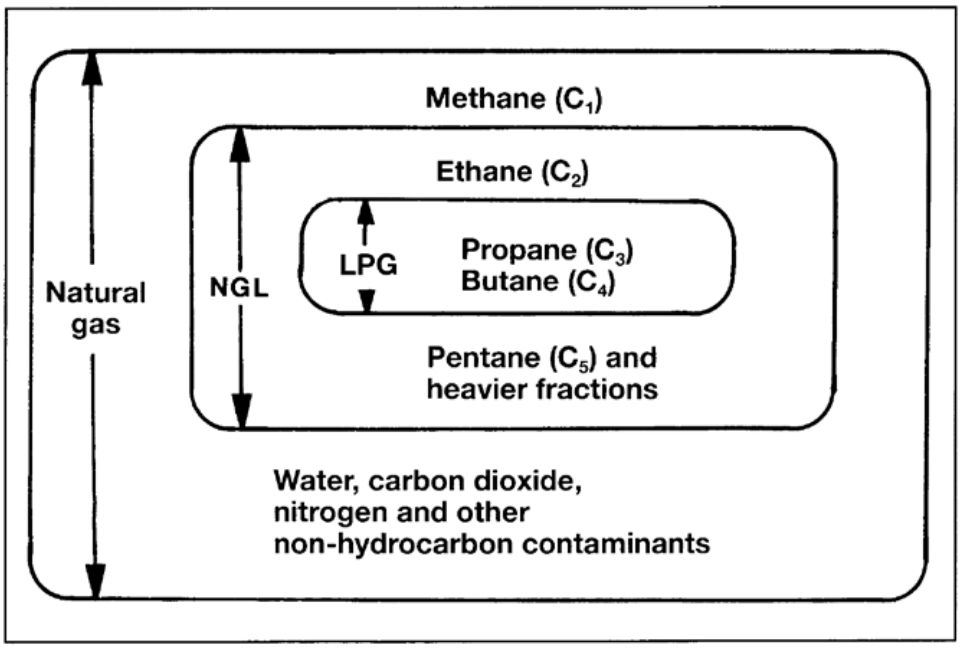
Liquefied gas	Vapour pressure at 37.8°C (bars absolute)	Boiling point at atmospheric pressure (°C)
Methane	Gas	−161.5
Propane	12.9	−42.3
n-Butane	3.6	−0.5
Ammonia	14.7	−33.4
Vinyl chloride	5.7	−13.8
Butadiene	4.0	−5
Ethylene oxide	2.7	+10.7

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά υγροποιημένων αερίων (Κανονισμός ΙΜΟ)

Επιπλέον, οι χημικές ουσίες, όπως ο διεθυλικός αιθέρας, το οξείδιο προπυλενίου και το ισοπρένιο δεν είναι αυστηρά υγροποιημένα αέρια, αλλά συνδέουν τις υψηλές πιέσεις ατμού με τους κινδύνους ανάφλεξης. Ως αποτέλεσμα τέτοιων κινδύνων αυτές οι χημικές ουσίες, και διάφορων παρόμοιων ενώσεων, έχουν απαριθμηθεί από κοινού και στον κώδικα (reconstruction Equipment Ships Liquefied Bulk) και (Bulk Chemical). Πράγματι, όταν μεταφέρονται σε χημικά δεξαμενόπλοια, υπό τον όρο των μαζικών χημικών κωδικών, τέτοια προϊόντα πρέπει να αποθηκευθούν σε ανεξάρτητες δεξαμενές και όχι σε εκείνες που χτίζονται κατά τη δομή του πλοίου.

1.3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Για την κατανόηση των διάφορων όρων που χρησιμοποιούνται στο εμπόριο υγροποιημένου αερίου, αυτό το τμήμα συζητά την κατασκευή των υγροποιημένων αερίων και περιγράφει τα βασικά φορτία υγροποιημένου αερίου που μεταφέρονται θαλασσίως. Είναι πρώτιστης σημασίας η διαφοροποίηση μεταξύ των πρώτων υλών και των συστατικών τους, προκειμένου να διαφοροποιηθεί η σχέση μεταξύ φυσικού αερίου, υγρά φυσικού αερίου (NGLs) και υγροποιημένα αέρια πετρελαίου (LPGs), τα οποία παρουσιάζονται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1: Διαφοροποίηση μεταξύ υγροποιημένων αερίων

1.3.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ LNG

Το φυσικό αέριο μπορεί να εμφανιστεί σε:

- Υπόγεια φρεάτια
- Συμπυκνωμένες δεξαμενές
- Μεγάλες πετρελαιοφόρες περιοχές

Το φυσικό αέριο περιέχει μικρότερες ποσότητες βαρύτερων υδρογονανθράκων (γνωστά ως υγρά φυσικού αερίου - NGLs). Αυτό είναι σε εξάρτηση με τις κυμαινόμενες ποσότητες νερού, διοξειδίου του άνθρακα, αζώτου και άλλων μη υδρογονανθρακικών ουσιών.

Το ποσοστό που περιέχεται στο ακατέργαστο φυσικό αέριο ποικίλλει από μια θέση σε άλλη. Εντούτοις, τα ποσοστά NGL είναι γενικά μικρότερα στα φρεάτια αερίου όταν συγκρίνονται με εκείνα που βρίσκονται στις συμπυκνωμένες δεξαμενές. Ανεξάρτητα από την προέλευση, το φυσικό αέριο απαιτεί επεξεργασία για την αφαίρεση βαρύτερων υδρογονανθρακικών και μη υδρογονανθρακικών συστατικών. Αυτό εξασφαλίζει ότι το προϊόν είναι σε αποδεκτή κατάσταση για ρευστοποίηση ή για τη χρήση του ως αεριώδη καύσιμο.

Το σχήμα 2 είναι ένα χαρακτηριστικό διάγραμμα ροής για εγκαταστάσεις ρευστοποίησης που χρησιμοποιούνται για να παραγάγουν το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG). Το ακατέργαστο αέριο τροφοδοσίας είναι απαλλαγμένο από κατέλειπα. Ακολουθεί η αφαίρεση των όξινων αερίων (διοξείδιο του άνθρακα και σουλφίδιο υδρογόνου). Το διοξείδιο του άνθρακα πρέπει να αφαιρεθεί καθώς παγώνει σε μια θερμοκρασία πάνω από το ατμοσφαιρικό σημείο βρασμού του LNG και το τοξικό σύνθετο σουλφίδιο υδρογόνου απομακρύνεται δεδομένου ότι προκαλεί ατμοσφαιρική ρύπανση όταν καίγεται ως καύσιμο. Η αφαίρεση του όξινου αερίου προκαλεί εμποτισμό του αέριου ρεύματος με υδρατμούς οι οποίοι στη συνέχεια αφαιρούνται.

Κατόπιν το αέριο περνά σε μια μονάδα διαχωρισμού όπου τα NGLs αφαιρούνται και γίνεται η περαιτέρω διάσπαση σε προπάνιο και βουτάνιο. Τέλος, η κύρια ροή αερίου, τώρα συνήθως μεθάνιο, είναι υγροποιημένη στο τελικό προϊόν, υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG).

Για να χαμηλώσουν τη θερμοκρασία του μεθανίου σε περίπου -162 °C (το ατμοσφαιρικό σημείο βρασμού του) υπάρχουν τρεις βασικές διαδικασίες ρευστοποίησης σήμερα. Αυτοί περιγράφονται παρακάτω:

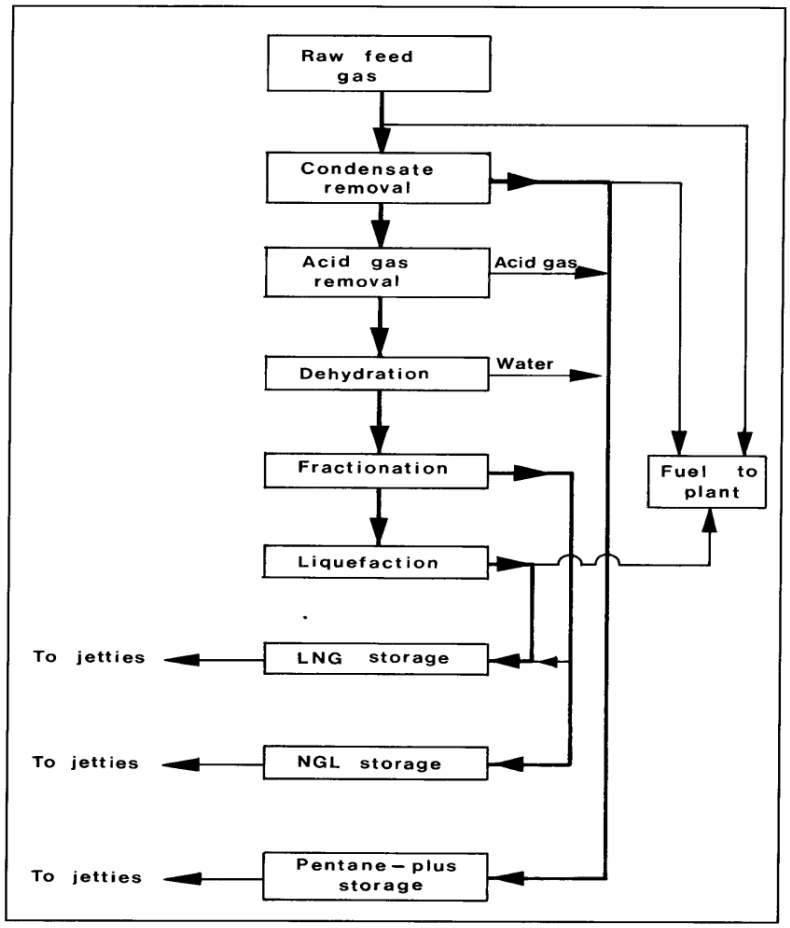
- ***Καθαρή διαδικασία ψυκτικών ουσιών (Pure refrigerant process)*** - αυτό είναι παρόμοιο σε γενικές γραμμές με τον κύκλο υγροποίησης αλλά προκειμένου να επιτευχθεί η χαμηλή θερμοκρασία που απαιτείται, τρία στάδια περιλαμβάνονται όπου το καθένα έχει την ψυκτική ουσία, το συμπιεστή και τους εναλλάκτες θερμότητας του. Το πρώτο στάδιο χρησιμοποιεί το προπάνιο, το δεύτερο είναι ένα στάδιο συμπύκνωσης που χρησιμοποιεί το αιθυλένιο και τελικά το τρίτο στάδιο που χρησιμοποιεί το μεθάνιο. Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις πριν από το 1970.

- ***Μικτή διαδικασία ψυκτικών ουσιών (mixed refrigerant process)*** - ενώ με την καθαρή διαδικασία ψυκτικών ουσιών (όπως περιγράφεται ανωτέρω), μια διαδικασία τριών κύκλων, με τη

μικτή διαδικασία ψυκτικών ουσιών (συνήθως μεθάνιο, αιθάνιο, προπάνιο και άζωτο), η διαδικασία επιτυγχάνεται σε έναν κύκλο. Ο εξοπλισμός είναι λιγότερο σύνθετος από την καθαρή διαδικασία ψυκτικών ουσιών αλλά η κατανάλωση ισχύος είναι ουσιαστικά μεγαλύτερη και για αυτόν τον λόγο η χρήση της δεν είναι διαδεδομένη.

- ***Προψυγμένη μικτή διαδικασία ψυκτικών ουσιών (Pre-cooled mixed refrigerant process)*** - αυτή η διαδικασία είναι γενικά γνωστή ως διαδικασία MCR (Multi-Component Refrigerant process) και είναι ένας συνδυασμός των πιο πάνω διαδικασιών. Είναι κατά πολύ η πιο κοινή διαδικασία σε λειτουργία σήμερα.

Τα καύσιμα για τις εγκαταστάσεις παρέχονται κυρίως από το στιγμιαίο αέριο κατά τη διαδικασία υγροποίησης. Εάν είναι απαραίτητο, τα πρόσθετα καύσιμα μπορούν να ληφθούν από το ακατέργαστο υγροποιημένο αέριο ή από τα αποσπασμένα συμπυκνώματα. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του LNG που παράγεται και τις απαιτήσεις του εμπορίου, μερικά από το αποσπασμένα NGLs μπορούν να επανεισαχθούν στο LNG



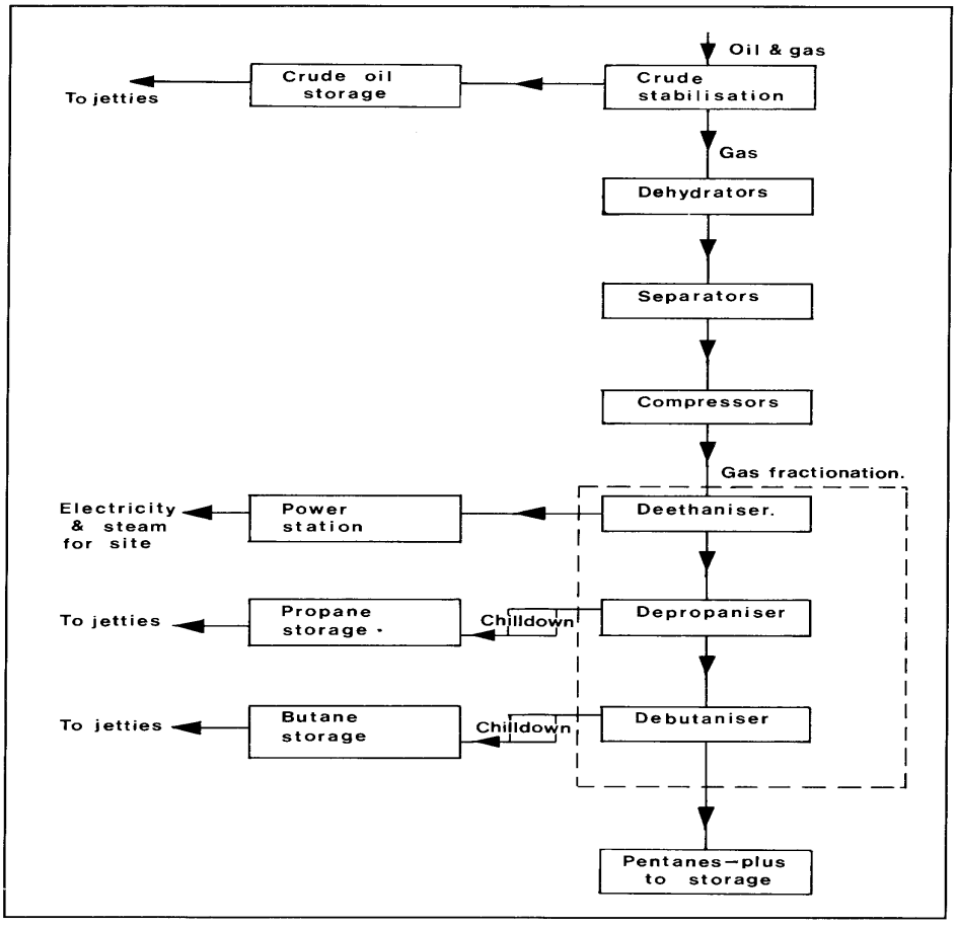
Σχήμα 2: Τυπικό διάγραμμα ροής LNG

1.3.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ LPG

Υγροποιημένο αέριο πετρελαίου (LPG) είναι το γενικό όνομα που δίνεται για το προπάνιο, το βουτάνιο και τα μίγματα των δύο. Αυτά τα προϊόντα μπορούν να ληφθούν από τον καθαρισμό του ακατέργαστου πετρελαίου. Όταν παράγονται κατά αυτόν τον τρόπο κατασκευάζονται συνήθως υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση.

Εντούτοις, η κύρια παραγωγή LPG βρίσκεται σε χώρες παραγωγής πετρελαίου. Σε αυτές τις θέσεις το LPG εξάγεται από φυσικά αέρια ή από ποσότητες ακατέργαστου πετρελαίου που προέρχονται από υπόγειες δεξαμενές. Στην περίπτωση πηγής φυσικού αερίου, το ακατέργαστο προϊόν αποτελείται κυρίως από το μεθάνιο. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2, σε αυτήν την διαδικασία είναι φυσιολογική η παραγωγή NGL και τα LPG μπορούν να εξαχθούν από αυτά ως υποπροϊόν.

Ένα απλό διάγραμμα ροής που επεξηγεί την παραγωγή του προπανίου και του βουτανίου από δεξαμενές πετρελαίου και φυσικού αερίου παρουσιάζεται στο σχήμα 3. Σε αυτό το παράδειγμα το μεθάνιο και το αιθάνιο, το οποίο έχει αφαιρεθεί χρησιμοποιείται από το μηχανισμό παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος του σταθμού, και τα LPGs αποθηκεύονται στις τελικές δεξαμενές πριν από την τελική αποστολή τους.

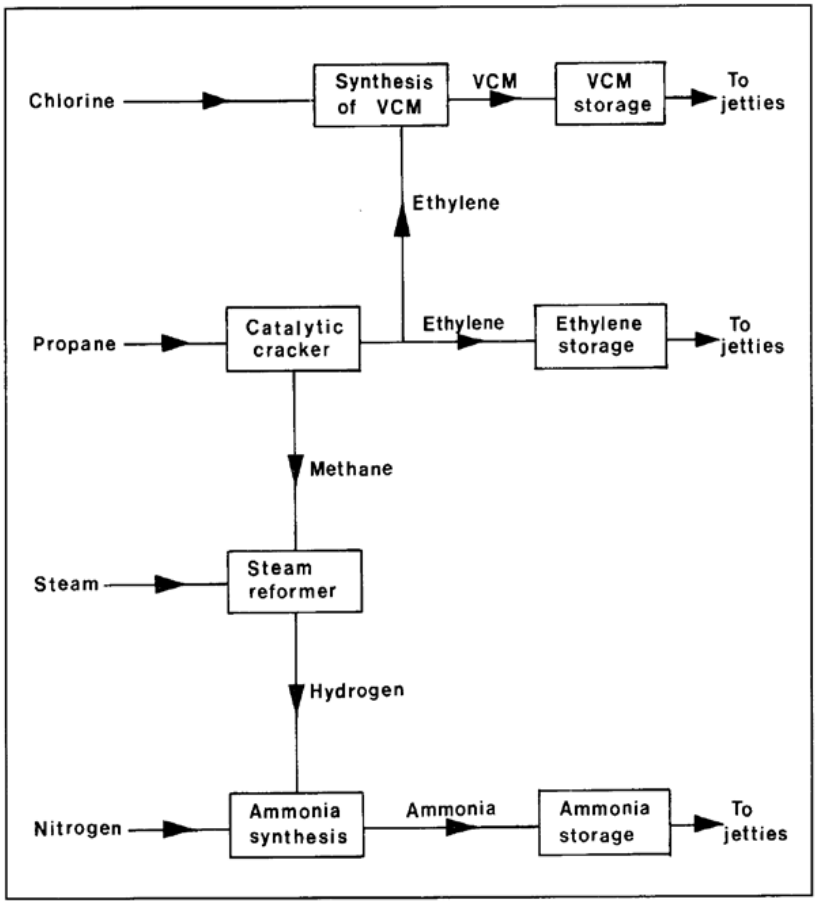


Σχήμα 3: Τυπικό διάγραμμα ροής πλοίων μεταφοράς βουτανίου και προπανίου

1.3.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

Ένα απλουστευμένο διάγραμμα για την παραγωγή των χημικών ουσιών βινύλιο χλωριδίου, αιθυλενίου και αμμωνίου παρουσιάζεται στο σχήμα 4. Αυτά τα τρία χημικά αέρια μπορούν να παραχθούν έμμεσα από το προπάνιο. Το προπάνιο πρώτα χωρίζεται σε μεθάνιο και αιθυλένιο. Το αιθυλένιο στη συνέχεια μπορεί να συντεθεί με το χλώριο για την παρασκευή του βινυλίου χλωριδίου. Στην περίπτωση του μεθανίου, αυτό ανασχηματίζεται αρχικά με τον

ατμό σε υδρογόνο. Συνδυάζοντας το αυτό με άζωτο κάτω από υψηλή πίεση και θερμοκρασία, παρουσία ενός καταλύτη, παράγεται η αμμωνία.



Σχήμα 4: Τυπικό διάγραμμα ροής για την παραγωγή χημικών αερίων

1.4. ΚΥΡΙΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ

Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG)

Το φυσικό αέριο μεταφέρεται είτε μέσο αγωγών ως αέριο είτε θαλασσίως στην υγροποιημένη μορφή του ως LNG.

Το φυσικό αέριο παράγεται όπως περιγράφεται στην παράγραφο 1.3.1. Η σύνθεσή του ποικίλλει σύμφωνα με το που βρίσκεται, αλλά το μεθάνιο είναι κατά πολύ το κυρίαρχο συστατικό, κυμαινόμενο από 70 % - 99 %. Το φυσικό αέριο τη χρονική περίοδο αυτή είναι από τα πιο σημαντικά προϊόντα στην παγκόσμια αγορά ενέργειας και περίπου 150 εκατομμύρια τόνοι μεταφέρονται θαλασσίως κάθε έτος.

Υγρά Φυσικού Αερίου (NGLs)

Σχετικό αέριο σε συνδυασμό με ακατέργαστο πετρέλαιο, εμπεριέχει κυρίως μεθάνιο και NGL. Όπως φαίνεται στο σχήμα 1, τα NGLs αποτελούνται από αιθάνιο, LPGs και βενζίνη.

Ένας μικρός αριθμός τερματικών σταθμών, συμπεριλαμβανομένων και διάφορων άλλων εγκαταστάσεων στην Ευρώπη, έχουν τη δυνατότητα να αφαιρούν το μεθάνιο και να φορτώνουν ακατέργαστο NGL σε ημι- διατηρημένους υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση μεταφορείς αερίου (semi- pressurized gas carriers). Αυτό το NGL φέρεται σε - 80 °C σε ατμοσφαιρική πίεση ή σε - 45°C υπό πίεση ατμού 5bar.

Τα υγροποιημένα αέρια πετρελαίου (LPGs)

Τα υγροποιημένα αέρια πετρελαίου περιλαμβάνουν προπάνιο, βουτάνιο και μίγματα των δύο. Βουτάνιο που αποθηκεύεται στους κυλίνδρους γνωστό ως εμφιαλωμένο αέριο, έχει διαδεδομένη χρήση ως καύσιμο για τη θέρμανση και το μαγείρεμα. Επίσης είναι ένας σημαντικός αυξητικός παράγοντας οκτανίου για τη βενζίνη μηχανών και ένα βασικό πετροχημικό αέριο. Το προπάνιο, επίσης, χρησιμοποιείται ως εμφιαλωμένο αέριο, ειδικά στα κρύα κλίματα (στα οποία η πίεση ατμού της προσαρμόζεται). Εντούτοις, τα LPG χρησιμοποιούνται κυρίως στην ηλεκτρική παραγωγή, για βιομηχανικούς λόγους όπως η κοπή μετάλλων. Περίπου 250 εκατομμύρια τόνοι των LPG παράγονται κάθε έτος παγκοσμίως και περίπου 70 εκατομμύρια τόνοι μεταφέρονται θαλασσίως.

Αμμωνία

Με την αυξανόμενη ζήτηση στους πόρους τροφίμων παγκοσμίως, η απαίτηση για λιπάσματα που εμπεριέχουν άζωτο, βασισμένα σε αμμωνία, επεκτάθηκε έντονα κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '70 και της δεκαετίας του '80. Οι μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις αμμωνίας συνεχίζουν να χτίζονται σε θέσεις πλούσιες σε φυσικό αέριο που είναι η πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται συνηθέστερα για τη δημιουργία αυτού του προϊόντος. Η αμμωνία χρησιμοποιείται επίσης ως χερσαία βιομηχανική ψυκτική ουσία, στην παραγωγή των εκρηκτικών υλών και για τις πολυάριθμες βιομηχανικές χημικές ουσίες όπως η ουρία. Η παγκόσμια κατανάλωση αυτής της σημαντικής ανόργανης χημικής ουσίας είναι 150 εκατομμύρια τόνοι. Περίπου 25 εκατομμύρια τόνοι της αμμωνίας στέλνονται θαλασσίως κάθε έτος στους πλήρως κατεψυγμένους μεταφορείς (fully refrigerated carriers) και αυτό αποτελεί το τρίτο μεγαλύτερο δια θαλάσσης εμπόριο στα υγροποιημένα αέρια, μετά από τα LNG και τα LPG.

Αιθυλένιο

Το αιθυλένιο είναι μια από τις βασικές πετροχημικές δομικές μονάδες. Χρησιμοποιείται στη Παρασκευή πλαστικών πολυαιθυλενίου, του αιθυλικού οινοπνεύματος, των ινών πολυβινυλικού χλωριδίου (PVC), αντιψυκτικού, πολυστυρολίου και πολυεστέρα. Λαμβάνεται αποβάλλοντας νάφθα, αιθάνιο ή LPG. Περίπου 95 εκατομμύριοι τόνοι του αιθυλενίου παράγονται παγκοσμίως κάθε έτος, ωστόσο επειδή το μεγαλύτερο μέρος αυτής της παραγωγής χρησιμοποιείται κοντά στο σημείο κατασκευής, μόνο περίπου 1.8 εκατομμύριο τόνοι είναι κινούνται θαλασσίως στα ημι-διατηρημένα υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση πλοία (Semi-pressurized gas carriers).

Προπυλένιο

Το προπυλένιο είναι ένας πετροχημικός καταλύτης που χρησιμοποιείται για να κάνει τα πλαστικά πολυπροπυλενίου και πολυουρεθάνιου, τις ακρυλικές ίνες και τους βιομηχανικούς διαλύτες. Από τα μέσα δεκαετίας του '90, η ετήσια παγκόσμια παραγωγή του προπυλενίου ήταν 40 εκατομμύρια τόνοι, με περίπου 1.1 εκατομμύριων τόνους της μεταφοράς αυτού του προϊόντος με τα ημι-διατηρημένα υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση πλοία.

Βουταδιένιο

Το βουταδιένιο είναι ιδιαίτερα αντιδραστικός πετροχημικός καταλύτης. Χρησιμοποιείται για να παραγάγει τα συνθετικά λάστιχα στυρόλιου, ακρυλονιτρίλιου και πολυβουταδιενίου. Το βουταδιένιο χρησιμοποιείται επίσης στα χρώματα και τους συνδέσμους για τα μη υφανθέντα υφάσματα και σαν συστατικό στην πλαστική και νάιλον παραγωγή. Η περισσότερη παραγωγή βουταδιενίου προέρχεται από το ράγισμα της νάφθας για να παραγάγει το αιθυλένιο. Περίπου 1.000.000 τόνοι του βουταδιενίου κυκλοφορούν στο εμπόριο θαλασσίως κάθε έτος.

Βινυλίου χλωρίδιο

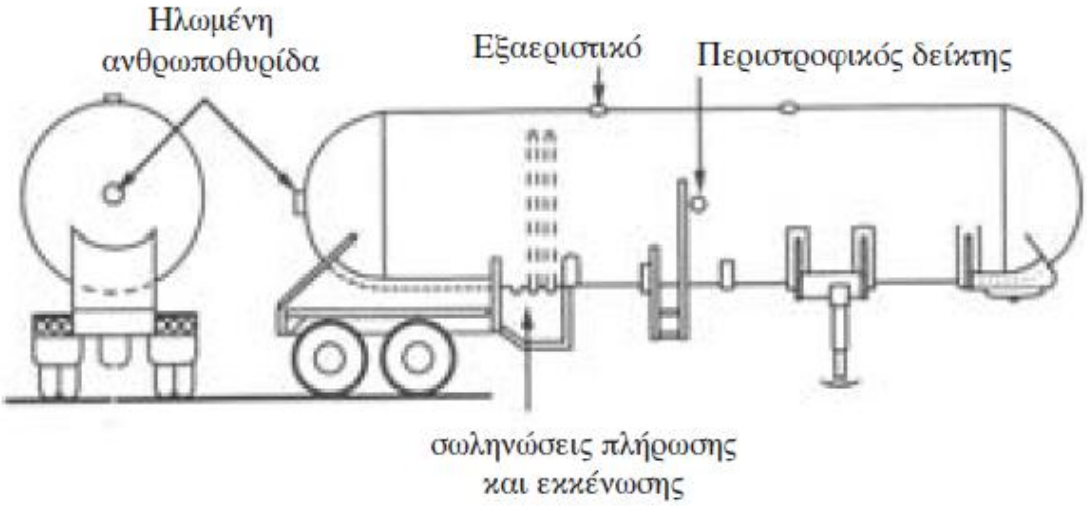
Το βινυλίου χλωρίδιο είναι ένα εύκολα ρευστοποιήσιμο, χλωριωμένο αέριο που χρησιμοποιείται στην κατασκευή του PVC, το δεύτερο πιο σημαντικό θερμοπλαστικό στον κόσμο από την άποψη της παραγωγής. Το βινυλίου χλωριδίου όχι μόνο έχει ένα σχετικά υψηλό σημείο βρασμού, στους -14 °C, αλλά είναι επίσης, με μια συγκεκριμένη πυκνότητα 0.97, πολύ πυκνότερο από τα άλλα κοινά φορτία μεταφορέων αερίου. Περίπου 1.6 εκατομμύρια τόνοι του βινυλίου χλωριδίου μεταφέρονται θαλασσίως κάθε έτος.

1.5. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

1.5.1 ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Βυτία μεταφοράς υγροποιημένων αερίων (π.χ. MC331)

Οι δεξαμενές αυτές χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά αερίων που υγροποιούνται υπό πίεση. Εκτός από τα συμπυκνωμένα αέρια, μεταφέρονται και μερικά πολύ επικίνδυνα υγρά όπως η άνυδρος αμμωνία, η χλωρίνη, το LPG, το LNG, το υγροποιημένο CO_2, το υγρό μεθυλικό παραθείο και γενικά αέρια και υγρά που είναι εξαιρετικά πτητικά. Είναι συνήθως κατασκευασμένες από χάλυβα και έχουν ελεγθεί σε πίεση 100 – 500 psi (7 – 35 bar). Σημειώνεται ότι οι δεξαμενές αυτές ποτέ δεν πληρώνονται τελείως, αλλά αφήνεται χώρος για διαστολή κατά τη μεταφορά. Η υπερπλήρωση μπορεί να προκαλέσει υδροστατική αστοχία. Υπάρχει εξαεριστική διάταξη, μόνο για ατμούς. Σε περίπτωση ανατροπής, ο εξαερισμός δεν θα οδηγήσει στη μείωση της εσωτερικής πίεσης.



Σχήμα 5: Βυτίο τύπου MC331 (*Πηγή: GCTRA, 1995*)

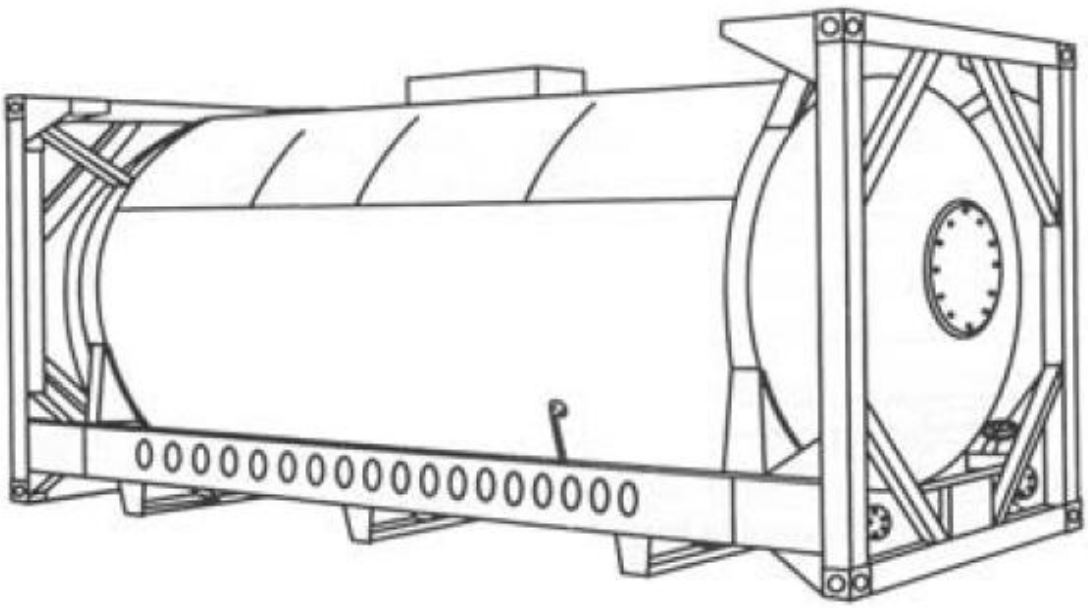
Άλλα στοιχεία είναι (Σχήμα 5):

- δείκτης εσωτερικής πίεσης, θερμόμετρο και δείκτης στάθμης
- κυλινδρική διατομή, συνήθως μεγαλύτερη από το MC312/412, ημισφαιρικά άκρα και λεία εξωτερική επιφάνεια, χωρίς νευρώσεις

- μόνωση (επένδυση από αλουμίνιο ή ανοξείδωτο χάλυβα), πιθανόν μόνο στο άνω μέρος, για προστασία από τον ήλιο
- αυστηρότερες διατάξεις ασφαλείας (βαλβίδες διακοπής, εξαεριστικά, ανακουφιστικές διατάξεις, προφυλακτήρες, κ.λπ.).

Εμπορευματοκιβώτιο βυτίο

Τα βυτία αυτά (tank containers ή intermodal tanks) μεταφέρουν ποικιλία επικίνδυνων υλικών και αποτελούνται από τη δεξαμενή ενσωματωμένη στο πλαίσιό της. Αναλόγως της κατασκευής, το υλικό μπορεί να βρίσκεται υπό πίεση ή όχι, ή να είναι κρυογενικό. Συνήθως οι δεξαμενές αυτές δεν υπερβαίνουν τα 6.300 γαλόνια ή 24 m^3. Διαθέτουν ειδικές διατάξεις αγκύρωσης, ώστε να μπορούν να μεταφερθούν σιδηροδρομικώς ή οδικώς, αλλά και με πλοίο.



Σχήμα 6: Εμπορευματοκιβώτιο βυτίο (Intermodal tank container) (*Πηγή: GCTRA, 1995*)

1.5.2 ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Τα πλοία μεταφοράς αερίων κυμαίνονται από τα μικρά υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση σκάφη περίπου 3.500 m^3 (fully pressurized) για την αποστολή του προπανίου, του βουτανίου και των χημικών αερίων σε περιβαλλοντική θερμοκρασία μέχρι τα πλήρως μονωμένα ή ειδικά πλοία ψυγεία (fully refrigerated) πάνω από 100.000 m^3 για τη μεταφορά LNG και LPG. Μεταξύ αυτών των δύο ευδιάκριτων τύπων υπάρχει και ένας τρίτος τύπος πλοίων ο ημι-διατηρημένος υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση μεταφορέας αερίου(semi-pressurized carriers). Αυτά τα πλοία είναι σε θέση να μεταφέρουν πολλά φορτία υπό συνθήκες κατάψυξης σε ατμοσφαιρική πίεση ή σε θερμοκρασίες που αντιστοιχούν σε πιέσεις μεταξύ 5 και 9 bar.

Η μετακίνηση των υγροποιημένων αερίων θαλασσίως είναι τώρα μια ώριμη βιομηχανία, που εξυπηρετείται από έναν στόλο πάνω από 1000 πλοία. Το 2009 οι αριθμοί πλοίων σε κάθε κατηγορία ήταν προσεγγιστικά ως ακολούθως:

- LNG carriers 300
- Fully refrigerated ships 216
- Ethylene carriers 100
- Semi-pressurized ships 200
- Pressurized ships 450

Οι μεταφορείς αερίου χρησιμοποιούν ορισμένα χαρακτηριστικά σχεδιασμού από κοινού με άλλα σκάφη για τη μεταφορά των υγρών όπως δεξαμενόπλοια χημικών και πετρελαίου. Τα δεξαμενόπλοια χημικών μεταφέρνουν τα πιο επικίνδυνα φορτία τους στις κεντρικές δεξαμενές, ενώ τα φορτία μικρότερου κινδύνου μπορούν να σταλούν στις πλαϊνές δεξαμενές. Ο στόχος είναι η προστασία από την έκχυση του επικίνδυνου φορτίου σε περίπτωση σύγκρουσης. Αυτή η ίδια αρχή εφαρμόζεται και για τα πλοία μεταφοράς αερίων.

Ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα σχεδόν μοναδικό στα πλοία μεταφοράς αερίων είναι ότι οι δεξαμενές φορτίου διατηρούνται υπό θετική πίεση για να αποτραπεί ο αέρας στο σύστημα αποθήκευσης φορτίου. Αυτό σημαίνει ότι μόνο το υγρό φορτίου και ο ατμός είναι παρόντες στη δεξαμενή προς αποφυγή αναφλέξεων. Επιπλέον όλα τα πλοία μεταφοράς αερίου χρησιμοποιούν κλειστά συστήματα κατά τη φόρτωση ή την εκφόρτωση, χωρίς να απελευθερώνονται ατμοί στην ατμόσφαιρα. Με αυτά τα μέσα η απελευθέρωση φορτίου στην ατμόσφαιρα αποβάλλεται ουσιαστικά και ο κίνδυνος ανάφλεξης ατμού ελαχιστοποιείται.

Οι μεταφορείς αερίου πρέπει να συμβαδίζουν με τα πρότυπα που καθορίζονται από το διεθνή θαλάσσιο οργανισμό (IMO), και με όλες τις απαιτήσεις ασφάλειας και ρύπανσης. Τα χαρακτηριστικά μέτρα για τον σχεδιασμό ασφάλειας που περιγράφονται στους κανονισμούς μεταφοράς αερίων βοηθήσει καθοριστικά στην ασφάλεια αυτών των πλοίων. Οι απαιτήσεις εξοπλισμού για τους μεταφορείς αερίου περιλαμβάνουν τον έλεγχο θερμοκρασίας και πίεσης, την ανίχνευση αερίου και δείκτες στάθμης των δεξαμενών φορτίου. Όλα τα παραπάνω εξοπλίζονται με κατάλληλους συναγερμούς.

Υπάρχουν αρκετές διαφοροποιήσεις κατά τον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία αυτών των πλοίων ανάλογα με το σύστημα συγκράτησης και το είδος του φορτίου που μεταφέρουν. Τα συστήματα συγκράτησης φορτίου μπορούν να είναι ανεξάρτητων δεξαμενών (pressurized, semi- pressurized or fully refrigerated) ή μεμβρανοειδούς τύπου (membrane type). Μερικά από τα κύρια χαρακτηριστικά γνωρίσματα αυτών των παραλλαγών περιγράφονται κατωτέρω.

Πλήρως διατηρημένα υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση πλοία (Fully pressurized ships)

Η μεταφορά των υγροποιημένων αερίων θαλλασίως άρχισε το 1934 όταν μια διεθνής επιχείρηση έθεσε σε λειτουργία δύο πλοία μικτού τύπου πετρελαιοφόρου/LPG. Τα πλοία αυτά, βασικά πετρελαιοφόρα, είχαν μετατραπεί σε μικρά, με δεξαμενές υψηλής πίεσης για τη μεταφορά LPG. Αυτό επέτρεψε τη μεταφορά αυτού του προϊόντος σε μεγάλες αποστάσεις. Τα LPG όχι μόνο είναι μη τοξικά, έχουν επίσης υψηλή θερμαντική ικανότητα και είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, τα οποία τα καθιστούν πολύ καθαρά και αποδοτικά κατά τον κάψιμο.

Σήμερα τα περισσότερα διατηρημένα υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση LPG διαθέτουν δύο ή τρεις οριζόντιες, κυλινδρικές ή σφαιρικές δεξαμενές και έχουν την ικανότητα μεταφοράς έως και 5.000 m^3 όγκου. Εντούτοις, τα τελευταία χρόνια έχουν ναυπηγηθεί πλοία με σφαιρικές δεξαμενές, έως 10.000 m^3, το καθένα από αυτά με πέντε σφαιρικές δεξαμενές.

Σχήμα 7: Πλήρως διατηρημένο υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση πλοίο με τρεις δεξαμενές

Ημι-διατηρημένα υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση πλοία (Semi-pressurized ships)

Παρά την πρόωρη σημαντική ανακάλυψη μεταφοράς φορτίων των υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση LPG, η μετακίνηση υγροποιημένων αερίων θαλασσίως άρχισε πραγματικά να αυξάνεται στις αρχές της δεκαετίας του '60 με την ανάπτυξη των κατάλληλων μετάλλων για τη συγκράτηση αυτών των υγροποιημένων αερίων σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Τα πρώτα σκάφη που χρησιμοποιήσουν αυτήν την νέα τεχνολογία εμφανίστηκαν το 1961. Μετέφεραν αέρια σε ένα ημι-διατηρημένα υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση/ημι-κατεψυγμένη κατάσταση (SP/SR). Από τα τέλη της δεκαετίας του '60 πλοία ημι-διατηρημένα υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση / πλήρως κατεψυγμένα (SP/FR) είχαν γίνει η επιλογή πλοιοκτητών με την παροχή υψηλής ευελιξίας στο χειρισμό φορτίου. Αυτού του τύπου τα πλοία, χρησιμοποιούν δεξαμενές κυλινδρικές ή σφαιρικές είτε της μορφής bi-lobe και έχουν την ικανότητα να φορτώσουν και να ξεφορτώνουν τα φορτία αερίου και στις κατεψυγμένες και στις διατηρημένες υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση εγκαταστάσεις. Ο υπάρχων στόλος των ημι-διατηρημένων υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση πλοίων περιλαμβάνει μεγέθη από 3.000-22.000 m^3.

Μεταφορείς αιθυλένίου και χημικών αερίων (Ethylene and gas/chemical carriers)

Οι μεταφορείς αιθυλενίου είναι οι περιπλοκότεροι των ημι-διατηρημένων υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση βυτιοφόρων και έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν όχι μόνο τα περισσότερα φορτία αλλά και το στο ατμοσφαιρικό σημείο βρασμού του στους - 104 °C. Τ πρώτο πλοίο αυτής της κατηγορίας κατασκευάστηκε το 1966 και, από το 1995, υπήρξαν περίπου 100 τέτοια πλοία σε υπηρεσία ικανότητας από 1.000 έως 12.000 m^3.

Από αυτόν τον στόλο υπάρχει μια ειδική υποομάδα πλοίων ικανών να διαχειριστούν ένα ευρύ φάσμα υγρών χημικών ουσιών και υγροποιημένων αερίων ταυτόχρονα. Αυτά έχουν κυλινδρικές, μονωμένες, δεξαμενές κατασκευασμένες από ανοξείδωτο χάλυβα ικανές να προσαρμόσουν τα φορτία μέχρι μια μέγιστη πυκνότητα 1.8 σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από - 104 °C έως και + 80 °C σε μέγιστη πίεση 4 bar. Τα πλοία αυτής της κατηγορίας χαρακτηρίζονται ως τα πιο ευπροσάρμοστα καθώς έχουν τη δυνατότητα να ξεφορτώνουν και να φορτώνουν σε όλους τους ειδικά κατασκευασμένους τερματικούς σταθμούς.

Σχήμα 8: Μεταφορέας αιθυλενίου

Fully refrigerated ships

Η δεκαετία του '60 είδε επίσης μια άλλη σημαντική ανάπτυξη στην εξέλιξη μεταφορέων αερίου - η εμφάνιση του πρώτου fully refrigerated πλοίου, που χτίστηκε για να μεταφέρει τα υγροποιημένα αέρια σε χαμηλή θερμοκρασία. Το πρώτο πλοίο αυτής της κατηγορίας κατασκευάστηκε από ιαπωνικό ναυπηγείο, το 1962. Το πλοίο διατηρούσε τέσσερις πρισματικές διαμορφωμένες (σαν κουτιά) δεξαμενές κατασκευασμένες το 3 % από χάλυβα νικελίου, επιτρέποντας τη μεταφορά των φορτίων σε θερμοκρασίες τόσο χαμηλές όσο -48 °C. Οι πρισματικές δεξαμενές επέτρεψαν στα πλοία αυτά να μεγιστοποιήσουν την μεταφορική τους ικανότητα, καθιστώντας τα κατά συνέπεια ιδιαίτερα κατάλληλα για τη μεταφορά μεγάλων όγκων φορτίων όπως LPG, αμμωνία και βινύλιο χλωριδίου για μεγάλες αποστάσεις. Σήμερα, κυμαίνονται από 20.000 έως 100.000 m^3.

Οι κύριοι τύποι συστημάτων συγκράτησης φορτίου που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα πλήρως κατεψυγμένα σκάφη είναι ανεξάρτητες δεξαμενές που έχουν άκαμπτη μόνωση αφρού. Παλαιότερα σκάφη μπορεί να έχουν ανεξάρτητες δεξαμενές γεμισμένα με μόνωση περλίτη. Στο παρελθόν έχουν υπάρξει μερικά πλήρως κατεψυγμένα σκάφη που ναυπηγούνται με ημι-μεμβράνη (semi-membrane)ή τις ακέραιες δεξαμενές και τις εσωτερικές δεξαμενές μόνωσης αλλά αυτά τα συστήματα έχουν διατηρήσει μόνο ελάχιστο ενδιαφέρον.

Σχήμα 9: Fully refrigerated LPG carrier

Πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG)

Στο ίδιο σχεδόν χρόνο με την ανάπτυξη των fully refrigerated LPG πραγματοποιούταν, οι ναυπηγοί αντιμετώπιζαν την πιο απαιτητική πρόκληση τη μεταφορά LNG. Το φυσικό αέριο, ένα καθαρό, μη τοξικό καύσιμο, είναι τώρα η τρίτη σπουδαιότερη πηγή ενέργειας στον κόσμο, μετά το πετρέλαιο και τον άνθρακα. Επειδή το αέριο σε υγροποιημένη μορφή καταλαμβάνει πολύ λιγότερο όγκο, και λόγω της κρίσιμης θερμοκρασίας του υγροποιημένου μεθανίου, η θαλάσσια μεταφορά LNG έχει μόνο νόημα από μια εμπορική άποψη εάν μεταφέρεται σε υγροποιημένη μορφή υπό ατμοσφαιρική πίεση και έτσι δημιουργεί μια μεγαλύτερη πρόκληση στη μηχανική, κυρίως επειδή πρέπει να μεταφερθεί σε πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία από τα LPG, το σημείο βρασμού του είναι -162 °C.

Τα LNG πλοία που έχουν κατασκευαστεί χρησιμοποιούν είτε δεξαμενές μεμβρανών τύπου TGZ Mark III που κατασκευάζονται από ανοξείδωτο ατσάλι, της εταιρείας Technigaz, τύπου GT96 που είναι δεξαμενές που αποτελούνται από δύο λεπτές στρώσεις μεμβράνης, είτε πρισματικές δεξαμενές τύπου B (IHI) ή σφαιρικές δεξαμενές (Moss Tanks) της εταιρείας Moss Maritime. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιήθηκαν και δεξαμενές τύπου CS1, οι οποίες αποδείχθηκαν ελαττωματικές με πολλά μειονεκτήματα. Τα LNG πλοία κυμαίνονται μεταξύ 125.000 και 160.000 m^3 μεταφορικής ικανότητας.

Σχήμα 10: Πλοίο μεταφοράς υγροποιημένων αερίων LNG

Εμπορευματοκιβώτιο βυτίο

Τα βυτία αυτά περιγράφηκαν στη παράγραφο 1.5.1 για σιδηροδρομική ή οδική μεταφορά, αλλά χρησιμοποιούνται και για θαλάσσιες μεταφορές.

Ο Κώδικας για τη Μεταφορά Επικίνδυνων Φορτίων (IMDG) του Διεθνούς Οργανισμού Ναυτιλίας (IMO) ταξινομεί του βασικούς τύπους βυτίων ως εξής:

Τύποι 1, 2 και 4	Υγρά
Τύποι 5 και 6	Συμπυκνωμένα αέρια
Τύποι 7 και 8	Κρυογενικά υγρά
Δεν υπάρχει εμπορευματοκιβώτιο τύπου 3	

Πίνακας 2: Βασικοί τύποι βυτίων (Κανονισμός IMO)

Συνήθως τα παραπάνω εμπορευματοκιβώτια σχεδιάζονται για να καλύπτουν 6,1 m (20 ft) μήκους σε ένα αμπάρι πλοίου (π.χ. είναι διαστάσεων 6 x 2,4 x 2,4 m). Υπάρχουν και containers με μη τυποποιημένες διαστάσεις, αλλά επειδή αυτά μεταφέρονται στο κατάστρωμα, η μεταφορά τους είναι ακριβότερη.

1.5.3 ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

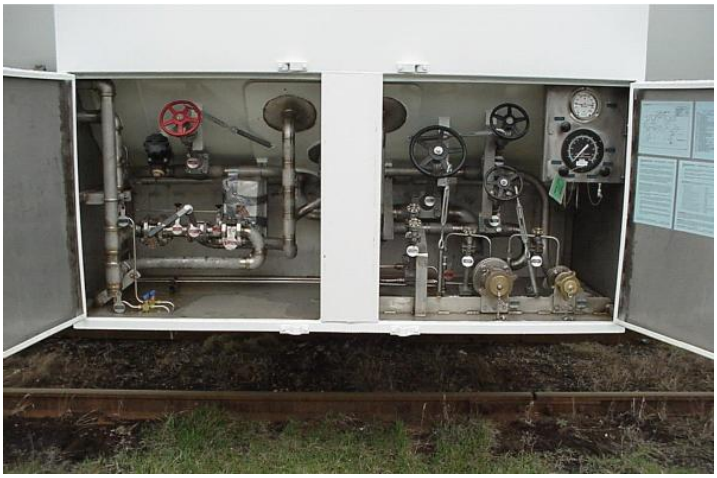
Στο τομέα των τραίνων κατάλληλα μέσα για την μεταφορά υγροποιημένου αερίου είναι οχήματα τύπου λεωφορείων και αυτοκινήτων.

Πάνω από 1 εκατομμύριο οχήματα παγκοσμίως χρησιμοποιούνται για την μεταφορά πολλών γαλονιών LNG.

Οι δεξαμενές που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά του LNG δεν διαφέρουν σε σχεδιασμό από αυτές που είναι κατάλληλες για το οδικό δίκτυο. Για την μεταφορά άνω των 76.000 λίτρων υγροποιημένο αερίου χρησιμοποιούνται μεγαλύτερες δεξαμενές τύπου αυτοκινήτου (rail car).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το DOT-113C120W που είναι τύπου rail car και έχει χωρητικότητα 34.500 γαλόνια και μπορεί να μεταφέρει 30681 γαλόνια LNG.

Σχήμα 11: Rail Car τύπου DOT-113C120W



Σχήμα 12: Εσωτερική διάταξη του Rail Car DOT-113C120W

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

2

ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ BLEVE

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

2.1.1 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΚΡΗΞΗΣ

2.1.2 ΑΝΑΦΛΕΞΗ ΚΑΙ ΕΚΤΟΝΩΣΗ

2.1.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΚΡΗΞΕΩΝ

2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ BLEVE

2.3 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΥΜΒΑΝΤΑ

2.3.1 ALBERT CITY, IOWA (9 ΑΠΡΙΛΙΟΥ 1998)

2.3.2 BURNSIDE, ILLINOIS, (2 ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 1997)

2.3.3 ELIZABETH DE WARWICK, QEBEC, CANADA (27 ΙΟΥΝΙΟΥ 1993)

2.3.4 ΚΑΜΕΝΑ ΒΟΥΡΛΑ, ΕΛΛΑΔΑ (ΑΠΡΙΛΙΟΣ 1999)

2.3.5 ΣΥΝΟΨΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ένας σημαντικός κίνδυνος που απορρέει από πιθανό ατύχημα κατά τη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων είναι η έκρηξη. Στη βιομηχανία, οι εκρήξεις προκαλούν συνήθως αριθμητικά λιγότερα σοβαρά ατυχήματα από τις φωτιές και περισσότερα από τις διαρροές τοξικών υλικών. Ωστόσο, όταν συμβεί κάποια έκρηξη, οι απώλειες, τόσο σε έμψυχο όσο και σε άψυχο υλικό, είναι κατά κανόνα μεγαλύτερες από αυτές που σημειώνονται σε αντίστοιχες πυρκαγιές. Γενικά θεωρείται ότι οι εκρήξεις διαθέτουν δυναμικό καταστροφής μεγαλύτερο από αυτό της φωτιάς, αλλά μικρότερο από αυτό της διαρροής τοξικών χημικών. Η πρώτη αναφορά της συμβουλευτικής επιτροπής για τους σημαντικότερους κινδύνους (Advisory Committee on Mazor Hazards, ACMH – Harvey 1976) διατυπώνει:

«*Στην περίπτωση των εύφλεκτων υλών, η μεγαλύτερη απειλή είναι η μαζική διαφυγή πτητικών υγρών ή αερίων που θα μπορούσαν να δημιουργήσουν ένα μεγάλο νέφος εύφλεκτων και πιθανά εκρηκτικών ατμών. Αν οι ατμοί αυτοί αναφλεγούν, οι επιπτώσεις της καύσης θα εξαρτηθούν από πολλούς παράγοντες, ανάμεσα στους οποίους είναι η ταχύτητα του ανέμου και ο βαθμός της αραίωσης του νέφους στον ατμοσφαιρικό αέρα. Η χειρότερη πιθανή συνέπεια είναι μεγάλος αριθμός απωλειών σε ανθρώπινες ζωές και καταστροφές στην περιοχή του ατυχήματος και πέρα από αυτή. Μια σημαντική πτυχή της απειλής αυτής είναι το μικρό χρονικό διάστημα που μεσολαβεί ανάμεσα στην εμφάνιση της διαρροής και την έναρξη πυρκαγιάς ή την έκρηξη, το οποίο μπορεί να είναι μικρότερο του ενός λεπτού*».

2.1.1 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΚΡΗΞΗΣ

Έκρηξη ονομάζεται η ξαφνική και βίαιη απελευθέρωση ενέργειας. Η βιαιότητα της έκρηξης εξαρτάται από το ρυθμό απελευθέρωσης της ενέργειας αυτής. Η ενέργεια που βρίσκεται αποθηκευμένη σε ένα λάστιχο αυτοκινήτου για παράδειγμα, είναι ικανή να προκαλέσει ξαφνικό «σκάσιμό» του, ή απλά «ξεφούσκωμα» με σταδιακή απώλεια του αέρα. Υπάρχουν πολλά είδη ενέργειας που μπορούν να εκλυθούν σε μία έκρηξη. Τα τρία βασικότερα είναι:

1. φυσική ενέργεια
2. χημική ενέργεια και
3. πυρηνική ενέργεια.

Η δυναμική (φυσική) ενέργεια υπάρχει με τη μορφή της πίεσης σε πεπιεσμένα αέρια, της τάσης σε μεταλλικές κατασκευές, ή της ηλεκτρικής ενέργειας. Χαρακτηριστικά παραδείγματα βίαιης εκτόνωσης φυσικής ενέργειας είναι η έκρηξη δοχείου λόγω υπερπίεσης ή η ξαφνική διάρρηξή του λόγω ύπαρξης αδύνατου σημείου στο τοίχωμα από φθορά. Άλλη μία σημαντική μορφή φυσικής ενέργειας είναι η θερμική ενέργεια. Συνήθως παίζει ρόλο στη δημιουργία συνθηκών για πρόκληση έκρηξης και όχι ως πηγή ενέργειας για την ίδια την έκρηξη. Για παράδειγμα η υπερθέρμανση δοχείου που περιέχει υγρό υπό πίεση προκαλεί απότομη εκτόνωση του υγρού αν ανοιχθεί σε ατμοσφαιρική πίεση.

Η χημική ενέργεια πηγάζει από τις χημικές αντιδράσεις. Παραδείγματα βίαιης απελευθέρωσης χημικής ενέργειας είναι η έκρηξη δοχείου λόγω καύσης εύφλεκτου αερίου και η έκρηξη ενός αντιδραστήρα εξαιτίας αποσύνθεσης των προϊόντων της αντίδρασης κατά τη διάρκεια μίας χημικής αντίδρασης που βρίσκεται εκτός ελέγχου

2.1.2 ΑΝΑΦΛΕΞΗ ΚΑΙ ΕΚΤΟΝΩΣΗ

Οι εκρήξεις που προέρχονται από καύση εύφλεκτου αερίου κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες:

1. ανάφλεξη (deflagration) και
2. εκτόνωση (detonation).

Στην ανάφλεξη, το εύφλεκτο μίγμα καίγεται σχετικά αργά. Για μίγματα υδρογονανθράκων – αέρα η ταχύτητα ανάφλεξης είναι περίπου 1 m/sec. Η διαδικασία της εκτόνωσης είναι εντελώς διαφορετική. Το μέτωπο της φλόγας μετακινείται με τη μορφή κρουστικού κύματος ακολουθούμενο από το θερμικό κύμα της καύσης που τροφοδοτεί με ενέργεια και συντηρεί το πρώτο. Στη σταθερή κατάσταση, το μέτωπο της εκτόνωσης έχει αναπτύξει ταχύτητα ίση με αυτή του ήχου όσων αφορά την κίνηση των υπέρθερμων προϊόντων της καύσης και συνεπώς πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα στο άκαυστο μίγμα. Για μίγματα υδρογονανθράκων - αέρα η ταχύτητα εκτόνωσης είναι της τάξης των 2000 – 3000 m/sec ενώ η ταχύτητα του ήχου στον αέρα (0 ^{o}C) μόλις 330 m/sec. Η εκτόνωση δημιουργεί μεγαλύτερες υπερπιέσεις και είναι περισσότερο καταστροφική από μία ανάφλεξη. Η εκτόνωση αποτελεί τη πιο επικίνδυνη μορφή έκρηξης και μπορεί να συμβεί σε εκρηκτικές ουσίες, σε εκρηκτικά μίγματα αερίων και σε νέφη αερίων. Η ανάφλεξη είναι δυνατόν να εξελιχθεί σε εκτόνωση ειδικότερα κατά τη διαδρομή σε ένα επιμήκη σωλήνα.

2.1.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΚΡΗΞΕΩΝ

Οι εκρήξεις κατά τη μεταφορά επικίνδυνων υλικών κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες:

1. **Φυσικές εκρήξεις (Physical explosions).**
   a. υπερπίεση συστήματος υπό πίεση
   b. υποπίεση συστήματος
   c. άνοδος της θερμοκρασίας πάνω από το κανονικό σε συστήματα υπο πίεση
   d. πτώση της θερμοκρασίας κάτω από το κανονικό σε συστήματα υπό πίεση.

2. **Εκρήξεις συμπυκνωμένης φάσης (Condensed phase explosions).**
   a. πολύ εκρηκτικές ύλες
   b. νιτρικό αμμώνιο
   c. οργανικά υπεροξείδια
   d. χλωρικό νάτριο

3. **Εκρήξεις αερίου νέφους (Vapour cloud explosions).**

4. **Εκρήξεις τύπου BLEVE (Boiling liquid expanding vapour explosions (BLEVE's).**
   a. υγροποιημένα αέρια

Στη παρούσα εργασία, θα μας απασχολήσει μόνο η τελευταία κατηγορία, η οποία και αναπτύσσεται εκτενέστερα στην επόμενη παράγραφο.

2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ BLEVE

Το φαινόμενο **BLEVE** (**B**oiling **L**iquid **E**xpanding **V**apour **E**xplosions) λαμβάνει κατά κανόνα χώρα όταν ένα κλειστό δοχείο που περιέχει εύφλεκτο υγρό εκτίθεται σε φωτιά με αποτέλεσμα το μέταλλο από το οποίο είναι κατασκευασμένο να χάσει την μηχανική αντοχή του και να υποστεί διάρρηξη. Όταν το δοχείο που περιέχει το εύφλεκτο υλικό υπό πίεση θερμανθεί, η πίεση των ατμών του ανεβαίνει, αυξάνοντας την πίεση στο εσωτερικό του δοχείου. Σε περίπτωση που η πίεση των ατμών του ανεβαίνει, αυξάνοντας την πίεση στο εσωτερικό του δοχείου. Σε περίπτωση που η πίεση αυξηθεί τόσο ώστε να φτάσει την τιμή της ρύθμισης της βαλβίδας ανακούφισης, η τελευταία ανοίγει. Η στάθμη του υγρού μέσα στο δοχείο υποχωρεί καθώς οι ατμοί ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Το υγρό είναι αρκετά αποτελεσματικό όσον αφορά την ψύξη των τοιχωμάτων του δοχείου που βρίσκεται σε επαφή, το σχηματιζόμενο όμως αέριο όχι. Το τμήμα του τοιχώματος που βρίσκεται σε επαφή με την υγρή φάση μειώνεται σταδιακά καθώς το υγρό εξατμίζεται. Στη συνέχεια το μεταλλικό περίβλημα που δεν ψύχεται πλέον, έρχεται σε επαφή με τις φλόγες με αποτέλεσμα την υπερθέρμανσή του, την εξασθένηση της μηχανικής αντοχής του και την πιθανή διάρρηξή του. Αυτό μπορεί να συμβεί ακόμα και στην περίπτωση που λειτουργήσει κανονικά η βαλβίδα ανακούφισης.

Τα δοχεία υπό πίεση είναι κατασκευασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να αντέχουν πιέσεις της τάξης της ονομαστικής πίεσης λειτουργίας της βαλβίδας, σε κανονικές όμως θερμοκρασιακές συνθήκες. Με την άνοδο της θερμοκρασίας το μέταλλο χάνει την αντοχή του και δεν μπορεί να ανταπεξέλθει σε μεγάλες υπερπιέσεις. Στη πλειοψηφία των περιπτώσεων αναφορικά με το φαινόμενο BLEVE εμπλέκονται δοχεία πίεσης σταθερά, όπως δεξαμενές αποθήκευσης, ή κινητά όπως βυτιοφόρα και δεξαμενές σε σιδηροδρομικά βαγόνια που περιέχουν συνήθως κάποιο υγροποιημένο εύφλεκτο αέριο. Όταν η δεξαμενή εκτεθεί σε πυρκαγιά και κατά την πορεία υποστεί ρήξη, το αποτέλεσμα είναι κατά πάσα πιθανότητα μία πύρινη σφαίρα (fireball).

Ένα κοινό σενάριο ατυχήματος που οδηγεί συνήθως σε έκρηξη τύπου BLEVE είναι ο εκτροχιασμός μίας εμπορικής αμαξοστοιχίας με εύφλεκτο φορτίο: κάποια βαλβίδα ανακούφισης πίεσης ανοίγει, η διαρροή αναφλέγεται και η προκύπτουσα φωτιά πυρσού προκαλεί την υπερθέρμανση δεξαμενής διπλανού βαγονιού. Το περιεχόμενο υγρό υπερθερμαίνεται, η πίεση αυξάνεται και η βαλβίδα ανακούφισης ανοίγει με ταυτόχρονη ανάφλεξη των ατμών από τις παρακείμενες φλόγες. Για ένα χρονικό διάστημα το μεταλλικό περίβλημα ψύχεται από το υγρό που εφάπτεται στην επιφάνειά του, στη συνέχεια όμως, καθώς ολοένα και μεγαλύτερες ποσότητες υγρού εξαερώνονται, υπερθερμαίνεται, εξασθενίζει και διαρρηγνύεται. Μια μεγάλη

ποσότητα του εύφλεκτου υγροποιημένου αερίου απελευθερώνεται, αεριοποιείται και σχηματίζει ένα καιγόμενο νέφος ατμών, ή συχνότερα μια σφαιρική φωτιά.

Επιγραμματικά το φαινόμενο BLEVE μπορεί να περιγραφεί από τα εξής στάδια:

(1) διάρρηξη του δοχείου πίεσης
(2) διαρροή του υγρού στο περιβάλλον, συνέπεια της αστοχίας του δοχείου και
(3) ανάφλεξη του ρευστού και σχηματισμός πύρινης σφαίρας.

Σχήμα 13: Στάδια του φαινομένου BLEVE

Η έκρηξη τύπου BLEVE ενός δοχείου υπό πίεση που περιέχει εύφλεκτο υγρό έχει τα ακόλουθα αποτελέσματα:

(1) ωστικό κύμα
(2) εκτόξευση θραυσμάτων και
(3) δημιουργία πύρινης σφαίρας.

Το φαινόμενο BLEVE δημιουργεί αφενός υπερπίεση. Τα φαινόμενα που σχετίζονται με την υπερπίεση αυτή είναι:

a) η διαστολή του ρευστού
b) η ταχύτατη αεριοποίηση του υγρού και
c) η καύση των ατμών.

Τα γεγονότα αυτά δεν συμβαίνουν ταυτόχρονα αλλά μπορούν να εκτιμηθούν ως ξεχωριστά αποτελέσματα.

Η έκρηξη τύπου BLEVE προκαλεί αφετέρου θραύσματα (missiles). Τα θραύσματα είναι μικρά ή μεγαλύτερα τεμάχια διαφόρων υλικών, που προέρχονται είτε από το περιβάλλον της έκρηξης, είτε από το υλικό του ίδιου του δοχείου. Οι πιέσεις που αναπτύσσονται κατά τη στιγμή της έκρηξης είναι πολύ μεγάλες με αποτέλεσμα την εκτόξευση τεμαχίων από διάφορα υλικά προς όλες τις κατευθύνσεις. Σε πολλές περιπτώσεις η ορμή είναι τόση που ολόκληρο το δοχείο εκτοξεύεται σε μεγάλη απόσταση.

Τέλος, το φαινόμενο BLEVE που είναι επακόλουθο έκθεσης ολόκληρου του δοχείου με το εύφλεκτο ρευστό σε φωτιά έχει σα συνέπεια τη δημιουργία φωτιάς με τη μορφή της πύρινης σφαίρας (fireball).

Στην πραγματικότητα δεν είναι απαραίτητη η εμπλοκή ενός εύφλεκτου υγρού σε μια έκρηξη τύπου BLEVE. Η διάρρηξη δοχείου πίεσης που περιέχει οποιοδήποτε υπέρθερμο υγρό (ακόμα και νερό) μπορεί να οδηγήσει σε BLEVE. Επιπρόσθετα, παρόλο που κατά κανόνα η έκθεση του δοχείου πίεσης σε φωτιά αποτελεί αιτία πρόκλησης BLEVE, δε θεωρείται απαραίτητη προϋπόθεση για το χαρακτηρισμό του είδους της έκρηξης. Γενικά οποιαδήποτε διάρρηξη δοχείου με υπέρθερμο υγρό ατμό μπορεί να ονομαστεί έκρηξη τύπου BLEVE. Είναι συνεπώς πιθανό – αλλά όχι συνηθισμένο – μία έκρηξη BLEVE που δεν προκλήθηκε από έκθεση δεξαμενής σε φλόγες, να αποτελέσει την ατία διαρροής μεγάλων ποσοτήτων εύφλεκτων ατμών οδηγώντας σε φωτιά ή και έκρηξη νέφους αερίου.

Ο χρόνος που μεσολαβεί από τη στιγμή του ατυχήματος μέχρι την εκδήλωση του φαινομένου BLEVE σύμφωνα με πειραματικές μετρήσεις είναι συνήθως 5 – 30 λεπτά. Όσον αφορά τον τρόπο της διάρρηξης, φαίνεται πως τα κυλινδρικά δοχεία αστοχούν κατά μήκος του μεγάλου άξονά τους, ενώ καταγράφηκαν και περιπτώσεις αστοχιών κατά μήκος της περιμέτρου των δοχείων. Στην τελευταία περίπτωση τα κομμάτια έχουν την τάση να εκτοξεύονται με τη μορφή βολίδας σε μεγάλες αποστάσεις. Αξίζει να σημειωθεί τέλος, ότι οι δεξαμενές σφαιρικού σχήματος, έχουν την τάση να εμφανίζουν μηχανική αστοχία στο υψηλότερο σημείο (την κορυφή) τους.

Σχήμα 14: Έκρηξη τύπου BLEVE σε βυτίο

2.3 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΥΜΒΑΝΤΑ

Το φαινόμενο BLEVE εμφανίζεται σε πολλά παραδείγματα εκρήξεων και έχει προκαλέσει μεγάλες καταστροφές και πολλούς θανάτους. Παρακάτω, γίνεται σύντομη περιγραφή ορισμένων εκρήξεων που σημειώθηκαν.

2.3.1 ALBERT CITY, IOWA (9 ΑΠΡΙΛΙΟΥ 1998)

Την Πέμπτη 9 Απριλίου του 1998 αναφέρθηκε μια πυρκαγιά σε μεγάλη μονάδα εκτροφής γαλοπουλών κοντά στο Albert City. Η πυρκαγιά προκλήθηκε όταν όχημα με 2 εφήβους χτύπησε 2 αγωγούς που μετέφεραν υγρό προπάνιο περιεκτικότητας 68.220 L σε δύο δεξαμενές. Οι έφηβοι μπόρεσαν να ξεφύγουν και κατέφυγαν σε διπλανό αγρόκτημα για να καλέσουν το τηλέφωνο έκτακτης ανάγκης. Η δεξαμενή με το υγροποιημένο αέριο βρισκόταν μεταξύ τριών κτιρίων τα οποία ήταν κατασκευασμένα από μέταλλο και ξύλο. Σύμφωνα με την αρχική αναφορά υπήρχε φωτιά κάτω από την δεξαμενή προπανίου και εκτονώθηκε μέσω του συστήματος εξαερισμού. Η πυροσβεστική υπηρεσία οργάνωσε επιχείρηση για να προστατευτούν τα εκτεθειμένα κτίρια. Οι κύριες εξελίξεις της έκρηξης που σημειώθηκε είναι:

- Η έλλειψη προστασίας γύρω από την εγκατάσταση της δεξαμενής LP και του υπόλοιπου εξοπλισμού
- Η πρόσπτωση της φλόγας στην δεξαμενή προπανίου, με αποτέλεσμα το κέλυφος της δεξαμενής να αποδυναμώσει και τελικά να σπάσει.
- Η εγγύτητα των επιχειρήσεων της πυροσβεστικής υπηρεσίας στη δεξαμενή LP, ενώ η δεξαμενή ήταν άμεσα εκτεθειμένη στην φλόγα
- Η έλλειψη επαρκούς και αξιόπιστης παροχής νερού σε άμεση γειτνίαση με την περιοχή για να δοθεί επαρκής ροή για την ψύξη των δεξαμενών LP
- Η απόφαση για την προστασία των εκτεθειμένων κτιρίων και την αδυναμία μεταφοράς όλου του προσωπικού σε μια ασφαλή θέση λόγω της πυρκαγιάς.
- Αυτό το κομμάτι πέρασε από τα βόρεια κτίριο και συνελήφθη από ένα σιλό πάνω από 150 πόδια (45,7 μ) από την αρχική θέση της δεξαμενής LP

Η έκρηξη προκάλεσε τον θάνατο 2 πυροσβεστών και των τραυματισμό άλλων 5. Η φωτιά έσβησε αφήνοντας μικρές εστίες που αντιμετωπίστηκαν από το πυροσβεστικό σώμα.

2.3.2 BURNSIDE, ILLINOIS, (2 ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 1997)

Δύο πυροσβέστες εθελοντές σκοτώθηκαν και άλλοι δύο τραυματίστηκαν σοβαρά από έκρηξη BLEVE ενώς γαλονιού υγροποιημένου φυσικού αερίου η οποία οφειλόταν σε πυρκαγιά κοντινού μηχανήματος.

Οι πυροσβέστες κατέφυγαν πίσω από το κτίριο της δεξαμενής για την παροχή νερού με σκοπό την ψύξη της δεξαμενής. . Μέσα σε λίγα λεπτά από την άφιξή την πυροσβεστική υπηρεσία η δεξαμενή LP εξερράγη στέλνοντας μεγάλα κομμάτια προς όλες τις κατευθύνσεις. Τα κομμάτια του LP δεξαμενής χτύπησαν άτομα του πυροσβεστικού σώματος με αποτέλεσμα να προκληθούν 2 θάνατοι.

2.3.3 ELISABETH DE WARWICK, QUEBEC, CANADA (27 ΙΟΥΝΙΟΥ 1993)

Αρχικά η Πυροσβεστική Υπηρεσία ανταποκρίθηκε σε μια έκθεση πυρκαγιάς σε έναν αχυρώνα. Όταν έφθασαν περίπου στις 9:12 π.μ. η πυροσβεστική βρήκε ένα μεγάλο φλεγόμενο στάβλο βοοειδών με περίπου 4000 λίτρα (1055 γαλόνι) σε δεξαμενή προπανίου σε κοντινό σημείο. Οι οπές εξαερισμού λειτουργούσαν επί της δεξαμενής ενώ οι φλόγες έφταναν στα 16 πόδια στον αέρα. Στην προσπάθεια των πυροσβεστών να ψύξουν την δεξαμενή αυτή διαχωρίστηκε σε δύο μεγάλα κομμάτια. Η έκρηξη έστειλε ένα από τα κομμάτια σε ένα ανοικτό πεδίο, ενώ το άλλο κομμάτι ταξίδεψε για πάνω από 45 μέτρα (150 πόδια), και χτύπησε ένα πυροσβεστικό όχημα, και συνέχισε για άλλα 230 μέτρα (754 πόδια), όπου χτύπησε ένα όχημα σταθμευμένο. Τρεις πυροσβέστες έχασαν τη ζωή τους όταν το κομμάτι χτύπησε τον κινητήρα του πυροσβεστικού οχήματος. Ο τέταρτος πυροσβέστης σκοτώθηκε όταν εκσφενδονίστηκε 45 μέτρα (150 πόδια) ως το μέρος της δεξαμενής του LNG.

Από την έκρηξη τραυματίστηκαν επίσης τρεις πυροσβέστες καθώς και τέσσερις άμαχοι, συμπεριλαμβανομένου ενός επιβάτη του οχήματος επί της οδού.

2.3.4 ΚΑΜΕΝΑ ΒΟΥΡΛΑ, ΕΛΛΑΔΑ (ΑΠΡΙΛΙΟΣ 1999)

Στην Ελλάδα το σημαντικότερο ατύχημα με φυσικό αέριο που προκάλεσε τον θάνατο 5 ατόμων και των τραυματισμό 15 συνέβη στα Καμένα Βούρλα.

Το βυτιοφόρο που μετέφερε αέριο καύσιμο υπό πίεση ελέγχτηκε από όχημα της τροχαίας. Ο οδηγός σταμάτησε σε παράνομη θέση παραβιάζοντας τον ΚΟΚ και την ADR. Στην συνέχεια,

ένα φορτηγό έπεσε στο βυτιοφόρο και προκλήθηκε πυρκαγιά. Ενώ εξελισσόταν το φαινόμενο BLEVE οι πυροσβέστες άρχισαν να ρίχνουν νερό. Οι πυροσβέστες και ο οδηγός του βυτιοφόρου σκοτώθηκαν από χτύπημα της λαμαρίνας. Σημαντική παράλειψη είναι η αδυναμία κλεισίματος της εθνικής οδού με αποτέλεσμα να τραυματιστούν οι οδηγοί διερχόμενων οχημάτων.

2.3.5 ΣΥΝΟΨΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

Γενικότερα, εξαιρώντας το φαινόμενο BLEVE έχουν γίνει πολλές εκρήξεις κατά την μεταφορά του υγροποιημένου φυσικού αερίου. Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται τα βασικότερα ατυχήματα:

ΕΤΟΣ	ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ
1944	**Cleveland, Ohio.** Δεξαμενή υγροποιημένου φυσικού αερίου κατασκευασμένη από χάλυβα χαμηλό σε νικέλιο υποστεί χαμηλή θερμοκρασία ψαθυρή θραύση και το περιεχόμενό της διέφυγε στους δρόμους και το αποχετευτικό σύστημα. Από την έκρηξη και πυρκαγιά σκοτώθηκαν 128 άνθρωποι.
1964	**Arzew, Αλγερία.** Κατά τη διάρκεια εργασιών φόρτωσης, κεραυνός έπληξε το σύστημα εξαερισμού ΥΦΑ δεξαμενόπλοιου Methane Progress και οδήγησε σε ανάφλεξή των ατμών. Μια παρόμοια περίπτωση που συνέβη στις αρχές του 1965, ενώ το σκάφος βρισκόταν στη θάλασσα αμέσως μετά την έξοδο από το Arzew. Και στις δύο περιπτώσεις, η φλόγα σβήστηκε γρήγορα
1965	**Jules Verne Spill, Arzew, Αλγερία.** Διαρροή ΥΦΑ από υπερχείλιση μιας δεξαμενής είχε ως αποτέλεσμα τη θραύση του Βανιζέ της δεξαμενής και των παρακείμενων στο κατάστρωμα βανιζέ
1971	**Esso Brega.** δεξαμενόπλοιο ΥΦΑ. Η πρώτη τεκμηριωμένη περίπτωση «ανατροπής» ΥΦΑ (Rollover) . Μια δεξαμενή αποθήκευσης ανάπτυξε μια ξαφνική αύξηση της πίεσης. Ατμοί ΥΦΑ ξέφυγαν από τις βαλβίδες ασφαλείας δεξαμενών και τις οπές αερισμού. Η οροφή της δεξαμενής υποστεί ελαφρά βλάβη
1972	**Ανατολικό Μόντρεαλ, Καναδά.** Κατά τη διάρκεια της απόψυξης των δραστηριοτήτων σε μια εγκατάσταση ΥΦΑ υπερσυμπίεση του συμπιεστή προκάλεσε είσοδο του φυσικό αέριο στο κεντρο έλεγχου, ακολουθούμενη από την έκρηξη, όταν ένας εργαζόμενος άναψε τσιγάρο.
	Staten Island, ΗΠΑ. Πυρκαγιά ξέσπασε σε εκτός λειτουργίας δεξαμενή ΥΦΑ που επισκευαζόταν. 40 εργαζόμενοι μέσα στη δεξαμενή σκοτώθηκαν.

1973	Υγροποιημένο φυσικό αέριο, το οποίο είχε διαρρεύσει κατά τη διάρκεια προηγούμενων εκφορτώσεων, είχε συσσωρευτεί στο έδαφος, κάτω και γύρω από τσιμεντένιο τοίχωμα της δεξαμενής.
1973	**Canvey Island, Ηνωμένο Βασίλειο.** Μια μικρή ποσότητα ΥΦΑ ήταν διέρρευσε σε νερά βροχής προκάλεσε έκρηξη των ατμών χωρίς φλόγες που είναι γνωστή ως «απότομη μετάβαση φάσης».
1977	**Arzew, Αλγερία.** Βλάβη σε βαλβίδα αλουμινίου από τις κρυογονικές θερμοκρασίες απελευθέρωσε ΥΦΑ, που οι ατμοί δεν αναφλέχθηκαν. Ένας εργαζόμενος καταψυχτεί και απεβίωσε .
1979	**Cove Point, Maryland ΗΠΑ,** Διαρροή ΥΦΑ από αντλία σε ηλεκτρικό υποσταθμό, με αποτέλεσμα έκρηξη που σκότωσε ένα εργαζόμενο και τραυματίστηκε σοβαρά άλλο. Έγιναν 3 εκατ. δολάρια ζημιές.
1983	**Bontang, Ινδονησία.** Ένα ρήγμα σε εγκατάσταση ΥΦΑ ως αποτέλεσμα της υπερπίεσης σε εναλακτή θερμότητας από μια κλειστή βαλβίδα
2004	**Skikda, Αλγερία.** Ένας ατμολέβητας που ήταν μέρος μιας εγκατάστασης ΥΦΑ εξερράγη, προκαλώντας μια δεύτερη, πιο μαζική έκρηξη νέφους ατμών ΥΦΑ και πυρκαγιά. 27 άτομα σκοτώθηκαν και 74 τραυματίστηκαν σοβαρά.
2004	**Ghislenghien Βέλγιο.** Αγωγός που μετέφερε αέριο από ένα τερματικό σταθμό ΥΦΑ στο Zeebrugge εξερράγη και σκότωσε 23 άτομα και τραυμάτισε σοβαρά 50.
2004	**Τρινιντάντ & Τομπάγκο.** Τον Ιούνιο του 2004, οι εργαζόμενοι είχαν εκκενωθεί πριν από έκρηξη σε αεριοστρόβιλο σε εγκατάσταση ΥΦΑ.
2004	**Νορβηγία.** Ένα δεξαμενόπλοιο ΥΦΑ με πλήρες φορτίο και πλήρωμα 14 κλυδωνίζεται δυτικά του Fedje, στη δυτική ακτή της Νορβηγίας, βόρεια του Μπέργκεν. Το πλοίο είχε σταματήσει τις μηχανές, και οι άγκυρες ήταν άχρηστες; στο θυελλώδη καιρό. Ρυμουλκά πλοία μπόρεσαν να ρυμουλκήσουν το δεξαμενόπλοιο μόλις 30 μέτρα πριν χτυπήσει σε βράχους. Ειχαν γίνει προετοιμασίες για να εκκενώσουν τα 800 άτομα που ζουν στο νησί της Fedje απο φόβο ότι το δεξαμενόπλοιο θα εκρήγνυτο αν προσάραζε
2005	**Νιγηρία.** Υπόγειος αγωγός ΥΦΑ εξερράγη και η πυρκαγιά που προκάλεσε εκτιμάτε ότι έκαψε 27 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Έντεκα άτομα αγνοούνται και η υδρόβια ζωή καταστράφηκε ολοσχερώς στην ψαράδικη κοινότητα Ogoloma στο Kalakama, στο νησί Okrika

Πίνακας 3: Ατυχήματα Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ, ΤΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

3.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ

3.2.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΔΙΑΡΡΟΕΣ ΤΟΞΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

3.2.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΦΩΤΙΕΣ

3.2.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΕΚΡΗΞΕΙΣ

3.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ – ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

3.3.1 ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΑΠΟ ΦΩΤΙΕΣ

3.3.2 ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΑΠΟ ΕΚΡΗΞΕΙΣ

3.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

3.4.1 Η ΕΞΑΣΘΕΝΙΣΗ ΤΗΣ ΣΤΙΒΑΔΑΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

3.4.2 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

3.4.3 ΟΞΙΝΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

3.4.4 ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ, ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΑΠΟΔΕΚΤΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Μία ορθολογική προσέγγιση των επιπτώσεων που οφείλονται σε ατυχήματα μεταφοράς επικίνδυνων φορτίων βασίζεται κυρίως στην κατανόηση αφενός της φύσης των ατυχημάτων και αφετέρου του είδους των καταστροφών που αυτά προκαλούν. Οι συνέπειες των ατυχημάτων είναι συνάρτηση του μεγέθους του κινδύνου που αυτά εγκυμονούν. Η κλιμάκωση του κινδύνου εξαρτάται από ένα αριθμό παραγόντων όπως η ποσότητα και το είδος του φορτίου, η ενέργεια, ο χρόνος, η σχέση έντασης- απόστασης και η έκθεση στον κίνδυνο.

Είναι ευνόητο ότι η ποσότητα και η φύση της επικινδυνότητας του μεταφερόμενου φορτίου καθορίζουν το μέγεθος των πιθανών απωλειών σε περίπτωση ατυχήματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα του επικίνδυνου υλικού και η αντιδραστικότητά του, τόσο μεγαλύτερο είναι και το καταστροφικό δυναμικό που αναμένεται να εκδηλωθεί σε κάποιο ατύχημα.

Όλα τα υλικά διαθέτουν ένα αποθηκευμένο ενεργειακό δυναμικό είτε λόγω χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στο εσωτερικό τους, είτε λόγω της κατάστασης στην οποία βρίσκονται. Πιο συγκεκριμένα, ένα υλικό που διατηρείται σε υγρή μορφή πάνω από το κανονικό σημείο βρασμού του, σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση, διαθέτει μεγάλες ποσότητες «φυσικής» ενέργειας, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε βίαιη ατμοποίησή του και επακόλουθη διασπορά του, αν υπάρξει απώλεια πίεσης στο δοχείο που το περιέχει. Από την άλλη πλευρά, ένα υλικό που διατηρείται ως κατεψυγμένο υγρό σε ατμοσφαιρική πίεση διαθέτει πολύ μικρότερα ποσά φυσικής ενέργειας και δεν εγκυμονεί κινδύνους βίαιων εκτονώσεων σε πιθανή διάρρηξη του δοχείου του.

Ο χρόνος υπεισέρχεται στην εκτίμηση του κινδύνου ως έκφραση του ρυθμού έκλυσης μιας χημικής ουσίας αλλά και του διαστήματος που μεσολαβεί μέχρι το συμβάν. Ο ρυθμός διαρροής ενός εύφλεκτου αερίου ή υγρού για παράδειγμα, καθορίζει το μέγεθος του σχηματιζόμενου εύφλεκτου νέφους ή αντίστοιχα της λίμνης εύφλεκτου υγρού. Από το ρυθμό έκλυσης, εντελώς ανάλογα, εξαρτάται ο κίνδυνος που ελλοχεύει κατά τη διαρροή ενός τοξικού αερίου. Από την άλλη πλευρά, ο χρόνος που διατίθεται για τη λήψη προστατευτικών μέτρων και την απομάκρυνση των εμπλεκόμενων ατόμων είναι επίσης σημαντική παράμετρος. Μία έκρηξη παρέχει συνήθως ελάχιστο χρόνο αντίδρασης που είναι της τάξης των λίγων δευτερολέπτων, ενώ μία διαρροή τοξικού υλικού προσφέρει κατά κανόνα περισσότερο χρόνο της τάξης των λίγων λεπτών.

Άλλο ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της επικινδυνότητας αποτελεί η απόσταση στην οποία είναι πιθανό να προκληθούν τραυματισμοί και υλικές καταστροφές. Σε γενικές γραμμές, η φωτιά θεωρείται μικρότερης εμβέλειας και η διαρροή τοξικού υλικού μεγαλύτερης, όσον αφορά το δυναμικό πρόκλησης απωλειών σε μεγάλες αποστάσεις, ενώ οι εκρήξεις τοποθετούνται κάπου στο ενδιάμεσο. Αναφορικά με την έκθεση του ανθρώπινου παράγοντα, η γνώση της ελάχιστης απόστασης ασφαλείας που θα πρέπει να τηρηθεί κατά περίπτωση ώστε να αποφευχθούν τραυματισμοί, είναι υψίστης σημασίας. Με βάση κριτήρια όπως η ένταση της θερμικής ακτινοβολίας και η υπερπίεση από φωτιές και εκρήξεις αντίστοιχα, προκύπτει μία απόσταση ασφαλείας της τάξης των 250-500 μέτρων, ανάλογα με την έκταση του συμβάντος. Στην περίπτωση τοξικού νέφους η απόσταση ασφαλείας είναι κατά κανόνα ακόμα μεγαλύτερη. Η μέγιστη ακτίνα δράσης των συνεπειών ενός ατυχήματος δεν είναι δυνατό να υπολογιστεί με μεγάλη ακρίβεια. Ένα από τα χαρακτηριστικότερα αποτελέσματα μιας έκρηξης είναι η θραύση υαλοπινάκων. Έχει αναφερθεί θραύση τζαμιών σε απόσταση μέχρι και 32 χιλιόμετρα από το επίκεντρο πολύ μεγάλης έκρηξης. Είναι όμως αμφίβολο κατά πόσο σε μια τέτοια περίσταση η ενέργεια των θραυσμάτων μπορεί να προκαλέσει τραυματισμό. Από την άλλη πλευρά, αρκετά σπάνιες - άλλα όχι απίθανες - είναι οι περιπτώσεις βιολογικών επιδράσεων από τοξικά αέρια σε αποστάσεις πλέον των 16 χιλιομέτρων από το σημείο της έκλυσης.

Μια παράμετρος που μπορεί να ελαττώσει σε αξιοσημείωτο βαθμό τις πιθανές ανθρώπινες απώλειες σε περίπτωση ατυχήματος είναι η μείωση ή και αποφυγή της έκθεσης των ατόμων που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή της ακτίνας δράσης των επιπτώσεων του ατυχήματος. Η μείωση της έκθεσης είναι δυνατό να επιτευχθεί με τη βοήθεια των μέτρων έκτακτης ανάγκης που λαμβάνονται έπειτα από την αναγνώριση του κινδύνου. Οι κυριότερες τακτικές προφύλαξης από την έκθεση στον κίνδυνο είναι ή απομάκρυνση από την περιοχή του ατυχήματος με προσωπική πρωτοβουλία ή στα πλαίσια οργανωμένης εκκένωσης και η αναζήτηση ασφαλούς καταφυγίου εντός κάποιου κτηρίου κ.λπ.. Τα μέτρα έκτακτης ανάγκης δε συνεπάγονται πάντα την εκκένωση της περιοχής του συμβάντος. Πολλές φορές σε περιπτώσεις εμφάνισης τοξικού νέφους, οι οδηγίες έκτακτης ανάγκης συνιστούν παραμονή του πληθυσμού εντός καλά σφραγισμένων (κλειστές πόρτες και παράθυρα) κτηρίων. Στον αντίποδα, οι εκρήξεις όπως προαναφέρθηκε δεν δίνουν συνήθως σημεία προειδοποίησης και κατά συνέπεια δεν υπάρχει χρόνος για εκκένωση των εμπλεκομένων. Ωστόσο, αν και το αρχικό συμβάν είναι απότομο και ξαφνικό, ανακύπτουν κίνδυνοι από επακόλουθες φωτιές και περαιτέρω εκρήξεις που ίσως καθιστούν επιτακτική τη μερική ή ολική εκκένωση της περιοχής.

Οι φωτιές, όπως είναι γνωστό, προκαλούν καταστροφές σε περιουσίες και περιβάλλον και θέτουν σε μεγάλο κίνδυνο τις ζωές των ανθρώπων που εμπλέκονται σε ατυχήματα προκαλώντας τραυματισμούς ή ακόμα και το θάνατο. Ανάλογες είναι και οι συνέπειες των εκρήξεων οι οποίες, αν και συμβαίνουν σπανιότερα, διαθέτουν δυναμικό πρόκλησης καταστροφών και θανάτων κατά πολύ μεγαλύτερο. Από την άλλη πλευρά η πιθανή διαρροή τοξικών υλικών έπειτα από ατύχημα, δεν προκαλεί μεν καταστροφές σε περιουσίες, ωστόσο θεωρείται -σε αναλογία πάντα με την έκταση της μόλυνσης- εξαιρετικά επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία και μπορεί να οδηγήσει άμεσα σε μαζικούς θανάτους. Ανυπολόγιστες είναι και οι επιβαρύνσεις που καλείται να επωμιστεί το περιβάλλον έπειτα από μία εκτεταμένη διαρροή τοξικών υλών τόσο στην ατμόσφαιρα όσο και το έδαφος, με μακροχρόνιες συνέπειες.

3.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ

Σε γενικές γραμμές, οι μεγάλοι αριθμοί θυμάτων από πυρκαγιές, εκρήξεις και διαρροές τοξικών που παρουσιάζονται σε αρκετές θεωρητικές μελέτες, προκύπτουν υποθέτοντας τις δυσμενέστερες δυνατές συγκυρίες και συνθήκες και βασίζονται σε μοντέλα υπολογισμών με τις πλέον απαισιόδοξες προβλέψεις. Η υπερεκτίμηση αυτή των απωλειών έρχονταν σε αντίθεση με τους αριθμούς των καταγεγραμμένων πραγματικών συμβάντων. Ως το 1984, οπότε και σημειώθηκε η καταστροφή στο Bhopal της Ινδίας, η ασυμφωνία αυτή ήταν παραπάνω από έκδηλη. Το περιστατικό του Bhopal που είχε σαν αποτέλεσμα το θάνατο 4.000 ανθρώπων έπειτα από διαρροή ισοκυανικού μεθυλίου σε εργοστάσιο, δικαίωσε σε μεγάλο βαθμό τις εκτιμήσεις των θεωρητικών μελετών.

Τα περισσότερα σχέδια εκτάκτου ανάγκης στα πλαίσια της διαδικασίας εκτίμησης του κινδύνου ατυχημάτων μεγάλης έκτασης χρησιμοποιούν πληροφορίες που αφορούν στα χαρακτηριστικά του εκτιθέμενου πληθυσμού. Ο πληθυσμός αυτός αποτελείται από δύο ομάδες: τα άτομα που εργάζονται στον τόπο του ατυχήματος (πλήρωμα, οδηγός, χειριστές κ.λπ.) και τα άτομα του γενικού πληθυσμού που ζουν ή εργάζονται στην ευρύτερη περιοχή του ατυχήματος. Είναι συνήθως εύκολο να προβλεφθεί ο αριθμός των εργαζομένων που εμπλέκονται άμεσα με το σημείο του συμβάντος, δεν ισχύει όμως το ίδιο για την περίπτωση του γενικού πληθυσμού. Τα δεδομένα που απαιτούνται προκειμένου να εκτιμηθεί το μέγεθος του εκτιθέμενου πληθυσμού είναι:

α) η πληθυσμιακή πυκνότητα

β) η σύνθεση του πληθυσμού

γ) οι αλλαγές της πυκνότητας ανάλογα με την ώρα της ημέρας

δ) οι ευάλωτες κατηγορίες του πληθυσμού και

ε) τα άτομα που βρίσκονται σε εξωτερικούς χώρους.

Η πληθυσμιακή πυκνότητα είναι η μαθηματική έκφραση του αριθμού των ατόμων ανά μονάδα επιφάνειας, συνήθως άτομα ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο (άτομα/km^2). Η πυκνότητα του πληθυσμού μπορεί να εκτιμηθεί με ακρίβεια μέσω των στοιχείων της τελευταίας απογραφής. Υπάρχουν επίσης προσεγγιστικά μοντέλα υπολογισμού που προβλέπουν πυκνότητες 4000 κατοίκων ανά km^2 για αστικές περιοχές και 100 κατοίκους ανά km^2 για αγροτικές περιοχές.

Η ανάλυση της σύνθεσης του πληθυσμού αναφέρεται στην κατηγοριοποίηση των ατόμων ανάλογα με την ηλικία το φύλο και τις επαγγελματικές τους δραστηριότητες, ώστε να είναι δυνατή η κατά προσέγγιση εκτίμηση της παραμονής τους στο σπίτι, το χώρο εργασίας ή σε εξωτερικό χώρο σε συνδυασμό πάντα με την ώρα της ημέρας.

Ορισμένα άτομα του πληθυσμού τείνουν να εμφανίζουν μεγαλύτερη ευαισθησία και να είναι περισσότερο ευάλωτα στους κινδύνους που συνεπάγονται τα τοξικά ατυχήματα. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν κατά κανόνα τα παιδιά, οι ηλικιωμένοι και τα άτομα με ειδικές ανάγκες. Στην πράξη, γίνεται μια πρώτη ομαδοποίηση του γενικού πληθυσμού σε ενήλικες εργάσιμης ηλικίας από τη μία πλευρά και σε μικρά παιδιά και ηλικιωμένους από την άλλη. Εκτιμάται ότι η πρώτη ομάδα αντιστοιχεί περίπου στο 75% του πληθυσμού και η δεύτερη στο 25%.

Αναφορικά με την κίνηση των ατόμων σε υπαίθριους χώρους θεωρείται (Petts, Lees and Withers, 1987) ότι ο γενικός πληθυσμός της πρώτης ομάδας παραμένει εκτός κτηρίων περίπου 1 ώρα καθημερινά, ενώ για τη δεύτερη ο χρόνος παραμονής λαμβάνεται 1,5 ώρα. Γίνεται επίσης η παραδοχή ότι κατά τις ώρες 18:30 έως 08:00 το ποσοστό των ατόμων που βρίσκονται σε εξωτερικούς χώρους είναι 1%.

Σύμφωνα με την Βρετανική Ένωση για τα συμπιεσμένα αέρια (British Compressed Gases Assocoation, BCGA, 1984) ο χρόνος αντίδρασης ενός ανθρώπου σε μία έκτακτη και απρόσμενη κατάσταση κυμαίνεται μεταξύ 5 και 20 δευτερόλεπτων. Πιο συγκεκριμένα:

(1) Το 5% του πληθυσμού (όπως τα βρέφη και τα άτομα με ειδικές ανάγκες) είναι ανίκανα για οποιαδήποτε αντίδραση.

(2) Το 95% του πληθυσμού είναι ικανό να αντιδράσει ως ακολούθως:

το 80% αντιδρά μέσα σε 15 δευτερόλεπτα,

το 25% αντιδρά μέσα σε 10 δευτερόλεπτα και

το 10% αντιδρά μέσα σε 7,5 δευτερόλεπτα.

Θεωρείται τέλος, ότι κανένα άτομο δεν είναι σε θέση να αντιδράσει εντός 5 δευτερολέπτων.

Το σύνολο των παραπάνω πληροφοριών είναι δυνατό να απεικονίσει αφενός την κατανομή του γενικού πληθυσμού σε χωροχρονικό επίπεδο και αφετέρου να οδηγήσει σε πολύτιμα συμπεράσματα όσον αφορά το είδος και την έκταση των μέτρων έκτακτης ανάγκης κατά περίπτωση.

3.2.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΔΙΑΡΡΟΕΣ ΤΟΞΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

Από τα σημαντικότερα ατυχήματα που αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία μόνο ένα μικρό ποσοστό αφορά διαρροές τοξικών υλών. Οι διαρροές αυτές διασκορπίζονται συνήθως πολύ γρήγορα προκαλώντας σχετικά μικρές ανθρώπινες απώλειες. Η τοξική δόση που δέχεται ο οργανισμός είναι συνάρτηση του χρόνου έκθεσης του ατόμου και συνεπώς επηρεάζεται από παραμέτρους που αφορούν την πληθυσμιακή κατανομή στον τόπο του ατυχήματος. Οι τοξικές χημικές ουσίες εισέρχονται στον οργανισμό με τρεις τρόπους:

α) την αναπνοή,
β) την κατάποση και
γ) με εξωτερική επαφή.

Κατά κανόνα, τα αέρια, οι ατμοί, οι καπνοί και οι σκόνες εισπνέονται, ενώ τα υγρά και τα στερεά καταπίνονται. Η είσοδος των χημικών ουσιών στο σώμα μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί με απορρόφηση από το δέρμα, τα μάτια, το στόμα, το λάρυγγα και το ουροποιητικό σύστημα. Η έκθεση σε ορισμένους χημικούς παράγοντες έχει σαν αποτέλεσμα την πρόκληση προσωρινών ή και μόνιμων βλαβών στον οργανισμό του ανθρώπου. Το εύρος και η έκταση των βλαβών αυτών ποικίλουν, ενώ τα συμπτώματα μπορούν να εκδηλωθούν άμεσα ή έπειτα από πολλά χρόνια. Τα άμεσα (acute) συμπτώματα είναι συνέπεια μίας μόνο έκθεσης σε υψηλές συγκεντρώσεις κάποιου τοξικού παράγοντα. Αντίθετα, τα χρόνια (chronic) μπορούν να εμφανιστούν έπειτα από πολύχρονη και επαναλαμβανόμενη έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις της χημικής ουσίας. Υπάρχει ωστόσο η περίπτωση οι βιολογικές επιπτώσεις μίας έκθεσης σε υψηλής συγκέντρωσης τοξική ουσία να παρουσιαστούν αρκετά αργότερα. Μία τοξική ουσία είναι δυνατό να επιφέρει βαθμιαίες (graded) ή επιλεκτικές (quantum) επιδράσεις στον οργανισμό. Η βαθμιαία επίδραση χαρακτηρίζει τα συμπτώματα εκείνα που εμφανίζουν προοδευτική επιδείνωση με την αύξηση της δόσης. Για παράδειγμα, η έκθεση σε μονοξείδιο του άνθρακα προκαλεί συμπτώματα σταδιακά αυξανόμενης σοβαρότητας. Από την άλλη πλευρά, η επιλεκτική επίδραση αναφέρεται στο γεγονός της εκδήλωσης συμπτωμάτων σε ορισμένο μόνο αριθμό ατόμων από το σύνολο του πληθυσμού που εκτέθηκε στη χημική ουσία. Στην περίπτωση αυτή, το ποσοστό των ατόμων του πληθυσμού που εμφανίζει τα συμπτώματα, είναι συνάρτηση της ληφθείσας δόσης.

Οι επιπτώσεις μίας οξείας έκθεσης σε τοξικές ουσίες περιλαμβάνουν:

(1) ερεθισμό του αναπνευστικού συστήματος, των ματιών και του δέρματος

(2) νάρκωση

(3) ασφυξία (χημική ή απλή) και

(4) συστηματικές βλάβες (systernic darnage).

Η εισπνοή ορισμένων χημικών ουσιών όπως το χλώριο, επιφέρει ερεθισμό της αναπνευστικής οδού γεγονός που μπορεί να ενεργήσει ως προειδοποίηση. Υπάρχουν ωστόσο διάφορα χημικά, η συγκέντρωση των οποίων στον αέρα ανέρχεται σε τοξικά επίπεδα πριν προκαλέσουν αντιληπτό ερεθισμό, μη παρέχοντας προειδοποιητικά συμπτώματα. Επιπλέον, η εισπνοή ουσιών όπως οι ατμοί υδρογονανθράκων, προκαλεί υπνηλία ή και νάρκωση, επιβραδύνοντας τις αντιδράσεις του εκτιθέμενου ατόμου, με κίνδυνο να υποστεί ατύχημα. Από την άλλη πλευρά συγκεκριμένα χημικά εισπνεόμενα δημιουργούν μία αίσθηση ευφορίας ή μέθης που οδηγεί το άτομο σε υποεκτίμηση των κινδύνων. Πολλά αέρια όπως το ήλιο και το άζωτο, δρουν σαν απλά ασφυξιογόνα διότι εκτοπίζουν το οξυγόνο του αέρα, με συνέπεια την ελάττωση της ελάχιστης απαιτούμενης συγκέντρωσής του για τη διατήρηση των αισθήσεων. Τα χημικά ασφυξιογόνα όπως το μονοξείδιο του άνθρακα και το υδροκυάνιο, επεμβαίνουν στη λειτουργία της αναπνοής και εμποδίζουν την απαραίτητη ποσότητα του οξυγόνου να φτάσει στους διάφορους ιστούς.

Οι επιπτώσεις της χρόνιας έκθεσης σε τοξικές χημικές ουσίες περιλαμβάνουν την πρόκληση τραυματισμών ή ασθενειών. Μία από τις σημαντικότερες ασθένειες που σχετίζεται με την έκθεση σε συγκεκριμένους χημικούς παράγοντες είναι ο καρκίνος. Τα χημικά που αποδεδειγμένα συντελούν στην ανάπτυξη καρκίνου χαρακτηρίζονται καρκινογόνα, ενώ άλλα παρουσιάζουν μεταλλαξιογόνο δράση ή οδηγούν σε τερατογενέσεις. Επιπρόσθετα, ορισμένες χημικές ουσίες εμφανίζουν χαρακτηριστικά βιοσυσσώρευσης, τείνουν δηλαδή να συσσωρεύονται στον οργανισμό με την πάροδο του χρόνου και θεωρούνται ιδιαίτερα επιβλαβή. Στην πράξη ποικιλώνυμοι χημικοί παράγοντες προσβάλλουν διαφορετικά σημεία του σώματος και το είδος των βιολογικών τους επιδράσεων εξαρτάται από το όργανο που αφορά η προσβολή αυτή.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί η διαφορά μεταξύ των όρων «έκθεση» και «δόση». Η έκθεση αντιστοιχεί στη συγκέντρωση της τοξικής ουσίας στο περιβάλλον εντός του οποίου βρίσκεται το άτομο (π.χ. στον αέρα που αναπνέει ή στο νερό που πίνει). Η δόση από την άλλη πλευρά, αφορά την ποσότητα της τοξικής ουσίας που φθάνει σε συγκεκριμένο όργανο ή ιστό του σώματος που εξετάζεται.

Η σύγκριση των δεδομένων που αναφέρονται στην τοξικότητα οδηγεί στον ορισμό του τοξικού φορτίου (Toxic Load). Το τοξικό φορτίο είναι μία ανεξάρτητη μεταβλητή με τη βοήθεια της οποίας εκφράζεται μαθηματικά το μέγεθος της βιολογικής βλάβης. Στην περίπτωση της κατάποσης, το τοξικό φορτίο L, ισοδυναμεί με τη δόση d, δηλαδή L = d

Στην περίπτωση της εισπνοής αερίου, το τοξικό φορτίο L είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης c και του χρόνου t και μπορεί να εκφραστεί ως γινόμενο:

$$L = c \cdot t \text{ ή εναλλακτικά } L = c \cdot t^m$$

Για οξεία βραχυπρόθεσμη έκθεση μέσω εισπνοής τοξικού αερίου, η τιμή του m για πειραματόζωα τείνει να είναι μικρότερη από τη μονάδα, συνήθως της τάξης του 0,5.

Σημαντικές έννοιες που αναφέρονται στο μέγεθος της έκθεσης σε μία τοξική ουσία είναι το όριο συγκέντρωσης και το όριο δόσης.

Το όριο συγκέντρωσης LC_{50} (Median Lethal Concentration) εκφράζει τη συγκέντρωση της ουσίας στην οποία το 50% των εκτιθέμενων πειραματόζωων (συνήθως αρουραίων ή ποντικών) θα πεθάνει αν εκτεθεί για κάποιο συγκεκριμένο χρόνο της τάξης των 10 έως 30 λεπτών.

Το όριο δόσης LDSO (Median Lethal Dose) απεικονίζει τη δόση της τοξικής ουσίας η οποία έχει σαν αποτέλεσμα το θάνατο του 50% των πειραματόζωων σε συνθήκες ανάλογες με αυτές του προηγούμενου ορισμού.

Έχουν οριστεί δύο τύποι οριακών τιμών τοξικότητας. Ο πρώτος αφορά τα επαγγελματικά όρια έκθεσης (occupational exposure limits) και ο δεύτερος τα όρια έκθεσης έκτακτης ανάγκης (emergency exposure limits). Η ένωση της Βιομηχανικής Υγιεινής των ΗΠΑ (American Industrial Hygiene Association, AIHA), δημοσίευσε μία σειρά ορίων έκθεσης έκτακτης ανάγκης, γνωστά ως ERPG (Emergency Response Planning Guidelines). Το όριο ERPG εκφράζει τη μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση της ουσίας στον αέρα, στην οποία θεωρείται ότι σχεδόν όλα τα άτομα είναι δυνατό να εκτεθούν για μία ώρα χωρίς να αναπτύξουν συγκεκριμένα συμπτώματα όπως αυτά καθορίζονται παρακάτω. Χρησιμοποιούνται κυρίως τρεις διαβαθμίσεις των ορίων αυτών:

Όριο	Επίπτωση
ERPG-1	Συμπτώματα με ήπιο και παροδικό χαρακτήρα ή αντίληψη συγκεκριμένης δυσάρεστης και ενοχλητικής οσμής.
ERPG-2	Σοβαρά, μη αναστρέψιμα προβλήματα υγείας, ή συμπτώματα που εμποδίζουν τον εκτιθέμενο να λάβει προστατευτικά μέτρα.
ERPG-3	Συμπτώματα που απειλούν τη ζωή του εκτιθέμενου ατόμου.

Πίνακας 4: Επιπτώσεις λόγω υπέρβασης των ορίων ERPG

Το επικρατέστερο σήμερα σύστημα οριακών τιμών έκθεσης (Threshold Limit Values, TLV's) σε διεθνές επίπεδο είναι αυτό των Αμερικανών Υγιεινολόγων (American Conference of Government Industrial Hygienists, ACGIH).

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες οριακών τιμών έκθεσης:

(1) η χρονικά σταθμισμένη μέση οριακή τιμή έκθεσης (TLV-Time Weighted Average, TWA)

(2) η οριακή τιμή έκθεσης μικρής διάρκειας (TLV-Short Term Exposure Límit, STEL)

(3) οριακή τιμή έκθεσης οροφής (TLV-Ceíllíng, C)

Η TLV-TWA είναι η χρονικά σταθμισμένη μέση τιμή συγκέντρωσης για μία κανονική οκτάωρη ημέρα εργασίας ή εβδομάδα 40 ωρών εργασίας στην οποία όλοι οι εργαζόμενοι μπορούν να εκτίθενται επανειλημμένα χωρίς επιπτώσεις στην υγεία τους.

Η TLV-STEL είναι η μέγιστη συγκέντρωση στην οποία επιτρέπεται να εκτεθούν οι εργαζόμενοι για μία περίοδο 15 λεπτών συνεχόμενα χωρίς επιπτώσεις. Επιτρέπονται έως και τέσσερις δεκαπεντάλεπτες εκθέσεις ανά ημέρα με χρονικό διάστημα τουλάχιστον 60 λεπτών ανάμεσα σε κάθε μία από αυτές.

Η TLV-C αντιστοιχεί στη συγκέντρωση που δεν επιτρέπεται να ξεπεραστεί σε καμία περίπτωση, ακόμα και στιγμιαία. Η τελευταία βρίσκει ειδικότερα εφαρμογή σε ουσίες με ταχύτατη τοξική δράση.

Οι παραπάνω οριακές τιμές εκφράζονται συνήθως σε μονάδες ppm (parts per million) μέρη αερίου ή ατμού ανά εκατομμύριο μέρη μίγματος με τον αέρα σε θερμοκρασία 25 ^{o}C και πίεση 760 mmHg και mg/m^3 (χιλιοστογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο).

3.2.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΦΩΤΙΕΣ

Οι φωτιές διαθέτουν υπολογίσιμο δυναμικό πρόκλησης εκτεταμένων καταστροφών σε περιουσίες και θανάσιμων τραυματισμών σε ανθρώπους. Η εκτίμηση των επιδράσεων της φωτιάς στον ανθρώπινο οργανισμό πηγάζει από τη μελέτη της θερμικής ακτινοβολίας και την επακόλουθη συσχέτισή της με τη δημιουργία εγκαυμάτων στο σώμα. Τα εγκαύματα αυτά μπορεί να είναι συνέπεια μίας σύντομης αλλά ισχυρής δόσης θερμικής ακτινοβολίας ή και άμεσης επαφής του σώματος με τις φλόγες. Χαρακτηριστική περίπτωση δημιουργίας εγκαυμάτων από άμεση επαφή με φλόγες είναι αυτή της ανάφλεξης των ρούχων του ατόμου συνεπεία των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται λόγω της θερμικής ακτινοβολίας.

Ο τρόπος αντίδρασης ενός ανθρώπου σε περιστατικό φωτιάς εξαρτάται από τη φύση του συμβάντος και την ετοιμότητα ή ψυχραιμία του ατόμου. Οι επιπτώσεις της θερμικής ακτινοβολίας στον άνθρωπο διαφοροποιούνται σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με την πηγή της ακτινοβολίας. Χαρακτηριστική πηγή θερμικής ακτινοβολίας είναι μία πύρινη σφαίρα σαν επακόλουθο ενός φαινομένου BLEVE. Στατιστικά ο τύπος της φωτιάς αυτής εγκυμονεί τους μεγαλύτερους κινδύνους όσον αφορά την πρόκληση πολυάριθμων σοβαρών τραυματισμών. Ατυχήματα που περιλαμβάνουν φωτιές λίμνης, λόγω της σταδιακής εξέλιξής τους, προσφέρουν συνήθως περισσότερο χρόνο για αντίδραση ή ασφαλή διαφυγή. Η σοβαρότητα των επιπτώσεων της έκθεσης σε θερμική ακτινοβολία, είναι συνάρτηση της έντασης της ακτινοβολίας και της διάρκειας της έκθεσης, ενώ η θνησιμότητα των τραυματιών επηρεάζεται καταλυτικά από την ηλικία. Οι μικρότερες ηλικίες εμφανίζουν υψηλότερες αντοχές σε εκτεταμένα εγκαύματα και συνεπώς μεγαλύτερες πιθανότητες επιβίωσης έπειτα από σοβαρό τραυματισμό.

Επιφάνεια εγκαύματος (%)	**Ηλικία (έτη)**																	
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85+
93 +	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
88-92	0,9	0,9	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
83-87	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
78-82	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
73-77	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1
68-72	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1
63-67	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1	1	1	1	1	1	1
58-62	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	1	1	1	1	1	1
53-57	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1	1	1	1	1
48-52	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1	1	1	1
43-47	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,7	0,9	1	1	1	1	1
38-42	0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,8	0,9	1	1	1	1
33-37	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,7	0,9	1	1	1	1
28-32	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,8	0,9	1	1	1
23-27	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	0,9	1
18-22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	0,8	0,9
13-17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,3	0,5	0,6	0,6	0,7
8-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4
3-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
0-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1

Πίνακας 5: Ποσοστά θνησιμότητας περιστατικών που διακομίστηκαν σε νοσοκομεία με εγκαύματα κλιμακούμενης σοβαρότητας συναρτήσει της επιφάνειας του δέρματος που εκτέθηκε και της ηλικιακής ομάδας στην οποία ανήκαν οι τραυματίες (J.C. Lawrwnce, 1991)

Ο τραυματισμός που προκαλείται από μία σύντομη αλλά ισχυρή δόση θερμικής ακτινοβολίας μπορεί να περιγραφεί με πολλούς τρόπους. Ο πιο βολικός τρόπος είναι ο ορισμός του συντελεστή τραυματισμού (injury factor), που εκφράζεται με το γινόμενο της έντασης της θερμικής ακτινοβολίας και του χρόνου έκθεσης.

Η εμπειρική μαθηματική σχέση που χρησιμοποιείται συνήθως είναι:

$$t \cdot I^n = \text{σταθερό},$$

όπου I η ένταση της θερμικής ακτινοβολίας (kW/m^2),
t ο χρόνος έκθεσης (sec) και
n ένας δείκτης.

Ο Hymes (1983), προτείνει την τιμή n = 1,33 που καλύπτει ικανοποιητικά τις περιπτώσεις των θανάσιμων και μη τραυματισμών. Ένα ακόμα χρήσιμο μέγεθος είναι το θερμικό φορτίο L που εκφράζεται ως $L = t \cdot I^{4/3}$ και η θερμική δόση $D = t \cdot I$ με μονάδες kJ/m^2.
Το ανθρώπινο δέρμα αποτελείται από δύο στρώματα, την επιδερμίδα και το χόριο. Το πάχος του κυμαίνεται από 5 χιλιοστά στην περιοχή της πλάτης έως 0,5 χιλιοστά στα βλέφαρα των ματιών. Η συνολική επιφάνεια που καλύπτει το δέρμα στο μέσο άνθρωπο είναι 1,8 m^2. Οι επιπτώσεις της θερμικής ακτινοβολίας διακρίνονται κατά αύξοντα βαθμό σοβαρότητας σε:

α) Εγκαύματα πρώτου βαθμού. Η επιφάνεια του δέρματος παρουσιάζει έντονη και παρατεταμένη ερυθρότητα.

β) Εγκαύματα δεύτερου βαθμού. Εμφανίζονται φλύκταινες στο δέρμα που συνοδεύονται από έντονο πόνο.

γ) Εγκαύματα τρίτου βαθμού. Εμφανίζεται απανθράκωση του δέρματος.

Το έγκαυμα πρώτου βαθμού επηρεάζει μόνο την επιδερμίδα. Εμφανίζεται ερυθρότητα, αλλά όχι φλύκταινες. Το έγκαυμα δεύτερου βαθμού μπορεί να είναι επιφανειακό ή βαθύ. Στην πρώτη περίπτωση, η βλάβη αφορά την επιδερμίδα και μέρος του χορίου, ενώ εμφανίζονται και φλύκταινες. Στη δεύτερη, η βλάβη επηρεάζει βαθύτερα το χόριο προκαλώντας σοβαρότερο τραυματισμό. Ένα έγκαυμα τρίτου βαθμού καταστρέφει και την επιδερμίδα και το χόριο. Ο βαθμός του τραυματισμού από έγκαυμα σχετίζεται άμεσα με τη θερμοκρασία του δέρματος. Στους 44 ^oC εμφανίζεται το αίσθημα του πόνου, ενώ σε υψηλότερες θερμοκρασίες προκαλείται τραυματισμός. Η έκταση του τραυματισμού αυξάνεται ραγδαία με τη θερμοκρασία. Στους 50 ^oC

ο βαθμός του τραυματισμού (injury rate) είναι περίπου 100 φορές μεγαλύτερους από ότι στους 44 με 45 ^{o}C. Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει τις επιπτώσεις σε έμψυχο και άψυχο υλικό συναρτήσει της ισχύος θερμικής ακτινοβολίας.

Ένταση Θερμικής Ακτινοβολίας (kW/m^2)	**Παρατηρούμενο αποτέλεσμα**
1,6	Καμία δυσάρεστη επίδραση ακόμα και για μακροχρόνια έκθεση.
4,0	Ικανή να προκαλέσει πόνο στο προσωπικό σε διάστημα 20 δευτερολέπτων. Είναι πιθανή η δημιουργία εγκαυμάτων έως και 2ου
9,5	Ο πόνος γίνεται αισθητός μέσα σε 8 δευτερόλεπτα. Εγκαύματα 2ου βαθμού εμφανίζονται έπειτα από έκθεση 20 δευτερόλεπτων.
12,5	Ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για την ανάφλεξη του ξύλου και τήξη πλαστικών σωλήνων (κατευθυνόμενη (piloted) πρόσπτωση ακτινοβολίας).
37,5	Ικανή να προκαλέσει σοβαρές ζημιές σε εξοπλισμό και ανάφλεξη ξύλινων αντικειμένων σε μακροχρόνια έκθεση (διάχυτη ακτινοβολία).

Πίνακας 6: Επιπτώσεις ανάλογα με την θερμική ακτινοβολία

Μερική προστασία από την επίδραση της θερμικής ακτινοβολίας μπορούν να προσφέρουν τα ρούχα που συνήθως καλύπτουν μεγάλο ποσοστό του ανθρώπινου σώματος. Ωστόσο η προστασία αυτή είναι περιορισμένη, εξαιτίας της πιθανότητας να αναφλεγούν λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται σε περίπτωση πυρκαγιάς. Σύμφωνα με τον Hyrnes, η πλειοψηφία των εμπορικών ενδυμάτων αυτοαναφλέγεται εντός 5 δευτερολέπτων υπό την επίδραση θερμικής ακτινοβολίας της τάξης των 75 kW/m^2. Η ανάφλεξη των ρούχων ενέχει δύο κινδύνους: αφενός εμποδίζει την προσπάθεια του ευρισκόμενου σε κίνδυνο ατόμου να διαφύγει, καθώς στρέφει την προσοχή του πρωτίστως στην κατάσβεση των ρούχων του και αφετέρου προκαλεί εγκαύματα στα σημεία επαφής των ενδυμάτων με το σώμα. Η θερμική ενέργεια της καύσης των υφασμάτων βρίσκεται στην περιοχή των 5-20 kJ/g, μέγεθος που μεταφράζεται σε 1-4 Joule/mm^2 υφάσματος. Κατά την καύση των ενδυμάτων μεταφέρεται ένα ποσοστό της τάξης του15 έως 50% της θερμικής ενέργειας στον άνθρωπο. Η ενέργεια αυτή ισοδυναμεί με θερμική δόση που κυμαίνεται μεταξύ 105 και 365 kJ/m^2. Στην πράξη, σε κάθε τετραγωνικό εκατοστό καμένου υφάσματος αντιστοιχεί ίσης επιφάνειας καμένη επιδερμίδα.

Εκτός όμως από τις άμεσες θερμικές επιπτώσεις των πυρκαγιών, σοβαρό παράγοντα κινδύνου αποτελούν και οι έμμεσες. Ο όρος αναφέρεται στην εισπνοή τοξικών αερίων, ατμών και καπνού που παράγονται σε πολλές περιπτώσεις κατά την καύση διαφόρων χημικών ουσιών. Η εισπνοή των καπνών ή των τοξικών ουσιών που απελευθερώνονται είναι δυνατό να επιφέρει ακόμα και το θάνατο, προκαλώντας ασφυξία ή δηλητηρίαση. Στατιστικά, οι περισσότερο επικίνδυνες φωτιές τόσο σε επίπεδο ανθρώπινων απωλειών, όσο και σε επίπεδο υλικών καταστροφών, είναι αυτές που ξεσπούν ή μεταδίδονται στο εσωτερικό κτηρίων. Αν και η ανάλυση των πυρκαγιών σε κτήρια ξεφεύγει από τους σκοπούς της μελέτης αυτής, κρίνεται σκόπιμη μία σύντομη αναφορά, στα πλαίσια των ομοιοτήτων που παρουσιάζουν οι συνθήκες στο εσωτερικό των κτηρίων με αυτές στο εσωτερικό των εμπορικών πλοίων. Τα τοξικά αέρια που παράγονται σε φωτιές κλειστών χώρων είναι κυρίως προϊόντα της καύσης όπως το διοξείδιο και το μονοξείδιο του άνθρακα. Η ποσότητα του μονοξειδίου του άνθρακα αυξάνεται, όταν η παροχή του αέρα στο χώρο της πυρκαγιάς είναι περιορισμένη, λόγω ατελούς καύσης. Όπως είναι γνωστό, το μονοξείδιο του άνθρακα έχει περίπου ίση πυκνότητα με αυτή του αέρα και διαχέεται εύκολα. Είναι άοσμο και επομένως δύσκολα ανιχνεύσιμα. Μία συγκέντρωση της τάξης του 1,3% αρκεί για να προκαλέσει απώλεια των αισθήσεων, μετά από λίγες μόνο αναπνοές. Το διοξείδιο του άνθρακα θεωρείται επίσης τοξικό, αλλά η δράση του σε κλειστούς χώρους είναι κυρίως ασφυξιογόνος. Συγκέντρωση της τάξης του 9% προκαλεί γενικά απώλεια των αισθήσεων μέσα σε λίγα λεπτά. Άλλα περισσότερο τοξικά αέρια μπορεί να απελευθερωθούν από την καύση υλικών όπως πλαστικά και λάστιχο. Ανάμεσα σε αυτά είναι το υδροχλώριο, το διοξείδιο του θείου, το υδροκυάνιο και το φωσγένιο, οι βιολογικές επιδράσεις των οποίων παρουσιάστηκαν σε προηγούμενη ενότητα. Ο καπνός που συνοδεύει τις πυρκαγιές, έχει την ιδιότητα να εμποδίζει την ορατότητα, δυσχεραίνοντας τόσο τη διαφυγή των ατόμων από το χώρο της φωτιάς όσο και το έργο της διάσωσης και θεωρείται υπεύθυνος για την πλειοψηφία των θανάτων που σημειώνονται σε πυρκαγιές κτηρίων.

Η ακτίνα δράσης μίας φωτιάς, εξαρτάται από το είδος της. Οι φωτιές εκτός από αυτή της καύσης νέφους αερίου εκδηλώνονται σε σταθερό σημείο και συνεπώς οι επιπτώσεις τους καθορίζονται από την ένταση της θερμικής ακτινοβολίας, η εξασθένιση της οποίας, υπακούει στο νόμο του αντίστροφου τετραγώνου. Ακολούθως παρατίθενται μαθηματικές σχέσεις που εκφράζουν τα ποσοστά θνησιμότητας (1% και 50%), συναρτήσει του θερμικού φορτίου που αναπτύσσεται σε κάθε περίπτωση.

α) Πύρινες σφαίρες

Ο Prugh (1994) για φωτιά προπανίου, χρησιμοποιεί τη σχέση:

$$r_{50} = 38 \cdot (M_T)^{0,46}$$

Όπου: M_T είναι η μάζα του καυσίμου σε τόνους και
r η απόσταση σε μέτρα στην οποία παρατηρείται θνησιμότητα 50%.

β) Φωτιές λίμνης

Οι παρακάτω σχέσεις που δίνονται από τον Considine (1984) αφορούν την περίπτωση διαρροής μικρής διάρκειας υπό συνθήκες νηνεμίας.

$$r_{50} = 16,1 \cdot M^{0,38} \quad \text{και} \quad r_{01} = 21,7 \cdot M^{0,38}$$

Όπου: r_{50} και r_{01} οι αποστάσεις σε μέτρα από το κέντρο της διαρροής για θνησιμότητα 50% και 1% αντίστοιχα και
M η μάζα του καυσίμου σε (te) LPG (ισοδύναμοι τόνοι LPG).

Ο χρόνος έκθεσης θεωρείται ίσος με το χρόνο καύσης.

γ) Φωτιές πυρσού

Για φωτιές πυρσού από LPG, το μοντέλο των Considine και Grint δίνει:

$$L = 9,1 \cdot m^{0,5} \quad \text{και} \quad W = 0,25 \cdot L$$

Όπου: L το μήκος της φλόγας του πυρσού σε μέτρα και
m ο ρυθμός διαρροής του καυσίμου (kg/sec).

3.2.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΕΚΡΗΞΕΙΣ

Μία έκρηξη μπορεί γενικά να έχει σαν αποτέλεσμα:

α) βλάβες από το ωστικό κύμα

β) θερμικές επιπτώσεις

γ) βλάβες από τα θραύσματα

δ) πρόκληση δονήσεων (μικρού σεισμού) στην περιοχή του συμβάντος

ε) δημιουργία κρατήρα στο έδαφος

στ) τραυματισμό ανθρώπων και ζώων.

Τα παραπάνω αν και αποτελούν χαρακτηριστικά όλων των εκρήξεων, δεν λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα, αλλά εξαρτώνται από το είδος και το μέγεθος της έκρηξης. Για παράδειγμα μία έκρηξη στον αέρα, κατά κανόνα δε δημιουργεί κρατήρα, ο οποίος είναι γνώριμη συνέπεια ανατίναξης εκρηκτικών υλών. Τα φαινόμενα που συνοδεύουν την έκρηξη, επιδρούν περισσότερο ή λιγότερο -ανάλογα πάντα με την ισχύ της-στον πληθυσμό που εκτίθεται. Προκειμένου να εκτιμηθεί η έκθεση στον κίνδυνο, διακρίνονται δύο κατηγορίες γενικού πληθυσμού: τα άτομα στην ύπαιθρο (εξωτερικούς χώρους) και τα άτομα εντός κτηρίων (σε εσωτερικούς χώρους). Για κάθε μία απο αυτές τις κατηγορίες υπάρχουν περαιτέρω υποκατηγορίες ή ομάδες με κριτήριο την κατάσταση στην οποία βρίσκονται και την αντίδρασή τους στο συμβάν.

Τα άτομα που βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους χωρίζονται σε:

I) άτομα ενήμερα ή και ανυποψίαστα για το συμβάν που ασχολούνται με τις καθημερινές τους υποχρεώσεις

II) άτομα ενήμερα για το συμβάν το οποίο και παρατηρούν από κάποιο παράθυρο, ή άτομα που αγνοούν το συμβάν και απλά έτυχε να βρίσκονται μπροστά σε παράθυρο.

Απο την άλλη πλευρά, τα άτομα που βρίσκονται σε εξωτερικούς χώρους διακρίνονται σε:

1) πεζούς ανυποψίαστους ή ενήμερους για το συμβάν που μετακινούνται στα πλαίσια των καθημερινών τους εργασιών

2) άτομα που βρίσκονται εντός οχημάτων κοντά στον τόπο του ατυχήματος

3) άτομα τα οποία αν και γνωρίζουν για το συμβάν προσεγγίζουν το σημείο από περιέργεια και

4) μέλη των σωστικών συνεργείων ή γενικά των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης. που καταφθάνουν στον τόπο του ατυχήματος.

Ο αριθμός των ατόμων που τοποθετούνται στις παραπάνω κατηγορίες, διαφοροποιείται με το χρόνο, καθώς καταλυτικό ρόλο παίζει το διάστημα που μεσολαβεί από την έναρξη του συμβάντος μέχρι την έκρηξη. Η διαφοροποίηση αυτή αφορά τόσο τα άτομα σε εξωτερικούς χώρους, όσο και αυτά στους εσωτερικούς: Όταν παρέχεται χρόνος αντίδρασης, οι αριθμοί των εκτεθειμένων ατόμων αυξομειώνονται. Από τη μία πλευρά, πεζοί και εποχούμενοι θα προσπαθήσουν να απομακρυνθούν από τον τόπο του συμβάντος, ή να λάβουν στοιχειώδη προστατευτικά μέτρα, από την άλλη όμως υπάρχει σε πολλές περιπτώσεις συσσώρευση ατόμων που από περιέργεια παρατηρούν τα δρώμενα. Παράλληλα αρχίζουν να καταφθάνουν τα μέλη των σωστικών συνεργείων, της πυροσβεστικής, της αστυνομίας κ.λπ. Συνεπώς, ο συνολικός αριθμός των εκτιθέμενων ατόμων θα μεταβάλλεται συνεχώς καθώς εξελίσσεται το συμβάν.

Οι αιτίες των διαφόρων βλαβών που μπορεί να προκαλέσει μία έκρηξη σε άτομα ευρισκόμενα σε εξωτερικό χώρο περιλαμβάνουν:

α) το ωστικό κύμα

β) η βίαιη απώθηση του σώματος ή πτώση

γ) τα θραύσματα

δ) η θερμική ακτινοβολία

ε) τοξικά αέρια της έκρηξης.

Τα αντίστοιχα είδη των πιθανών τραυματισμών είναι:

α) η θραύση του ακουστικού τυμπάνου

β) πνευμονική αιμορραγία

γ) τραυματισμός από πτώση ή πρ6σκρουση σε ακίνητο εμπόδιο εξαιτίας της παράσυρσης του σώματος

δ) τραυματισμός από τα εκτοξευόμενα θραύσματα

ε) εγκαύματα από τη θερμική ακτινοβολία και

στ) τοξική δηλητηρίαση.

Εντελώς ανάλογοι είναι και οι πιθανοί τραυματισμοί ατόμων που βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους τη στιγμή της έκρηξης. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι τα τελευταία είναι επιπρόσθετα υποκείμενα στον κίνδυνο του τραυματισμού από πτώση οικοδομικών υλικών ή και ολόκληρου του κτηρίου, αλλά και της ασφυξίας λόγω της σχηματιζόμενης σκόνης η οποία σε μεγάλες πυκνότητες, εμφανίζει ασφυξιογόνες ιδιότητες.

Ρήξη ακουστικού τυμπάνου

Η βασική λειτουργία του ανθρώπινου αυτιού είναι η ανταπόκριση σε ηχητικά κύματα πολύ χαμηλής ενέργειας με εύρος συχνότητας 20-20.000 Hz. Το ωστικό κύμα μίας έκρηξης, από την άποψη της φυσικής επιστήμης, έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με το ηχητικό κύμα. Ωστόσο, το αυτί αδυνατεί να ανταποκριθεί σε ένα παλμό υψηλής ενέργειας και περιόδου μικρότερης από 0,3 ms όπως είναι το ωστικό κύμα της έκρηξης, με αποτέλεσμα την απότομη σύσπασή του και επακόλουθη ρήξη του τυμπάνου λόγω της δημιουργηθείσας στιγμιαίας υπερπίεσης. Ο F.G. Hirsch (1968) που έχει μελετήσει τη φυσιολογία της ανθρώπινης ακοής, υποστηρίζει οτι υπάρχει σαφής σχέση μεταξύ της μέγιστης υπερπίεσης (peak overpressure) και τη ρήξης του τυμπάνου. Επιπλέον αποδεικνύεται ότι μία απότομη αύξηση της υπερπίεσης τείνει στην ενίσχυση της πιθανότητας πρόκλησης βλαβών στο ακουστικό τύμπανο. Ο παρακάτω πίνακας απεικονίζει την πιθανότητα της ρήξης του τυμπάνου συναρτήσει της αναπτυσσόμενης από το ωστικό κύμα υπερπίεσης.

Πιθανότητα ρήξης τυμπάνου (%)	**Μέγιστη υπερπίεση**	
	(psi)	**(N/m^2)**
1 (κατώφλι)	2,4	16.500
10	2,8	19.300
50	6,3	43.500
90	12,2	84.000

Πίνακας 7: Πιθανότητα ρήξης τυμπάνου σε συνάρτηση με την μέγιστη υπερπίεση

Τραυματισμός πνεύμονα

Υπό την επίδραση ενός ωστικού κύματος, η εξωτερική πίεση που εφαρμόζεται στο θωρακικό τοίχωμα είναι μεγαλύτερη από την εσωτερική. Το φαινόμενο αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την κίνηση του θωρακικού τοιχώματος προς το εσωτερικό και την πρόκληση τραυματισμού στους πνεύμονες. Η κίνηση αυτή του θωρακικού τοιχώματος διαρκεί ορισμένο χρόνο, γεγονός που καθιστά σημαντική παράμετρο τη χρονική διάρκεια του ωστικού κύματος. Έχει πειραματικά αποδειχθεί, ότι ο ρόλος της αναπτυσσόμενης υπερπίεσης είναι καθοριστικός μόνο σε περιπτώσεις μεγάλης σχετικά διάρκειας του ωστικού κύματος. Αναφορές θνησιμότητας από πνευμονική αιμορραγία στη διεθνή βιβλιογραφία παρατίθενται από τους Fugelso, Weiner και Breeding:

Πιθανότητα θανάτου (%)	**Μέγιστη υπερπίεση**	
	(psi)	**(N/m^2)**
1 (κατώφλι)	14,5	100.000
10	17,5	120.000
50	20,5	140.000
90	25,5	175.000
99	29,0	200.000

Πίνακας 8: Πιθανότητα θανάτου σε συνάρτηση με την μέγιστη υπερπίεση

Παράσυρση ή πτώση ολόκληρου του σώματος

Το ωστικό κύμα μιας έκρηξης είναι δυνατό να παρασύρει ανθρώπους και αντικείμενα για αρκετή απόσταση προς την κατεύθυνση διάδοσής του. Η απώθηση αυτή είναι κατά κανόνα βίαιη, απότομη και καταλήγει πολλές φορές στην πτώση του ατόμου από την όρθια στάση, η την πρόσκρουσή του σε ακίνητα ή κινητά εμπόδια, με συνέπεια τον τραυματισμό του. Η πτώση του ατόμου στο έδαφος είναι στατιστικά απίθανο να προκαλέσει σοβαρό τραυματισμό, ωστόσο ή πρόσκρουση σε άκαμπτο εμπόδιο, είναι δυνατό, ανάλογα πάντα με τη σκληρότητα και το σχήμα του εμποδίου, αλλά και το μέρος του σώματος που εμπλέκεται, να οδηγήσει ακόμα και στο θάνατο. Ο πίνακας 3.2.2.6 παρουσιάζει δεδομένα αναφορικά με τραυματισμούς που προκύπτουν από την απώθηση ολόκληρου του σώματος σαν συνάρτηση της ταχύτητας πρόσκρουσης, (Glasstone, 1962).

Κατάσταση ατόμου / Φύση τραυματισμού	**Ταχύτητα πρόσκρουσης (m/sec)**
Πρόσκρουση όρθιου ατόμου	
«Ασφαλής περιοχή»:	
Καμία δυσάρεστη επίπτωση	< 2,44
Σοβαρή ενόχληση ή πόνος	2,44 - 3,05
Τραυματισμός:	
Κατώφλι τραυματισμού	3,05 – 3,7
Κατώφλι κατάγματος (φτέρνες, πόδια)	4,0 - 4,9
Πρόσκρουση καθήμενου ατόμου	
«Ασφαλής περιοχή»:	
Καμία δυσάρεστη επίπτωση	< 2,44
Σοβαρή ενόχληση ή πόνος	2,44 – 4,3
Τραυματισμός:	

Κατώφλι τραυματισμού	4,6 – 7,9
Κάταγμα κρανίου:	
Ασφαλής περιοχή	3,0
Κατώφλι	4,0
Πιθανότητα 50%	5,5
Πιθανότητα 100%	7,0
Πρόσκρουση ολόκληρου του σώματος:	
Ασφαλής περιοχή	3,0
Κατώφλι θανάσιμου τραυματισμού	6,4
Θνησιμότητα 50%	16,5
Θνησιμότητα 100%	42,0

Πίνακας 9: Απώθηση ολόκληρου του σώματος σε συνάρτηση με την ταχύτητα πρόσκρουσης

Τραυματισμός από θραύσματα

Τα θραύσματα είναι μικρότερα ή μεγαλύτερα τεμάχια διαφόρων υλικών που εκτοξεύονται με μεγάλες συνήθως ταχύτητες με κατεύθυνση από το κέντρο της έκρηξης προς τα έξω. Διακρίνονται σε πρωτεύοντα και δευτερεύοντα θραύσματα. Πρωτεύοντα θραύσματα θεωρούνται αυτά που προέρχονται από το κέντρο της έκρηξης π.χ κομμάτια δοχείου πίεσης και χαρακτηρίζονται από υψηλές ταχύτητες. Τα δευτερεύοντα θραύσματα πηγάζουν από τις καταστροφικές επιδράσεις του ωστικού κύματος της έκρηξης στις διάφορες δομές, έχουν χαμηλότερες κατά κανόνα ταχύτητες από τα πρωτεύοντα, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις θεωρούνται εξίσου επικίνδυνα. Παραδείγματα τέτοιων θραυσμάτων αποτελούν κομμάτια από το όχημα, πέτρες και χώμα από το σχηματισμό του κρατήρα στο έδαφος, τα διάφορα οικοδομικά υλικά (τούβλα, κεραμίδια κ.λπ.) και κομμάτια γυαλιού από θραύση υαλοπινάκων. Πολλά από αυτά είναι σχετικά μεγάλα σε μέγεθος, με αμβλύ σχήμα και εκτοξεύονται με χαμηλές ταχύτητες. Τα σπασμένα γυαλιά ωστόσο, είναι μικρά σε μέγεθος, αιχμηρά και αποκτούν συνήθως μεγάλες ταχύτητες, γεγονός που τα καθιστά ικανά να προκαλέσουν τραυματισμούς σε αποστάσεις αρκετά μεγαλύτερες από το κέντρο της έκρηξης σε σύγκριση με τα συνήθη δευτερεύοντα θραύσματα.

Προκειμένου να εκτιμηθούν οι συνέπειες της επίδρασης των θραυσμάτων στους ανθρώπους είναι απαραίτητη η διάκρισή τους σε αιχμηρά και μη αιχμηρά τεμάχια. Τα αιχμηρά θραύσματα διεισδύουν στο δέρμα, ενώ τα μη αιχμηρά προκαλούν τραυματισμό μέσω της

πίεσης επαφής που ασκούν κατά την πρόσκρουσή τους στο σώμα. Ένα θραύσμα θεωρείται γενικά επικίνδυνο όταν η κινητική του ενέργεια είναι τουλάχιστον 79 Joule. Στην πράξη ωστόσο, θραύσματα με τιμές κινητικής ενέργειας από 40 μέχρι 60 J προκαλούν ενίοτε σοβαρά τραύματα στο σώμα. Η μαθηματική έκφραση της κινητικής ενέργειας E_k είναι:

$$E_k = ½ \cdot m_f \cdot u_f^2$$

Όπου: m_f είναι η μάζα του θραύσματος σε χιλιόγραμμα και
u_f η ταχύτητα πρόσκρουσης σε m/sec.

Η μέθοδος της κινητικής ενέργειας μπορεί να εφαρμοστεί για μάζες θραυσμάτων στην περιοχή 0,1- 4,5 kg. Για μικρότερες μάζες θραυσμάτων, χρησιμοποιείται η εξίσωση:

$$u_{50} = 1247 \cdot k^{2/3} \cdot m_f^{2/3} + 22,03$$

Όπου: u_{50} είναι η ταχύτητα διείσδυσης στην οποία το 50% των θραυσμάτων εισέρχονται στο δέρμα,
k ένας συντελεστής που εξαρτάται από το σχήμα του θραύσματος και λαμβάνεται ίσος με 4740 $kg/m^{3/2}$ για τα περισσότερα από τα επιβλαβή θραύσματα
m_f είναι η μάζα του θραύσματος.

Η παραπάνω εξίσωση προέκυψε εμπειρικά από πειράματα που διεξήχθησαν σε πειραματόζωα και διάφορα υλικά που προσομοιώνουν το ανθρώπινο δέρμα.

Ο Glasstone (1962) παραθέτει δεδομένα αναφορικά με τραυματισμούς από θραύσματα γυαλιού διαφόρων ταχυτήτων πρόσκρουσης:

Μάζα θραύσματος (gr)	**Πιθανότητα διείσδυσης**		
1%	**50%**	**99%**	
0,1	71,6	125,0	222,5
0,5	48,8	83,8	147,8
1,0	42,7	74,7	131,0
10,0	35,0	54,9	108,2

Πίνακας 10: Τραυματισμός από θραύσματα γυαλιού μάζας 10 gr.

Αποτέλεσμα	**Ταχύτητα θραύσματος (m/sec)**
Πληγή δέρματος:	
Κατώφλι	15,2
Σοβαρός Τραυματισμός:	
Κατώφλι	30,5
Πιθανότητα 50%	54,9
Πιθανότητα 100%	91,4

Πίνακας 11:Ταχύτητα πρόσπτωσης στην κοιλιακή χώρα

Στα πλαίσια μιας ευρύτερης αντιμετώπισης, θα μπορούσε ίσως να εξεταστεί παράλληλα με τις επιπτώσεις των δευτερευόντων θραυσμάτων και η κατάρρευση ενός κτηρίου. Τα άτομα που βρίσκονται μέσα σε κτήρια τη στιγμή της κατάρρευσής τους συνεπεία μίας έκρηξης, είναι υποκείμενα σε θανάσιμους τραυματισμούς από ογκώδη και βαριά οικοδομικά υλικά. Η εμπειρία που πηγάζει από συγκυρίες σεισμών και βομβαρδισμών, θέλει τις κατακόρυφες δομές του κτηρίου να αστοχούν, αφήνοντας ένα σωρό από πατώματα το ένα πάνω από το άλλο (μορφή σάντουιτς). Αν και σε πολλές περιπτώσεις η κατάρρευση του κτηρίου είναι ολοκληρωτική, η ύπαρξη επιζώντων μέσα στα κενά που σχηματίζουν οι κατεστραμμένες δομές του κτηρίου, δεν είναι απίθανη. Οι στατιστικές από περιπτώσεις σεισμών, αποκαλύπτουν ότι περίπου ένα ποσοστό της τάξης του 50% των ανθρώπων εντός του κτηρίου που καταρρέει θα επιζήσει. Η εκτίμηση αυτή μπορεί να επεκταθεί και στην περίπτωση της κατάρρευσης λόγω έκρηξης, άποψη που ενισχύεται από το γεγονός ότι τόσο οι σεισμοί, όσο και οι εκρήξεις είναι φαινόμενα αναπάντεχα και ξαφνικά, χωρίς να υπάρχει τόπος ασφαλούς καταφυγίου, ούτε και χρόνος για την αναζήτησή του.

Οι βιολογικές επιπτώσεις της θερμικής ακτινοβολίας και της τοξικής έκθεσης αναφέρθηκαν σε προηγούμενες παραγράφους και δεν θα εξεταστούν περαιτέρω.

Η εκτίμηση της ακτίνας δράσης μιας έκρηξης εξαρτάται, όπως είναι αναμενόμενο, από το είδος της έκρηξης. Οι κυριότεροι τύποι εκρήξεων που διαπραγματεύονται από την άποψη αυτή είναι οι εκρήξεις πυκνής φάσης (condensed phase explosions) όπως αυτές του TNT (τρινιτροτολουόλιο) και αυτές που μπορούν να περιγραφούν από το μοντέλο του ισοδύναμου TNT, καθώς επίσης και οι εκρήξεις νέ- φους αερίου (vapour cloud explosions).

Το ωστικό κύμα μιας έκρηξης πυκνής φάσης χαρακτηρίζεται από τη μέγιστη υπερπίεση και την ώθηση. Η μεταβολή της υπερπίεσης σε συνάρτηση με την απόσταση από το κέντρο της έκρηξης προκύπτει με τη βοήθεια ειδικών γραφημάτων (Loss Preventíon ín the Process Industiies, κεφ 17, παρ. 26). Ισχύει:

$$p^0 = f(z) \quad \text{με} \quad z = r / W^{1/3}$$

Όπου: p^0 είναι η υπερπίεση κορυφής (peak ovepressure)

r η απόσταση

W η μάζα του εκρηκτικού υλικού και

z η κλιμακωμένη απόσταση (scaled distance).

Για ένα περιορισμένο εύρος της καμπύλης η υπερπίεση ρ0 σε σχέση με την απόσταση z μπορεί να προσεγγιστεί γραμμικά:

$$\frac{(p^0)_r}{p^0} = \left(\frac{r_r}{r}\right)^n$$

Όπου: n είναι ένας συντελεστής και ο δείκτης r η τιμή αναφοράς.

Από την καμπύλη του Baker και για περιοχές υπερπίεσης μεταξύ 0,1 - 1,0 bar ο συντελεστής η λαμβάνει την τιμή 1,7.

Προκειμένου να υπολογιστεί η ακτίνα δράσης στην περίπτωση της έκρηξης αέριου νέφους, είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη η κίνηση του νέφους που αποτελεί τον κυρίαρχο παράγοντα. Οι Considine και Grint παραθέτουν τις ακόλουθες σχέσεις που βασίζονται στο ισοδύναμο μοντέλο TNT:

$$p^0 = 138 \cdot (I^{1/3} / r_c)^{1,558} \text{ για } r < r_c \text{ και } 0,05 < p^0 < 1$$

$$p^0 = 138 \cdot (I^{1/3} / r_c)^{1,558} \text{ για } r > r_c \text{ και } 0,05 < p^0 < 1$$

Όπου: I είναι η μάζα του ρευστού στο νέφος σε ισοδύναμους τόνους TNT

p^0 η υπερπίεση κορυφής σε bar,

r_c η ακτίνα του νέφους σε μέτρα.

Οι παραπάνω συγγραφείς αναφέρουν ότι τα ποσοστά θνησιμότητας για υπερπιέσεις μεγέθους 0,36 και 0,18 bar, είναι 50% και 1% αντίστοιχα. Εντός των ορίων του νέφους, το ποσοστό της θνησιμότητας θεωρείται 100%.

Διευκρινίζεται ότι για την περίπτωση διαρροής σύντομης διάρκειας (στιγμιαία διαρροή) η ακτίνα και το βεληνεκές του νέφους μεταβάλλονται με το χρόνο. Η μάζα I του ρευστού στο νέφος μπορεί να ληφθεί ίση με τη μάζα που απελευθερώθηκε στη διαρροή. Το νέφος είναι βέβαια εύφλεκτο μόνο όταν η συγκέντρωσή του είναι εντός των ορίων ανάφλεξης. Στην περίπτωση της συνεχούς έκλυσης, το νέφος θεωρείται μη κυκλικό και χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση για τον υπολογισμό της ακτίνας του νέφους r_c:

$$r_c = (1,2 \cdot k \cdot R^{5/3} / \pi)^{1/2}$$

Όπου: R είναι η απόσταση σε μέτρα από την περιοχή με συγκέντρωση ίση με την LFL

k είναι μία σταθερά που εξαρτάται από την κατεύθυνση του πλευρικού ανέμου,

π= 3,14

Στην πραγματικότητα, η αναπτυσσόμενη υπερπίεση σε μία έκρηξη νέφους αερίου, είναι αντιστρόφως ανάλογη με την απόσταση.

3.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ - ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Εκτός από τις σοβαρές επιπτώσεις που προκαλούν τα ατυχήματα στον ανθρώπινο παράγοντα σημαντικές είναι και οι καταστροφές που συμβαίνουν στα κτίρια. Οι καταστροφές αυτές προκαλούνται τόσο με την φωτιά όσο με τις εκρήξεις.

3.3.1. ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΑΠΟ ΦΩΤΙΕΣ

Οι φωτιές παρουσιάζουν ένα πολύ μεγάλο δυναμικό πρόκλησης καταστροφών σε κινητή και ακίνητη περιουσία. Οι αρνητικές επιπτώσεις σχετίζονται με την ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών της ίδιας της φλόγας ή από την άμεση έκθεση στις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται. Η διαδικασία καύσης οργανικών και ανόργανων υλικών είναι μια διαδικασία μη αναστρέψιμη και τα υλικά δεν είναι δυνατόν να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση.

Οι απώλειες σε άψυχο υλικό αφορούν:

α) το ίδιο το μέσο μεταφοράς του επικίνδυνου φορτίου στο οποίο ξέσπασε η πυρκαγιά (τραίνο, φορτηγό αυτοκίνητο, φορτηγό πλοίο κ.λπ.)

β) το μεταφερόμενο φορτίο

γ) οχήματα που ανήκουν σε τρίτους και βρίσκονται πλησίον της περιοχής του ατυχήματος

δ) κτήρια ή εγκαταστάσεις που γειτνιάζουν με το σημείο του συμβάντος με αποτέλεσμα τη μετάδοση της φωτιάς.

Οι υλικές ζημιές βρίσκονται σε συνάρτηση με το είδος της πυρκαγιάς, τη ποσότητας του διαθέσιμου για καύση υλικού και τη φύσης του σημείου που εκδηλώθηκε. Επιπλέον, σημαντικός είναι ο χρόνος που μεσολαβεί μέχρι να επέμβει η πυροσβεστική υπηρεσία.

Η μορφή της φωτιάς εξαρτάται από:

- τις συνθήκες που οδήγησαν στην ανάφλεξη,
- την κατάσταση αποθήκευσης του καύσιμου υλικού
- τα χαρακτηριστικά της διαρροής (ποσότητα, γεωμετρία κ.λπ.).

Οι φωτιές λίμνης και οι φωτιές πυρσού, δρουν τοπικά σε σχέση με τις φωτιές νέφους αερίου, όπου το νέφος μπορεί να μετακινηθεί υπό την επίδραση του ανέμου προτού αναφλεγεί. Από την άλλη πλευρά, οι πύρινες σφαίρες αποτελούν στις περισσότερες περιπτώσεις μέρος ενός φαινομένου BLEVE οπότε συνοδεύονται από έκρηξη.

Το **είδος και την ποσότητα των πιθανών υλικών καταστροφών** προσδιορίζεται από το σημείο που ξεσπάει η φωτιά. Για παράδειγμα, μια φωτιά που εκδηλώνεται σε όχημα το οποίο κινείται στην εθνική οδό (σε υπαίθριο χώρο) ή σε πλοίο στην ανοικτή θάλασσα, έχει κατά κανόνα πολύ μικρότερο δυναμικό καταστροφής από μία φωτιά σε πυκνοκατοικημένη αστική περιοχή όπου αναμένονται πολύ περισσότερες απώλειες σε έμψυχο και άψυχο υλικό.

Ο **χρόνος επέμβασης των δυνάμεων καταστολής της φωτιάς** κρίνεται εξίσου σημαντικός, όσον αφορά την εξέλιξή της, και την πρόληψη των υλικών ζημιών. Στην πραγματικότητα, η μετάβαση των δυνάμεων της πυροσβεστικής υπηρεσίας στο σημείο του συμβάντος είναι συνήθως ταχύτερη σε κατοικημένες αστικές ή ημιαστικές περιοχές λόγω της κατανομής των πυροσβεστικών σταθμών, οι οποίοι βρίσκονται κοντά σε πολεοδομικά συγκροτήματα και βιομηχανικές περιοχές. Η έγκαιρη επέμβαση της πυροσβεστικής υπηρεσίας προλαμβάνει συνήθως την πρόκληση εκτεταμένων καταστροφών και αποτρέπει την περαιτέρω μετάδοσή της σε γειτονικά οχήματα ή κτήρια. Μια πυρκαγιά που μπορεί να σβήσει εύκολα στα πρώτα λεπτά της εξέλιξής της, αργότερα απαιτεί προσπάθεια ωρών και τεράστιες ποσότητες νερού ή χημικών ουσιών για την κατάσβεσή της. Σύμφωνα με πειραματικές μελέτες, πέντε λεπτά μετά την έναρξη της φωτιάς χρειάζεται ένα ποτήρι νερό για την κατάσβεσή της. Από πέντε μέχρι και δέκα λεπτά η ποσότητα που χρειάζεται είναι ένας κουβάς νερό, ενώ από δέκα έως δεκαπέντε λεπτά απαιτούνται αρκετοί πυροσβεστήρες. Η εστία της φωτιάς, μεταβάλλεται γρήγορα σε μεγάλη πυρκαγιά έπειτα από χρονικό διάστημα της τάξης των 15 με 20 λεπτών. Είναι λοιπόν ευνόητο ότι η άμεση και έγκαιρη επέμβαση είναι καθοριστικής σημασίας όσον αφορά την έκταση των υλικών ζημιών.

Οι προβλεπόμενες ενέργειες σε περίπτωση πυρκαγιάς είναι:

α) άμεση σήμανση συναγερμού και

β) καταπολέμηση της φωτιάς με όλα τα μέσα που διατίθενται.

Σημαντικά μέτρα σε περίπτωση που η εστία της φωτιάς βρίσκεται σε κλειστό χώρο, είναι το κλείσιμο αμέσως όλων των πόρτων, των παράθυρων, των αεραγωγών και των εξαεριστήρων, ώστε να μην υπάρχει τροφοδοσία της καύσης με οξυγόνο. Επιπλέον, με την απομόνωση του καιγόμενου χώρου, εμποδίζεται πρακτικά και η μετάδοση της φωτιάς σε γειτονικούς χώρους ή διαμερίσματα που διατηρούνται ελεύθερα από καπνούς και καυσαέρια. Το τελευταίο κρίνεται ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς αφενός επιτρέπει στις δυνάμεις κατάσβεσης να εντοπίσουν ευκολότερα την εστία της πυρκαγιάς και αφετέρου περιορίζει τις «δευτερεύουσες» αλλά υπολογίσιμες υλικές ζημιές σε γειτνιάζουσες εγκαταστάσεις από την αιθάλη. Ως δευτερεύουσες, αλλά καθόλου ευκαταφρόνητες, μπορούν να θεωρηθούν και οι υλικές ζημιές που προκαλούνται στο εσωτερικό των κινητών και ακίνητων εγκαταστάσεων από τα υλικά πυρόσβεσης και κυρίως το νερό.

Γενικά, η φωτιά χαρακτηρίζεται από τα στάδια της ανάφλεξης, της σταθερής ή ασταθούς καύσης και της διάδοσης της φλόγας πάνω σε επιφάνειες υλικών και στο εσωτερικό μιας εγκατάστασης (κτήριο, όχημα κ.λπ.).

Η επιδεκτικότητα ενός εύφλεκτου υγρού σε ανάφλεξη συνδέεται με το σημείο ανάφλεξης (flashpoint). Στην περίπτωση υγρών με υψηλό σημείο ανάφλεξης, σημαίνοντα ρόλο διαδραματίζει και το σημείο καύσης (firepoint) Ένα υγρό θεωρείται πολύ εύφλεκτο όταν χαρακτηρίζεται από χαμηλό σημείο ανάφλεξης, της τάξης των 32 ^{o}C. Στην περίπτωση αυτή, ο κίνδυνος έγκειται στην ανάφλεξη του εύφλεκτου μίγματος (ατμού) που σχηματίζεται πάνω από την επιφάνεια του υγρού. Η εξάτμιση και διάχυση του μίγματος αυτού είναι δυνατό να οδηγήσει σε φωτιά καύσης αέριου νέφους. Αντίθετα, ένα υγρό με υψηλό σημείο ανάφλεξης, προκειμένου να αναφλεγεί, θα πρέπει να θερμανθεί μέχρι το σημείο καύσης του. Η απαραίτητη θερμότητα μπορεί να προέλθει από επαφή της επιφάνειας του υγρού με γυμνή φλόγα.

Αναφορικά με την **ανάφλεξη των στερεών**, είναι σκόπιμο να γίνεται ένας διαχωρισμός μεταξύ της αυτόματης (spontaneous) ανάφλεξης και της ανάφλεξης κατευθυνόμενης πρόσπτωσης (piloted ignition). Η αυτόματη ανάφλεξη εμφανίζεται όταν το υλικό θερμαίνεται σε τέτοιο βαθμό, ώστε να αναφλεγούν οι ατμοί που εκπέμπονται λόγω θερμοκρασίας από την επιφάνειά του. Αντίθετα κατά την περίπτωση της κατευθυνόμενης πρόσπτωσης, ή ανάφλεξη των ατμών υλοποιείται μέσω της ίδιας της φλόγας που θερμαίνει το υλικό. Το στερεό υλικό του οποίου η θερμική συμπεριφορά έχει διεξοδικά μελετηθεί είναι το ξύλο.

Οι Lawson και Simmus (1952) διεξήγαγαν πλήθος πειραμάτων που περιελάμβαναν την έκθεση ξυλείας από μαόνι, βελανιδιά και κέδρο σε θερμική ακτινοβολία. Το κατώφλι της έντασης της θερμικής ακτινοβολίας για αυτόματη ανάφλεξη κυμάνθηκε στην περιοχή 0,57 - 0,66 cal/cm^{2}s με μέση τιμή 0,62 cal/cm^{2}s, ενώ οι αντίστοιχες τιμές για ανάφλεξη κατευθυνόμενης πρόσπτωσης προέκυψαν 0,30 - 0,36 cal/cm^{2}s με μέση τιμή 0,35 cal/cm^{2}s. Ο παρακάτω πίνακας απεικονίζει τη σχέση μεταξύ της έντασης της θερμικής ακτινοβολίας και του χρόνου έκθεσης:

Χρόνος έκθεσης (sec)	**Ένταση Θερμικής Ακτινοβολίας (cal/cm^2 s)**	
	Αυτόματη ανάφλεξη	**Κατευθυνόμενη πρόσπτωση**
5	1,45	-
10	1,10	1,40
25	0,77	1,05
50	0,65	0,86
100	0,52	-

Πίνακας 12: Ο χρόνος έκθεση σε σχέση με την ένταση θερμικής ακτινοβολίας

Η εξέλιξη της φωτιάς εξαρτάται -ειδικότερα κατά τα πρώιμα στάδιά της- από την ταχύτητα διάδοσης της φλόγας πάνω στην επιφάνεια υγρών ή στερεών υλικών. Η φλόγα δρα από τη μία πλευρά ως πηγή θερμότητας και από την άλλη προκαλεί κατευθυνόμενη ανάφλεξη.

Στην περίπτωση που το **μέσο διάδοσης είναι υγρό** (έδαφος καλυμμένο από εύφλεκτο υγρό), το κριτήριο για τη διασπορά της φλόγας είναι το σημείο καύσης (fire point) του υγρού. Αν η θερμοκρασία του υγρού είναι χαμηλότερη από το σημείο καύσης, τότε θα πρέπει να θερμανθεί προκειμένου να συντηρηθεί η φλόγα. Αν η θερμοκρασία του υγρού είναι υψηλότερη από το σημείο καύσης, τότε η διασπορά της φλόγας καθορίζεται από την ταχύτητά της μέσα στο εύφλεκτο μίγμα που σχηματίζεται πάνω από την επιφάνειά του. Οι Burgoyne και Roberts (1968) απέδειξαν ότι σε ένα στοιχειομετρικό μίγμα, η φαινόμενη ταχύτητα διασποράς της φλόγας είναι 4 με 5 φορές μεγαλύτερη από την βασική ταχύτητα καύσης.

Η ταχύτητα της φλόγας πάνω σε επιφάνειες στερεών εξαρτάται από τον προσανατολισμό και τη γεωμετρία της επιφάνειας, την κατεύθυνση της διάδοσης, το πάχος και τις ιδιότητες του καύσιμου υλικού και περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Η συμπεριφορά της φλόγας σε μία κάθετη επιφάνεια διαφέρει από αυτή σε μία οριζόντια επιφάνεια: η ταχύτητα διάδοσής της, εμφανίζεται μεγαλύτερη όταν η κατεύθυνση είναι προς τα πάνω σε μία κατακόρυφη επιφάνεια και τείνει να αυξάνεται εκθετικά. Από την άλλη πλευρά, ο ρυθμός της δια- σποράς της φλόγας είναι συνάρτηση του πάχους του υλικού. Έχει αποδειχθεί θεωρητικά και πειραματικά ότι σε λεπτά στρώματα καύσιμου υλικού η ταχύτητα διάδοσης είναι αντιστρόφως ανάλογη με το πάχος του τοιχώματος. Μία ακόμη παράμετρος που επιδρά στη διάδοση της φλόγας είναι η πυκνότητα του υλικού. Εφόσον όπως είναι γνωστό ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας ενός στερεού είναι κατά προσέγγιση ανάλογος με την πυκνότητά του, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η ταχύτητα της φλόγας παρουσιάζεται υψηλότερη στα υλικά μικρότερης πυκνότητας. Η ταχύτητα διάδοσης επηρεάζεται τέλος και από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η αρχική θερμοκρασία του υλικού, η ταχύτητα του αέρα στην επιφάνειά του, την ένταση της θερμικής ακτινοβολίας στην οποία εκτίθεται και την περίσσεια ή έλλειψη του οξυγόνου στην περιοχή της καύσης. Μία αύξηση της έντασης της θερμικής ακτινοβολίας μπορεί να ενισχύσει υπολογίσιμα το ρυθμό διάδοσης της φλόγας, ενώ η επίδραση ενός ρεύματος αέρα εξαρτάται από την κατεύθυνση που αυτό έχει. Ένα δυνατό ρεύμα αέρα προς την κατεύθυνση διάδοσης της φλόγας τείνει να επιταχύνει το ρυθμό διασποράς της τελευταίας. Το ίδιο συμβαίνει και όταν ρεύμα χαμηλής ταχύτητας αέρα πνέει σε κατεύθυνση αντίθετη από αυτή της διάδοσης. Ωστόσο, στην τελευταία περίπτωση υψηλότερες ταχύτητες αέρα οδηγούν σε επιβράδυνση του ρυθμού διασποράς της φλόγας. Έχει δε αποδειχθεί ότι για μία τιμή της ταχύτητας του αέρα αρκετά υψηλή και ανεξάρτητα από την κατεύθυνση του ρεύματος, η φλόγα τελικά σβήνει.

Όσον αφορά την διασπορά της φλόγας ο F.A. Williams εισήγαγε την *«Θεμελιώδη εξίσωση διάδοσης»:*

$$\rho \cdot V \cdot \Delta H = dq/dt$$

Όπου: ΔH η μεταβολή της ενθαλπίας ανά μονάδα μάζας κατά την άνοδο της θερμοκρασίας του υλικού μέχρι το σημείο καύσης,

dq/dt ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας κατά μήκος της επιφάνειας του υλικού,

V ο ρυθμός της διασποράς της φλόγας και

ρ η πυκνότητα του καύσιμου υλικού.

3.3.2. ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΑΠΟ ΕΚΡΗΞΕΙΣ

Η μελέτη των συγκεκριμένων επιπτώσεων παραμένει εμπειρική και κινείται γύρω από τον συσχετισμό της έκτασης των καταστροφών με τα επίπεδα της αναπτυσσόμενης από το ωστικό τμήμα υπερπίεσης. Έτσι οι καταστροφές αυτές οφείλονται στην συνδυασμένη δράση

α) του ωστικού κύματος,

β) της εκπεμπόμενης θερμικής ακτινοβολίας και

γ) των εκτοξευόμενων θραυσμάτων

Σύμφωνα με τον εμπειρικό πίνακα του Stephens (1970) εφαρμόζεται μια πρακτική μέθοδος αναφορικά με την εκτίμηση της σοβαρότητας των υλικών ζημιών στα διάφορα κτίρια.

Αναλυτικότερα, η έκταση των υλικών καταστροφών μπορεί συνοπτικά να ταξινομηθεί σε τέσσερα επίπεδα (ζώνες), ανάλογα με το μέγεθος της υπερπίεσης που αναπτύσσει το ωστικό κύμα της έκρηξης. Σύμφωνα με την περιγραφή αυτή, ένα κτίριο θεωρείται εντελώς κατεστραμμένο (ζώνη Α), όταν η επισκευή του είναι οικονομικά ασύμφορη. Η ζώνη Β περιλαμβάνει σοβαρές ζημιές, όπως η μερική κατάρρευση ή η αστοχία τμημάτων του φέροντος οργανισμού του κτηρίου. Στη ζώνη C ανήκει η περίπτωση του κτηρίου με υλικές ζημιές μεσαίου μεγέθους που επιδέχονται επισκευή. Οι βλάβες χαμηλής σοβαρότητας για τη στατικότητα του κτηρίου όπως οι μικρές ρηγματώσεις στα τοιχώματα, η θραύση παραθύρων ή οι ζημιές σε κεραμοσκεπές περιλαμβάνονται στη ζώνη D. Η κλιμάκωση που ορίζει ο Stephens απεικονίζεται στον ακόλουθο πίνακα:

Ζώνη	Έκταση υλικών ζημιών	Υπερπίεση (kPa)
A	Ολοκληρωτική καταστροφή	> 83
B	Σοβαρές βλάβες	> 35
C	Μέτριες βλάβες	>17
D	Αμελητέες έως μικρές βλάβες	> 3,5

Πίνακας 13: Η κλιμάκωση των υλικών ζημιών σύμφωνα με τον Stephens

Η μηχανική καταπόνηση των διαφόρων κατασκευών από το ωστικό κύμα μιας έκρηξης έχει μελετηθεί από τους Glasstone και Dolan (1980). Συγκεκριμένα, η δραστική πίεση (effective pressure) p_e σε δεδομένη γεωμετρική επιφάνεια στερεού εκφράζεται από το άθροισμα της υπερπίεσης (overpressure) p και της πίεσης από την αντίσταση του αέρα (drag pressure) p_d:

$$p_e(t) = p(t) + p_d(t)$$

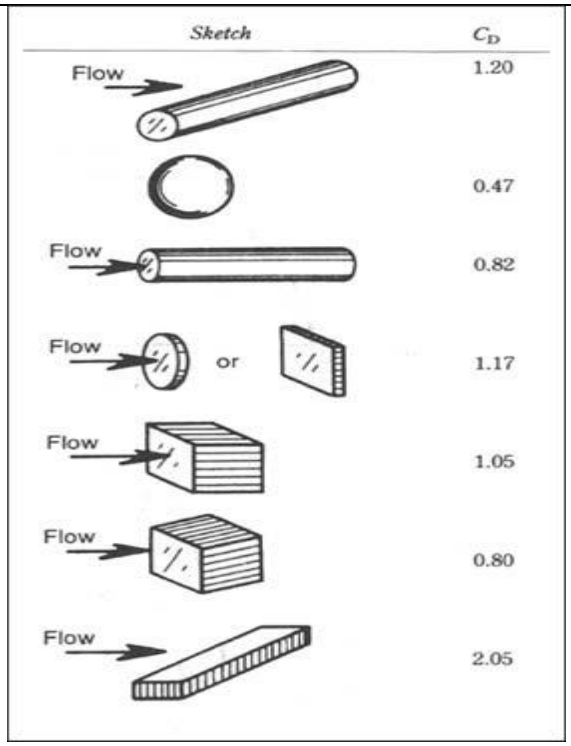
Η πίεση αντίστασης του αέρα είναι συνάρτηση της δυναμικής (dynamic) πίεσης q**:**

$$p_d(t) = C_D \cdot q(t)$$

Οπου: C_D ο συντελεστής αντίστασης του αέρα (dragcoefficient).

Οι τιμές που λαμβάνει ο συντελεστής αντίστασης του αέρα C_D για χαρακτηριστικές γεωμετρίες και προσανατολισμούς στερεών υλικών απεικονίζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Γεωμετρικό σχήμα	**Συντελεστής αντίστασης**
Επιμήκης κύλινδρος (πίεση στο μέσο του κυλίνδρου)	
Σφαίρα	
Επιμήκης κύλινδρος	
Δίσκος (κυκλικός ή τετραγωνικός)	
Κύβος (πίεση στο κέντρο)	
Κύβος (πίεση στην ακμή)	
Παραλληλεπίπεδο	



Πίνακας 14: Τιμές του συντελεστή C_D

Στην πραγματικότητα διακρίνονται δύο είδη μηχανικής φόρτισης των κατασκευών κατά τη διάδοση ενός ωστικού κύματος:

- η φόρτιση περίθλασης (diffraction loading)
- η φόρτιση από την αντίσταση του αέρα (drag loading).

Η πρώτη, αναφέρεται στη φόρτιση από την περίθλαση του ωστικού κύματος και καθορίζεται κύρια από τη μέγιστη αναπτυσσόμενη υπερπίεση. Η δεύτερη, εξαρτάται από τη δυναμική πίεση q και συνεπώς από την πίεση αντίστασης του αέρα. Υπάρχουν δύο τύποι φόρτισης περίθλασης. Ο ένας οφείλεται στη διαφορά πίεσης που αναπτύσσεται μεταξύ της πρόσοψης και του οπίσθιου τμήματος της επιφάνειας κατά τον άξονα διάδοσης του ωστικού κύματος. Με εξαίρεση τις επιμήκεις κατασκευές, έχει πολύ μικρή διάρκεια. Ο άλλος τύπος φόρτισης περίθλασης οφείλεται στη διαφορά πίεσης μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού ενός κτηρίου. Αυτή η καταπόνηση προσεγγίζει τη συμπεριφορά ενός στατικού φορτίου και είναι μεγαλύτερης διάρκειας. Το δυναμικό των υλικών ζημιών εξαιτίας του φορτίου περίθλασης είναι συνάρτηση της μέγιστης υπερπίεσης και της χρονικής διάρκειας του ωστικού κύματος.

Η φόρτιση από την αντίσταση του αέρα εξαρτάται τόσο από το ωστικό κύμα, όσο και από τη μορφολογία της κατασκευής. Η ίδια κατασκευή, είναι δυνατό να υποστεί φόρτιση περίθλασης ή αντίστασης του αέρα ανάλογα με τη διάρκεια του ωστικού κύματος της έκρηξης. Γενικά ένα ωστικό κύμα μικρής διάρκειας τείνει να φορτίζει τις διάφορες δομές με το μηχανισμό της περίθλασης, ενώ απεναντίας ένα μεγάλης διάρκειας, φορτίζει μέσω της αντίστασης του αέρα. Στην περίπτωση μιας κλειστής κατασκευής, η διάρκεια της φόρτισης από περίθλαση είναι περίπου ίση με το χρόνο που απαιτείται για να διανύσει το ωστικό κύμα την απόσταση από το μπροστινό έως το οπίσθιο τμήμα της δομής. Το χρονικό διάστημα αυτό είναι σχετικά μικρό. Η φόρτιση από την αντίσταση του αέρα εκδηλώνεται καθ' όλη τη διάρκεια της προαναφερθείσας φάσης και για ένα χρονικό διάστημα μετά από αυτή. Η χρονική περίοδος της φόρτισης από την αντίσταση του αέρα είναι μεγάλη σε σύγκριση με την αντίστοιχη της φόρτισης περίθλασης. Οι κατασκευές που κατά κανόνα υφίστανται φορτίσεις από περίθλαση περιλαμβάνουν κλειστές ή ημίκλειστες γεωμετρίες όπως τα κτήρια με μικρού μεγέθους παράθυρα και οι δεξαμενές αποθήκευσης. Φορτίσεις από την αντίσταση του αέρα, τείνουν να δέχονται επιμήκεις δομές με μεγάλο σχετικά ύψος όπως οι κολώνες του ηλεκτρικού δικτύου και οι φανοστάτες. Σε αυτή την κατηγορία μπορεί να ανήκουν και κτήρια με μεγάλες επιφάνειες παραθύρων.

Οι μηχανικές φορτίσεις από την αντίσταση του αέρα αποδεικνύονται περισσότερο σημαντικές σε περιπτώσεις εκρήξεων που δίνουν ωστικό κύμα μεγάλης διάρκειας όπως οι πυρηνικές εκρήξεις και λιγότερο σε περιπτώσεις εκρήξεων με ωστικό κύμα μικρής διάρκειας, όπως αυτές της τρινιτροτολουόλης (TNT).

Οι κυριότεροι παράγοντες που καθορίζουν την απόκριση μιας κατασκευής στις μηχανικές φορτίσεις είναι:

α) η φυσική περίοδος

β) το όριο ελαστικότητας

γ) ο συντελεστής ελαστικότητας (ductility ratio) και δ) η συνάρτηση αντίστασης.

Η ελαστική συμπεριφορά μιας δομής μπορεί να περιγραφεί από την ακόλουθη σχέση:

$$T_n = 1/f_n = 2 \cdot \pi/\omega_n = 2\pi \cdot (m/k)^{1/2}$$

Όπου: f_n η φυσική κυκλική συχνότητα,

T_n η φυσική περίοδος και

ω_n η φυσική συχνότητα.

Από την εξίσωση αυτή είναι δυνατό να υπολογιστεί η ελαστική σταθερά k από την φυσική περίοδο Τη και αντιστρόφως.

Ορισμένες τυπικές τιμές της φυσικής περιόδου χαρακτηριστικών δομών δίνονται από τον R. J. Harris (1983):

πλινθοδομή (τοίχος από τούβλα) = 20- 40 sec

τοίχος από σκυρόδεμα = 10 - 15 sec

πάτωμα από σκυρόδεμα = 10 -30 sec

από την άλλη, ο Kinney (1962) πρότεινε την ακόλουθη εμπειρική σχέση για τον υπολογισμό της φυσικής περιόδου ενός σύγχρονου κτηρίου:

$$T = 0{,}05 \cdot H/B^{1/2}$$

Όπου: B το πλάτος του κτηρίου (ft),

H το ύψος του (ft) και

T η φυσική περίοδος (sec).

Για το χρονικό διάστημα te που μεσολαβεί έως το υλικό να φτάσει το όριο της μέγιστης ελαστικής παραμόρφωσης, πέρα από το οποίο, η παραμόρφωση είναι μόνιμη (πλαστική παραμόρφωση) δίνεται η παρακάτω σχέση:

$$t_e = T/4 \cdot (p_m / r_e)^{-1/2}$$

Όπου: p_m είναι η πίεση του ωστικού κύματος (N/m^2),

r_e η μέγιστη ελαστική παραμόρφωση ανά μονάδα επιφάνειας (N/m_2),

t_e είναι ο χρόνος μέχρι το όριο της ελαστικής παραμόρφωσης (sec) και

T η φυσική περίοδος (sec).

Κοινό χαρακτηριστικό όλων ανεξαιρέτως των εκρήξεων, είναι η εκτόξευση θραυσμάτων διαφόρων μεγεθών με μεγάλες ταχύτητες, προς όλες τις κατευθύνσεις. Όταν η έκρηξη λαμβάνει χώρα σε ένα κλειστό σύστημα (δοχείο πίεσης κ.λπ.), τα θραύσματα αποτελούνται τόσο από κομμάτια του περιβλήματος, τα οποία ονομάζονται πρωτεύοντα, όσο και από άλλα αντικείμενα του περιβάλλοντος χώρου που εκτοξεύονται καθώς μέρος της ενέργειας του ωστικού κύματος που συνοδεύει την έκρηξη μεταδίδεται στα διάφορα υλικά που συναντά στην πορεία του. Τα τελευταία καλούνται δευτερεύοντα θραύσματα. Το δυναμικό πρόκλησης υλικών καταστροφών από τα θραύσματα είναι συνάρτηση της αρχικής ενέργειας των εκσφενδονιζόμενων τεμαχίων, του μεγέθους τους, του αριθμού τους και του βεληνεκούς. Η αρχική ενέργεια ενός θραύσματος σχετίζεται άμεσα με την αρχική ταχύτητα με την οποία εκσφενδονίζεται. Η δύναμη που ασκείται σε ένα θραύσμα εξαρτάται από το μηχανισμό της έκρηξης.

Συμπερασματικά, όσον αφορά τα πρωτεύοντα θραύσματα, ξεχωρίζουν κυρίως τρεις περιπτώσεις:

α) έκρηξη του δοχείου πίεσης και δημιουργία μεγάλου αριθμού θραυσμάτων μικρού μεγέθους

β) διάσπαση του δοχείου σε δύο μεγάλα κομμάτια, ή και εκτόξευση του ίδιου του δοχείου σε μεγάλη απόσταση

γ) μεμονωμένη εκτόξευση ενός αντικειμένου (π.χ. εξάρτημα της βαλβίδας ανακούφισης πίεσης).

Η διεθνή βιβλιογραφία περιλαμβάνει ένα πλήθος εξισώσεων αναφορικά με την εκτίμηση της ικανότητας διείσδυσης των θραυσμάτων στα διάφορα υλικά. Στην πράξη, μόνο ένα ποσοστό της κινητικής ενέργειας του θραύσματος μεταφέρεται στο στόχο (κτήριο, όχημα, κλπ) και έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει υλικές ζημιές. Μέρος της κινητικής ενέργειας καταναλώνεται στην παραμόρφωση ή και αποσύνθεση του ίδιου του θραύσματος.

Πιο συγκεκριμένα, η κατανομή της ενέργειας ανάμεσα στο θραύσμα και το στόχο εξαρτάται από τη σχετική σκληρότητά που παρουσιάζουν αμφότερα τα υλικά και εμφανίζει μεγάλες διακυμάνσεις. Εάν το θραύσμα παραμορφώνεται ευκολότερα από το στόχο, τότε απορροφά μεγαλύτερη ενέργεια από αυτή που μεταδίδει. Η σχετική σκληρότητα είναι συνάρτηση της ταχύτητας πρόσκρουσης. Όταν η ταχύτητα πρόσκρουσης είναι χαμηλή, η σχετική σκληρότητα καθορίζεται από τη συνολική παραμόρφωση και των δύο υλικών. Στην αντίθετη περίπτωση, οι υψηλές ταχύτητες πρόσκρουσης προκαλούν τοπικές παραμορφώσεις και η ενεργειακή κατανομή διαφοροποιείται.

Σημαντικό αποτέλεσμα των φαινομένων που συνοδεύουν την έκρηξη, σκόπιμο είναι να αναφερθεί και η πιθανή δημιουργία κρατήρα στο έδαφος. Ο κρατήρας είναι συνήθως αποτέλεσμα έκρηξης πυκνής φάσης (εκρηκτικής ύλης). Οι παράγοντες που επηρεάζουν το είδος και το μέγεθος του σχηματιζόμενου κρατήρα είναι η θέση της εκρηκτικής ύλης σε σχέση με το έδαφος, η φύση του εδάφους, καθώς και η ποσότητα του εκρηκτικού. Μία έκρηξη στην επιφάνεια του εδάφους δημιουργεί κρατήρα μικρό σε βάθος αλλά μεγαλύτερης διαμέτρου από μια αντίστοιχη έκρηξη λίγο κάτω από την επιφάνεια. Επίσης, η ίδια έκρηξη θα προκαλέσει μεγαλύτερο κρατήρα σε βραχώδες έδαφος και μικρότερο σε

αμμώδες. Στην πρώτη περίπτωση, η αρχική δόνηση διαδίδεται και ρηγματώνει το βράχο με τη διέλευση του κύματος πίεσης. Τα διαστελλόμενα αέρια εισέρχονται στις ρωγμές και επιταχύνουν το θρυμματισμό του βράχου. Αντίθετα, στη δεύτερη περίπτωση η διάδοση της δόνησης είναι αμελητέα. Από την άλλη πλευρά υπάρχουν εκρήξεις όπως οι εκρήξεις νέφους αερίου, που είναι απίθανο να οδηγήσουν στη δημιουργία κρατήρα. Μία εξίσωση που συσχετίζει τον όγκο του κρατήρα από έκρηξη δυναμίτιδας στην επιφάνεια κανονικού εδάφους αποτελεί ο τύπος του Olsen:

$$V = 0,4 \cdot Q^{8/7}$$

Τέλος, ο V.C. Marshall (1987) εισήγαγε μία σχέση που συνδέει τη διάμετρο ενός κρατήρα με τον όγκο του:

$$D = 3 \cdot V^{0,5} / h$$

Όπου: D η διάμετρος του κρατήρα σε (m),

V ο όγκος του σε (m^3) και

h το βάθος του σε (m).

3.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Το πρόβλημα της προστασίας του περιβάλλοντος έχει λάβει παγκόσμια διάσταση. Θεωρείται και είναι ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα της εποχής μας. Η διαπίστωση αυτή δεν είναι βέβαια κάτι καινούριο, υπό την έννοια ότι πάντοτε οι ενέργειες του ανθρώπου, άμεσα ή έμμεσα, είχαν κάποιο αντίκτυπο στο φυσικό χώρο που τον περιβάλλει. Σήμερα όμως, σύμφωνα με επιστημονικές μελέτες, η υποβάθμιση και η καταστροφή του περιβάλλοντος αποτελούν μια εκτεταμένη και γεμάτη κινδύνους πραγματικότητα. Οι αλόγιστες παρεμβάσεις του ανθρώπου στη φύση και η καταχρηστική χρησιμοποίηση και εκμετάλλευση του φυσικού πλούτου οδηγούν μεσοπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα σε ολέθριες συνέπειες. Υποβαθμίζονται, καταστρέφονται ή εξαφανίζονται πρωταρχικά για τη ζωή αγαθά όπως το καθαρό νερό, ο καθαρός αέρας, τα τοπία, τα ζώα και τα φυτά. Επιπρόσθετα, μεταβάλλονται δυσμενώς οι κλιματολογικές συνθήκες, υπονομεύεται η διατροφή μας, απειλείται πολύπλευρα η υγεία μας, ενώ παράλληλα εμποδίζεται και διαστρέφεται η φυσιολογική ανάπτυξη του ψυχικού μας κόσμου.

Η βιομηχανία και οι λοιπές οικονομικές δραστηριότητες του ανθρώπου απαιτούν την καθημερινή μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων επικίνδυνων φορτίων. Η μεταφορά των φορτίων αυτών, στο μεγαλύτερο ποσοστό τους - ξεπερνά το 65%- γίνεται οδικώς. Ένα ποσοστό της τάξης του 15% μεταφέρεται σιδηροδρομικώς, το 20% με θαλάσσια μεταφορικά μέσα, ενώ ελάχιστα επικίνδυνα εμπορεύματα μεταφέρονται αεροπορικώς. Τα ατυχήματα που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της μεταφοράς επικίνδυνων εμπορευμάτων, εγκυμονούν σε πολλές περιπτώσεις σοβαρούς κινδύνους για το κοινωνικό σύνολο, τη ζωή και την υγεία των ανθρώπων και των ζώων, καθώς και για τη δημόσια τάξη και ασφάλεια. Οι κίνδυνοι αυτοί πηγάζουν κατά κύριο λόγο από την πιθανότητα διαρροής μέρους ή και ολόκληρου του επικίνδυνου φορτίου στον περιβάλλοντα χώρο, που συνιστά ρύπανση και διατάραξη της οικολογικής ισορροπίας με απρόβλεπτες πολλές φορές συνέπειες για τη χλωρίδα, την πανίδα και τους κατοίκους μιας περιοχής.

Ατύχημα μεγάλης έκτασης λογίζεται κάθε γεγονός που έχει σαν συνέπεια τη διαρροή (εκπομπή) ικανής ποσότητας τοξικών υλών, μία πυρκαγιά ή μία έκρηξη, προέρχεται από μη ελεγχόμενες εξελίξεις και συνεπάγεται σοβαρό άμεσο ή έμμεσο κίνδυνο για ανθρώπους και περιβάλλον.

Χαρακτηριστική περίπτωση μη ελεγχόμενης εξέλιξης είναι η καταστροφή της συσκευασίας του φορτίου ή η αστοχία της δομής του μεταφορικού μέσου. Το είδος και το μέγεθος της οικολογικής βλάβης που προκαλεί ή ακούσια ή εκούσια απόρριψη επικίνδυνων

χημικών ουσιών στο περιβάλλον, εξαρτάται από τη φύση, τις ιδιότητες, την κατάστασή τους καθώς και από την ποσότητα της έκλυσης.

Γενικά, η χημική ρύπανση που προέρχεται από πυρκαγιές, εκρήξεις και διαρροές τοξικών ουσιών, συμβάλλει στην επιδείνωση των κυριοτέρων σύγχρονων περιβαλλοντικών προβλημάτων όπως:

- εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος
- το φαινόμενο του θερμοκηπίου
- όξυνση του περιβάλλοντος (όξινη βροχή)
- μόλυνση και εν γένει υποβάθμιση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, των υδάτινων αποδεκτών (ποταμοί, λίμνες, θάλασσα) και του εδάφους.

3.4.1 Η ΕΞΑΣΘΕΝΙΣΗ ΤΗΣ ΣΤΙΒΑΔΑΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

Η στιβάδα του όζοντος είναι ένα αέριο στρώμα που βρίσκεται στη στρατόσφαιρα σε ύψος 25-30 km πάνω από την επιφάνεια της γης και λειτουργεί σαν φυσική προστατευτική ασπίδα που φιλτράρει την επιβλαβή υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου. Το τμήμα του ηλιακού φάσματος με μήκος κύματος 180-280 nm γνωστό σαν UV-C (υπεριώδες), είναι θανατηφόρο για τους ζωντανούς οργανισμούς. Το όζον, έχει την ιδιότητα να απορροφά σχεδόν εξ ολοκλήρου την υπεριώδη ακτινοβολία UV-C καθώς και ένα μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας με μήκος κύματος 280-320 nm (UV-B) που είναι επίσης επικίνδυνο για ορισμένες μορφές ζωής. Στη στρατόσφαιρα, μόρια του οξυγόνου διασπώνται σε άτομα, τα οποία ενώνονται με άλλα μόρια οξυγόνου και σχηματίζουν το όζον. Η διαδικασία αυτή είναι αντιστρεπτή: Το όζον διασπάται σε μοριακό και ατομικό οξυγόνο μέσω της απορρόφησης της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας. Το συνολικό ποσό του όζοντος στη στρατόσφαιρα αντικατοπτρίζει μία ισορροπία ανάμεσα στο ρυθμό παραγωγής και διάσπασής του. Τα τελευταία όμως χρόνια, παρατηρήθηκε μια μείωση του πάχους του στρώματος του όζοντος, ιδιαίτερα πάνω από την Ανταρκτική, όπου διαπιστώθηκε σημαντική εξασθένιση της στιβάδας του προστατευτικού αερίου (τρύπα του όζοντος). Βασικές αιτίες της εξασθένισης της στιβάδας του όζοντος θεωρούνται σήμερα ορισμένες χημικές ουσίες που συμπεριφέρονται καταλυτικά στην ατμόσφαιρα. Ένα μόνο μόριο μιας τέτοιας ουσίας μπορεί να καταστρέψει μέχρι και 100.000 άτομα όζοντος πριν απομακρυνθεί. Καταλύτες επικίνδυνοι για το όζον είναι τα οξείδια του χλωρίου, του αζώτου και

του υδρογόνου. Το μεγαλύτερο μερίδιο «ευθύνης» για την ελάττωση του όζοντος έχουν οι χλωροφθοράνθρακες (CFC's).

Όπως προαναφέρθηκε, η μείωση της στιβάδας του όζοντος έχει σα συνέπεια την άφιξη αφιλτράριστης ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης. Η δράση της υπεριώδους ακτινοβολίας στους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς είναι επιβλαβής.

Τα περισσότερα φυτά είναι ευαίσθητα στην υπεριώδη ακτινοβολία. Είναι πιθανή η ελάττωση στην παραγωγή βιομάζας. Στον άνθρωπο μπορεί να προκληθούν αλλεργικές αντιδράσεις, γήρανση του δέρματος, καρκίνοι του δέρματος, καταρράκτης στα μάτια κ.α. Σοβαρότατες είναι και οι επιπτώσεις σε παγκόσμιο επίπεδο λόγω: α) της Μεταβολής του κλίματος, καθώς το όζον λειτουργεί σα δεξαμενή θερμικής ενέργειας επηρεάζοντας τη θερμοκρασία της στρατόσφαιρας και της τροπόσφαιρας β) της ανόδου της θερμοκρασίας του εδάφους εξαιτίας της αυξημένης υπεριώδους ακτινοβολίας που φθάνει στη γη.

3.4.2 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Greenhouse effect) είναι όρος που χρησιμοποιείται διεθνώς τις τελευταίες δεκαετίες για να περιγράψει την παγκόσμια αύξηση της μέσης θερμοκρασίας στον πλανήτη. Τον τελευταίο αιώνα εξαιτίας των μεγάλων ποσοτήτων καυσίμων που καίγονται, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα έχουν αυξηθεί σημαντικά. Το 19ο αιώνα, η συγκέντρωση του αερίου αυτού ήταν 280 ppm, ενώ σήμερα έχει ξεπεράσει τα 340 ppm. Εκτιμάται ότι με τον υπάρχοντα ρυθμό κατανάλωσης καυσίμων, το 2050 η συγκέντρωση του CO_2 θα έχει διπλασιαστεί. Τα μόρια του διοξειδίου του άνθρακα απορροφούν ενέργεια από τις υπέρυθρες ακτίνες του ηλιακού φάσματος. Το τμήμα αυτό του ηλιακού φάσματος περιλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της θερμικής ενέργειας, η οποία κανονικά πρέπει να ακτινοβολείται από τη γη και να επιστρέφει στο διάστημα. Το CO_2 έχει την ιδιότητα να δεσμεύει την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπεται από το έδαφος της γης το οποίο δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία σαν ένα θερμομονωτικό σώμα, δημιουργώντας αυτό που ονομάζουμε «φαινόμενο του θερμοκηπίου». Ήδη από το 1899 διατυπώθηκε η άποψη ότι η αυξανόμενη περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε διοξείδιο του άνθρακα θα προκαλέσει άνοδο της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Πολλοί επιστήμονες εκφράζουν φόβους ότι μέσα στις επόμενες δεκαετίες η μέση θερμοκρασία μπορεί να αυξηθεί σε επίπεδα τέτοια, ώστε να λιώσουν οι πάγοι των πόλων και να ανυψωθεί η στάθμη των ωκεανών κατά 30 μέτρα, γεγονός που θα ήταν καταστροφικό για όλες τις παραλιακές πόλεις. Η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη είναι βέβαιο ότι θα οδηγήσει σε ραγδαίες κλιματολογικές μεταβολές, μετάπτωση των ζωνών

βλάστησης και μείωση της βιοποικιλότητας λόγω υπέρβασης των ορίων θερμικής ανοχής των οργανισμών.

3.4.3 ΟΞΥΝΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Η όξυνση του φυσικού περιβάλλοντος έχει σχέση με την αύξηση της οξύτητας των αβιοτικών παραγόντων ενός οικοσυστήματος και συνδέεται με τη διασπορά του διοξειδίου του θείου και των οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα. Τα οξείδια αυτά κατακάθονται στο έδαφος σαν ξηρές αποθέσεις ή σχηματίζουν οξέα και μεταφέρονται με τα υδροσταγονίδια δημιουργώντας «όξινα κατακρημνίσματα» γνωστά ως όξινη βροχή. Οι όξινες εναποθέσεις έχουν ορισμένες σοβαρές επιπτώσεις ιδιαίτερα όταν το pH των είναι χαμηλότερο από 5,1.

Ανάμεσα σε αυτές είναι:

α) αλλοίωση κτηρίων, αγαλμάτων και αρχαίων μνημείων, διάβρωση μετάλλων και άλλων δομικών υλικών

β) θάνατος ψαριών, υδρόβιων φυτών και μικροοργανισμών σε λίμνες και ποτάμια

γ) εξασθένιση ή και καταστροφή δασών -ειδικότερα κωνοφόρων- σε μεγάλο υψόμετρο, μέσω της απόπλυσης του ασβεστίου, του καλίου και άλλων θρεπτικών για τα φυτά συστατικών από το έδαφος δ) καταστροφή του ριζικού συστήματος των φυτών και θάνατος πολλών ειδών ψαριών λόγω της απελευθέρωσης ιόντων βαρέων μετάλλων όπως ο μόλυβδος, ο υδράργυρος, το κάδμιο κ.α. από το έδαφος και τα ιζήματα του πυθμένα.

ε) εξασθένιση φυτών και ευαισθητοποίησή τους στην προσβολή από ασθένειες, την ξηρασία, καθώς και σε έντομα και μύκητες που επιβιώνουν σε όξινες συνθήκες

στ) πρόκληση ασθενειών στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου ή επιδείνωση των ήδη υπαρχουσών.

3.4.4 ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ, ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΑΠΟΔΕΚΤΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να θεωρηθεί η χειρότερη από όλες τις μορφές ρύπανσης διότι:

α) Είναι πρακτικά αδύνατος ο καθαρισμός του αέρα από τους ρυπαντές. Η αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, με την έννοια της απομάκρυνσης των ρυπαντών, είναι δυνατό να γίνει μόνο στις πηγές της ρύπανσης.

β) Δεν υπάρχει δυνατότητα αποφυγής της εισπνοής του μολυσμένου αέρα, σε αντίθεση π.χ. με το νερό, όπου εάν το δίκτυο ύδρευσης είναι ανασφαλές σε επίπεδο υγιεινής, υπάρχει η εναλλακτική λύση της κατανάλωσης νερού άλλης προέλευσης, όπως το εμφιαλωμένο.

γ) Οι ρύποι στον ατμοσφαιρικό αέρα παρουσιάζουν μεγάλη δυνατότητα διάχυσης, οπότε είναι αδύνατος ο περιορισμός των χημικών ουσιών που έχουν διαφύγει, αλλά από την άλλη πλευρά η αραίωσή τους ελαττώνει τις συνέπειες των επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Η γήινη ατμόσφαιρα διαθέτει μηχανισμούς αυτοκαθαρισμού όπως τη βροχή και τις άλλες μορφές κατακρημνίσεων, την απορρόφηση των ρύπων από τη θάλασσα και την καθίζησή τους στο έδαφος. Πρόσθετα, οι ίδιοι οι ρύποι αποσυντίθενται ή οξειδώνονται. Τέλος η διάχυση των ρύπων βοηθά στην αραίωσή τους. Οι μηχανισμοί που αναφέρθηκαν μπορούν να αντιμετωπίσουν εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα, χωρίς όμως να σημαίνει ότι η δυνατότητα αυτή είναι απεριόριστη. Η ατμόσφαιρα που περιβάλλει τη γη είναι μίγμα πολλών αερίων. Η έκτασή της φτάνει τα 100 χιλιόμετρα σε ύψος, αλλά το 95% των αερίων περιέχεται πρώτα 15 χιλιόμετρα από την επιφάνεια. Η σύνθεση της ατμόσφαιρας στην επιφάνεια της γης αποτελείται σε εκατοστιαία σύνθεση κατ' όγκο από τα εξής συστατικά: άζωτο: 78%, οξυγόνο: 21% αργό: 0,9%.

Εκτός από αυτά υπάρχουν και άλλα αέρια με μικρές περιεκτικότητες, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, διάφορα ευγενή αέρια, μεθάνιο κ.λπ. Στον αέρα περιέχονται και υδρατμοί σε κυμαινόμενο ποσοστό, οι οποίοι δημιουργούν τα γνωστά μετεωρολογικά φαινόμενα της βροχής, της χιονόπτωσης κ.λπ. Η ατμόσφαιρα ρυπαίνεται από διάφορες φυσικές δραστηριότητες, όπως ή φυσική αποικοδόμηση της οργανικής ύλης, η ηφαιστειακή δραστηριότητα, οι πυρκαγιές των δασών από κεραυνούς, το υπεριώδες τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας που παράγει όζον και τους ανέμους που ανασηκώνουν σκόνη. Όλοι οι ανωτέρω ρύποι, μολονότι σε ποσότητες ξεπερνούν κατά πολύ τους αντίστοιχους από ανθρώπινες δραστηριότητες, δε δημιουργούν ιδιαίτερα προβλήματα. Αυτό που θα πρέπει να αναφερθεί είναι ότι η διεργασία της καύσης στα πλαίσια των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων, ευθύνεται σε ένα πολύ μεγάλο ποσοστό για τη ρύπανση της ατμόσφαιρας. Η ρύπανση δημιουργείται από τα προϊόντα της κατανάλωσης διαφόρων

υγρών και στερεών καυσίμων με βάση τον άνθρακα, τα οποία περιέχουν τοξικές ή δηλητηριώδεις ενώσεις. όμως, και η έκλυση μη τοξικών αερίων όπως το διοξείδιο του άνθρακα όταν γίνεται σε μεγάλες ποσότητες που αλλοιώνουν τη φυσική σύνθεση του αέρα είναι ανεπιθύμητη. Η έκλυση των βλαβερών αερίων λαμβάνει χώρα είτε λόγω ατελούς καύσης, είτε διότι κατά την καύση σε υψηλές θερμοκρασίες συμβαίνουν παράλληλα και άλλες χημικές αντιδράσεις που έχουν σαν αποτέλεσμα την παραγωγή διαφορετικών προϊόντων.

Οι ρύποι που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

α) αέριοι ρύποι, που περιλαμβάνουν τα διάφορα αέρια που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα και

β) σωματίδια, που περιλαμβάνουν στερεά και υγρά πολύ μικρού μεγέθους τα οποία αιωρούνται για κάποιο χρονικό διάστημα στον αέρα. Ο όρος «σωματίδια» είναι γενικός και χαρακτηρίζει όλους τους ρυπαντές με μέγεθος μεγαλύτερο από ένα μόριο και μικρότερο από 1000 μm. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των σωματιδίων είναι το μέγεθος και η ταχύτητα κατακάθισης. Γενικά τα σωματίδια με μέγεθος πάνω από 100 μm έχουν ταχεία κατακάθιση, ενώ τα σωματίδια με μέγεθος μικρότερο από 1μm αιωρούνται λόγω του μικρού βάρους των. Τα σωματίδια με μέγεθος πάνω από 20 μm καλούνται ανάπιπτα γιατί καθιζάνουν εύκολα στο έδαφος, ενώ τα μικρότερα από 10 μm ονομάζονται αιωρούμενα.

Μερικές ενδιαφέρουσες κατηγορίες σωματιδίων είναι οι εξής:

α) Η σκόνη που δημιουργείται από τη θραύση ή την ελάττωση του μεγέθους στερεών σωμάτων (π.χ σε περίπτωση έκρηξης). Τα σωματίδια αυτά έχουν σχήμα ακανόνιστο και μέγεθος που κυμαίνεται από 1 μm έως 200 μm. Σε αυτή την κατηγορία υπάγεται και η αιωρούμενη τέφρα που εκπέμπεται από την καύση άνθρακα.

β) Ο καπνός, που αποτελείται από στερεά σωματίδια ή υγρά σταγονίδια μεγέθους από 0,01 μm έως 1 μm. Λόγω του μικρού μεγέθους τους, τα σωματίδια του καπνού δεν πέφτουν στο έδαφος και αιωρούνται πάντα στον αέρα. Είναι σχεδόν σφαιρικά, με υγρή ή πισσώδη φύση με ακανόνιστο σχήμα, αν βρίσκονται σε στερεά κατάσταση. Ο καπνός

παράγεται κατά την καύση οργανικών υλών (ξύλα, άνθρακες κ.λπ.) και δημιουργεί εκτός των άλλων και οπτική ρύπανση λόγω του μαύρου χρώματός του.

γ) Οι αναθυμιάσεις. Εκπέμπονται από καύσεις, συμπυκνώσεις και άλλες διεργασίες που γίνονται σε υψηλές θερμοκρασίες. Διακρίνονται από τον καπνό διότι δεν έχουν μαύρο χρώμα. Το μέγεθος των σωματιδίων αυτών κυμαίνεται από 0,1 ως 1 μm.

δ) Η ομίχλη. Αποτελείται από σταγονίδια μεγέθους 2 έως 200 μm και σχηματίζεται από συμπυκνώσεις υδρατμών ή ατμών διαφόρων χημικών ουσιών, ή διαμερισμό υγρών.

ε) Η καπνομίχλη (SMOG) που αποτελεί συνδυασμό καπνού και ομίχλης.

Η δράση των σωματιδίων που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα είναι πολυδιάστατη:

Τα στερεά ή υγρά σωματίδια που βρίσκονται στον αέρα μπορεί να αποκτήσουν ιδιαίτερες ιδιότητες, διαφορετικές ή πολύ εντονότερες από αυτές που τα χαρακτηρίζουν στη συνήθη κατάστασή τους. Η αιτία είναι ο λεπτός διαμερισμός τους με αποτέλεσμα να εμφανίζουν μεγάλη επιφάνεια ανά μονά- δα μάζας και να «ενεργοποιούνται» ιδιότητες όπως η απορρόφηση αερίων και η κατάλυση χημικών αντιδράσεων. Οι συνέπειες της συμπεριφοράς αυτής μπορεί να είναι απρόβλεπτες.

Έχουν αναφερθεί εκρήξεις κατά την καύση ή οξείδωση χημικών ενώσεων που βρίσκονται σε πολύ λεπτό καταμερισμό. Τα σωματίδια με μέγεθος μικρότερο από 3 μm εισέρχονται εύκολα στο αναπνευστικό σύστημα ανθρώπων και ζώων και λόγω της έντονης τάσης απορρόφησης αερίων που έχουν, συλλέγουν διάφορα τοξικά αέρια όπως το διοξείδιο του θείου, που παραμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα στους πνεύμονες προσκολλημένο στην επιφάνεια των σωματιδίων αυτών.

Ένας ακόμη μηχανισμός που αποδίδεται στην αυξημένη καταλυτική ικανότητα των σωματιδίων που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα είναι η οξείδωση του διοξειδίου του θείου που εκπέμπεται στον αέρα από το οξυγόνο με καταλύτη λεπτά σωματίδια οξειδίου του σιδήρου (σκουριάς). Το σχηματιζόμενο τριοξείδιο του θείου ενυδατώνεται από τους υδρατμούς και παράγονται σταγονίδια θειικού οξέος, ουσία εξαιρετικά διαβρωτική και όξινη.

Σημαντική είναι η συμμετοχή των αιωρούμενων σωματιδίων στον σχηματισμό της αιθαλομίχλης, λόγω της προσρόφησης αερίων και της ταυτόχρονης προώθησης χημικών αντιδράσεων εξαιτίας της καταλυτικής δράσης τους.

Τέλος τα σωματίδια έχουν την ιδιότητα να απορροφούν κάθε ακτινοβολούμενη ενέργεια, την οποία στη συνέχεια μεταδίδουν στον περιβάλλοντα αέρα, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό τη θερμοκρασία του, ενώ τα ίδια τα αέρια της ατμόσφαιρας δεν έχουν τη δυνατότητα απορρόφησης ενέργειας.

Συμπερασματικά οι επιβλαβείς επιδράσεις των σωματιδίων στα ζώα και τον άνθρωπο οφείλονται:

α) στην τοξικότητα των ουσιών που τα αποτελούν, όπως το 3,4 βενζοπυρένιο που βρίσκεται στον καπνό και θεωρείται καρκινογόνο (πολυπυρηνικός υδρογονάνθρακας).

β) την τοξικότητα των ουσιών που απορροφούν τα σωματίδια και

γ) την παρεμπόδιση των αναπνευστικών λειτουργιών.

Αναφορικά με την τελευταία επίδραση είναι σήμερα γνωστό ότι τα σωματίδια με μέγεθος μεγαλύτερο από 5 μm κατακρατούνται από το ανώτερο αναπνευστικό σύστημα και αποβάλλονται από τον ανθρώπινο οργανισμό με κινήσεις των μαστιγίων του κροσσωτού επιθηλίου που μεταφέρει τη βλέννα. Τα μικρότερα σωματίδια φτάνουν μέχρι τις κυψελίδες για να απομακρυνθούν με διάφορους μηχανισμούς όπως η δράση των φαγοκυττάρων που περιβάλλουν τους ρύπους και η λειτουργία του λεμφικού συστήματος. Είναι ωστόσο βέβαιο, ότι σημαντικό μέρος των πολύ μικρών σωματιδίων που τελικά εισδύουν στον πνεύμονα παραμένουν εκεί και δημιουργούν δύσπνοια, πνευμονοκονιάσεις και άλλες ασθένειες όπως ο καρκίνος των πνευμόνων, το βρογχικό άσθμα και η χρόνια βρογχίτιδα.

Εκτός από τα αιωρούμενα σωματίδια, σημαίνοντα ρόλο στη συνολική ρύπανση κατέχουν και οι αέριες μολυσματικές ουσίες όπως το μονοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια του θείου, τα οξείδια του αζώτου, οι υδρογονάνθρακες και το διοξείδιο του άνθρακα.

<u>Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)</u>

Είναι αέριο άχρωμο και άοσμο και αποτελεί το βασικό προϊόν που παράγεται κατά την καύση και την αποσύνθεση οργανικών ενώσεων. Δεν είναι τοξικό και γι' αυτό από πολλούς δε θεωρείται ρύπος. Προβλήματα μπορεί να προκαλέσει στην περίπτωση που εκτοπίσει τελείως τον ατμοσφαιρικό αέρα από κάποια περιοχή και δεν υπάρχει επάρκεια οξυγόνου για τη διατήρηση της ζωής. Το CO_2 είναι φυσικό συστατικό της ατμόσφαιρας και ανταλλάσσεται

μεταξύ του αέρα και των ζώντων οργανισμών (ζώων και φυτών) στα πλαίσια του κύκλου του άνθρακα στη φύση. Η ανταλλαγή αυτή γίνεται πολύ γρήγορα και επομένως έχει μικρή επίδραση στην παγκόσμια ατμοσφαιρική συγκέντρωσή του. Καθοριστική είναι η ανταλλαγή που λαμβάνει χώρα μεταξύ της ατμόσφαιρας και της ανώτερης στιβάδας του νερού των ωκεανών πάχους 50 - 100 μέτρων. Μια δεύτερη ανταλλαγή διοξειδίου του άνθρακα γίνεται μεταξύ της προηγούμενης στιβάδας νερού και των βαθύτερων στρωμάτων. Σε παγκόσμια κλίμακα, αυτός ο μηχανισμός εξισορρόπησης είναι πολύ αργός. Επομένως οι διαρκείς και ανεξέλεγκτες εκπομπές CO_2 στην ατμόσφαιρα διαταράσσουν την ισορροπία του κύκλου του άνθρακα: Οι ωκεανοί μπορούν να απορροφήσουν μέχρι το 50% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στον αέρα. Το υπόλοιπο αέριο συσσωρεύεται στην ατμόσφαιρα συντελώντας στη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Είναι αέριο άχρωμο, άοσμο, τοξικό και ελαφρύτερο από τον αέρα. Παράγεται κυρίως κατά την ατελή καύση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων. Σε υψηλές συγκεντρώσεις σε κλειστούς χώρους προκαλεί το θάνατο. Η δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα μοιάζει με ασφυξία, ενώ δημιουργεί ζάλη, πονοκέφαλο, μειωμένες αντιδράσεις και περιορισμό του οπτικού ορίου. Είναι περισσότερο επικίνδυνο για ανθρώπους που πάσχουν από αναιμία, καρδιακές παθήσεις, χρόνιες ασθένειες των πνευμόνων και υπερθυρεοειδισμό. Η τοξικότητά του οφείλεται στην ιδιότητά του να δεσμεύει την αιμοσφαιρίνη του αίματος, εμποδίζοντας τη μεταφορά του οξυγόνου στον οργανισμό μέσω του αίματος. Το αέριο αυτό οξειδώνεται στην ατμόσφαιρα από μόνο του σε διοξείδιο του άνθρακα σε διάστημα λίγων μηνών.

Διοξείδιο του θείου (SO_2)

Είναι αέριο άχρωμο και βαρύτερο από τον αέρα. Έχει χαρακτηριστική οσμή που γίνεται αισθητή σε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις του. Παράγεται κατά την καύση ανθράκων και πετρελαιοειδών. Το περιεχόμενο στα καύσιμα θείο καίγεται και μετατρέπεται σε διοξείδιο και τριοξείδιο του θείου που διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα, ενώ ένα μέρος του θείου παραμένει στη σχηματιζόμενη τέφρα με τη μορφή θειικών αλάτων. Το διοξείδιο του θείου είναι ευδιάλυτο στο νερό και κατά συνέπεια απορροφάται με ευκολία από τη βλέννα των ρινικών κοιλοτήτων και του ανώτερου αναπνευστικού συστήματος. Προκαλεί έκκριση βλέννας και δυσχέρεια στην αναπνοή, ενώ συγκεντρώσεις της τάξης των 5 ppm δημιουργούν φθορά των πνευμόνων. Η

αντίδραση του διοξειδίου του θείου με τα αιωρούμενα σωματίδια του παρέχει τη δυνατότητα πρόσβασης και στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα. Το SO_2 αποτελεί το κύριο συστατικό της όξινης βροχής οι επιπτώσεις της οποίας αναλύθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο.

Οξείδια του αζώτου (NO_x)

Από τα οξείδια του αζώτου μόνο το υποξείδιο (N_2O),το οξείδιο (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) βρίσκονται σε αξιόλογες συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα και από αυτά μόνο τα δύο τελευταία δημιουργούν προβλήματα ρύπανσης. Τα οξείδια του αζώτου παράγονται κατά την καύση ορυκτών καυσίμων, πετρελαίου και βενζινών σε υψηλές θερμοκρασίες. Το μονοξείδιο του αζώτου είναι αέριο άχρωμο και άοσμο με μικρή τοξικότητα, ενώ το διοξείδιο του αζώτου είναι αέριο με χαρακτηριστική οσμή και χρώμα κόκκινοκαφέ, με υψηλή τοξικότητα. Τόσο το μονοξείδιο όσο και το διοξείδιο του αζώτου έχουν βλαβερές επιδράσεις στον άνθρωπο και το περιβάλλον. Το μονοξείδιο του αζώτου ελαττώνει την ικανότητα του αίματος για πρόσληψη και μεταφορά οξυγόνου. Οξειδώνεται εύκολα προς διοξείδιο του αζώτου. Το τελευταίο, όταν έρχεται σε επαφή με την υγρασία (στον αέρα ή μέσα στο σώμα) σχηματίζει το εξαιρετικά διαβρωτικό νιτρικό οξύ, προκαλώντας ερεθισμό στα μάτια, τη μύτη, το βρογχικό σύστημα και τους πνεύμονες. Υψηλές συγκεντρώσεις αυτού του αερίου είναι θανατηφόρες. Το NO_2 είναι ισχυρό οξειδωτικό και προσβάλλει τα μέταλλα με μεγάλη ευκολία. Επιπλέον, το μόριό του απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία του ηλίου και ενεργοποιείται παρέχοντας το έναυσμα μιας πολύπλοκης σειράς αντιδράσεων με τους ατμοσφαιρικούς υδρογονάνθρακες που οδηγούν στη δημιουργία της φωτοχημικής αιθαλομίχλης.

Υδρογονάνθρακες (HC's)

Η κατηγορία αυτή αφορά ένα μεγάλο αριθμό οργανικών ενώσεων που αποτελούνται από υδρογόνο και άνθρακα. Εκπέμπονται κύρια υπό συνθήκες ατελούς καύσης υγρών κυρίως καυσίμων. Σημαντικές είναι και οι ποσότητες που εκλύονται στην ατμόσφαιρα μέσω της εξάτμισης (π.χ. σε περίπτωση απώλειας φορτίου χωρίς να ακολουθήσει ανάφλεξη). Οι επιδράσεις τους στην υγεία αναφέρονται ως επί το πλείστον στη δημιουργία καρκινογενέσεων στους πνεύμονες από τους υδρογονάνθρακες αρωματικής δομής, όπως το βενζοπυρένιο μεγάλο μέρος του οποίου προέρχεται από την καύση του ορυκτού άνθρακα και μικρότερο από την καύση του πετρελαίου και του κατεργασμένου ελαστικού. Οι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες

διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο σύνολο των φωτοχημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα, καθώς ευθύνονται για το σχηματισμό υπεροξειδίων.

Άλλοι ρυπαντές

Εκτός από τους ρύπους που αναφέρθηκαν προηγούμενα, υπάρχει και πλήθος άλλων ρυπαντών, το σύνολο των οποίων θα ήταν αδύνατο να παρατεθεί. Χαρακτηριστικά παραδείγματα χημικών ουσιών βιομηχανικής προέλευσης είναι επιγραμματικά: το υδροφθόριο, το υδρόθειο, η αμμωνία, το υδροχλώριο καθώς και διάφορα τοξικά μέταλλα όπως το κάδμιο, ο υδράργυρος, το βηρύλλιο και το αρσενικό. Η τοξικότητα κάθε ρυπαντή είναι διαφορετική και εξαρτάται από τη φύση του. Χημική ρύπανση είναι δυνατό να υποστούν και οι υδάτινοι αποδέκτες (λίμνες, ποτάμια και θάλασσες) είτε άμεσα λόγω απόρριψης του επικίνδυνου φορτίου στον αποδέκτη, είτε έμμεσα μέσω της μόλυνσης του εδάφους και του υδροφόρου ορίζοντα. Το νερό αποτελεί πολύτιμο αγαθό και είναι φυσικός πόρος που κατατάσσεται στην κατηγορία των κοινωνικών αγαθών. Οι ποσότητες του νερού που υπάρχουν στον πλανήτη είναι τεράστιες και ανέρχονται σε 1.600 εκατομμύρια κυβικά χιλιόμετρα. Μέρος της ποσότητας αυτής -περίπου το 15% - αφορά νερό κρυσταλλικής μορφής συνδεδεμένο χημικά με το φλοιό της γης. Το μεγαλύτερο μέρος του ελεύθερου νερού (82%) είναι αλμυρό, ενώ μόλις το 3% έχει ποιοτικά χαρακτηριστικά κατάλληλα για χρήση. Ένα σημαντικό μέρος της ποσότητας αυτής είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθεί διότι αφορά τους παγετώνες και υπόγειο νερό μεγάλου βάθους. Έχει εκτιμηθεί ότι μόλις το 0,5% του συνολικού νερού δηλαδή περί τα 8 εκατομμύρια κυβικά χιλιόμετρα είναι διαθέσιμα για τον άνθρωπο. Τα θαλάσσια νερά καταλαμβάνουν τα 3/4 της συνολικής επιφάνειας της υδρογείου. Σε αυτά ζει το 75% των έμβιων όντων του πλανήτη. Είναι παραγωγικότερα από τα καλλιεργούμενα εδάφη, διότι 10 στρέμματα θάλασσας μπορούν να παράγουν τόσες χρήσιμες στον άνθρωπο ανόργανες και οργανικές ουσίες όσες 1.000 στρέμματα γης. Σήμερα είναι αποδεδειγμένο ότι πάνω από το 10% των ακτών έχουν ρυπανθεί από αστικά λύματα, βιομηχανικά απόβλητα και ποσότητες πετρελαιοειδών και τοξικών χημικών ουσιών από ατυχήματα στη ναυσιπλοΐα. Εκτός από τις θάλασσες και οι υπόλοιποι υγρότοποι (λίμνες και ποτάμια) συντηρούν και διατρέφουν μια πλουσιότατη, πολύμορφη και πολύτιμη για τον άνθρωπο χλωρίδα και πανίδα.

Υπάρχει πλήθος χημικών ουσιών στο νερό. Άλλες είναι φυσικής προέλευσης και άλλες αποτέλεσμα ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Η τοξικότητα αυτών των ενώσεων διαφέρει ανάλογα με το είδος της ρυπογόνου χημικής ουσίας. Έχει προταθεί ο χωρισμός τους σε ομάδες ανάλογα με τη βλάβη που είναι δυνατό να προκαλέσουν:

Τοξικές ουσίες

Σε αυτές περιλαμβάνονται μεταλλικά ιόντα βαρέων μετάλλων όπως το κοβάλτιο, ο υδράργυρος, το χρώμιο, το νικέλιο, ο μόλυβδος, το αρσενικό, το κυάνιο, διάφορα παρασιτοκτόνα και φυτοφάρμακα κ.λπ. Η τοξικότητά τους εμφανίζεται σε περιεκτικότητες της τάξης μερικών μερών στο δισεκατομμύριο (ppb).

Ανεπιθύμητες ενώσεις

Σε αυτές ανήκουν ο σίδηρος, ο χαλκός, το μαγγάνιο, ο ψευδάργυρος, τα απορρυπαντικά, οι φαινόλες, οι υδρογονάνθρακες, οι αζωτούχες ενώσεις κ.λπ.

Ανάμεσα στις αζωτούχες ενώσεις μόνο οι ανόργανες (νιτρώδη, νιτρικά και αμμωνία) προκαλούν ρύπανση των υδάτινων αποδεκτών.

Τα νιτρώδη (NO_2)σχηματίζονται στο νερό είτε από την αμμωνία με την επίδραση βακτηρίων, είτε κατά τη μετατροπή των νιτρικών σε άζωτο από βακτηρίδια. Μεγάλη συγκέντρωση νιτρωδών αποτελεί ένδειξη βιομηχανικής ή αστικής ρύπανσης.

Τα νιτρικά (NO_3)σχηματίζονται από τους μικροοργανισμούς δέσμευσης του αζώτου και τη δράση βακτηριδίων πάνω στην αμμωνία. Οι διαδικασίες αυτές είναι ανεξάρτητες από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Στην περίπτωση όμως απόρριψης αμμωνίας στα νερά, η συγκέντρωση των νιτρικών παρουσιάζεται αυξημένη δημιουργώντας υπόνοιες για ρύπανση. Τα νιτρικά υπάρχουν επίσης και σε πολλές κατηγορίες λιπασμάτων. Αν και η αμμωνία δεν αποτελεί σοβαρό πρόβλημα για το πόσιμο νερό εφόσον δεσμεύεται από το χλώριο, τα νιτρώδη είναι εξαιρετικά δηλητηριώδη για τους ζώντες οργανισμούς. Τα νιτρικά μετατρέπονται στο στομάχι σε νιτρώδη και μπορεί να προκαλέσουν μεθαιμοσφαιριναιμία σε βρέφη.

Περιοριστικοί παράγοντες

Εδώ ανήκουν ενώσεις φυσικής προέλευσης στο νερό που δεν επιτρέπεται να υπερβούν συγκεκριμένα όρια. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται στοιχεία όπως το ασβέστιο, το μαγνήσιο, το νάτριο, το κάλιο και ιόντα χλωρίου, θειώδη, ανθρακικά κ.λπ. Είναι ανεπιθύμητα σε περιεκτικότητες μεγαλύτερες από 100 ppm

Κρίνεται σκόπιμο στο σημείο αυτό να γίνει μία αναφορά στη μεταφορά των επικίνδυνων φορτίων και ειδικότερα των υγρών χημικών φορτίων με δεξαμενόπλοια. Η διαδικασία της μεταφοράς, εγκυμονεί σημαντικούς κινδύνους για τα πλοία, τα πληρώματά τους και το θαλάσσιο περιβάλλον σε περίπτωση διαρροής του φορτίου στη θάλασσα με οποιοδήποτε τρόπο. Όπως είναι αναμενόμενο, αν η διαφυγή των επικίνδυνων ουσιών προς τη θάλασσα λάβει χώρα σε μικρή απόσταση από την ακτή, οι επιπτώσεις θα γίνουν αμέσως αντιληπτές. Οι επιπτώσεις αυτές πιθανόν να περιλαμβάνουν ανάλογα με την έκταση της διαρροής και την τοξικότητα της ουσίας, προσωρινή ή μόνιμη βλάβη της χλωρίδας και της πανίδας στην περιοχή και ρύπανση των ακτών. Η περίπτωση της ρύπανσης στην ανοικτή θάλασσα παρουσιάζει λιγότερο εμφανείς δυσμενείς επιδράσεις στο περιβάλλον αλλά όχι ασήμαντες. Η ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος συχνά συνεπάγεται διαταραχή των δραστηριοτήτων των διαφόρων οργανισμών που ζουν σε αυτό με αποτέλ εσμα τη μείωση της βιωσιμότητας και τον τελικό θάνατό τους. Η εξαφάνιση ορισμένων ειδών σηματοδοτεί τη θραύση της τροφικής αλυσίδας. Επιπλέον, η συσσώρευση των δυσμενών επιδράσεων σε συνδυασμό με την οικολογική συνάφεια των μελών που απαρτίζουν την τροφική αλυσίδα, ο κίνδυνος αφορά το σύνολο της θαλάσσιας πανίδας. Εκτός από τους κινδύνους που εγκυμονεί για τον άνθρωπο λόγω της πιθανότητας άμεσης επαφής με τα τοξικά χημικά φορτία, η χημική ρύπανση ισοδυναμεί με διατάραξη βασικών για τον άνθρωπο δραστηριοτήτων όπως η αλιεία, η παροχή πόσιμου νερού και η παραγωγή οξυγόνου. Οι συνηθέστεροι τρόποι της εισόδου ρυπαντών στη θάλασσα είναι:

α) μεταφορά των ρυπαντών από την ξηρά μέσω των ποταμών

β) απ' ευθείας απόρριψη χημικών ουσιών στη θάλασσα από φορτηγά πλοία, δεξαμενόπλοια ή εξέδρες φόρτωσης και

γ) μεταφορά των ρυπαντών στη θάλασσα από την ατμόσφαιρα μέσω της βροχής ή της κατακάθισης.

Το μεγαλύτερο μέρος των χημικών ουσιών που χαρακτηρίζονται επικίνδυνες για το θαλάσσιο περιβάλλον και γενικότερα για τους υδάτινους αποδέκτες και τα οικοσυστήματα που διαβιούν σε αυτούς μπορεί να ταξινομηθεί στις ακόλουθες κατηγορίες:

Α. Πετρέλαιο και προϊόντα πετρελαίου

Η βλαπτική επίδραση του πετρελαίου συνοψίζεται στην παρεμπόδιση της οξυγόνωσης της επιφάνειας της θάλασσας. Ορισμένες μορφές πετρελαιοειδών αποσυντίθενται με πολύ αργούς ρυθμούς και παρουσιάζουν χαρακτηριστικά βιοσυσσώρευσης. Επιπλέον, μερικά συστατικά του πετρελαίου είναι δηλητηριώδη και εμφανίζουν καρκινογόνο δράση.

Β. Βαρέα μέταλλα

Είναι τοξικά για τους θαλάσσιους οργανισμούς και συσσωρεύονται στο νερό και την τροφική αλυσίδα. Έχουν επίσης την ιδιότητα να μειώνουν δραστικά τις δραστηριότητες του φυτοπλαγκτού.

Γ. Οξέα, βάσεις και άλατα

Οι ουσίες αυτές παρουσιάζουν ποικιλία αρνητικών επιδράσεων, όπως η ελάττωση ή η διακοπή των δραστηριοτήτων των θαλάσσιων οργανισμών. Στον αντίποδα ορισμένες ουσίες αυτής της κατηγορίας προκαλούν υπερβολική αύξηση των δραστηριοτήτων των ίδιων οργανισμών.

Δ. Χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, εντομοκτόνα και φυτοφάρμακα

Οι χημικές ουσίες που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία αποσυντίθενται πολύ αργά, συσσωρεύονται στο νερό και τους διάφορους οργανισμούς, ενώ χαρακτηρίζονται από υψηλή τοξικότητα ακόμη και σε μικρές συγκεντρώσεις. Προκαλούν γενικά πολύ σοβαρές βιολογικές βλάβες στους οργανισμούς. Ξεχωριστές κατηγορίες ρυπαντών των υδάτινων αποδεκτών αποτελούν επίσης τα ραδιενεργά απόβλητα και οι ουσίες υψηλού μικροβιακού φορτίου (μικροβιακή μόλυνση).

Οι δυσμενείς επιδράσεις και η βλαπτικότητα των διαφόρων ρυπαντών για το θαλάσσιο περιβάλλον εξαρτάται από παράγοντες όπως:

- η συγκέντρωση και η ποσότητα του ρυπαντή, καθώς και ο χρόνος έκθεσης των οργανισμών
- η φυσικοχημική κατάσταση του ρυπαντή
- τα είδη των οργανισμών που έρχονται σε επαφή με τον ρυπαντή
- οι φάσεις της ανάπτυξης των οργανισμών και η εποχή (π.χ. εποχή αναπαραγωγής κ.λπ.)
- η γεωγραφική θέση όπου έλαβε χώρα η ρύπανση (στις παράκτιες περιοχές η βλάβη είναι συνήθως μεγαλύτερη)
- η ύπαρξη και άλλων πηγών ρύπανσης στην περιοχή που έχει σαν αποτέλεσμα τη συνδυασμένη δράση περισσότερων της μίας χημικών ουσιών.

Είναι φανερό ότι η ρύπανση και η μόλυνση, ή γενικά η υποβάθμιση του περιβάλλοντος, δεν είναι ένα πρόβλημα που αφορά μόνο την επιστημονική κοινότητα. Επειδή επηρεάζει τις ανθρώπινες ζωές είναι ένα πρόβλημα υγείας. Επειδή επηρεάζει την ιδιοκτησία και την παραγωγικότητα είναι ένα πρόβλημα οικονομίας. Επειδή επηρεάζει τους ζωντανούς οργανισμούς είναι ένα πρόβλημα συντήρησης της φύσης και των φυσικών αποθεμάτων της. Επειδή επηρεάζει τέλος τις αισθήσεις, είναι ένα πρόβλημα αισθητικό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

4.2 ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

4.2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

4.2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΛΗΨΗ ΕΛΕΥΘΕΡΩΣΗΣ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

4.3 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

4.4 ΘΕΣΜΙΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

4.4.1 Ο ΚΩΔΙΚΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΟΗΕ

4.4.2 Η ΣΥΜΦΩΝΙΑ ADR

4.4.3 Η ΣΥΜΦΩΝΙΑ RID ΓΙΑ ΤΗ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ

4.4.4 ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

4.4.5 Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ιδιαίτερα σημαντικά θεωρούνται τα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την πρόληψη της απελευθέρωσης υγροποιημένου φυσικού αερίου κατά τις θαλάσσιες μεταφορές. Πιο συγκεκριμένα ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στον εξοπλισμό των LNG πλοίων μεταφοράς αυτού του αερίου καθώς και στα μέτρα ασφαλείας που πρέπει να λαμβάνονται. Όσον αφορά τον εξοπλισμό, το υγροποιημένο φυσικό αέριο μεταφέρεται μέσω θάλασσας με τρεις βασικούς τύπους πλοίων: πλοία μεμβρανικού τύπου, πλοία με ανεξάρτητες πρισματικές δεξαμενές και πλοία με ανεξάρτητες σφαιρικές δεξαμενές. Οι δεξαμενές και των τριών τύπων πλοίων LNG είναι διαχωρισμένες από το εξωτερικό περιβάλλον με την ύπαρξη διπλών τοιχωμάτων. Έτσι σε περίπτωση ατυχήματος διαρροή LNG θα υπήρχε μόνο εάν είχαμε διάτρηση της γάστρας (εξωτερική και εσωτερική) και της δεξαμενής.

4.2 ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

4.2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να έχουν όλα τα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου για την αποφυγή ατυχημάτων αναλύονται στις παραγράφους που ακολουθούν.

Αρχικά, όλα τα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου πρέπει να έχουν **διπλά τοιχώματα και διπύθμενα**, ώστε να παρέχεται σημαντική προστασία ενάντια σε οποιαδήποτε απελευθέρωση LNG που μπορεί να συμβεί λόγω οποιασδήποτε εξωτερικής ζημιάς. Επίσης τα LNG πλοία πρέπει να αντέχουν τις φυσιολογικές επιπτώσεις της εκροής που πιθανόν να συμβεί λόγω μιας εξωτερικής ζημιάς (βλάβη του συστήματος πρόωσης ή του πηδαλίου, βλάβη του εξοπλισμού, ανθρώπινο λάθος).

Όσον αφορά την **απομόνωση των χώρων φορτίου**, ο IGC κώδικας απαιτεί ότι ο εσώκλειστος χώρος της κατασκευής του πλοίου στον οποίο εδράζονται τα μέσα αποθήκευσης του φορτίου (hold places) να είναι διαχωρισμένος από τους χώρους των μηχανολογικών εγκαταστάσεων, της ενδιαίτησης, των σταθμών ελέγχου, των δεξαμενών πόσιμου νερού, των chain lockers, των stores κ.α. Επίσης υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις για τον **απομόνωση του δικτύου σωληνώσεων του φορτίου** από άλλες σωληνώσεις με σκοπό την αποφυγή της μεταφοράς του φορτίου ή ατμών του μέσω άλλων σωληνώσεων. Επίσης καθορίζονται τα δωμάτια υπηρεσίας, τους σταθμούς ελέγχου και τους χώρους των μηχανολογικών εγκαταστάσεων.

Επιπλέον, απαραίτητες είναι οι ρυθμίσεις που επιτρέπουν την **οπτική επιθεώρηση** τουλάχιστον της μιας πλευράς της εσωτερικών γάστρας και της μόνωσης που βρίσκονται στα hold spaces. Απαιτείται επίσης η επαρκής πρόσβαση στις δεξαμενές του φορτίου ώστε να επιτρέπεται η εσωτερική επιθεώρησή τους. Σημαντικά θεωρούνται και **τα συστήματα ανίχνευσης πιθανών διαρροών LNG** από τις δεξαμενές.

Όσον αφορά τις σχεδιαστικές **απαιτήσεις συγκράτησης του φορτίου** απαιτείται η ανάπτυξη ενός σχεδίου φύλαξης του φορτίου που να λαμβάνει υπόψη τις μέγιστες πιέσεις του ατμού του και το μέγιστο επιτρεπτό όριο των βαλβίδων ανακούφισης σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κώδικα IGC.

Επιπλέον, ο IGC κώδικας απαιτεί ότι η **κατασκευαστική ανάλυση** είναι σύμφωνη με τη σχεδίαση του κάθε τύπου χώρου φύλαξης του φορτίου ώστε να λαμβάνονται υπόψη όλες οι φορτίσεις σε κάθε τύπο φύλαξης του φορτίου.

Στην περίπτωση διαρροής πρέπει να υπάρχουν **δευτεροβάθμιοι χώροι φορτίου** έτσι ώστε να κατακρατούν πιθανές διαρροές LNG από τις κύριες δεξαμενές του (περίπου για 15 μέρες), ώστε να αποφεύγεται η μείωση της θερμοκρασίας σε μη επιθυμητό επίπεδο της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου.

Στην συνέχεια, με την **χρήση κατάλληλων συστημάτων για χαμηλές θερμοκρασίες** διασφαλίζεται η γάστρα του πλοίου από την επαφή της με το κρυογόνο LNG.

Ο IGC Code παρέχει κανονισμούς για γενικό σχεδιασμό, πάχος σωληνώσεων, δείκτες πιέσεων σχεδίασης, επιτρεπτά όρια αντοχής τους, τον τύπο των δοκιμών τους, την συγκόλληση τους, δοκιμές διαρροών κ.α.. Τέτοιες απαιτήσεις είναι απαραίτητες ώστε να εξασφαλιστεί ότι όλα τα **δίκτυα σωλήνωσης** είναι κατάλληλα σχεδιασμένα.

Τα **συστήματα και βαλβίδες ασφάλειας** πρέπει να είναι αυτοματοποιημένα έτσι ώστε να αποφεύγονται τα ατυχήματα. Στα **συστήματα ελέγχου πίεσης και θερμοκρασίας** εφαρμόζεται μηχανική ψύξη και χρησιμοποιούν τον κορεσμένο ατμό ως καύσιμο ή ως μέσο θέρμανσης. Ιδιαίτερα στα συστήματα εκτόνωσης πιέσεων υπάρχουν τουλάχιστον δύο βαλβίδες οι οποίες θα πρέπει να παρέχονται με ένα δίκτυο σωλήνωσης ώστε να αποφεύγεται η συσσώρευση του LNG στο κατάστρωμα ή σε περιοχές με μεγάλη επικινδυνότητα.

Στον εξοπλισμό ενός πλοίου μεταφοράς υγροποιημένου αερίου απαραίτητα είναι τα **συστήματα προστασίας κενού** τα οποία περιλαμβάνουν δύο διακόπτες (switches) που χτυπούν συναγερμό και ενεργοποιούν το κλείσιμο της αναρρόφησης οποιουδήποτε υγρού ή αέριου φυσικού αερίου από τις δεξαμενές του, απενεργοποιώντας το σύστημα ψύξης. Επίσης τέτοια συστήματα παρέχουν βαλβίδες εκτόνωσης πιθανών κενών που είναι σχεδιασμένες για τον μέγιστο ρυθμό εκτόνωσης (εκροής) του κενού.

Σύμφωνα με τον IGC Code όλα τα LNG πλοία είναι υποχρεωμένα να διαθέτουν ένα κύριο **σύστημα πυρόσβεσης** (νερό) καθώς και αρκετές πυροσβεστικές φωλιές με ικανότητα να τροφοδοτούν με νερό οποιοδήποτε τμήμα του καταστρώματος και όχι μόνο. Επίσης η τροφοδοσία του νερού πυρόσβεσης πρέπει να παρέχει νερό και για συστήματα ψύξης με σκοπό την πρόληψη φωτιάς και την προστασία του πληρώματος σε συγκεκριμένες περιοχές. Ως πυροσβεστικό μέσο πρέπει να χρησιμοποιείται μία ξηρή χημική σκόνη.

Μέσα στον **πίνακα ελέγχου** συμπεριλαμβάνονται ο εξοπλισμός ανίχνευσης αερίου που να θέτει σε συναγερμό το πλήρωμα για πιθανή διαρροή, μία συσκευή μέτρησης του επιπέδου του υγρού για κάθε δεξαμενή, ένα υψηλού επιπέδου ακουστικό και οπτικό συναγερμό που να σταματάει την ροή φορτίου μέσα στην δεξαμενή όταν αυτός ενεργοποιηθεί, μετρητές πίεσης στις δεξαμενές μαρκαρισμένοι με τις ελάχιστες και μέγιστες πιέσεις των δεξαμενών, δύο μετρητές θερμοκρασίας και συναγερμούς ώστε να ελέγχονται πιθανές διαρροές στο επίπεδο της μόνωσης ή στους χώρους της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου που είναι παρακείμενοι στις δεξαμενές.

Τέλος, απαραίτητα θεωρούνται τα **συστήματα ανίχνευσης αερίου** με ακουστικούς και οπτικούς συναγερμούς και τα **συστήματα ανεφοδιασμού** που να αποκρίνονται αυτόματα σε οποιαδήποτε ανίχνευση LNG στην ατμόσφαιρα με αυτόματη διακοπή της άντλησης και το κλείσιμο των βαλβίδων για την απομόνωση των γραμμών μεταφοράς LNG. Σημαντικές είναι και οι **συνδέσεις έκτακτης απελευθέρωσης** οι οποίες είναι σχεδιασμένες ώστε εάν μία τέτοια σύνδεση απελευθερωθεί τότε το ποσό του LNG που θα διοχετευθεί στην ατμόσφαιρα θα είναι πάρα πολύ μικρό.

4.2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΛΗΨΗ ΕΛΕΥΘΕΡΩΣΗΣ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Οι διεθνείς και ναυτιλιακοί φορείς έχουν αναγνωρίσει την ανάγκη για την ύπαρξη μέτρων χειρισμού με σκοπό την πρόληψη ή έστω και την μείωση της πιθανότητας για LNG ατυχήματα.

Πιο συγκεκριμένα, οι προϋποθέσεις για την **εκπαίδευση του πληρώματος** σε ένα LNG carrier περιγράφονται στην συνθήκη του IMO STCW 78. Αυτό το επίπεδο εκπαίδευσης ξεπερνιέται από αυτό που ορίζει το κράτος σημαίας (flag state) και η εκάστοτε ναυτιλιακή εταιρία. Τα πληρώματα των πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου θεωρούνται ως τα πλέον επαγγελματικά άξια στη διεθνή ναυτιλία, αναγνωρίζοντας φυσικά και τον σημαντικό τους ρόλο στους ασφαλείς χειρισμούς τους.

Σημαντικό θεωρείται όλα τα πλοία άνω των 500 gross tons είναι υποχρεωμένα σύμφωνα με τον IMO να υπακούν στον ISM Code (International Safety Management Code). Αυτή η προσέγγιση ασφαλούς διοίκησης προϋποθέτει ανάπτυξη στις πολιτικές με τις οποίες διαχειρίζονται θέματα ασφάλειας και περιβαλλοντολογικά θέματα. Ο ISM Code εξηγεί της άμεσης αντίδρασης και πως αυτή θα γίνει σε μια μεγάλης κλίμακας απελευθέρωση LNG.

Επιπλέον, οι επιθεωρήσεις στα πλοία γίνονται για μια μεγάλη ποικιλία λόγων. Οι λιμενικές αρχές κάνουν πολύ συχνούς ελέγχους που περιλαμβάνουν περιοδικές επιθεωρήσεις πάνω σε θέματα ασφάλειας του πλοίου που θέλει είσοδο στο αντίστοιχο λιμάνι.

Στην περίπτωση τρομοκρατικής ενέργειας απαραίτητα θεωρούνται από τον ISPS κώδικα τα:

- Επίπεδα ασφάλειας
- Σχέδια ασφάλειας του πλοίου
- Συστήματα συναγερμών ασφάλειας του πλοίου
- Αυτόματα συστήματα αναγνώρισης (Automatic Identification Systems - AIS)
- Σχέδια ασφάλειας του λιμανιού
- Πρωτόκολλα ασφάλειας
- Σχέδια ασφάλειας των εγκαταστάσεων

4.3 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Στην κατηγορία αυτή συγκαταλέγονται τόσο οι μεταφορές που πραγματοποιούνται με βυτία που κινούνται κατά μήκος του οδικού δικτύου όσο οι μεταφορές με σιδηροδρομικές αμαξοστοιχίες. Οι διαφορές που εμφανίζουν οι δύο κατηγορίες είναι ελάχιστες και εντοπίζονται στην ποσότητα μεταφοράς καθώς και στο μέσο (βυτία-τρένα). Η πρόληψη και η προστασία αυτού του είδους των μεταφορών είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς βρίσκονται σε άμεση επαφή με κατοικημένες περιοχές και με τον πληθυσμό γεγονός που προσθέτει στις επιπτώσεις στο περιβάλλον και αυτές του ανθρώπινου παράγοντα.

Για την πρόληψη των μεγάλων ατυχημάτων σε κάθε είδους μεταφορά η συμφωνία ADR (αναλυτική περιγραφή γίνεται στην επόμενη ενότητα) ορίζει:

1. Επισήμανση των επικίνδυνων εμπορευμάτων
2. Αναγνώριση κινδύνων και αντιμετώπιση (ανάγκες εξοπλισμού).
3. Επιθεώρηση εξοπλισμού διακίνησης.
4. Κατάρτιση προσωπικού.
5. Διαδικασίες αντιμετώπισης έκτακτων περιστατικών.
6. Ανάλυση ατυχημάτων ή παρεκκλίσεων από κανόνες.
7. Λήψη διορθωτικών μέτρων όπου κρίνεται απαραίτητο.
8. Έλεγχος ύπαρξης, χρήσης και επάρκειας Οδηγιών εργασίας ΜΕΕ.
9. Ευαισθητοποίηση προσωπικού.
10. Εφαρμογή επιθεωρήσεων και ελέγχων στα μέσα μεταφοράς.
11. Εφαρμογή ελέγχων και επιθεωρήσεων στις εγκαταστάσεις φόρτωσης εκφόρτωσης.

Για την προστασία ατυχημάτων φυσικού αερίου κατά τις οδικές και σιδηροδρομικές μεταφορές (οι θαλάσσιες αναφέρθηκαν προηγουμένως) ορίζονται τα παρακάτω μέτρα:

Πολιτική Πρόληψης Μεγάλων Ατυχημάτων (Π.Π.Μ.Α.)

Η Π.Π.Μ.Α. περιλαμβάνει τους γενικούς στόχους και αρχές δράσης για τον έλεγχο των κινδύνων μεγάλων ατυχημάτων.

Στα πλαίσια του διαχειριστικού συστήματος ασφάλειας θα πρέπει να θίγονται τα ακόλουθα θέματα:

- οργάνωση και προσωπικό (ρόλοι και αρμοδιότητες, εκπαιδευτικές ανάγκες, σύμπραξη εργαζομένων κ.λπ.)

- προσδιορισμός και αξιολόγηση κινδύνων μεγάλου ατυχήματος

- έλεγχος λειτουργίας (οδηγίες ασφαλούς λειτουργίας, συντήρηση κ.λπ.)

- διαχείριση αλλαγών

- σχεδιασμός έκτακτης ανάγκης

- παρακολούθηση επιδόσεων - έλεγχος και επανεξέταση (θέσπιση και εφαρμογή διαδικασιών για αξιολόγηση της τήρησης των στόχων της Π.Π.Μ.Α.).

Μελέτη Ασφάλειας (Μ.Α.)

Μέσω της Μ.Α:

• Εφαρμόζεται μια πολιτική πρόληψης μεγάλων ατυχημάτων και ένα σύστημα διαχείρισης ασφάλειας προς υλοποίησή της (σύμφωνα με τα αναφερόμενα στην προηγούμενη παράγραφο).

• Έχουν επισημανθεί οι κίνδυνοι μεγάλου ατυχήματος και έχουν ληφθεί τα απαραίτητα μέτρα για την πρόληψη και τον περιορισμό των συνεπειών τους στον άνθρωπο και το περιβάλλον.

• Έχει εξασφαλισθεί επαρκής πληροφόρηση των αρμοδίων αρχών, ώστε να μπορούν να αποφασίζουν για την εγκατάσταση των δραστηριοτήτων ή για διευθετήσεις γύρω από τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις.

- Σε περίπτωση εγγύτητας της εγκατάστασης με άλλες επικίνδυνες εγκαταστάσεις (φαινόμενο ντόμινο) έχει συνεκτιμηθεί δεόντως η φύση και η έκταση ενός συνολικού κινδύνου ατυχήματος μεγάλης έκτασης.

Σχέδια έκτακτης ανάγκης

Τα σχέδια έκτακτης ανάγκης επιδιώκουν:

- τον περιορισμό και τη θέση υπό έλεγχο περιστατικών, ούτως ώστε να ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις τους στον άνθρωπο, το περιβάλλον και τα αγαθά,
- την εφαρμογή των αναγκαίων μέτρων προστασίας ανθρώπου και περιβάλλοντος από τις επιπτώσεις μεγάλων ατυχημάτων,
- την ανακοίνωση των αναγκαίων πληροφοριών στο κοινό και τις οικείες υπηρεσίες ή αρχές της περιοχής,
- την αποκατάσταση και τον καθαρισμό του περιβάλλοντος κατόπιν μεγάλου ατυχήματος.

Στα πλαίσια των προβλέψεων για τα σχέδια, περιλαμβάνονται ζητήματα οργάνωσης και εκπαίδευσης με βάση την εκτίμηση των κινδύνων, η ενημέρωση και συμμετοχή όλων των εμπλεκόμενων, η πραγματοποίηση ασκήσεων ετοιμότητας, οι διαδικασίες επανεξέτασης και αναθεώρησής τους κ.λπ.

Πολλαπλασιαστικά αποτελέσματα (φαινόμενο domino)

Η αδειοδοτούσα αρχή, βασιζόμενη στις πληροφορίες που παρέχει ο υπεύθυνος κάθε εγκατάστασης πρέπει να καθορίζει τις μονάδες ή ομάδες μονάδων όπου η πιθανότητα και η δυνατότητα ή οι συνέπειες μεγάλου ατυχήματος μπορεί να αυξάνονται λόγω της θέσης και της εγγύτητάς τους, των ειδών και των ποσοτήτων επικίνδυνων ουσιών που διαθέτουν. Η αδειοδοτούσα αρχή υποχρεούται να μεριμνά ώστε γι' αυτές τις εγκαταστάσεις να ανταλλάσσονται κατάλληλα σχετικές πληροφορίες που τους επιτρέπουν να συνεκτιμούν δεόντως τη φύση και έκταση του συνολικού κινδύνου μεγάλου ατυχήματος. Σε συνεργασία με τις κατά περίπτωση αρμόδιες νομαρχιακές υπηρεσίες πρέπει να παρέχονται σχετικές πληροφορίες στις αρμόδιες αρχές κατά την εκπόνηση των εξωτερικών σχεδίων έκτακτης ανάγκης και να ενημερώνεται ο πληθυσμός που κατοικεί στην ευρύτερη περιοχή.

Σχεδιασμός χρήσεων γης

Σύμφωνα με την οδηγία SevesoII και την αντίστοιχη απόφαση σε εθνικό επίπεδο, οι αρμόδιες αρχές σύμφωνα με τις κείμενες διατάξεις για το χωροταξικό, περιβαλλοντικό και πολεοδομικό σχεδιασμό, μεριμνούν ώστε οι στόχοι της πρόληψης μεγάλων ατυχημάτων και του περιορισμού των συνεπειών τους να λαμβάνονται υπόψη κατά την κατάρτιση των σχεδίων χρήσεων γης μέσα από τις κείμενες διαδικασίες σχεδιασμού του χώρου και κατά τη διαδικασία έγκρισης περιβαλλοντικών όρων, σύμφωνα με τις κείμενες διατάξεις. Για την υλοποίηση των στόχων ελέγχεται η ίδρυση νέων εγκαταστάσεων, οι μετατροπές στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις, τα νέα έργα και οι γενικότερες δραστηριότητες που λόγω της θέσης και της γειτνίασής τους με αυτές ενδέχεται να αυξήσουν τον κίνδυνο μεγάλου ατυχήματος ή να επιδεινώσουν τις συνέπειές του.

Πληροφορίες για τα μέτρα ασφάλειας - Ενημέρωση κοινού

Ιδιαίτερη σημασία έχει το ζήτημα της πληροφόρησης του πληθυσμού σε περιοχές όπου βρίσκονται εγκαταστάσεις που μπορεί να προκαλέσουν ατύχημα μεγάλης έκτασης. Η Υπηρεσία Περιβάλλοντος της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης και το Νομαρχιακό Συμβούλιο έχουν υποχρέωση να πληροφορούν με συγκεκριμένες διαδικασίες τον πληθυσμό για την επικινδυνότητα των εγκαταστάσεων που λειτουργούν στην περιοχή, για τα κατάλληλα μέτρα ασφάλειας που έχουν ληφθεί και τη στάση που θα πρέπει να τηρείται σε περίπτωση ατυχήματος, για τη διενέργεια ασκήσεων ετοιμότητας του πληθυσμού, σε συνεργασία με την Υπηρεσία Πολιτικής Προστασίας της Νομαρχιακής αυτοδιοίκησης και τον(τους) οικείο(ους) δήμο(ους) του(των) οποίου(ων) οι κάτοικοι είναι δυνατόν να προσβληθούν από ατύχημα μεγάλης έκτασης κ.λπ. Επίσης, η αδειοδοτούσα αρχή μεριμνά ώστε το κοινό να μπορεί να δίνει τη γνώμη του στο σχεδιασμό για νέες εγκαταστάσεις που αναφέρονται που υποχρεούνται να Μ.Α., στη μετατροπή υφιστάμενων εγκαταστάσεων και στη διαρρύθμιση των χώρων γύρω από αυτές.

Επιθεωρήσεις και έλεγχοι

Η αδειοδοτούσα αρχή υποχρεούται να οργανώνει, σε συνεργασία με τις συναρμόδιες αρχές, σύστημα επιθεωρήσεων ή άλλων μέτρων ελέγχου ανάλογα με τον τύπο της εγκατάστασης. Απαραίτητη θεωρείται μια επιτόπια επίσκεψη μια φορά το χρόνο για κάθε

εγκατάσταση που πρέπει να υποβάλλει ΜΑ (εκτός και αν έχει καθορίσει πρόγραμμα επιθεωρήσεων κατόπιν συστηματικής εκτίμησης κινδύνου μεγάλου ατυχήματος στην εγκατάσταση, λαμβάνοντας υπόψη την επικινδυνότητά της, πληροφορίες από προηγούμενους ελέγχους κλπ.). Τα αποτελέσματα και συμπεράσματα των επιθεωρήσεων σύμφωνα με τη νομοθεσία, πρέπει να κοινοποιούνται και στο προσωπικό της εγκατάστασης.

4.4 ΘΕΣΜΙΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

4.4.1 Ο ΚΩΔΙΚΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΟΗΕ

Το βασικό πλαίσιο που διέπει τις διεθνείς μεταφορές επικίνδυνων αγαθών συντάχθηκε από ειδική επιτροπή του ΟΗΕ και έχει τη μορφή συστάσεων (*Recommendations on the Transport of Dangerous Goods* (United nations, 1993). Οι συστάσεις αυτές είναι γνωστές και ως «Κώδικας Μεταφορών του ΟΗΕ» (*UN Transport Code*).

Τα θέματα που καλύπτει ο κώδικας αφορούν:

1. την ταξινόμηση των επικίνδυνων ουσιών
2. τη συσκευασία
3. τη σήμανση
4. τα δοχεία, βυτία, κιβώτια, δεξαμενές κ.λπ. και
5. τις διαδικασίες μεταφοράς.

Η ταξινόμηση των επικινδύνων φορτίων σύμφωνα με τον Κώδικα Μεταφορών του ΟΗΕ ακολουθείται και από άλλες διεθνείς συμφωνίες. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το βασικό σύστημα ταξινόμησης κατά Κλάση και Τμήματα (Class and Divisions) μεταφερόμενης ουσίας.

Για τη μεταφορά των εκρηκτικών υλικών, υπάρχουν επιπλέον κατηγορίες, που αφορούν τη συμβατότητα των μεταφερόμενων υλικών και της συσκευασίας τους.

Τα επικίνδυνα υλικά όλων των κλάσεων, εκτός από αυτά που ανήκουν στις κλάσεις 1, 2, 5.2, 6.2 και 7 ταξινομούνται ως προς τη συσκευασία τους σε μία από τις τρεις ομάδες (groups):

I υψηλού κινδύνου
II μέσου κινδύνου
III χαμηλού κινδύνου.

Σημειώνεται ότι η επίσημη γλώσσα των νομικών κειμένων είναι η αγγλική. Σε ορισμένα έγγραφα μπορεί να γίνει χρήση της γαλλικής ή γερμανικής γλώσσας, αλλά στην πράξη αρκεί η γνώση της ονοματολογίας των όρων στην αγγλική γλώσσα. Επομένως οι εμπλεκόμενοι κατά οποιοδήποτε τρόπο στην μεταφορά επικινδύνων ουσιών πρέπει να διαθέτουν την ικανότητα αναγνώρισης των βασικών όρων στην αγγλική γλώσσα.

Κλάση 1	Εκρηκτικά	
	Τμήμα 1.1	Ουσίες και είδη που ενέχουν τον κίνδυνο μαζικής έκρηξης
	Τμήμα 1.2	Ουσίες και είδη που ενέχουν τον κίνδυνο μαζικής έκρηξης
	Τμήμα 1.3	Ουσίες και είδη που ενέχουν τον κίνδυνο μαζικής έκρηξης
	Τμήμα 1.4	Ουσίες και είδη που ενέχουν τον κίνδυνο μαζικής έκρηξης
	Τμήμα 1.5	Ουσίες και είδη που ενέχουν τον κίνδυνο μαζικής έκρηξης
	Τμήμα 1.6	Ουσίες και είδη που ενέχουν τον κίνδυνο μαζικής έκρηξης
Κλάση 2	Αέρια	
	Τμήμα 2.1	Εύφλεκτα αέρια
	Τμήμα 2.2	Μη εύφλεκτα, μη τοξικά αέρια
	Τμήμα 2.3	Τοξικά αέρια
Κλάση 3	Εύφλεκτα υγρά	
Κλάση 4	Εύφλεκτα στερεά, αυτοαναφλεγόμενες ουσίες, ουσίες που σε επαφή με το νερό παράγουν εύφλεκτα αέρια	
	Τμήμα 4.1	Εύφλεκτα στερεά
	Τμήμα 4.2	Ουσίες υποκείμενες σε αυτογενή ανάφλεξη
	Τμήμα 4.3	Ουσίες που σε επαφή με το νερό παράγουν εύφλεκτα αέρια
Κλάση 5	Οξειδωτικά υλικά, οργανικά υπεροξείδια	
	Τμήμα 5.1	Οξειδωτικά υλικά
	Τμήμα 5.2	Οργανικά υπεροξείδια
Κλάση 6	Δηλητηριώδεις (τοξικές) ουσίες, μολυσματικές ουσίες	
	Τμήμα 6.1	Δηλητηριώδεις (τοξικές) ουσίες
	Τμήμα 6.2	Μολυσματικές ουσίες
Κλάση 7	Ραδιενεργά υλικά	
Κλάση 8	Διαβρωτικές ουσίες	
Κλάση 9	Διάφορες επικίνδυνες ουσίες	

Πίνακας 15: Ταξινόμηση των ουσιών σύμφωνα με τον UN Transport Code 1993

4.4.2 Η ΣΥΜΦΩΝΙΑ ADR

Ο ευρωπαϊκός κώδικας που διέπει τις διεθνείς μεταφορές είναι η «Ευρωπαϊκή Συμφωνία για την Διεθνή Οδική Μεταφορά Επικινδύνων Εμπορευμάτων ADR». Η συμφωνία είναι γνωστή με τη διεθνή ονομασία της ADR από τα αρχικά των γαλλικών λέξεων "Accord Dangereux Routier". Η συμφωνία αφορά το τμήμα χερσαίων μεταφορών της Οικονομικής Επιτροπής του ΟΗΕ και υπογράφηκε το 1957 στη Γενεύη, κυρώθηκε δε από την Ελλάδα 30 χρόνια αργότερα με το Νόμο 1741/87 (ΦΕΚ 225/Α).

Η συμφωνία έχει έκτοτε αναθεωρηθεί και το αναθεωρημένο κείμενο έχει γίνει επίσης δεκτό από την Ελλάδα. Μάλιστα από το 1999 η συμφωνία ισχύει και για τις εθνικές μεταφορές μέσα στην Ελλάδα (ΠΔ 104/99).

Για την αναθεώρηση της συμφωνίας, κάθε δύο χρόνια εξετάζονται οι εξελίξεις στην τεχνολογία της μεταφοράς επικινδύνων εμπορευμάτων (οχήματα, εξοπλισμός, επικίνδυνες ύλες και ουσίες, συσκευασία, προστασία περιβάλλοντος και εργαζομένων) και γίνονται οι ανάλογες τροποποιήσεις. Πρόκειται επομένως για ένα «ζωντανό» εργαλείο που συνεχώς εξελίσσεται.

Η συμφωνία αποτελείται από το κύριο σώμα της που περιλαμβάνει 17 άρθρα (Articles of the Agreement), δύο Παραρτήματα (Annex A & B) και επιπλέον Μέρη (Parts I, II, III) και Προσαρτήματα (Appendices A1-8 & B1-6), όπως διαγραμματικά φαίνεται στο σχήμα 15.

Στο κείμενο των προσαρτημάτων υπάρχει δεξιά ένας αριθμός, που λέγεται «περιθώριο». Σύμφωνα με το περιθώριο 10 011 της συμφωνίας, η μεταφορά μικρών ποσοτήτων ορισμένων εμπορευμάτων, τα οποία καθορίζονται ονομαστικά, απαλλάσσεται από την υποχρέωση συμμόρφωσης με αυτήν. Επίσης υπάρχουν ορισμένες παρεκκλίσεις από τη συμφωνία που αφορούν κυρίως το χρόνο εφαρμογής της, καθώς και την προσωρινή άρση ισχύος της κυρίως σε περιπτώσεις έκτακτων γεγονότων (κινδύνου ζωής, ερευνητικούς σκοπούς, δοκιμές κ.λπ.).

Σκοπός της συμφωνίας είναι η διασφάλιση της ασφαλούς μεταφοράς των επικινδύνων εμπορευμάτων, όταν αυτά διέρχονται από μια η περισσότερες χώρες. Εάν οι μεταφορές πληρούν τις απαιτήσεις της ADR, τότε απαλλάσσονται από την τήρηση της εθνικής νομοθεσίας των συμβαλλομένων κρατών.

Οι κλάσεις των επικινδύνων φορτίων (εμπορευμάτων η αποβλήτων) είναι εννιά (9) και αντιστοιχούν σε αυτές του Κώδικα Μεταφορών του ΟΗΕ, αλλά δεν είναι ταυτόσημες (Πίνακας 16). Ένα ειδικό χαρακτηριστικό της συμφωνίας είναι ότι η κάθε κλάση είναι ειτε «περιοριστική» ειτε «μη περιοριστική». Οι περιοριστικές κλάσεις είναι οι 1, 2, 6.2 και 7, για τις οποίες επιτρέπεται η μεταφορά μόνο των ουσιών που ανήκουν σε αυτές και οι οποίες αναφέρονται ρητά, ενώ απαγορεύεται η μεταφορά όσων ουσιών δεν αναφέρονται. Ακόμη και για τις μη περιοριστικές κλάσεις υπάρχουν εμπορεύματα, των οποίων απαγορεύεται η μεταφορά. Μερικά εμπορεύματα εμπίπτουν στην γενική περιγραφή της κλάσης και αυτά μεταφέρονται σύμφωνα με τις αντίστοιχες διατάξεις της ADR, ενώ άλλα εμπορεύματα που δεν αναφέρονται ρητά η δεν εμπίπτουν σε ειδική η γενική διάταξη απαλλάσσονται από την υποχρέωση συμμόρφωσης με την ADR.

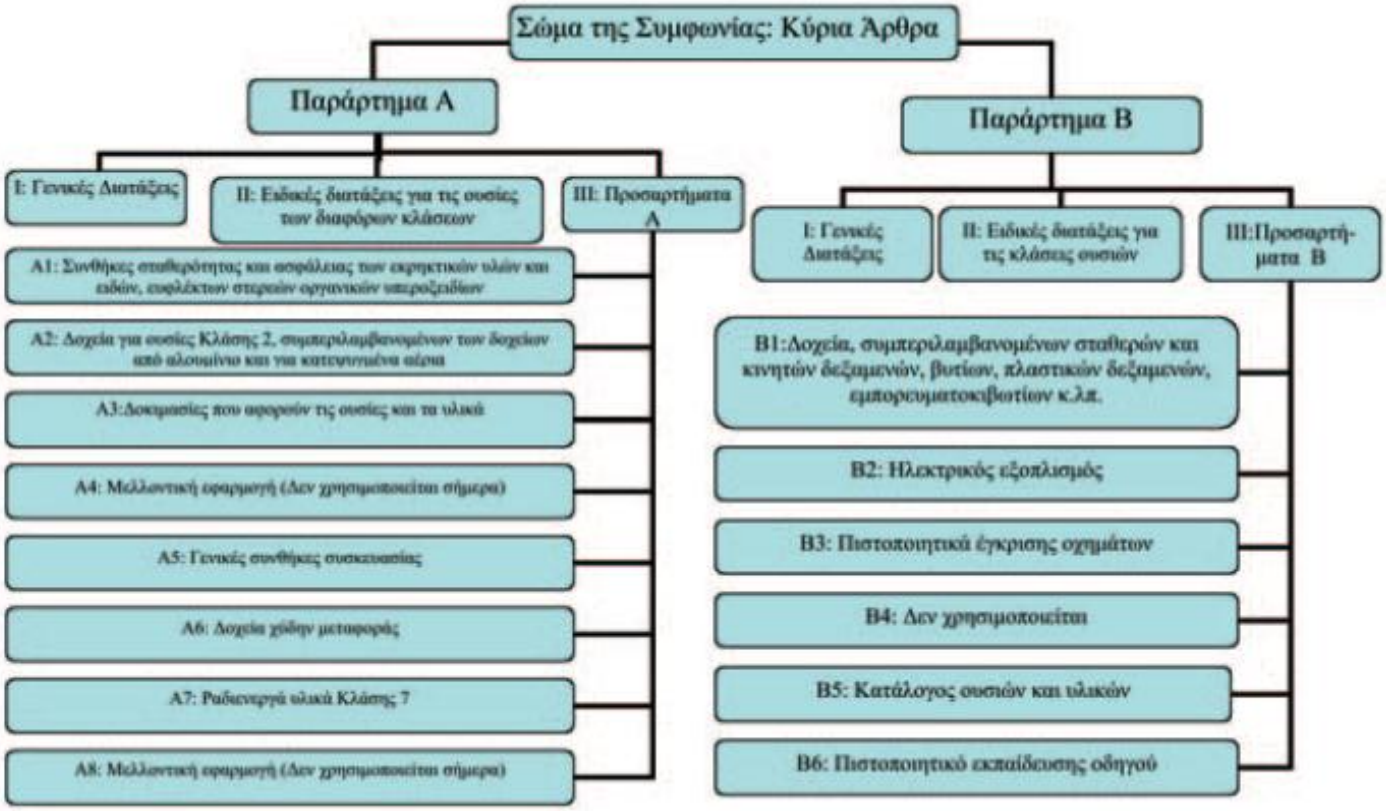
Ονομασία κλάσης	**Είδος ουσίας ή υλικού**	**Χαρακτηρισμός ως προς τον περιορισμό**
Κλάση 1	Εκρηκτικές ουσίες και είδη	Περιοριστική
Κλάση 2	Αέρια: πεπιεσμένα, υγροποιημένα η διαλυμένα υπό πίεση	Περιοριστική
Κλάση 3	Εύφλεκτα υγρά	
Κλάση 4.1	Εύφλεκτα στερεά	
Κλάση 4.2	Ουσίες υποκείμενες σε αυτογενή ανάφλεξη	
Κλάση 4.3	Ουσίες που σε επαφή με το νερό παράγουν εύφλεκτα αέρια	
Κλάση 5.1	Οξειδωτικές ουσίες	
Κλάση 5.2	Οργανικά υπεροξείδια	
Κλάση 6.1	Τοξικές ουσίες	
Κλάση 6.2	Απεχθείς ουσίες και ουσίες που μπορούν να προκαλέσουν μόλυνση	Περιοριστική
Κλάση 7	Ραδιενεργά υλικά	Περιοριστική
Κλάση 8	Διαβρωτικές ουσίες	
Κλάση 9	Διάφορες επικίνδυνες ουσίες και είδη	

Πίνακας 16: Ταξινόμηση των ουσιών σύμφωνα με την ADR

Παρατηρήσεις:

1. Οι κλάσεις που δεν χαρακτηρίζονται ως προς τον περιορισμό, είναι μη περιοριστικές.

2. Η ταξινόμηση της RID είναι ταυτόσημη με αυτή του παρόντος Πίνακα, με μικρές διαφορές στη διατύπωση των λέξεων στην αγγλική γλώσσα.



Σχήμα 15: Σχηματική διάταξη της δομής της συμφωνίας ADR

Σήμανση

Η συμφωνία επιβάλλει τη σήμανση των οχημάτων που μεταφέρουν επικίνδυνα εμπορεύματα με δυο είδη σημάνσεων:

- πορτοκαλί πινακίδες αναγνώρισης του κινδύνου
- ετικέτες κινδύνου.

Οι πορτοκαλί πινακίδες έχουν τυποποιημένες διαστάσεις και πρέπει να φέρονται στο εμπρός και πίσω μέρος και ενδεχομένως στα πλευρά του οχήματος, ανάλογα με το είδος του. Οι πινακίδες αποτελούνται από δύο αριθμούς που χωρίζονται με οριζόντια μαύρη γραμμή.

Ο επάνω αριθμός είναι ο χαρακτηριστικός αριθμός κινδύνου και δείχνει τον κίνδυνο που μπορεί να προέλθει από το υλικό, σύμφωνα με την παρακάτω έννοια:

- εκπομπή αερίων
- εύφλεκτα υγρά (ατμοί) και αέρια
- εύφλεκτα στερεά
- οξειδωτική αντίδραση
- τοξικότητα
- διαβρωτικότητα
- κίνδυνος αιφνίδιας αντίδρασης.

Ο διπλασιασμός του αριθμού δείχνει την εντατικοποίηση του συγκεκριμένου κινδύνου. Όταν αρκεί ένα ψηφίο για να καταδείξει τον κίνδυνο, τότε αυτό ακολουθείται από 0, ενώ όταν ένας αριθμός έχει μπροστά το γράμμα «Χ», τότε το υλικό αντιδρά επικίνδυνα με το νερό.

Οι ετικέτες κινδύνου τοποθετούνται στις συσκευασίες και έχουν επίσης συγκεκριμένη μορφή και διαστάσεις, ώστε να αποτελούν μία διεθνή «γλώσσα» που απευθύνεται στον καθένα που εμπλέκεται με τη διακίνηση. Επισημαίνεται ότι για τα ραδιενεργά υλικά ισχύουν ιδιαίτερες σημάνσεις. Περισσότερες λεπτομέρειες υπάρχουν στα βιβλία του Ιδρύματος Ευγενίδη που αναφέρονται στη μεταφορά επικινδύνων εμπορευμάτων.

4.4.3 Η ΣΥΜΦΩΝΙΑ RID ΓΙΑ ΤΗ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ

Για τη σιδηροδρομική μεταφορά επικινδύνων αγαθών ισχύει συμφωνία RID (International Rail Carriage Regulations). Για την περίπτωση αυτή, η ταξινόμηση ουσιών είναι ίδια με αυτή της οδικής μεταφοράς βάσει της ADR (Πίνακας 16).

Η Οδηγία 96/49/ΕΚ της ΕΕ έχει ενσωματώσει στο κείμενο της, ως παράρτημα, τη συμφωνία RID. Στην Ελλάδα ο Ν. 1593/86 κύρωσε τη σύμβαση για τις διεθνείς σιδηροδρομικές

μεταφορές (COTIF) και την Πράξη που αφορά μεταφορά εμπορευμάτων (CIM) και επιβατών και αποσκευών (CIV) με το σιδηρόδρομο.

4.4.4 ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Για τη θαλάσσια μεταφορά επικινδύνων ουσιών ισχύουν διεθνείς κανονισμοί που εκδίδονται από τον IMO (International Maritime Organization). Ο IMO υπάγεται στον ΟΗΕ και με την υποστήριξη του έχουν εκδοθεί διεθνείς κανονισμοί, συμβάσεις και κώδικες που αφορούν πολλά θέματα των θαλασσίων μεταφορών.

Οι δύο κύριες συμβάσεις που εκδόθηκαν είναι:

- SOLAS 74 (Safety of Life at Sea), < Δ.Σ. ΠΑΑΖΕΘ 1974 κατά τον Ν. 1045/1980 (Διεθνής Σύμβαση Περί Ασφαλείας της Ανθρώπινης Ζωής εν Θαλάσσει).
- MARPOL (MARine POLlution) 1973/78, η Διεθνής Σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης στη θάλασσα από πλοία 1973 και το πρωτόκολλο αυτής 1978 και η οποία κυρώθηκε με το Ν 1269/89.

Η πρώτη περιλαμβάνει, εκτός των άλλων, διάφορους κώδικες που αφορούν την κατασκευή και τον εξοπλισμό των πλοίων που μεταφέρουν επικίνδυνα φορτία (υγρά, αέρια σε κάθε μορφή, χύδην κ.λπ.).

Η δεύτερη σύμβαση προνοεί για την πρόληψη της ρύπανσης από διάφορα πετρελαιοειδή, χημικά κ.λπ. που μεταφέρονται με πλοία. Η ταξινόμηση των θαλάσσιων ρυπαντών ανάλογα με τους κινδύνους που πιθανόν να δημιουργήσουν γίνεται σε πέντε κατηγορίες (Πίνακας 17).

Κατηγορία ρυπαντή	Αποτέλεσμα ρύπανσης
A	Βιοσυσσώρευση
B	Καταστροφή ζωντανών θαλάσσιων οργανισμών
C	Κίνδυνοι για τον άνθρωπο (κατάποση)
D	Κίνδυνοι για τον άνθρωπο (επαφή με δέρμα και αναπνοή)
E	Υποβάθμιση χρήσης των ακτών

Πίνακας 17: Κατηγορίες θαλάσσιων ρυπαντών

Ο διεθνής ναυτιλιακός κώδικας επικινδύνων ειδών του διεθνούς ναυτιλιακού οργανισμού αναφέρεται ως IMDG-IMO-CODE (ΠΔ 405/96). Επίσης υπάρχει ο κώδικας IBC που είναι σχετικός με την κατασκευή και τον εξοπλισμό των πλοίων που μεταφέρουν χύδην επικίνδυνες χημικές ουσίες, καθώς και οι αντίστοιχοι κώδικες GC, Existing GC και IGC που αφορούν τη μεταφορά υγροποιημένων αερίων.

4.4.5 ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Για την αεροπορική μεταφορά επικινδύνων φορτίων ισχύουν σχετικές διατάξεις της Διεθνούς Ένωσης Αερομεταφορέων IATA και του Διεθνούς Οργανισμού Πολιτικής Αεροπορίας ICAO, οι οποίοι λειτουργούν υπό την αιγίδα του ΟΗΕ. Όσον αφορά την Ελλάδα οι κυριότερες αεροπορικές εταιρείες (Ολυμπιακή, Aegean-Cronus κ.λπ.) είναι μέλη της IATA, η δε ΥΠΑ είναι μέλος του ICAO.

Γενικά οι αεροπορικές μεταφορές χαρακτηρίζονται απο αυστηρές διαδικασίες, οι οποίες επιτηρούνται στενά από τις κρατικές αρχές. Άλλωστε ο τομέας χαρακτηρίζεται από υψηλότατο επίπεδο θεσμοθετημένων ελέγχων ασφάλειας κάθε μορφής (safety and security). Πιθανόν να υπάρχει πρόβλημα με ορισμένες μικρές εταιρείες (κυρίως από την πρώην ΕΣΣΔ) που δεν ανήκουν στην IATA και οι οποίες μπορεί να αναλαμβάνουν τη μεταφορά επικινδύνων ουσιών (κυρίως ραδιενεργών) και να χρησιμοποιούν τον ελληνικό εναέριο χώρο.

Η IATA εκδίδει περιοδικά τους Κανονισμούς που αφορούν τα επικίνδυνα είδη (Dangerous goods regulations). Η δομή των κανονισμών ακολουθεί τις βασικές αρχές τυποποίησης του ΟΗΕ που εφαρμόζονται και για τις άλλες συμφωνίες.

4.4.6 Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Οι οδικές μεταφορές επικινδύνων φορτίων στην Ελλάδα διέπονται από δύο βασικά κείμενα: τη συμφωνία ADR, όπως αυτή ισχύει κάθε φορά, και τον Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας (ΚΟΚ, Ν. 2696/99 (ΦΕΚ 57/Α). Επίσης εκτεταμένη αναφορά γίνεται στο Ν. 1959/91 που αναφέρεται στα φορτηγά αυτοκίνητα (βλέπε κατωτέρω). Ειδικότερα στον ΚΟΚ αναφέρεται:

- Στο άρθρο 13 περί «οδηγών» ότι «ο οδηγός αυτοκινήτου οχήματος που μεταφέρει επικίνδυνες
ύλες πάνω από ορισμένες ποσότητες επιβάλλεται να έχει υποστεί την κατά τις σχετικές διατάξεις αναγκαία επαγγελματική κατάρτιση».
- Στο άρθρο 20 περί «ορίων ταχυτήτων» ότι: «Για τα φορτηγά αυτοκίνητα και τους συνδυασμούς αυτών, που μεταφέρουν επικίνδυνα φορτία, με απόφαση του Υπουργού Μεταφορών και Επικοινωνιών, καθορίζονται ανώτατα επιτρεπόμενα όρια ταχύτητας, **χαμηλότερα** από τα παραπάνω οριζόμενα, αναλόγως της επικινδυνότητας του μεταφερόμενου φορτίου και των τεχνικών προδιαγραφών του μεταφορικού μέσου». Τα χαμηλότερα όρια αναφέρονται στον πίνακα των ανωτάτων επιτρεπομένων ορίων ταχυτήτων του ΚΟΚ.
- Στην παράγραφο 29 του άρθρου 81 ότι: «Τα οχήματα τα οποία μεταφέρουν επικίνδυνα εμπορεύματα, επιβάλλεται να φέρουν αναγνωριστικές της επικινδυνότητας του φορτίου πινακίδες και ειδικά σήματα, σύμφωνα με τις ισχύουσες για τις μεταφορές αυτές διατάξεις». Ο ΚΟΚ εισάγει ειδικές σημάνσεις που αφορούν τα επικίνδυνα φορτία (Πινακίδα Ρ-45) και φυσικά για τα οχήματα μεταφοράς τους ισχύουν οι διατάξεις περί φόρτωσης (επιτρεπόμενο βάρος κ.λπ.), περιοδικού τεχνικού ελέγχου κ.λπ., αν και συνήθως με άλλες νομικές διατάξεις επιβάλλονται πιο εξειδικευμένοι περιορισμοί. Εννοείται ότι η παραπάνω αναφορά δεν αναιρεί το γεγονός ότι ο ΚΟΚ αποτελεί ένα ενιαίο και αδιαίρετο κείμενο που πρέπει να είναι κτήμα κάθε υπεύθυνου οδηγού**,** ο οποίος πρέπει να συμμορφώνεται με το σύνολο των διατάξεων του.

Στη συνέχεια γίνεται μία συνοπτική αναφορά των κυριοτέρων νομοθετημάτων που αφορούν τη μεταφορά επικινδύνων φορτίων. Ο κατάλογος δεν είναι εξαντλητικός και αναφέρεται κυρίως σε νομοθετήματα της τελευταίας 20ετίας. Κατάλογος νομοθετημάτων μπορεί να βρεθεί και στην αντίστοιχη έκδοση του ΕΛΙΝΥΑΕ (2002, Επιμέλεια: Α. Δαΐκου).

<u>Θεμελιώδη νομοθετήματα χερσαίων μεταφορών</u>

- **ΠΔ 256/94 (ΦΕΚ 255/Α/11-10-99)** Προσαρμογή στην οδηγία 95/50/ΕΚ. Αναφέρεται στους ελέγχους κατά τη μεταφορά επικινδύνων φορτίων. Περιέχει ως παραρτήματα: **κατάλογο (checklist) ελέγχου** (αντικαταστάθηκε κατά την ΥΑ 56965/6498 (ΦΕΚ 1715/Β/21- 1201))
  - ✓ κατάλογο παραβάσεων
  - ✓ υπόδειγμα έκθεσης παράβασης.
- **ΠΔ 104/99 (ΦΕΚ 113/Α)** Προσαρμογή στην οδηγία 94/55/ΕΚ και τροποποιήσεις με τις ΚΥΑ Φ2/21099/1700 (ΦΕΚ 509/Β) και **21736/2092/99 (ΦΕΚ 1232/Β/01).** Στα παραρτήματα της

δεύτερης υπάρχουν **εκτενέστατες τροποποιήσεις και προσθήκες** που αφορούν τις επικίνδυνες ύλες.

Οδηγοί οχημάτων - Σύμβουλοι ασφαλείας - Επαγγελματική κατάρτιση

- **ΠΔ 355/94 (ΦΕΚ 189/Α/15-11-94)** Επαγγελματική κατάρτιση οδηγών (προσαρμογή στην οδηγία 89/684/ΕΟΚ). Αναφέρεται σε προσόντα, διδακτέα ύλη, κυρώσεις κ.λπ. Πρόκειται για το **βασικό νομοθέτημα,** το οποίο στη συνέχεια τροποποιείται κάθε φορά μερικώς από τα μεταγενέστερα ΠΔ.
- **ΥΑ 60740/1027 (ΦΕΚ 246/Β/3-4-95)** Εκδόθηκε σε εφαρμογή του ανωτέρω ΠΔ και εξειδικεύει θέματα Σχολών Κατάρτισης, εξεταζομένων μαθημάτων και ύλης κ.λπ. Παρουσιάζει επίσης τη μορφή του σχετικού πιστοποιητικού.
- **ΠΔ 32/96 (ΦΕΚ 23/Α/12-2-96)** Επαγγελματική κατάρτιση οδηγών (προσαρμογή στην οδηγία 89/884/ΕΟΚ). Αναφέρεται στα προσόντα των οδηγών, ώστε να λάβουν το σχετικό πιστοποιητικό.
- **ΥΑ 72572/2977 (ΦΕΚ 848/Β/24-9-97)** Τροποποιεί την ανωτέρω ΥΑ 60740/1027 ως προς τα προγράμματα εκπαίδευσης, τον τρόπο εξέτασης και παρουσιάζει τη μορφή των νέων πιστοποιητικών επαγγελματικής κατάρτισης όλων των κατηγοριών.
- **ΠΔ 106/98 (ΦΕΚ 97/Α/5-5-98)** Επαγγελματική κατάρτιση οδηγών (προσαρμογή στην οδηγία 89/684/ΕΟΚ).
- **ΥΑ 74319/3372 (ΦΕΚ Β/99)** Επαγγελματική κατάρτιση οδηγών κατόχων προσωρινών πιστοποιητικών.
- **ΚΥΑ 64834/5491/00 (ΦΕΚ 1350/Β/00)** Απαιτήσεις επαγγελματικής κατάρτισης, εξετάσεις, καθήκοντα και πιστοποιητικά συμβούλων ασφαλείας για τη χερσαία και πλωτή μεταφορά επικινδύνων εμπορευμάτων.
- **ΠΔ 346 (ΦΕΚ 233/Α/11-10-01)** Αφορά το επάγγελμα του οδικού μεταφορέα εμπορευμάτων. Περιέχει τις απαιτήσεις και προϋποθέσεις για την επαγγελματική επάρκεια και την απόκτηση της άδειας άσκησης επαγγέλματος.

Οχήματα

- **Ν 1959/91 (ΦΕΚ 123/Α/5-8-91)** Αναφέρεται σε άδειες κυκλοφορίας Φορτηγών ΙΧ και σε ειδικά θέματα βυτιοφόρων υγρών καυσίμων.
- **ΥΑ 35212/3028 (ΦΕΚ 1330/Β/31-12-98)** Ταξινόμηση βυτιοφόρων οχημάτων μεταφοράς βενζίνης ανάλογα τον οπλισμό τους, τη φόρτωση από τον πυθμένα, τη συλλογή των οργανικών πτητικών ουσιών και την προστασία από υπερπλήρωση.

- ΚΥΑ 3512/267/00 (ΦΕΚ 1351/Β/00) **Αναφέρεται σε τροποποίηση του** ΠΔ 431/1983 (ΦΕΚ 160/Α)

που αφορά τα οχήματα κατηγοριών «Ν» και «Ο» και τα ρυμουλκούμενα τους που μεταφέρουν επικίνδυνα εμπορεύματα.

- **ΥΑ Φ/73903/6384/00 (ΦΕΚ Β/1442/00)** Διαδικασία έκδοσης πιστοποιητικού ADR οχημάτων από τα ΚΤΕΟ.
- **ΥΑ 76389/3344/01 (ΦΕΚ 254/Β/01)** Είναι βασικό κείμενο. Αφορά την έγκριση κυκλοφορίας με μονωμένου οχήματος για τη μεταφορά επικινδύνων φορτίων, την έγκριση δεξαμενών κατόπιν δοκιμών, την έγκριση ρυμουλκούμενου η επικαθημενου οχήματος, τεχνικές περιγραφές κ.λπ.

Έλεγχος οχημάτων, δεξαμενών και βυτίων

- **ΥΑ 88548/3675 (ΦΕΚ 995/Β/1-12-95)** Ορισμός του ΕΜΠ ως φορέα ελέγχου δεξαμενών (βυτίων) κατά την ADR.
- **ΥΑ Φ101/61053/1411 (ΦΕΚ 395/Β/16-5-97)** Επέκταση της προηγούμενης απόφασης εκτός από βυτία και για τις άλλες κατηγορίες οδικών οχημάτων (κοινού φόρτου, κλειστών, ανοικτών κ.λπ.).
- **ΥΑ 32891/3257 (ΦΕΚ 703/Β/16-6-01)** Προϋποθέσεις αναγνώρισης φορέων για τον ειδικό έλεγχο οχημάτων κατά την ADR και σχετικά πιστοποιητικά εγκρίσεως.

Μεταφορά εκρηκτικών

- **ΚΥΑ 3009/8/21/γ (ΦΕΚ 301/Β/21-4-94)** Αφορά τους όρους και τη διαδικασία για την έκδοση άδειας διαμετακόμισης όπλων, πυρομαχικών, εκρηκτικών καθώς και για την ασφαλή πραγματοποίηση αυτής.

Σιδηροδρομικές μεταφορές

- **ΚΥΑ Φ4.2/733358/5309 (ΦΕΚ 240/Β/28-2-02)** Τροποποίηση της απόφασης που αφορά την εναρμόνιση με την οδηγία 2000/62/ΕΚ. (βαγόνια, δεξαμενές, συνθήκες μεταφοράς κ.λπ.).

Θαλάσσιες μεταφορές - Διεθνείς συνθήκες

- **ΠΔ 419/93 (ΦΕΚ 178/Α/6-10-93)** Επικύρωση του Διεθνή Κώδικα LBC για την κατασκευή και τον εξοπλισμό των πλοίων που μεταφέρουν επικίνδυνα χημικά χύμα. Περιλαμβάνεται το πρωτότυπο αγγλικό κείμενο, κατάλογος των επικινδύνων χημικών ουσιών και υποδείγματα των σχετικών διεθνών πιστοποιητικών καταλληλότητας.
- **ΥΑ 1218.34 (ΦΕΚ 1029/Β/14-12-95)** Αποδοχή των τροποποιήσεων των ετών 1990 και 1992 του Κώδικα IBC με εκτενή αναφορά, ως ανωτέρω, σε ουσίες και πιστοποιητικά.
- **ΥΑ 1218.85/1/97 (ΦΕΚ 101/Β/14-2-97)** Αποδοχή των Κωδίκων του IMO για τη μεταφορά επικινδύνων χημικών χύμα (BCH) και υγροποιημένων αερίων χύμα (GC). Αναφέρεται και στα πιστοποιητικά καταλληλότητας που πρέπει να φέρουν τα πλοία.

Κανονισμοί λιμένων

- **ΥΑ 3131.2/01/94 (ΦΕΚ 119/Β/94)** και **ΥΑ 3131.2/16/96 (ΦΕΚ 453/Β/96)** Μέτρα ασφάλειας κατά τις εργασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης επικινδύνων ουσιών και καταλοίπων που μεταφέρονται από δεξαμενόπλοια από/σε βυτιοφόρα οχήματα για το Λιμένα Θεσσαλονίκης (Ειδικός Κανονισμός Λιμένα Θεσσαλονίκης αρ. 53 και 56 αντίστοιχα).
- **ΥΑ 3131.2/09/94 (ΦΕΚ 448/Β/94)** Παρόμοιος περίπου ως ανωτέρω για το Λιμένα Πειραιά ((Ειδικός κανονισμός Λιμένα Πειραιά αρ. 179).
- **ΥΑ 3131.2/49/95 (ΦΕΚ 1012/Β/95)** Ομοίως για το Λιμένα Κυλλήνης (Ειδικός κανονισμός Λιμένα Κυλλήνης αρ. 8).
- **ΠΔ 346/94 (ΦΕΚ 183/Α/31-10-94)** Αναφέρεται σε αναφορές των πλοίων που καταπλέουν - αποπλέουν σε ελληνικούς λιμένες και μεταφέρουν επικίνδυνα φορτία. Αναφέρεται στις διαδικασίες της αναφοράς, τις υποχρεώσεις όλων των εμπλεκομένων (πλοιάρχων, πλοηγών, αρμοδίων αρχών κ.λπ.), τον εξοπλισμό και τις εγκαταστάσεις ασφαλείας του πλοίου, τα απαραίτητα πιστοποιητικά, τα μέτρα σε περίπτωση ατυχήματος κ.λπ. Ορισμένες τροποποιήσεις, μαζί με υπόδειγμα έκθεσης επιθεώρησης πλοίου, υπάρχουν στο **ΠΔ 3/99 (ΦΕΚ 2/Α'),** καθώς και το **ΠΔ 12/00 (ΦΕΚ 11/Α).**
- **ΥΑ 3131.1/07/95 (ΦΕΚ 153/Β/7-3-95)** Έγκριση Γενικού Κανονισμού Λιμένα αρ 9 για τα μέτρα ασφαλείας κατά τη φόρτωση και εκφόρτωση επικινδύνων ουσιών απο δεξαμενόπλοια. Είναι βασικότατο κείμενο και περιέχει και πίνακα ελέγχου ασφαλείας με εκτενές ερωτηματολόγιο-υπεύθυνη δήλωση στην ελληνική και αγγλική γλώσσα για τις ενέργειες που πρέπει να γίνουν.

- **ΠΔ 405/96 (ΦΕΚ 272/Β/16-12-96)** Κανονισμός φόρτωσης, εκφόρτωσης, παραμονής και διακίνησης επικινδύνων ειδών σε λιμένες και μεταφορά τους δια θαλάσσης. Πρόκειται επίσης για βασικό νομοθέτημα, που καλύπτει γενικά όλα τα θέματα μεταφοράς επικινδύνων ειδών. Περιέχει κατάλογο των ειδών και πρέπει υποχρεωτικά να φέρονται επι των πλοίων που μεταφέρουν επικίνδυνα είδη.
- **ΠΔ 146/98 (ΦΕΚ 109/Α)** Αναφέρεται σε μέτρα ασφαλείας κατά τη μεταφορά χύμα πετρελαίου, χύμα υγρών χημικών και χύμα υγροποιημένων αερίων με δεξαμενόπλοια. Περιλαμβάνει κατάλογο των διεθνών οδηγιών ασφαλείας και μέτρα για τη μεταφορά βυτιοφόρων οχημάτων επί του καταστρώματος των δεξαμενόπλοιων.
- **ΥΑ 3131.1/01/99 (ΦΕΚ 12/Β/18-1-99)** Γενικός Κανονισμός Λιμένα αρ. 18, που αφορά τις προϋποθέσεις και μέτρα ασφαλείας κατά τη φόρτωση και εκφόρτωση χύμα πετρελαίου, χύμα υγρών χημικών και χύμα υγροποιημένων αερίων σε δεξαμενόπλοια. Περιέχει υποδείγματα δηλώσεων, πινάκων ελέγχου ενεργειών κ.λπ.
- **ΥΑ 2122/06/2001 (ΦΕΚ 219/Β/6-3-01)** Γενικός Κανονισμός Λιμένα αρ. 25. Αναφέρεται σε ορισμένες τροποποιήσεις του προηγούμενου κανονισμού αρ. 18.

<u>Ειδικά γραφειοκρατικά θέματα</u>

- **ΥΑ Α8 31284 4774/99 (ΦΕΚ 259/Β/99)** Χορήγηση αδειών κυκλοφορίας βυτιοφόρων οχημάτων σε πρατηριούχους υγρών καυσίμων.
- **ΥΑ Α8 27746 3452/00 (ΦΕΚ 15/Β)** Χορήγηση αδειών κυκλοφορίας βυτιοφόρων οχημάτων ιδιωτικής χρήσεως σε μεταπωλητές πετρελαιοειδών προϊόντων για θέρμανση.
- **ΥΑ Β11 37762/4688/00 (ΦΕΚ 86/Β)** Κόμιστρα φορτηγών ΦΔΧ βυτιοφόρων μεταφοράς υγρών καυσίμων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

5.2 ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ

5.2.1 ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΣ

5.2.2 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ

5.2.3 ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

5.3 ΟΙ ΦΟΡΕΙΣ ΠΟΥ ΕΜΠΛΕΚΟΝΤΑΙ

5.3.1 Η ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ

5.3.2 Η ΑΣΤΥΝΟΜΙΑ

5.3.3 ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΑΜΕΣΗΣ ΒΟΗΘΕΙΑΣ (ΕΚΑΒ)

5.3.4 ΛΟΙΠΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

5.3.5 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

5.4 ΣΕΝΑΡΙΑ

5.4.1 ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

5.4.2 ΟΔΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

5.4.3 ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Αναμφίβολα τα ατυχήματα που πραγματοποιούνται κατά την μεταφορά επικίνδυνων φορτίων φέρουν καταστροφικές συνέπειες στην οικονομία, στον άνθρωπο και στο περιβάλλον. Επομένως ιδιαίτερα σημαντικό θεωρείται το στάδιο διαχείρισης του κινδύνου το οποίο εκτός από την πρόληψη περιλαμβάνει την αντιμετώπιση και τον απολογισμό του ατυχήματος.

Η πρόληψη, οποία αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρεται στο σύνολο των ενεργειών που στοχεύουν στην ομαλή διεξαγωγή του μεταφορικού έργου και την αποφυγή κάθε ατυχήματος. Προκειμένου να αποδώσουν τα λαμβανόμενα κατά περίπτωση μέτρα πρόληψης, είναι απαραίτητο να προηγηθεί ο συνυπολογισμός όλων των συνθηκών που μπορεί να οδηγήσουν σε ανεπιθύμητες καταστάσεις και να εκτιμηθεί ο βαθμός επικινδυνότητας.

Στην περίπτωση που εκδηλωθεί το ατύχημα ακολουθεί **η φάση της αντιμετώπισης ή καταστολής**, αφορά το χρονικό διάστημα από την εκδήλωση του συμβάντος μέχρι τη λήξη του και περιλαμβάνει την ενημέρωση των αρμόδιων αρχών, την προσπάθεια περιορισμού της εξάπλωσης του ατυχήματος με τη βοήθεια του εξοπλισμού ασφαλείας, την εφαρμογή των διαδικασιών που προβλέπει το πρωτόκολλο έκτακτης ανάγκης, την ειδοποίηση του πληρώματος και του γύρω πληθυσμού που βρίσκεται σε κίνδυνο, την λήψη των κατάλληλων μέτρων προστασίας και καθοδήγηση του πληθυσμού, καθώς και την παροχή πρώτων βοηθειών στους πληγέντες εφόσον υπάρχουν.

Οι ενέργειες που πραγματοποιούνται για την αντιμετώπιση του ατυχήματος χωρίζονται σε «on site» οι οποίες γίνονται μέσα στο μεταφορικό μέσο ή σε μικρή απόσταση από αυτό από την έναρξη του ατυχήματος καθώς και σε «off site» οι οποίες συμβαίνουν μακριά απτό ατύχημα και αναφέρονται κυρίως στον πληθυσμό που δέχεται τις άμεσες και έμμεσες συνέπειες.

Στο τελευταίο στάδιο βρίσκεται η φάση του απολογισμού η οποία αναφέρεται στην αξιολόγηση και διερεύνηση των αιτίων που οδήγησαν στο ατύχημα. Το στάδιο αυτό θεωρείται απαραίτητο για την άντληση γνώσης για την αντιμετώπιση μελλοντικών καταστάσεων και των περιορισμό των αρνητικών συνεπειών της μεταφοράς αυτών των επικίνδυνων φορτίων.

Για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων στην υγεία των εκτεθειμένων από διαρροή, έκρηξη ή φωτιά οι υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης και πρώτων βοηθειών πρέπει να αναπτύξουν σε εθνικό και τοπικό επίπεδο το Σχέδιο Αντιμετώπισης Μεγάλου Ατυχήματος (ΣΑΜΑ). Σύμφωνα με αυτό αναγνωρίζεται η ύπαρξη επικίνδυνης έκθεσης κατά την μεταφορά HAZMAT. Στην συνέχεια

ταχτοποιείται η επικίνδυνη ουσία για να προσδιοριστούν τα επίπεδα τοξικότητας και ο κίνδυνος δευτερογενούς έκθεσης. Το τελευταίο βήμα αφορά την απομόνωση και των περιορισμό της ρύπανσης, την κατάλληλη απορρύπανση και την εφαρμογή πρώτων βοηθειών στους άμεσα εκτεθειμένους και την αποκατάσταση της κανονικής ροής στην περιοχή.

5.2 ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ

Η αντιμετώπιση των ατυχημάτων με επικίνδυνα φορτία προϋποθέτει την εφαρμογή μιας σειράς ενεργειών οι οποίες πρέπει να είναι απόλυτα συντονισμένες μεταξύ τους και να εφαρμόζονται καθολικά. Τα βασικά στάδια διαχείρισης των ατυχημάτων είναι:

1) Ο συναγερμός
2) Η αντιμετώπιση
3) Η αποκατάσταση

5.2.1. ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΣ

Στην **φάση του συναγερμού** γίνεται η ανίχνευση πιθανού ατυχήματος, η συλλογή και επεξεργασία των απαραίτητων αρχικών στοιχείων και στη συνέχεια οι διαδικασίες ειδοποίησης των αρμοδίων αρχών ανάλογα με τη σοβαρότητα του ατυχήματος. Αφετηρία των ενεργειών αποτελεί σε επίπεδο μεταφορικού μέσου ο εντοπισμός ενός ασυνήθιστου γεγονότος που θα μπορούσε να οδηγήσει σε μεγάλο ατύχημα (π.χ. διαρροή εύφλεκτης ή τοξικής ουσίας, εστία φωτιάς κ.λπ.) και η αξιολόγηση των πρώτων δεδομένων. Ο εντοπισμός μπορεί να γίνει είτε με αυτόματα συστήματα ανίχνευσης με οπτικοακουστική ειδοποίηση, ή από το ίδιο το πλήρωμα, το προσωπικό, τον οδηγό ή κάποιον ελεγκτή.

Τα πρώτα δεδομένα που έρχονται αφορούν το είδος και την φύση του περιστατικού καθώς και την σοβαρότητα του και είναι ιδιαίτερα σημαντικά για την έγκαιρη ανταπόκριση των αρχών και στον περιορισμό των κινδύνων που διατρέχουν οι εργαζόμενοι και ο γύρω πληθυσμός. Αμέσως μετά την ανίχνευση, ανάλογα με τη σοβαρότητα της κατάστασης, το πλήρωμα του μεταφορικού μέσου υποχρεούται να αποστείλει σήμα συναγερμού και να ειδοποιήσει όλες τις αρμόδιες αρχές επέμβασης (Πυροσβεστική, ΕΚΑΒ, Αστυνομία, Λιμενικό Σώμα κ.λπ).

5.2.2. ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ

Στην συνέχεια ακολουθεί το **στάδιο της αντιμετώπισης** που αποτελεί την κύρια φάση της διαχείρισης ενός ατυχήματος. Περιλαμβάνει ποικιλία δράσεων που στοχεύουν στην καταστολή

και την πολιτική προστασία. Προϋποθέτει συντονισμό των δράσεων και των φορέων που εμπλέκονται προκειμένου να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα στον ελάχιστο δυνατό χρόνο. Αυτό αφορά και στη διαδικασία λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο (κατά τη διάρκεια του ατυχήματος), αλλά και στην υλοποίηση ενεργειών που έχουν προκαθοριστεί και είναι ανεξάρτητες από το ατύχημα.

Οργάνωση

Όσον αφορά τις οργανωτικές ενέργειες είναι καθορισμένες από το θεσμικό πλαίσιο της χώρας. Αρχικά αναγνωρίζονται όλων των τοπικών, περιφερειακών, εθνικών αλλά και ιδιωτικών φορέων ή οργάνων που θα έχουν συμμετοχή στη διαχείριση ενός ατυχήματος μεγάλης έκτασης και το λεπτομερή προσδιορισμό των αρμοδιοτήτων του καθενός, πριν και κατά τη διάρκεια του ατυχήματος. Έπειτα μπαίνει σε εφαρμογή το ΣΑΜΑ με στόχο το συντονισμό και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των διαθέσιμων μέσων για την αποτελεσματική αντιμετώπιση του ατυχήματος. Τέλος, προσδιορίζονται τα κριτήρια της ειδοποίησης των αρμοδίων φορέων ανάλογα με τη σοβαρότητα του περιστατικού. Στο ίδιο πλαίσιο προσδιορίζονται και τα μέσα υποστήριξης και ειδοποίησης, δηλαδή τα υπεύθυνα πρόσωπα και υπηρεσίες σε κάθε βαθμίδα. Τέλος θα πρέπει να καθορίζεται πότε είναι απαραίτητη η ενημέρωση του κοινού ή η εκκένωση του πληθυσμού για προληπτικούς λόγους

Καταγραφή δεδομένων ατυχήματος

Η συγκέντρωση και αξιοποίηση στοιχείων ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση των ατυχημάτων περιλαμβάνει τις ακόλουθες ενέργειες:

- Την ανάλυση της επικινδυνότητας η οποία απαραίτητη προκειμένου να εκτιμηθεί η πιθανότητα ενός σεναρίου ατυχήματος και το μέγεθος των συνεπειών που αυτό θα έχει σε επίπεδο μεταφορικού μέσου, πληρώματος και γειτονικών εγκαταστάσεων στην ευρύτερη περιοχή (περιβαλλοντικές επιπτώσεις, κάτοικοι κ.λπ.).
- Τη δημιουργία βάσης δεδομένων με σκοπό την εύκολη πρόσβαση, αναζήτηση, αποθήκευση και συσχέτιση διαφόρων στοιχείων μεταξύ τους, και συνεπώς την διαχείριση ενός μεγάλου όγκου πληροφοριών που απαιτούνται άμεσα και αξιόπιστα. Τέτοιες βάσεις δεδομένων μπορεί να περιέχουν στατιστικά και ιστορικά στοιχεία αναφορικά με τις μετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής του ατυχήματος, πληροφορίες που αφορούν τις ποσότητες, τις ιδιότητες, τους κινδύνους που ενέχουν οι μεταφερόμενες επικίνδυνες ουσίες και τα κατάλληλα μέτρα προστασίας που πρέπει να λαμβάνονται κατά περίπτωση.

- Η δημιουργία καταλόγων με τα σχέδια έκτακτης ανάγκης δηλαδή με τις διαδικασίες που σχετίζονται με τα οργανωτικά θέματα, το ανθρώπινο δυναμικό, τον εξοπλισμό καταστολής και τα μέσα ατομικής προστασίας του προσωπικού, τον εξοπλισμό μετρήσεων και παρακολούθησης της έκθεσης εντός και εκτός των ορίων της περιοχής του ατυχήματος, καθώς και τον τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό.
- Την δημιουργία καταλόγων από εμπειρογνώμονες οι οποίοι καλούνται στο Επιχειρησιακό Κέντρο κατά τη διάρκεια ενός ατυχήματος, ή να προσφέρουν τη βοήθεια από απόσταση στηριζόμενοι στην εμπειρία και την εξειδικευμένη γνώση που διαθέτουν.

Επεμβάσεις σε πραγματικό χρόνο

Σε αυτό το στάδιο εξασφαλίζεται η μέγιστη ταχύτητα απόκριση και ο συντονισμός όλων των φορέων.

Αρχικά παρακολουθείται η εξέλιξη του ατυχήματος με την συλλογή δεδομένων πραγματικού χρόνου όπως η αξιολόγηση των κινδύνων που ελλοχεύουν και η επιλογή του κατάλληλου για την περίπτωση σχεδίου δράσης. Έπειτα αποκτάται η γνώση της διεύθυνσης και της ταχύτητας του ανέμου, καθώς και του βαθμού ευστάθειας της ατμόσφαιρας έτσι ώστε να διασφαλιστεί η προστασία του γενικού πληθυσμού. Απαραίτητη θεωρείται και η επιτήρηση της κατάστασης των δρόμων σε πραγματικό χρόνο για τη συλλογή πληροφοριών που σχετίζονται με την υπάρχουσα κίνηση, τυχόν έργα οδοποιίας σε εξέλιξη, ή οποιασδήποτε φύσης εμπόδιο μπορεί να προκύψει. Ιδιαίτερα σημαντική θεωρείται η αξιόπιστη και ποιοτική τηλεπικοινωνιακή σύνδεση μεταξύ του Επιχειρησιακού Κέντρου και του επικεφαλής στον τόπο του ατυχήματος, καθώς και η επικοινωνία μεταξύ των ομάδων επέμβασης. Η τηλεπικοινωνιακή σύνδεση για την αμφίδρομη διαβίβαση των δεδομένων πραγματικού χρόνου και η διαθεσιμότητα εφεδρικών συστημάτων επικοινωνίας, αποτελούν απαραίτητα χαρακτηριστικά ενός αποτελεσματικού σχεδιασμού.

Εξίσου σημαντικό θεωρείται και το στάδιο ενημέρωσης του κοινού με ενέργειες που αφορούν:

α) την οργάνωση και την τεχνολογική υποδομή για τη διάδοση των σημαντικών πληροφοριών

β) τον ρόλος των ΜΜΕ

γ) την επιλογή των κατάλληλων εγκαταστάσεων για την ασφαλή προσωρινή φιλοξενία του απειλούμενου πληθυσμού

δ) την ανάλυση των πιθανών αντιδράσεων του πληθυσμού σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

Η έγκαιρη μετάβασή των δυνάμεων καταστολής στον τόπο του συμβάντος αποτελεί προϋπόθεση για την επιτυχή έκβαση της επέμβασης. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός της διαθεσιμότητας σε πραγματικό χρόνο των απαιτούμενων μέσων ανάλογα με το είδος, τη θέση, τη σοβαρότητα και την πιθανή εξέλιξη ενός ατυχήματος. Η διαθεσιμότητα αυτή είναι δυνατό για διάφορους λόγους να μεταβληθεί, με αποτέλεσμα τα μέσα που έχουν καταγραφεί εκ των προτέρων ως διαθέσιμα να μη βρίσκονται σε ετοιμότητα.

Οι διαδικασίες αντιμετώπισης ξεκινούν με την αξιολόγηση του συμβάντος το οποίο έχει την αφετηρία της στη φάση του συναγερμού όπως περιγράφηκε σε προηγούμενη παράγραφο και συνεχίζεται έως ότου εκλείψει ο κίνδυνος, ή τα επίπεδα έκθεσης μειωθούν στα επιτρεπόμενα όρια. Η αξιολόγηση αποσκοπεί στην αναγνώριση της φύσης, της ποσότητας και της κατάστασης του επικίνδυνου φορτίου, στον προσδιορισμό του είδους της απειλής για τον άνθρωπο, τις περιουσίες και το περιβάλλον, καθώς και στην εκτίμηση της έκτασης, της διάρκειας και της διασποράς της διαρροής των χημικών ουσιών. Απαραίτητη προϋπόθεση για την ορθότητα των εκτιμήσεων αυτών είναι ο καθορισμός ορίων επικινδυνότητας και ασφάλειας για κάθε πιθανό κίνδυνο ξεχωριστά.

Στην συνέχεια γίνεται ο έλεγχος της περιοχής του συμβάντος τόσο για τη διευκόλυνση των κινήσεων των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης, όσο και για την προστασία του μόνιμου πληθυσμού και των διερχομένων. Διακρίνονται 2 ζώνες. Η πρώτη είναι η επικίνδυνη ζώνη η οποία είναι ύψιστης προτεραιότητας και εκτείνεται σε μια ακτίνα γύρω από το σημείο του ατυχήματος που εκκενώνεται και δεν επιτρέπεται η είσοδος σε κανέναν, εκτός από τα μέλη των ομάδων επέμβασης, τα οποία είναι εφοδιασμένα με τον κατάλληλο προστατευτικό εξοπλισμό. Η ζώνη αυτή θεωρείται υψηλού κινδύνου και η δράση των ομάδων επέμβασης μέσα στα όριά της εξαρτάται από το είδος του κινδύνου και τις ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν. Από την άλλη η δευτερεύουσα ζώνη εκτείνεται πέρα από τη ζώνη αποκλεισμού και μέχρι τα όρια της ασφαλούς περιοχής. Κατά κανόνα, η ελάχιστη ακτίνα των προστατευτικών ζωνών έχει προεκτιμηθεί για διάφορα σενάρια περιστατικών. Στη συνέχεια όμως και κατά τη διάρκεια της εξέλιξης του συμβάντος, οι ακτίνες των ζωνών ελέγχου αυξάνονται ή μειώνονται

ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες, κατόπιν απόφασης του έμπειρου επικεφαλής των επιχειρήσεων.

Ιδιαίτερα σημαντικός θεωρείται ο περιορισμός της έκθεσης του προσωπικού των ομάδων έκτακτης ανάγκης υλοποιείται αφενός με την αυστηρή τήρηση αποστάσεων ασφαλείας από τις επικίνδυνες περιοχές και αφετέρου με τη χρησιμοποίηση ειδικού προστατευτικού εξοπλισμού. Η επιλογή των μέσων ατομικής προστασίας απαιτεί ιδιαίτερη μέριμνα, ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή προστασία του προσωπικού από κάθε πιθανό κίνδυνο που σχετίζεται με το περιστατικό που καλείται να αντιμετωπίσει, χωρίς να περιορίζονται οι κινήσεις, η ορατότητα και η ικανότητα επικοινωνίας.

Όσον αφορά την προστασία του πληθυσμού γίνεται:

- Η αναζήτηση καταφυγίου σε εσωτερικούς χώρους (εγκαταστάσεις, κατοικίες)
- Η εκκένωση της επικίνδυνης ζώνης από κατοίκους και διερχόμενους προς ασφαλείς χώρους εκτός της πληγείσας ή απειλούμενης περιοχής και η απαγόρευση εισόδου στην επικίνδυνη ζώνη
- Η παροχή ιατρικής βοήθειας (μεταφορά τραυματιών σε νοσοκομεία, χημική απολύμανση, παροχή πρώτων βοηθειών)
- Η υλοποίηση ειδικών μετρήσεων σε τροφές και πόσιμο νερό, ώστε να αποφευχθεί πιθανή τοξική μόλυνση. Στο ίδιο πλαίσιο εντάσσεται και ο έλεγχος των δικτύων ύδρευσης και αποχέτευσης

5.2.3. Η ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Η διαχείριση των ατυχημάτων μεγάλης έκτασης μπορεί να τροφοδοτήσει τις αρμόδιες υπηρεσίες με πληροφορίες που αφορούν το είδος των βλαβών που χρήζουν αποκατάστασης και τις τεχνικές αντιμετώπισης που ενδείκνυται να εφαρμοστούν ιδιαίτερα όταν εκδηλώνεται διασπορά τοξικών ουσιών. Στις περιπτώσεις φυσικών ή τεχνολογικών καταστροφών τα μέτρα και τα έξοδα αποκατάστασης των πληγέντων και του περιβάλλοντος βαρύνουν τις αρμόδιες αρχές και την πολιτεία.

5.3 ΟΙ ΦΟΡΕΙΣ ΠΟΥ ΕΜΠΛΕΚΟΝΤΑΙ

Οι κύριες ενέργειες των φορέων που εμπλέκονται στην αντιμετώπιση ενός ατυχήματος σχετίζονται με την αναγνώριση της επικίνδυνης κατάστασης και αξιολόγηση του κινδύνου, τον καθορισμός των ορίων της περιοχής που κρίνεται ότι διατρέχει κίνδυνο, την λήψη αποφάσεων για τα μέτρα αντιμετώπισης, τον συναγερμού, την εκκένωση της περιοχής, την παροχή πρώτων βοηθειών στους πληγέντες και τον συντονισμό των επιμέρους φορέων και ενεργειών.

Οι σημαντικότεροι φορείς είναι η Αστυνομία, η Πυροσβεστική, το Εθνικό Κέντρο Πρώτων Βοηθειών αλλά και άλλοι οργανισμοί όπως το λιμενικό. Σημαντικά θεωρούνται τα γερανοφόρα οχήματα, τα ρυμουλκά σκάφη, κ.α.

5.3.1 Η ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ

Τα καθήκοντα της Πυροσβεστικής είναι:

- Ο έλεγχος και η κατάσβεση των πυρκαγιών
- Η διαχείριση ατυχημάτων που αφορούν διαρροές τοξικών υλών και εκρήξεις
- Η διάσωση ανθρώπων που βρίσκονται σε κίνδυνο. Υπάρχει συνεργασία με τις Μονάδες Αντιμετώπισης Καταστροφών (ΕΜΑΚ).

Ουσιαστικά, Η Πυροσβεστική Υπηρεσία οφείλει να διατηρεί ικανό αριθμό δυνάμεων τόσο σε έμψυχο δυναμικό, όσο και σε μηχανοκίνητο εξοπλισμό, προκειμένου να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά οποιαδήποτε κρίση στα πλαίσια ενός ατυχήματος. Επιπλέον, η συμμετοχή των δυνάμεων της Πυροσβεστικής σε μικτά σχήματα και ομάδες επέμβασης όπου εντάσσονται μέλη των σωστικών συνεργείων και των άλλων εμπλεκόμενων υπηρεσιών, συμβάλλει στην αποδοτικότερη καταστολή του περιστατικού.

5.3.2 Η ΑΣΤΥΝΟΜΙΑ

Ο φορέας αυτός έχει τον γενικό έλεγχο της κατάστασης στην περίπτωση των ατυχημάτων μου μελετώνται. Τα θεσμοθετημένα καθήκοντα της Αστυνομίας περιλαμβάνουν την προστασία

της ζωής και της περιουσίας, τον έλεγχο της οδικής κυκλοφορίας των οχημάτων και την αναγνώριση των θυμάτων. Είναι επιφορτισμένη από το νόμο να επεμβαίνει σε κάθε περιστατικό όπου ο γενικός πληθυσμός τίθεται σε κίνδυνο. Ορισμένες σημαντικές αρμοδιότητές της στα πλαίσια μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης αποτελούν η ασφάλεια των περαστικών και των ανθρώπων που παρατηρούν αμέτοχοι την εξέλιξη του συμβάντος, η διατήρηση της ελεύθερης πρόσβασης και διακίνησης της κυκλοφορίας των οχημάτων έκτακτης ανάγκης, η εκκένωση του πληθυσμού από τις απειλούμενες περιοχές, η αναγνώριση των θυμάτων και των τραυματιών, η ενημέρωση των συγγενών των θυμάτων καθώς και η διερεύνηση των αιτίων του ατυχήματος.

Επιπλέον, οι αρμοδιότητες της αστυνομίας περιλαμβάνουν τον έλεγχο της έγκαιρης ειδοποίησης της Πυροσβεστικής και των ΕΚΑΒ, την συγκέντρωση πληροφοριών για τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή του συμβάντος, την κινητοποίηση των μονάδων της τροχαίας ώστε αφενός να διευκολύνουν την κίνηση των οχημάτων έκτακτης ανάγκης και αφετέρου να απομονώσουν την πρόσβαση τρίτων στην επικίνδυνη ζώνη, την άμεση αποστολή περιπολικών στην περιοχή του περιστατικού, την εγκατάσταση του Επιχειρησιακού Κέντρου λήψης και διαβίβασης εντολών και την ενημέρωση των αρμόδιων τοπικών αρχών ώστε να θέσουν σε εφαρμογή τα δικά τους σχέδια έκτακτης ανάγκης.

5.3.3 ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΑΜΕΣΗΣ ΒΟΗΘΕΙΑΣ (ΕΚΑΒ)

Το έργο της παροχής πρώτων βοηθειών και της μεταφοράς των τραυματιών από τον τόπο του ατυχήματος στα εφημερεύοντα νοσοκομεία είναι αρμοδιότητα του ΕΚΑΒ. Οι δυνατότητες που παρουσιάζουν τα διάφορα νοσοκομεία όσον αφορά τον αριθμό των τραυματιών που μπορούν να περιθάλψουν ταυτόχρονα κυμαίνονται σε μεγάλο βαθμό. Τα εφημερεύοντα νοσοκομεία ενδείκνυται πολλές φορές να συγκροτούν ειδική ομάδα έκτακτης ανάγκης αποτελούμενη από γιατρούς, νοσηλευτικό προσωπικό και τραυματιοφορείς η οποία θα μεταβαίνει άμεσα με ασθενοφόρα στον τόπο του ατυχήματος, για να παράσχει τις πρώτες βοήθειες στους πληγέντες. Το ΕΚΑΒ οφείλει γενικά να είναι πλήρως ενημερωμένο για τα πιθανά σενάρια των ατυχημάτων στις μεταφορές και να διαθέτει ανάλογους μηχανισμούς ανταπόκρισης. Οι μηχανισμοί αυτοί θα πρέπει μέσα από κατάλληλα σχέδια δράσης να προβλέπουν τη διαθεσιμότητα ικανού αριθμού οχημάτων και ιατρικού προσωπικού, προκειμένου να υλοποιηθεί αποτελεσματικά το έργο τής επί τόπου περίθαλψης και της μεταφοράς των τραυματιών στο πλησιέστερο νοσοκομείο.

5.3.4 ΛΟΙΠΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, η συμμετοχή των τριών υπηρεσιών που αναφέρθηκαν στη διαχείριση μιας κρίσης αποδεικνύεται επαρκής. Ωστόσο υπάρχει το ενδεχόμενο, η φύση και ο τόπος του ατυχήματος να επιβάλλουν την εμπλοκή και άλλων υπηρεσιών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τα σιδηροδρομικά ατυχήματα, και τα ατυχήματα σε φορτηγά πλοία ή δεξαμενόπλοια, είτε αυτά βρίσκονται σε τερματικές εγκαταστάσεις (λιμάνια), είτε στην ανοικτή θάλασσα. Στην πρώτη περίπτωση, είναι πιθανό να απαιτηθεί η συνδρομή ειδικών γερανοφόρων οχημάτων και συνεργείων του ΟΣΕ ώστε να αποκατασταθεί η λειτουργία των σιδηροδρομικών γραμμών και να απομακρυνθούν τυχόν εκτροχιασμένα βαγόνια. Επίσης, είναι πιθανό λόγω της περιορισμένης οδικής πρόσβασης και γενικά του δύσβατου της περιοχής του περιστατικού, να κριθεί επιτακτική σε ενδεχόμενη πυρκαγιά η κατάσβεση από αέρος με τη χρήση πυροσβεστικών ελικοπτέρων ή αεροπλάνων.

Στις θαλάσσιες μεταφορές, οι εμπλεκόμενοι φορείς σε περίπτωση ατυχήματος αφορούν τόσο το πλήρωμα του φορτηγού πλοίου, όσο και εξωτερικές υπηρεσίες. Οι βασικότερες υπηρεσίες είναι:

α) αγήματος αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης

β) εφεδρικού αγήματος ανάγκης και

γ) ομάδας μηχανοστασίου

δ) ειδικών πλοηγών

ε) ρυμουλκών σκαφών και μηχανοκίνητων βαρκών (λάντζες)

στ) λιμενικού σώματος

Πολλές φορές ο κατασκευαστής μιας επικίνδυνης χημικής ουσίας μπορεί να προχωρήσει στη συγκρότηση μίας ομάδας επέμβασης, αποτελούμενης από άτομα εξειδικευμένα στη διαχείριση του συγκεκριμένου επικίνδυνου υλικού

5.3.5 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Κάθε ομάδα επείγουσας επέμβασης θα πρέπει να είναι εφοδιασμένη τόσο με μηχανοκίνητο, όσο και με χειροκίνητο εξοπλισμό, ο οποίος εξαρτάται από τη φύση του περιστατικού που καλείται να αντιμετωπίσει. Ο εξοπλισμός περιλαμβάνει Μέσα Ατομικής Προστασίας (ΜΑΠ), μέσα αναρρίχησης και ρυμούλκησης, γενικά εργαλεία και φακούς, μέσα απόφραξης διαρροών, συσκευές μέτρησης χημικών ουσιών, προβολείς και ηλεκτρογεννήτριες, συσκευές επικοινωνίας και είδη παροχής.

Τέλος, στα είδη πρώτων βοηθειών συγκαταλέγονται:

α) ικανός αριθμός φορείων για τη μεταφορά τραυματιών

β) βαλιτσάκια με ιατρικό εξοπλισμό

γ) εξοπλισμός ανάνηψης τραυματιών

δ) πρόχειρα καταλύματα για την περίθαλψη των πληγέντων

5.4. ΣΕΝΑΡΙΑ

Για την έγκαιρη και αποτελεσματική αντιμετώπιση των ατυχημάτων που οφείλονται σε εκρήξεις υγροποιημένου αερίου μπαίνουν σε εφαρμογή ορισμένα σενάρια έτσι ώστε να καλυφθούν όλες οι πτυχές που προκύπτουν σε αυτές τις καταστάσεις. Η επιλογή των σεναρίων αυτών να πραγματοποιείται με κριτήρια: το επίπεδο σοβαρότητας του ατυχήματος και το εύρος των πιθανών περιστατικών. Ο αριθμός των πιθανών συμβάντων που χρειάζεται να μελετηθεί μπορεί να είναι αρκετά μεγάλος και εξαρτάται από τη φύση του επικίνδυνου φορτίου και τον τρόπο που διεξάγεται η μεταφορά. Στην συνέχεια αναφέρονται τα σενάρια ατυχημάτων στις θαλάσσιες, οδικές και σιδηροδρομικές μεταφορές.

5.4.1 ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Οι διαρροές που συμβαίνουν στα ατυχήματα μεταφοράς υγροποιημένου αερίου είναι πιθανό να σημειωθούν λόγω αστοχίας των τοιχωμάτων των δεξαμενών του φορτίου ή κατά τη διάρκεια των εργασιών φορτοεκφόρτωσης του υλικού.

Συνήθως, απελευθερώνεται μεγάλη ποσότητα ενός πτητικού εύφλεκτου ή τοξικού υγροποιημένου αερίου στο νερό της θάλασσας η οποία εξατμίζεται με ταχύτατους ρυθμούς, με ταυτόχρονη δημιουργία εύφλεκτου ή τοξικού νέφους. Η επικινδυνότητα του ατυχήματος αυξάνεται όταν αυτό συμβαίνει κοντά σε λιμενικές εγκαταστάσεις

Πιθανή είναι και η εκδήλωση πυρκαγιάς στο εσωτερικό του πλοίου. Το εναρκτήριο γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε γενικευμένη πυρκαγιά ή έκρηξη, είναι συνήθως η εκδήλωση φωτιάς στο μηχανοστάσιο, το αντλιοστάσιο ή σε κάποια δεξαμενή φορτίου. Ιδιαίτερος κίνδυνος υπάρχει όταν το μεταφερόμενο φορτίο αποτελούν εκρηκτικές ύλες.

Επιπλέον υπάρχει το σενάριο της ολικής ή μερικής απώλειας ενός φορτίου πετρελαιοειδών το οποίο εγκυμονεί πολλούς κινδύνους για το θαλάσσιο περιβάλλον. Το πετρέλαιο διακινείται κατά κανόνα σε πολύ μεγάλες ποσότητες, ενώ η ρύπανση σε περίπτωση διάχυσής του στη θάλασσα, προκαλεί περιβαλλοντικές βλάβες που είναι πολύ δύσκολο να αποκατασταθούν.

Σύμφωνα με το ACDS τα κυριότερα είδη συμβάντων που μπορούν να οδηγήσουν σε ατύχημα μεγάλης έκτασης είναι:

α) σύγκρουση δύο πλοίων εν κινήσει

β) προσάραξη του πλοίου σε αβαθή νερά

γ) πρόσκρουση κινούμενου σκάφους σε άλλο που είναι ελλιμενισμένο

δ) πρόσκρουση του σκάφους στην αποβάθρα

ε) διαρροή κατά τις εργασίες φορτοεκφόρτωσης

στ) έκρηξη σε δεξαμενόπλοιο υγρών καυσίμων

ζ) εκδήλωση φωτιάς σε δεξαμενόπλοιο υγραερίου

η) έκρηξη νιτρικού αμμωνίου σε φορτηγό πλοίο.

Για τα δεξαμενόπλοια οι πιθανές επιπτώσεις σχετίζονται με την σύγκρουση σε σημείο πάνω από την επιφάνεια του νερού, την σύγκρουση σε σημείο κάτω από την επιφάνεια του νερού, την προσάραξη και την πρόσκρουση στην προβλήτα. Για τα φορτηγά πλοία που μεταφέρουν υγραέριο οι πιθανές συνέπειες είναι η ψυχρή διαρροή μέσω κάποιας οπής και το ψυχρό ρήγμα της δεξαμενής του φορτίου.

Μία διαρροή φορτίου μπορεί να χωριστεί σε «θερμή» και «ψυχρή». Σε περίπτωση εκδήλωσης πυρκαγιάς στο σκάφος το 90% των περιστατικών αφορά θερμές διαρροές (διαρροές λόγω υπερθέρμανσης) και το 10% «θερμά» ρήγματα. Οι θερμές διαρροές αντιμετωπίζονται ως διαρροές από τη βαλβίδα ανακούφισης, το υλικό των οποίων καταναλίσκεται από την πυρκαγιά. Η αντιμετώπιση των θερμών ρηγμάτων εξαρτάται από τη φύση του φορτίου. Τα θερμά ρήγματα σε δεξαμενές πεπιεσμένου υγραερίου οδηγούν σε εκδήλωση φωτιάς με τη μορφή πύρινης σφαίρας. Η χωρητικότητα των δεξαμενών του φορτίου είναι συνήθως της τάξης των εκατοντάδων τόνων, γεγονός που καθιστά αδύνατη την εκτίμηση του μεγέθους της πύρινης σφαίρας με τη βοήθεια συμβατικών μοντέλων. Αντίστοιχα, η δημιουργία θερμού ρήγματος σε δεξαμενή κατεψυγμένου εύφλεκτου αερίου θεωρείται ότι μπορεί να οδηγήσει επίσης σε φωτιά πύρινης σφαίρας, χωρίς ωστόσο αυτό να είναι απολύτως βέβαιο. Πιθανότερη στην περίπτωση αυτή είναι η δημιουργία φωτιάς λίμνης. Το μέγεθος του κινδύνου που χαρακτηρίζει τα δύο τελευταία ενδεχόμενα είναι συγκρίσιμο.

Η πιθανή εξέλιξη των σεναρίων της ψυχρής διαρροής και του «ψυχρού» ρήγματος σε δεξαμενόπλοια με φορτίο πεπιεσμένο ή κατεψυγμένο υγραέριο διερευνάται με βάση τα διάφορα υπολογιστικά μοντέλα διασποράς πυκνών αερίων (dense gas). Παράλληλα εφαρμόζονται τα αντίστοιχα μοντέλα ανάφλεξης, προκειμένου να εκτιμηθεί το ποσοστό των περιστατικών που καταλήγει σε ανάφλεξη του σχηματιζόμενου νέφους.

Οι εκρήξεις εύφλεκτων υγρών αποτελούν ακόμα μία κατηγορία πιθανών συμβάντων που λαμβάνονται υπόψη. Η μοντελοποίηση τέτοιων περιστατικών όσον αφορά την αναπτυσσόμενη υπερπίεση και τα εκτοξευόμενα θραύσματα δείχνει ότι η ακτίνα δράσης τους έχει σχετικά τοπικό χαρακτήρα και περιορίζεται ως επί το πλείστον στο ίδιο το σκάφος. Ωστόσο, οι εκρήξεις αυτές κατά κανόνα προκαλούν μεγάλες απώλειες μεταξύ του πληρώματος του σκάφους. Έναν από τους μεγαλύτερους κινδύνους κατά τη μεταφορά υγραερίου αποτελεί ενδεχόμενη εκτεταμένη διαρροή του φορτίου στη θάλασσα λόγω ρήγματος που προκλήθηκε από προσάραξη ή σύγκρουση με άλλο σκάφος, ή λόγω εσφαλμένου χειρισμού κατά τις εργασίες φορτοεκφ6ρτωσης, γεγονός που σε συνδυασμό με ανάφλεξη, μπορεί να καταλήξει σε μεγάλη φωτιά ή έκρηξη στο δεξαμενόπλοιο.

Από την άλλη πλευρά, τα δεξαμενόπλοια μεταφοράς τοξικών χημικών ουσιών τείνουν να παρουσιάζουν διαφορετικής φύσης κινδύνους από αυτούς που εγκυμονεί η μεταφορά εύφλεκτων υγρών ή αέριων καυσίμων. Τα σενάρια που ανταποκρίνονται στην περίπτωση αυτή αναφέρονται στην πιθανότητα πρόκλησης αλυσιδωτής χημικής αντίδρασης, έκρηξης, τοξικής διαρροής στον αέρα και τοξικής μόλυνσης της θάλασσας και της ακτής. Η εκτίμηση της έκθεσης του γενικού πληθυσμού και του προσωπικού των λιμένων στους κινδύνους που συνεπάγονται τα ατυχήματα στις θαλάσσιες μεταφορές, υλοποιείται κυρίως με τη συνδρομή των στοιχείων της πρόσφατης απογραφής της επίμαχης περιοχής.

5.4.2 ΟΔΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά πρόκλησης ατυχήματος κατά την μεταφορά υγροποιημένοι αερίου πάνω σε οδικούς άξονες είναι:

- Κίνηση του οχήματος σε περιβάλλον του οποίου οι συνθήκες δεν ελέγχονται από τον οδηγό.
- Το ατύχημα είναι δυνατό να συμβεί οπουδήποτε, κατά μήκος μιας άγνωστης διαδρομής.

- Η ποσότητα του διακινούμενου επικίνδυνου φορτίου είναι περιορισμένη
- Ο οδηγός έχει συνήθως τη δυνατότητα να μετακινήσει το όχημα σε ευνοϊκότερη θέση

Το συνηθέστερο σενάριο στις οδικές μεταφορές αποτελούν οι διαρροές του φορτίου που προκύπτουν λόγω διάρρηξης του περιβλήματος εξαιτίας σύγκρουσης ή ανατροπής του οχήματος. Επιπλέον, διαρροές εμφανίζονται λόγω αστοχίας ή λανθασμένου χειρισμού του εξοπλισμού του οχήματος. Άλλες αιτίες απώλειας της στεγανότητας του περιβλήματος αποτελούν η διάρρηξη λόγω υπερβολικής πλήρωσης ή υπερθέρμανσης και η έκθεση σε φωτιά. Εάν το βυτίο υποστεί διάρρηξη από υπερθέρμανση ή υπερπλήρωση, υπάρχει πιθανότητα εκδήλωσης φυσικής έκρηξης (physical explosion) η οποία συνοδεύεται από ωστικό κύμα και θραύσματα.

Όταν υπάρχει διαρροή εύφλεκτης αέριας χημικής ουσίας είναι δυνατό να δημιουργήσει νέφος αερίου, το οποίο αν αναφλεγεί θα οδηγήσει σε φωτιά καύσης νέφους αερίου ή σε έκρηξη νέφους αερίου. Αντίστοιχα, η διαρροή εύφλεκτης ουσίας σε υγρή μορφή μπορεί να οδηγήσει σε φωτιά λίμνης ενώ όταν το φορτίο που διαρρέει είναι τοξικό, υπάρχει ο κίνδυνος να δημιουργηθεί τοξική λίμνη ή νέφος.

Οι επιφάνειες της σχηματιζόμενης κατά περίπτωση λίμνης δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Ποσότητα διαρροής	**Επιφάνεια λίμνης (m^2)**	
	Άμεση ανάφλεξη	**Καθυστερημένη ανάφλεξη**
25 kg/sec	314	908
4 te	707	1.018
8 te	1.385	1.964
12 te	2.124	3.019

Πίνακας 18: Ποσότητα διαρροής ανάλογα με την επιφάνεια λίμνης

Ένα ακόμη σενάριο αποτελεί η έκθεση ενός βυτίου που περιέχει εύφλεκτο υλικό σε φωτιά. Η διάρρηξη του βυτίου στην περίπτωση αυτή είναι δυνατό να οδηγήσει σε φαινόμενο BLEVE. Το τελευταίο απαντά συχνότερα στις σιδηροδρομικές μεταφορές, κατά τη σύγκρουση φορτηγών τρένων, λόγω της επίδρασης της φλόγας πυρσού από τις βαλβίδες ανακούφισης σε γειτονικά βαγόνια.

Για βυτία που μεταφέρουν υγρά καύσιμα:

- στιγμιαία διαρροή ποσότητας 4, 8 και 12 te και
- συνεχής διαρροή με ρυθμό 25 kg/sec που αντιστοιχεί σε ρήγμα διαμέτρου 100 χιλιοστών.

Για βυτία που μεταφέρουν LPG τα αντίστοιχα σενάρια είναι:

- στιγμιαία διαρροή ποσότητας 15 te και
- συνεχείς διαρροές με ρυθμό 2 και 32 kg/sec.

Υπάρχουν τα εξής ενδεχόμενα: άμεση ανάφλεξη της στιγμιαίας διαρροής με επακόλουθη εκδήλωση φωτιάς με τη μορφή πύρινης σφαίρας. Σε διαφορετική περίπτωση σχηματίζεται εύφλεκτο νέφος. Εάν το νέφος αυτό αναφλεγεί, μπορεί να οδηγήσει σε φωτιά νέφους αερίου ή έκρηξη νέφους αερίου.

Η άμεση ανάφλεξη της συνεχούς διαρροής σχηματίζει φωτιά πυρσού ή οδηγεί σε εκδήλωση φαινομένου BLEVE. Σε διαφορετική περίπτωση σχηματίζεται εύφλεκτο νέφος, το οποίο έπειτα από ανάφλεξη οδηγεί σε φωτιά νέφους αερίου, ή έκρηξη νέφους αερίου. Η φωτιά νέφους αερίου ενίοτε μπορεί να συνοδεύεται από φωτιά πυρσού ή εκδήλωση φαινομένου BLEVE.

Όλα τα σενάρια οδικών ατυχημάτων μεταφοράς υγροποιημένου αερίου πρέπει επιπλέον να ενσωματώνουν:

- Δεδομένα για τον εκτεθειμένο πληθυσμό.
- Τον τύπο και την χρήση του δρόμου
- Μετεωρολογικές συνθήκες

Ιδιαίτερα, όσον αφορά τον πληθυσμό αποτελείται από το πλήρωμα του οχήματος που εμπλέκεται, τους οδηγούς των υπόλοιπων οχημάτων και το γενικό «εκτός οδού» (off-road) πληθυσμό. Το ποσοστό του γενικού πληθυσμού που βρίσκεται σε υπαίθριο χώρο κυμαίνεται ανάλογα με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες. Η αναφορά ACDS χρησιμοποιεί τέσσερις κατηγορίες πληθυσμιακής πυκνότητας. Αυτές είναι 4.210, 1.310, 2.120 και 20 άτομα ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Η μέθοδος εκτίμησης της πυκνότητας του γενικού πληθυσμού

βασίζεται στην αντιστοίχιση, με τη βοήθεια ειδικού χάρτη, σε κάθε τετραγωνικό χιλιόμετρο της επίμαχης περιοχής (περιμετρικά της οδικής αρτηρίας), ενός από τα τέσσερα επίπεδα πληθυσμιακής πυκνότητας.

5.4.3 ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Οι διαδικασίες, ο εξοπλισμός και τα σενάρια μεταξύ οδικών και σιδηροδρομικών μεταφορών εμφανίζουν μικρή απόκλιση. Ουσιαστικά, οι μηχανισμοί που προκαλούν την εκδήλωση φωτιάς λίμνης, φωτιάς πυρσού, φωτιάς ή έκρηξης νέφους αερίου, διαρροή τοξικών ουσιών, φυσικές εκρήξεις και εκρήξεις πυκνής φάσης είναι και στις δύο περιπτώσεις παρόμοιοι.

Η μεγάλη διαφορά μεταξύ τους έγκειται στο γεγονός ότι ο σιδηροδρομικός συρμός μεταφέρει μεγαλύτερες ποσότητες χημικών ουσιών απότι ένα όχημα οδικής μεταφοράς επομένως στην περίπτωση ατυχήματος θα σημειωθεί μεγαλύτερη και πιο επικίνδυνη αλυσιδωτή έκρηξη και εμφάνιση του φαινομένου BLEVE λόγω έκθεσης των βαγονιών σε φλόγες πυρσού των βαλβίδων ανακούφισης τους.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της αναφοράς ACDS, οι χωρητικότητες των δεξαμενών μεταφοράς στα βαγόνια των συρμών είναι 32 και 75 te για υγρά καύσιμα, 20 και 40 te για LPG, 29 te για χλώριο και 53 te για αμμωνία.

Διακρίνονται δύο κυρίως αίτια πρόκλησης ατυχήματος: το πρώτο αφορά σε διάρρηξη μίας ή περισσοτέρων δεξαμενών φορτίου λόγω σύγκρουσης ή εκτροχιασμού της αμαξοστοιχίας και το δεύτερο σε αστοχία ή εσφαλμένο χειρισμό του εξοπλισμού του εμπορικού βαγονιού.

- Όταν ο συρμός μεταφέρει υγρά καύσιμα τότε εμφανίζεται στιγμιαία διαρροή ποσοτήτων 32 te και 75 te ενώ συνεχή διαρροή 25 kg/sec.

  Η διαρροή υγρών καυσίμων υπό την επίδραση πηγής ανάφλεξης οδηγεί σε φωτιά λίμνης

- Για τα βαγόνια που μεταφέρουν LPG εμφανίζονται στιγμιαίες διαρροές 20 te και 40 te ενώ συνεχή διαρροές με 2 kg/sec και 32 kg/sec.

Η εξέλιξη των διαρροών αυτών είναι εντελώς όμοια με αυτή που περιγράφηκε στην παράγραφο για την οδική μεταφορά: ενδεχόμενη άμεση ανάφλεξη της στιγμιαίας διαρροής, οδηγεί σε εκδήλωση. Αντίστοιχα, η άμεση ανάφλεξη της συνεχούς διαρροής σχηματίζει φωτιά

πυρσού ή οδηγεί σε εκδήλωση φαινομένου BLEVE. Εάν η ανάφλεξη καθυστερήσει, σχηματίζεται εύφλεκτο νέφος, το οποίο έπειτα από ανάφλεξη οδηγεί σε φωτιά νέφους αερίου, ή έκρηξη νέφους αερίου. Η φωτιά νέφους αερίου είναι πιθανό να συνοδεύεται από φωτιά πυρσού ή εκδήλωση φαινομένου BLEVE.

Όσον αφορά την πυκνότητα του πληθυσμού χρησιμοποιούνται οι γνωστές τέσσερις τιμές πληθυσμιακής πυκνότητας της αναφοράς ACDS, οι οποίες με τη βοήθεια ειδικού χάρτη και δεδομένων της τελευταίας απογραφής, αντιστοιχίζονται σε κάθε τετραγωνικό χιλιόμετρο της ευρύτερης περιοχής του ατυχήματος. (Η μέθοδος αναφέρθηκε και στις οδικές μεταφορές)

Τα σενάρια για την έκθεση του επιβατικού κοινού σε κίνδυνο είναι τα εξής:

- Έκθεση επιβατικού τρένου σε διαρροή τοξικών ουσιών από εμπορική αμαξοστοιχία
- Σύγκρουση ενός επιβατικού τρένου και ενός τρένου μεταφοράς επικίνδυνων υλικών, με επακόλουθη πρόκληση διαρροής στο δεύτερο.
- Σύγκρουση ενός επιβατικού τρένου με ένα εμπορικό, στο οποίο είχε ήδη εκδηλωθεί διαρροή.
- Επιβατική αμαξοστοιχία εισέρχεται σε επικίνδυνη ζώνη όπου προηγουμένως έχει εκδηλωθεί διαρροή επικίνδυνης ουσίας από φορτίο εμπορικού τρένου.
- Επιβατική αμαξοστοιχία εισέρχεται σε επικίνδυνη ζώνη και επιπλέον συγκρούεται με το φορτηγό τρένο του 4ου σεναρίου, προκαλώντας επιδείνωση της διαρροής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα κύρια μεταφερόμενα υγροποιημένα αέρια είναι τα LNG και LPG. Μεταφέρονται κυρίως με μεγάλα δεξαμενόπλοια διαφόρων τύπων από 5.000 m^3 έως και 100.000 m^3 και οδικώς με ειδικά βυτία κατάλληλα διαμορφωμένα.

Το σοβαρότερο και κυριότερο ατύχημα κατά τη μεταφορά υγροποιημένου αερίου είναι οι εκρήξεις τύπου BLEVE. Οι άμεσα εμπλεκόμενοι στα ατυχήματα είναι οι άνθρωποι, τα κτίρια – εγκαταστάσεις και το περιβάλλον. Οι κύριες επιπτώσεις στον άνθρωπο είναι η ασφυξία, τα εγκαύματα, η τοξική δηλητηρίαση και οι τραυματισμοί από θραύσματα. Οι εγκαταστάσεις μπορούν να καταστραφούν μερικώς ή ολικώς ανάλογα με την ένταση του φαινομένου. Οι κυριότερες συνέπειες στο περιβάλλον είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η όξυνση του περιβάλλοντος και η μόλυνση των υδάτινων αποδεκτών.

Είναι απαραίτητο να τηρούνται οι κανονισμοί IMO (συμβάσεις SOLAS και MARPOL) για τις θαλάσσιες μεταφορές, ενώ για τις οδικές, η διεθνής σύμβαση ADR.

Τα βασικά στάδια αντιμετώπισης ατυχημάτων είναι ο συναγερμός, η αντιμετώπιση και η αποκατάσταση ενώ οι σημαντικότεροι εμπλεκόμενοι φορείς είναι η πυροσβεστική υπηρεσία, η αστυνομία, το ΕΚΑΒ και το λιμενικό σώμα. Τέλος, για την έγκαιρη και αποτελεσματική αντιμετώπιση των ατυχημάτων που οφείλονται σε εκρήξεις υγροποιημένου αερίου μπαίνουν σε εφαρμογή ορισμένα σενάρια έτσι ώστε να καλυφθούν όλες οι πτυχές που προκύπτουν σε αυτές τις καταστάσεις.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Π1 ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΒΙΒΛΙΑ

Π2 ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΑ ΒΙΒΛΙΑ

Π3 ΑΡΘΡΑ – ΜΕΛΕΤΕΣ – ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Π4 ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

Π1 ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΒΙΒΛΙΑ

1. Γεωργιάδου Ε., « *Βιομηχανικά Ατυχήματα Μεγάλης Έκτασης* », ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε., Αθήνα, 2001

2. Δουμάνη Δ.Α., « *Μεταφορά Επικινδύνων Φορτίων με Πλοία »*, Σταυριδάκης, Πειραιάς, 1984

3. Θεοδωράτος Π. Χ., Καρακασίδης Ν. Γ., « *Υγιεινή – Ασφάλεια Εργασίας και Προστασίας Περιβάλλοντος* », 1997

4. Ίδρυμα Ευγενίδου – Υπ. Μεταφορών και Επικοινωνιών, « *Οδική Μεταφορά Επικίνδυνων Εμπορευμάτων – Βασική Εκπαίδευση* », Ίδρυμα Ευγενίδου, 1999

5. Ίδρυμα Ευγενίδου – Υπ. Μεταφορών και Επικοινωνιών, « *Οδική Μεταφορά Επικίνδυνων Εμπορευμάτων – Μεταφορές με βυτία* », Ίδρυμα Ευγενίδου, 1999

6. Ίδρυμα Ευγενίδου – Υπ. Μεταφορών και Επικοινωνιών, « *Οδική Μεταφορά Εκρηκτικών Υλικών – Κλάσεως 1, Ραδιενεργών Υλικών – Κλάσεως 7* », Ίδρυμα Ευγενίδου, 1999

7. Κανάραχος Α., Κουλοχέρης Δ., « *Οδική Μεταφορά Επικίνδυνων Εμπορευμάτων σύμφωνα με την οδηγία ADR* », Ε.Μ.Π., 2001

8. Κώνστας Α., « *Διασφάλιση Οδηγών από επικίνδυνα εμπορεύματα που μεταφέρονται οδικώς σύμφωνα με την ευρωπαϊκή οδηγία ADR* », Παπασωτηρίου, 1995

9. Παπαδόπουλος Π., Γεωργιάδου Π., « *Η γραπτή εκτίμηση του επαγγελματικού κινδύνου ως εργαλείου ελέγχου της επικινδυνότητας των βιομηχανικών εγκαταστάσεων – δυνατότητες και προβλήματα* », Τεχνικά Χρονικά, 2000, 1, ΤΕΕ, 82-88

10. Τζιρίτης Δ., « *Ασφάλεια από επικίνδυνες χημικές ουσίες, στα πλοία, τις τερματικές εγκαταστάσεις και τη ναυπηγοεπισκευαστική βιομηχανία* », Εκδόσεις Ναυτικών Βιβλίων Εμμ. Ν. Σταυριδάκη, Πειραιάς.

Π2 ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΑ ΒΙΒΛΙΑ

11. Binder S., « *Deaths, injuries and evacuations from acute hazards materials releases* », Am. J. Public Health, 1989,79, 1042-1044

12. Bronstein A. C., Curromie R. L.., « *Emergency care for hazardous materials exposure* », 2nd ed., St. Lonis, Mosby-Year Book, 1994

13. Burgess J. L., « *Emergency department hazardous materials protocol for contaminated patients* », Ann. Emerg. Med., 1999, 34(2), 205-12

14. Burgess J. L., Kiefer M. C., Richardson M., « *Hazardous materials exposure information service: development, analysis and medical implications* », Ann. Emerg. Med., 1999, 29(2), 248-254

15. Hall H. I., Dhara VR, Kaye W. E., Price-Green P., « *Public health consequences of hazardous substance release* », Toxicol. Ind. Health, 1996, 12, 289-293

16. Hall H. I., Dhara VR, « *Surveillance for emergency events involving hazardous substances* », U.S., 1990-1992, MMWR, 1994, 43: 1-6

17. Sallivan F., Wang R., Jenouri I., « *Principles and protocols for prevention, evaluation and management of exposure to hazardous materials* », Emerg. Med. Rep., 1998, 19, 21-32

Π3 ΑΡΘΡΑ – ΜΕΛΕΤΕΣ – ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

18. ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε., « *Κλαδική μελέτη για τη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων* », Θεσσαλονίκη, 2004

19. ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε., « *Προστασία του Περιβάλλοντος από τη βιομηχανική δραστηριότητα – Πρόληψη βιομηχανικών ατυχημάτων μεγάλης έκτασης* », 2000

20. Ώστιν Ντοναλντ, « *Μελέτη Σκοπιμότητας LPG και LNG πλοίων στη σύγχρονη ναυτιλία* », Διπλωματική Εργασία, Αθήνα, Ιούνιος 2009

21. ΟΣΕ, « *Έρευνα για τη διακίνηση επικίνδυνων φορτίων και το ρόλο του ΟΣΕ* », Τελική Έκθεση, Α.Π.Θ., 1998

22. Οδηγία 94/55/ΕΚ σχετικά με την οδική μεταφορά επικίνδυνων εμπορευμάτων – « Συμφωνία ADR » όπως συμπληρώθηκε με την οδηγία 96/86/ΕΚ και 200/62/ΕΚ

23. Center of Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, « *Guidelines for evaluating the characteristics of vapor cloud explosions, flash fires and BLEVEs* », 1998

24. American Institute of Chemical Engineers, « *Guidelines for Chemical Transportation Risk Analysis (GSTRA)* », New York, 1995

25. Health and Safety Commission (HMSO), « *Major Hazard Aspects of the Transport of Dangerous Goods, Reports and Appendices (ACDS)* », London, 1991

26. Armstrong G. M., « *Journal of Failure Analysis and Prevention, Volume 4: The Mystery of the BLEVE* », February 2004

27. Seamanship International, « *Types of Liquefied Gas Carriers* », U.S.A., March 2007

Π4 ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

28. www.elinyae.gr (ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε.)

29. www.kireas.org (*Πληροφορίες για το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο*)

30. www.cdc.gov (*Centers of Disease Control and Prevention*)

31. www.atsdr.cdc.gov (*Agency for toxic Substances and Disease Registry*)

32. www.acgih.org (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)

33. www.ambirk.com (*Research for boiling liquid expanding vapour explosions (BLEVE)*)

34. www.en.wikipedia.org (*Γενικές πληροφορίες*)

35. www.google.com (*Γενικές πληροφορίες*)