



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

## ΜΟΝΙΜΑ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ ΕΠΤΑΦΘΟΡΟΠΡΟΠΑΝΙΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνος Π. Παπαγεωργίου

Επιβλέπων : Παναγιώτης Τσαραμπάρης  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2010





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

## ΜΟΝΙΜΑ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ ΕΠΤΑΦΘΟΡΟΠΡΟΠΑΝΙΟΥ

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνος Π. Παπαγεωργίου

**Επιβλέπων :** Παναγιώτης Τσαραμπάρης  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την ..... Οκτωβρίου 2010.

.....  
Παναγιώτης Τσαραμπάρης  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

.....  
Νικόλαος Θεοδώρου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Κωνσταντίνος Καραγιαννόπουλος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2010

.....  
Κωνσταντίνος Π. Παπαγεωργίου

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Κωνσταντίνος Παπαγεωργίου, 2010.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

## ABSTRACT

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των πυροσβεστικών συστημάτων ολικής κατάκλυσης που χρησιμοποιούν ως πυροσβεστικό μέσο το επταφθοροπροπάνιο (FM-200).

Στην εργασία αυτή εξετάζονται οι ιδιότητες του πυροσβεστικού μέσου σαν χημική ένωση, καθώς και τα χαρακτηριστικά του ολικού συστήματος πυρόσβεσης. Επιπλέον, παρουσιάζονται στοιχεία για τη διαδικασία της μελέτης και της σχεδίασης μιας εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος και αναλύονται τα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται.

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

---

### KEYWORDS

Πυροσβεστικό σύστημα ολικής κατάκλυσης (total flooding fire extinguishing system), πυροσβεστικό σύστημα ολικής κατάκλυσης καθαρού μέσου (clean agent fire extinguishing system), καθαρό μέσο πυρόσβεσης (clean agent), επταφθοροπροπάνιο (FM-200, HFC-227ea), πυροπροστασία.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

---

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Παναγιώτη Τσαραμπάρη για την συνεργασία, την υπομονή και την πολύτιμη βοήθειά του. Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου και τους καθηγητές μου, που με βοήθησαν όλα αυτά τα χρόνια.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΕΛΙΔΑ

<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	6
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:</b> Εισαγωγή.....	9
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:</b> Το επταφθοροπροπάνιο.....	14
2.1. Εισαγωγή.....	14
2.2. Ονομασία.....	14
2.3. Φυσικές και χημικές ιδιότητες.....	16
2.4. Χημικές αντιδράσεις και σταθερότητα.....	20
2.5. Κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία.....	22
2.6. Κίνδυνοι για το περιβάλλον.....	22
2.7. Χρήσεις του HFC-227ea.....	24
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:</b> Το HFC-227ea ως μέσο πυρόσβεσης.....	25
3.1. Τρόπος δράσης.....	25
3.2. Χρήση του HFC-227ea ως μέσο πυρόσβεσης.....	25
3.3. Περιπτώσεις αποφυγής χρήσης του HFC-227ea ως πυροσβεστικό μέσο.....	28
3.4. Περιβαλλοντικοί παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή του HFC-227ea ως μέσο πυρόσβεσης.....	28
3.5. Προβλήματα εξαιτίας της χρήσης πυροσβεστικού συστήματος ολικής κατάκλισης με HFC-227ea.....	29
3.6. Παραγόμενο Υδροφθόριο.....	31
3.6.1. Γενικά.....	31
3.6.2. Επιπτώσεις του HF στον ηλεκτρονικό εξοπλισμό.....	32
3.7. Οδηγίες ασφαλούς ανθρώπινης έκθεσης στο HFC-227ea.....	33
3.8. Πρόνοια για την ασφάλεια του προσωπικού.....	34
3.8.1. Ειδικές συσκευές συστήματος.....	34
3.8.2. Ειδική διαμόρφωση του χώρου.....	36
3.8.3. Ειδικές ενδείξεις, σημάψεις και συναγερμοί.....	37
3.8.4. Λοιπές ειδικές απαιτήσεις.....	37
3.8.5. Εκπαίδευση του προσωπικού.....	37

(συνέχεια στην επόμενη σελίδα)

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:</b> Τεχνική περιγραφή, σχεδίαση και διαστασιολόγηση του συστήματος .....	39
4.1. Σύστημα πυρανίχνευσης και πυρόσβεσης .....	39
4.2. Σχεδίαση και διαστασιολόγηση του συστήματος.....	44
4.2.1. Υπολογισμός της απαιτούμενης ποσότητας αερίου.....	45
4.2.1.1. Υπολογισμός του όγκου του προστατευόμενου χώρου.....	45
4.2.1.2. Υπολογισμός της αναγκαίας συγκέντρωσης και ποσότητας του αερίου.....	46
4.2.1.3. Συντελεστές σχεδίασης (διορθωτικοί).....	53
4.2.1.4. Επιπλέον ποσότητα HFC-227ea.....	59
4.2.1.5. Εφεδρία και ποιότητα του HFC-227ea.....	59
4.2.1.6. Χρονική διάρκεια της προστασίας.....	60
4.2.1.7. Χρονική διάρκεια της εκτόνωσης.....	61
4.2.2. Σχεδίαση του συστήματος.....	65
4.2.2.1. Επιλογή της μεθόδου διανομής και της τεχνικής για τη σχεδίαση του συστήματος.....	65
4.2.2.2. Τοποθέτηση ακροφυσίων και σχεδιασμός του δικτύου σωληνώσεων.....	67
4.2.3. Διαστασιολόγηση του συστήματος.....	72
4.2.3.1. Φιάλες αποθήκευσης και παρελκόμενα εξαρτήματα.....	72
4.2.3.2. Σωληνώσεις.....	76
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	82





# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

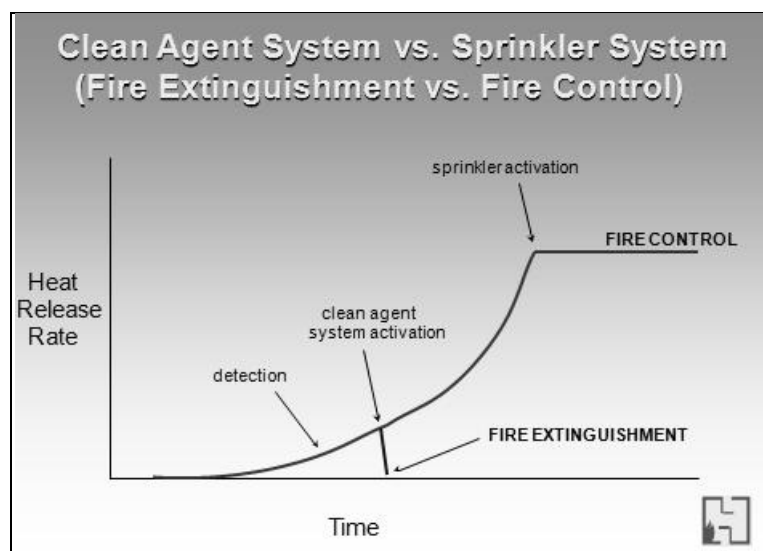
## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κατάσβεση των πυρκαγιών γίνεται συνήθως με νερό, ειδικούς αφρούς, σκόνες ή αέρια. Η καταλληλότητα κάθε μέσου εξαρτάται από τις εκάστοτε συνθήκες, για παράδειγμα αν ο χώρος εκδήλωσης της πυρκαγιάς είναι εξωτερικός ή εσωτερικός, αν υπάρχει ευαίσθητος εξοπλισμός ή αν υπάρχουν άνθρωποι στο χώρο. Σε χώρους όπου η χρήση νερού ως μέσο πυρόσβεσης θα οδηγούσε σε καταστροφικές συνέπειες για τον εξοπλισμό (ηλεκτρικός εξοπλισμός, έγγραφα, έργα τέχνης κ.τ.λ.), η πυρόσβεση γίνεται με την χρήση κατάλληλων αερίων.

Μία κατηγορία των συστημάτων που χρησιμοποιούν αέρια, είναι τα μόνιμα συστήματα ολικής κατάκλυσης αερίου. Τα συστήματα αυτά, τα οποία εγκαθίστανται μόνιμα εντός του προστατευόμενου χώρου, οποιαδήποτε στιγμή ζητηθεί (αυτόματα) από το σύστημα πυρανίχνευσης, ψεκάζουν κατάλληλο αέριο εντός του χώρου, εξαπλώνοντας το και στις τρεις διαστάσεις του χώρου (κατάκλυση), σε αντίθεση με το σύστημα νερού, το οποίο λόγω της επίδρασης της βαρύτητας επεκτείνεται σε δύο διαστάσεις. Όταν το αέριο που χρησιμοποιείται είναι ηλεκτρικά μη αγώγιμο και δεν αφήνει υπολείμματα (εξάτμιση) μετά την εφαρμογή του, πρόκειται για ένα καθαρό μέσο [1] και το σύστημα ονομάζεται **«Πυροσβεστικό Σύστημα Ολικής Κατάκλυσης με Χρήση Καθαρού Μέσου (Total Flooding Clean Agent Fire Extinguishing System)»**.

Μια σημαντική διαφορά μεταξύ των πυροσβεστικών συστημάτων με νερό (sprinkler systems) και των πυροσβεστικών συστημάτων με αέριο (π.χ. με FM-200) είναι ότι τα πρώτα χρησιμοποιούνται κυρίως για την προστασία της δομικής κατασκευής, ενώ τα δεύτερα κυρίως για την προστασία του εξοπλισμού εντός του προστατευόμενου χώρου. Έτσι, μπορούν να συνυπάρξουν και τα δύο πυροσβεστικά συστήματα στον ίδιο χώρο, εξασφαλίζοντας όμως διαφορετικά επίπεδα προστασίας το καθένα. Οι διαφορές στην ταχύτητα και την αποτελεσματικότητα των δύο συστημάτων προβάλλονται στο Σχήμα 1-1 και στον Πίνακα 1-1, ακριβώς όπως παρουσιάστηκε

από τους Mark L. Robin, Eric F. Forssell και Steven T. Ginn στο συνέδριο 2003 *Halon Options Technical Working Conference* [2].



**Σχήμα 1-1:** Διαφορές των συστημάτων καθαρού μέσου και των συστημάτων νερού [2].

**Πίνακας 1.1:** Διαφορές των συστημάτων καθαρού μέσου και των συστημάτων νερού [2].

	Σύστημα νερού (sprinkler system)	Σύστημα καθαρού μέσου (clean agent system)
<b>Μέσο κατάσβεσης</b>	Νερό	Αέριο (π.χ. FM-200)
<b>Σκοπός του συστήματος</b>	Προστασία της δομικής κατασκευής	Προστασία αντικειμένων ή εξοπλισμού εντός της δομικής κατασκευής
<b>Στόχος του συστήματος</b>	Έλεγχος της πυρκαγιάς: (α) Περιορισμός της φλόγας. (β) Έλεγχος ανώτατης θερμοκρασίας.	Κατάσβεση φλόγας
<b>Ενεργοποίηση</b>	Όταν η κεφαλή του sprinkler ξεπεράσει τους 135° F	Αυτόματη ενεργοποίηση κατόπιν κατάλληλης ανίχνευσης (π.χ. ανίχνευση καπνού)
<b>Μέγεθος πυρκαγιάς κατά την ενεργοποίηση</b>	Εκατοντάδες kW	Μπορεί να είναι ακόμα και της τάξης του 0,1kW (εξαρτάται από την μέθοδο ανίχνευσης)
<b>Ολική κατάκλυση</b>	ΟΧΙ Το νερό λόγω βαρύτητας εξαπλώνεται εν τέλει σε δύο διαστάσεις του προστατευόμενου χώρου. Δεν επιτυγχάνεται πλήρωση του χώρου.	ΝΑΙ Το μέσο κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλο τον προστατευόμενο χώρο.
<b>Καθαριότητα</b>	ΟΧΙ Ζημίες εξαιτίας του νερού. Ζημίες εξαιτίας του καπνού.	ΝΑΙ Δεν υπάρχουν υπολείμματα που θα πρέπει να καθαριστούν μετά την κατάσβεση.

Οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs) και οι ενώσεις που περιέχουν βρώμιο, όπως τα Halon (Halon 1301, Halon 1211), έχουν ποικίλες μοναδικές ικανότητες. Είναι ενώσεις χαμηλές σε τοξικότητα, μη εύφλεκτες, μη διαβρωτικές και συμβατές με άλλα υλικά. Επιπλέον, οι θερμοδυναμικές τους και οι φυσικές τους ιδιότητες τις καθιστούν ιδανικές για πολλές εφαρμογές. Έτσι οι CFC χρησιμοποιήθηκαν κατά καιρούς ως προωθητικά μέσα σε σπρέι, ως ψυκτικά μέσα, ως μέσα ψεκασμού αφρών, ως πυροσβεστικά μέσα κ.τ.λ.

Ωστόσο, η ατμοσφαιρική σταθερότητα αυτών των ενώσεων, εξαιτίας της παρουσίας μορίων χλωρίου ή βρωμίου, είχε σημαντικές επιπτώσεις στην εξάπλωση της τρύπας του όζοντος. Γι' αυτό, η παραγωγή τους σταμάτησε και άρχιζαν να αντικαθίστανται από άλλες χημικές ενώσεις με παρόμοια χαρακτηριστικά, αλλά πιο φιλικές προς το περιβάλλον.

Το αέριο Halon 1301, που χρησιμοποιούταν ως μέσο πυρόσβεσης μέχρι τα μισά της δεκαετίας του '90 (1 Ιανουαρίου 1994), είχε αναφερθεί ότι προκαλούσε σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον και κυρίως στην εξάπλωση της τρύπας του όζοντος. Έτσι, οι επιστήμονες προσπάθησαν να βρουν εναλλακτικά μέσα πυρόσβεσης, φιλικά προς το περιβάλλον. Το **FM-200** είναι ένα καθαρό μέσο πυρόσβεσης, αντικαταστάτης του Halon 1301, που δημιουργήθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες από την *Great Lakes Chemical Corporation*. Σύμφωνα με τον *Βοηθό Περιβαλλοντικής Προστασίας (Environmental Protection Agency - EPA)* και το *Πρόγραμμα Σημαντικών Νέων Εναλλακτικών Πολιτικών (Significant New Alternative Policy - SNAP)* [3], το **HFC-227ea** (επιστημονική ονομασία του FM-200) είναι νόμιμα αποδεκτό ως εναλλακτικό καθαρό μέσο πυρόσβεσης και αντικαταστάτης των Halon 1301 και Halon 1211. Είναι κατάλληλο για χρήση σε φορητά συστήματα πυρόσβεσης ή μόνιμα πυροσβεστικά συστήματα ολικής κατάκλυσης. Επίσης, χρησιμοποιείται και ως μέσο αδρανοποίησης για την αποφυγή εκδήλωσης εκρήξεων.

Άλλα πλεονέκτημα του FM-200 είναι: α) η καταλληλότητα της χρήσης του ακόμα και όταν ο χώρος είναι επανδρωμένος, αρκεί η συγκέντρωση του να είναι περιορισμένη, β) η φυσική απομάκρυνση (εξάτμιση) υπολειμμάτων μετά την εφαρμογή του, μέσω αερισμού του χώρου, η οποία καθιστά άμεση την

επαναλειτουργία του (επαγγελματικού) χώρου σε κανονικές συνθήκες, αποφεύγοντας σημαντικές επιπτώσεις π.χ. οικονομικές, γ) η αποθήκευσή του γίνεται σε φιάλες, συμπιέζοντάς το χρησιμοποιώντας άζωτο, με αποτέλεσμα ο όγκος αποθήκευσης να είναι έως και επτά φορές μικρότερος από τον όγκο διοξειδίου του άνθρακα ή άλλων αδρανών αερίων (*inert gas*) που θα χρειάζονταν για την ίδια εφαρμογή και δ) η ταχύτητα του συστήματος, καθώς το αέριο εκτονώνεται σε διάστημα 10 sec και η κατάσβεση της πυρκαγιάς γίνεται μέσα σε 30 sec από την στιγμή που το αέριο έχει πλήρως εκτονωθεί. Ο χώρος μετά την εφαρμογή του FM-200, παραμένει όπως ήταν πριν την ενεργοποίηση του πυροσβεστικού συστήματος, εκτός από τις ελάχιστες επιπτώσεις της μικρής εξάπλωσης της πυρκαγιάς κατά την διάρκεια του παραπάνω χρονικού διαστήματος.

Το σύστημα πυρόσβεσης με χρήση του FM-200 στηρίζει την λειτουργία του τόσο στις χημικές όσο και τις φυσικές ιδιότητες του αερίου. Το αέριο αποθηκεύεται σε υγρή μορφή σε κατάλληλες φιάλες και όταν ζητηθεί από το σύστημα εκτονώνεται, μέσω σωληνώσεων που καταλήγουν σε ακροφύσια εκτόξευσης, στον προστατευόμενο χώρο. Κατά την εκτόνωσή του, το FM-200 βρίσκεται πλέον στην αέρια μορφή. Η ποσότητα που εκτονώνεται από κάθε ακροφύσιο είναι υπολογισμένη προσεκτικά, έτσι ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή συγκέντρωση σε όλους τους προστατευόμενους χώρους που βρίσκονται σε κατάσταση κινδύνου. Η απαιτούμενη συγκέντρωση του αερίου είναι συνήθως μεγαλύτερη από 7% V/V (όγκος κατ' όγκο προστατευόμενου χώρου).

Ως προς την θερμική αποσύνθεση του FM-200, η πλειοψηφία (>95%) των πυροσβεστικών συστημάτων FM-200 καλείται να αντιμετωπίσει κινδύνους Κλάσης A (εύφλεκτα στερεά υλικά). Αναλυτικότερες πληροφορίες σχετικές με τις Κλάσεις των κινδύνων δίνονται στη συνέχεια της διπλωματικής αυτής εργασίας. Στην κατάσβεση τέτοιων κινδύνων τα επίπεδα του παραγόμενου υδροφθορίου (HF) είναι πολύ χαμηλότερα από το επίπεδο τοξικής φόρτισης του HF. Επιπλέον, σε αυτά τα επίπεδα το HF δεν προκαλεί καμία επίδραση σε ευαίσθητο ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Σε πυρκαγιές ταχέως αναπτυσσόμενες Κλάσης B (εύφλεκτα υγρά και αέρια), ίσως το HF να υπάρξει σε πιο επικίνδυνα επίπεδα, ανάλογα με το μέγεθος της πυρκαγιάς και τον όγκο του χώρου και μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο για τον ευαίσθητο

εξοπλισμό. Ωστόσο, σε αυτές τις περιπτώσεις ο κίνδυνος από τις υψηλές θερμοκρασίες και τα προϊόντα καύσης είναι πολύ μεγαλύτερος. Το εν λόγω πυροσβεστικό μέσο, λόγω της ηλεκτρομονωτικής ικανότητας του, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε κινδύνους Κλάσης Γ (πυρκαγιές σε ηλεκτρολογικό εξοπλισμό υπό τάση).

Τα περισσότερα πυροσβεστικά συστήματα FM-200 είναι σχεδιασμένα ώστε να ενεργοποιούνται κατά τα πρώτα στάδια της πυρκαγιάς. Έτσι σε συνήθεις χώρους ηλεκτρονικού εξοπλισμού, οι ενδεχόμενες πυρκαγιές, επειδή είναι χαμηλής ενέργειας, δεν εξαπλώνονται γρήγορα, με αποτέλεσμα το σύστημα να ενεργεί αμέσως και να προλαβαίνει την ανάπτυξη της πυρκαγιάς περιορίζοντας με αυτόν τον τρόπο τόσο τις καταστροφές όσο και την παραγωγή ΗΦ.

Το FM-200 συγκρινόμενο με άλλα συστήματα πυρόσβεσης ίσως να είναι πιο δαπανηρό, αλλά συγκριτικά τα παρεχόμενα οφέλη (εξοικονόμηση χώρου, μείωση κόστους επισκευών κατόπιν πυρκαγιάς, αποτελεσματικότητα κ.τ.λ.) είναι περισσότερα.

Τέλος, ενδεικτικά αναφέρονται μερικά ακόμη καθαρά μέσα που χρησιμοποιούνται σε πυροσβεστικά συστήματα, εγκεκριμένα από το πρόγραμμα SNAP, τα οποία συμπεριλαμβάνονται και στο πρότυπο NFPA 2001 [4]:

- *FC-2-1-8*
- *FC-3-1-10*
- *HBFC-22B1*
- *HCFC ΜΙΓΜΑ Α*
- *HCFC-124*
- *HFC-125*
- *HFC-23*
- *HFC-236fa*
- *FIC-1311*
- *IG-01*
- *IG-55*
- *IG-100*
- *IG-541*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

# ΤΟ ΕΠΤΑΦΘΟΡΟΠΡΟΠΑΝΙΟ

### 2.1. Εισαγωγή

Το *επταφθοροπροπάνιο* (*heptafluoropropane*) είναι ίσως ο πλέον διαδεδομένος αντικαταστάτης του Halon 1301 σε πυροσβεστικά συστήματα ολικής κατάκλισης. Έχει την ικανότητα, όχι μόνο να εμποδίζει δραστικά την εξάπλωση της πυρκαγιάς, αλλά και να σβήνει πυρκαγιές όλων των κατηγοριών (Κλάση Α: στερεά καύσιμα, Κλάση Β: υγρά και αέρια καύσιμα, Κλάση Γ: ηλεκτρολογικός εξοπλισμός υπό τάση). Μερικά από τα πλεονεκτήματα του είναι α) η φιλικότητά του προς το περιβάλλον, β) η ασφάλεια του για τον άνθρωπο (υπό προϋποθέσεις) και γ) η καθαρότητά του, με την έννοια ότι δεν αφήνει κατάλοιπα μετά την χρήση του.

### 2.2. Ονομασία

Το επταφθοροπροπάνιο είναι ένας άχρωμος και άοσμος αλογονάνθρακας σε αέρια μορφή. Σύμφωνα με την *Διεθνή Ένωση Καθαρής και Εφαρμοσμένης Χημείας (International Union of Pure and Applied Chemistry - IUPAC)* η πλήρης χημική επιστημονική ονομασία του είναι: **1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropane**. Πιο συχνά αναφέρεται ως **HFC-227** και **HFC-227ea**.

Γενικά, στην ξένη βιβλιογραφία συναντάται με τις ακόλουθες χημικές και εμπορικές ονομασίες:

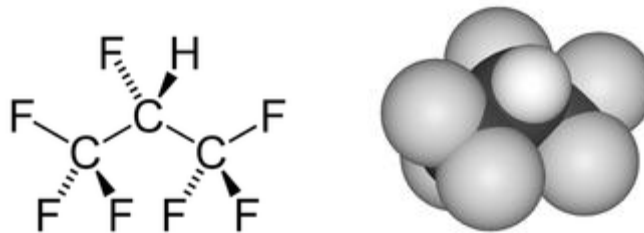
- *Propane, 1,1,1,2,3,3,3 Heptafluoro-*
- *1,1,1,2,3,3,3-Heptafluoro-n-propane*
- *1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropane*
- *1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropano*
- *1,1,1,2,3,3,3-Heptafluoropropan*
- *2H-Heptafluoropropane*
- *2H-Perfluoropropane*

- *2-Hydroheptafluoropropane*
- *2-Hydroperfluoropropane*
- *Araflurane*
- *F 227*
- *F 227e*
- *F 227ea*
- *FE 227*
- *FM 200*
- *FM 200 (fluorocarbon)*
- *Halogenated alkane*
- *HFA 227*
- *HFA 227ea*
- *HFA P227*
- *HFC 227*
- *HFC 227e*
- *HFC 227ea*
- *Propane, 1,1,1,2,3,3,3-heptafluoro-*
- *R 227*
- *R 227ea*
- *Solkane 227*
- *Solkane 227ea*
- *Solkaflam 227*
- *TG 227*

Ωστόσο, στα συστήματα πυρόσβεσης χρησιμοποιείται κυρίως η ονομασία FM-200 και η χημική ονομασία HFC-227ea.

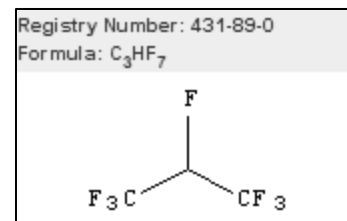
### 2.3. Φυσικές και χημικές ιδιότητες

Ανήκει στην χημική οικογένεια των αλογονοποιημένων αλκανίων ή τους υδροφθοράνθρακες. Πιο αναλυτικά, οι υδροφθοράνθρακες είναι οργανικές χημικές ενώσεις, αποτελούμενες από μόρια άνθρακα, φθορίου και υδρογόνου. Τα αλκάνια, από την άλλη, είναι χημικές ενώσεις αποτελούμενες μόνο από άτομα άνθρακα και υδρογόνου (π.χ. υδρογονάνθρακες). Ως αλογονοποιημένο ορίζεται το αλκάνιο του οποίου ορισμένα άτομα υδρογόνου έχουν αντικατασταθεί από άτομα αλογόνου. Το προπάνιο είναι αλκάνιο αποτελούμενο από μια αλυσίδα τριών ατόμων άνθρακα, των οποίων όλοι οι υπόλοιποι ελεύθεροι δεσμοί (οκτώ) συνδέονται με οκτώ άτομα υδρογόνου. Το επταφθοροπροπάνιο, λοιπόν, είναι όντως αλογονοποιημένο αλκάνιο, αφού πρόκειται για προπάνιο (αλκάνιο), του οποίου επτά άτομα υδρογόνου έχουν αντικατασταθεί από επτά άτομα φθορίου (αλογόνο). Ο χημικός του τύπος είναι  $\text{CF}_3\text{-CHF-CF}_3$  ή  $\text{C}_3\text{HF}_7$  και η δομή του παρουσιάζεται στις ακόλουθες εικόνες.



**Σχήμα 2.3-1:** Δομή του HFC-227ea

Στο επταφθοροπροπάνιο αντιστοιχεί ο αριθμός CAS: 431-89-0. Πρόκειται για έναν μοναδικό κωδικό, ο οποίος έχει δοθεί σε κάθε στοιχείο, χημική ένωση, πολυμερές κ.τ.λ. που βρίσκεται στην βάση δεδομένων του CAS (*Chemical Abstracts Service - CAS*) και σαν σκοπό έχει την διευκόλυνση του επιστημονικού κοινού κυρίως από την ύπαρξη πολλών διαφορετικών ονομασιών για μία χημική ένωση κ.τ.λ.



Η μοριακή του μάζα είναι 170,03 gr/mol και έχει σημείο βρασμού στους  $-16,4^\circ\text{C}$  (σε πίεση 1,013 bar), σημείο τήξης στους  $-131^\circ\text{C}$  και σημείο πήξης τους  $-127^\circ\text{C}$ . Για αυτό τον λόγο, στην θερμοκρασία δωματίου εμφανίζεται σε αέρια μορφή, ιδιότητα που το καθιστά χρήσιμο στα



πυροσβεστικά συστήματα ολικής κατάκλυσης κλειστών χώρων σε κανονικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Στον Πίνακα 2.3-1 [5,6] δίνονται ενδεικτικά τα κυριότερα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του HFC-227ea. Ωστόσο, στη βιβλιογραφία εμφανίζονται αποκλίσεις μεταξύ των τιμών συγκεκριμένων χαρακτηριστικών:

**Πίνακας 2.3-1:** Φυσικές ιδιότητες του HFC-227ea.

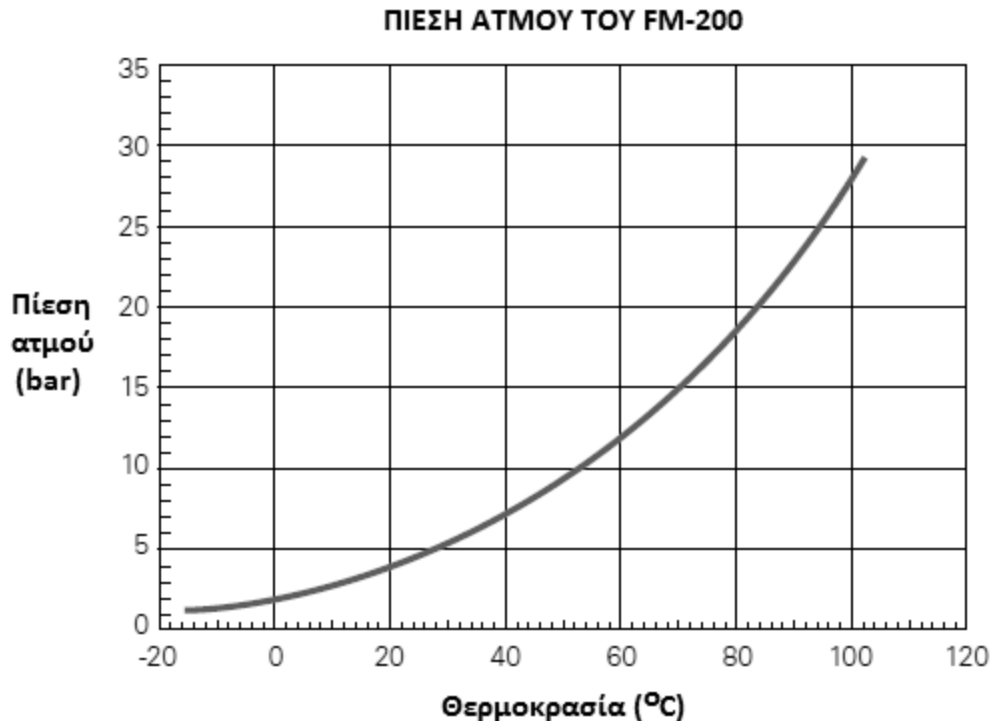
<b>Μοριακό βάρος</b>	170,03
<b>Σημείο βρασμού, @ 1 bar</b>	-16,36 °C
<b>Σημείο πήξης</b>	-131 °C
<b>Κρίσιμη θερμοκρασία</b>	101,7 °C
<b>Κρίσιμη πίεση</b>	2,91 MPa
<b>Κρίσιμος όγκος</b>	1,61 L/kg
<b>Κρίσιμη πυκνότητα</b>	0,621 kg/L
<b>Κρίσιμη συμπίεστικότητα</b>	0,255
<b>Ειδική θερμότητα κορεσμένου υγρού (C<sub>p</sub>), @ 25 °C</b>	1,184 kJ/kg K
<b>Ειδική θερμότητα κορεσμένου αερίου (C<sub>p</sub>), @ 25 °C</b>	0,859 kJ/kg K
<b>Ειδική θερμότητα υπέρθερμου ατμού (C<sub>p</sub>), @ 25 °C &amp; 101,325 kPa</b>	0,808 kJ/kg K
<b>Θερμότητα ατμοποίησης στο σημείο βρασμού</b>	132,6 kJ/kg
<b>Θερμική αγωγιμότητα υγρού, @ 25 °C</b>	0,069 W/m K
<b>Θερμική αγωγιμότητα αερίου, @ 25 °C</b>	0,0126 W/m K
<b>Ιξώδες υγρού, @ 25 °C</b>	0,184 centipoise
<b>Ιξώδες αερίου, @ 25 °C</b>	0,0127 centipoise
<b>Πυκνότητα υγρού, @ 25 °C</b>	1387,7 kg/m <sup>3</sup>
<b>Πυκνότητα κορεσμένου ατμού στο σημείο βρασμού</b>	8,4860 kg/m <sup>3</sup>
<b>Πυκνότητα αερίου, @ 25 °C &amp; 1 atm</b>	7,1461 kg/m <sup>3</sup>
<b>Πίεση ατμού, κορεσμένου @ 25 °C</b>	474,53 kPa

Σημειώνεται ότι το HFC-227ea, κατά την μεταφορά του και την αποθήκευσή του, βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού συνυπάρχοντας η υγρή και η αέρια φάση.

Η πίεση ατμού του HFC-227ea είναι μία από τις σημαντικότερες φυσικές παραμέτρους που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την μεταφορά του υγροποιημένου αερίου, από μία φιάλη σε μια άλλη. Σε θερμοκρασία και πίεση δωματίου, το HFC-227ea υπάρχει ως αέριο. Καθώς το αέριο συμπιέζεται, η πίεση του αυξάνεται και όταν αυτή ξεπεράσει την πίεση ατμού, τότε το αέριο αρχίζει να υγροποιείται. Η πίεση ατμού, δηλαδή η πίεση στην οποία το αέριο αρχίζει να υγροποιείται, εξαρτάται από την θερμοκρασία. Σε ένα δοχείο, το οποίο περιέχει HFC-227ea, η πίεση προσδιορίζεται από τη πίεση ατμού, καθώς η υγρή και η αέρια φάση συνυπάρχουν σε ισορροπία (κατάσταση κορεσμού). Ενδεικτικά, στον Πίνακα 2.3-2 και στο Σχήμα 2.3-2 παρουσιάζεται η πίεση ατμού του HFC-227ea σε σχέση με την θερμοκρασία:

**Πίνακας 2.3-2:** Πίεση ατμού σε σχέση με την θερμοκρασία (ενδεικτικά) [5].

Θερμοκρασία (°C)	Πίεση ατμού (bar)	Πίεση ατμού και πυκνότητα του FM-200		
		Υγρό	Κορεσμένος Ατμός	Αέριο @ 1 bar
-10	1.32	1.5085	0.0109	0.00812
-5	1.62	1.4923	0.0132	0.00795
0	1.96	1.4758	0.0159	0.00778
5	2.35	1.4590	0.0190	0.00762
10	2.81	1.4420	0.0225	0.00747
15	3.33	1.4246	0.0265	0.00733
20	3.91	1.4068	0.0312	0.00719
25	4.58	1.3886	0.0364	0.00705
30	5.32	1.3700	0.0424	0.00693
35	6.15	1.3508	0.0492	0.00680
40	7.08	1.3310	0.0568	0.00668
45	8.10	1.3106	0.0654	0.00657
50	9.23	1.2894	0.0752	0.00646
55	10.47	1.2674	0.0861	0.00635
60	11.83	1.2445	0.0985	0.00625



**Σχήμα 2.3-2:** Πίεση ατμού σε σχέση με την θερμοκρασία [5].

Η πίεση ατμού αυξάνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία. Αυτό όμως επιτυγχάνεται μέχρι η θερμοκρασία να φθάσει την τιμή της κρίσιμης θερμοκρασίας. Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες της κρίσιμης, το HFC-227ea μπορεί να υπάρξει μόνο ως αέριο ανεξάρτητα της πίεσης. Σε αυτές τις θερμοκρασίες το αέριο δεν μπορεί να υγροποιηθεί. Η πίεση ατμού στην κρίσιμη θερμοκρασία ορίζεται ως κρίσιμη πίεση και η πυκνότητα στις συνθήκες αυτές ορίζεται αντίστοιχα ως κρίσιμη πυκνότητα.

Η πυκνότητα κορεσμένου υγρού είναι η πυκνότητα του υγρού, υπό κορεσμένες συνθήκες (συνύπαρξη αέριας και υγρής φάσης σε ισορροπία). Η πυκνότητα κορεσμένου υγρού μεταβάλλεται με την θερμοκρασία, ως εξής: Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, μία μονάδα μάζας του HFC-227ea καταλαμβάνει μεγαλύτερο όγκο (λόγω θερμικής διαστολής), οδηγώντας σε μείωση της πυκνότητας κορεσμένου υγρού. Αντίθετα, η πυκνότητα κορεσμένου ατμού αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, εξαιτίας της μεγαλύτερης πίεσης ατμού του υγρού, με το οποίο είναι σε ισορροπία. Στην κρίσιμη θερμοκρασία η πυκνότητα ατμού και η πυκνότητα υγρού έχουν την ίδια τιμή.

Οι πυκνότητες κορεσμένου ατμού και υγρού, ανάλογα με την θερμοκρασία, παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.3-2. Από τον πίνακα αυτό, μπορεί να προσδιοριστεί η θερμοκρασία στην οποία, ένα δοχείο αποθήκευσης, του οποίου είναι γνωστή η πυκνότητα πλήρωσης, θα περιέχει HFC-227ea μόνο σε υγρή φάση. Για την σωστή κατανόηση ακολουθούν δύο παραδείγματα. Ένα δοχείο με πυκνότητα πλήρωσης 1,3886 kg/L θα περιέχει μόνο υγρό όταν η θερμοκρασία αποθήκευσης είναι 25°C. Αν η θερμοκρασία αυξηθεί, θα υπάρξει συμπίεση του υγρού, καταλήγοντας σε ανάπτυξη μεγάλων και επικίνδυνων πιέσεων. Ένα δοχείο με πυκνότητα πλήρωσης 1,2674 kg/L θα περιέχει μόνο υγρό όταν η θερμοκρασία αποθήκευσης είναι 55°C. Όταν η θερμοκρασία είναι 25°C, θα συνυπάρχουν οι δύο φάσεις, οπότε σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν, η πίεση θα είναι η πίεση ατμού στους 25°C, δηλαδή 4,58 bar. Τα δύο αυτά παραδείγματα αναφέρονται σε δοχεία που περιέχουν καθαρό HFC-227ea. Σε πραγματικές περιπτώσεις, η συμπίεση του HFC-227ea επιτυγχάνεται με χρήση αζώτου, επομένως, εξαιτίας των διαφορετικών θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών του μίγματος, τα αποτελέσματα αναμένονται διαφορετικά.

#### **2.4. Χημικές αντιδράσεις και σταθερότητα**

Επειδή το HFC-227ea ως μέσο πυρόσβεσης χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές είναι χρήσιμο να επισημανθούν τα υλικά με τα οποία είναι συμβατό ή όχι. Οι γενικοί κανόνες είναι οι ακόλουθοι:

- Το HFC-227ea είναι σταθερό σε κανονική θερμοκρασία και σε συνθήκες αποθήκευσης. Ωστόσο, θα πρέπει να αποφεύγεται η έκθεση του σε πηγές θερμότητας.
- Είναι μη συμβατό με δραστικά μέταλλα. Δραστικά μέταλλα είναι τα αλκάλια ή αλκαλιμέταλλα (Λίθιο, Νάτριο, Κάλιο, Ρουβίδιο, Καίσιο, Φράγκιο), αλκαλικές γαίες (Βηρύλλιο, Μαγνήσιο, Ασβέστιο, Στρόντιο, Βάριο, Ράδιο) και κονιορτοποιημένο Αργίλιο ή Ψευδάργυρος.

- Σε αντιδράσεις υπό συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας διασπάται και πιθανά προϊόντα διάσπασης είναι το υδροφθόριο, το υδροφθορικό οξύ, το φθοριούχο καρβονύλιο, το μονοξείδιο του άνθρακα και το διοξείδιο του άνθρακα.

Τα πλέον συνηθισμένα μέταλλα, όπως το ατσάλι, ο χυτοσίδηρος, ο ορείχαλκος (μπρούντζος), ο χαλκός, ο κασίτερος, ο μόλυβδος, το αλουμίνιο είναι συμβατά με το HFC-227ea υπό κανονικές συνθήκες. Κατηγορίες των παραπάνω υλικών που έχουν δοκιμαστεί ως προς τη συμβατότητά τους με το HFC-227ea είναι οι παρακάτω [6,7]:

- Aluminum 1100 (αλουμίνιο)
- Aluminum 2024 (αλουμίνιο)
- Copper CDA 110 (χαλκός)
- Stainless Steel 316 (ατσάλι, ανοξείδωτο)
- Stainless Steel 304 (ατσάλι, ανοξείδωτο)
- Carbon Steel 1020 (ατσάλι, άνθρακα)
- Nickel 200 (νικέλιο)
- Inconel 600
- Lead (μόλυβδος)
- Yellow Brass (ορείχαλκος, κίτρινος)
- Cast Iron, grey (χυτοσίδηρος, γκρι)
- Silver 999+ fine (ασήμι, καθαρό)

Σε θερμοκρασίες έως 175° C το HFC-227ea είναι σταθερό, ακόμη και υπό την παρουσία των παραπάνω μετάλλων. Ωστόσο, σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες, ανάλογα με τις συνθήκες, κάποια από τα μέταλλα μπορούν να δράσουν ως καταλύτες στην διάσπαση του. Παράγοντες που οδηγούν σε τέτοιες καταστάσεις είναι η παρουσία υγρασίας, ο χρόνος έκθεσης, το είδος του μετάλλου, η επιφάνεια του κ.τ.λ.

Ως προς την συμβατότητά του με ελαστομερή, πειράματα έχουν δείξει ότι όταν τα ελαστομερή εκτίθενται σε HFC-227ea υγρής μορφής διογκώνονται σε μικρό βαθμό, εκτός από το Urethane

και το Viton® A, των οποίων η διόγκωση είναι σημαντική. Σχετικές πληροφορίες μπορούν να βρεθούν στην βιβλιογραφία [6,7].

## **2.5. Κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία**

Γενικά, το HFC-227ea είναι ακίνδυνο για τον άνθρωπο σε μικρές συγκεντρώσεις. Χρήσιμοι δείκτες που συναντώνται κατά την μελέτη των τοξικολογικών πληροφοριών είναι οι *NOAEL* και *LOAEL*. Το *Επίπεδο Καμίας Παρατήρησης Αρνητικού Αποτελέσματος (No Observed Adverse Effect Level - NOAEL)* εκφράζει την μέγιστη συγκέντρωση του αερίου, κατά την οποία δεν παρατηρείται κανένα αρνητικό τοξικολογικό αποτέλεσμα. Το *Ελάχιστο Επίπεδο Παρατήρησης Αρνητικού Αποτελέσματος (Lowest Observed Adverse Effect Level – LOAEL)* εκφράζει την ελάχιστη συγκέντρωση του αερίου, κατά την οποία έχει παρατηρηθεί κάποιο αρνητικό τοξικολογικό αποτέλεσμα.

Άλλοι δείκτες που χρησιμοποιούνται είναι ο *Δείκτης Θανατικής Συγκέντρωσης κατά 50% (Concentration Lethal to 50% - LC<sub>50</sub>)*, δηλαδή η συγκέντρωση που οδηγεί στον θάνατο το 50% ενός πληθυσμού θηλαστικών (συνήθως αρουραίων) κατόπιν έκθεσης συγκεκριμένης χρονικής διάρκειας (συνήθως τετράωρης) στο αέριο μέσω εισπνοής και ο *Δείκτης Προσεγγιστικής Θανατηφόρας Συγκέντρωσης (Approximately Lethal Concentration – ALC)*. Συνήθως, θεωρείται ότι  $ALC \cong LC_{50}$ .

Σύμφωνα με μελέτες, έχουν προκύψει τα εξής αποτελέσματα για το HFC-227ea, βασισμένα στην καρδιακή ευπάθεια ως αρνητικό τοξικολογικό αποτέλεσμα:

**Πίνακας 2.5-1:** Δείκτες τοξικότητας του HFC-227ea.

ΑΕΡΙΟ	NOAEL	LOAEL	LC <sub>50</sub>	ALC
HFC-227ea	9%	10,5%	>80%	80%

## **2.6. Κίνδυνοι για το περιβάλλον**

Το HFC-227ea είναι περιβαλλοντικά αποδεκτό. Για αυτόν τον λόγο άλλωστε έχει προταθεί ως αντικαταστάτης του Halon 1301. Κατά την μελέτη των περιβαλλοντικών επιδράσεων ενός

υλικού, απασχολεί η συμμετοχή του συγκεκριμένου υλικού στην επιδείνωση του φαινομένου της μείωσης του όζοντος στην ατμόσφαιρα. Για την ποσοτικοποίηση αυτής της παραμέτρου υπάρχει ο *Συντελεστής Δυνατότητας Μείωσης του Όζοντος (Ozone Depletion Potential – ODP)*. Συγκεκριμένα, ο ODP μιας χημικής ένωσης ορίζεται ως το πηλίκο της συνολικής μείωσης του όζοντος εξαιτίας της ένωσης αυτής, προς την συνολική μείωση του όζοντος εξαιτίας τριχλωροφθορομεθανίου (CFC-11 ή Freon-11 ή R-11) ίδιας μάζας με αυτή της συγκεκριμένης χημικής ένωσης. Το CFC-11 είναι η πιο επιβλαβής για το όζον ένωση, λόγω της ύπαρξης τριών ατόμων χλωρίου στο μόριο της. Το HFC-227ea έχει ODP=0. Επομένως, δεν συμμετέχει καθόλου στην εξάπλωση της «τρύπας» του όζοντος.

Ένας ακόμα συντελεστής που χρησιμοποιείται για την περιβαλλοντική επίπτωση των χημικών ενώσεων, ο οποίος είναι παρόμοιος με τον ODP, είναι ο *Συντελεστής Δυνατότητας Αύξησης της Παγκόσμιας Θερμοκρασίας (Global Warming Potential – GWP)*. Ο συντελεστής αυτός εκφράζει κατά πόσο μια δεδομένη ποσότητα από κάποια χημική ένωση συνεισφέρει στην αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας (λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου), κατά την διάρκεια ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος, σε σχέση με την ίδια ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα. Ο συντελεστής GWP για το διοξείδιο του άνθρακα ορίζεται ως μονάδα. Στις αναφορές που ακολουθούν στον Πίνακα 2.6-1, ως χρονικός ορίζοντας έχει επιλεγεί η διάρκεια εκατό χρόνων.

Τέλος, ένας ακόμη συντελεστής είναι η *Διάρκεια Ζωής στην Ατμόσφαιρα (Atmospheric Life Time – ALT)*. Μαθηματικά, εκφράζει το μέσο χρονικό διάστημα που ένα μόριο μιας χημικής ένωσης παραμένει στην ατμόσφαιρα (εντός ενός υποθετικού κουτιού), λαμβάνοντας υπόψη τον ρυθμό διαφυγής από το κουτί, τον ρυθμό χημικής απώλειας και τον ρυθμό απόθεσης. Ωστόσο, ο ALT μιας χημικής ουσίας μετρά τον χρόνο που απαιτείται προκειμένου να επανέλθει η ισορροπία, κατόπιν αύξησης στην συγκέντρωση της συγκεκριμένης χημικής ουσίας στην ατμόσφαιρα.

Ακολουθεί ο Πίνακας 2.6-1 με δεδομένα για τον ODP, τον GWP και τον ALT του HFC-227ea:

Πίνακας 2.6-1: Περιβαλλοντική επίδραση του HFC-227ea.

	O.D.P.	A.L.T. (έτη)	G.W.P.	Δημοσίευση
HFC-227ea	0	34,2	3660	<i>Scientific Assessment of Ozone Depletion, 2002</i>
		36,5	2900	<i>IPCC, Second Assessment Report: Climate Change 1995</i>
		33	3500	<i>IPCC, Third Assessment Report: Climate Change 2001</i>

## 2.7. Χρήσεις του HFC-227ea

Το επταφθοροπροπάνιο χρησιμοποιείται ως πυροσβεστικό υλικό σε συστήματα ολικής κατάκλυσης, όπως έχει αναφερθεί, εφαρμογή η οποία θα αναλυθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία. Εκτός από την πυρόσβεση, όμως, βρίσκει εφαρμογές και ως προωθητικό μέσο φαρμακευτικών εφαρμογών (π.χ. σε συσκευές τεχνικής εισπνοής βαθμονομημένων δόσεων), αλλά και ως ψυκτικό μέσο σε διάφορες κατασκευές.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΤΟ HFC-227ea ΩΣ ΜΕΣΟ ΠΥΡΟΣΒΕΣΗΣ

#### **3.1. Τρόπος δράσης**

Το HFC-227ea, ως μέσο κατάσβεσης, ενεργεί α) αυξάνοντας την ολική θερμική χωρητικότητα του περιβάλλοντα χώρου, β) μειώνοντας το οξυγόνο και γ) υποκύπτοντας σε ενδόθερμη διάσπαση. Βασικό χαρακτηριστικό του HFC-227ea είναι η δυνατότητα αύξησης της θερμικής χωρητικότητας του χώρου σε τιμή ώστε η ατμόσφαιρα να είναι ανίκανη να υποστηρίξει την διαδικασία της ανάφλεξης. Με την αύξηση της θερμικής χωρητικότητας, απαιτείται περισσότερη ενέργεια (θερμότητα), προκειμένου ο εισερχόμενος ψυχρός αέρας να φθάσει σε θερμοκρασίες ίσες με την θερμοκρασία της φλόγας. Στη πράξη, όμως, χρησιμοποιείται σε μικρότερες συγκεντρώσεις από αυτές που προβλέπονται για την παραπάνω διαδικασία. Αυτό οφείλεται στο ότι η κατάκλυση του αερίου συνεπάγεται απομάκρυνση των «φορέων» (π.χ. οξυγόνου) οι οποίοι βοηθούν την ανάφλεξη. Έτσι, ένας ακόμη τρόπος δράσης του HFC-227ea ως μέσο πυρόσβεσης είναι η μείωση του οξυγόνου, η οποία συνεπάγεται μείωση της καύσης και επομένως μείωση της παραγόμενης θερμότητας. Τέλος, το αέριο όταν βρεθεί σε περιβάλλον πυρκαγιάς, απορροφά ενέργεια (θερμότητα) ώστε να υποκύψει σε ενδόθερμη διάσπαση. Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω, με την κατάκλυση του HFC-227ea «καταναλώνεται» η θερμότητα, η οποία είναι απαραίτητη προκειμένου να εξαπλωθεί η πυρκαγιά, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η κατάσβεση της φλόγας άμεσα.

#### **3.2. Χρήση του HFC-227ea ως μέσο πυρόσβεσης**

Γενικός στόχος της πυρόσβεσης είναι να περιοριστούν, στο ελάχιστο δυνατό, οι επιπτώσεις (είτε σε εξοπλισμό, είτε σε ανθρώπινο δυναμικό) εξάπλωσης της πυρκαγιάς σε ένα χώρο. Ωστόσο, χρησιμοποιώντας ακατάλληλο μέσο κατάσβεσης είναι πολύ πιθανό να προκληθούν πολλαπλάσιες καταστροφές σε σχέση με αυτές που θα προκαλούσε η ίδια η πυρκαγιά.

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στις ιδιότητες του συγκεκριμένου αερίου, είναι ηλεκτρικά μη αγώγιμο, δεν αφήνει κατάλοιπα μετά την εξάτμισή του και είναι ασφαλές για τον άνθρωπο σε λογικές συγκεντρώσεις. Αξίζει να σημειωθεί πως, επειδή είναι αέριο, χρησιμοποιείται ως πυροσβεστικό μέσο μόνο σε κλειστούς χώρους ή χώρους οι οποίοι εμπεριέχουν οι ίδιοι κάποιον κλειστό όγκο (π.χ. ηλεκτρικοί πίνακες). Επομένως, όλες αυτές οι ιδιότητες, καθιστούν το HFC-227ea κατάλληλο να χρησιμοποιείται ως μέσο κατάσβεσης σε μόνιμα συστήματα ολικής κατάκλυσης, σε περιπτώσεις που επιδιώκεται η προστασία των εξής χώρων:

- Χώροι με ηλεκτρολογικό ή ηλεκτρονικό εξοπλισμό.
- Χώροι μεγάλης αξίας (πολιτισμικής, οικονομικής κ.τ.λ.).

Σε χώρους με ηλεκτρολογικό ή ηλεκτρονικό εξοπλισμό είναι αναγκαία η χρήση κατασβεστικού υλικού το οποίο είναι ηλεκτρικά μη αγώγιμο. Διαφορετικά ο κίνδυνος εμφάνισης βραχυκυκλώματος θα ήταν αυξημένος. Ενδεικτικά, τέτοιοι χώροι είναι:

- Χώροι επεξεργασίας ηλεκτρονικών δεδομένων
- Χώροι ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας
- Τηλεφωνικά κέντρα
- Κέντρα επικοινωνιών
- Χώροι τηλεπικοινωνιακών εξοπλισμών
- Στούντιο
- Χώροι εγκατάστασης ηλεκτροπαραγωγών ζευγών, μετασχηματιστών και διακοπών, κυρίως μεγάλης κλίμακας
- Κέντρα ελέγχου
- Εργαστήρια ηλεκτρονικών υπολογιστών

Ωστόσο, ενώ το εν λόγω αέριο είναι κατάλληλο για χώρους με εξοπλισμό ηλεκτρικής φύσεως και δεν προκαλεί καταστροφή του εξοπλισμού αυτού, σε μερικές περιπτώσεις θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην απενεργοποίηση του ηλεκτρολογικού/ηλεκτρικού εξοπλισμού πριν ή κατά την διάρκεια της κατάκλυσης του αερίου.

Σε χώρους μεγάλης αξίας θα πρέπει να αποφευχθεί η καταστροφή των αποθηκευμένων αντικειμένων ή υλικών του προστατευόμενου χώρου, τα οποία πιθανόν αποτελούν την πρώτη ύλη σε μια γραμμή παραγωγής ή είναι μεγάλης αξίας. Έτσι, εάν τα αντικείμενα είναι μεγάλης οικονομικής αξίας, η καταστροφή τους από την χρήση ακατάλληλου πυροσβεστικού υλικού θα είναι μοιραία τόσο για την ίδια την παραγωγική διαδικασία (π.χ. καταστροφή πρώτης ύλης) όσο και για τα οικονομικά της επιχείρησης. Ωστόσο, οι επιπτώσεις μπορεί να αφορούν και σε άλλους τομείς (π.χ. πολιτισμική απώλεια σε περιπτώσεις μουσείων). Στην ίδια κατηγορία ανήκουν και χώροι όπου υπάρχουν μεγάλες ποσότητες χάρτου. Σε κάποιους χώρους, λοιπόν, δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί υγρό κατασβεστικό, όπως νερό, γιατί πιθανώς θα προκαλέσει την ίδια ζημία σε σχέση με την αντίστοιχη από την εξάπλωση της φωτιάς. Μερικά παραδείγματα είναι:

- Μουσεία
- Ιστορικά μνημεία
- Πινακοθήκες
- Βιβλιοθήκες
- Χώροι θυρίδων τραπεζών
- Υποθηκοφυλάκεια
- Αποθήκες χάρτου
- Χώροι αποθήκευσης αρχείων
- Εργαστήρια

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και χώροι στους οποίους τα κατάλοιπα από άλλα πυροσβεστικά μέσα παρουσιάζουν κάποια δυσκολία στο να καθαριστούν.

Χώροι αποθήκευσης εύφλεκτων υγρών ή αέριων καυσίμων μπορούν επίσης να προστατευθούν από πυροσβεστικό σύστημα με HFC-227ea. Παραδείγματα είναι:

- Χώροι πετροχημικών δραστηριοτήτων
- Χώροι αποθήκευσης χημικών προϊόντων
- Χώροι αποθήκευσης χρωμάτων

Το HFC-227ea μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και για την *αναστολή εκδήλωσης εκρήξεων*. Σε τέτοιες περιπτώσεις το σύστημα ανίχνευσης και καταστολής θα πρέπει να λειτουργήσει εξαιρετικά γρήγορα.

Τέλος, το εν λόγω αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε *φορητά πυροσβεστικά μέσα* (πυροσβεστήρες).

### **3.3. Περιπτώσεις αποφυγής χρήσης του HFC-227ea ως πυροσβεστικό μέσο**

Το επταφθοροπροπάνιο δεν πρέπει να χρησιμοποιείται ως μέσο πυρόσβεσης σε χώρους όπου υπάρχουν υλικά με τα οποία το εν λόγω αέριο αντιδρά, εκτός και αν η ασφάλεια της χρησιμοποίησής του έχει ελεγχθεί από τον αρμόδιο φορέα. Τέτοια υλικά είναι:

- Τα δραστικά μέταλλα (όπως το λίθιο, το νάτριο, το κάλιο, το μαγνήσιο, το τιτάνιο, το ζirkόνιο, το ουράνιο και το πλουτώνιο).
- Τα υδρίδια των μετάλλων (ενώσεις μετάλλων με υδρογόνο).
- Τα χημικά παρασκευάσματα που είναι ικανά να οξειδώνονται γρήγορα χωρίς την παρουσία αέρα (όπως η πυρίτιδα και η νιτρική κυτταρίνη ή νιτροκυτταρίνη).
- Τα χημικά που είναι ικανά να υπόκεινται σε αυτόθερμη διάσπαση, όπως μερικά συγκεκριμένα οργανικά υπεροξειδία και η υδραζίνη.

### **3.4. Περιβαλλοντικοί παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή του HFC-227ea ως μέσο πυρόσβεσης**

Όταν ένα υλικό, όπως το HFC-227ea, πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως μέσο κατάσβεσης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι περιβαλλοντικές του επιπτώσεις, οι οποίες και θα πρέπει να συγκριθούν με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που θα προκαλούσε η ίδια η πυρκαγιά, αν δεν γινόταν χρήση του πυροσβεστικού μέσου. Γενικά, όμως, οι ανεξέλεγκτες πυρκαγιές προκαλούν πολλαπλάσιες επιπτώσεις. Είναι επιθυμητό η παραπάνω εκτίμηση να γίνει για διάφορα πυροσβεστικά μέσα και να επιλεγεί το πλέον φιλικό προς το περιβάλλον. Θα πρέπει

οπωσδήποτε να αποφεύγεται η άσκοπη χρήση του υλικού (π.χ. να μην διεξάγονται άσκοπες δοκιμές του συστήματος), να ανακυκλώνεται το υλικό εάν είναι δυνατό και γενικά να γίνονται οι απαραίτητες ενέργειες έτσι ώστε ο σχεδιασμός, η εγκατάσταση, οι δοκιμές και η συντήρηση του συστήματος να πραγματοποιούνται με στόχο την ελάχιστη δυνατή επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

### **3.5. Προβλήματα εξαιτίας της χρήσης πυροσβεστικού συστήματος ολικής κατάκλυσης με HFC-227ea**

Εκτός από τα προβλήματα που εγκυμονεί το ίδιο το αέριο, τα οποία αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, υπάρχουν και άλλα που αφορούν πλέον στην εγκατάσταση ενός αντίστοιχου πυροσβεστικού συστήματος. Ο θόρυβος, η αναταραχή, η ηλεκτροστατική φόρτιση και τα προϊόντα χημικής αντίδρασης αποτελούν προβλήματα που θα παρουσιαστούν στην συνέχεια.

Η απελευθέρωση του αερίου, κατά την ενεργοποίηση του συστήματος, συνήθως προκαλεί αρκετό *θόρυβο*, ο οποίος πιθανώς να ενοχλήσει σε μεγάλο βαθμό τους παρευρισκόμενους, εάν υπάρχουν.

Όταν η απελευθέρωση του αερίου γίνεται με πολύ μεγάλη ταχύτητα, προκαλείται αρκετή *αναταραχή*, κυρίως ακριβώς κάτω από την περιοχή των ακροφυσίων, ικανή να διασκορπίσει ελαφριά αντικείμενα που πιθανόν υπάρχουν στον προστατευόμενο χώρο (π.χ. έγγραφα).

Κατά την ροή του υγροποιημένου αερίου μέσω των σωληνώσεων και κατά την απελευθέρωση του στον χώρο, μπορεί να προκληθεί *ηλεκτροστατική φόρτιση* των μη γειωμένων αγωγών. Αν έχουν φορτισθεί αρκετά, υπάρχει περίπτωση εκφόρτισής τους (*ηλεκτρική εκκένωση*) σε άλλα γειτονικά γειωμένα αγωγίμα αντικείμενα, όταν η μεταξύ τους απόσταση το επιτρέπει. Για να αποφευχθεί κάτι τέτοιο, πρέπει το σύστημα σωληνώσεων να είναι σφικτά συνδεδεμένο και γειωμένο.

Για να αποφευχθεί, λοιπόν, κάποια ενδεχόμενη ηλεκτρική εκκένωση, όλα τα εξαρτήματα του πυροσβεστικού συστήματος θα πρέπει να είναι εγκατεστημένα κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να

εξασφαλίζονται οι απαιτούμενες ελάχιστες αποστάσεις μόνωσης από κάθε ενεργοποιημένη ηλεκτρική ή ηλεκτρονική συσκευή. Πληροφορίες για τις αποστάσεις αυτές μπορούν να αναζητηθούν στους ακόλουθους κανονισμούς:

- ANSI C2, National Electrical Safety Code.
- NFPA 70, National Electrical Code.
- 29 CFR 1910, Subpart S.

Οι σημαντικότεροι ίσως κίνδυνοι, τόσο λόγω της πυρκαγιάς όσο και λόγω της χρήσης πυροσβεστικού μέσου, είναι τα *προϊόντα που παράγονται από τις χημικές αντιδράσεις*, εξαιτίας της αυξημένης θερμότητας. Σε μια πυρκαγιά συνήθως παράγονται μονοξείδιο του άνθρακα και διοξείδιο του άνθρακα, των οποίων οι τοξικές επιδράσεις είναι γνωστές. Σε περιπτώσεις μεγάλων πυρκαγιών, η ύπαρξη υψηλών θερμοκρασιών από μόνη της οδηγεί σε επικίνδυνες καταστάσεις, τόσο για τον εξοπλισμό όσο και για την ανθρώπινη υγεία. Επιπλέον, οι περισσότερες πυρκαγιές παράγουν καπνό, ο οποίος έχει γνωστές επιπτώσεις σε ευαίσθητο εξοπλισμό αλλά και στην ανθρώπινη υγεία. Ανάλογα με τα καύσιμα υλικά τα οποία συμμετέχουν στην πυρκαγιά και άλλα παρευρισκόμενα υλικά, παράγονται διάφορα τοξικά προϊόντα ανάφλεξης, όπως για παράδειγμα υδροχλώριο (HCl), υδροβρώμιο (HBr), υδροφθόριο (HF), υδροκυάνιο (HCN), μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και άλλα.

Οι αλογονοποιημένοι υδρογονάνθρακες που χρησιμοποιούνται ως πυροσβεστικά μέσα, όταν εκτίθενται σε φωτιά, διασπώνται παράγοντας προϊόντα αποσύνθεσης. Συγκεκριμένα, λοιπόν, οι υδροφθοράνθρακες (HFCs) , όπως και το HFC-227ea, παράγουν κατά την διάσπασή τους σε περιπτώσεις πυρκαγιάς κυρίως υδροφθόριο (HF) και σε μικρότερες ποσότητες φθοριούχο καρβονύλιο (COF<sub>2</sub>), εξαιρετικά τοξικό αέριο, το οποίο όμως υπόκειται σε σχετικά γρήγορη υδρόλυση παράγοντας υδροφθόριο. Επομένως, το υδροφθόριο είναι το κυριότερο παραπροϊόν που θα πρέπει να απασχολεί κάποιον κατά την χρήση του HFC-227ea ως πυροσβεστικό μέσο, τόσο από την σκοπιά της ενδεχόμενης τοξικότητας προς τον άνθρωπο, όσο και από την σκοπιά της ενδεχόμενης οξειδωσης του ηλεκτρονικού εξοπλισμού.

Τέλος, οι επιπτώσεις των προϊόντων αποσύνθεσης του HFC-227ea τόσο στην αποτελεσματικότητα της κατάσβεσης όσο και στον ίδιο τον εξοπλισμό θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κυρίως όταν το πυροσβεστικό αυτό μέσο χρησιμοποιείται σε χώρους με υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, όπως φούρνοι και κλίβανοι, ειδικά στην περίπτωση που ενδέχεται να υπάρξει υπέρμετρη παραγωγή προϊόντων αποσύνθεσης. Επίσης, ιδιαίτερη προσοχή απαιτούν και οι πιθανές επιπτώσεις των προϊόντων αποσύνθεσης στην ανθρώπινη υγεία.

### **3.6. Παραγόμενο Υδροφθόριο**

#### **3.6.1. Γενικά**

Στην παράγραφο αυτή, εξετάζονται οι επιπτώσεις του παραγόμενου υδροφθορίου (HF), εξαιτίας της χρήσης του HFC-227ea σε πυροσβεστικά συστήματα, καθώς αποτελεί το κυριότερο από τα προϊόντα διάσπασης του HFC-227ea. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι υδροφθόριο παράγεται κατά την διάσπαση και κάθε άλλου φθοράνθρακα χρησιμοποιούμενου ως μέσο κατάσβεσης καθώς επίσης και από την καύση φθοροπολυμερών. Γενικά, σύμφωνα με το Ελληνικό Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος [1], το HFC-227ea, το οποίο δεν περιέχει βρώμιο, παράγει μεγαλύτερη ποσότητα HF από το Halon 1301. Το HF είναι ένα ερεθιστικό αέριο, με έντονη διαπεραστική οσμή και είναι ικανό να προκαλέσει βλάβη στην ανθρώπινη υγεία και σε ευαίσθητο εξοπλισμό, επειδή, διαλυόμενο σε ατμούς νερού, σχηματίζει διαβρωτικό Υδροφθορικό Οξύ. Για να ελαχιστοποιηθεί η παραγόμενη ποσότητα Υδροφθορικού Οξέος, επομένως, συνίσταται η γρήγορη ανίχνευση της πυρκαγιάς μέσω περισσότερο ευαίσθητων ανιχνευτών και η ταχεία απελευθέρωση του πυροσβεστικού μέσου HFC-227ea. Για αποφυγή τοπικής υπερπίεσης λόγω της ταχείας απελευθέρωσης του αερίου, συνίσταται μεταξύ άλλων η εγκατάσταση πολλών ακροφυσίων εκτόξευσης.

Πληροφορίες σχετικές με τις τοξικολογικές επιδράσεις και τις επιπτώσεις του υδροφθορίου στην ανθρώπινη υγεία μπορούν να αναζητηθούν στο πρότυπο NFPA 2001 [4].

Ενδεικτικά, δοκιμές που έχουν γίνει από την *Hughes Associates, Inc.* προσδιόρισαν την ποσότητα των παραγόμενων προϊόντων θερμικής διάσπασης, σαν αποτέλεσμα της

κατάσβεσης με HFC-227ea πυρκαγιών Κλάσης A σε χώρους τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού και σε χώρους επεξεργασίας ηλεκτρονικών δεδομένων. Δοκιμάστηκαν εύφλεκτα υλικά, τα οποία είναι πιθανό να υπάρχουν σε τέτοιους χώρους, όπως χαρτί, εξαρτήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών, μονωμένα με PVC καλώδια, μαγνητικές ταινίες κ.τ.λ.

Η κατάσβεση των πυρκαγιών των δοκιμών έγινε με την ελάχιστη συγκέντρωση σχεδίασης 7% του HFC-227ea. Αντίστοιχες μετρήσεις έχουν γίνει και για πυρκαγιές κλάσης B. Τα αποτελέσματα τέτοιων δοκιμών δίνονται στη σχετική βιβλιογραφία [4] σε μορφή διαγραμμάτων, στα οποία παρουσιάζονται και οι καμπύλες LC<sub>50</sub> (συγκέντρωση που προκαλεί θάνατο στο 50% ενός πληθυσμού θηλαστικών) και DTL (συγκέντρωση επικίνδυνης τοξικής φόρτισης για τον άνθρωπο – Dangerous Toxic Load) του υδροφθορίου, συναρτήσει του χρόνου έκθεσης.

Παρατηρώντας κανείς τα διαγράμματα αυτά καταλήγει στο συμπέρασμα πως οι συγκεντρώσεις του υδροφθορίου παραγόμενο σε πυρκαγιές Κλάσης A, βρίσκονται κάτω και από τις δύο «καμπύλες επικινδυνότητας». Επομένως, για τις συγκεκριμένες καταστάσεις πυρκαγιάς δεν υπάρχει τοξικός κίνδυνος, οφειλόμενος στο υδροφθόριο. Αντίθετα, στην περίπτωση μεγάλων πυρκαγιών Κλάσης B, η συγκέντρωση του υδροφθορίου δύναται να ξεπεράσει την καμπύλη DTL. Έτσι, υπάρχει τοξικός κίνδυνος σε αυτές τις περιπτώσεις. Ωστόσο, πρέπει να επισημανθεί ότι σε αυτές τις πυρκαγιές, η αυξημένη παραγωγή προϊόντων καύσης (π.χ. μονοξείδιο του άνθρακα) και η εμφάνιση πολύ υψηλών θερμοκρασιών καθιστούν αρκετά δύσκολη την ανθρώπινη επιβίωση, ανεξάρτητα από την παρουσία υδροφθορίου.

### **3.6.2. Επιπτώσεις του HF στον ηλεκτρονικό εξοπλισμό**

Παρόλο που οι επιπτώσεις του υδροφθορίου και γενικά των προϊόντων θερμικής διάσπασης είναι μια περιοχή που χρήζει σημασίας, ωστόσο, προς το παρόν, δεν υπάρχουν αρκετά δεδομένα που να προβλέπουν την επίδραση του υδροφθορίου, υπό συγκεκριμένα σενάρια, σε όλους τους τύπους ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Αρκετές εκτιμήσεις των επιδράσεων του υδροφθορίου σε ηλεκτρονικό εξοπλισμό έχουν γίνει και σχετίζονταν με την αποσύνθεση του Halon 1301. Από τις πιο αξιοσημείωτες έρευνες είναι αυτή της *Εθνικής Διεύθυνσης*



Αεροναυτών και Διαστήματος (*National Aeronautics and Space Administration – NASA*) [4], κατά την οποία τα ηλεκτρονικά συστήματα του διαστημικού οχήματος *Orbiter* εκτέθηκαν σε συγκεντρώσεις υδροφθορίου 700, 7000 και 70000 ppm. Σύμφωνα, λοιπόν, με την έρευνα αυτή συγκεντρώσεις έως και 700 ppm δεν είχαν καμία επίδραση στον εξοπλισμό, ενώ στα 7000 ppm παρατηρήθηκε σοβαρή διάβρωση καθώς επίσης και μερικές λειτουργικές αστοχίες. Σε άλλη έρευνα εκτέθηκαν ηλεκτρονικές κάρτες IBM-PC σε περιβάλλοντα, παρουσία υδροφθορίου, προερχόμενα από κατάσβεση διαφόρων μεγεθών πυρκαγιών. Δεν παρατηρήθηκε καμία αστοχία στην λειτουργία των καρτών αυτών, μετά από δεκαπεντάλεπτη έκθεση υπό παρουσία υδροφθορίου σε συγκέντρωση έως και 5000 ppm, ακόμα και μετά από λειτουργία για 30 ημέρες υπό συνθήκες ασυνήθιστης περιβαλλοντικής υγρασίας και θερμοκρασίας. Παρόμοιες κάρτες έχουν εκτεθεί για 30 λεπτά σε περιβάλλον προερχόμενο από κατάσβεση και δεν παρατηρήθηκε καμία δυσλειτουργία ακόμα και 90 ημέρες μετά την έκθεση. Οι συγκεντρώσεις του υδροφθορίου εκτιμήθηκαν σε επίπεδα έως και 550 ppm.

Δεν υπάρχει σχετικός γενικός κανόνας και δεν μπορεί να γίνει οποιοσδήποτε ισχυρισμός, προς το παρόν, ωστόσο φαίνεται πως βραχυχρόνιες (λιγότερο από 90 ημέρες) καταστροφές πάνω στον ηλεκτρονικό εξοπλισμό οι οποίες προκαλούν δυσλειτουργίες αυτού, δεν είναι πιθανές όταν η έκθεση γίνεται σε συγκεντρώσεις έως και 500 ppm για χρονικές διάρκειες λιγότερο από 30 λεπτά. Εντούτοις, όμως, οι επιπτώσεις μπορεί να ποικίλουν ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού που εκτίθεται, την μεταχείρισή του μετά την έκθεσή του, την έκθεσή του και σε άλλα προϊόντα καύσης και την σχετική υγρασία. Μερικά από τα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού είναι η θέση του στον χώρο, η ύπαρξη κλειστών χώρων στον όγκο του και τέλος η ευαισθησία του εξοπλισμού.

### **3.7. Οδηγίες ασφαλούς ανθρώπινης έκθεσης στο HFC-227ea**

Θα πρέπει να αποφεύγεται η άσκοπη έκθεση στο συγκεκριμένο αέριο, όπως άλλωστε και σε όλα τα υπόλοιπα αλογονανθρακικά μέσα κατάσβεσης, καθώς και στα προϊόντα που παράγονται κατά την χημική του διάσπαση σε υψηλές θερμοκρασίες. Γι' αυτό απαιτείται ειδικός εξοπλισμός, ο οποίος θα αναλυθεί στην συνέχεια, όπως προειδοποιητικοί συναγερμοί και συσκευές χρονικής καθυστέρησης (*time delays*), πριν γίνει η απελευθέρωση του αερίου,

έτσι ώστε το προσωπικό να ενημερωθεί για την κατάσταση και να μπορεί να εκκενώσει τον χώρο σύντομα.

Για επανδρωμένους και μη χώρους, επιτρέπεται η εγκατάσταση πυρόσβεσης με χρήση του ΗFC-227εα, σχεδιασμένη με συγκέντρωση μικρότερη, ίση ή ακόμα και μεγαλύτερη του LOAEL (10,5%), όμως θα πρέπει να εξασφαλίζεται ο αντίστοιχος μέγιστος χρόνος ανθρώπινης έκθεσης.

Για να εξασφαλιστεί η συγκέντρωση οξυγόνου πάνω από το 16% (συγκέντρωση οξυγόνου στο επίπεδο της θάλασσας), όπου το ανθρώπινο σώμα αρχίζει να εξασθενεί, καλό θα είναι η συγκέντρωση του πυροσβεστικού μέσου να μην ξεπερνά το 24%.

### **3.8. Πρόνοια για την ασφάλεια του προσωπικού**

Η πρόνοια για την ασφάλεια του προσωπικού και γενικά όλων των παρευρισκόμενων αφορά στους εξής τομείς:

- Ειδικές συσκευές συστήματος.
- Ειδική διαμόρφωση του χώρου.
- Ειδικές ενδείξεις, σημάψεις και συναγερμοί.
- Λοιπές ειδικές απαιτήσεις.
- Εκπαίδευση του προσωπικού.

#### **3.8.1. Ειδικές συσκευές συστήματος**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η χρήση συστήματος πυρόσβεσης με ΗFC-227εα επιτρέπεται για επανδρωμένους χώρους ή μη επανδρωμένους χώρους στους οποίους όμως δεν αποκλείεται η ανθρώπινη παρουσία. Για να αποφευχθούν πιθανές δυσάρεστες καταστάσεις για το προσωπικό και όχι μόνο, είναι αναγκαία η χρήση ειδικών συσκευών που αφορούν την λειτουργία του ίδιου του συστήματος πυρόσβεσης, όπως:

- Συσκευές χρονικής καθυστέρησης (time delays).
- Προειδοποιητικοί συναγερμοί.

- Διακόπτες για την επιλογή αυτόματης ή χειροκίνητης λειτουργίας συστήματος, σε ειδικές περιπτώσεις.
- Συσκευές μπλοκαρίσματος (lock-off devices).

Σε περιπτώσεις όπου η καθυστέρηση στην απελευθέρωση του αερίου δεν αυξάνει σημαντικά τους κινδύνους για την υγεία ή την περιουσία εξαιτίας της φωτιάς, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται *συσκευές χρονικής καθυστέρησης*, οι οποίες σε συνδυασμό με τους *προειδοποιητικούς συναγερμούς* επερχόμενης απελευθέρωσης αερίου, θα δίνουν την δυνατότητα εκκένωσης του χώρου πριν την απελευθέρωση του αερίου. Οι προειδοποιητικοί συναγερμοί προ της απελευθέρωσης του αερίου θα πρέπει να είναι χαρακτηριστικοί και διαφορετικοί από κάθε άλλο συναγερμό. Σημειώνεται ότι οι συσκευές χρονικής καθυστέρησης έχουν ως μοναδικό σκοπό την εκκένωση του χώρου ή, ενδεχομένως, την παροχή της αναγκαίας χρονικής καθυστέρησης που απαιτείται ώστε να προετοιμαστεί ο χώρος για την απελευθέρωση του αερίου.

Σε περιπτώσεις όπου οι συγκεντρώσεις του αερίου πιθανώς να θέσουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία θα πρέπει να υπάρχουν *διακόπτες επιλογής από αυτόματη λειτουργία σε χειροκίνητη (AUTOMATIC/MANUAL)*, ενώ σε μεγάλες συγκεντρώσεις θα πρέπει να υπάρχουν και *συσκευές αναστολής της λειτουργίας του συστήματος (LOCK-OFF)*. Οι ισχύουσες απαιτήσεις για αυτού του είδους τον εξοπλισμό καθώς και για τις συσκευές χρονικής καθυστέρησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.8.1-1:

**Πίνακας 3.8.1-1: Απαιτήσεις συσκευών**

Συγκέντρωση του FM-200	Συσκευή χρονικής καθυστέρησης	Διακόπτης «Αυτόματο/Χειροκίνητο»	Συσκευή μπλοκαρίσματος
Μέχρι και 9% (NOAEL)	Απαιτείται	Δεν απαιτείται	Δεν απαιτείται
Μεγαλύτερη από 9% (NOAEL) και μικρότερη από 10,5% (LOAEL)	Απαιτείται	Απαιτείται	Δεν απαιτείται
Μεγαλύτερη από 10,5% (LOAEL)	Απαιτείται	Απαιτείται	Απαιτείται

Σκοπός των ανωτέρω είναι η αποφυγή άσκοπης έκθεσης των παρευρισκόμενων στο κατασβεστικό αέριο. Παράγοντες, όπως ο χρόνος διαφυγής και ο κίνδυνος των παρευρισκόμενων από την φωτιά, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον σχεδιασμό του συστήματος, ώστε να προσδιοριστεί η χρονική καθυστέρηση της κατάκλυσης.

Τέλος, οι συσκευές αναστολής, παρόλο που δεν απαιτούνται σε όλες τις περιπτώσεις, είναι σημαντικές σε κάποιες περιστάσεις, κυρίως για μερικές ειδικές ενέργειες συντήρησης του κατασβεστικού συστήματος.

### **3.8.2. Ειδική διαμόρφωση του χώρου**

Η διαμόρφωση του χώρου θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να διευκολύνεται όσο το δυνατόν περισσότερο η διαφυγή των ανθρώπων. Για τον σκοπό αυτό απαιτούνται:

- Έξοδοι κινδύνου.
- Ειδικά σχεδιασμένες πόρτες.

Οι *έξοδοι κινδύνου* είναι ίσως ο πιο σημαντικός παράγοντας για την ταχύτερη εκκένωση του χώρου. Γι' αυτό πρέπει να υπάρχει η απαραίτητη πρόνοια, ώστε να διατηρούνται πάντα καθαρές και εύκολα προσπελάσιμες. Επίσης, πρέπει να φωτίζονται μέσω του φωτισμού έκτακτης ανάγκης. Δηλαδή, ακόμα και σε περίπτωση που υπάρχει διακοπή ρεύματος, ο σχεδιασμός του φωτισμού τους θα πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να εξασφαλίζεται η λειτουργία του για κάποιον χρόνο (π.χ. μέσω συσσωρευτών ή ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους). Αρκετές, φωτεινές ή όχι, ευδιάκριτες σημάσεις της κατεύθυνσής τους είναι αναγκαίες, ώστε να ελαχιστοποιείται η απόσταση που θα διανύσουν οι διαφεύγοντες την ώρα του πανικού. Τέλος, καλό θα ήταν να υπάρχουν και εμφανή σχεδιαγράμματα των εξόδων στο εσωτερικό του προστατευόμενου χώρου καθώς και σχέδια εκκένωσης του.

Οι *πόρτες* θα πρέπει να είναι σχεδιασμένες ώστε να ανοίγουν προς τα έξω (outward-swinging), ειδικά όταν στον χώρο προβλέπεται μεγάλος αριθμός ατόμων. Επίσης, το κλείσιμό τους θα πρέπει να γίνεται χωρίς την επίδραση εξωτερικής ροπής (self-closing), ενώ θα πρέπει να μπορούν να ανοίγουν από την εσωτερική πλευρά, χωρίς την ανάγκη ξεκλειδώματος, για

προφανείς λόγους, ακόμα και στην περίπτωση που έχουν κλειδωθεί από την εξωτερική πλευρά.

### **3.8.3. Ειδικές ενδείξεις, σημάνσεις και συναγερμοί**

Αυτός ο τομέας αφορά κυρίως στην ασφαλή είσοδο στον χώρο, κατόπιν της κατάκλισης του αερίου. Συγκεκριμένα, στον σχεδιασμό του συστήματος πρέπει να προβλέπονται διαρκείς οπτικοί και ηχητικοί συναγερμοί εντός και εκτός του προστατευόμενου χώρου, οι οποίοι θα παραμένουν ενεργοποιημένοι έως ότου ο χώρος είναι πλέον ασφαλής.



Στο σημείο αυτό, σκόπιμα επαναλαμβάνεται ότι οι προειδοποιητικοί συναγερμοί προ της απελευθέρωσης του αερίου θα πρέπει να είναι χαρακτηριστικοί και διαφορετικοί από κάθε άλλο συναγερμό. Επιπλέον, αναγκαία είναι η ύπαρξη κατάλληλων προειδοποιητικών σημάνσεων και οδηγιών.

### **3.8.4. Λοιπές ειδικές απαιτήσεις**

Μία από τις ειδικές απαιτήσεις είναι ο *εξαερισμός του χώρου*, μετά την κατάκλιση. Σκοπός του εξαερισμού είναι να απαχθεί το αέριο από τον προστατευόμενο χώρο, μετά την ολοκλήρωση της κατασβεστικής διαδικασίας. Ο εξαερισμός μπορεί να γίνει φυσικά, ανοίγοντας τις πόρτες και τα παράθυρα. Ωστόσο, πολλές φορές, εμφανίζεται η ανάγκη τεχνητού εξαερισμού του χώρου. Τονίζεται ότι σκοπός του εξαερισμού είναι η απομάκρυνση των αερίων και όχι η μετακίνηση τους σε άλλον γειτονικό χώρο.

Επίσης, καλό είναι να υπάρχουν αρκετές Ατομικές Συσκευές Τεχνητής Αναπνοής (Self-Contained Breathing Apparatus - SCBA) εντός του προστατευόμενου χώρου και να γίνεται η σχετική πληροφόρηση, εξοικείωση και εκπαίδευση του προσωπικού ως προς την σωστή χρήση τους.

### **3.8.5. Εκπαίδευση του προσωπικού**

Το προσωπικό των προστατευόμενων χώρων θα πρέπει να εκπαιδεύεται, μέσω πληροφόρησης και διεξαγωγής ασκήσεων ετοιμότητας. Το ίδιο ισχύει και για το προσωπικό κατασκευής και το

προσωπικό συντήρησης, που ίσως κληθούν στην περιοχή ώστε να επιβεβαιώσουν την σωστή λειτουργία του συστήματος. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι κανείς από το προσωπικό δεν θα πρέπει να εισέλθει στην προστατευόμενη περιοχή, μέχρι να επιβεβαιωθεί ότι ο χώρος είναι και πάλι ασφαλής.

Θεμιτή είναι η παρουσία ανθρώπων (υπεύθυνοι ασφαλείας), οι οποίοι θα βοηθούν κατά την εκκένωση του χώρου και θα απαγορεύουν την είσοδο σε μη αρμόδια άτομα. Επίσης, θα βοηθούν στον εντοπισμό και την διάσωση τυχόν παγιδευμένων ανθρώπων.

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

## **ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ, ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

### **4.1. Συστήματα Πυρανίχνευσης και Πυρόσβεσης**

Ένα σύστημα πυρασφάλειας απαρτίζεται συνήθως από δύο επιμέρους υποσυστήματα [8]:

- Υποσύστημα ανίχνευσης και αναγγελίας της πυρκαγιάς.
- Υποσύστημα κατάσβεσης.

Τα συστήματα ανίχνευσης και ενεργοποίησης, οι συναγερμοί λειτουργίας και τα συστήματα ελέγχου του συστήματος πυρόσβεσης με χρήση HFC-227ea, πρέπει να εγκαθίστανται, να δοκιμάζονται και να συντηρούνται σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς.

Για τους χώρους που καλύπτονται με πυρόσβεση, τοπικοί πίνακες εξασφαλίζουν όλες τις απαιτούμενες λειτουργίες των συστημάτων κατάσβεσης που ελέγχουν και ενημερώνουν λεπτομερώς τον κεντρικό πίνακα του συστήματος πυρανίχνευσης για την κατάσταση (alarms) όλων των ζωνών ανίχνευσης και κατάσβεσης.

Ο πίνακας ελέγχου αποτελεί τον εγκέφαλο ολόκληρου του συστήματος, ηλεκτροδοτώντας συνεχώς το σύστημα, είτε ηλεκτροδοτούμενος από το δίκτυο πόλης (230 V / 50 Hz) είτε από τους εφεδρικούς συσσωρευτές του συστήματος, που έχουν ικανή χωρητικότητα για επαγρύπνηση του συστήματος για αρκετό χρονικό διάστημα. Ενδεικτικά, σχετικές απαιτήσεις αναφέρονται στη βιβλιογραφία [8,9]. Ο

πίνακας θα είναι συνήθως διαφόρων ζωνών ανίχνευσης και μίας εντολής κατάσβεσης.

Ένας πίνακας διαθέτει συνήθως διάταξη:

- Ελέγχου των ζωνών πυρανίχνευσης.
- Χρονοκαθυστέρησης της εντολής για την πυρόσβεση ώστε να επιβεβαιωθεί και χρονικά η ύπαρξη της φωτιάς.
- Εντολές εξόδου (για την πυρόσβεση, οπτικής – φωτεινής σήμανσης, διακοπής της λειτουργίας του κλιματισμού κ.τ.λ.)
- Ελέγχου της καλής λειτουργίας του συστήματος.

Η λειτουργία και ο έλεγχος του συστήματος πυρανίχνευσης καθώς και η ενεργοποίηση του συστήματος πυρόσβεσης γίνεται συνήθως αυτόματα, μέσω του τοπικού πίνακα ελέγχου, ο οποίος εγκαθίσταται συνήθως εκτός του προστατευόμενου χώρου.

Για την ανίχνευση, η οποία πρέπει να γίνεται αυτόματα, προβλέπεται να χρησιμοποιούνται αναγνωρισμένες συσκευές και μέθοδοι. Παραδείγματα μεθόδων και αντίστοιχων συσκευών ανίχνευσης πυρκαγιάς είναι τα εξής:

- Ανίχνευση θερμότητας.
- Ανίχνευση φλόγας.
- Ανίχνευση καπνού.
- Ανίχνευση εύφλεκτων ατμών.
- Εντοπισμός ασυνήθιστων καταστάσεων εντός του προστατευόμενου χώρου.  
Για παράδειγμα, εντοπισμός κάποιου προβλήματος στην σωστή λειτουργία ενός συστήματος, το οποίο θα μπορούσε να προκαλέσει πυρκαγιά.

Κατά την επιλογή του συστήματος ανίχνευσης, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι περιβαλλοντικές συνθήκες λειτουργίας του συστήματος, ώστε να αποτρέπεται η άσκοπη ενεργοποίηση του συστήματος πυρόσβεσης. Ωστόσο, θα πρέπει, σε συνθήκες πραγματικού κινδύνου, η ενεργοποίηση του συστήματος πυρόσβεσης να γίνεται το ταχύτερο δυνατό. Η σωστή επιλογή της θέσης των ανιχνευτών βοηθάει



στον γρήγορο εντοπισμό του κινδύνου και, συνεπώς, στην άμεση και αποτελεσματική ενεργοποίηση του συστήματος πυρόσβεσης.

Σε όλους τους χώρους αυτόματης κατάσβεσης, το σύστημα πυρανίχνευσης κρίνεται σκόπιμο να έχει δύο ζώνες ανίχνευσης (δύο τουλάχιστον αισθητήρια ανίχνευσης καπνού), την ζώνη Α και ζώνη Β, ώστε η ύπαρξη καπνού σε έναν συγκεκριμένο χώρο (στον χώρο εργασίας ή στο ψευδοδάπεδο κ.τ.λ.) να βεβαιώνεται από δύο αισθητήρια. Κατά αυτόν τον τρόπο, η ενεργοποίηση της πυρόσβεσης, η οποία έπεται της επιβεβαίωσης της ύπαρξης καπνού στον χώρο, δεν προκαλείται από τυχαίο γεγονός ή αστοχία του συστήματος πυρανίχνευσης. Ως αισθητήρια πυρανίχνευσης συνήθως χρησιμοποιούνται ανιχνευτές καπνού, τύπου φωτοηλεκτρονικού ή ιονισμού.

Οι ανιχνευτές ιονισμού έχουν μεγαλύτερη ανταπόκριση σε "καθαρό" καπνό (με λεπτά σωματίδια), ενώ οι φωτοηλεκτρονικοί έχουν γρηγορότερη ανταπόκριση σε καπνό με εμφανή σωματίδια (αιθάλη). Κατά αυτόν τον τρόπο καλύπτεται οποιοσδήποτε τύπος φωτιάς. Η ύπαρξη προσωπικού (όχι μόνιμη) εντός των ανωτέρω χώρων επιβάλλει και την εγκατάσταση διάταξης, για την χειροκίνητη ενεργοποίηση του συστήματος πυρόσβεσης, η οποία θα είναι άμεση χωρίς επιβεβαίωση, αφού η εντολή δίνεται από τον άνθρωπο.

Η κάλυψη του προστατευόμενου χώρου ως προς την ανίχνευση της πυρκαγιάς γίνεται με τα δυο ανωτέρω είδη ανιχνευτών φωτιάς, οι οποίοι συνήθως διατάσσονται σε δυο ανεξάρτητα κυκλώματα σε λογική διασταυρούμενης εντολής (cross zoned). Στο ένα κύκλωμα διατάσσονται ανιχνευτές καπνού, τύπου ιονισμού, και στο δεύτερο κύκλωμα ανιχνευτές ορατού καπνού (φωτοηλεκτρονικοί). Σε περίπτωση ανίχνευσης φωτιάς από έναν οποιονδήποτε ανιχνευτή, αυτή αναγγέλλεται ως προ-συναγερμός στον πίνακα ελέγχου, τόσο ηχητικά όσο και οπτικά. Ταυτόχρονα, στον προστατευόμενο χώρο αναγγέλλεται προ-συναγερμός ανίχνευσης φωτιάς, επίσης ηχητικά και οπτικά. Οι απαραίτητες συσκευές συνήθως είναι τοποθετημένες στην εισόδου του χώρου. Διέγερση και ενός δευτέρου ανιχνευτή του άλλου κυκλώματος αποτελεί πλέον κατάσταση συναγερμού φωτιάς, η οποία αναγγέλλεται αφενός μεν στον πίνακα ελέγχου ηχητικά και οπτικά,

αφετέρου στο χώρο ηχητικά με μια σειρήνα και οπτικά με μια αφησβηνημένη φωτεινή πινακίδα με την ένδειξη “STOP ΚΑΤΑΣΒΕΣΗ” ή “STOP GAS”, τοποθετημένη στην είσοδο του προστατευόμενου χώρου, που θα αποτρέπει την είσοδο ατόμων στον κατακλυσμένο από αέριο χώρο.

Ταυτόχρονα, ή με χρονοκαθυστέρηση, μετά την αναγγελία συναγερμού στον πίνακα, θα δίνεται ηλεκτρική εντολή από αυτόν προς το υποσύστημα κατάσβεσης το οποίο θα ενεργοποιείται. Το υποσύστημα ανίχνευσης ολοκληρώνεται με την ύπαρξη ενός χειροκίνητου κομβίου συναγερμού και ενός χειροκίνητου διακόπτη ακύρωσης της εντολής κατάσβεσης.

Οι συσκευές ενεργοποίησης του συστήματος πυρόσβεσης μπορεί να έχουν ηλεκτρικό, μηχανικό ή πνευματικό χαρακτήρα. Πρέπει να είναι αξιόπιστες, δηλαδή πρέπει να λειτουργήσουν όποτε ζητηθεί από το σύστημα και ποτέ να μην λειτουργήσουν χωρίς την εντολή του συστήματος ανίχνευσης. Γενικά, σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς, πρέπει να λειτουργούν αξιόπιστα σε θερμοκρασίες από  $-29^{\circ}\text{C}$  έως  $54^{\circ}\text{C}$ .

Επίσης, θα πρέπει το σύστημα πυρόσβεσης να μπορεί να ενεργοποιηθεί και χειροκίνητα, είτε με την βοήθεια μηχανικού συστήματος, είτε με την βοήθεια ηλεκτρικού συστήματος. Τα σημεία χειροκίνητης ενεργοποίησης θα πρέπει να είναι εύκολα προσεγγίσιμα, ακόμα και κατά την διάρκεια της πυρκαγιάς, ενώ θα πρέπει να έχουν κατάλληλη εμφάνιση, ώστε να αναγνωρίζονται εύκολα. Στην βιβλιογραφία [9] παρουσιάζονται οι αντίστοιχες απαιτήσεις.

Στη φάση του συναγερμού με ηλεκτρική εντολή από τον πίνακα ελέγχου, ενεργοποιείται το σύστημα κατάσβεσης, μέσω της ενεργοποίησης της ανακουφιστικής βαλβίδας της βαλβίδας εκκένωσης της δεξαμενής, η οποία ανοίγει και διοχετεύεται στη συνέχεια, μέσω του υδραυλικού δικτύου, το κατασβεστικό αέριο προς τα ακροφύσια όπου και εκτοξεύεται μέσα στο χώρο, κατακλύζοντας τον. Η διανομή των σωληνώσεων εντός του προστατευόμενου χώρου γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να καταλήγει ένα τουλάχιστον ακροφύσιο διανομής κατασβεστικού υλικού εντός του κάθε ανεξάρτητου διαμερίσματος ή μεταλλικού ερμαρίου. Επειδή το πλέον σημαντικό είναι η διατήρηση της συγκέντρωσης του

αερίου μέσα στον κατακλυσμένο χώρο στα επίπεδα της επιθυμητής συγκέντρωσης, κάθε ενέργεια που μειώνει το επίπεδο συγκέντρωσης πρέπει να σταματήσει κατά την διάρκεια της κατάσβεσης. Έτσι πρέπει να σταματά (αν υπάρχει) το σύστημα της προσαγωγής ή απαγωγής του αέρα.

Όλα τα παραπάνω εκτελούνται αυτομάτως από τον πίνακα ελέγχου, όταν το σύστημα είναι στην αυτόματη λειτουργία. Εάν το σύστημα βρίσκεται σε χειροκίνητη λειτουργία, η κατάκλυση του χώρου γίνεται με την επέμβαση ατόμου, μέσω χειροδιακόπτη, ο οποίος βρίσκεται έξω από την κυρία είσοδο του προστατευόμενου χώρου.

Σε μερικές περιπτώσεις πυροσβεστικών συστημάτων, υπάρχουν και διακόπτες ακύρωσης της λειτουργίας του συστήματος, ωστόσο γενικά δεν ενδείκνυται αυτή η πρακτική. Οι διακόπτες αυτοί, όταν χρησιμοποιούνται, τοποθετούνται εντός του προστατευόμενου χώρου και κοντά στις εξόδους, απαιτούν συνεχή δύναμη (χειροκίνητοι διακόπτες) προκειμένου να παραμένουν ενεργοποιημένοι, δεν παραμένουν ενεργοποιημένοι όταν κανένας δεν είναι παρών και ιεραρχικά βρίσκονται χαμηλότερα από τις υπόλοιπες μονάδες ελέγχου (χειροκίνητες ή μη) του πυροσβεστικού συστήματος.

Ενδείξεις και συναγερμοί λειτουργίας, ή κάποια από αυτά, χρησιμοποιούνται προκειμένου να καταδεικνύουν την ενεργοποίηση του συστήματος πυρόσβεσης, τους πιθανούς κινδύνους για τους παρευρισκόμενους, ή την δυσλειτουργία κάποιας συσκευής, εμπλεκόμενης στο σύστημα πυρόσβεσης. Ο τύπος ειδοποίησης (ηχητική, οπτική κ.τ.λ.), το πλήθος τους και η θέση τους καθορίζονται σε ένα βαθμό από τον σκοπό που εξυπηρετούν. Ηχητικοί και οπτικοί συναγερμοί πρέπει να λειτουργούν πριν την εκτόνωση του αερίου, προκειμένου να ενημερωθούν τυχόν παρευρισκόμενοι. Κατάλληλοι συναγερμοί πρέπει να λειτουργούν κατά την διάρκεια της εκτόνωσης και μετά από αυτή, έως ότου η ατμόσφαιρα γίνει και πάλι καθαρή.

Κατά την εκτόνωση του αερίου ένας διακόπτης πίεσης, που ονομάζεται *διακόπτης πίεσης εκτόνωσης*, ενεργοποιείται από την πίεση του HFC-227ea κατά την εκτόνωση του. Με αυτό τον τρόπο, το κέντρο ελέγχου του συστήματος λαμβάνει την

πληροφορία ότι έχει γίνει η εκτόνωση του αερίου. Ο διακόπτης αυτός είναι εφοδιασμένος και με ένα κουμπί επαναφοράς (reset), το οποίο πρέπει να απενεργοποιηθεί μετά την εκτόνωση.

Όπως έχει αναφερθεί, οι χρονικές καθυστερήσεις στην ενεργοποίηση του συστήματος πυρόσβεσης είναι αναγκαίες προκειμένου να επιτευχθεί η εκκένωση του χώρου πριν την εκτόνωση του αερίου καθώς και να προετοιμαστεί ο χώρος για εκτόνωση. Σε περιπτώσεις όπου μια καθυστέρηση στην ενεργοποίηση του συστήματος μπορεί να προκαλέσει κινδύνους σε ανθρώπους και περιουσία, π.χ. εξαιτίας μιας ταχέως αναπτυσσόμενης πυρκαγιάς, αποφεύγεται η χρήση χρονικών καθυστερήσεων. Δύο παραδείγματα περιπτώσεων όπου μπορούν να εκδηλωθούν ταχέως αναπτυσσόμενες πυρκαγιές είναι οι αποθήκες υγρών καυσίμων και οι χώροι με έντονη παρουσία χημικών ενώσεων τύπου aerosol.

Όλες οι καλωδιώσεις που χρησιμοποιούνται στο σύστημα πυρόσβεσης με HFC-227ea πρέπει να τοποθετούνται εντός ειδικών μεταλλικών γειωμένων δρόμων. Μάλιστα, καλώδια που φέρουν εναλλασσόμενο ρεύμα (ac) και καλώδια που φέρουν συνεχές ρεύμα (dc) πρέπει να τοποθετούνται σε διαφορετικούς δρόμους.

Η παροχή ενέργειας στο σύστημα πρέπει να είναι αδιάλειπτη και αξιόπιστη επί 24-ώρου βάσης.

## **4.2 Σχεδίαση και διαστασιολόγηση του συστήματος**

Γενικά, κατά την σχεδίαση του συστήματος θα πρέπει να γίνεται ανάλυση του κινδύνου σύμφωνα με τα πρότυπα που προτείνονται από τον αρμόδιο φορέα. Οι παράμετροι που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την σχεδίαση του συστήματος είναι ο όγκος του προστατευόμενου χώρου, η πληρότητα του χώρου, τα ασφράγιστα ανοίγματα, τα συμμετέχοντα καύσιμα, οι τιμές των συγκεντρώσεων του πυροσβεστικού μέσου, οι διαθέσιμες φιάλες αποθήκευσης του αερίου, η τοποθέτηση των ακροφυσίων, οι διατομές των σωληνώσεων κ.τ.λ.

Η διαδικασία της πλήρους μελέτης ενός τέτοιου συστήματος μπορεί να διαχωριστεί στα ακόλουθα βήματα:

1. Υπολογισμός της απαιτούμενης ποσότητας αερίου.
2. Σχεδίαση του συστήματος.
3. Διαστασιολόγηση του συστήματος.

#### **4.2.1. Υπολογισμός της απαιτούμενης ποσότητας αερίου**

Στη περίπτωση που είναι γνωστή η απαιτούμενη ποσότητα Halon 1301, η απαιτούμενη ποσότητα για κατάσβεση με HFC-227ea μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με την βιβλιογραφία [1] για τον ίδιο υπό προστασία χώρο.

Η εξ αρχής διαδικασία υπολογισμού της απαιτούμενης ποσότητας του HFC-227ea περιλαμβάνει τα βήματα που παρουσιάζονται στις ακόλουθες ενότητες:

##### **4.2.1.1. Υπολογισμός του όγκου του προστατευόμενου χώρου**

Ο σωστός καθορισμός του όγκου του προστατευόμενου χώρου είναι μεγάλης σημασίας, καθώς μέσω αυτής της παραμέτρου καθορίζεται η απαιτούμενη ποσότητα του HFC-227ea. Ο προστατευόμενος χώρος πρέπει να έχει όσο το δυνατόν ελάχιστα ανοίγματα προς τους γειτονικούς χώρους ή προς το περιβάλλον, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η παραμονή του αερίου εντός του χώρου. Για τον σκοπό αυτό τα ανοίγματα θα πρέπει να είναι είτε μόνιμα σφραγισμένα είτε να κλείνουν μέσω κατάλληλου αυτοματοποιημένου συστήματος κατά την διαδικασία της πυρόσβεσης. Επίσης, όταν δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός ως προς την μάζα του πυροσβεστικού αερίου (π.χ. όγκος του χώρου αποθήκευσης), η μελέτη προστασίας μπορεί να επεκταθεί και στους γύρω χώρους, ώστε να μειωθούν οι απώλειες του αερίου, ή μπορεί να γίνει χρήση μεγαλύτερης ποσότητας από την απαιτούμενη, ώστε να αντισταθμιστούν οι απώλειες και τελικά να επιτευχθεί η επιθυμητή συγκέντρωση HFC-227ea εντός του χώρου. Προσοχή θα πρέπει να δοθεί και στα συστήματα εξαερισμού, των οποίων η λειτουργία πρέπει να διακόπτεται κατά την κατάκλυση του HFC-227ea, ή τουλάχιστον να ελέγχεται η επίδραση τους ως προς την αποτελεσματικότητα του πυροσβεστικού συστήματος. Όταν, όμως, πρόκειται για συστήματα εξαερισμού που ανακυκλώνουν τον εσωτερικό αέρα, τότε συνήθως δεν απαιτείται η διακοπή της λειτουργίας τους. Τέλος, πρέπει να τονισθεί ότι ο προστατευόμενος χώρος θα πρέπει να έχει την απαιτούμενη δομική αντοχή

(στατική), ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος για την κατασκευή, κατά την ανάπτυξη μεγάλων πιέσεων (μερικές φορές μπορεί να υπάρξει και υποπίεση) λόγω της κατάκλισης του HFC-227ea. Αν είναι πιθανός ένας τέτοιος κίνδυνος, θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα εκτόνωσης του αερίου, ώστε να μειωθούν οι ασκούμενες πιέσεις.

Για να υπολογιστεί ο όγκος του προστατευόμενου χώρου, όπως είναι γνωστό, γίνεται πολλαπλασιασμός του μήκους, του πλάτους και του ύψους. Ωστόσο όταν η γεωμετρία του χώρου είναι διαφορετική είναι αναγκαίο να γίνει υποδιαίρεση του χώρου σε μικρότερα μέρη και κατόπιν να αθροιστούν οι όγκοι αυτών ( $V_{\text{διαμερήσεων}}$ ). Από τον ολικό όγκο του χώρου, μπορούν να αφαιρεθούν οι όγκοι που καταλαμβάνουν συμπαγή, αδιαπέραστα και αμετακίνητα αντικείμενα ( $V_{\text{αντικειμένων}}$ ). Τέλος, όγκοι προς τους οποίους υπάρχει διαρροή αερίου ( $V_{\text{απωλειών}}$ ), π.χ. μέσω ασφράγιστων σωληνώσεων ή μόνιμων ανοιγμάτων, θα πρέπει να προστεθούν στον όγκο του χώρου. Επομένως, ο καθαρός όγκος ( $V$ ), τον οποίο θα κατακλύσει το αέριο HFC-227ea, είναι:

$$V = \sum V_{\text{διαμερήσεων}} + \sum V_{\text{απωλειών}} - \sum V_{\text{αντικειμένων}}$$

#### **4.2.1.2. Υπολογισμός της αναγκαίας συγκέντρωσης και ποσότητας του αερίου**

Κατά τον υπολογισμό της αναγκαίας συγκέντρωσης HFC-227ea, πρέπει, αρχικά, να καθοριστεί ο τύπος του κινδύνου, τον οποίο καλείται το σύστημα να αντιμετωπίσει. Έτσι, η γνώση του κινδύνου είναι απαραίτητη προκειμένου να καθοριστούν βασικές παράμετροι του συστήματος, όπως η συγκέντρωση του αερίου. Σύμφωνα με το πρότυπο NFPA 2001 [4], οι κίνδυνοι πυρκαγιάς ταξινομούνται σε τρεις κλάσεις. Ενδεικτικά οι κλάσεις κινδύνων περιλαμβάνουν τα εξής:

- **ΚΛΑΣΗ A:** Πυρκαγιά σε συνήθη εύφλεκτα στερεά υλικά, όπως μαλλί, ξύλο, χαρτί, ύφασμα, καουτσούκ και πολλά πλαστικά (PMMA, PP, ABS).
- **ΚΛΑΣΗ B:** Πυρκαγιά σε εύφλεκτα υγρά, έλαια, λίπη, πίσσα, βαφές και χρωστικές ουσίες με βάση έλαια, λάκκες, βερνίκια και εύφλεκτα αέρια.

- **ΚΛΑΣΗ Γ:** Πυρκαγιά, στην οποία εμπλέκεται ενεργοποιημένος ηλεκτρολογικός εξοπλισμός. Στην περίπτωση αυτή, η ηλεκτρική ειδική αντίσταση του μέσου πυρόσβεσης έχει μεγάλη σημασία.

Περισσότερες λεπτομέρειες μπορούν να αναζητηθούν στη σχετική βιβλιογραφία [4].

Ανάλογα με την κλάση πυρκαγιάς και το είδος του καύσιμου υλικού, καθορίζεται η συγκέντρωση του HFC-227ea που απαιτείται, προκειμένου να γίνει η κατάσβεση της πυρκαγιάς. Όταν υπάρχει συνδυασμός καύσιμων υλικών, πρέπει να χρησιμοποιείται η τιμή της μεγαλύτερης των συγκεντρώσεων που τα συγκεκριμένα καύσιμα υλικά απαιτούν, εκτός και αν έχουν γίνει δοκιμές ως προς το ειδικό αυτό μείγμα υλικών.

Οι συγκεντρώσεις που ενδιαφέρουν είναι οι ακόλουθες:

- Η **συγκέντρωση κατάσβεσης** είναι η ελάχιστη συγκέντρωση του αερίου στον αέρα, που απαιτείται, προκειμένου να σβήσει η πυρκαγιά, στην οποία συμμετέχουν συγκεκριμένα καύσιμα υπό καθορισμένες συνθήκες, χωρίς κανέναν συντελεστή ασφαλείας.
- Η **συγκέντρωση σχεδίασης** προκύπτει από την συγκέντρωση κατάσβεσης, πολλαπλασιασμένη με κάποιο συντελεστή ασφαλείας, ο οποίος εξαρτάται από την κλάση του κινδύνου πυρκαγιάς και μπορεί να αναζητηθεί στη σχετική βιβλιογραφία [4, 10, 11, 12].
- Η **συγκέντρωση αδρανοποίησης** είναι η συγκέντρωση του αερίου που αδρανοποιεί την ατμόσφαιρα και δεν επιτρέπει την εκδήλωση έκρηξης ή την αναζωπύρωση της πυρκαγιάς, εντός του χώρου. Η συγκέντρωση αδρανοποίησης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν υπάρχουν εύφλεκτα υγρά ή αέρια και ο καθορισμός της γίνεται συνήθως μέσω πειραμάτων. Η ελάχιστη συγκέντρωση σχεδίασης με σκοπό την αδρανοποίηση της ατμόσφαιρας, προκύπτει από την συγκέντρωση αδρανοποίησης πολλαπλασιασμένη με ένα συντελεστή ασφαλείας [4, 10, 11, 12].

Ενδεικτικά αναφέρονται ως ελάχιστες απαιτήσεις:

**Πίνακας 4.2.1.2-1:** Ελάχιστες απαιτήσεις συγκέντρωσης.

<b>Συγκέντρωση σχεδίασης (Κλάση A)</b>	7,5%
<b>Συγκέντρωση σχεδίασης (Κλάση B)</b>	9%
<b>Συγκέντρωση αδρανοποίησης</b>	Συνήθως, από 10% έως 13%

Παρά το γεγονός ότι στον καθορισμό των απαραίτητων συγκεντρώσεων για την κατάσβεση διαφόρων κινδύνων συνυπολογίζεται και κάποιος συντελεστής ασφαλείας, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, σε αρκετές εφαρμογές θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μεγαλύτερη συγκέντρωση από αυτή που θα χρησιμοποιούταν κανονικά, προκειμένου να εκπληρωθούν τα ακόλουθα:

- Παρουσία πραγματικής συγκέντρωσης, η οποία θα παραμένει στον χώρο για την αναγκαία χρονική διάρκεια, σύμφωνα με τις απαιτήσεις.
- Ψύξη θερμών επιφανειών ώστε να αποφευχθεί πιθανή αναζωπύρωση.
- Προστασία ηλεκτρολογικών/ηλεκτρονικών εξοπλισμών που παραμένουν ενεργοποιημένοι.
- Παρουσία συγκεντρώσεων αδρανοποίησης με σκοπό την αντιμετώπιση του χειρότερου πιθανού κινδύνου: έκρηξη εξαιτίας ατμών γκαζιού, χωρίς την ανάπτυξη πυρκαγιάς.

Στη βιβλιογραφία, η συγκέντρωση σχεδίασης στους υπολογισμούς συνήθως συμβολίζεται με το λατινικό γράμμα C.

Εφόσον, πλέον, είναι γνωστή η απαιτούμενη συγκέντρωση του αερίου και ο όγκος που καλείται να προστατεύσει, ακολουθεί ο υπολογισμός της απαιτούμενης ποσότητας του αερίου.

Για τον σκοπό αυτό, θα πρέπει να προσδιοριστεί και ο ειδικός όγκος  $s$  του υπέρθερμου ατμού του HFC-227ea υπό πίεση 1atm (1,013 bar) και υπό θερμοκρασία  $t$ . Η θερμοκρασία  $t$  θα αντιπροσωπεύει την ελάχιστη αναμενόμενη θερμοκρασία του προστατευόμενου χώρου. Στη βιβλιογραφία [4,12] δίνεται ένας



προσεγγιστικός τρόπος υπολογισμού του ειδικού όγκου υπό αυτές τις συνθήκες πίεσεως:

$$s = 0,1269 + 0,000513 \cdot t \quad \text{όπου } s \text{ σε } m^3/kg \text{ και } t \text{ σε } ^\circ C.$$

Έτσι, η αναγκαία ποσότητα του αερίου θα μπορούσε εύκολα να υπολογιστεί, αρχικά, ως το πηλίκο του γινομένου του όγκου του χώρου επί την συγκέντρωση (σχεδίασης) του αερίου προς τον ειδικό όγκο του αερίου.

Ωστόσο, σε πραγματικές εγκαταστάσεις πυροσβεστικού συστήματος ολικής κατάκλυσης καθαρού μέσου, σχεδόν πάντα θα υπάρχει κάποια απώλεια του μείγματος μέσου/αέρα, από τον προστατευόμενο χώρο προς το περιβάλλον ή τους γειτονικούς χώρους. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην κατάκλυση του αερίου, η οποία και εξαναγκάζει το μείγμα να διαφύγει, μέσω μικρών ανοιγμάτων, σχισμών κ.τ.λ. Τονίζεται πως η κατάκλυση του αερίου στα περισσότερα συστήματα πυρόσβεσης, γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να εξασφαλίζεται η σταδιακή μίξη του πυροσβεστικού αερίου με τον αέρα. Έχει παρατηρηθεί πως όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση του αερίου στον χώρο, τόσο μεγαλύτερη είναι και η απώλεια του μέσου αυτού προς τους γύρω χώρους. Επομένως, καταλήγει κανείς στο συμπέρασμα πως, για να επιτευχθεί τελικά η επιθυμητή συγκέντρωση του πυροσβεστικού μέσου εντός του χώρου, θα χρειαστεί μεγαλύτερη ποσότητα HFC-227ea, από αυτή που προκύπτει από τα προαναφερόμενα.

Βασιζόμενοι στην χειρότερη θεωρητικά κατάσταση [4], στην οποία το μείγμα διαφυγής μέσου/αερίου, εμπεριέχει το μέσο πυρόσβεσης σε συγκέντρωση ίση με την συγκέντρωση σχεδίασης του συστήματος, προκύπτουν τα ακόλουθα ως προς τον προσδιορισμό της απαιτούμενης ποσότητας του αερίου. Στην παρακάτω ανάλυση γίνεται η υπόθεση πως η πίεση εντός του χώρου, λίγο μετά την κατάκλυση, επανέρχεται στο επίπεδο της πίεσης πριν την κατάκλυση.

#### Πριν την κατάκλυση:

Ο αέρας εντός του χώρου ( $V_{AEP\alpha}$ ) καταλαμβάνει ολόκληρο τον όγκο του προστατευόμενου χώρου  $V$ , δηλαδή:

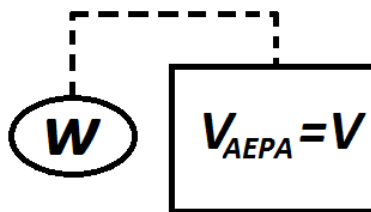
$$V_{ΑΕΡΑ} = V$$

Η ολική ποσότητα (W) του αερίου βρίσκεται στον χώρο αποθήκευσης (φιάλες) του HFC-227ea. Όμως, η ποσότητα W αντιστοιχεί σε όγκο ίσο με:

$$V_{HFC} = W \cdot s$$

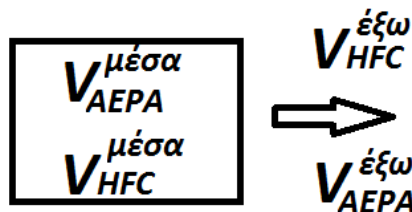
Όπου  $V_{HFC}$  είναι ο όγκος του αερίου και s ο ειδικός όγκος.

Σχηματικά, το σύστημα έχει ως εξής:



Μετά την κατάκλυση:

Κατά την κατάκλυση του αερίου, το HFC-227ea εκτονώνεται στον χώρο, ενώ κάποια ποσότητα αερίου και αέρα φεύγει στο περιβάλλον, λόγω των σχισμών, όπως προαναφέρθηκε. Έτσι, μετά από λίγο χρόνο, υπάρχει η παρακάτω κατάσταση:



Όπου,

$V_{ΑΕΡΑ}^{μέσα}$  : είναι ο όγκος του αέρα που έχει παραμείνει εντός του προστατευόμενου χώρου.

$V_{HFC}^{μέσα}$  : είναι ο όγκος του HFC-227ea που έχει παραμείνει εντός του προστατευόμενου χώρου.

$V_{AEPA}^{\acute{\epsilon}\xi\omega}$ : είναι ο όγκος του αέρα που έχει διαφύγει προς τον εξωτερικό χώρο.

$V_{HFC}^{\acute{\epsilon}\xi\omega}$ : είναι ο όγκος του HFC-227ea που έχει διαφύγει προς τον εξωτερικό χώρο.

Ο όγκος που καταλαμβάνουν το HFC-227ea και ο αέρας, εντός του προστατευόμενου χώρου, είναι:

$$V_{HFC}^{\acute{\mu}\acute{\epsilon}\sigma\alpha} + V_{AEPA}^{\acute{\mu}\acute{\epsilon}\sigma\alpha} = V \quad (1)$$

Οι ποσότητες των απωλειών, ικανοποιούν την παρακάτω σχέση, σύμφωνα με την σύμβαση της θεωρητικά δυσμενέστερης περίπτωσης που υιοθετήθηκε:

$$\frac{V_{HFC}^{\acute{\epsilon}\xi\omega}}{V_{HFC}^{\acute{\epsilon}\xi\omega} + V_{AEPA}^{\acute{\epsilon}\xi\omega}} = \frac{C}{100} \quad \Rightarrow \quad V_{HFC}^{\acute{\epsilon}\xi\omega} + V_{AEPA}^{\acute{\epsilon}\xi\omega} = V_{HFC}^{\acute{\epsilon}\xi\omega} \cdot \frac{100}{C} \quad (2)$$

Όπου C είναι η συγκέντρωση σχεδίασης του αέριου.

Επίσης, σύμφωνα με την απαίτηση της συγκέντρωσης σχεδίασης, πρέπει:

$$\frac{V_{HFC}^{\acute{\mu}\acute{\epsilon}\sigma\alpha}}{V_{HFC}^{\acute{\mu}\acute{\epsilon}\sigma\alpha} + V_{AEPA}^{\acute{\mu}\acute{\epsilon}\sigma\alpha}} = \frac{V_{HFC}^{\acute{\mu}\acute{\epsilon}\sigma\alpha}}{V} = \frac{C}{100} \quad (3)$$

Προσθέτοντας κατά μέλη τις σχέσεις (1) και (2), προκύπτει:

$$V_{HFC}^{\acute{\mu}\acute{\epsilon}\sigma\alpha} + V_{AEPA}^{\acute{\mu}\acute{\epsilon}\sigma\alpha} + V_{HFC}^{\acute{\epsilon}\xi\omega} + V_{AEPA}^{\acute{\epsilon}\xi\omega} = V + V_{HFC}^{\acute{\epsilon}\xi\omega} \cdot \frac{100}{C}$$

Λαμβάνοντας υπόψη την αρχή διατήρησης της μάζας από την προηγούμενη σχέση έπεται ότι:

$$V_{HFC} + V_{AEPA} = V + V_{HFC}^{\acute{\epsilon}\xi\omega} \cdot \frac{100}{C}$$

Όμως,

$$V_{AEPA} = V$$

Οπότε,

$$V_{HFC} = V_{HFC}^{\acute{\epsilon}\xi\omega} \cdot \frac{100}{C} \quad (4)$$

Επεξεργαζόμενοι τώρα την σχέση (3) και λαμβάνοντας υπόψη την αρχή διατήρησης της μάζας προκύπτει ότι:

$$\frac{V_{HFC}^{μέσα}}{V} = \frac{C}{100} \Rightarrow \frac{V_{HFC} - V_{HFC}^{έξω}}{V} = \frac{C}{100} \Rightarrow$$

$$V_{HFC}^{έξω} = V_{HFC} - V \cdot \frac{C}{100} \quad (5)$$

Τέλος, αντικαθιστώντας την σχέση (5) στην σχέση (4), εξάγεται ότι:

$$V_{HFC} = \left( V_{HFC} - V \cdot \frac{C}{100} \right) \cdot \frac{100}{C} \Rightarrow V_{HFC} = V_{HFC} \cdot \frac{100}{C} - V \Rightarrow$$

$$V_{HFC} \left( \frac{100 - C}{C} \right) = V \Rightarrow V_{HFC} = \frac{V}{\left( \frac{100 - C}{C} \right)} \Rightarrow$$

$$V_{HFC} = V \cdot \left( \frac{C}{100 - C} \right)$$

Για να υπολογιστεί, τελικά η επιθυμητή ποσότητα HFC-227ea, αρκεί να αντικατασταθεί η σχέση που συνδέει τον όγκο του αερίου με την αντίστοιχη μάζα δηλαδή η σχέση  $V_{HFC} = W \cdot s$  στον παραπάνω τύπο, οπότε προκύπτει:

$$W = \frac{V}{s} \left( \frac{C}{100 - C} \right)$$

Η παραπάνω σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της αναγκαίας ποσότητας HFC-227ea.

Ωστόσο, για να γίνει ακόμα πιο απλή η διαδικασία σχεδιασμού του συστήματος, υπάρχουν πίνακες που παρουσιάζουν την τιμή της αναγκαίας ποσότητας αερίου ανά κυβικό μέτρο προστατευόμενου χώρου, ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη συγκέντρωση σχεδίασης. Στους πίνακες αυτούς δίνονται οι τιμές της θερμοκρασίας, του ειδικού όγκου που αντιστοιχεί σε κάθε θερμοκρασία, καθώς και οι τιμές της

αναγκαίας ποσότητας HFC-227ea που αντιστοιχούν σε κάθε θερμοκρασία και κάθε συγκέντρωση σχεδίασης.

Δηλαδή, παρουσιάζεται η τιμή του W/V για διάφορες τιμές της θερμοκρασίας και της απαιτούμενης συγκέντρωσης που συναντώνται στην πράξη [4,12,13]. Ενδεικτικά στοιχεία παρουσιάζονται στη συνέχεια στον Πίνακα 4.2.1.2-2.

**Πίνακας 4.2.1.2-2: Αναγκαία ποσότητα HFC-227ea [12].**

Θερμοκρασία <i>T</i>	ειδικός όγκος <i>S</i>	Απαιτούμενη μάζα HFC-227ea ανά μονάδα όγκου του προστατευόμενου χώρου (kg/m <sup>3</sup> )									
		συγκέντρωση σχεδίασης									
°C	m <sup>3</sup> /kg	6 %	7 %	8 %	9 %	10 %	11 %	12 %	13 %	14 %	15 %
-10	0,1215	0,5254	0,6196	0,7158	0,8142	0,9147	1,0174	1,1225	1,2301	1,3401	1,4527
-5	0,1241	0,5142	0,6064	0,7005	0,7967	0,8951	0,9957	1,0985	1,2038	1,3114	1,4216
0	0,1268	0,5034	0,5936	0,6858	0,7800	0,8763	0,9748	1,0755	1,1785	1,2839	1,3918
5	0,1294	0,4932	0,5816	0,6719	0,7642	0,8586	0,9550	1,0537	1,1546	1,2579	1,3636
10	0,1320	0,4834	0,5700	0,6585	0,7490	0,8414	0,9360	1,0327	1,1316	1,2328	1,3364
15	0,1347	0,4740	0,5589	0,6457	0,7344	0,8251	0,9178	1,0126	1,1096	1,2089	1,3105
20	0,1373	0,4650	0,5483	0,6335	0,7205	0,8094	0,9004	0,9934	1,0886	1,1859	1,2856
25	0,1399	0,4564	0,5382	0,6217	0,7071	0,7944	0,8837	0,9750	1,0684	1,1640	1,2618
30	0,1425	0,4481	0,5284	0,6104	0,6943	0,7800	0,8676	0,9573	1,0490	1,1428	1,2388
35	0,1450	0,4401	0,5190	0,5996	0,6819	0,7661	0,8522	0,9402	1,0303	1,1224	1,2168
40	0,1476	0,4324	0,5099	0,5891	0,6701	0,7528	0,8374	0,9239	1,0124	1,1029	1,1956
45	0,1502	0,4250	0,5012	0,5790	0,6586	0,7399	0,8230	0,9080	0,9950	1,0840	1,1751
50	0,1527	0,4180	0,4929	0,5694	0,6476	0,7276	0,8093	0,8929	0,9784	1,0660	1,1555
55	0,1553	0,4111	0,4847	0,5600	0,6369	0,7156	0,7960	0,8782	0,9623	1,0484	1,1365
60	0,1578	0,4045	0,4770	0,5510	0,6267	0,7041	0,7832	0,8641	0,9469	1,0316	1,1183
65	0,1604	0,3980	0,4694	0,5423	0,6167	0,6929	0,7707	0,8504	0,9318	1,0152	1,1005
70	0,1629	0,3919	0,4621	0,5338	0,6072	0,6821	0,7588	0,8371	0,9173	0,9994	1,0834
75	0,1654	0,3859	0,4550	0,5257	0,5979	0,6717	0,7471	0,8243	0,9033	0,9841	1,0668
80	0,1679	0,3801	0,4482	0,5178	0,5890	0,6617	0,7360	0,8120	0,8898	0,9694	1,0509
85	0,1704	0,3745	0,4416	0,5102	0,5803	0,6519	0,7251	0,8000	0,8767	0,9551	1,0354
90	0,1730	0,3690	0,4351	0,5027	0,5717	0,6423	0,7145	0,7883	0,8638	0,9411	1,0202
95	0,1755	0,3638	0,4290	0,4956	0,5636	0,6332	0,7044	0,7771	0,8516	0,9277	1,0057
100	0,1780	0,3587	0,4229	0,4886	0,5557	0,6243	0,6945	0,7662	0,8396	0,9147	0,9916

**4.2.1.3. Συντελεστές σχεδίασης (διορθωτικοί)**

Εκτός από την αναγκαία ποσότητα αερίου, που προκύπτει από τις απαιτήσεις της συγκέντρωσης σχεδίασης, επιπλέον ποσότητες HFC-227ea απαιτούνται, εκφραζόμενες μέσω των συντελεστών σχεδίασης, οι οποίες αντισταθμίζουν ειδικές συνθήκες που μπορούν να επιδράσουν στην αποδοτικότητα του πυροσβεστικού συστήματος. Στόχος, λοιπόν, της χρήσης συντελεστών σχεδίασης είναι η αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος. Στη βιβλιογραφία [4], δίνονται ορισμένοι συντελεστές.

Ωστόσο, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν συντελεστές σχεδίασης για ιδιάζουσες συνθήκες ή απαιτήσεις που συναντώνται σε ειδικές εφαρμογές, στις οποίες ίσως απαιτούνται μεγαλύτερες ποσότητες HFC-227ea, ώστε να εξασφαλιστεί η πλήρης κατάσβεση της πυρκαγιάς. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται κάποιες ιδιαιτερότητες, που ίσως απαιτούν την χρήση συντελεστών σχεδίασης.

#### (α) Ασφράγιστα ανοίγματα:

Ιδιαίτερη προσοχή ως προς την απαιτούμενη ποσότητα αερίου πρέπει να δοθεί, όταν ο προστατευόμενος χώρος δεν είναι δυνατόν να σφραγιστεί πλήρως πριν την κατάκλυση του HFC-227ea. Πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάποια μέθοδος, κατά την σχεδίαση του συστήματος, που να υπολογίζει την απώλεια του αερίου και να την αντισταθμίζει.

Η αναπλήρωση της ποσότητας διαρροής μπορεί να αντισταθμιστεί κατά ένα τρόπο επεκτείνοντας τον χρόνο κατάκλυσης, ο οποίος με την σειρά του εκτείνει τον χρόνο εφαρμογής του HFC-227ea. Μια μέθοδος που προσδιορίζει την επιπρόσθετη αυτή ποσότητα του αερίου μπορεί να διεξαχθεί χρησιμοποιώντας δοκιμή της πληρότητας του χώρου (π.χ. Door Fan Test).

Όταν προσθέτονται επιπλέον ποσότητες HFC-227ea για να αναπληρωθούν οι διαρροές του, πρέπει να επεκταθεί ο χρόνος κατάκλυσης, ώστε η επιθυμητή συγκέντρωση να διατηρηθεί στον χώρο για μεγαλύτερη χρονική περίοδο. Ο χρόνος κατάκλυσης, που θα παρουσιαστεί σε επόμενη ενότητα, αφορά στην απαιτούμενη ποσότητα αερίου για χώρους χωρίς διαρροές. Εάν δεν επεκταθεί ο χρόνος κατάκλυσης για τις επιπλέον ποσότητες αερίου, θα αυξηθεί ο ρυθμός απωλειών μέσω των ασφράγιστων ανοιγμάτων.

#### (β) Γεωμετρία του προστατευόμενου χώρου

Όταν η γεωμετρία του χώρου είναι ασυνήθιστη, η διανομή του HFC-227ea στον χώρο καθορίζεται από τον τρόπο τοποθέτησης των ακροφυσίων. Έτσι, σε περίπτωση που η διανομή του αερίου δεν γίνεται σε ικανοποιητικό βαθμό, θα πρέπει να προβλέπεται μεγαλύτερη συγκέντρωση του πυροσβεστικού μέσου.

Παράδειγμα ασυνήθιστης γεωμετρίας είναι χώροι με πολύ μεγάλο ή πολύ μικρό λόγο μήκος/πλάτος.

**(γ) Εμπόδια εντός του χώρου**

Οι βασικοί προβληματισμοί αυτής της κατηγορίας είναι οι επόμενοι:

- Ο όγκος του προστατευόμενου χώρου υπολογίζεται συνήθως θεωρώντας τον χώρο κενό. Εξαιρέσεις μπορούν να γίνουν μόνο για δομικά και κατασκευαστικά στοιχεία.
- Για μικρούς χώρους, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή σε αντικείμενα εντός του χώρου, τα οποία καταλαμβάνουν μεγάλο ποσοστό του όγκου του χώρου. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να ελεγχθεί εάν η μείωση του όγκου, μετά την τοποθέτησή τους, επηρεάζει την συγκέντρωση του αερίου, οδηγώντας την από επίπεδα κάτω του NOAEL σε επίπεδα πάνω του LOAEL, για επανδρωμένους χώρους. Ωστόσο, θα πρέπει να υπάρχει και ένας συμβιβασμός ανάμεσα στον προβληματισμό αυτό και την ανάγκη για ικανοποιητική συγκέντρωση αερίου ακόμα και σε περίπτωση που ο χώρος είναι κενός.
- Εμπόδια, όπως αγωγοί, καλώδια, ελαφριές κατασκευές κ.τ.λ., που βρίσκονται κοντά στα ακροφύσια μπορούν να δυσκολέψουν την κατάκλιση του αερίου και να επιδράσουν στην διανομή του εντός του χώρου. Για παράδειγμα, αν τα εμπόδια αυτά οδηγούν το αέριο προς το πάτωμα, τότε δεν θα υπάρξει η αναγκαία συγκέντρωση του αερίου στα υψηλά και κεντρικά μέρη του χώρου και πιθανώς τελικά να υπάρξει ανομοιόμορφη διασπορά και συγκέντρωση του HFC-227ea.

**(δ) Πλήθος των T-διακλαδωτών**

Όταν χρησιμοποιείται μόνο μία εγκατάσταση με HFC-227ea, για να αντιμετωπίσει πολλούς κινδύνους (σε διαφορετικούς χώρους), πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο T-συντελεστής σχεδίασης, ο οποίος ονομάζεται έτσι, γιατί χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου το σύστημα σωληνώσεων διακλαδίζεται, με χρήση T-διακλαδωτών.

Ο συντελεστής αυτός, χρησιμοποιείται για να αντισταθμίσει, αυξάνοντας την ποσότητα του αερίου, την ενδεχόμενη άνιση κατανομή του αερίου μεταξύ των δύο «εξόδων» του T. Επομένως, δεν λαμβάνει υπόψη τα T που διανέμουν το αέριο εντός του ίδιου χώρου, καθώς θεωρείται ότι η μίξη του αερίου, μετά την κατάκλυση, αντισταθμίζει οποιαδήποτε ανισοκατανομή προκληθείσα από τα T.

Προκειμένου να υπολογιστεί ο συντελεστής αυτός, πρέπει πρώτα από όλα να καθορισθεί το πλήθος των σχηματιζόμενων T για κάθε έναν από τους προστατευόμενους χώρους-κινδύνους. Μια διαδικασία υπολογισμού του αριθμού των σχηματιζόμενων T και του αντίστοιχου συντελεστή μπορεί να αναζητηθεί στη σχετική βιβλιογραφία [4]. Η διαδικασία περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Ξεκινώντας από το σημείο όπου οι σωληνώσεις του πυροσβεστικού συστήματος εισέρχονται στον (κλειστό) χώρο του κινδύνου, μετράται το πλήθος των T, ακολουθώντας το σύστημα σωληνώσεων μέχρι το σημείο αποθήκευσης του αερίου. Σημειώνεται πως δεν πρέπει να ληφθούν υπόψη τα T που χρησιμοποιούνται πολλαπλά.
- Οποιοδήποτε T εντός του συγκεκριμένου προστατευόμενου χώρου τροφοδοτεί με αέριο άλλους προστατευόμενους χώρους, πρέπει να ληφθεί υπόψη.
- Όταν ένας χώρος, δεν προστατεύεται από ένα μοναδικό «μονοπάτι» σωληνώσεων, τότε επιλέγεται το μονοπάτι με τα περισσότερα T (σύμφωνα με τους δυο παραπάνω κανόνες).

Με αυτόν τον τρόπο, έχει υπολογιστεί το πλήθος των T για όλους τους κινδύνους. Τιμές του T-συντελεστή σχεδίασης δίνονται ενδεικτικά στον πίνακα 4.2.1.3-1.



**Πίνακας 4.2.1.3-1:** T-συντελεστής σχεδίασης [12].

Πλήθος T-διακλαδώσεων	T-συντελεστής σχεδίασης
0-4	0.00
5	0.01
6	0.02
7	0.03
8	0.04
9	0.05
10	0.06
11	0.07
12	0.07
13	0.08
14	0.09
15	0.09
16	0.10
17	0.11
18	0.11
19	0.12

ε) (Ατμοσφαιρική) πίεση του προστατευόμενου χώρου

Ο ειδικός όγκος που χρησιμοποιείται στις διάφορες σχέσεις και συνεπώς η ποσότητα του αερίου, είναι υπολογισμένα για πίεση 1atm. Ωστόσο, σε πολλές εφαρμογές η ατμοσφαιρική πίεση είναι διαφορετική είτε λόγω υψόμετρου, είτε λόγω καιρικής βαρομετρικής μεταβολής, είτε λόγω τεχνητής υπερπίεσης ή υποπίεσης (π.χ. θάλαμοι δοκιμών). Υπάρχουν και περισσότερο πολύπλοκοι προβληματισμοί, όπως για παράδειγμα η εφαρμογή σε ένα ορυχείο, το οποίο βρίσκεται κάτω από το επίπεδο του εδάφους, οπότε αλλάζει η υψομετρική πίεση, αλλά ταυτόχρονα απαιτείται η δημιουργία αναγκαίων συνθηκών πίεσεως (μέσω εξαερισμού), ώστε να μπορούν να δουλεύουν οι εργαζόμενοι. Οπότε, η περιβαλλοντική πίεση θα είναι διαφορετική από αυτή που αναμένεται από την

απλή διόρθωση της πίεσης λόγω υψόμετρου. Σε τέτοιες εφαρμογές, λοιπόν, θα πρέπει να αναπροσαρμοστεί η απαιτούμενη ποσότητα του HFC-227ea ώστε να αντιστοιχεί στις πραγματικές συνθήκες πίεσεως. Η εφαρμογή διορθωτικού συντελεστή μπορεί να γίνει για οποιαδήποτε περιβαλλοντική πίεση.

Στη βιβλιογραφία [4] προτείνεται ο τρόπος υπολογισμού ενός τέτοιου διορθωτικού συντελεστή. Στη σχετική βιβλιογραφία [4,12] δίνονται με την μορφή πινάκων οι διάφορες τιμές αυτού του συντελεστή. Ενδεικτικά, κάποιες τιμές δίνονται στον Πίνακα 4.2.1.3-2.

**Πίνακας 4.2.1.3-2:** Διορθωτικός συντελεστής πίεσης, ενδεικτικά [12].

Ισοδύναμο υψόμετρο (m)	Διορθωτικός συντελεστής (για ιδανικά αέρια)
-1000	1,130
0	1,000
1000	0,885
1500	0,830
2000	0,785
2500	0,735
3000	0,690
3500	0,650
4000	0,610
4500	0,565

#### (στ) Επιπρόσθετοι συντελεστές σχεδίασης

Ο σχεδιαστής ενός πυροσβεστικού συστήματος ολικής κατάκλισης θα πρέπει να εισάγει στην μελέτη, αν είναι αναγκαίο, επιπλέον συντελεστές σχεδίασης για κάθε ένα από τα παρακάτω, όπως έχει ήδη αναφερθεί:

- Ασφράγιστα ανοίγματα του χώρου και η επίδραση τους στην διανομή και συγκέντρωση του αερίου.
- Αναζωπύρωση της πυρκαγιάς εξαιτίας θερμών επιφανειών.
- Τύπος των καυσίμων, υποθέσεις-καταστάσεις οι οποίες δεν έχουν συνυπολογισθεί πλήρως κατά τον προσδιορισμό της απαιτούμενης

συγκέντρωσης του αερίου, γεωμετρία του χώρου και διάφορα εμπόδια που επηρεάζουν την κατανομή του αερίου στον χώρο.

#### **4.2.1.4. Επιπλέον ποσότητα HFC-227ea**

Σε ορισμένες περιπτώσεις ίσως απαιτείται, μετά την κύρια εκτόνωση, (δευτερεύουσα) εκτόνωση επιπλέον ποσότητας αερίου (ώστε να αναπληρώνονται συνεχώς πιθανές απώλειες κ.τ.λ.) προκειμένου η συγκέντρωση του αερίου να διατηρηθεί στο χώρο στα επιθυμητά επίπεδα, για προκαθορισμένη και συγκεκριμένη χρονική διάρκεια. Η ποσότητα αυτή θα πρέπει να εκτονωθεί με τον ίδιο ρυθμό όπως η κύρια εκτόνωση ή με μειωμένο ρυθμό. Η εκτόνωση της επιπλέον ποσότητας αερίου μπορεί να γίνει είτε μέσω του ίδιου συστήματος σωληνώσεων και ακροφύσιων, αν ο ρυθμός εκτόνωσης είναι ο ίδιος, είτε μέσω διαφορετικού συστήματος, αν ο ρυθμός εκτόνωσης της επιπλέον ποσότητας είναι διαφορετικός. Ωστόσο, η ένταση της δευτερεύουσας εκτόνωσης θα πρέπει να είναι αρκετή, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μίξη των νέων ποσοτήτων HFC-227ea με τις υπάρχουσες, ώστε να υπάρχει σχετικά ομοιόμορφη κατανομή στον χώρο. Τονίζεται ότι η πραγματική λειτουργία του συστήματος εκτόνωσης επιπλέον ποσότητας αερίου προσδιορίζεται συνήθως από δοκιμές. Τέλος, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην ανθρώπινη υγεία και γενικά στην ασφάλεια τόσο του προσωπικού όσο και του εξοπλισμού, σε περιπτώσεις όπου απαιτείται εκτόνωση επιπλέον ποσότητας HFC-227ea.

#### **4.2.1.5. Εφεδρία και ποιότητα του HFC-227ea**

Η ποσότητα του HFC-227ea, όπως περιγράφεται παραπάνω, πρέπει να είναι ικανή να κατασβήσει τη δυσμενέστερη περίπτωση κινδύνου που προβλέπεται να αναπτυχθεί στους προστατευόμενους χώρους ή τη περίπτωση που προκύπτει από συνδυασμό κινδύνων οι οποίοι πρέπει να αντιμετωπιστούν ταυτοχρόνως. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτείται εφεδρία στην ποσότητα του πυροσβεστικού αερίου, κυρίως για λόγους αξιοπιστίας του συστήματος. Οι πιο συνηθισμένοι λόγοι ύπαρξης εφεδρίας είναι οι ακόλουθοι:

- Προστασία σε περίπτωση αναζωπύρωσης.
- Προστασία σε περίπτωση δυσλειτουργίας του κύριου συστήματος παροχής.
- Προστασία σε περίπτωση μειωμένης ικανότητας του συστήματος, π.χ. κατά την διάρκεια αντικατάστασης κάποιας κύριας φιάλης αποθήκευσης.

Η εφεδρία εξασφαλίζεται συνήθως χρησιμοποιώντας μεγαλύτερη ποσότητα αερίου σε σχέση με αυτή που πραγματικά χρειάζεται στην εγκατάσταση. Το μέγεθος της εφεδρίας καθορίζεται συνήθως από τον αρμόδιο φορέα. Η ενεργοποίηση του εφεδρικού συστήματος παροχής μπορεί να γίνει είτε χειροκίνητα είτε μέσω ηλεκτρικού ή πνευματικού συστήματος. Τέλος, σε περιπτώσεις στις οποίες απαιτείται αδιάλειπτη προστασία, τόσο το κύριο σύστημα παροχής όσο και το εφεδρικό είναι μόνιμα συνδεδεμένα στο δίκτυο διανομής του HFC-227ea.

Εκτός από την ποσότητα, σημαντικός παράγοντας είναι και η ποιότητα του HFC-227ea. Ενδεικτικές απαιτήσεις για αλογονοποιημένα μέσα δίδονται στη σχετική βιβλιογραφία [4].

#### **4.2.1.6. Χρονική διάρκεια της προστασίας**

Κατά την διαδικασία κατάκλυσης του αερίου, είναι σημαντικό όχι μόνο να επιτευχθεί η αναγκαία συγκέντρωση, αλλά και να διατηρηθεί το αέριο εντός του χώρου για μια προκαθορισμένη χρονική διάρκεια, έτσι ώστε να επιτραπούν οι διαδικασίες έκτακτης ανάγκης από το εκπαιδευμένο προσωπικό και το κυριότερο να μην υπάρξει αναζωπύρωση της πυρκαγιάς. Το γεγονός αυτό αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τις πυρκαγιές όλων των κλάσεων, καθώς μια παραμένουσα πηγή ανάφλεξης (όπως ένα ηλεκτρικό τόξο, μία θερμική πηγή, μια υποβόσκουσα φλόγα, ένας φανός ασετιλίνης κ.τ.λ.) μπορεί να οδηγήσει σε αναζωπύρωση του πραγματικού γεγονότος, όταν το πυροσβεστικό μέσο φύγει από τον χώρο (ή όταν μειωθεί η συγκέντρωσή του).

Είναι σημαντικό να προσδιοριστεί η αναμενόμενη χρονική περίοδος, κατά την διάρκεια της οποίας η συγκέντρωση του αερίου θα παραμείνει στα προβλεπόμενα επίπεδα εντός του προστατευόμενου χώρου, λόγω της πιθανής απώλειας του αερίου μέσω αναπόφευκτων ανοιγμάτων. Αυτή η χρονική περίοδος ονομάζεται

χρόνος διατήρησης (hold time). Για να προσδιοριστεί η τιμή της, ακολουθείται η διαδικασία που περιγράφεται στο πρότυπο ISO 14520 annex E [10,11], γνωστή ως Door Fan Test. Κατά την διαδικασία αυτή, σφραγίζονται όλα τα ανοίγματα του χώρου (π.χ. πόρτες, παράθυρα) και τοποθετείται στον χώρο μια συσκευή Door Fan. Η συσκευή αυτή παράγει μια μικρή θετική και αρνητική πίεση εντός του χώρου και μέσω αυτής της πίεσης υπολογίζει τον αθροιστικό όγκο των ανοιγμάτων που προκαλούν διαρροές. Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι όταν το πυροσβεστικό σύστημα τεθεί σε λειτουργία υπό πραγματικές συνθήκες κινδύνου, ο χώρος δέχεται δύο παλμούς μεταβολής της πίεσής του. Ο πρώτος παλμός είναι αρνητικός και προκαλείται από την απότομη μείωση της θερμοκρασίας του χώρου, λόγω της ατμοποίησης του HFC-227ea. Ο δεύτερος παλμός είναι θετικός και είναι αποτέλεσμα του όγκου του HFC-227 που έχει προστεθεί εντός του χώρου.

Προκειμένου να προσδιοριστεί ο χρόνος διατήρησης, ισοδύναμα, μπορεί να γίνει μια δοκιμή πλήρους εκτόνωσης και μέσω αυτής να υπολογιστεί με βάση τα παρακάτω κριτήρια:

- Στην αρχή του χρόνου διατήρησης, η συγκέντρωση του αερίου εντός του προστατευόμενου χώρου έχει την τιμή της συγκέντρωσης σχεδίασης.
- Στο τέλος του χρόνου διατήρησης, η συγκέντρωση του αερίου στο 10%, στο 50% και στο 90% του ύψους του δωματίου δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από την συγκέντρωση κατάσβεσης.

Τέλος, επισημαίνεται πως δεν πρέπει ο χρόνος διατήρησης να είναι μικρότερος από 10 λεπτά, εκτός και απαιτείται άλλο όριο από τον αρμόδιο φορέα.

#### **4.2.1.7. Χρονική διάρκεια εκτόνωσης**

Η βέλτιστη χρονική διάρκεια της εκτόνωσης του HFC-227ea είναι συναρτήσεως πολλών μεταβλητών. Οι επόμενες πέντε είναι οι κυριότερες, που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη:

- Περιορισμός των προϊόντων αποσύνθεσης.
- Περιορισμός των καταστροφών εξαιτίας της πυρκαγιάς.
- Αυξημένη μίξη πυροσβεστικών μέσων.

- Περιορισμός της υπερπίεσης εντός του χώρου προστασίας.
- Δευτερεύουσες επιδράσεις των ακροφυσίων.

Η επίδραση των προϊόντων θερμικής διάσπασης του HFC-227ea είναι ο παράγοντας που κατά κύριο λόγο καθιστά αναγκαίο τον περιορισμό της χρονικής διάρκειας της εκτόνωσης του αερίου. Κάποιες βασικές πληροφορίες, σχετικές με τα προϊόντα αυτά, έχουν δοθεί σε προηγούμενη ενότητα. Το σκεπτικό με βάση το οποίο συνδέεται η χρονική διάρκεια της εκτόνωσης του HFC-227ea με τα προϊόντα θερμικής διάσπασης είναι το ακόλουθο:

Η χρονική διάρκεια της εκτόνωσης του αερίου προσδιορίζει τη χρονική διάρκεια που το πυροσβεστικό μέσο εκτίθεται στη πυρκαγιά υπό συγκεντρώσεις μικρότερες από αυτές που μπορούν να σβήσουν την πυρκαγιά. Έτσι, την συγκεκριμένη χρονική περίοδο, το HFC-227ea θα βρίσκεται σε χώρο αυξημένης ενέργειας (θερμότητα), προκαλώντας την διάσπασή του και συνεπώς την παραγωγή αντίστοιχων προϊόντων (π.χ. υδροφθόριο). Όταν επέλθει η συγκέντρωση κατάσβεσης θα αρχίζει να «χάνεται» η απαραίτητη για την διάσπαση ενέργεια, λόγω σβέσης της πυρκαγιάς και θα μειωθεί η παραγωγή των προϊόντων θερμικής διάσπασης.

Απαιτείται, όμως, μειωμένη συγκέντρωση προϊόντων θερμικής διάσπασης, η οποία εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Συγκεκριμένα, με την ποσότητα των παραγόμενων προϊόντων διάσπασης συνδέονται τόσο η χρονική διάρκεια της εκτόνωσης του αερίου, όπως προαναφέρθηκε, όσο και το μέγεθος της πυρκαγιάς κατά την στιγμή της ενεργοποίησης του συστήματος πυρόσβεσης.

Όσο μικρότερη είναι η φωτιά, τόσο λιγότερη ενέργεια, σε μορφή θερμότητας, είναι διαθέσιμη, με αποτέλεσμα η παραγωγή προϊόντων, εξαιτίας της διάσπασης του πυροσβεστικού μέσου, να είναι περιορισμένη. Έτσι, αν η φωτιά είναι περιορισμένη την στιγμή της ενεργοποίησης του συστήματος, η συγκέντρωση των προϊόντων θερμικής διάσπασης θα είναι χαμηλή. Το μέγεθος της φωτιάς την στιγμή της ενεργοποίησης του συστήματος εξαρτάται και αυτό από κάποιους παράγοντες, οι οποίοι είναι α) ο ρυθμός εξάπλωσης της πυρκαγιάς, β) η ευαισθησία των αισθητήρων του συστήματος πυρανίχνευσης και γ) η χρονική καθυστέρηση του συστήματος πυρόσβεσης. Ο ρυθμός εξάπλωσης της πυρκαγιάς εξαρτάται από τα

καύσιμα υλικά και την γεωμετρία του χώρου και των υλικών, ενώ οι άλλοι δύο παράγοντες είναι χαρακτηριστικά του συνολικού συστήματος προστασίας (πυρανίχνευση και πυρόσβεση). Επομένως, κατά μια έννοια, το μέγεθος της πυρκαγιάς κατά την στιγμή της ενεργοποίησης του συστήματος είναι προκαθορισμένο. Άρα, είναι λογικό, να στηριχθεί κανείς στην μείωση της χρονικής διάρκειας τόσο της εκτόνωσης του αερίου όσο και της ανίχνευσης της πυρκαγιάς, για την μείωση της παραγωγής (και της συγκέντρωσης) προϊόντων θερμικής διάσπασης.

Παραδοσιακά, λοιπόν, στα συστήματα πυροπροστασίας εφαρμόζεται ένας συνδυασμός ταχείας ανίχνευσης και ταχείας εκτόνωσης του αερίου, ώστε να περιοριστούν τόσο τα προϊόντα θερμικής διάσπασης όσο και οι καταστροφές από την πυρκαγιά, μέσω της άμεσης κατάσβεσης της φλόγας.

Η συγκέντρωση των προϊόντων θερμικής διάσπασης, όπως είναι λογικό, εξαρτάται άμεσα και από τον όγκο του κλειστού χώρου, στον οποίο έχει αναπτυχθεί ο κίνδυνος. Για δεδομένο μέγεθος πυρκαγιάς, άρα και δεδομένη ποσότητα παραγόμενων προϊόντων θερμικής διάσπασης, μεγαλύτερος όγκος του χώρου συνεπάγεται μικρότερη συγκέντρωση των προϊόντων αυτών, καθώς αυτά θα εξαπλωθούν σε ολόκληρο τον χώρο.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την συγκέντρωση των προϊόντων θερμικής διάσπασης είναι η ατμοποίηση, η μίξη και η συγκέντρωση του πυροσβεστικού μέσου, η χρονική διάρκεια πριν την ανάφλεξη και η παρουσία θερμών επιφανειών ή μικρών εστιών που υποβόσκουν.

Από την άλλη πλευρά, πρέπει να αναφερθεί πως η επιλογή πολύ μικρής τιμής για την μέγιστη χρονική διάρκεια εκτόνωσης εγκυμονεί και αυτή τους δικούς της κινδύνους, μικρότερης επικινδυνότητας, αλλά άξιους προσοχής. Τέτοιοι κίνδυνοι, για το προσωπικό και τον εξοπλισμό, είναι η δημιουργία «βλημάτων» λόγω της πολύ μεγάλης ταχύτητας της εκτόνωσης, υψηλότερα επίπεδα θορύβου, υψηλότερη αναταραχή μέσα στον χώρο κ.τ.λ.

Στη βιβλιογραφία [4] δίνεται το χρονικό όριο εκτόνωσης του αερίου, εντός του οποίου ένα σημαντικό ποσοστό (π.χ. 95%) της ποσότητας του HFC-227ea (της ποσότητας που απαιτείται προκειμένου να εξασφαλιστεί η απαραίτητη συγκέντρωση κατάσβεσης, λαμβάνοντας και ένα συντελεστή ασφαλείας) να έχει εκτονωθεί από τα ακροφύσια, για συγκεκριμένη θερμοκρασία χώρου. Ωστόσο, ο αρμόδιος φορέας μπορεί να θέσει άλλο όριο. Και εδώ είναι αναγκαία η μελέτη και ο υπολογισμός της ροής του υγροποιημένου αερίου. Για αρκετά πυροσβεστικά μέσα ο υπολογισμός της χρονικής στιγμής, μέχρι την οποία έχει εκτονωθεί ένα συγκεκριμένο ποσοστό της ποσότητας του αερίου είναι εξαιρετικά δύσκολος. Σε τέτοιες περιπτώσεις οι μετρήσεις αντικαθίστανται από άλλες, βασισμένες σε διάφορους κανόνες μηχανικής. Για μερικά αλογοναθρακικά μέσα, η χρονική αυτή στιγμή θεωρείται ότι είναι η στιγμή που το μέσο αρχίζει να εκτονώνεται υπό βασικά αέρια μορφή, ενώ έως εκείνη την στιγμή εκτονωνόταν υπό βασικά υγρή μορφή. Δηλαδή, προσεγγιστικά, η διάρκεια εκτόνωσης του αερίου, είναι το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από την στιγμή εμφάνισης της πρώτης σταγόνας του υγροποιημένου αερίου στα ακροφύσια, μέχρι την στιγμή που η εκτόνωση γίνεται κατά κύριο λόγο υπό αέρια μορφή. Ωστόσο, όταν το σημείο βρασμού του μέσου είναι χαμηλό, η εν λόγω στιγμή μπορεί χρονικά να τοποθετείται μετά την παραπάνω αναφερθείσα χρονική στιγμή.

Όταν σκοπός του συστήματος είναι η αδρανοποίηση της ατμόσφαιρας, ώστε να αντιμετωπιστεί ο κίνδυνος έκρηξης, τότε η εκτόνωση του αερίου θα πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο, ώστε η απαραίτητη συγκέντρωση αδρανοποίησης να επιτευχθεί προτού οι εύφλεκτοι ατμοί υπάρξουν σε βαθμό που να επιτρέπουν την ανάφλεξη και την έκρηξη. Πιο συγκεκριμένα, η εκτόνωση του αερίου γίνεται, πριν παρατηρηθεί ανάφλεξη, μέσω την ανίχνευσης συγκεκριμένου ποσοστού της ελάχιστης συγκέντρωσης ανάφλεξης των παρόντων ατμών.

Όταν απαιτείται επιπλέον ποσότητα αερίου, ώστε η απαραίτητη συγκέντρωση του αερίου να διατηρηθεί στο χώρο για προκαθορισμένη και συγκεκριμένη χρονική διάρκεια, θα πρέπει η συνολική πραγματική (κύρια και δευτερεύουσα) εκτόνωση να επιτευχθεί εντός των χρονικών ορίων που περιγράφηκαν παραπάνω.



### **4.2.2. Σχεδιασμός του συστήματος**

Στη προηγούμενη ενότητα παρουσιάστηκε η μέθοδος υπολογισμού της απαιτούμενης ποσότητας του αερίου. Ωστόσο, στα πραγματικά πυροσβεστικά συστήματα, το αέριο θα πρέπει να είναι αποθηκευμένο με κάποιο τρόπο, έτσι ώστε να εκτονωθεί όποτε ζητηθεί. Αυτή η διαδικασία, προκειμένου να διεξαχθεί όπως απαιτείται, προϋποθέτει την σωστή σχεδίαση του συστήματος. Το σύστημα αποτελείται κυρίως από τα ακροφύσια, τα οποία εκτονώνουν το αέριο εντός του χώρου, τις φιάλες στις οποίες γίνεται η αποθήκευση του HFC-227ea και τις διάφορες σωληνώσεις, που χρησιμεύουν στην μετακίνηση του αερίου από τις φιάλες προς τα ακροφύσια.

#### **4.2.2.1. Επιλογή της μεθόδου διανομής και της τεχνικής για τη σχεδίαση του συστήματος**

Η διανομή του HFC-227ea, μέσω των σωληνώσεων, εντός του προστατευόμενου χώρου (ίσως να είναι και περισσότεροι από ένας) μπορεί να διεξαχθεί μέσω μίας, ή περισσότερων, από τις ακόλουθες μεθόδους διανομής:

- *Προ-Μηχανοποιημένο Σύστημα (Pre-Engineered System).*
- *Μηχανοποιημένο Σύστημα (Engineered System).*
- *Διανεμημένο Σύστημα (Modular System).* Μπορεί είναι Προ-Μηχανοποιημένο ή Μηχανοποιημένο Σύστημα.
- *Σύστημα Κεντρικής Αποθήκευσης (Central Storage System).* Μπορεί είναι Προ-Μηχανοποιημένο ή Μηχανοποιημένο Σύστημα.

Η επιλογή της μεθόδου που τελικά θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως ο χρόνος εγκατάστασης, η ποσότητα του HFC-227ea, διάφορα οικονομικά κριτήρια, το πλήθος των προστατευόμενων χώρων, ο διαθέσιμος χώρος για την τοποθέτηση των φιαλών αποθήκευσης του αερίου, τυχόν προτιμήσεις του ιδιοκτήτη κ.τ.λ. Μεγάλες σε έκταση εφαρμογές ίσως απαιτούν περισσότερες από μία μεθόδους. Προκειμένου να γίνει σωστή επιλογή της μεθόδου, ο μελετητής θα πρέπει να γνωρίζει τόσο τις ίδιες τις μεθόδους, όσο και τα πλεονεκτήματα και τα

μειονεκτήματα καθεμίας. Στη συνέχεια δίνονται πληροφορίες για τις παραπάνω μεθόδους.

Τα *προ-μηχανοποιημένα συστήματα* είναι απλά στον σχεδιασμό τους και απαιτούν λίγο χρόνο για να εγκατασταθούν. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η διαμόρφωσή τους είναι τέτοια, ώστε να επιτρέπεται η ισορροπημένη ροή του πυροσβεστικού μέσου. Αυτή η μέθοδος ελαχιστοποιεί την συνεισφορά του μελετητή-μηχανικού στην σχεδίαση ενός αποτελεσματικού συστήματος, χρησιμοποιώντας καθορισμένες σειρές ακροφύσιων και στενά προσδιορισμένα κριτήρια σχεδίασης. Κατ' επέκταση η επιλογή των ακροφύσιων, οι διατομές των σωληνώσεων και ο περιορισμός ως προς το μήκος των σωληνώσεων είναι σε μεγάλο βαθμό προεπιλεγμένα. Αυτή η μέθοδος σχεδίασης μπορεί να συνδυαστεί είτε με διανεμημένη είτε με κεντρική αποθήκευση.

Τα *μηχανοποιημένα συστήματα* επιτρέπουν στον σχεδιαστή να δημιουργήσει το δικό του δίκτυο σωληνώσεων, το οποίο να ανταποκρίνεται στις εκάστοτε απαιτήσεις της εφαρμογής. Συνήθως, είναι απαραίτητη η χρήση λογισμικού υπολογισμού υδραυλικών ροών, για την μοντελοποίηση του συστήματος. Όπως είναι λογικό, αυτή η μέθοδος επιτρέπει μεγάλη ευελιξία στην εργασία του σχεδιαστή, απαιτεί όμως και περισσότερο χρόνο για την σχεδίαση ενός συστήματος. Τέλος, ένα μηχανοποιημένο σύστημα μπορεί, επίσης, να συνδυαστεί είτε με διανεμημένη είτε με κεντρική αποθήκευση.

Στα *διανεμημένα συστήματα*, οι φιάλες αποθήκευσης μπορούν να τοποθετηθούν οπουδήποτε στον προστατευόμενο χώρο ή γύρω από αυτόν, σε διάσπαρτες θέσεις. Έτσι, οι απαιτήσεις για σωληνώσεις μεγάλου μήκους μειώνονται. Από την άλλη όμως, αυξάνονται οι απαιτήσεις για ηλεκτρικά υλικά, καθώς πρέπει να προσεγγιστεί κάθε μεμονωμένη φιάλη, ώστε να ενεργοποιηθεί ο μηχανισμός έναυσής της. Η εφαρμογή διανεμημένου συστήματος είναι συχνά θεμιτή, ίσως και αναγκαία, για εφαρμογές μεγάλου μεγέθους, ώστε να εκμεταλλευθεί κανείς την μείωση της ανάγκης για σωληνώσεις και, επιπλέον, να αποφευχθεί ο μόχθος της μελέτης ενός πολύ μεγάλου συστήματος (πολλές διακλαδώσεις, που προκαλούν διαχωρισμό ροής του αερίου). Τέλος, σε μερικές περιπτώσεις είναι αναγκαία η εφαρμογή

τέτοιου συστήματος προκειμένου να μπορεί να πραγματοποιηθεί η ροή του πυροσβεστικού μέσου.

Στα συστήματα *κεντρικής αποθήκευσης* οι φιάλες αποθήκευσης τοποθετούνται όλες μαζί σε μία συγκεκριμένη θέση. Σε αντίθεση με τα διανεμημένα συστήματα, τα συστήματα κεντρικής αποθήκευσης, πολλές φορές, απαιτούν περισσότερες σωληνώσεις, αλλά μειώνουν την ανάγκη σε ηλεκτρικό υλικό, αφού η έναρξη της λειτουργίας του συστήματος γίνεται από ένα και μόνο σημείο. Τα εν λόγω συστήματα είναι γενικά πιο δύσκολα στην σχεδίαση, εξαιτίας των πολλών διακλαδώσεων της ροής του πυροσβεστικού μέσου και η εγκατάστασή τους είναι πιθανώς πιο δαπανηρή, εξαιτίας των περισσότερων σωληνώσεων. Επιπλέον, η εγκατάσταση συστήματος κεντρικής αποθήκευσης ίσως να είναι αισθητικά περισσότερο αποδεκτή από τον ιδιοκτήτη, ενώ γενικά είναι πιο εύκολη τόσο η συντήρησή τους όσο και η επισκευή τους.

#### **4.2.2.2. Τοποθέτηση ακροφυσίων και σχεδιασμός του δικτύου σωληνώσεων**

##### **A) Ακροφύσια**

Τα ακροφύσια τοποθετούνται προκειμένου, μέσω αυτών, να γίνει η εκτόνωση του αερίου στον χώρο. Έτσι, η σωστή επιλογή του τύπου ακροφυσίων που θα χρησιμοποιηθούν, το πλήθος τους και ο τρόπος τοποθέτησής τους παίζουν σημαντικό ρόλο στην σωστή λειτουργία του συστήματος πυρόσβεσης, αφού θα πρέπει να «εγκατασταθεί» η συγκέντρωση σχεδίασης σε ολόκληρο τον προστατευόμενο χώρο.

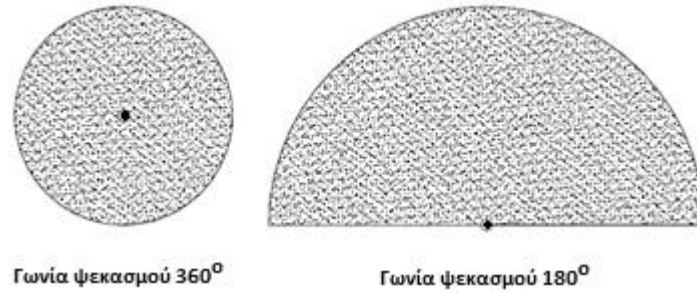
Το πλήθος τους καθορίζεται από το μέγεθος του κινδύνου που προβλέπεται ότι πρέπει να αντιμετωπιστεί, καθώς και από την διάταξη του συστήματος αλλά και την κάλυψη χώρου που θα αναλαμβάνει το κάθε ακροφύσιο.

Τα ακροφύσια εκτοξέυσεως του HFC-227ea είναι συνήθως κατασκευασμένα από αλουμίνιο ή ορείχαλκο και είναι κατάλληλα για την προβλεπόμενη πίεση λειτουργίας.

Παρότι το μέγεθος των ακροφυσίων πρέπει να είναι κατάλληλο για την εκτόξευση της συνολικής ποσότητας του αερίου στον προβλεπόμενο χρόνο, ενδεικτικά τα τέσσερα βασικά μεγέθη στα οποία τα ακροφύσια είναι διαθέσιμα είναι 1/2", 3/4", 1", 1-1/2".

Τα ακροφύσια ουσιαστικά είναι κεφαλές με μικρές οπές (συνήθως το πλήθος των οπών είναι δύο ή τέσσερις) από τις οποίες εκτονώνεται το αέριο και ρυθμίζονται ώστε να «ψεκάζουν» υπό γωνία 180° ή 360°. Η διάμετρος των οπών προσδιορίζεται από τους υπολογισμούς των ροών, μέσω κατάλληλου λογισμικού, με βάση την πίεση στο ακροφύσιο και την παροχή. Το βεληνεκές του εκάστοτε ακροφυσίου δίνεται από τον αντίστοιχο οίκο κατασκευής. Όταν ενδιαφέρει η βέλτιστη τοποθέτηση των ακροφυσίων, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ορισμένοι παράγοντες. Ο πιο ουσιώδης παράγοντας είναι το σχήμα του προστατευόμενου χώρου, καθώς και η ανάγκη για ομοιόμορφη κατανομή της ποσότητας του HFC-227ea στο σύνολο του προστατευόμενου όγκου, ώστε να επιτευχθεί παντού η απαραίτητη συγκέντρωση σχεδίασης. Επιπλέον, υπάρχουν περιορισμοί ως προς την διάταξη των ακροφυσίων. Η περιοχή προστασίας του κάθε ακροφυσίου δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από κάποιο συγκεκριμένο εμβαδό ανεξάρτητα με την γωνία ψεκασμού, ενώ ο προσανατολισμός τους θα πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να αποφεύγεται ο ψεκασμός προς γειτονικά αντικείμενα, προκειμένου να μην υπάρχει παρεμπόδιση στην εκτόνωση του αερίου. Και για τους δύο τύπους ακροφυσίων (180° και 360°) υπάρχει περιορισμός ως προς το ύψος του χώρου που προστατεύουν. Τέλος, τα ακροφύσια που ψεκάζουν σε γωνία 360° θα πρέπει να εγκατασταθούν όσο το δυνατόν πιο κοντά στην οροφή, ενώ αυτά που ψεκάζουν σε γωνία 180° θα πρέπει να τοποθετούνται κοντά σε τοίχους και να προσανατολίζονται ώστε να ψεκάζουν προς την προστατευόμενη περιοχή.

Ακολουθεί σχήμα που δείχνει πως πρέπει να είναι η περιοχή προστασίας που αναφέρθηκε παραπάνω:



**Σχήμα 4.2.2.2-1:** Περιοχή προστασίας ακροφυσίων [12].

### **B) Δίκτυο σωληνώσεων**

Η διανομή του πυροσβεστικού μέσου βασίζεται κυρίως σε δίκτυο σωληνώσεων, το οποίο περιλαμβάνει ένα πλήθος από εξαρτήματα. Μερικά παραδείγματα των εξαρτημάτων αυτών είναι ο συλλέκτης, οι βαλβίδες ελέγχου κ.τ.λ. τα οποία αναλύονται στην συνέχεια.

Στην περίπτωση συστοιχίας φιαλών χρησιμοποιείται συνήθως κατάλληλος συλλέκτης από γαλβανισμένο χαλυβδοσωλήνα χωρίς ραφή με αριθμό λήψεων όσες και οι φιάλες της συστοιχίας. Οι δύο πρώτες φιάλες περιλαμβάνουν ηλεκτρομαγνητική διάταξη, οδηγό για το αυτόματο άνοιγμα και την εκκένωση του συνόλου των φιαλών της συστοιχίας. Ο συλλέκτης χρησιμοποιείται προκειμένου να συνδεθούν πολλές φιάλες σε κοινό δίκτυο σωληνώσεων. Επίσης, σε συνδυασμό με βαλβίδες κατεύθυνσης δίνει τη δυνατότητα παροχής αερίου σε περισσότερους από έναν προστατευόμενους χώρους, καθώς επίσης και, εάν απαιτείται, διευθετεί τις φιάλες σε κύριες και εφεδρικές.

Οι βαλβίδες ελέγχου του συλλέκτη (βαλβίδες αντεπιστροφής) χρησιμοποιούνται για να αποτρέψουν την επιστροφή του HFC-227ea πίσω στις φιάλες κατά την διάρκεια της εκτόνωσής του. Επιπλέον, αποτρέπουν και την διαρροή σε περίπτωση που κάποια από τις φιάλες (σε συστήματα πολλών φιαλών) έχει αφαιρεθεί από την θέση της, π.χ. για λόγους συντήρησης. Όλες αυτές οι βαλβίδες ελέγχου είναι προεγκατεστημένες στο συλλέκτη.

Η βαλβίδα κατεύθυνσης τοποθετείται απευθείας στο δίκτυο των σωληνώσεων και αποτελείται συνήθως από τα ακόλουθα:

- Μια κανονικά κλειστή βαλβίδα μπίλιας.
- Ένα πνευματικό πιστόνι.
- Έναν ενεργοποιητή.
- Μια βαλβίδα αντεπιστροφής.
- Έναν εύκαμπτο σωλήνα-οδηγό.

Τα δίκτυα σωληνώσεων του HFC-227ea θα πρέπει να κατασκευάζονται σύμφωνα με τους εκάστοτε ισχύοντες κανονισμούς. Η διαμόρφωση του συστήματος σωληνώσεων καθορίζεται κυρίως από το σχήμα του προστατευόμενου χώρου αλλά και από τις θέσεις των ακροφύσιων. Οι σωληνώσεις, προτού εγκατασταθούν, θα πρέπει να καθαριστούν εσωτερικά χρησιμοποιώντας κατάλληλο μη εύφλεκτο καθαριστικό. Το δίκτυο σωληνώσεων πρέπει να είναι εγκατεστημένο κατάλληλα, ώστε να παρουσιάζει αντοχή στις δυνάμεις ώθησης που αναπτύσσονται από το ίδιο το HFC-227ea, ανοχή στην θερμική συστολή και διαστολή και να μην είναι ευάλωτο σε μηχανική, χημική ή άλλης μορφής καταπόνηση. Περισσότερες πληροφορίες δίνονται σε σχετική βιβλιογραφία [14]. Παρόλο που το δίκτυο σωληνώσεων δεν βρίσκεται συνεχώς υπό συνθήκες μεγάλης πίεσης (παρά μόνο κατά την διάρκεια της εκτόνωσης), πρέπει να είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να αντέχει την μέγιστη πίεση υπό την μέγιστη θερμοκρασία αποθήκευσης.

Τα βασικά στοιχεία ενός συστήματος σωληνώσεων είναι συνήθως:

1. Η μέγιστη πίεση που αναμένεται εντός των σωληνώσεων.
2. Το υλικό κατασκευής των σωλήνων, η δύναμη τάνυσης, η δύναμη θραύσης και οι περιορισμοί του υλικού ως προς την θερμοκρασία.
3. Οι μέθοδοι διασύνδεσης των σωλήνων (με βίδες, οξυγονοκόλληση, πάχτωση)
4. Η μέθοδος κατασκευής των σωλήνων π.χ. χωρίς κολλήσεις, ηλεκτροκόλληση (με χρήση ηλεκτρικής αντίστασης - electric resistance welded - ERW), θερμοκόλληση κλιβάνου.
5. Η διάμετρος των σωλήνων.
6. Το πάχος τοιχώματος του σωλήνα.

Η βασικότερη ίσως παράμετρος, ως προς την αντοχή των σωληνώσεων, είναι το πάχος του τοιχώματός τους. Στη βιβλιογραφία [4,14] δίνονται πληροφορίες για τον υπολογισμό του πάχους των σωληνώσεων.

Επίσης, θα πρέπει όλα τα εξαρτήματα και υλικά που χρησιμοποιούνται στο σύστημα σωληνώσεων, όπως σύνδεσμοι, μηχανισμοί ανάρτησης κ.τ.λ. να ικανοποιούν σχετικές απαιτήσεις.

Οι διασυνδέσεις μεταξύ των σωληνώσεων θα πρέπει να γίνονται και αυτές βάσει κανονισμών. Βασική απαίτηση είναι η ελάχιστη πίεση λειτουργίας της διασύνδεσης να είναι ίση ή μεγαλύτερη από την ελάχιστη πίεση λειτουργίας του συστήματος σωληνώσεων, σύμφωνα με όσα περιγράφηκαν. Τα υλικά κατασκευής τους θα πρέπει να είναι παρόμοια με αυτά των σωληνώσεων. Επιπλέον, όλες οι βίδες που χρησιμοποιούνται για τις διασυνδέσεις θα πρέπει να πληρούν κάποιες απαιτήσεις. Τα κράματα συγκόλλησης θα πρέπει να έχουν σημείο τήξης πάνω από κάποια συγκεκριμένη θερμοκρασία, ενώ οι συγκολλήσεις θα πρέπει να γίνονται βάσει αντιστοίχων απαιτήσεων.


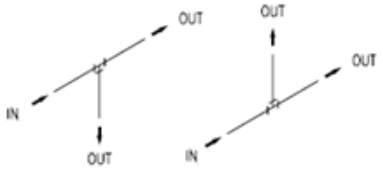


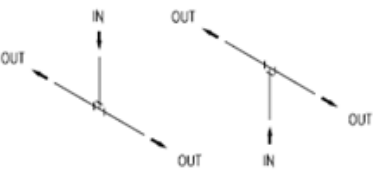
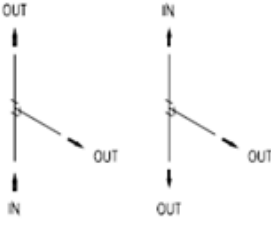
Όταν οι διασυνδέσεις που χρησιμοποιούνται δεν καλύπτονται από τους παραπάνω κανονισμούς, θα πρέπει, κατά την λειτουργία τους, να τηρούνται οι περιορισμοί που δίνει ο κατασκευαστής σε θερμοκρασία και πίεση.

Στη βιβλιογραφία [10, 11, 15, 16] μπορούν να αναζητηθούν ενδεικτικά στοιχεία για τις απαιτήσεις των εξαρτημάτων και υλικών, καθώς και για τις διασυνδέσεις ενός συστήματος σωληνώσεων.

Η διεύθυνση των T-διακλαδώτων είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην σωστή κατανομή του μέσου πυρόσβεσης προς κάθε κατεύθυνση. Γενικά, όταν η μία έξοδος είναι προσανατολισμένη κάθετα στον χώρο και η άλλη οριζόντια, τότε, λόγω βαρύτητας, το υγροποιημένο αέριο θα κατευθυνθεί κυρίως προς την κάθετη έξοδο, αν η φορά της ροής στην κάθετη έξοδο είναι προς τα κάτω και προς την οριζόντια έξοδο, αν η φορά ροής στην κάθετη έξοδο είναι προς τα πάνω. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η ανισοκατανομή του αερίου.

Ακολουθούν μερικά παραδείγματα σωστής και λανθασμένης εγκατάστασης των T-διακλαδωτών:

**Πίνακας 4.2.2.2-1:** Παραδείγματα εγκατάστασης T-διακλαδωτών.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΔΙΑΤΑΞΗΣ	ΣΩΣΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
SIDE-THRU		
BULLHEAD		
BULLHEAD		

### **4.2.3. Διαστασιολόγηση του συστήματος**

Η διαστασιολόγηση του συστήματος αφορά στον ακριβή προσδιορισμό διάφορων χαρακτηριστικών των εξαρτημάτων που το απαρτίζουν. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι, για παράδειγμα, η πίεση και η πυκνότητα πλήρωσης των φιαλών και η διατομή των σωληνώσεων.

#### **4.2.3.1. Φιάλες αποθήκευσης και παρελκόμενα εξαρτήματα**

Το HFC-227ea αποθηκεύεται σε φιάλες, οι οποίες σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς πρέπει να είναι ενιαίες και χωρίς συρραφές, κυρίως για να αποφευχθεί η πιθανή καταστροφή τους λόγω των υψηλών πιέσεων που αναπτύσσονται στο εσωτερικό τους και επιπλέον να είναι ικανές να αποθηκεύουν το HFC-227ea υπό κανονικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Το υλικό κατασκευής, οι



φλάντζες και άλλα εξαρτήματα της φιάλης θα πρέπει να είναι συμβατά με το HFC-227ea και σχεδιασμένα να αντέχουν στις υψηλές πιέσεις πλήρωσης. Κάθε φιάλη θα πρέπει να είναι εξοπλισμένη με συσκευή εκτόνωσης της πίεσης (ανακουφιστική βαλβίδα), σε περίπτωση που αναπτυχθούν πολύ υψηλές πιέσεις στο εσωτερικό της. Φιάλες που είναι συνδεδεμένες σε κοινό συλλέκτη θα πρέπει να έχουν το ίδιο μέγεθος και πυκνότητα αποθήκευσης. Συνήθεις όγκοι αποθήκευσης των φιαλών είναι 14, 27, 50, 75, 120, 150 λίτρα. Κάθε φιάλη φέρει ετικέτα, στην οποία αναγράφονται συνήθως το αέριο πλήρωσης της, η χωρητικότητα της φιάλης, η πίεση πλήρωσης, το βάρος του αποθηκευμένου HFC-227ea, το απόβαρο και το μεικτό βάρος.

Το HFC-227ea κατά την μεταφορά του μέσα σε μεγάλες φιάλες συνήθως είναι αμιγές. Η αυξημένη πίεση εντός αυτών των φιαλών, είναι αποτέλεσμα των ατμών του HFC-227ea. Στις εγκαταστάσεις πυρόσβεσης, όμως, είναι επιθυμητό να γίνει επιπλέον αύξηση της εσωτερικής πίεσης των φιαλών αποθήκευσης. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση ξηρού αζώτου και ονομάζεται «δημιουργία τεχνητής υπερπίεσης» (*superpressurization*). Η τεχνητή υπερπίεση εντός της φιάλης επιτυγχάνει τα εξής πλεονεκτήματα: α) αυξάνει την πίεση, η οποία χρειάζεται για να γίνει η ροή του HFC-227ea από τις φιάλες προς τις σωληνώσεις και μέχρι τα ακροφύσια, β) αυξάνει την ταχύτητα, ώστε να υπάρξει κατάκλυση του χώρου εντός του προβλεπόμενου χρονικού διαστήματος, γ) κατά την διάρκεια της ροής, λόγω αυτής της αυξημένης πίεσης, το HFC-227ea συνεχίζει να βρίσκεται σε υγρή μορφή και δ) με την δημιουργία της τεχνητής υπερπίεσης, η πίεση εντός της φιάλης είναι σε σταθερά επίπεδα, για ένα σχετικά μεγάλο εύρος μεταβολής της θερμοκρασίας.

Προκειμένου να υπολογιστεί η απαιτούμενη ποσότητα αζώτου για δημιουργία τεχνητής υπερπίεσης του HFC-227ea, για διάφορες πυκνότητες πλήρωσης, πρέπει να ληφθεί υπόψη η σχέση διαλυτότητας μεταξύ αζώτου και HFC-227ea. Για τον σκοπό αυτό έχει χρησιμοποιηθεί η *Ισότητα Καταστάσεων των Peng και Robinson* (*Peng-Robinson Equation of State - PREOS*), μέσω της οποίας υπολογίζονται:

- Η απαιτούμενη ποσότητα αζώτου.
- Τα ισομετρικά διαγράμματα.

- Η σταθερά του νόμου του Henry (Henry's Law).

Στη σχετική βιβλιογραφία [4, 6, 7] μπορούν να αναζητηθούν πίνακες υπολογισμού της απαιτούμενης ποσότητας αζώτου (ανάλογα με την πυκνότητα πλήρωσης και την εσωτερική πίεση), ισομετρικά διαγράμματα, τα οποία δίνουν την πίεση συναρτήσει της θερμοκρασίας για διάφορες τιμές της πυκνότητας πλήρωσης, καθώς και στοιχεία για την σταθερά του νόμου του Henry.

Από τα διαγράμματα αυτά προκύπτει ότι η πίεση στο εσωτερικό της φιάλης, επηρεάζεται από την θερμοκρασία, αναλόγως με την πυκνότητα πλήρωσης. Σε κανονικές θερμοκρασίες (<math>40^{\circ}\text{C}</math>), η μεταβολή της πίεσης είναι σχετικά μικρή, γεγονός το οποίο οφείλεται στην δημιουργία τεχνητής υπερπίεσης, όπως προαναφέρθηκε. Σε υψηλές θερμοκρασίες, η πυκνότητα πλήρωσης επηρεάζει σημαντικά τη μεταβολή της πίεσης.

Κατά την επιλογή του τύπου και της θέσης τοποθέτησης των φιαλών, στις οποίες πρόκειται να αποθηκευθεί το HFC-227ea θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και τα ακόλουθα:

- Οι φιάλες που επιλέγονται θα πρέπει αθροιστικά να έχουν κατάλληλη χωρητικότητα, ώστε να αποθηκευτεί όλη η αναγκαία ποσότητα του αερίου.
- Σημαντικός παράγοντας στην διαδικασία επιλογής της τοποθεσίας των φιαλών αλλά και του είδους τους είναι η απαιτούμενη ευκολία συντήρησης. Σε γενικές γραμμές, όσο μεγαλύτερη είναι η φιάλη τόσο πιο δύσκολη είναι η απεγκατάσταση της για λόγους συντήρησης, επιδιόρθωσης ή αλλαγής της. Από την άλλη, μικρές φιάλες τοποθετημένες σε δυσπρόσιτες θέσεις, όπως κάτω από το δάπεδο ή σε υψηλά σημεία του χώρου, ίσως έχουν παρόμοιες δυσκολίες.
- Μεγάλος όγκος των φιαλών απαιτεί, όπως είναι λογικό, και μεγαλύτερη κατάληψη χώρου. Έτσι, περιορίζεται ο διαθέσιμος ελεύθερος χώρος και το δάπεδο δείχνει πιο «φορτωμένο». Επομένως, θα πρέπει να αναζητείται μια ιδανική θέση των φιαλών, σε τοποθεσίες λιγότερο χρηστικές για άλλες εφαρμογές. Επίσης, πρέπει να ελέγχεται η δύναμη που εξασκείται στο δάπεδο εξαιτίας του βάρους των φιαλών. Για τον σκοπό αυτό υπολογίζεται ο

λόγος  $\text{kg/m}^2$  με βάση το βάρος των φιαλών και την επιφάνεια δαπέδου που καταλαμβάνουν.

- Οι φιάλες αποθήκευσης θα πρέπει να τοποθετούνται όσο το δυνατόν πιο κοντά στον προστατευόμενο χώρο, αν γίνεται ακόμα και εντός αυτού.
- Η τοποθέτηση των φιαλών αποθήκευσης θα πρέπει να αποφεύγεται σε σημεία, όπου υπάρχει κίνδυνος να υποστούν καταστροφή από φυσικά αίτια ή να εκτεθούν σε διαβρωτικά χημικά. Αν τέτοιες καταστάσεις είναι αδύνατον να αποφευχθούν, οι φιάλες θα πρέπει να τοποθετούνται εντός κατάλληλων προστατευτικών κατασκευών ή θα πρέπει να λαμβάνονται διάφορα μέτρα πρόληψης.

Προκειμένου να διατηρηθούν οι φιάλες αποθήκευσης στην θέση τους κατά την διαδικασία εκτόνωσης του HFC-227ea, χρησιμοποιείται συνήθως κατάλληλη διάταξη στήριξης των φιαλών. Η διάταξη αυτή αποτελείται συνήθως από δύο όμοια τμήματα (κολάρα), από τα οποία το ένα στηρίζει την φιάλη κοντά στο πάνω μέρος της και το άλλο κοντά στο κάτω μέρος της. Οι διατάξεις στήριξης των φιαλών διαφοροποιούνται σημαντικά, ανάλογα με το μέγεθος της φιάλης.

Ο βαθμός γεμίσματος των φιαλών, ανεξαρτήτως πίεσης, κυμαίνεται συνήθως από 0,80  $\text{kg/λίτρο}$  έως 1,10  $\text{kg/λίτρο}$  φιάλης. Οι φιάλες συνήθως φέρουν λαβές ανυψώσεως, ρυθμιζόμενη ασφαλιστική διάταξη υπερπίεσεως, πνευματική βαλβίδα εκκενώσεως με ενσωματωμένο μανόμετρο, στόμιο γεμίσματος, βαλβίδα ανοίγματος οδηγό για τον έλεγχο της πίεσης και αναγγελία χαμηλής πίεσης στον πίνακα ανίχνευσης.

Η βαλβίδα εκκένωσης που βρίσκεται πάνω στην φιάλη λειτουργεί μέσω της πίεσης. Αποτελείται συνήθως από χάλκινο σώμα και κάλυμμα. Ένα πιστόνι στην κορυφή της βαλβίδας αναλαμβάνει την ενεργοποίησή της. Σε κανονική «λειτουργία», εκατέρωθεν του εμβόλου της βαλβίδας υπάρχει η ίδια πίεση. Αυτό εξασφαλίζεται από μια «τριχοειδή» οπή στη βάση του εμβόλου, η οποία βρίσκεται υπεράνω του στομίου πλήρωσης. Στην άνω βάση η βαλβίδα φέρει ανακουφιστική βαλβίδα SCHRADER. Όταν με οποιονδήποτε τρόπο π.χ. μέσω του σωληνοειδούς (ηλεκτρική εντολή) ή πνευματική εντολή ή χειροκίνητα ανοίξει η ανακουφιστική βαλβίδα, που

βρίσκεται στην άνω βάση της βαλβίδας εκκένωσης, το αέριο που υπάρχει στο άνω μέρος βρίσκεται πλέον σε ατμοσφαιρική πίεση. Στο κάτω μέρος η πίεση είναι η αρχική. Η διαφορά αυτή αποτελεί την ενεργό δύναμη που ανοίγει (ωθώντας το έμβολο προς τα πάνω) την βαλβίδα εκκένωσης. Σε αυτή την βαλβίδα ενσωματώνονται συνήθως τα ακόλουθα:

- Συσκευή αναπλήρωσης του περιεχομένου της φιάλης, χωρίς την ανάγκη απεγκατάστασης της φιάλης.
- Τάπα ασφαλείας 90° C.
- Δίσκος ασφαλείας.
- Ειδικά διαμορφωμένες υποδοχές για την σύνδεση χειροκίνητου/ηλεκτρικού ενεργοποιητή (manual solenoid actuator), μετρητή πίεσης (μανόμετρο) και διακόπτη πίεσης.

Ενδεικτικές προδιαγραφές για την βαλβίδα εκκένωσης μπορούν να αναζητηθούν σε σχετική βιβλιογραφία [12].

Γενικά, τα υλικά κατασκευής όλων των βαλβίδων που συναντώνται σε ένα πυροσβεστικό σύστημα, καθώς και τα υλικά κατασκευής βοηθητικών εξαρτημάτων, όπως καλύμματα, τσιμούχες κ.τ.λ. θα πρέπει να είναι συμβατά με το HFC-227ea. Ιδιαίτερη προσοχή, λοιπόν, χρειάζεται κατά την αντικατάσταση συστήματος Halon 1301, του οποίου πολλά υλικά κατασκευής των βαλβίδων πιθανώς να μην είναι συμβατά με το HFC-227ea.

Όταν η εγκατάσταση απαρτίζεται από πολλές φιάλες χρησιμοποιούνται εύκαμπτοι σωλήνες εκτόνωσης για την σύνδεση των φιαλών με το σύστημα. Στην είσοδο των σωλήνων αυτών συνδέεται η βαλβίδα ελέγχου της φιάλης.

#### **4.2.3.2. Σωληνώσεις**

Η διαδικασία υπολογισμού των σωληνώσεων συνίσταται στον υπολογισμό της εσωτερικής διατομής και του πάχους του τοιχώματος των σωληνώσεων, καθώς και στον υπολογισμό άλλων παραμέτρων του συστήματος (π.χ. διατομή των οπών των ακροφυσίων).

Έτσι, για τον ακριβή υπολογισμό των σωλήνων απαιτούνται η πυκνότητα πλήρωσης των φιαλών, τα ακριβή χαρακτηριστικά των ακροφυσίων εκτόξευσης καθώς και το μήκος και η τελική μορφή του δικτύου σωληνώσεων που πρόκειται να κατασκευασθεί.

Επίσης, πρέπει να ληφθούν υπόψη η μέγιστη πίεση που αναμένεται εντός των σωληνώσεων, το υλικό κατασκευής τους, οι μέθοδοι διασύνδεσής τους (βίδες κ.τ.λ.) και η μέθοδος κατασκευής τους (με ή χωρίς ραφές).

Οι απαιτούμενοι υπολογισμοί, όπως γίνεται αντιληπτό, λόγω των φαινομένων ροής που παρουσιάζονται στις σωληνώσεις, κρίνεται σκόπιμο να γίνουν με την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Ενδεικτικά, στη συνέχεια αναφέρονται απλοί τρόποι υπολογισμού της εσωτερικής διατομής των σωλήνων και του πάχους των τοιχωμάτων τους.

Ο παρακάτω πίνακας συσχετίζει προσεγγιστικά την διατομή των σωληνώσεων με την αντίστοιχη ροή του HFC-227ea. Έτσι, γνωρίζοντας την ποσότητα του αερίου και την χρονική διάρκεια εκτόξευσης (επομένως διατίθεται μια «χονδρική» προσέγγιση της ροής) προκύπτει η διάμετρος των σωλήνων.

**Πίνακας 4.2.3.2-1:** Διατομή σωληνώσεων και αντίστοιχη ροή [12].

<b>ΡΥΘΜΟΣ ΡΟΗΣ</b>	
<b>HFC-227ea Sch40</b>	
<b>inches</b>	<b>Kg/sec x 10sec</b>
1/2"	0-14
3/4"	15-24
1"	25-40
1"1/4	41-60
1"1/2	61-90
2"	91-150
2"1/2	151-210
3"	211-270
4"	271-400

Ένας τρόπος υπολογισμού του πάχους των τοιχωμάτων των σωληνώσεων δίνεται σε σχετική βιβλιογραφία [4]. Ο ανωτέρω τρόπος υπολογισμού καλύπτει ατσάλινες σωληνώσεις που είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους με βίδες, κόλληση ή πάχτωση. Άλλα υλικά κατασκευής, π.χ. ανοξείδωτο ατσάλι, μπορούν να χρησιμοποιηθούν, με την προϋπόθεση ότι όλοι οι εμπλεκόμενοι περιορισμοί τροποποιούνται κατάλληλα. Γενικά, στον υπολογισμό των τοιχωμάτων, σημαντικός παράγοντας είναι η μέγιστη εσωτερική πίεση των σωληνώσεων.

Εάν είναι πιθανό να υπάρξουν υψηλές θερμοκρασίες αποθήκευσης, σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή, τότε η εσωτερική πίεση, που θα ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς, θα πρέπει να είναι η μεγαλύτερη εσωτερική πίεση υπό την μεγαλύτερη θερμοκρασία αποθήκευσης. Και σε αυτή την περίπτωση πρέπει να συμπεριληφθούν οι συντελεστές που αφορούν τις ανοχές των συνδέσεων κ.τ.λ.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [4], έχουν υπολογιστεί οι μέγιστες επιτρεπτές πιέσεις για διάφορους κοινώς χρησιμοποιούμενους σωλήνες σε συστήματα πυρόσβεσης με HFC-227ea, ανάλογα με τις παραμέτρους τους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε αντίστοιχους πίνακες.

Γενικά, η συμπεριφορά των σωληνώσεων θα πρέπει να προβλέπεται με αξιοπιστία, ενώ τα υλικά κατασκευής τους θα πρέπει να έχουν τα κατάλληλα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, όταν οι ατμόσφαιρες είναι εξαιρετικά διαβρωτικές τα υλικά κατασκευής θα πρέπει να έχουν αντιδιαβρωτικές ιδιότητες.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται κάποιες πληροφορίες σχετικές με τον υπολογισμό των ροών του αερίου.

Ο υπολογισμός των ροών γίνεται ώστε να προβλεφθεί η συμπεριφορά του αερίου κατά την εκτόνωσή του. Η ανάλυση της συμπεριφοράς ενός μέσου δύο φάσεων (υγρή και αέρια) μέσα στις σωληνώσεις είναι πολύπλοκη. Έχουν προταθεί δύο μέθοδοι υπολογισμών. Η μία στηρίζεται σε εργασίες του *Hesson* (1953) και η άλλη σε τροποποιήσεις της μεθόδου *HFLOW* που έγιναν από *DiNenno* (1994).

Η μέθοδος του *Hesson* αναπτύχθηκε προκειμένου να υπολογιστεί η πτώση πίεσης κατά μήκος σωληνώσεων που διαρρέονται από διοξείδιο του άνθρακα, χρησιμοποιώντας την εξίσωση του *Bernoulli*. Στην συνέχεια τροποποιήθηκε από τους *Williamson* και *Tom Wysocki*, ώστε να χρησιμοποιηθεί για Halon 1301 και άλλα καθαρά μέσα πυρόσβεσης. Η μέθοδος ροής ενός μέσου δύο φάσεων μοντελοποιεί τις ακόλουθες τρεις βασικές συνθήκες της ροής που προκύπτει από την εκτόνωση ενός υγροποιημένου μέσου:

- Η αρχική προσωρινή (μεταβατική) εκτόνωση, κατά την οποία το HFC-227ea απελευθερώνεται από την φιάλη και ψύχει τις σωληνώσεις.
- Ροή σταθερή κατά *Quasi*, στην οποία η ενθαλπία του HFC-227ea παραμένει σταθερή (αδιαβατική). Ο ρυθμός ροής της μάζας του HFC-227ea παραμένει επίσης σταθερός.
- Η τελική προσωρινή (μεταβατική) εκτόνωση, κατά την οποία η εκτόνωση δύο φάσεων αντικαθίσταται από την εκτόνωση μόνο ατμών (οι οποίοι έχουν απομείνει εντός της φιάλης).

Η πτώση πίεσης κατά την σταθερή κατά *Quasi* ροή βασίζεται στην εργασία του *Hesson*. Ο υπολογισμός της πτώσης πίεσης, χρησιμοποιώντας αυτή την μέθοδο, μπορεί να γίνει και με το χέρι. Οι μεταβατικές συνθήκες μοντελοποιούνται χρησιμοποιώντας βασικούς θερμοδυναμικούς κανόνες. Ωστόσο, κατά την δοκιμή της μεθοδολογίας με χρήση του Halon 1301 και πολλών άλλων υγροποιημένων αερίων, υπήρχε μηχανικός διαχωρισμός της υγρής φάσης από την αέρια, λόγω των φυγόκεντρων δυνάμεων. Το αποτέλεσμα αυτό δεν προβλέπεται από την μεθοδολογία που περιγράφηκε προηγουμένως. Έτσι, προκειμένου να προβλεφθεί με σχετική ακρίβεια η ποσότητα του αερίου που εκτονώνεται από κάθε ακροφύσιο, χρησιμοποιούνται διάφοροι εμπειρικοί διορθωτικοί συντελεστές, λαμβάνοντας υπόψη τον βαθμό διακλαδώσεων της ροής, τον προσανατολισμό των διακλαδώσεων, το ποσοστό κάθε φάσης για το συγκεκριμένο μέσο κ.τ.λ. Σημειώνεται ότι οι υπολογισμοί των μεταβατικών συνθηκών και των επιδράσεων των φυγόκεντρων δυνάμεων απαιτούν πολύπλοκες πράξεις και χρειάζεται η χρήση υπολογιστικού προγράμματος.

Τα δεδομένα που απαιτούνται από την μέθοδο είναι:

- Όγκος αποθήκευσης της φιάλης.
- Μάζα και θερμοκρασία του HFC-227ea.
- Ισοδύναμες διαστάσεις βαλβίδων κ.τ.λ.
- Μήκος σωληνώσεων.
- Υψόμετρο.
- Θερμοκρασία σωληνώσεων πριν την εκτόνωση.

Τα δεδομένα που εξάγονται από την παραπάνω μέθοδο είναι τα ακόλουθα:

- Αν έχει δοθεί ο απαιτούμενος ρυθμός ροής, τότε το πρόγραμμα θα υπολογίσει τις απαιτούμενες διαμέτρους των σωληνώσεων και των ακροφυσίων.
- Αν έχουν δοθεί οι διάμετροι των σωληνώσεων και των ακροφυσίων, τότε το πρόγραμμα θα υπολογίσει τον ρυθμό ροής.
- Και στις δύο περιπτώσεις το πρόγραμμα υπολογίζει επίσης την πτώση πίεσης, την χρονική διάρκεια της εκτόνωσης και την ποσότητα HFC-227ea που εκτονώνεται από κάθε ακροφύσιο.

Η μέθοδος *HFLOW* αναπτύχθηκε στο εργαστήριο *Jet Propulsion Laboratory* από τον *Eliot* (1984). Η αναθεωρημένη μέθοδος προβλέπει τα χαρακτηριστικά της ροής του πυροσβεστικού μέσου δύο φάσεων, στηριζόμενη στις θερμοδυναμικές του ιδιότητες, ακόμα και για πραγματικά συστήματα όπου υπάρχει μεγάλο μήκος σωληνώσεων. Ωστόσο, στην μέθοδο αυτή γίνονται οι εξής υποθέσεις, προκειμένου να γίνει πιο απλή:

- Οι συνθήκες εντός της φιάλης αποθήκευσης (πίεση, θερμοκρασία κ.τ.λ.) εξαρτώνται μόνο από τις πραγματικές συνθήκες και από το ποσοστό της ποσότητας του HFC-227ea που έχει απελευθερωθεί (εκτονωθεί). Αυτή η υπόθεση αγνοεί την αύξηση της κινητικής ενέργειας του υγρού που απελευθερώνεται.
- Ροή σταθερή κατά *Quasi*, δηλαδή ο ρυθμός της ροής κατά την διάρκεια ενός μικρού χρονικού διαστήματος είναι ίσος με τον ρυθμό της ροής αν οι



συνθήκες εντός της φιάλης ήταν σταθερές για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

- Η μεταφορά θερμότητας από τα τοιχώματα των σωληνώσεων προς το HFC-227ea θεωρείται αμελητέα.
- Η ροή κατά μήκος του δικτύου σωληνώσεων θεωρείται ομογενής.

Τα δεδομένα που πρέπει να δοθούν στην μέθοδο είναι:

- Όγκος αποθήκευσης της φιάλης.
- Ισοδύναμες διαστάσεις εξαρτημάτων (π.χ. του συλλέκτη). Αυτές δίνονται από τους κατασκευαστές.
- Μάζα και θερμοκρασία του πυροσβεστικού μέσου.
- Μήκος και διάμετρος των σωληνώσεων.
- Υψόμετρο.
- Παράμετροι ακροφυσίων.

Τα αποτελέσματα που δίνει η μέθοδος είναι, για κάθε κόμβο (σωλήνας, φιάλη ή ακροφύσιο), τα εξής:

- Πίεση
- Θερμοκρασία
- Ρυθμός ροής
- Ταχύτητα
- Ποσοστά των φάσεων

Συνοψίζοντας, η κατανόηση των πυροσβεστικών συστημάτων ολικής κατάκλυσης επταφθοροπροπανίου, καθώς και η σωστή μελέτη και εγκατάσταση τους, είναι μια δύσκολη και συνάμα ενδιαφέρουσα διαδικασία, καθώς απαιτεί την γνώση πολλών στοιχείων. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρουσιάστηκαν πληροφορίες για τις χημικές και φυσικές ιδιότητες του HFC-227ea, καθώς επίσης και στοιχεία για τη μελέτη εγκατάστασης ενός τέτοιου πυροσβεστικού συστήματος.

---

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- [1] Ελληνικό Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος, Διεύθυνση Ι Προληπτικής Πυροπροστασίας, Τμήμα 1<sup>ο</sup> Πυρ/κων Κανονισμών & Δ/ξεων, Αριθ. Πρωτ. 26913 Φ.704.10, «Αποδοχή Κατασβεστικών Υλικών με τις Εμπορικές Ονομασίες FM-200 και ARGONITE».
- [2] Mark L. Robin and Eric F. Forssell of Hughes Associates, Inc. and Steven T. Ginn of Great Lakes Chemical Corporation: *“A Comparison of FPETool Predictions to Experimental Results: Comparison of Clean Agent and Sprinkler System Performance on In-Cabinet Fires”*, Presented at 2003 Halon Options Technical Working Conference, New Mexico, May 13-15, 2003.
- [3] EPA, *“Halon Substitutes Under SNAP as of August 21, 2003”*.
- [4] NFPA 2001, *“Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems”*, 2000 Edition.
- [5] DuPont, *“FM-200: Physical Properties”*.
- [6] DuPont, *“FM-200: Properties, Uses, Storage and Handling”*.
- [7] Solvay Fluor: *“Solkaflam® 125, Solkaflam® 227: New Generation of Fire Extinguishing Agents”*.
- [8] ΕΜΤΕ, εμπορική και τεχνική Α.Ε., *«Τεχνική Περιγραφή Συστήματος Αυτόματης Κατάσβεσης Φωτιάς με Αέριο FM-200 (HFC-227 ea)»*.
- [9] Pyro-Chem®: *“Engineering Specifications: FM-200® Clean-Agent Fire Suppression System with Pyro-Chem® Detection/Release System”*, March 2001.
- [10] ISO 14520, *Gaseous Fire-Extinguishing Systems -- Physical Properties and System Design*, Next Edition.
- [11] ISO 14520, *Gaseous Fire-Extinguishing Systems -- Physical Properties and System Design*, First Edition.
- [12] Bettati Antincendio, *“Design Manual, HFC-227ea Extinguishing System 25 bar”*.
- [13] DuPont, *“FM-200: Total Flooding Quantity, SI Units”*.
- [14] ASME B31.1, *“Power Piping Code”*.
- [15] ANSI B1.20.1, *“Standard for Pipe Threads, General Purpose”*.

[16] ASME, *Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX, "Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers and Welding and Brazing Operations"*.

[17] Fike, Data Sheet: *"Fike Agent Storage Containers for FM-200® Clean Agent Systems"*.

[18] Eric Forssell and Scott Hill of Hughes Associates, Inc. *"Clean Agent System Design"*, Presented at NFPA World Fire Safety Congress & Expo, May 14, 2001.

[19] DuPont, *"FM-200: Material Safety Data Sheet"*.

[20] DuPont, *"FM-200: Material Compatibility"*.

[21] DuPont, *"FM-200: Technical Information"*.

[22] DuPont, *"FM-200: Technical Progress"*.

**Ιστοσελίδες:**

<http://www.firesecurity.gr/fm200.htm>

[http://www2.dupont.com/FE/en\\_US/products/FM200.html](http://www2.dupont.com/FE/en_US/products/FM200.html)

<http://www.fike.com/products/fshfc.asp>

<http://en.wikipedia.org/wiki/1,1,1,2,3,3,3-Heptafluoropropane>

<http://www.firesol.gr/page71.html>

<http://www.commonchemistry.org/ChemicalDetail.aspx?ref=431-89-0>