ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΤΟΥΣ

•

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΦΩΤΙΟΣ – ΟΥΡΑΝΟΣ, ΠΑΥΛΟΣ ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΔΟΥΛΑΜΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ – ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΪΟΣ 2026

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΤΟΥΣ

•

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΦΩΤΙΟΣ – ΟΥΡΑΝΟΣ, ΠΑΥΛΟΣ ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΔΟΥΛΑΜΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ – ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 3η Ιουλίου 2026

ΔΟΥΛΑΜΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ	ΔΟΥΛΑΜΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ	ΒΑΡΒΑΡΙΓΟΥ ΘΕΟΔΩΡΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΪΟΣ 2026

Φώτιος – Ουρανός Παπαδόπουλος

Κάτοχος Μεταπτυχιακού Προγράμματος «Τεχνο-οικονομικά Συστήματα» της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © **Παπαδόπουλος Φώτιος – Ουρανός, 2026**

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

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει το φαινόμενο της πυρκαγιάς στα κτήρια και τις σύγχρονες μεθόδους πυροπροστασίας και κατάσβεσης που εφαρμόζονται στις κατασκευές. Η αυξανόμενη πολυπλοκότητα των σύγχρονων κτηρίων, σε συνδυασμό με τη χρήση νέων δομικών υλικών και τεχνολογικών συστημάτων, καθιστά αναγκαία την σε βάθος κατανόηση της συμπεριφοράς της φωτιάς σε κλειστούς χώρους, καθώς και των μέτρων που απαιτούνται για την αποτελεσματική πρόληψη, περιορισμό και αντιμετώπισή της. Η εργασία επικεντρώνεται τόσο στις θεωρητικές αρχές της μηχανικής πυρκαγιάς, όσο και στις πρακτικές εφαρμογές της παθητικής και ενεργητικής πυροπροστασίας στα κτήρια.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται ορισμένες βασικές έννοειες και ορισμοί που σχετίζονται με το φαινόμενο της καύσης και κατ' επέκταση με την πυρκαγιά σε εσωτερικούς χώρους, καθώς κάποιες βασικές έννοιες που σχετίζονται με τις μεθόδους αντιμετώπισης πυρκαγιών σε εσωτερικούς χώρους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια παρουσίαση του φαινομένου της πυρκαγιάς στις κατασκευές, καθώς περιγράφονται τα είδη πυρκαγιών, οι αιτίες δημιουργίας και εξάπλωσης τους, οι μηχανισμοί λειτουργίας τους, καθώς και τα διαφορετικά στάδια της εξάπλωσης μίας πυρκαγιάς απο την ανάφλεξης της έως και της απόσβεση της.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται τα μέσα παθητικής πυροπροστασίας και η συμβολή τους στον περιορισμό της εξάπλωσης της φωτιάς και στη διατήρηση της στατικής επάρκειας των κατασκευών.

Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο εξετάζονται τα συστήματα και μέσα ενεργητικής πυροπροστασίας στα κτήρια καθώς και οι σύγχρονες τεχνολογίες κατάσβεσης πυρκαγιών.

Λέξεις Κλειδιά: Πυρκαγιά, Πυροπροστασία

ABSTRACT

This thesis examines the phenomenon of fire in buildings and the modern fire protection and suppression methods applied in construction. The increasing complexity of modern buildings, combined with the use of new construction materials and technological systems, makes it necessary to thoroughly understand fire behaviour in enclosed spaces, as well as the methods required for its effective prevention, control and suppression. This study focuses both on the theoretical principles of fire engineering and on the practical applications of passive and active fire protection systems in buildings.

The first chapter presents several fundamental concepts and definitions related to the phenomenon of combustion and, consequently, to the analysis of fires in enclosed spaces. In addition, basic concepts associated with fire suppression methods and fire safety measures in buildings are introduced.

The second chapter presents the phenomenon of fire in structures, describing the different types of fires, the causes of fire ignition and spread, the mechanisms governing fire behaviour, as well as the various stages of fire development, from ignition to fire decay and extinguishment.

The third chapter analyzes passive fire protection measures and their contribution to limiting fire spread and maintaining the structural integrity of buildings. Particular emphasis is placed on fire-resistant structural elements and fire-protective construction materials used to improve the fire performance of structures.

Finally, the fourth chapter examines active fire protection systems in buildings, as well as modern fire suppression technologies. Various extinguishing systems and fire safety methods are presented and evaluated according to their effectiveness and field of application.

KeyWords: Fire, Fire Protection

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η συμπεριφορά μιας κατασκευής, και ιδιαίτερα μεταλλικής, σε συνθήκες πυρκαγιάς είναι ένα πρόβλημα σύνθετο που επηρεάζεται από πολλές παραμέτρους, όπως η έναρξη και η προέλευση της πυρκαγιάς, η ένταση και ο τρόπος εξάπλωσης της καθώς επίσης η διάρκεια της και η χρήση της κατασκευής. Σημαντικά στοιχεία επίσης είναι το δομικό σύστημα της κατασκευής, η χρήση των υλικών και τέλος ο εξοπλισμός και οι εγκαταστάσεις που βρίσκονται εντός του κτιρίου.

Ο βασικότερος σκοπός της πυροπροστασίας των κτιρίων είναι πολλαπλός και επικεντρώνεται τόσο στην προστασία της ανθρώπινης ζωής και υγείας όσο και στην εξασφάλιση των μικρότερων δυνατών υλικών ζημιών εντός του κτηρίου, λόγω της εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς. Κύριος στόχος ενός μηχανικού, που έργο του είναι η δόμηση κτιρίων, είναι γνωρίζοντας τους κανονισμούς, να μελετήσει τη πρόληψη μιας πυρκαγιάς, τον περιορισμό της εξάπλωση της και σε άλλους χώρους, καθώς και η άμεση κατάσβεση της προτού τεθούν σε κίνδυνο αφενός ανθρώπινες ζωές αφετέρου η δομική ακεραιότητα του κτιρίου. Επίσης εξίσου απαραίτητη θεωρείται η πρόβλεψη, κατά τον σχεδιασμό και την κατασκευή, των κατάλληλων διόδων για την είσοδο των σωστικών ομάδων και μέσων καθώς και η εξασφάλιση του υλικού κεφαλαίου και η εξεύρεση μιας εμπορικά βιώσιμης λύσης για αντιπυρική προστασία.

Για την προστασία των κτηρίων έναντι πυρκαγιάς, υπάρχουν διάφορα μέτρα και μέθοδοι τα οποία στοχεύουν είτε στην πρόβλεψη και προετοιμασία αντιμετώπισης μιας πυρκαγιάς και αποτελούν τα μέτρα παθητικής πυροπροστασίας είτε στην άμεση επέμβαση για την απόσβεση της και και αποτελούν τα μέτρα ενεργητικής πυροπροστασίας. Η παθητική και η ενεργητική πυροπροστασία αποτελούν δύο θεμελιώδεις πυλώνες της πυρασφάλειας των κτηρίων και απαιτούν τη σύνταξη εξειδικευμένων μελετών κατά το στάδιο του σχεδιασμού και της κατασκευής. Οι μελέτες αυτές πρέπει να εκπονούνται και να εφαρμόζονται με ιδιαίτερη ακρίβεια και σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς και πρότυπα πυροπροστασίας, λαμβάνοντας υπόψη τη χρήση του κτηρίου, το πυροθερμικό φορτίο, τα δομικά χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις ασφαλούς εκκένωσης. Η ελλιπής μελέτη ή η λανθασμένη εφαρμογή των μέτρων πυροπροστασίας μπορεί να οδηγήσει σε ταχεία εξάπλωση της πυρκαγιάς, αστοχία δομικών στοιχείων και ανεπαρκή προστασία των χρηστών του κτηρίου. Για τον λόγο αυτό, η ορθή διαστασιολόγηση και εγκατάσταση των συστημάτων πυροπροστασίας είναι καθοριστικής σημασίας, καθώς σε περίπτωση πυρκαγιάς οι συνέπειες για την ανθρώπινη ζωή, την περιουσία και τη στατική επάρκεια της κατασκευής μπορεί να είναι ολέθριες.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ **5**

ABSTRACT 6

ΠΡΟΛΟΓΟΣ 7

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ **11**

1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ 11

1.2 ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ 15

1.3 ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΡΟΟΔΟΣ ΚΑΙ ΠΥΡΑΣΦΑΛΕΙΑ 17

2. Η ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΚΑΙ Η ΕΞΑΠΛΩΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑ ΚΤΗΡΙΑ **19**

2.1 ΕΙΔΗ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ 20

2.2 ΠΙΘΑΝΕΣ ΑΙΤΙΕΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ 22

2.3 ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΧΩΡΟ 25

2.3.1 ΣΤΑΔΙΟ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ 26

2.3.2 ΣΤΑΔΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ 27

2.3.3 ΣΤΑΔΙΟ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ 28

2.3.4 ΣΤΑΔΙΟ ΠΛΗΡΟΥΣ ΑΝΕΠΤΥΓΜΕΝΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ 28

2.3.5 ΣΤΑΔΙΟ ΑΠΟΣΒΕΣΕΩΣ 29

2.4 ΡΥΘΜΟΣ ΕΚΚΛΥΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ 35

2.5 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΞΑΠΛΩΣΗ 38

3. ΜΕΣΑ ΠΑΘΗΤΙΚΗΣ ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ **41**

3.1 ΠΥΡΟΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ 42

3.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ 43

3.2.1 ΠΥΡΑΝΤΟΧΑ ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ.....44

3.2.2 ΟΔΕΥΣΕΙΣ ΔΙΑΦΥΓΗΣ.....45

3.2.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΥΡΑΝΤΟΧΩΝ ΟΡΟΦΩΝ.....47

3.2.4 ΠΥΡΟΦΡΑΓΜΟΙ.....48

3.3 ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....48

3.3.1 ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΕΣ ΙΝΕΣ ΛΙΘΟΒΑΜΒΑΚΑ.....50

3.3.2 ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΑ.....50

3.3.3 ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ ΧΡΩΜΑΤΑ.....51

3.3.4 ΠΛΑΚΕΣ ΠΕΤΡΟΒΑΜΒΑΚΑ.....52

3.3.5 ΠΛΑΚΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΠΕΡΛΙΤΗ.....52

3.3.6 ΠΥΡΑΝΤΟΧΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΞΗΡΑΣ ΔΟΜΗΣΗΣ.....52

3.3.7 ΕΓΚΙΒΩΤΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΣΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....53

4. ΜΕΣΑ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΗΣ ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ.....55

4.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ.....56

4.1.1 ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΚΑΠΝΟΥ.....57

4.1.2 ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....58

4.1.3 ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΦΛΟΓΑΣ.....59

4.1.4 ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΙΟΝΙΣΜΟΥ.....59

4.1.5 ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ.....60

4.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΚΑΙ ΣΗΜΑΝΣΗΣ.....61

4.2.1 ΣΕΙΡΗΝΕΣ ΠΥΡΑΣΦΑΛΕΙΑΣ.....61

4.2.2 ΚΟΥΔΟΥΝΙ ΠΥΡΑΣΦΑΛΕΙΑΣ.....62

4.2.3 ΦΑΡΟΣ ΠΥΡΑΣΦΑΛΕΙΑΣ.....63

4.2.4 ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΑ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ LED 64

4.2.5 ΣΗΜΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ 64

4.2.5.1 ΣΥΣΤΗΜΑ GSM 65

4.2.6 ΚΕΝΤΡΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ 65

4.3 ΜΕΣΑ ΚΑΤΑΣΒΕΣΗΣ 67

4.3.1 ΦΟΡΗΤΑ ΜΕΣΑ ΚΑΤΑΣΒΕΣΗΣ 67

4.3.2 ΑΥΤΟΜΑΤΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΗΣ 69

4.3.2.1 ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ 69

4.3.2.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑΙΟΝΙΣΜΟΥ ΜΕ ΝΕΡΟ 70

4.3.2.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΕΧΝΙΤΗΣ ΟΜΙΧΛΗΣ ΝΕΡΟΥ 72

4.3.2.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΦΡΟΥ 72

4.3.2.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑΣΒΕΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ CO_2 73

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ **74**

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ **76**

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως προαναφέρθηκε, η φωτιά είναι ένα ιδιαίτερα πολύπλοκο φυσικοχημικό φαινόμενο το οποίο βασίζεται στο φαινόμενο της καύσης, κατά το οποίο εκλύεται θερμότητα, φως και καυσαέρια λόγω χημικής αντίδρασης μεταξύ ενός καυσίμου και οξυγόνου. Για την καλύτερη κατανόηση της φωτίας και κατ' επέκταση της πυρκαγιάς, ακολουθούν ορισμένες βασικές έννοιες που σχετίζονται με το κατ' εξέταση φαινόμενο.

1.1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία αποτελεί ένα θεμελιώδες φυσικο μέγεθος που σχετίζεται με τις δομικές μονάδες απο τις οποίες αποτελούνται όλα τα σώματα, τα οποία μπορεί να βρίσκονται είτε σε στερεή, είτε σε υγρή, είτε σε αέρια κατάσταση. Η συνεχής και απρόβλεπτη κίνηση των δομικών μονάδων ενός σώματος εκφράζεται μέσω της κινητικής ενέργειες των μονάδων (μορίων) αυτών σχετίζεται άμεσα με τη θερμοκρασία του σώματος αυτού. Συγκεκριμένα, το μέτρο της μέσης τιμής της κινητικής ενέργειας των δομικών αυτών μονάδων ορίζεται ως η θερμοκρασία του σώματος.

Θερμότητα

Η θερμότητα και η θερμοκρασία είναι δύο έννοιες άμεσα εμπλεκόμενες μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, ως θερμότητα ορίζεται η μορφή ενέργειας, που μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας τους. Δηλαδή, όταν δυο σώματα έχουν διαφορετική θερμοκρασία, η θερμότητα ρέει απο το θερμότερο προς το ψυχρότερο σώμα, φαινόμενο το οποίο συνεχίζεται έως ότου επέλθει θερμική ισορροπία μεταξύ των δυο σωμάτων (δηλαδή έως ότου αποκτήσουν την ίδια θερμοκρασία). Ιδιαίτερα σημαντική είναι και η έννοια της *ειδικής θερμότητας*, η οποία ορίζεται ως η ποσότητα θερμότητας που χρειάζεται μια μονάδα μάζας ενός υλικού για να αυξήσει τη θερμοκρασία του κατά ένα βαθμό Κελσίου.

Διάδοση Θερμότητας

Όπως προαναφέρθηκε, η θερμότητα μεταξύ δυο σωμάτων διαδίδεται απο το ένα στο άλλο, όταν έχουν διαφορετική θερμοκρασία με μεταφορά απο το θερμότερο στο ψυχρότερο, έως ότου αποκατασταθεί η θερμική ισορροπία. Οι τρεις τρόποι με τους οποίους διαδίδεται η θερμοκρασία είναι με αγωγή, με μεταφορά (με τη βοήθεια ρευμάτων) και τέλος με ακτινοβολία.

- **Μετάδοση με αγωγή ή επαφή:** Η μετάδοση θερμότητας με αγωγή αποτελεί ένα φυσικό μηχανισμό, βάσει του οποίου γίνεται μεταφοράς θερμότητας μεταξύ των μορίων δυο σωμάτων που βρίσκονται σε επαφή. Όταν ένα σημείο στερεού σώματος θερμαίνεται τότε προκαλείται μεταφοράς της θερμότητας στα γειτονικά σημεία, με αποτέλεσμα να θερμαίνεται σταδιακά ολόκληρη η μάζα του υλικού. Η ικανότητα ενός υλικού να μεταφέρει τη θερμότητα αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως «θερμική αγωγιμότητα» και συμβολίζεται με «K», μετριέται σε j/sec και η μονάδα μέτρησης είναι το Watt. Η θερμική αγωγιμότητα και η μετάδοση θερμότητας αποτελούν δυο έννοιες που συνδέονται άμεσα με την πυρασφάλεια των κτηρίων, μιας και η μεταφορά της πυρκαγιάς γίνεται μεταξύ διαφορετικών σωμάτων. Επίσης, πολύ σημαντικό ρόλο παίζει και η ίδια η αγωγιμότητα των υλικών κατασκευής ενός κτηρίου, μιας και αυτή καθορίζει το πόσο εύκολα και γρήγορα θα διαδωθεί η πυρκαγιάς εντός αυτού. Υλικά όπως τα μέταλλα εμφανίζουν υψηλή θερμική αγωγιμότητα και μεταφέρουν γρήγορα τη θερμότητα, ενώ υλικά όπως το ξύλο ή ο γύψος παρουσιάζουν μικρότερη αγωγιμότητα και λειτουργούν περισσότερο ως θερμομονωτικά. Στις πυρκαγιές κτηρίων, η αγωγή μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην εξάπλωση της φωτιάς μέσω μεταλλικών στοιχείων, σωληνώσεων ή δοκών που διαπερνούν διαφορετικούς χώρους του κτηρίου. Για τον λόγο αυτό, η θερμική αγωγιμότητα των δομικών υλικών αποτελεί σημαντικό παράγοντα κατά τον σχεδιασμό πυροπροστασίας και την αξιολόγηση της πυραντίστασης μιας κατασκευής.

- **Μετάδοση με μεταφορά ή συναγωγή:** Η μετάδοση θερμότητας με μεταφορά ή συναγωγή είναι ο τρόπος διάδοσης της στα ρευστά και στα αέρια καύσιμα. Στις πυρκαγιές, τα θερμά αέρια που παράγονται από την καύση αποκτούν μικρότερη πυκνότητα και ανέρχονται προς τα ανώτερα τμήματα του χώρου, δημιουργώντας ανοδικές ροές θερμού αέρα και καπνού. Το φαινόμενο αυτό παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην εξάπλωση της πυρκαγιάς σε κλειστούς χώρους, καθώς τα θερμά αέρια μπορούν να κινηθούν μέσω κλιμακοστασίων, ανοιγμάτων, φρεάτων ανελκυστήρων και συστημάτων εξαερισμού, μεταφέροντας θερμότητα, καπνό και τοξικά προϊόντα καύσης σε γειτονικούς χώρους ή ανώτερα επίπεδα του κτηρίου. Παράλληλα, η συνεχής κυκλοφορία θερμών αερίων ενισχύει τη θέρμανση των δομικών στοιχείων και των καύσιμων υλικών, αυξάνοντας την πιθανότητα ανάφλεξης και επιταχύνοντας την ανάπτυξη της πυρκαγιάς.

- **Μετάδοση με ακτινοβολία:** Η μεταφορά με ακτινοβολία αναφέρεται στην μεταφορά θερμικής ενέργειας μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, χωρίς να απαιτείται άμεση επαφή ή παρουσία κάποιου μέσου μεταφοράς. Γενικότερα, όλα τα σώματα υψηλής θερμοκρασίας εκπέμπουν ακτινοβολία προς το περιβάλλον τους. Σε μια πυρκαγιά, οι φλόγες, τα θερμά αέρια και οι θερμές επιφάνειες εκπέμπουν σημαντικά ποσά ακτινοβολούμενης θερμότητας, η οποία μπορεί να θερμάνει γειτονικά καύσιμα υλικά και να προκαλέσει την ανάφλεξή τους ακόμη και χωρίς άμεση επαφή με τη φωτιά. Η ακτινοβολία αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους μηχανισμούς εξάπλωσης της φωτιάς κατά τα προχωρημένα στάδια μιας πυρκαγιάς και συνδέεται άμεσα με φαινόμενα όπως το flashover, όπου η έντονη θερμική ακτινοβολία προκαλεί σχεδόν ταυτόχρονη ανάφλεξη των περισσότερων καύσιμων επιφανειών του χώρου. Επιπλέον, η θερμική ακτινοβολία μπορεί να συμβάλει στη μετάδοση της πυρκαγιάς μεταξύ γειτονικών κτηρίων ή διαφορετικών τμημάτων μιας κατασκευής, ιδιαίτερα όταν υπάρχουν μεγάλα ανοίγματα ή εύφλεκτες εξωτερικές επιφάνειες.

Πυρκαγιά

Η Πυρκαγιά ορίζεται ως η ανεξέλεγκτη φωτιά, η οποία προκαλείται από μη ελεγχόμενη καύση με το οξυγόνο και συνοδεύεται από πρόκληση μεγάλων ποσών θερμότητας και φωτός, γεγονός που έχει ως συνέπεια την καταστροφή του καιγόμενου υλικού. Η βασική διαφορά μεταξύ φωτιάς και πυρκαγιάς είναι ότι η φωτιά είναι ο γενικός όρος για κάθε ελεγχόμενη ή μη καύση, ενώ η πυρκαγιά χαρακτηρίζει αποκλειστικά την ανεξέλεγκτη φωτιά που προκαλεί καταστροφές σε δάση, περιουσίες ή υποδομές.

Πυροδιαμέρισμα

Το πυροδιαμέρισμα είναι ένα τμήμα κτιρίου ή ολόκληρο το κτίριο που περικλείεται «ερμητικά» (με δομικά στοιχεία πυραντίστασης) για να περιορίζει τη φωτιά στον χώρο που εκδηλώθηκε. Σκοπός του είναι να εγκλωβίσει τη φωτιά, αποτρέποντας την οριζόντια ή κατακόρυφη εξάπλωσή της για καθορισμένο χρόνο, προστατεύοντας το υπόλοιπο κτίριο.

Πυρασφάλεια

Ο όρος «πυρασφάλεια» μπορεί να χαρακτηριστεί εννοιολογικά ως «ασφάλεια έναντι του πυρός» και ουσιαστικά αυτό περιγράφει. Είναι μια έννοια ετοιμολογικά πολύ κοντά στην πυροπροστασία, αλλά ταυτίζεται περισσότερο με την ευρύτερη έννοια της ασφάλειας έναντι μιας

πυρκαγιάς, καθώς και των διαφόρων διαδικασιών που αυτή περιλαμβάνει, όπως π.χ η οργάνωση, η πρόληψη, η διαχείριση του κινδύνου καθώς και η προστασία των ανθρώπων.

Πυροπροστασία

Οι όροι πυρασφάλεια και πυροπροστασία χρησιμοποιούνται συχνά εναλλακτικά, με τις έννοιες τους να αλληλοσυμπληρώνονται. Γενικότερα, η πυροπροστασία μπορεί να χαρακτηριστιστεί ως το σύνολο των μέτρων που στοχεύουν στην παρεμπόδιση, καθυστέρηση και απόσβεση μιας πυρκαγιάς. Η πυροπροστασία των κτηρίων χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, την α) Παθητική Πυροπροστασία και β) Ενεργητική Πυροπροστασία.

Παθητική Πυροπροστασία

Περιλαμβάνει τα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται κατά τον σχεδιασμό και την κατασκευή των κτηρίων, ώστε αν ξεσπάσει πυρκαγιά, τα αποτελέσματά της να είναι όσο το δυνατόν λιγότερο καταστρεπτικά.

Εφαρμόζονται ορισμένες κατασκευαστικές προβλέψεις που περιλαμβάνουν: (α) προβλέψεις κατά τη σχεδίαση των κτηρίων, ώστε να εξασφαλίζεται η ύπαρξη οδών διαφυγής του πληθυσμού προς το ύπαιθρο ή προς άλλα διαμερίσματα προστατευμένα από την πυρκαγιά (ταυτόχρονα πρέπει να γίνεται πρόβλεψη της διαδρομής καπνού και αερίων, ώστε οι οδοί διαφυγής να διατηρούνται ελεύθερες), (β) τον διαχωρισμό του κτηρίου σε πυροδιαμερίσματα, τα οποία κατασκευάζονται με επαρκώς πυράντοχα δομικά στοιχεία, ώστε να επιτυγχάνεται η καθυστέρηση της μετάδοσης της φωτιάς, (γ) τη στατική επάρκεια των φερόντων στοιχείων, (δ) την άρτια εξωτερική διαμόρφωση του κτηρίου, ώστε να εξασφαλίζεται η δυνατότητα προσέγγισης και δράσης της Πυροσβεστικής.

Σημαντικές παράμετροι που σχετίζονται με την παθητική πυροπροστασία σε μια κατασκευή, είναι η εκπόνηση σωστής μελέτης παθητικής πυροπροστασίας, καθώς και η ακριβής τήρηση αυτής και των προδιαγραφών της, η διασφάλιση της προσβασιμότητας, ο έλεγχος και η συντήρηση, η σήμανση των οδών διαφυγής και εξόδων κινδύνου, η ύπαρξη κατάλληλου φωτισμού ασφαλείας και τέλος ο σωστός διαχωρισμός του κτηρίου σε πυροδιαμερίσματα. Ανάλογα με τη χρήση του κτηρίου καθώς και με το έτος έκδοσης της οικοδομικής αδείας του, εφαρμόζονται διαφορετικές νομοθετικές διατάξεις όσον αφορά τα μέτρα παθητικής πυροπροστασίας.

Ενεργητική Πυροπροστασία

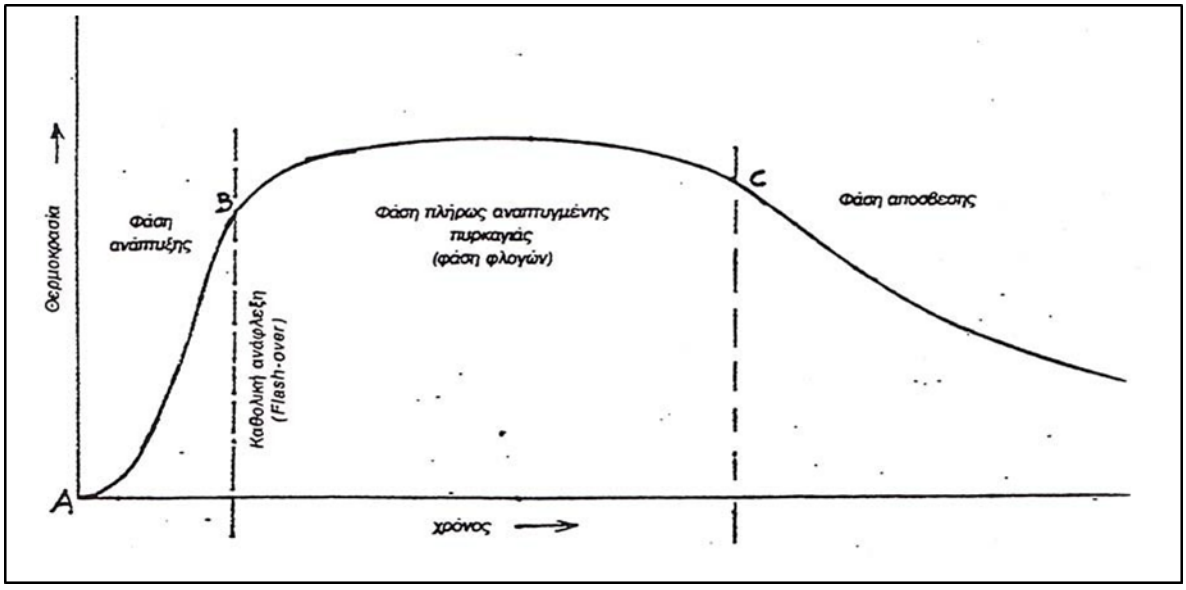
Περαλαμβάνει τα μέτρα και τις τεχνολογίες που ενεργοποιούνται κατα την εκδήλωση μιας πυρκαγιάς με σκοπό τον περιορισμό και της απόσβεση της με βασικό γνώμονα τον περιορισμό των υλικών ζημιών και την προστασία της ανθρώπινης ζωής. Όπως και στην παθητική πυροπροστασία, κατα το στάδιο της κατασκευής ενός κτηρίου εκπονείται κατάλληλη μελέτη ενεργητικής πυροπροστασίας βάσει της χρήσης και των αναγκών του χώρου. Η μελέτη αυτή μπορεί να περιλαμβάνει χειροκίνητα μέσα απόσβεσης, όπως π.χ οι πυροσβεστήρες, αλλά και αυτόματα συστήματα, όπως συναγερμού, ανίχνευσης καπνού, αλλά και καταιονισμού με νερό για την απόσβεση στη φωτιάς.

Ανάλογα με τη χρήση του κτηρίου καθώς και με το έτος έκδοσης της οικοδομικής αδείας του, εφαρμόζονται διαφορετικές νομοθετικές διατάξεις όσον αφορά τα μέτρα ενεργητικής πυροπροστασίας.

1.2. ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ

Η εκδήλωση πυρκαγιάς σε κλειστό χώρο αποτελεί ένα ιδιαίτερα σύνθετο φυσικό φαινόμενο, το οποίο επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως το είδος και η ποσότητα των καυσίμων υλικών, οι συνθήκες αερισμού, η γεωμετρία του χώρου και οι θερμικές ιδιότητες των δομικών στοιχείων. Σε αντίθεση με μια πυρκαγιά σε ανοιχτό περιβάλλον, η φωτιά σε εσωτερικούς χώρους αναπτύσσεται μέσα σε περιορισμένο όγκο, γεγονός που οδηγεί στη συσσώρευση θερμότητας, καπνού και προϊόντων καύσης. Στο σχήμα 1.1 παρουσιάζεται η πορεία ανάπτυξης μιας πυρκαγιάς σε εσωτερικό χώρο. Το διάστημα Α/Β της γραφικής παράστασης, περιγράφει το στάδιο εκκίνησης της πυρκαγιάς (η στάδιο ανάφλεξης) στο οποίο η πυρκαγιά ξεκινά με την ανάφλεξη κάποιου καύσιμου υλικού, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχει επαρκής θερμότητα και οξυγόνο. Σε αυτο το στάδιο η πυρκαγιά είναι περιορισμένη στο σημείο ανάφλεξης και η θερμότητα που εκλύεται είναι σχετικά χαμηλή, ενώ υπάρχει ακόμα η δυνατότητα κίνησης εντός του χώρου είτε με σκοπό την εκκένωση του είτε με σκοπό την απόσβεση της πυρκαγιάς με χειροκίνητα μέσα, όπως π.χ πυροσβεστήρες. Στη συνέχεια, με τη συνεχή αύξηση της εκλυόμενης θερμότητας γίνεται μετάβαση στο διάστημα Β/Γ, στο οποίο η πυρκαγιά έχει πλήρως εξελιχθεί και η φωτιά έχει μεταδοθεί και στα υπόλοιπα υλικά εντός του χώρου καύσιμα και μη. Σε αυτό το στάδιο η θερμοκρασία έχει φτάσει σε τέτοιο σημείο, που η οποιαδήποτε κίνηση εντός του χώρου είναι αδύνατη, ενώ ταυτόχρονα, λόγω της ανοδικής ροής θερμών αερίων και καπνού, σχηματίζεται θερμό στρώμα κάτω απο την οροφή γεγονός το οποίο καθιστα την ατμόσφαιρά εντός του χώρου

αποπνικτική. Τέλος, απο το σημείο C και μετά, η ένταση της καύσης αρχίζει να μειώνεται είτε λόγω εξάντλησης του διαθέσιμου καυσίμου είτε λόγω έλλειψης οξυγόνου και έτσι γίνεται μετάβαση στο στάδιο απόσβεσης της πυρκαγιάς στο οποίο η ένταση της σταδιακά μειώνεται μέχρι και την πλήρη απόσβεση της. Παρατηρούμε, ότι η συμπεριφορά μιας πυρκαγιάς επηρεάζεται άμεσα απο τις συνθήκες αερισμού του χώρου. Στα αρχικά στάδια, όταν υπάρχει επαρκής παροχή οξυγόνου, η πυρκαγιά χαρακτηρίζεται ως ελεγχόμενη από το καύσιμο (fuel-controlled fire). Σε μεταγενέστερο στάδιο, καθώς η συγκέντρωση οξυγόνου μειώνεται λόγω της κατανάλωσής του, η καύση αρχίζει να ελέγχεται από τον αερισμό (ventilation-controlled fire). Όταν σε ένα χώρο δεν υπάρχει επαρκές οξυγόνο για καύση, τότε η ένταση της πυρκαγιάς θα είναι αρκετά χαμηλότερη και η διάρκεια της σίγουρα μικρότερη **(1)**.



Σχήμα 2.1: Φάσεις ανάπτυξης πυρκαγιάς συναρτήσει χρόνου και θερμοκρασίας χώρου (1)

Πρέπει, επίσης, να γίνει κατανοητό ότι κατά και μετά το στάδιο της απόσβεσης, παρ' ότι υπάρχει μείωση και εξάλειψη της πυρκαγιάς ο χώρος εκδήλωσης της εξακολουθεί να μην είναι ασφαλής για την ανθρώπινη παρουσία, λόγω των τοξικών αερίων και των προϊόντων ατελούς καύσης που έχουν δημιουργηθεί. Επίσης, πρέπει να αναφέρουμε ότι μετά απο πυρκαγιές μεγάλης έντασης καταπονούνται (και ίσως καταστρέφονται) και τα δομικά στοιχεία του κτηρίου γεγονός το οποίο μπορεί να επιφέρει μείωση στην φέρουσα ικανότητα του και απαιτεί εργασίες ενισχύσεων για την αποκατάσταση της.

Η συμπεριφορά της πυρκαγιάς αποτελεί ένα ιδιαίτερα πολύπλοκο φυσικοχημικό φαινόμενο, καθώς επηρεάζεται από μεγάλο αριθμό παραγόντων και αλληλεπιδράσεων που συχνά είναι δύσκολο να προβλεφθούν με απόλυτη ακρίβεια. Παρόλα αυτά, μέσω της επιστημονικής ανάλυσης και της χρήσης κατάλληλων υπολογιστικών μοντέλων είναι δυνατή η εκτίμηση της εξέλιξης μιας πυρκαγιάς και των επιπτώσεών της σε ένα κτήριο.

Στο πλαίσιο αυτό μπορούν να πραγματοποιηθούν παραδοχές σχετικά με τον ρυθμό καύσης, την κατανομή της θερμοκρασίας στον χώρο, την κίνηση των θερμών αερίων και καπνού, καθώς και την ανταλλαγή θερμών και ψυχρών αερίων μέσω ανοιγμάτων και συστημάτων αερισμού. Η ανάπτυξη σύγχρονων μεθόδων προσομοίωσης και η χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών επιτρέπουν την ανάλυση της συμπεριφοράς της φωτιάς ήδη από το στάδιο του σχεδιασμού ενός κτηρίου. Με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών καθορίζονται τα απαραίτητα μέτρα πυροπροστασίας που πρέπει να εφαρμοστούν στα κρίσιμα δομικά στοιχεία της κατασκευής. Ιδιαίτερη σημασία έχουν τα φέροντα και διαχωριστικά στοιχεία, τα οποία σχεδιάζονται έτσι ώστε να περιορίζουν την εξάπλωση της πυρκαγιάς και να διατηρούν τη στατική επάρκεια του κτηρίου για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Παράλληλα, βασικό παράγοντα πυρασφάλειας αποτελούν οι οδεύσεις διαφυγής και οι έξοδοι κινδύνου, οι οποίες πρέπει να διαθέτουν κατάλληλο αριθμό και επαρκείς διαστάσεις ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής εκκένωση των χρηστών του κτηρίου σε περίπτωση πυρκαγιάς. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν τα συστήματα φυσικού ή μηχανικού αερισμού και απομάκρυνσης καπνού, τα οποία εφαρμόζονται κυρίως σε μεγάλα ή σύνθετα κτήρια, όπως βιομηχανικές εγκαταστάσεις, υπόγειοι σταθμοί μεταφορών, εμπορικά κέντρα και αεροδρόμια. Συνεπώς, η πυρασφάλεια των κτηρίων αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα μέτρων, μέσων και διαδικασιών που αποσκοπούν στη μέγιστη δυνατή προστασία της ανθρώπινης ζωής, της περιουσίας και της κατασκευής από τις συνέπειες μιας πυρκαγιάς.

1.3. Τεχνική Πρόοδος και Πυρασφάλεια

Η συνεχής τεχνολογική και κατασκευαστική εξέλιξη των τελευταίων δεκαετιών έχει επηρεάσει σημαντικά τον τρόπο σχεδιασμού και λειτουργίας των σύγχρονων κτηρίων, δημιουργώντας νέες απαιτήσεις στον τομέα της πυρασφάλειας. Η ανάπτυξη πολυώροφων κτηρίων, σύνθετων αρχιτεκτονικών μορφών, υπόγειων εγκαταστάσεων και μεγάλων συγκροτημάτων αυξάνει σημαντικά την πολυπλοκότητα των συνθηκών που μπορεί να επικρατήσουν σε περίπτωση πυρκαγιάς. Παράλληλα, η ευρεία χρήση νέων δομικών και συνθετικών υλικών, καθώς και η

αυξημένη παρουσία ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων και ενεργειακών συστημάτων, μεταβάλλουν τη συμπεριφορά της φωτιάς και επηρεάζουν τον τρόπο ανάπτυξης και εξάπλωσής της μέσα στους χώρους. Πολλά σύγχρονα υλικά παρουσιάζουν υψηλό ρυθμό καύσης και παράγουν μεγάλες ποσότητες καπνού και τοξικών αερίων, γεγονός που αυξάνει σημαντικά τον κίνδυνο για τους χρήστες ενός κτηρίου. Η τεχνική πρόοδος συνέβαλε ταυτόχρονα και στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών πυροπροστασίας και πυρανίχνευσης. Τα σύγχρονα συστήματα ενεργητικής πυροπροστασίας διαθέτουν πλέον αυξημένες δυνατότητες έγκαιρης ανίχνευσης, αυτόματης ειδοποίησης και άμεσης καταστολής της πυρκαγιάς. Επιπλέον, η χρήση υπολογιστικών μεθόδων και λογισμικών προσομοίωσης επιτρέπει την ανάλυση της συμπεριφοράς της φωτιάς ήδη από το στάδιο της μελέτης ενός κτηρίου, συμβάλλοντας στον βέλτιστο σχεδιασμό μέτρων πυροπροστασίας. Σημαντική πρόοδος έχει επίσης σημειωθεί στον τομέα των πυροπροστατευτικών δομικών υλικών και της πυραντίστασης των κατασκευών. Η ανάπτυξη πυράντοχων επενδύσεων, διογκούμενων βαφών, συστημάτων αποκάπνωσης και εξελιγμένων κατασβεστικών μέσων έχει βελτιώσει σημαντικά το επίπεδο ασφάλειας των σύγχρονων κατασκευών **(1)**.

Ωστόσο, παρά την τεχνολογική εξέλιξη, οι κίνδυνοι πυρκαγιάς εξακολουθούν να αποτελούν σοβαρή απειλή για την ανθρώπινη ζωή και τις κατασκευές. Για τον λόγο αυτό, η εφαρμογή ολοκληρωμένων στρατηγικών πυρασφάλειας, η συμμόρφωση με τους σύγχρονους κανονισμούς και η συνεχής συντήρηση των συστημάτων πυροπροστασίας αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για την ασφαλή λειτουργία των κτηρίων. Τα διάφορα επιστημονικά δεδομένα επιτρέπουν να διαθέτουμε ένα χρήσιμο πλαίσιο για την ανάλυση και επίλυση πολλών προβλημάτων, όπως παραγωγής, ασφάλειας, κ.λπ. Το πλαίσιο είναι η έννοια του συστήματος και η συσχέτιση του με το περιβάλλον. Η συμπεριφορά οποιουδήποτε συστήματος μεταβάλλεται όταν διαφοροποιηθεί η διαγωγή των συνιστωσών (υποσυστημάτων) του. Κάτι τέτοιο θα συμβεί όταν προκληθεί η πυρκαγιά. Έτσι, στο παραγωγικό κύκλωμα, για παράδειγμα, η φωτιά μπορεί να επηρεάσει τους συντελεστές της παραγωγής, που, σύμφωνα με τις κλασσικές απόψεις της οικονομολογίας, είναι:

1. Οι φυσικοί πόροι (έδαφος, αέρας, νερό, κατεργάσιμες ύλες, ενεργειακές πηγές, κ.λπ.).

2. Το εργασιακό δυναμικό (ανθρώπινος παράγοντας) και

3. Τα κεφαλαιουχικά αγαθά (κεφάλαιο - κίνησης, μηχανήματα, οικοδομήματα, αποθέματα).

Αν συμβεί φαινόμενο πυρκαγιάς, έχουμε επιπτώσεις — δυσμενείς — στο αποτέλεσμα (ποιότητα, ποσότητα παραγωγής) Με χρήση μαθηματικών, η αλληλεξάρτηση αυτή εκφράζεται με μία συνάρτηση παραγωγής:

$$A = f(Π,E,K)$$

Όπου,

Α: το αποτέλεσμα της παραγωγής

Π: οι φυσικοί πόροι

Ε: η εργατική δύναμη

Κ: τα κεφαλαιουχικά αγαθά.

Στις πυρκαγιές, δεν αποκλείεται να παρατηρηθούν και έμμεσες συνέπειες, εξίσου σοβαρές με τις προαναφερόμενες επιπτώσεις, έτσι τη μέγιστη καταστροφή την έχουμε, μεταγενέστερα, όταν είναι δυνατό στις ζημιές που εκτιμώνται ως άμεσες συνέπειες της πυρκαγιάς να αθροισθούν και οι οικονομικές επιπτώσεις που έμμεσα αυτή προκαλεί **(2)**.

2. Η ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΚΑΙ Η ΕΞΑΠΛΩΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑ ΚΤΗΡΙΑ

Η φωτιά είναι ένα φυσικό και χημικό φαινόμενο που χαρακτηρίζεται από έντονη αλληλεπίδραση. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ της φλόγας, του καυσίμου και του περιβάλλοντος μπορεί να είναι έντονα μη γραμμικές, και η εκτίμηση των διεργασιών που εμπλέκονται είναι συχνά πολύπλοκη. Οι διεργασίες που παρουσιάζουν ενδιαφέρον σε μια πυρκαγιά εντός κλειστού χώρου (enclosure fire) σχετίζονται κυρίως με ροές μάζας και θερμότητας προς και από το καύσιμο και το περιβάλλον. Όπως προαναφέρθηκε, η πυρκαγιά ορίζεται ως μία ανεξέλεγκτη διαδικασία καύσης, η οποία συνοδεύεται από την ταχεία απελευθέρωση θερμότητας, φωτός και καπνού. Πρόκειται για εξώθερμη χημική αντίδραση μεταξύ καύσιμων υλικών και ενός οξειδωτικού παράγοντα, συνήθως του οξυγόνου της ατμόσφαιρας. Σε αντίθεση με την ελεγχόμενη καύση, η πυρκαγιά χαρακτηρίζεται από ανεξέλεγκτη εξέλιξη, γεγονός που την καθιστά ιδιαίτερα επικίνδυνη για το δομημένο περιβάλλον. Η συμπεριφορά της πυρκαγιάς σε κλειστούς χώρους αποτελεί ένα σύνθετο φαινόμενο, στο οποίο αλληλεπιδρούν θερμικές ροές, ροές μάζας και χημικές αντιδράσεις καύσης, επηρεαζόμενες από τη γεωμετρία του χώρου, τον αερισμό και τα χαρακτηριστικά των καύσιμων υλικών. Η βασική διεργασία, η οποία σχετίζεται και με την

ανάπτυξη μιας πυρκαγιάς είναι η **καύση.** Για την εκδήλωσή της καύσης απαιτείται η παρουσία καυσίμου, οξυγόνου και πηγής θερμότητας, ενώ η διατήρησή της εξαρτάται από την υπαρξη οξυγόνου και επιμέρους καύσιμων υλικών.

2.1 Είδη Πυρκαγιών

Στην προσπάθεια εξέτασης και ανάλυσης των διαφόρετικών πυρκαγιών, με σκοπό την εύρεση κοινών χαρακτηριστικών μεταξύ αυτών, έχουν γίνει διάφορες κατηγοριοποιήσεις αυτών, βάσει διαφόρων κριτηρίων. Σκοπός της κατηγοριοποίησης μιας πυρκαγιάς είναι η εξέταση των συνθηκών υπο τις οποίες αυτή εκδηλώνεται, με σκοπό την εύρεση των κατάλληλων μέσων και τεχνολογιών για την απόσβεση της, καθώς και την προσθήκη αυτών των μέσω στην υφιστάμενη Νομοθεσία περί πυρόσβεσης. Στη συνέχεια, λοιπόν, παρουσιάζεται μια κατηγοριοποίηση των πυρκαγιών βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων, τα οποία είναι τα ακόλουθα:

Α) Με κριτήριο τη φυσική κατάσταση στην οποία βρίσκονται τα καιόμενα υλικά σε **(3)**:

- πυρκαγιές στερεών καυσίμων ή ξηρές πυρκαγιές
- πυρκαγιές υγρών καυσίμων
- πυρκαγιές αερίων καυσίμων

Β) Με κριτήριο τα κατασβεστικά μέσα με τα οποία αντιμετωπίζονται οι πυρκαγιές σε **(3)**:

- κοινές πυρκαγιές (κύριο κατασβεστικό μέσο το νερό).
- Ειδικές πυρκαγιές (κατασβεστικά υλικά εκτός νερού)
- Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων
- Χημικών Προϊόντων
- Οξέων – Μετάλλων

Γ) Με κριτήριο το είδος του οικοδομήματος και τη χρήση αυτού σε **(3)**:

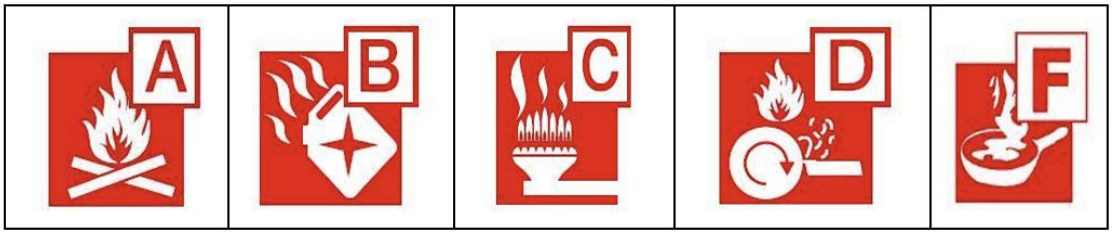
- Οικοδομών
- Αιθουσών Συγκεντρώσεων
- Εργοστασίων, αυτοκινήτων & μηχανημάτων

- Πλοίων
- Αεροπλάνων
- Δασών

Η παραπάνω κατάταξη ακολουθεί μια πιο πυροσβεστική προσέγγιση. Υπάρχουν διάφορα ευρωπαικά πρότυπα τα οποία ταξινομούν τις πυρκαγιές βάσει τη φύση της καύσιμης ύλης. Συγκεκριμένα, βάσει του Ευρωπαϊκού Προτύπου EN-2, που και έγινε αποδεκτό από τον Ελληνικό Οργανισμό Τυποποίησης (ΕΛΟΤ), οι πυρκαγιές μπορούν να διακριθούν σε 5 διαφορετικές κλάσεις, συγκεκριμένα:

- **Κλάση A:** Φωτιές σε στερεά υλικά (συνήθως οργανικής φύσης), όπως ξύλο, χαρτί, ύφασμα, κάρβουνο και πλαστικά που αφήνουν υπολείμματα και κάρβουνο.
- **Κλάση B:** Φωτιές σε υγρά ή υγροποιήσιμα στερεά, όπως βενζίνη, πετρέλαιο, λάδια, παραφίνη, χρώματα και πίσσα.
- **Κλάση C:** Φωτιές σε αέρια, όπως το υγραέριο (LPG), το φυσικό αέριο, το μεθάνιο, το προπάνιο και το ασετυλίνη.
- **Κλάση D:** Φωτιές που αφορούν μέταλλα, όπως μαγνήσιο, τιτάνιο, αλουμίνιο (σε μορφή σκόνης ή ρινισμάτων), νάτριο και κάλιο.
- **Κλάση F:** Φωτιές σε μαγειρικά μέσα (φυτικά ή ζωικά έλαια και λίπη) και μέσα σε συσκευές μαγειρέματος.

Στη βάση αυτή, η κατηγοριοποίηση των πυρκαγιών έχει ενταχθεί στην Ελληνική Νομοθεσία Πυρασφάλειας.



Εικόνα 2.1: Σχηματική απεικόνιση εικονιδίων πυρκαγιών σύμφωνα με το πρότυπο EN-2

2.2 ΠΙΘΑΝΕΣ ΑΙΤΙΕΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ

Σημαντικός παράγοντας μελέτης των διαφόρων κατηγοριών πυρκαγιών αποτελούν και οι αιτίες ανάπτυξης τους. Ως αιτία ανάπτυξης ορίζεται οποιοδήποτε φυσικό ή χημικό φαινόμενο το οποίο μπορεί να οδηγήσει στην εκδήλωση του φυσικοχημικού φαινομένου της καύσης. Οι βασικότερες αιτίες ανάπτυξης πυρκαγιών είναι οι κάτωθι **(3)**:

- Το ηλεκτρικό ρεύμα (σπινθήρες, βραχυκύκλωμα)
- Η κρούση, η πίεση και η τριβή
- Η διασπορά σπινθήρων ή η υπερθέρμανση λόγω λειτουργίας συσκευών ή μηχανημάτων (ατμομηχανών, λεβήτων, καυστήρων, κλιβάνων)
- Οι γυμνές φλόγες (λυχνιών, κεριών, σπίρτων, αναπτήρων, εστιών πυρός κλπ) που έρχονται σε επαφή με καύσιμα υλικά
- Τα υπολείμματα καπνίσματος (αποτσίγαρα, πούρα κ.α.)
- Οι ηλιακές ακτίνες που πέφτουν σε γυαλιά ή συγκεντρώνοντα.
- Αναμμένες θερμάστρες πετρελαίου, ξύλου ή μαγκάλια
- Τα πολεμικά γεγονότα
- Η αυτόματη ανάφλεξη (λόγω οξειδώσεως ή ζυμώσεως)
- Φυσικά φαινόμενα (κεραυνός - σεισμός - ηφαίστεια)
- Οι χημικές αντιδράσεις

Ενώ, απο άποψη υπαιτιότητας κατηγοριοποιούνται σε **(3)**:

- Αμέλεια
- Δόλο
- Ανωτέρα Βία
- Τυχαίες

Εδώ θα ήταν χρήσιμο να αναφέρουμαι και τα βασικότερα κατασβεστικά υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για απόσβεση μιας πυρκαγιάς, μιας και αυτά αξιοποιούν τα μέσα ενεργητικής πυροπροστασίας που περιγράφονται σε επόμενο κεφάλαιο. Συγκεκριμένα, τα κυριότερα και καταλληλότερα κατασβεστικά υλικά είναι τα κάτωθι **(3)**:

Νερό

Το νερό αποτελεί το πιο διαδεδομένο και ευρέως χρησιμοποιούμενο κατασβεστικό μέσο στην αντιμετώπιση πυρκαγιών, λόγω της υψηλής αποτελεσματικότητας, της χαμηλής οικονομικής δαπάνης και της εύκολης διαθεσιμότητάς του. Χρησιμοποιείται τόσο σε φορητά μέσα πυρόσβεσης όσο και σε μόνιμα συστήματα ενεργητικής πυροπροστασίας, όπως τα πυροσβεστικά δίκτυα, οι καταιονιστήρες (sprinklers) και τα συστήματα υδρονέφωσης.

Η κατασβεστική δράση του νερού βασίζεται κυρίως στην ικανότητά του να απορροφά μεγάλες ποσότητες θερμότητας. Λόγω της υψηλής ειδικής θερμότητας και της μεγάλης θερμότητας εξάτμισης που διαθέτει, το νερό μειώνει αποτελεσματικά τη θερμοκρασία των καιόμενων υλικών και του περιβάλλοντος χώρου, επιβραδύνοντας ή διακόπτοντας τη διαδικασία της καύσης. Κατά την εξάτμισή του, το νερό μετατρέπεται σε υδρατμό, απορροφώντας σημαντική ποσότητα θερμικής ενέργειας από τη φωτιά.

Παράλληλα, οι παραγόμενοι υδρατμοί συμβάλλουν στη μείωση της συγκέντρωσης οξυγόνου κοντά στην εστία της πυρκαγιάς, περιορίζοντας περαιτέρω τη δυνατότητα συνέχισης της καύσης. Επιπλέον, το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ψύξη γειτονικών δομικών στοιχείων και επιφανειών, μειώνοντας τον κίνδυνο εξάπλωσης της φωτιάς σε παρακείμενους χώρους ή κατασκευές.

Το νερό είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό στην κατάσβεση πυρκαγιών Κλάσης Α, δηλαδή πυρκαγιών που αφορούν στερεά καύσιμα υλικά όπως ξύλο, χαρτί, υφάσματα και πλαστικά. Ωστόσο, η χρήση του δεν είναι κατάλληλη σε όλες τις περιπτώσεις. Σε πυρκαγιές ηλεκτρικού εξοπλισμού υπάρχει κίνδυνος ηλεκτροπληξίας λόγω της αγωγιμότητας του νερού, ενώ σε πυρκαγιές εύφλεκτων υγρών μπορεί να προκληθεί διασπορά του καυσίμου και επέκταση της φωτιάς. Επίσης, σε ορισμένες χημικές ουσίες και μέταλλα, όπως το νάτριο και το μαγνήσιο, η επαφή με το νερό μπορεί να προκαλέσει βίαιες αντιδράσεις ή εκρήξεις.

Η αποτελεσματικότητα του νερού ως κατασβεστικού μέσου εξαρτάται και από τον τρόπο εφαρμογής του. Το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί υπό μορφή συμπαγούς δέσμης, ψεκασμού ή

υδρονέφωσης. Η μορφή υδρονέφωσης παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα, καθώς δημιουργεί πολύ μικρά σταγονίδια που αυξάνουν σημαντικά την επιφάνεια επαφής με τη φωτιά και επιτρέπουν ταχύτερη εξάτμιση και απορρόφηση θερμότητας.

Στα σύγχρονα κτήρια, το νερό χρησιμοποιείται κυρίως μέσω αυτόματων συστημάτων καταιονισμού (sprinklers), τα οποία ενεργοποιούνται αυτόματα όταν η θερμοκρασία στον χώρο υπερβεί προκαθορισμένα όρια. Τα συστήματα αυτά συμβάλλουν σημαντικά στον περιορισμό της εξάπλωσης της πυρκαγιάς και στη μείωση των θερμικών φορτίων μέχρι την επέμβαση της πυροσβεστικής υπηρεσίας.

Αφρός

Ο αφρός αποτελεί ένα ιδιαίτερα αποτελεσματικό κατασβεστικό μέσο και χρησιμοποιείται κυρίως για την αντιμετώπιση πυρκαγιών εύφλεκτων υγρών και καυσίμων υδρογονανθράκων. Η χρήση του είναι ευρέως διαδεδομένη σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, διυλιστήρια, αποθηκευτικούς χώρους καυσίμων, αεροδρόμια και χώρους όπου υπάρχει υψηλός κίνδυνος πυρκαγιών Κλάσης Β.

Ο κατασβεστικός αφρός δημιουργείται μέσω ανάμιξης νερού, αφρογόνου υλικού και αέρα. Το τελικό προϊόν σχηματίζει μία σταθερή στρώση φυσαλίδων πάνω από την επιφάνεια του καιόμενου υγρού. Η στρώση αυτή λειτουργεί ως φραγμός μεταξύ του καυσίμου και του οξυγόνου της ατμόσφαιρας, απομονώνοντας το καύσιμο από τον αέρα και περιορίζοντας την εξάτμιση εύφλεκτων ατμών. Η εφαρμογή του αφρού πραγματοποιείται μέσω φορητών πυροσβεστήρων, μόνιμων εγκαταστάσεων αφρού, πυροσβεστικών οχημάτων ή αυτόματων συστημάτων κατάσβεσης. Στα συστήματα αυτά, το αφρογόνο υλικό αναμιγνύεται με νερό σε συγκεκριμένη αναλογία και στη συνέχεια διοχετεύεται υπό πίεση προς την εστία της πυρκαγιάς.

Διοξείδιο του Άνθρακα

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα αέρια κατασβεστικά μέσα και χρησιμοποιείται ευρέως για την αντιμετώπιση πυρκαγιών, κυρίως σε χώρους όπου η χρήση νερού ή αφρού θα μπορούσε να προκαλέσει ζημιές στον εξοπλισμό ή να αποδειχθεί επικίνδυνη. Χρησιμοποιείται συχνά σε ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις, χώρους ηλεκτρονικού εξοπλισμού, μηχανοστάσια, κέντρα δεδομένων, βιομηχανικούς χώρους και πίνακες ηλεκτρικής ισχύος.

Η κατασβεστική δράση του διοξειδίου του άνθρακα βασίζεται κυρίως στη μείωση της συγκέντρωσης οξυγόνου στον χώρο της πυρκαγιάς. Όταν το CO_2 απελευθερώνεται, εκτοπίζει τον αέρα και μειώνει την περιεκτικότητα οξυγόνου κάτω από τα επίπεδα που απαιτούνται για τη

διατήρηση της καύσης. Με τον τρόπο αυτό διακόπτεται η χημική αντίδραση της φωτιάς και επιτυγχάνεται η κατάσβεση.
Παράλληλα, το διοξείδιο του άνθρακα παρουσιάζει και ψυκτική δράση, καθώς κατά την εκτόνωσή του από τη φιάλη μετατρέπεται μερικώς σε ξηρό πάγο και απορροφά θερμότητα από το περιβάλλον. Ωστόσο, η κύρια κατασβεστική του ικανότητα οφείλεται στον περιορισμό του οξυγόνου και όχι στην ψύξη.
Η χρήση διοξειδίου του άνθρακα πραγματοποιείται είτε μέσω φορητών πυροσβεστήρων είτε μέσω μόνιμων αυτόματων συστημάτων κατάσβεσης. Στα αυτόματα συστήματα, το αέριο αποθηκεύεται σε φιάλες υπό υψηλή πίεση και απελευθερώνεται στον προστατευόμενο χώρο όταν ενεργοποιηθεί το σύστημα πυρανίχνευσης.

Κατασβεστικές Σκόνες

Οι κατασβεστικές σκόνες αποτελούνται απο λεπτόκοκκα χημικά υλικά, τα οποία εκτοξεύονται υπο πίεση προς την εστία της πυρκαγιάς. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για την κατάσβεση πυρκαγιών Κλάσης B & C, ενώ χρησιμοποιούνται και σε πυρκαγιές Κλάσης A. Υπάρχουν, βέβαια και ειδικές σκόνες, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την κατάσβεση πυρκαγιών Κλάσης D. Η εφαρμογή των κατασβεστικών σκονών, πραγματοποιείται μέσω πυροσβεστήρων ξηράς κόνεως, καθώς και μέσω αυτόματων συστημάτων κατάσβεσης σε ειδικές εγκαταστάσεις.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι οι κυριότεροι φορείς, οι οποιοί ασχολούνται και επηρεάζονται απο τις πυρκαγιές, καθώς και από όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως είναι οι ακόλουθοι **(4)**:

- Οι Πυροσβεστηκές υπηρεσίες που καλούνται να λάβουν μέτρα
- Οι ιδιοκτήτες ακίνητης περιουσίας, για την απόδοση ευθυνών και εξασφάλιση αποζημιώσεων
- Οι ασφαλιστικές εταιρείες, λόγω των ασφαλιστικών συμβολαίων πυρός
- Η Εθνική Οικονομία, σε περπτώσεις που πυρκαγιών μεγάλης κλίμακας με καταστροφικές συνέπειες
- Το σύστημα δικαιοσύνης με σκοπό την απόδοση ευθυνών

2.3 ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΧΩΡΟ

Η ανάπτυξη μιας πυρκαγιάς σε εσωτερικό (κλειστό χώρο) αποτελεί μια δυναμική διαδικασία, που επηρεάζεται απο διάφορους παράγοντες. Μια πυρκαγιά περνάει απο διάφορα στάδια, στο καθένα απο το οποία αλληλεπιδρά με διαφορετικό τρόπο με τον χώρο στον οποίο εκδηλώνεται και συγκεκριμένα με τα καύσιμα και μη υλικά που υπάρχουν σε αυτόν τον χώρο. Η κατανόηση των διαφόρων σταδίων της πυρκαγιάς παιζεί βασικό ρόλο στην κατανόηση της σημασίας των μέσων παθητικής και ενεργητικής πυροπροστασίας, τα οποία καλούνται να την αντιμετωπίσουν. Τα στάδια αυτά είναι τα ακόλουθα **(5)**:

1. Στάδιο Ανάφλεξης
2. Στάδιο Ανάπτυξης
3. Στάδιο Μετάβασης – Flashover
4. Στάδιο Πλήρους Ανεπτυγμένης Πυρκαγιάς
5. Στάδιο Αποσβέσεως

2.3.1 ΣΤΑΔΙΟ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ (IGNITION)

Η ανάφλεξη αποτελεί το πρώτο στάδιο ανάπτυξης μιας πυρκαγιάς σε κλειστό χώρο. Η ανάφλεξη ουσιαστικά απαιτεί την παρουσία θερμότητας, καυσίμου και οξυγόνου. Μόλις ξεκινήσει η καύση, η ανάπτυξη της αρχικής πυρκαγιάς εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό απο τα χαρακτηριστικά και τη διάταξη του καύσιμου υλικού που συμμετέχει στην καύση. Σε αυτό το στάδιο, η πυρκαγιά θεωρείται ελεγχόμενη απο το καύσιμο (fuel - controlled fire). Ο υφιστάμενος, στον χώρο, αέρας παρέχει αρκετή ποσότητα οξυγόνου, ώστε να συνεχιστεί η ανάπτυξη της πυρκαγιάς. Κατά τη διάρκεια, της αρχικής φάσης, η παραγόμενη θερμική ακτινοβολία είναι σχετικά χαμηλή και θερμαίνει τα γειτονικά καύσιμα υλικά με αποτέλεσμα να συνεχίζεται η διαδικασία της πυρόλυσης **(6)**.

Έτσι, λοιπόν, στο στάδιο αυτό:

- η φωτιά είναι περιορισμένη και τοπική,
- η θερμοκρασία παραμένει σχετικά χαμηλή,
- η καύση δεν επηρεάζει ακόμη σημαντικά το σύνολο του χώρου.

2.3.2 ΣΤΑΔΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ (GROWTH)

Κατά το στάδιο ανάπτυξης, η πυρκαγιά εξαπλώνεται σε γειτονικά καύσιμα υλικά, με αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού έκλυσης θερμότητας. Η καύση είναι αρχικά ελεγχόμενη από το καύσιμο (fuel-controlled), καθώς υπάρχει επαρκής παροχή οξυγόνου. Η θερμοκρασιακή κατανομή μπορεί να χωριστεί σε δυο βασικά στρώματα: ενός ανώτερου που εκτείνεται απο την οροφή προς τα κάτω και ενός κατώτερου ψυχρότερου κοντά στο δάπεδο. Καθώς τα αέρια θερμαίνονται, διαστέλλονται και, όταν περιορίζονται μέσα στο διαμέρισμα, προκαλούν αύξηση της πίεσης στο ανώτερο θερμό στρώμα. Η αυξημένη πίεση οδηγεί τα θερμά αέρια να κινούνται προς τα κάτω μέσα στον χώρο και να εξέρχονται μέσω των ανοιγμάτων. Αντίθετα, στο κατώτερο ψυχρό στρώμα η πίεση είναι χαμηλότερη, με αποτέλεσμα την εισροή ψυχρού αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον προς το εσωτερικό του χώρου.

Στο σημείο όπου συναντώνται τα δύο αυτά στρώματα, δηλαδή στο επίπεδο όπου τα θερμά αέρια εξέρχονται και ο ψυχρός αέρας εισέρχεται μέσω ενός ανοίγματος, η πίεση εξισορροπείται. Το επίπεδο αυτό είναι γνωστό ως ουδέτερο επίπεδο (*neutral plane*).

Η πυρκαγιά μπορεί να συνεχίσει να αναπτύσσεται είτε μέσω της εξάπλωσης της φλόγας είτε μέσω ανάφλεξης επιπλέον καυσίμων υλικών μέσα στον χώρο. Όταν οι φλόγες του θερμικού λοφίου φτάσουν στην οροφή, κάμπτονται και αρχίζουν να εξαπλώνονται οριζόντια κάτω από αυτήν. Τα προϊόντα πυρόλυσης και τα εύφλεκτα αέρια που παράγονται από την ατελή καύση στο ανώτερο θερμό στρώμα αναφλέγονται, ενισχύοντας περαιτέρω την οριζόντια εξάπλωση της φωτιάς κατά μήκος της οροφής.

Καθώς η πυρκαγιά εξελίσσεται βαθύτερα στο στάδιο ανάπτυξης, ο κυρίαρχος μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας μέσα στον χώρο μετατοπίζεται από τη συναγωγή προς τη θερμική ακτινοβολία. Η αύξηση της θερμικής ακτινοβολίας οδηγεί σε μεγαλύτερη θερμική ροή (*heat flux*) προς τις επιφάνειες και τα καύσιμα υλικά κοντά στο δάπεδο, επιταχύνοντας την πυρόλυση και αυξάνοντας τον κίνδυνο γενικευμένης ανάφλεξης του χώρου **(6)**.

Σε αυτό το στάδιο λοιπόν:

- δημιουργείται ανοδική ροή θερμών αερίων (fire plume),
- εισέρχεται αέρας στο ρεύμα μέσω του φαινομένου της ανάμιξης (entrainment),
- σχηματίζεται θερμό στρώμα καπνού στην οροφή.

Η δημιουργία του θερμού ανώτερου στρώματος οδηγεί σε σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας του χώρου και ενίσχυση της θερμικής ακτινοβολίας προς τα δομικά στοιχεία και τα υπόλοιπα καύσιμα υλικά.

2.3.3 ΣΤΑΔΙΟ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ – FLASHOVER

Το flashover αποτελεί κρίσιμο σημείο (και ίσως το πιο επικίνδνο και απρόβλεπτο) στην εξέλιξη της πυρκαγιάς και αντιστοιχεί σε απότομη μετάβαση από το στάδιο ανάπτυξης σε πλήρως ανεπτυγμένη πυρκαγιά. Όταν συμβεί το flashover, πλέον στην πυρκαγιά συμμετέχουν οι επιφάνειες των καύσιμων υλικών όλου του χώρου. Η αναγνώριση του flashover και η κατανόηση των μηχανισμών βάσει των οποίων λειτουργεί (αν και ξεφεύγουν του παρόντος) αποτελούν βασικούς παράγοντες για την αντιμετώπιση μιας πυρκαγιάς. Επίσης, είναι σημαντικό να θυμάστε ότι το φαινόμενο του flashover δεν συμβαίνει πάντα, μιας και σχετίζεται άμεσα με το διαθέσιμο καύσιμο υλικό, καθώς και με το διαθέσιμο οξυγόνο στο χώρο. Αν το αρχικό καύσιμο υλικό, δεν έχει την απαιτούμενη ενέργεια και αυτή δεν εκλυθεί αρκετά γρήγορα, δεν θα συμβεί flashover. Επίσης, αν η φωτιά εξαντλήσει όλα το διαθέσιμο οξυγόνου του χώρου, ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας θα μειωθεί και η πυρκαγιά δεν θα φτάσει το συγκεκριμένο στάδιο.

Γενικά στο στάδιο flashover χαρακτηρίζεται από **(6)**:

- ραγδαία αύξηση της θερμοκρασίας,
- έντονη θερμική ακτινοβολία από το θερμό στρώμα καπνού,
- ταυτόχρονη ανάφλεξη των περισσότερων καύσιμων επιφανειών του χώρου.

Το φαινόμενο αυτό σηματοδοτεί την πλήρη εμπλοκή του χώρου στη φωτιά και την είσοδο σε ιδιαίτερα επικίνδυνες συνθήκες για την ανθρώπινη ζωή και τη δομική ακεραιότητα του κτηρίου .

2.3.4 ΣΤΑΔΙΟ ΠΛΗΡΟΥΣ ΑΝΕΠΤΥΓΜΕΝΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ (FULLY DEVELOPED FIRE)

Μετά το flashover, η πυρκαγιά φτάνει στη μέγιστη έντασή της. Όλα τα διαθέσιμα καύσιμα υλικά συμμετέχουν στην καύση και η θερμοκρασία στο εσωτερικό του χώρου μπορεί να ανέλθει σε πολύ υψηλά επίπεδα (έως και 700–1200°C). Πρέπει να σημειωθεί ότι το διαμέρισμα στο οποίο εκδηλώθηκε πρώτα η πυρκαγιά μπορεί να φτάσει στο στάδιο της πλήρως ανεπτυγμένης

πυρκαγιάς (*fully developed fire*), ενώ γειτονικά διαμερίσματα ενδέχεται να μην έχουν ακόμη εμπλακεί στη φωτιά. Τα θερμά αέρια και οι φλόγες που εξέρχονται από το διαμέρισμα όπου εξελίσσεται η πυρκαγιά μεταφέρουν θερμότητα σε άλλα καύσιμα υλικά, όπως το περιεχόμενο των χώρων, οι επενδύσεις επιφανειών και τα δομικά στοιχεία, οδηγώντας έτσι στην εξάπλωση της φωτιάς.

Οι συνθήκες μέσα σε ένα κτήριο μπορεί να διαφέρουν σημαντικά από χώρο σε χώρο. Είναι δυνατόν να υπάρχει πλήρως ανεπτυγμένη πυρκαγιά σε ένα διαμέρισμα, πυρκαγιά στο στάδιο ανάπτυξης σε ένα άλλο και αρχικό στάδιο ανάφλεξης σε κάποιο τρίτο. Παρά το γεγονός ότι μια πυρκαγιά σε γειτονικό χώρο μπορεί να βρίσκεται ακόμη σε αρχικό στάδιο, οι συνολικές συνθήκες μέσα στο κτήριο ενδέχεται να είναι εξαιρετικά επικίνδυνες για την ανθρώπινη ζωή και υγεία (*Immediately Dangerous to Life and Health – IDLH*).

Ο καπνός, τα τοξικά αέρια, οι υψηλές θερμοκρασίες και η μειωμένη συγκέντρωση οξυγόνου μπορούν να δημιουργήσουν περιβάλλον ακατάλληλο για επιβίωση ακόμη και σε χώρους που δεν έχουν άμεσα προσβληθεί από τις φλόγες. Για τον λόγο αυτό, η εξάπλωση των θερμών αερίων και του καπνού αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες επικινδυνότητας στις πυρκαγιές κτηρίων **(6)**.

Γενικότερα στο στάδιο αυτό:

- η καύση είναι συχνά ελεγχόμενη από τον αερισμό (ventilation-controlled),
- η ένταση της πυρκαγιάς εξαρτάται από την παροχή οξυγόνου μέσω ανοιγμάτων,
- παρατηρείται εκροή φλόγας και καπνού από παράθυρα και ανοίγματα.

Η φάση αυτή είναι ιδιαίτερα κρίσιμη για την αντοχή των δομικών στοιχείων.

2.3.5 ΣΤΑΔΙΟ ΑΠΟΣΒΕΣΕΩΣ (DECAY)

Στο τελικό στάδιο, η ένταση της πυρκαγιάς μειώνεται λόγω εξάντλησης του καύσιμου υλικού ή περιορισμού του οξυγόνου. Μια πυρκαγιά σε κλειστό χώρο μπορεί να περάσει στο στάδιο αποσβέσεως (*decay stage*) είτε λόγω κατανάλωσης του διαθέσιμου καυσίμου είτε λόγω περιορισμένης παροχής οξυγόνου. Όπως αναφέρθηκε και στην περίπτωση του flashover, ένα καύσιμο φορτίο που δεν διαθέτει επαρκή ποσότητα ενέργειας ή δεν παράγει αρκετά υψηλό ρυθμό έκλυσης θερμότητας ώστε να οδηγήσει τον χώρο σε γενικευμένη ανάφλεξη, μπορεί να περάσει

διαδοχικά από όλα τα στάδια ανάπτυξης της πυρκαγιάς χωρίς απαραίτητα να προκαλέσει ανάφλεξη άλλων καύσιμων υλικών.

Σε μεγαλύτερη κλίμακα, εάν δεν υπάρξει επέμβαση κατάσβεσης, ολόκληρο το κτήριο μπορεί να οδηγηθεί σε πλήρη εμπλοκή στη φωτιά και στη συνέχεια, καθώς το καύσιμο καταναλώνεται, να εισέλθει στο στάδιο αποσβέσεως. Ωστόσο, υπάρχει και ένας διαφορετικός, ιδιαίτερα επικίνδυνος τρόπος μετάβασης της πυρκαγιάς στο στάδιο αυτό. Όταν οι συνθήκες αερισμού του χώρου ή του κτηρίου δεν επιτρέπουν την επαρκή παροχή οξυγόνου, η πυρκαγιά γίνεται ελεγχόμενη από τον αερισμό και σταδιακά μεταβαίνει επίσης στο στάδιο αποσβέσεως.

Καθώς η συγκέντρωση οξυγόνου μειώνεται, ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας (Heat Release Rate – HRR) αρχίζει να μειώνεται. Παρόλα αυτά, η θερμοκρασία στον χώρο μπορεί να συνεχίσει να αυξάνεται για κάποιο χρονικό διάστημα, λόγω της συσσώρευσης θερμών αερίων και προϊόντων καύσης.

Η κατάσταση αυτή είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη, καθώς στο εσωτερικό του διαμερίσματος μπορεί να συγκεντρωθούν μεγάλες ποσότητες θερμών αερίων πυρόλυσης και εύφλεκτων προϊόντων ατελούς καύσης. Τα αέρια αυτά παραμένουν σε υψηλή θερμοκρασία και μπορούν να αναφλεγούν βίαια εάν εισέλθει ξαφνικά οξυγόνο στον χώρο, δημιουργώντας φαινόμενα όπως το backdraft.

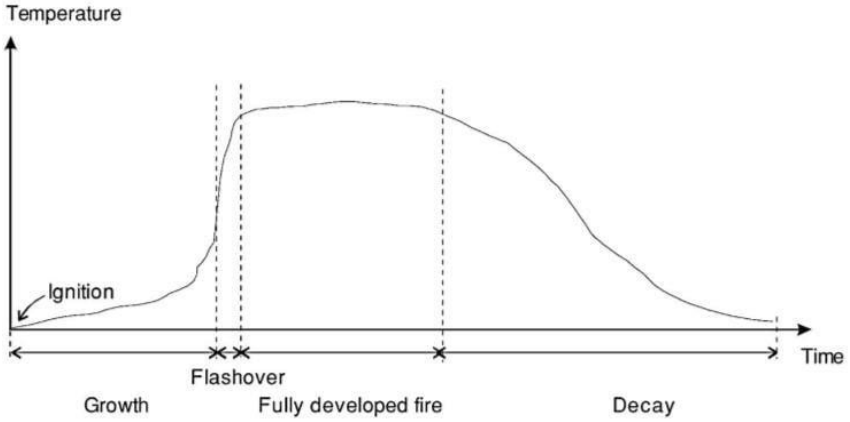
Συνεπώς, το στάδιο αποσβέσεως δεν συνεπάγεται απαραίτητα μείωση της επικινδυνότητας της πυρκαγιάς. Αντίθετα, σε πυρκαγιές περιορισμένου αερισμού, μπορεί να δημιουργηθούν ιδιαίτερα ασταθείς και επικίνδυνες συνθήκες τόσο για τους χρήστες του κτηρίου όσο και για τις πυροσβεστικές δυνάμεις **(6)**.

Γενικότερα κατά το στάδιο αποσβέσεως:

- ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας μειώνεται,
- η θερμοκρασία του χώρου αρχίζει να υποχωρεί,
- η πυρκαγιά μπορεί να μεταβεί εκ νέου σε καύση ελεγχόμενη από το καύσιμο.

Παρά τη μείωση της έντασης, εξακολουθεί να υπάρχει σημαντικός κίνδυνος για τη δομική ευστάθεια του κτηρίου.

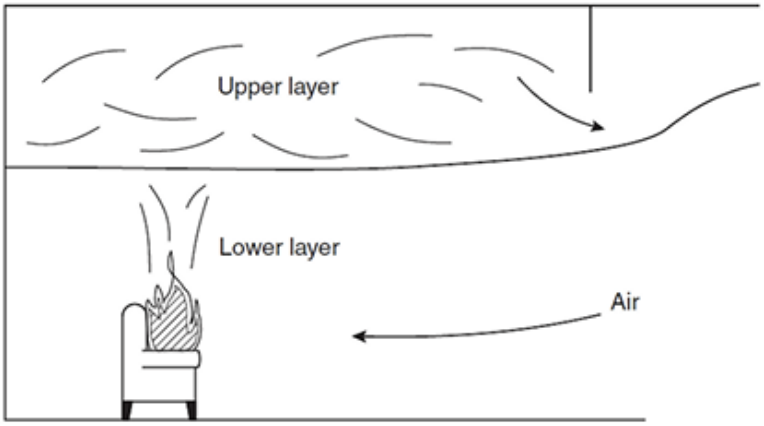
Μια γενίκευση των διαφόρων σταδίων ανάπτυξης πυρκαγιάς σε εσωτερικό χώρο συναρτήσει της αύξησης της θερμοκρασίας παρουσιάζεται ακολούθως στο Σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1: Στάδια ανάπτυξης πυρκαγιάς σε εσωτερικό χώρο ως συνάρτηση του χρόνου και της θερμοκρασίας **(5)**.

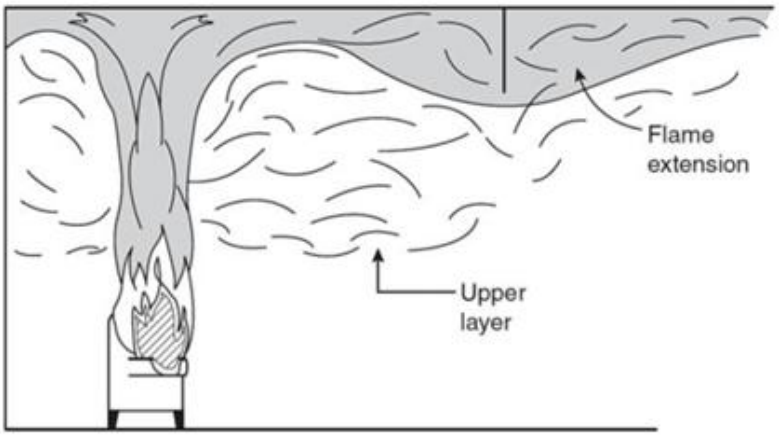
Κατά την ανάπτυξη μιας πυρκαγιάς χρησιμοποιείται συχνά ο όρος *fire plume* (θερμικό λοφίο πυρκαγιάς). Καθώς τα θερμά αέρια στις φλόγες μιας πυρκαγιάς περιβάλλονται από ψυχρότερα αέρια, τα θερμότερα και λιγότερο πυκνά αέρια ανέρχονται λόγω της διαφοράς πυκνότητας. Η ανοδική αυτή ροή θερμών αερίων, μαζί με τις φλόγες που μπορεί να περιέχει, ονομάζεται θερμικό λοφίο πυρκαγιάς (*fire plume*).

Κατά τα στάδια ανάπτυξης της πυρκαγιάς, η μορφή και η συμπεριφορά του θερμικού λοφίου μεταβάλλονται. Στα αρχικά στάδια δημιουργείται ένα σύστημα δύο στρωμάτων, όπου στο ανώτερο στρώμα συγκεντρώνονται τα θερμά αέρια και ο καπνός, ενώ στο κατώτερο παραμένει αέρας περιβάλλοντος. Σε αυτή τη φάση, η πυρκαγιά είναι ελεγχόμενη από το καύσιμο (*fuel-controlled fire*) και συμπεριφέρεται παρόμοια με μια πυρκαγιά σε εξωτερικό χώρο, ενώ το θερμικό λοφίο αναπτύσσεται εξ ολοκλήρου στο κατώτερο στρώμα (Gottuk & Lattimer, 2002), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.2.



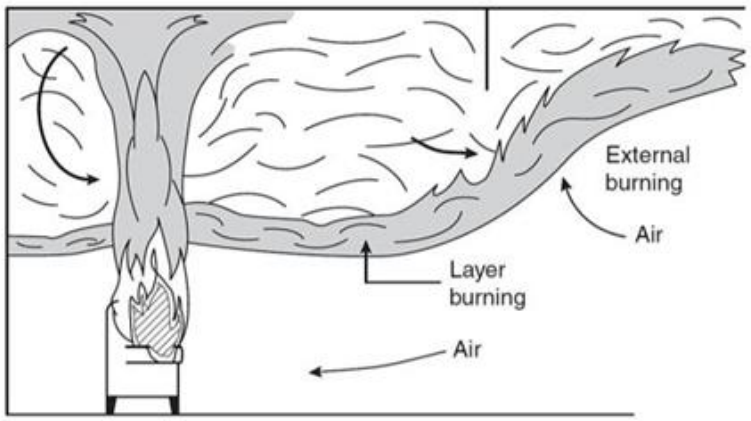
Σχήμα 2.2: Αρχικό στάδιο εξέλιξης πυρκαγιάς ελεγχόμενη απο το καύσιμο (*fuel-controlled fire*), στην οποία φαίνεται το θερμικό λοφίο, καθώς και τα δυο διαφορετικά στρώματα **(7).**

Σε μεταγενέστερο στάδιο ανάπτυξης, η πυρκαγιά αρχίζει να γίνεται ελεγχόμενη από τον αερισμό (*ventilation-controlled fire*), λόγω της περιορισμένης παροχής αέρα μέσω των ανοιγμάτων του χώρου. Το θερμικό λοφίο εκτείνεται πλέον προς το ανώτερο στρώμα θερμών αερίων και τα αέρια στο ανώτερο τμήμα του λογφίου κυκλοφορούν μέσα στον χώρο. Το μέγεθος του χώρου και η ένταση της πυρκαγιάς μπορεί να οδηγήσουν στη δημιουργία θερμικών λοφίων που δεν μπορούν να περιοριστούν εντός του δωματίου. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει πιθανότητα εμφάνισης εξόδου φλογών από παράθυρα και άλλα ανοίγματα (*flame extension*). Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει όταν το θερμικό λοφίο προσκρούει στην οροφή και η απόσταση μεταξύ του plume και του ανοίγματος είναι μικρότερη από την έκταση των ροών οροφής (*ceiling jets*) που δημιουργούνται. Το φαινόμενο αυτό *(flame extension)* μπορεί να εμφανιστεί τόσο σε πυρκαγιές ελεγχόμενες από το καύσιμο όσο και σε πυρκαγιές ελεγχόμενες από τον αερισμό και φαίνεται στο Σχήμα 2.3 ακολούθως.



Σχήμα 2.3: Εικόνα στην οποία παρουσιάζεται το φαινόμενο των Flame Extensions **(7).**

Με την πάροδο του χρόνου, το στρώμα των θερμών αερίων μπορεί να κατέβει χαμηλότερα από το άνω μέρος των παραθύρων ή άλλων ανοιγμάτων, οδηγώντας σε εκροή θερμών αερίων προς το εξωτερικό. Καθώς η πυρκαγιά γίνεται περισσότερο ελεγχόμενη από τον αερισμό, τα θερμά αέρια εντός του χώρου δεν μπορούν να καούν πλήρως λόγω της ανεπαρκούς συγκέντρωσης οξυγόνου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση αερίων πλούσιων σε καύσιμο μέσα στο διαμέρισμα. Όταν τα αέρια αυτά εξέρχονται από τα ανοίγματα και αναμιγνύονται με τον εξωτερικό αέρα, προκαλείται δευτερογενής καύση (*secondary burning* ή *external burning*). Το φαινόμενο αυτό μπορεί να συνοδεύεται και από καύση του ανώτερου στρώματος αερίων (*layer burning*), δηλαδή ανάφλεξη των πλούσιων σε καύσιμο αερίων στο όριο μεταξύ των δύο στρωμάτων. Τα φαινόμενα της δευτερογενούς καύσης και της καύσης του ανωτέρου στρώματος αερίων παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.4.



Σχήμα 2.4: Εικόνα στην οποία παρουσιάζονται τα φαινόμενα της δευτερογενούς καύσης και της καύσης του ανωτέρου στρώματος αερίων **(7)**.

Είναι σημαντικό να γίνεται διάκριση μεταξύ της προέκτασης φλογών (*flame extension*) και της δευτερογενούς καύσης (*secondary burning*). Η προέκταση φλογών οφείλεται στο γεγονός ότι η πυρκαγιά είναι πολύ μεγάλη για να περιοριστεί μέσα στον χώρο. Αντίθετα, η δευτερογενής καύση αποτελεί χαρακτηριστικό φαινόμενο πυρκαγιών που ελέγχονται από τον αερισμό.

Όταν το θερμικό λοφίο εξέρχεται από τα ανοίγματα του κτηρίου, λόγω της άνωσης εκτρέπεται προς τα επάνω και κινείται κατά μήκος της εξωτερικής όψης του κτηρίου. Κατά την άνοδό του, τα θερμά αέρια και οι φλόγες εκθέτουν τα ανώτερα παράθυρα σε υψηλές θερμοκρασίες, προκαλώντας θερμική καταπόνηση στους υαλοπίνακες. Η θερμική αυτή καταπόνηση μπορεί να οδηγήσει σε θραύση των υαλοπινάκων λόγω διαφορών θερμοκρασίας στην επιφάνειά τους.

Εάν οι υαλοπίνακες καταρρεύσουν, υπάρχει κίνδυνος μετάδοσης της πυρκαγιάς στον υπερκείμενο όροφο. Μέρος των θερμών αερίων μπορεί να εισέλθει στον ανώτερο χώρο, εκθέτοντας το εσωτερικό του σε θερμική ακτινοβολία και θερμές ροές αερίων. Εάν προκληθεί ανάφλεξη στον ανώτερο χώρο, δημιουργείται κατάσταση κατακόρυφης εξάπλωσης της πυρκαγιάς μεταξύ δύο διαμερισμάτων. Σε αυτή την περίπτωση, η πυρκαγιά του κατώτερου χώρου τροφοδοτεί τον ανώτερο όχι μόνο με θερμότητα αλλά και με αέρια μειωμένης περιεκτικότητας σε οξυγόνο, με αποτέλεσμα το εξωτερικό θερμικό λοφίο να εκτείνεται περισσότερο πριν ολοκληρωθεί η καύση. Έτσι αυξάνεται σημαντικά ο κίνδυνος ταχείας κατακόρυφης εξάπλωσης της πυρκαγιάς.

Η μορφή του θερμικού λοφίου εκτός του κτηρίου επηρεάζεται από τη γεωμετρία των ανοιγμάτων και την παρουσία άλλων ανοιγμάτων στην όψη του κτηρίου. Ο Yokoi (1960) διαπίστωσε ότι ένα παράθυρο με μεγαλύτερο πλάτος από ύψος οδηγεί σε λοφίο που κινείται πιο κοντά στην

εξωτερική όψη του κτηρίου σε σχέση με ένα στενό και ψηλό παράθυρο. Ως αποτέλεσμα, η εξωτερική επιφάνεια πάνω από το παράθυρο εκτίθεται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε υψηλές θερμοκρασίες.

Επιπλέον, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και ο άνεμος. Μέτριος άνεμος που κατευθύνεται προς το θερμικό λοφίο μπορεί να το ωθήσει πιο κοντά στην όψη του κτηρίου, αυξάνοντας τη θερμοκρασία και τη θερμική ροή στην επιφάνεια. Αντίθετα, ισχυρός άνεμος μπορεί να απομακρύνει το plume από την όψη, μεταβάλλοντας τη διανομή θερμότητας και καπνού.

Συνεπώς, η εξωτερική εξάπλωση της πυρκαγιάς εξαρτάται από ένα μεγάλο πλήθος παραγόντων, όπως η γεωμετρία του χώρου, τα ανοίγματα, ο αερισμός, ο άνεμος και η συμπεριφορά του θερμικού λοφίου, γεγονός που καθιστά ιδιαίτερα πολύπλοκη την πρόβλεψη και ανάλυσή της **(6)**.

2.4 ΡΥΘΜΟΣ ΕΚΛΥΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Η ένταση και η εξέλιξη μιας πυρκαγιάς σε κλειστό χώρο περιγράφονται ποσοτικά μέσω του ρυθμού έκλυσης θερμότητας (Heat Release Rate – HRR), ο οποίος αποτελεί βασική παράμετρο για την αξιολόγηση της επικινδυνότητας της πυρκαγιάς. Ο HRR εκφράζει την ποσότητα θερμότητας που απελευθερώνεται ανά μονάδα χρόνου, εξαρτάται από το είδος και την επιφάνεια των καύσιμων υλικών, καθώς και από τις συνθήκες αερισμού και μετράται συνήθως σε kW ή MW. Κατά το στάδιο της ανάπτυξης, ο HRR αυξάνεται εκθετικά, ενώ στο στάδιο της πλήρως ανεπτυγμένης πυρκαγιάς φτάνει σε μέγιστες τιμές. Η μετάβαση μέσω του φαινομένου flashover συμβαίνει συνήθως όταν η θερμοκρασία του ανώτερου στρώματος καπνού προσεγγίσει τους 500–600°C, οδηγώντας σε ταυτόχρονη ανάφλεξη των περισσότερων καύσιμων επιφανειών του χώρου. Ο ρυθμός έκκλισης θερμότητας μπορεί να εκφραστεί απο την εξής σχέση:

$$\dot{Q} = \dot{m} \times \Delta H_c$$

Όπου:

- Q (kW): Ρυθμός έκκλισης θερμότητας
- M (kg/s): ρυθμός καύσης του καυσίμου
- ΔH_c: θερμογόνος δύναμη του καυσίμου

Η σχέση αυτή δείχνει ότι η ένταση της πυρκαγιάς εξαρτάται άμεσα απο το πόσο γρήγορα καίγεται το καύσιμο και απο το ενεργειακό του περιεχόμενο. Όσον αφορά την ανάπτυξη της πυρκαγιάς, κατά το αρχικό στάδιο, αυτή μπορεί να προσεγγιστεί μέσω του μοντέλου της τετραγωνικής αύξησης (t^2 -fire), σύμφωνα με το οποίο ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας αυξάνεται ανάλογα με το τετράγωνο του χρόνου και χρησιμοποιείται ευρέως στη μηχανική πυρκαγιάς για την εξέλιξη της φωτιάς στα πρώτα στάδια και εκφράζεται απο την κάτωθι σχέση:

$$\dot{Q}\,(t) = \alpha t^2$$

Όπου:

- $\dot{Q}$ (t) (kW): Ρυθμός έκκλισης θερμότητας σε χρόνο t
- α (kW/s^2): συντελεστής ανάπτυξης της πυρκαγιάς
- t (s): χρόνος απο την έναρξη της πυρκαγιάς

Ανάλογα με την τιμή του α, οι πυρκαγιές κατηγοριοποιούνται σε:

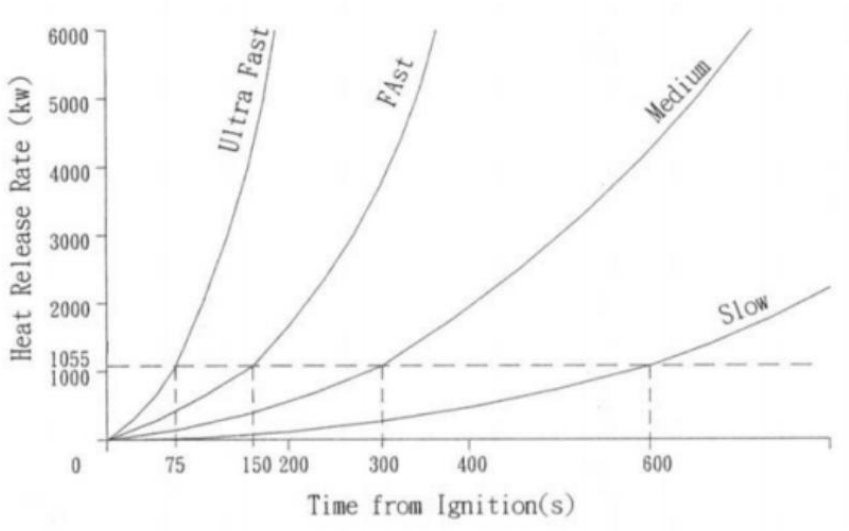
- αρχής ανάπτυξης
- μέσης ανάπτυξης
- ταχείας ανάπτυξης
- πολύ ταχείας ανάπτυξης

	Growth constant	Growth time
T-square fire	α (kW/s^2)	Tg (s)
Slow[a]	0.002931	600
Medium[a]	0.01127	300
Fast[a]	0.04689	150
Ultra-fast[b]	0.1878	75

[a]Constants for these fire growth types based on data from NFPA204 (1991) and NFPA92B (1991).
[b]Constants for the ultra-fast fire based on data from Nelson [4].

Πίνακας 2.1: Πινάκας που παρουσιάζονται οι τιμές της σταθεράς α που αντιστοιχούν στο χρόνο αναπτυξης πυρκαγιάς.

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται οι τιμές της σταθεράς α (KW/m2), που αντιστοιχούν σε t-squared πυρκαγιές, για διάφορες περιπτώσεις ανάπτυξης της φωτιάς καθώς και ο χρόνος ανάπτυξης που απαιτείται σε κάθε περίπτωση προκειμένου ο ρυθμός απελευθέρωσης της θερμότητας να λάβει την τιμή 1055 KW. Στο Σχήμα 2.5 παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα.



Σχήμα 2.5: Διάγραμμα στο οποίο παρουσιάζεται το μοντέλο ανάπτυξης πυρκαγιας t^2-fire, στο οποίο η ένταση της φωτιάς αυξάνεται με το τετράγωνο του χρόνου

Βάσει των ως άνωθι μπορεί κανείς να συμπεράνει την σχέση μεταξύ της τιμής του Ρυθμού Έκλισης Θερμότητας – HRR και τους στάδιου που βρισκεταί η πυρκαγιά, συγκεκριμένα:

- Στάδιο ανάφλεξης: χαμηλός HRR
- Στάδιο ανάπτυξης: ταχεία αύξηση HRR
- Flashover: απότομη αύξηση HRR
- Πλήρως ανεπτυγμένη πυρκαγιά: μέγιστος HRR

- Στάδιο αποσβέσεως: σταδιακή μείωση HRR

Η μετάβαση στο flashover συνδέεται συνήθως με κρίσιμες τιμές του HRR και θερμοκρασίας, οι οποίες οδηγούν σε πλήρη εμπλοκή του χώρου σε φωτιά.

2.5 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΞΑΠΛΩΣΗ

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη μιας πυρκαγιάς σε κλειστό χώρο μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες: σε αυτούς που σχετίζονται με το ίδιο το κτήριο (χώρο) και σε αυτούς που σχετίζονται με το καύσιμο υλικό. Οι σημαντικότεροι από αυτούς είναι **(5)**:

- το μέγεθος και η θέση της πηγής ανάφλεξης,
- το είδος, η ποσότητα, η θέση, η διάταξη, ο προσανατολισμός και η επιφάνεια των καύσιμων υλικών,
- η γεωμετρία του χώρου,
- το μέγεθος και η θέση των ανοιγμάτων,
- οι ιδιότητες των υλικών που οριοθετούν τον χώρο.

Πηγή ανάφλεξης: Η πηγή ανάφλεξης μπορεί να είναι ένας σπινθήρας πολύ μικρής ενέργειας, μία θερμή επιφάνεια ή μία φλόγα, για παράδειγμα. Η ενέργεια αυτή μπορεί να είναι χημικής, ηλεκτρικής ή μηχανικής προέλευσης. Όσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια της πηγής ανάφλεξης, τόσο ταχύτερη είναι η επακόλουθη ανάπτυξη της πυρκαγιάς. Ένας σπινθήρας ή ένα αναμμένο τσιγάρο μπορεί να προκαλέσει άκαυστη καύση (smoldering), η οποία μπορεί να διαρκέσει για μεγάλο χρονικό διάστημα πριν εξελιχθεί σε φλεγόμενη καύση, παράγοντας μικρή θερμότητα αλλά σημαντικές ποσότητες τοξικών αερίων. Αντίθετα, μία φλόγα οδηγεί συνήθως άμεσα σε φλεγόμενη καύση, προκαλώντας εξάπλωση της φλόγας και ταχεία ανάπτυξη της πυρκαγιάς. Η θέση της πηγής ανάφλεξης είναι επίσης ιδιαίτερα σημαντική. Για παράδειγμα, μία φλόγα στο κάτω μέρος μιας κουρτίνας μπορεί να προκαλέσει ταχεία ανοδική εξάπλωση της φωτιάς, ενώ η ίδια φλόγα στο πάνω μέρος της κουρτίνας οδηγεί σε πολύ πιο αργή καθοδική εξάπλωση.

Καύσιμο: Το είδος και η ποσότητα των καύσιμων υλικών αποτελούν βασικούς παράγοντες που καθορίζουν την εξέλιξη της πυρκαγιάς. Σε κτηριακές πυρκαγιές, τα καύσιμα είναι κυρίως στερεά υλικά, όπως έπιπλα και εσωτερικές επενδύσεις, ενώ σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις μπορεί να

περιλαμβάνονται και υγρά καύσιμα. Βαριά υλικά, όπως ξύλινα έπιπλα, προκαλούν συνήθως βραδύτερη ανάπτυξη πυρκαγιάς αλλά με μεγαλύτερη διάρκεια καύσης. Αντίθετα, σύγχρονα υλικά, όπως ελαφρά πορώδη πλαστικά, οδηγούν σε ταχύτερη ανάπτυξη της φωτιάς αλλά καίγονται σε μικρότερο χρονικό διάστημα. Συνεπώς, ένα υψηλό πυροθερμικό φορτίο δεν συνεπάγεται απαραίτητα μεγαλύτερο κίνδυνο· η ταχύτητα ανάπτυξης της πυρκαγιάς είναι συχνά πιο κρίσιμη για την ασφάλεια των ανθρώπων. Η θέση του καύσιμου υλικού επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη της πυρκαγιάς. Όταν το καύσιμο βρίσκεται μακριά από τοίχους, η εισροή ψυχρού αέρα στον καπνό γίνεται από όλες τις πλευρές. Αντίθετα, όταν βρίσκεται κοντά σε τοίχο ή σε γωνία, η εισροή αυτή περιορίζεται, με αποτέλεσμα υψηλότερες θερμοκρασίες και μεγαλύτερες φλόγες. Η διάταξη και ο προσανατολισμός των καύσιμων υλικών είναι επίσης σημαντικοί. Η ανοδική εξάπλωση της φλόγας σε κατακόρυφες επιφάνειες είναι πολύ ταχύτερη από την οριζόντια εξάπλωση σε οριζόντιες επιφάνειες. Υλικά επένδυσης τοίχων και οροφών που είναι καύσιμα μπορούν να οδηγήσουν σε ιδιαίτερα ταχεία ανάπτυξη πυρκαγιάς. Όταν η φλόγα εξαπλώνεται προς την ίδια κατεύθυνση με τη ροή των θερμών αερίων (concurrent flow), η ανάπτυξη είναι πολύ ταχύτερη σε σχέση με την αντίθετη κατεύθυνση (opposed flow). Τέλος, η επιφάνεια του καύσιμου υλικού επηρεάζει τον ρυθμό καύσης. Ένα υλικό με μεγάλη επιφάνεια καίγεται ταχύτερα από ένα υλικό ίδιου όγκου αλλά μικρότερης επιφάνειας.

Γεωμετρία του χώρου: Η γεωμετρία του χώρου επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ανάπτυξη της πυρκαγιάς, κυρίως μέσω της θερμικής ανάδρασης προς το καύσιμο υλικό. Το θερμό στρώμα καπνού που σχηματίζεται στην οροφή, καθώς και οι επιφάνειες του χώρου που θερμαίνονται, ακτινοβολούν θερμότητα προς τα καύσιμα, αυξάνοντας τον ρυθμό καύσης και επιταχύνοντας την εξέλιξη της πυρκαγιάς. Σε μικρούς χώρους, η θερμότητα συγκεντρώνεται πιο εύκολα, οδηγώντας σε υψηλότερες θερμοκρασίες και ταχύτερη ανάπτυξη της φωτιάς. Αντίθετα, σε μεγάλους χώρους η θερμότητα διαχέεται σε μεγαλύτερο όγκο, με αποτέλεσμα χαμηλότερες θερμοκρασίες και βραδύτερη εξέλιξη της πυρκαγιάς. Το ύψος της οροφής αποτελεί επίσης κρίσιμο παράγοντα. Σε χώρους με χαμηλή οροφή, οι φλόγες μπορούν να φτάσουν γρήγορα σε αυτήν και να εξαπλωθούν οριζόντια κάτω από την επιφάνειά της, αυξάνοντας σημαντικά τη θερμική καταπόνηση των δομικών στοιχείων και των καύσιμων υλικών. Αντίθετα, σε χώρους με υψηλή οροφή, η θερμοκρασία των αερίων είναι χαμηλότερη, καθώς παρατηρείται μεγαλύτερη ανάμιξη με ψυχρό αέρα, αν και η πλήρωση του χώρου με καπνό μπορεί να συμβεί ταχύτερα. Συνολικά, η εγγύτητα των τοίχων και της οροφής προς το καύσιμο υλικό ενισχύει τη θερμική ανάδραση και συμβάλλει σε ταχύτερη ανάπτυξη της πυρκαγιάς.

Ανοίγματα χώρου (αερισμός): Οι ιδιότητες των δομικών υλικών που οριοθετούν έναν χώρο επηρεάζουν σημαντικά τη θερμοκρασία των αερίων και τη μεταφορά θερμότητας κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς. Οι βασικές θερμοφυσικές ιδιότητες που καθορίζουν τη συμπεριφορά των υλικών είναι η θερμική αγωγιμότητα, η πυκνότητα και η θερμοχωρητικότητα, οι οποίες συνδυάζονται στην έννοια της θερμικής αδράνειας. Υλικά με χαμηλή θερμική αδράνεια, όπως τα μονωτικά υλικά, περιορίζουν τη μεταφορά θερμότητας προς το εσωτερικό της κατασκευής, με αποτέλεσμα η θερμότητα να παραμένει στον χώρο και να αυξάνεται η θερμοκρασία των αερίων. Αντίθετα, υλικά με υψηλή θερμική αδράνεια, όπως το σκυρόδεμα και τα τούβλα, απορροφούν σημαντικές ποσότητες θερμότητας, συμβάλλοντας στη μείωση της θερμοκρασίας του χώρου. Η συμπεριφορά αυτή επηρεάζει άμεσα τη θερμική καταπόνηση των δομικών στοιχείων, τον ρυθμό ανάπτυξης της πυρκαγιάς και τη συνολική εξέλιξή της. Συνεπώς, η επιλογή των υλικών κατασκευής αποτελεί κρίσιμο παράγοντα στον σχεδιασμό πυροπροστασίας των κτηρίων.

Ιδιότητες δομικών υλικών: Η παρουσία και τα χαρακτηριστικά των ανοιγμάτων ενός χώρου επηρεάζουν καθοριστικά την παροχή οξυγόνου και, κατ' επέκταση, την εξέλιξη της πυρκαγιάς. Σε χώρους που είναι κλειστοί ή διαθέτουν περιορισμένα ανοίγματα, η διαθέσιμη ποσότητα οξυγόνου μειώνεται γρήγορα, με αποτέλεσμα η πυρκαγιά να περιορίζεται ή ακόμη και να σβήνει λόγω έλλειψης οξυγόνου. Αντίθετα, σε χώρους με επαρκή ανοίγματα, η συνεχής παροχή αέρα επιτρέπει την ενίσχυση της καύσης και την ταχύτερη ανάπτυξη της πυρκαγιάς. Το μέγεθος, το σχήμα και η θέση των ανοιγμάτων καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο τα θερμά αέρια εξέρχονται από τον χώρο και ο ψυχρός αέρας εισέρχεται σε αυτόν. Κατά τα αρχικά στάδια της πυρκαγιάς, τα ανοίγματα μπορεί να λειτουργούν ως διέξοδος για τα θερμά αέρια, μειώνοντας τη θερμική ανάδραση προς το καύσιμο και επιβραδύνοντας την ανάπτυξη της φωτιάς. Ωστόσο, όταν η πυρκαγιά εξελιχθεί και καταστεί ελεγχόμενη από τον αερισμό, η παροχή οξυγόνου μέσω των ανοιγμάτων γίνεται ο κυρίαρχος παράγοντας που καθορίζει τον ρυθμό καύσης. Η ένταση της πυρκαγιάς συνδέεται άμεσα με τον λεγόμενο παράγοντα αερισμού, ο οποίος εξαρτάται από το εμβαδόν και το ύψος των ανοιγμάτων. Αύξηση του παράγοντα αυτού οδηγεί σε αύξηση της παροχής αέρα και, κατά συνέπεια, σε ενίσχυση της καύσης, μέχρι το σημείο όπου η πυρκαγιά παύει να είναι ελεγχόμενη από τον αερισμό και εξαρτάται πλέον από το καύσιμο.

Όλα όσα προαναφέρθηκαν στοχεύουν στο να εξηγήσουν στον αναγνώστη τους μηχανισμούς με τους δημιουργείται και εξαπλώνεται μια πυρκαγιά στο εσωτερικό μιας κατασκευής. Η γνώση των μηχανισμών αυτών καθώς και των παραγόντων που τους επηρεάζουν, αποτελούν απαραίτητη προϋπόθεση για την κατανόηση των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την κατάσβεση μιας πυρκαγιάς.

3. ΜΕΣΑ ΠΑΘΗΤΙΚΗΣ ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ

Η πυροπροστασία των κτηρίων αποτελεί θεμελιώδη παράμετρο στον σχεδιασμό και την κατασκευή ή αναβάθμιση σύγχρονων δομικών έργων. Στόχος της πυροπροστασίας είναι η προστασία της ανθρώπινης ζωής, η διασφάλιση της δομικής ακεραιότητας και ο περιορισμός των υλικών ζημιών σε περίπτωση που η παρουσία πυρκαγιάς είναι αναπόφευκτη. Η νομοθεσία πυροπροστασίας στην Ελλάδα έχει εναρμονιστεί σε μεγάλο βαθμό με τα ευρωπαϊκά πρότυπα, με κεντρικό άξονα τον Κανονισμό Πυροπροστασίας Κτηρίων (Π.Δ 41/2018). Ο κανονισμός αυτός θέτει τις τεχνικές προδιαγραφές για τη δομική πυροπροστασία, ενσωματώνοντας σύγχρονες ευρωπαϊκές προσεγγίσεις. Η πυροπροστασία διακρίνεται σε δυο βασικές κατηγορίες, οι οποίες αναλύονται ως ακολούθως:

Η παθητική ή δομική πυροπροστασία είναι το σύνολο των μέτρων, εργασιών και κατασκευών, που βασισμένες σε προσεκτική μελέτη όσων διαδραματίζονται στις πυρκαγιές κτιρίων, επιτρέπουν την πυρασφαλή σχεδίαση των δομικών κατασκευών. Με την παθητική πυροπροστασία επιδιώκεται να γίνουν οι κατάλληλες προβλέψεις, ώστε στην περίπτωση πυρκαγιάς, να διασφαλίζονται οι ανθρώπινες ζωές και τα αποτελέσματα της να είναι όσο το δυνατόν λιγότερο καταστρεπτικά για τους ενοίκους, το άψυχο περιεχόμενο, το ίδιο το κτίριο και την περιοχή που το περιβάλλει, ακόμη και αν δεν γίνει επέμβαση για κατάσβεση του πυρός, με τα μέσα της ενεργού πυροπροστασίας. Επειδή αναφέρεται σε κατασκευαστικές προβλέψεις χαρακτηρίζεται σαν «παθητική πυροπροστασία», σε αντίθεση με την ενεργητική που αναφέρεται σε ένα σύνολο προβλέψεων και κατασκευών που λειτουργούν μετά την εκδήλωση της πυρκαγιάς. Γενικότερα, οι βασικοί στόχοι της παθητικής πυροπροστασίας είναι οι κάτωθι:

- Ο περιορισμός της διάδοσης της φωτιάς εντός και εκτός κτηρίου
- Η εξασφάλιση οδών διαφυγής των ανθρώπων
- Την αμεσότερη και λιγότερη επικίνδυνη προσέγγιση των σωμάτων κατάσβεσης.

Στον Πίνακα 3.1 περιγράφονται κάποιοι βασικοί μέθοδοι παθητικής πυροπροστασίας των κτηρίων.

Μέθοδος	Σκοπός
Πυροδιαμερισματοποίηση	Περιορισμός εξάπλωσης φωτιάς και καπνού
Πυράντοχα κουφώματα	Πυροδιαμερισματοποίηση διαφορετικών χώρων
Οδεύσεις διαφυγής	Ασφαλής εκκένωση
Συστήματα Πυράντοχων Οροφών	Πύροδιαμερισματοποίηση της επιφάνειας της οροφής
Πυροφραγμοί	Περιορισμός καπνού & φωτιάς
Εκτοξευόμενες ίνες λιθοβάμβακα	Πυροπροστασία ευαίσθητων επιφανειών
Πυροπροστατευτικα Επιχρίσματα	Πυροπροστασία ευαίσθητων επιφανειών
Πυροπροστατευτικα Χρώματα	Πυροπροστασία ευαίσθητων επιφανειών
Πλάκες Πετροβάμβακα	Πυροπροστασία ευαίσθητων επιφανειών
Πλάκες και Επιχρίσματα απο Περλίτη	Πυροπροστασία ευαίσθητων επιφανειών
Πυράντοχα Συστήματα Ξηράς Δόμησης	Πυροδιαμερισματοποίηση διαφορετικών χώρων
Εγκιβωτισμος Μεταλλικων Διατομων Σε Σκυροδεμα	Πυροπροστασία μεταλλικών στοιχείων κατασκευής

Πίνακας 3.1: Μέθοδοι Παθητικής Πυροπροστασίας σε κτήρια.

3.1 ΠΥΡΟΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ

Όπως έχει προαναφερθεί το πυροδιαμέρισμα αποτελεί τμήμα ή «διαμέρισμα» ενός κτηρίου, το οποίο έχει διαμορφωθεί με τέτοιο τρόπο (και αξιοποιώντας πυράντοχα υλικά), ώστε σε περίπτωση πυρκαγιάς να μην επιτρέπει την εξάπλωση της σε περαιτέρω χώρους εντός η εκτός του κτηρίου. Η πυροδιαμερισματοποίηση αποτελεί μία από τις σημαντικότερες μεθόδους παθητικής πυροπροστασίας και συνίσταται στον διαχωρισμό ενός κτηρίου σε επιμέρους πυροδιαμερίσματα. Τα τμήματα αυτά αποτελούνται απο συγκεκριμένα δομικά στοιχεία, όπως πυράντοχα χωρίσματα, πυράντοχες θύρες και κουφώματα, καθώς και δάπεδα με υψηλό δείκτη

πυραντίστασης. Γενικότερα, οι βασικοί στόχοι προς επίτευξη κατά το σχεδιασμό ενός πυροδιαμερίσματος είναι οι ακόλουθοι:

- Περιορισμός εξάπλωσης φωτιάς και καπνού σε επιμέρους τμήματα εντός και εκτός του κτηρίου
- Εξασφάλιση πολύτιμου χρόνου στο ανθρώπινο δυναμικό για να εκκενώσει το χώρο
- Ευκολότερη πρόσβαση των πυροσβεστικών δυνάμεων στον χώρο
- Σχεδιασμός κατάλληλων οδών διαφυγής για αμεσότερη εκκένωση του χώρου
- Ενίσχυση του φέροντα οργανισμού του κτηρίου με σκοπό την μείωση της πιθανότητας κατάρρευσης

3.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

Οι κανονισμοί πυροπροστασίας των κτηρίων καθορίζουν τις ελάχιστες απαιτήσεις πυραντίστασης των φερόντων και διαχωριστικών δομικών στοιχείων, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η χρήση του κτηρίου, το μέγεθός του, ο αριθμός των χρηστών και οι διαστάσεις των επιμέρους χώρων ή πυροδιαμερισμάτων. Σε περιπτώσεις μεγάλων κτηριακών ενοτήτων, προβλέπεται η διαίρεσή τους σε πυροδιαμερίσματα, με στόχο τον περιορισμό της εξάπλωσης της πυρκαγιάς και τη βελτίωση των συνθηκών ασφαλούς εκκένωσης.

Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα των διαχωριστικών στοιχείων δεν εξαρτάται μόνο από την πυραντίστασή τους, αλλά και από τον τρόπο επικοινωνίας των επιμέρους χώρων. Ανοίγματα όπως πόρτες, παράθυρα, αγωγοί αερισμού και κλιματισμού, καθώς και οι διελεύσεις ηλεκτρολογικών και υδραυλικών εγκαταστάσεων, μπορούν να λειτουργήσουν ως οδοί μετάδοσης της φωτιάς, του καπνού και των θερμών αερίων σε γειτονικούς χώρους ή σε ανώτερους ορόφους του κτηρίου.

Για τον περιορισμό του κινδύνου αυτού εφαρμόζονται ειδικά μέτρα πυροπροστασίας, όπως πυράντοχες θύρες, πυροπροστατευτικές θυρίδες και συστήματα πυροφραγμών. Τα στοιχεία αυτά εγκαθίστανται σε ανοίγματα ή σε διελεύσεις δικτύων και έχουν ως στόχο να εμποδίζουν ή να καθυστερούν τη διάδοση της πυρκαγιάς μεταξύ διαφορετικών πυροδιαμερισμάτων.

Τα δομικά και διαχωριστικά στοιχεία που συμμετέχουν στην παθητική πυροπροστασία οφείλουν να πληρούν συγκεκριμένες απαιτήσεις πυραντίστασης. Ειδικότερα, πρέπει να διατηρούν τη φέρουσα ικανότητά τους όταν εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες, να εξασφαλίζουν την

ακεραιότητά τους χωρίς τη δημιουργία ρωγμών ή ανοιγμάτων που θα επέτρεπαν τη διέλευση φλόγας και καπνού, καθώς και να περιορίζουν τη μετάδοση θερμότητας προς τη μη εκτεθειμένη πλευρά τους.

Ο χρόνος πυραντίστασης ενός δομικού στοιχείου ορίζεται ως το χρονικό διάστημα κατά το οποίο το στοιχείο διατηρεί τις παραπάνω ιδιότητες, όταν υποβάλλεται σε τυποποιημένες συνθήκες πυρκαγιάς και στο προβλεπόμενο φορτίο λειτουργίας του. Η παράμετρος αυτή αποτελεί βασικό κριτήριο αξιολόγησης της πυροπροστατευτικής ικανότητας των κατασκευών και χρησιμοποιείται ευρέως στους κανονισμούς πυροπροστασίας και στον σχεδιασμό ασφαλών κτηρίων **(1)**. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται ορισμένα μέσα που ανήκουν στο κομμάτι του πυροπροστατευτικού σχεδιασμού και αποσκοπούν στον περιορισμό μετάδοσης της πυρκαγιάς σε ένα κτήριο.

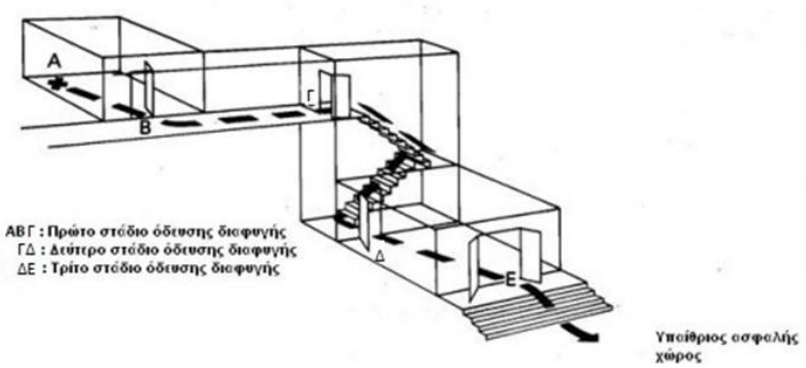
3.2.1 ΠΥΡΑΝΤΟΧΑ ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ

Τα πυράντοχα κουφώματα, όπως πόρτες και παράθυρα, αποτελούν κρίσιμο στοιχείο της παθητικής πυροπροστασίας. Είναι σχεδιασμένα ώστε να αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες και να εμποδίζουν τη διάδοση της φωτιάς και του καπνού μεταξύ διαφορετικών χώρων. Τα στοιχεία αυτά κατασκευάζονται από ειδικά υλικά και συνοδεύονται από πιστοποιήσεις που καθορίζουν τον δείκτη πυραντίστασής τους. Η σωστή τοποθέτησή τους είναι εξίσου σημαντική με την ποιότητά τους. Οι περισσότερες πυράντοχες πόρτες διακρίνονται με βάση τις πιστοποίησεις τους (οι οποίες δίδονται απο αναγνωρισμένα εργαστήρια μετά απο δοκιμές) κατα REI 60΄και REI 120΄. Η ονομασία REI εκφράζει την ικανότητα μιας πυράντοχης πόρτας να διατηρεί την σταθερότητα (R), την αντοχή (E) και την μονωση (I), για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (το οποίο εκφράζεται απο τα λεπτά 60 ή 120 δίπλα απο τον δείκτη REI) σε περιπτώσεις πυρκαγιάς. Οι πυράντοχες πόρτες που είναι πιστοποιημένες κατά REI εμποδίζουν τη φωτιά και περιορίζουν τη θερμική διάδοση στην πλευρά που δεν καίγεται, για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, ανάλογα με το βαθμό πιστοποίησης της πόρτας.

Εικόνα 3.1: Παραδείγματα πυράντοχων θυρών ενός και δυο φύλλων του ιταλικού οίκου NINZ

3.2.2 ΟΔΕΥΣΕΙΣ ΔΙΑΦΥΓΗΣ

Ως οδεύσεις διαφυγής ορίζονται καταλλήλως σχεδιασμένες πορείες που καλούνται να ακολουθήσουν οι ένοικοι ενός κτηρίου με σκοπό την ασφαλή εκκένωση του σε περίπτωση πυρκαγιάς. Αποτελούν βασικό στοιχείο μιας μελέτης παθητικής πυροπροστασίας και απαρτίζονται απο εξόδους και κλιμακοστάσια διαφυγής, τα οποία φέρουν την κατάλληλη σήμανση με σκοπό την σωστή καθοδήγηση του ανθρώπινου δυναμικού σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Οι οδεύσεις διαφυγής αποτελούνται απο τρία στάδια τα οποία είναι διακριτά και διαδοχικά (βλ. Σχήμα 3.1). Τα στάδια αυτά είναι α) η απροστάτευτη όδευση διαφυγής, β) η πυροπροστατευμένη όδευση διαφυγής και γ) η οριζόντια όδευση προς την τελική έξοδο (Νέος κανονισμός πυροπροστασίας κτηρίων).



Σχήμα 3.1: Τα τρία διαδοχικά στάδια των οδεύσεων διαφυγής απο ένα κτήριο.

1. **Απροστάτευτη Όδευση Διαφυγής:** Αποτελεί το πρώτο στάδιο της όδευσης και αφορά στην πορεία απο ένα τυχαίο σημείο σημείο του κτηρίου, έως ένα χώρο ασφαλή που μπορεί να είναι ένα προστατευμένο κλιμακοστάσιο, ένα πυροδιαμέρισμα ή και μια τελική έξοδος κινδύνου.
2. **Πυροπροστατευμένη Όδευση Διαφυγής:** Αποτελεί το δεύτερο στάδιο της όδευσης και ξεκινά απο μια έξοδο κινδύνου (που κατέληξε το πρώτο στάδιο) και καταλήγει σε έξοδο στο επίπεδο του ορόφου εκκένωσης. Το τμήμα στο οποίο πραγματοποιείται η πυροπροστατευμένη όδευση διαφυγής είναι πυροδιαμέρισμα, δηλαδή αποτελείται απο δομικά στοιχεία με τις κατάλληλες πυράντοχες ιδιότητες.
3. **Οριζόντια Όδευση Προς Την Τελική Έξοδο:** Είναι το τελευταίο στάδιο μιας όδευσης διαφυγής και ουσιαστικά αποτελεί την συνέχεια μιας πυροπροστατευμένης όδευσης διαφυγής έως και την τελική έξοδο απο το κτήριο σε κάποιο εξωτερικό χώρο, που οι χρήστες είναι πλέον ασφαλής απο την πυρκαγιά.

Το πλέον σημαντικό τμήμα ενός κτηρίου το οποίο παίαζει βασικό ρόλο στον πυροπροστατευτικό σχεδιασμό του είναι το κλιμακοστάσιο. Το κλιμακοστάσιο μπορεί να επιτελέσει πολλαπλούς ρόλους κατά την εξάπλωση μιας πυρκαγιάς στο εσωτερικό ενός κτηρίου. Αρχικά, λόγω του ότι πρόκειται για μια κατασκευή, η οποία συνδέει όλους τους ορόφους μεταξύ τους κατακόρυφα, δύναται να βοηθήσει στην επέκταση της φωτιάς σε όλους τους ορόφους του κτηρίου, εμποδίζοντας ταυτόχρονα το ανθρώπινο δυναμικό να εκκενώσει το χώρο. Όμως, αποτελεί και τη βασικότερη όδευση διαφυγής απο το κτήριο (μιας και κατά την διάρκεια μιας πυρκαγιάς δεν επιτρέπεται η χρήση ανελκυστήρων), ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει στις πυροσβεστικές δυνάμεις να επέμβουν πιο άμεσα.

Οι αυξημένες απαιτήσεις που έχουν προβλεφθεί για τα κλιμακοστάσια είναι οι ακόλουθες **(1)**:

- Αντοχή των τειχών και όλων των φερόντων στοιχείων που περιβάλουν το κλιμακοστάσιο πάνω από 1.5 ώρα.
- Απαγόρευση χρήσης εύφλεκτων υλικών τόσο στην κατασκευή όσο και στην επένδυση του κλιματοσασίου.
- Διαχωρισμός κλιμακοστασίου από τους διαδρόμους του κάθε ορόφου, για πολυώροφα κτίρια άνω των 18 μέτρων.
- Μέγιστη διαδρομή από οποιοδήποτε σημείο του κάθε ορόφου ορίζεται τα 30 μέτρα. Σε διαφορετική περίπτωση επιβάλλεται η ύπαρξη δεύτερου κλιμακοστάσιου.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί, ότι σε κτήρια με συγκεκριμένη χρήση προβλέπεται και η κατασκευή εσωτερικών ή εξωτερικών πυροπροστατευμένων κλιμακοστασίων για την άμεση πρόσβαση των πυροσβεστών. Η συγκεκριμένη προδιαγραφή επιβάλλεται σε:

- κτίρια με ύψος μεγαλύτερο από 25 μέτρα και συνολικό πληθυσμό πάνω από 500 άτομα,
- υπόγειους χώρους με στάθμη δαπέδου μεγαλύτερη των 10 μ. υπό τη στάθμη του εδάφους
- κτίρια με 2 ή περισσότερα υπόγεια και με εμβαδόν εκάστου υπογείου μεγαλύτερου των 900 τ.μ.
- όπου αλλού απαιτείται από τις Ειδικές Διατάξεις του κανονισμού πυροπροστασίας κτηρίων.

Το ελάχιστο πλάτος του κλιμακοστασίου πυροσβεστών ορίζεται ίσο με 0.90 μ. Αυτό το ελάχιστο πλάτος των 0.90 μ. θα πρέπει να εξασφαλίζεται επιπλέον του συνολικού απαιτούμενου πλάτους κλιμακοστασίων για την διαφυγή των ενοίκων. Το κλιμακοστάσιο πυροσβεστών μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως όδευση διαφυγής των ενοίκων.

3.2.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΥΡΑΝΤΟΧΩΝ ΟΡΟΦΩΝ

Στις σύγχρονες κατασκευές εμπορικών και βιομηχανικών χώρων παρατηρείται η τάση κατασκευής κρεμαστών πυράντοχων οροφών. Οι πυράντοχες οροφές που χρησιμοποιούνται έχουν ηχοαπορροφητικές ιδιότητες και αντοχή στην υγρασία. Παράλληλα, η χρήση τους βασίζεται και σε αισθητικούς λόγους μιας και καλύπτουν τους αγωγούς κλιματισμού, καθώς και

τις ηλεκτρολογικές καλωδιώσεις που τρέχουν στην οροφή του κτηρίου, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπουν την τοποθέτηση χωνευτών φωτιστικών. Οι οροφές αυτές μπορούν να παρέχουν πυροπροστασία τόσο στο υποκείμενο πάτωμα, όσο και στον υπερκείμενο μηχανολογικό εξοπλισμό, που βρίσκεται πάνω απο αυτές και αποτελούν δομικά στοιχεία πυροδιαμερίσματος. Συγκεκριμένα, αν τα υλικά ανωτέρω των οροφών είναι εύφλεκτα, τότε είναι πολύ εύκολη η μετάδοση της φωτιάς μέσω αυτών σε απομακρυσμένα σημεία του χώρου. Για αυτούς τους λόγους είναι σημαντικό τα συστήματα των οροφών αυτών να κατασκευάζονται απο πυράντοχα υλικα, με σκοπό να μην επιτρέπουν τη διέλευση και διάδοση της φωτιάς μέσω των αναφλεξιμων υλικών που καλούνται να προστατεύσουν **(8)**.

3.2.4 ΠΥΡΟΦΡΑΓΜΟΙ

Οι πυροφραγμοί αποτελούν κατασκευαστικά στοιχεία ή υλικά που χρησιμοποιούνται για τη σφράγιση αρμών, διόδων εγκαταστάσεων και άλλων ανοιγμάτων σε ένα κτήριο. Σκοπός τους είναι να αποτρέπουν τη διέλευση της φωτιάς, του καπνού και των θερμών αερίων μεταξύ διαφορετικών χώρων. Η σωστή εφαρμογή πυροφραγμών είναι ιδιαίτερα σημαντική σε σημεία διέλευσης σωληνώσεων, καλωδίων και αεραγωγών, όπου υπάρχει αυξημένος κίνδυνος εξάπλωσης της πυρκαγιάς.

3.3 ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Κατα τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς τα δομικά στοιχεία του φέροντα οργανισμού ενός κτηρίου εκτίθενται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίας. Αποτέλεσμα αυτής της συνεχούς έκθεσης είναι η έντονη καταπόνηση των δομικών στοιχείων, με αποτέλεσμα την σταδιακή μείωση των μηχανικών τους αντοχών και σε ακραίες περίπτωσεις έως κατάρρευση τους, γεγονός το οποίο μπορεί να προκαλέσει σοβαρές βλάβες στο σύνολο της κατασκευής και να θέσει σε κίνδυνο τη ζωή των ενοίκων της. Για το λόγο αυτό είναι πολύ σημαντικό τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εντός κτηρίου να έχουν επαρκή πυραντίσταση. Όμως ορισμένα υλικά, όπως π.χ ο χάλυβας και το ξύλο, έχουν μεγάλη ευαισθησία στη φωτιά γεγονός το οποίο απαιτεί την υιοθέτηση διαφόρων μεθόδων για την προστασία τους.

Γενικά, η συμπεριφορά κάθε δομικού υλικού στη φωτιά εξαρτάται από τις φυσικές και θερμικές ιδιότητές του. Στην περίπτωση του σκυροδεμάτος που αποτελεί και το πλέον διαδεδομένο δομικό υλικό, που χρησιμοποιείται στις σύγχρονες κατασκευές, αυτο χαρακτηρίζεται απο πολύ καλή

συμπεριφορά υπο συνθήκες πυρκαγιάς. Συγκεκριμένα, λόγω της χαμηλής θερμικής του αγωγιμότητας και υψηλής θερμοχωρητικότητας απορρόφά σημαντικά ποσά θερμότητας με αποτέλεσμα την προστασία του χαλύβδινου οπλισμού, που βρίσκεται στο εσωτερικό του για μεγάλο χρονικό διάστημα. Παρ' όλα αυτά η έκθεση του σκυροδέματος σε υψηλές θερμοκρασίας για μεγάλα χρονικά διαστήματα, μπορεί να οδηγήσει στο φαινόμενο της απολέπισης, δηλαδή στην αποκόλληση επιφανειακών στρώσεων του υλικού, το οποίο σημαίνει μείωση του πάχους επικάλυψης του χαλύβδινου οπλισμού και άρα επιτάχυνση της θέρμανσης του.

Αντίθετα, στην περίπτωση του χάλυβα, όταν η θερμοκρασία έκθεσης υπερβεί τους 400^{o}C παρουσιάζεται μεγάλη μείωση της μηχανικής του αντοχής, γεγονός το οποίο επηρεάζει τη φέρουσα ικανότητα του ίδιου, αλλά και όλης της κατασκευής.

Τέλος, το ξύλο, το οποίο αποτελεί καύσιμο υλικό, έχει ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα συμπεριφορά κατά την έκθεση του σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Συγκεκριμένα, κατά την καύση του δημιουργείται ένα εξωτερικό στρώμα απανθράκωσης, το οποίο προστατεύει τον πυρήνα του υλικού και επιβραδύνει την καύση του, με αποτέλεσμα μεγάλης διατομής ξύλινα στοιχεία να μπορούν να διατηρούν σημαντικό μέρος των μηχανικών τους ιδιοτήτων κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς.

Η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας των υλικών, έχει επιτρέψει την δημιούργια ορισμένων θερμομονωτικών υλικών, τα οποία εφαρμόζονται σε στρώσεις ως επενδύσεις, επί των διαφόρων δομικών στοιχείων του κτηρίου και με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζουν την πυροπροστασία τους. Υπάρχουν διάφορα είδη τέτοιων μονωτικών υλικών με τα κυριότερα απο αυτά να περιγράφονται ακολούθως **(1)**:

- Εκτοξευόμενες ίνες λιθοβάμβακα
- Πυροπροστατευτικά επιχρίσματα
- Πυροπροστατευτικά χρώματα
- Πλάκες Πετροβάμβακα
- Πλάκες και Επιχρίσματα απο Περλίτη
- Πυράντοχα Συστήματα Ξηράς Δόμησης
- Εγκιβωτισμός μεταλλικών διατομών σε σκυρόδεμα

3.3.1 ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΕΣ ΙΝΕΣ ΛΙΘΟΒΑΜΒΑΚΑ

Οι εκτοξευόμενες ίνες λιθοβάμβακα εφαρμόζονται με μηχανικό ψεκασμό στην ύπο προστασία επιφάνεια. Πρόκειται για ένα υλικό το οποίο αποτελείται από ίνες ορυκτών πετρωμάτων, οι οποίες αναμιγνύονται με άλλο προσμίκτα, με το τελικό αποτέλεσμα να είναι ένα υλικό το οποίο με την εφαρμογή του δημιουργεί ένα πορώδες στρώμα με χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, με σκοπό την ενίσχυση της πυραντίστασης του υλικού στο οποίο εφαρμόζεται.

3.3.2 ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΑ

Τα πυροπροστατευτικά επιχρίσματα είναι ειδικά υλικά παθητικής πυροπροστασίας που εφαρμόζονται πάνω σε δομικά στοιχεία ενός κτιρίου με σκοπό να αυξήσουν τον χρόνο αντοχής τους σε περίπτωση πυρκαγιάς. Η βασική τους λειτουργία είναι να περιορίζουν τη μετάδοση της θερμότητας προς το υπόστρωμα, ώστε να καθυστερεί η απώλεια της φέρουσας ικανότητας των κατασκευών και να εξασφαλίζεται περισσότερος χρόνος για εκκένωση και πυρόσβεση.

Τα επιχρίσματα αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως σε μεταλλικές κατασκευές, επειδή ο χάλυβας χάνει γρήγορα τη μηχανική του αντοχή όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει περίπου τους 500°C. Εφαρμόζονται επίσης σε στοιχεία από σκυρόδεμα, ξύλο και τοιχοποιία, ιδιαίτερα σε βιομηχανικά κτίρια, αποθήκες, υπόγεια πάρκινγκ, ξενοδοχεία, νοσοκομεία και κλιμακοστάσια διαφυγής.

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες πυροπροστατευτικών επιχρισμάτων. Τα διογκούμενα επιχρίσματα, γνωστά και ως intumescent coatings, διογκώνονται όταν εκτεθούν σε υψηλή θερμοκρασία και δημιουργούν ένα αφρώδες θερμομονωτικό στρώμα που προστατεύει το υπόστρωμα από τη φωτιά. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε μεταλλικές και ξύλινες επιφάνειες και προτιμώνται όταν απαιτείται καλή αισθητική και μικρό πάχος εφαρμογής.

Μια άλλη κατηγορία είναι τα τσιμεντοειδή πυροπροστατευτικά επιχρίσματα, τα οποία περιέχουν τσιμέντο, περλίτη, βερμικουλίτη ή άλλα ελαφρά αδρανή υλικά. Αυτά εφαρμόζονται συνήθως με εκτόξευση και προσφέρουν υψηλή πυραντίσταση με σχετικά χαμηλό κόστος, γι’ αυτό χρησιμοποιούνται ευρέως σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις και χώρους στάθμευσης.

Η απόδοση ενός πυροπροστατευτικού επιχρίσματος εκφράζεται με την κλάση πυραντίστασης, όπως R30, R60, R90 ή R120, όπου ο αριθμός δηλώνει τα λεπτά κατά τα οποία το δομικό στοιχείο διατηρεί τη φέρουσα ικανότητά του σε συνθήκες πυρκαγιάς. Το απαιτούμενο πάχος εφαρμογής εξαρτάται από την επιθυμητή πυραντίσταση, το είδος του υποστρώματος και τις προδιαγραφές του πιστοποιημένου συστήματος.

Για την επιλογή κατάλληλου συστήματος πυροπροστασίας είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη οι πιστοποιήσεις σύμφωνα με ευρωπαϊκά πρότυπα, οι συνθήκες περιβάλλοντος, η αντοχή σε υγρασία και μηχανικές καταπονήσεις, καθώς και η συμβατότητα του υλικού με το υπόστρωμα. Εταιρείες όπως η Sika, η Promat, η Hilti και η Knauf διαθέτουν πιστοποιημένα συστήματα πυροπροστατευτικών επιχρισμάτων για διαφορετικές εφαρμογές.

3.3.3 ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ ΧΡΩΜΑΤΑ

Τα πυράντοχα - πυροπροστατευτικά χρώματα είναι ειδικά χρώματα που εφαρμόζονται σε δομικά στοιχεία και επιφάνειες με σκοπό να καθυστερούν την εξάπλωση της φωτιάς και να προστατεύουν το υπόστρωμα από την υψηλή θερμοκρασία. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε μεταλλικές κατασκευές, ξύλινες επιφάνειες και, σε ορισμένες περιπτώσεις, σε σκυρόδεμα ή γυψοσανίδες, συμβάλλοντας στην αύξηση της πυραντίστασης των κατασκευών και στη διατήρηση της φέρουσας ικανότητάς τους κατά τη διάρκεια πυρκαγιάς.

Η πιο διαδεδομένη κατηγορία πυράντοχων χρωμάτων είναι τα διογκούμενα χρώματα. Όταν εκτεθούν σε υψηλές θερμοκρασίες, διογκώνονται και δημιουργούν ένα παχύ αφρώδες στρώμα άνθρακα που λειτουργεί ως θερμομονωτικό φράγμα. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η μετάδοση θερμότητας προς το δομικό στοιχείο και καθυστερεί η αύξηση της θερμοκρασίας του χάλυβα ή του ξύλου. Η προστασία αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική στις μεταλλικές κατασκευές, επειδή ο χάλυβας χάνει σημαντικό μέρος της αντοχής του σε θερμοκρασίες άνω των 500°C.

Τα πυράντοχα χρώματα εφαρμόζονται συνήθως σε συνδυασμό με κατάλληλο αστάρι και τελική προστατευτική βαφή, ώστε να εξασφαλίζεται αντοχή στην υγρασία, στη διάβρωση και στις περιβαλλοντικές καταπονήσεις. Το συνολικό πάχος εφαρμογής εξαρτάται από την απαιτούμενη κλάση πυραντίστασης, όπως R30, R60, R90 ή R120, καθώς και από τα χαρακτηριστικά του φορέα και τη θερμοκρασία σχεδιασμού του χάλυβα.

Η χρήση πυράντοχων χρωμάτων προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως μικρό πάχος εφαρμογής, χαμηλό πρόσθετο βάρος και καλή αισθητική εμφάνιση, καθώς επιτρέπουν να παραμένει εμφανής η μορφή της μεταλλικής κατασκευής. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται συχνά σε σύγχρονα κτίρια γραφείων, εμπορικά κέντρα, ξενοδοχεία, αεροδρόμια και βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Για την επιλογή κατάλληλου συστήματος πυράντοχης βαφής απαιτείται έλεγχος των πιστοποιήσεων σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα πυραντίστασης και των τεχνικών χαρακτηριστικών του προϊόντος.

3.3.4 ΠΛΑΚΕΣ ΠΕΤΡΟΒΑΜΒΑΚΑ

Ο πετροβάμβακας, γενικά, είναι ένα υλικό άκαυστο, το οποίο παρέχει υψηλή θερμομονωτική προστασία, λόγω του χαμηλού συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας που τον χαρακτηρίζει. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τις σπουδαίες ηχομονωτικές του ιδιότητες, καθιστά τον πετροβάμβακα, ένα απο τα πλέον διαδομένα υλικά, όσον αφορά τη χρήση του στο κομμάτι των κατασκευών, μιας και χρησιμοποιείται τόσο σε συστήματα ξηράς δόμησης, όσο και στην εσωτερική και εξωτερική θερμοπρόσοψη των κτηρίων. Ο πετροβάμβακας σε μορφή πλακών, χρησιμοποιείται για την πυροπροστασία διαφόρων δομικών στοιχείων μιας κατασκευής, όπως π.χ μεταλλικά στοιχεία, δοκούς, υποστηλώματα καθώς και σε διάφορα ξύλινα δομικά στοιχεία, με σημαντικό πλεονέκτημα των πλακών πετροβάμβακα την δυνατότητα εφαρμογής του σε γεωμετρικά σύνθετα δομικά στοιχεία καθώς και σε δύσκολα προσβάσιμα σημεία **(7)**.

3.3.5 ΠΛΑΚΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΠΕΡΛΙΤΗ

Ο διογκωμένος περλίτης αποτελεί ένα άριστο θερμομονωτικό υλικό, λόγω της πορώδης δομής του, με αντοχή σε πολύ υψηλες θερμοκρασίες. Η εφαρμογή του περλίτη στα δομικά υλικά, βασίζεται τόσο στη χρήση του ως ψεκαζόμενο επίχρισμα, όσο και στη χρήση του σε μορφή θερμομονωτικών πλακών, οι οποίες τοποθετούνται σε διάφορα δομικά στοιχεία με σκοπό την αύξηση της πυραντοχής τους. Οι πλάκες περλίτη λόγω των άριστων πυράντοχων και αρκετά ικανοποιητικών ηχομονωτικών ιδιοτήτων τους, βρίσκουν ευρεία χρήση σε συστήματα ψευδοροφών καθώς και σε δομικά στοιχεία που απαιτούν αυξημένη πυραντίσταση.

3.3.6 ΠΥΡΑΝΤΟΧΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΞΗΡΑΣ ΔΟΜΗΣΗΣ

Τα συστήματα ξηράς δομήσης, συνήθως, αποτελούνται αμφίπλευρα απο επιφάνειες γυψοσανίδας, οι οποίες στηρίζονται με πιστοποιημένο μεταλλικό σκελετό και στον ενδιάμεσο χώρο μεταξύ των γυψοσανιδών, τοποθετείται κάποιο είδος μονωτικού υλικού, όπως π.χ πετροβάμβακας. Οι πυράντοχες ιδιότητες των συστημάτων ξηράς δόμησης εξαρτώνται κυρίως απο το είδος των γυψοσανιδών, καθώς και απο το είδος του θερμομονωτικού υλικού, που εφαρμόζεται ανάμεσα τους. Γενικότερα, ο γύψος θεωρείται ένα ιδιαίτερα αποτελεσματικό υλικό

πυροπροστασίας. Η παρουσία χημικά δεσμευμένου νερού στη δομή του παίζει καθοριστικό ρόλο στις θερμικές του ιδιότητες και στη συμπεριφορά του κατά την έκθεσή του στη φωτιά. Κατά τη θέρμανση, το νερό αυτό απελευθερώνεται σταδιακά υπό μορφή υδρατμών, απορροφώντας σημαντικές ποσότητες θερμότητας και καθυστερώντας την αύξηση της θερμοκρασίας στο προστατευόμενο δομικό στοιχείο. Η ιδιότητα αυτή καθιστά τα προϊόντα γύψου ιδιαίτερα κατάλληλα για εφαρμογές παθητικής πυροπροστασίας σε κτήρια. Τα προϊόντα γύψου χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στον τομέα των κατασκευών με κυριότερο παράδειγμα τις γυψοσανίδες και τις πλάκες γύψου, ο πυρήνας των οποίων κατασκευάζεται από γύψο στον οποίο προστίθενται διάφορα πρόσθετα υλικά για τον έλεγχο του βάρους και του χρόνου πήξης.

Οι γυψοσανίδες ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τη σύνθεσή τους και τις επιδόσεις τους έναντι της φωτιάς. Οι βασικές κατηγορίες περιλαμβάνουν τις κοινές γυψοσανίδες (regular gypsum board), τις πυράντοχες γυψοσανίδες τύπου X (Type X gypsum board ή Fireboard) και τις βελτιωμένες πυράντοχες γυψοσανίδες τύπου X (Improved Type X gypsum board). Οι κοινές γυψοσανίδες διαθέτουν φυσική πυραντίσταση λόγω της παρουσίας γύψου στον πυρήνα τους. Όταν ο πυρήνας ενισχύεται με ειδικά πρόσθετα ή υλικά που βελτιώνουν τη συμπεριφορά του σε υψηλές θερμοκρασίες, τότε οι πλάκες κατατάσσονται στις κατηγορίες Type X ή Improved Type X. Γενικότερα, τα τελευταία χρόνια η χρήση πυράντοχων συστημάτων ξηράς δόμησης στις κατασκευές είναι ιδιαίτερα διαδομένη, με ιδιαίτερη έμφαση να δίνεται στην ανάπτυξη νέων υλικών με βάση το γύψο, τα οποία αποτελούν και βασικό τμήμα των μελετών παθητικής πυροπροστασίας των κτηρίων **(7)**.

3.3.7 ΕΓΚΙΒΩΤΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΣΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Βασίζεται στη μέθοδο των σύμμεικτων στυλών, η οποία αφορά δομικά στοιχεία που συνδυάζουν σκυρόδεμα και χάλυβα αξιοποιώντας τα θετικά χαρακτηριστικά και των δύο υλικών. Η προστατευτική δράση του σκυροδέματος βασίζεται στη χαμηλή θερμική αγωγιμότητά του και στην ικανότητά του να καθυστερεί τη μετάδοση θερμότητας προς τον μεταλλικό πυρήνα. Με τον τρόπο αυτό επιβραδύνεται η αύξηση της θερμοκρασίας του χάλυβα και διατηρείται η φέρουσα ικανότητα του στοιχείου για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς.

Το σκυρόδεμα εγκιβωτισμού συνοδεύεται συνήθως από κατάλληλο οπλισμό, ο οποίος μπορεί να εξυπηρετεί είτε τη συγκράτηση και προστασία του περιβλήματος σκυροδέματος είτε να

συμβάλλει παράλληλα στη στατική λειτουργία και ενίσχυση του σύμμεικτου στοιχείου. Το απαιτούμενο πάχος επικάλυψης καθορίζεται σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς πυροπροστασίας και εξαρτάται από τον απαιτούμενο χρόνο πυραντίστασης της κατασκευής.

Εκτός από την πυροπροστασία, ο εγκιβωτισμός προσφέρει και πρόσθετη προστασία έναντι της διάβρωσης του χάλυβα, καθώς περιορίζει την άμεση έκθεσή του στο περιβάλλον. Παράλληλα, αυξάνει τη δυσκαμψία και τη συνολική ανθεκτικότητα του δομικού στοιχείου.

Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι αρκετά διαδεδομένη στην Ιαπωνία όχι τόσο όμως στην Ευρώπη λόγω του αυξημένου χρόνου και κόστους κατασκευής, καθώς και λόγω της αύξησης του όγκου των φέροντων δομικών στοιχείων **(1)**.

Γενικότερα, η παθητική πυροπροστασία, αποτελεί βασικό παραγόντα του πυροπροστατευτικού σχεδιασμού ενός κτηρίου και για αυτό το λόγο πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά την κατασκευή εντός νέου κτηρίου. Σχετίζεται άμεσα και με την ενεργητική πυροπροστασία, η οποία θα περιγραφεί στο επόμενο κεφάλαιο, μιας και καλείται να εξασφαλίσει άμεσες και ασφαλείς διαδρομές στα ενεργά μέσα κατάσβεσης μιας πυρκαγιάς, τα οποία βρίσκονται εγκατεστημένα σε ένα κτήριο. Η σωστή παθητική πυροπροστασία καλείται να συνδυάσει αρμονικά, όλα τα μέσα πυροπροστατευτικού σχεδιασμού που περιγράφηκαν σε αυτό το κεφάλαιο με σκοπό την ανθρώπινη ασφάλεια καθώς και τον περιορισμό των υλικών ζημιών, τόσο στο κτήριο που ξεκινάει η φωτιά, όσο και σε γειτονικά κτήρια που δύναται να εξαπλωθεί. Στο Σχήμα 3.2 παρουσιάζεται η παθητική πυροπροστασία, και το πως αυτό σχετίζεται με τα διάφορα μέσα που περιγράφηκαν στο συγκεκριμένο κεφάλαιο.

Σχήμα 3.2: Διάγραμμα παθητικής πυροπροστασίας σε κτήρια.

4. ΜΕΣΑ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΗΣ ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε το πως η παθητική πυροπροστασία, που σχετίζεται άμεσα με τον τρόπο με τον οποίο είναι κατασκευασμένο και διαχωρισμένο ένα κτήριο, μπορεί να βοηθήσει στον περιορισμό της εξάπλωσης μια πυρκαγιάς. Παρ' όλα αυτά, η παθητική πυροπροστασία δεν είναι αρκετή για την προστασία του κτηρίου έναντι μιας πυρκαγιάς, μιας και απαιτούνται πιο άμεσα και δραστικά μέσα για τον περιορισμό και την απόσβεση της σε περίπτωση εκδήλωσης μιας τέτοιας. Αυτά τα μέσα αποτελούν την λεγόμενη ενεργητική πυροπροστασία.

Η ενεργητική πυροπροστασία περιλαμβάνει το σύνολο των συστημάτων και μέτρων που ενεργοποιούνται κατά την εκδήλωση πυρκαγιάς, με σκοπό την έγκαιρη ανίχνευση, ειδοποίηση και καταστολή της. Σε αντίθεση με την παθητική πυροπροστασία, η οποία βασίζεται σε κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του κτηρίου, η ενεργητική πυροπροστασία απαιτεί λειτουργικά συστήματα και, σε ορισμένες περιπτώσεις, ανθρώπινη παρέμβαση. Ο βασικός στόχος της ενεργητικής πυροπροστασίας είναι η άμεση αντιμετώπιση της πυρκαγιάς στα αρχικά της στάδια, περιορίζοντας την εξάπλωσή της και μειώνοντας τις επιπτώσεις σε ανθρώπους και κατασκευές. Τα ενεργητικά μέτρα πυροπροστασίας είναι εγκατεστημένα μέσα στο κτίριο ή είναι φορητά και ενεργοποιούνται με την εμφάνιση μιας πυρκαγιάς. Δεν πρέπει να υποκαθιστούν τα παθητικά μέτρα, αλλά να προσφέρουν ένα πρόσθετο βαθμό στην ασφάλεια, ιδιαίτερα, κτιρίων υψηλής επικινδυνότητας. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα διάφορα μέτρα ενεργητικής πυροπροστασίας σε κατασκευές και στην συνέχεια γίνεται μια διεξοδική ανάλυση, του τρόπου λειτουργίας τους.

Μέτρο	**Σκοπός**
Ανιχνευτές Καπνού	Έγκαιρη ανίχνευση καπνού
Ανιχνευτές Θερμότητας	Έλεγχος μεταβολών θερμοκρασίας
Ανιχνευτές Φλόγας	Οπτική Ανίχνευση Φλόγας
Ανιχνευτές Ιονισμού	Ανιχνευση σωματιδίων καπνού
Σείρηνες Πυρασφάλειας	Ενημέρωση υπαρξης πυρκαγιας με ηχητικό μέσο

Κουδούνι Πυρασφάλειας	Χειροκίνητη ειδοποίηση πυρκαγιάς
Φάρος Πυρασφάλειας	Ενημέρωση ύπαρξης πυρκαγιάς με οπτικό μέσο
Απομακρυσμένα Ενδεικτικά LED	Ενημέρωση ύπαρξης πυρκαγιάς με οπτικό μέσο
Σήμανση στην Πυροσβεστική Υπηρεσία	Ενημέρωση Πυροσβεστικής για ύπαρξη πυρκαγιάς
Κεντρικοί Πίνακες Ελέγχου	Συντονισμός Συστημάτων Πυρασφάλειας
Φορητα Μέσα Πυρόσβεσης	Άμεση επέμβαση για απόσβεση πυρκαγιάς
Πυροσβεστικά δίκτυα	Υποστήριξη αυτόματων συστημάτων κατάσβεσης
Σύστηματα Καταιονισμού με Νερό	Απόσβεση Πυρκαγιάς μέ χρήση νερού
Συστήματα Τεχνιτής Ομίχλης Νερού	Απόσβεση Πυρκαγιάς μέ χρήση σταγονιδίων νερού
Συστήματα Αφρού	Απόσβεση Πυρκαγιάς μέ χρήση αφρογόνων
Συστήματα Κατάσβεσης με χρήση CO_2	Απόσβεση Πυρκαγιάς μέ χρήση διοξειδίου του άνθρακα

Πίνακας 4.1: Μέτρα Ενεργητικής Πυροπροστασίας σε Κτηρία

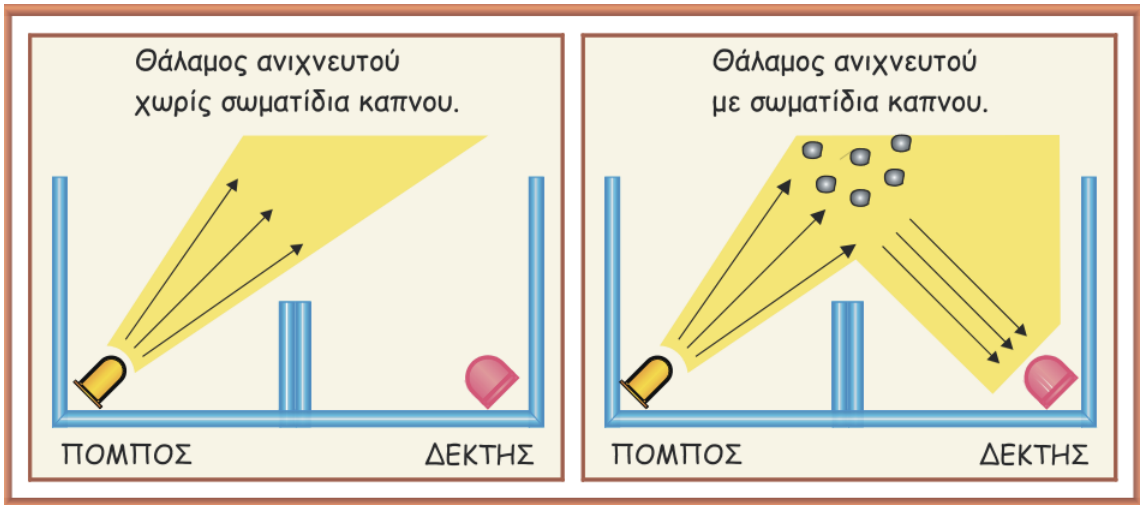
4.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

Τα συστήματα ανίχνευσης πυρκαγιάς αποτελούν το πρώτο και κρίσιμο στάδιο της ενεργητικής πυροπροστασίας, καθώς επιτρέπουν την έγκαιρη αναγνώριση της εκδήλωσης φωτιάς. Η έγκαιρη ανίχνευση είναι καθοριστικής σημασίας για την επιτυχή εκκένωση του κτηρίου και την άμεση ενεργοποίηση των υπολοίπων συστημάτων πυροπροστασίας. Οι ανιχνευτές διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες, με κυριότερους τους ανιχνευτές καπνού, θερμότητας, φλόγας και ιονισμου. Οι ανιχνευτές καπνού λειτουργούν με βάση τη συγκέντρωση σωματιδίων καπνού στον αέρα και είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι, καθιστώντας τους κατάλληλους για έγκαιρη ανίχνευση. Οι ανιχνευτές θερμότητας ενεργοποιούνται όταν η θερμοκρασία υπερβεί προκαθορισμένα όρια ή όταν

παρατηρηθεί ταχεία αύξηση της θερμοκρασίας. Οι ανιχνευτές φλόγας χρησιμοποιούν οπτικούς αισθητήρες για την ανίχνευση ακτινοβολίας από φλόγες. Η επιλογή του κατάλληλου τύπου ανιχνευτή εξαρτάται από τη χρήση του χώρου και τα χαρακτηριστικά του κινδύνου.

4.1.1 ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΚΑΠΝΟΥ

Υπάρχουν δύο μέθοδοι στην ανίχνευση καπνού, ο θάλαμος ιονισμού και ο θάλαμος οπτικού διασκορπισμού. Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί τελικά εξαρτάται από τον τύπο της φωτιάς που αντιμετωπίζεται. Στον θάλαμο ιονισμού ένα ηλεκτρικό ρεύμα ρέει μεταξύ δύο ηλεκτροδίων και μεταβάλλεται με την εισροή καπνού. Οι ανιχνευτές ιονισμού λόγω αυτής της τεχνολογίας μπορούν να ανιχνεύουν μικρά σωματίδια καπνού, όπως αυτά που δημιουργούνται σε φωτιές ταχείας καύσης, αλλά είναι μικρότερης ευαισθησίας σε μεγάλα σωματίδια καπνού, όπως αυτά που δημιουργούνται από επιφανειακή καύση PVC ή την αργή καύση αφρώδους πολυουρεθάνης. Στον οπτικό θάλαμο το φως διασκορπίζεται ή απορροφάται από τον καπνό. Οι οπτικού τύπου (φωτοηλεκτρικοί) ανιχνευτές είναι πολύ ευαίσθητοι σε μεγάλα σωματίδια (ορατός καπνός) αλλά χαμηλής ευαισθησίας σε μικρά σωματίδια. Σήμερα, οι ανιχνευτές οπτικού τύπου είναι περισσότερο διαδεδομένοι από τους ανιχνευτές ιονισμού για τον λόγο ότι στην κατασκευή των κτιρίων χρησιμοποιούνται πλέον υλικά με επιβράδυνση στην ανάφλεξη ακόμη και στην διακόσμηση και την επίπλωση.



Εικόνα 4.1: Τρόπος λειτουργίας Ανιχνευτών Καπνού **(9)**

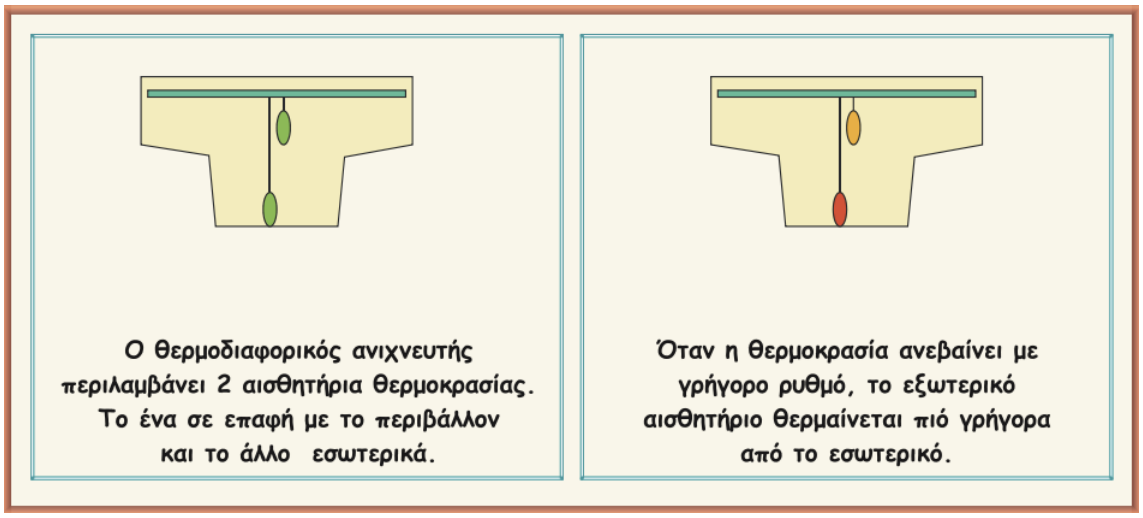
4.1.2 ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Οι ανιχνευτές θερμότητας είναι συσκευές πυρανίχνευσης που ενεργοποιούνται όταν η θερμοκρασία ενός χώρου ξεπεράσει ένα προκαθορισμένο όριο ή όταν παρατηρηθεί απότομη αύξηση της θερμοκρασίας. Χρησιμοποιούνται σε συστήματα πυρανίχνευσης για την έγκαιρη ανίχνευση πυρκαγιάς και την ενεργοποίηση συναγερμού, συμβάλλοντας στην προστασία ανθρώπων, εγκαταστάσεων και εξοπλισμού.

Σε αντίθεση με τους ανιχνευτές καπνού, οι ανιχνευτές θερμότητας δεν επηρεάζονται από σκόνη, υδρατμούς ή καυσαέρια και γι' αυτό προτιμώνται σε χώρους όπου οι συνθήκες λειτουργίας μπορεί να προκαλέσουν ψευδείς συναγερμούς. Τέτοιοι χώροι είναι οι κουζίνες, τα λεβητοστάσια, τα μηχανοστάσια, οι αποθήκες, τα υπόγεια πάρκινγκ και οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Οι ανιχνευτές θερμότητας διακρίνονται κυρίως σε ανιχνευτές σταθερής θερμοκρασίας και σε ανιχνευτές ρυθμού ανόδου θερμοκρασίας (θερμοδιαφορικοί). Οι ανιχνευτές σταθερής θερμοκρασίας ενεργοποιούνται όταν η θερμοκρασία φτάσει σε συγκεκριμένη τιμή, όπως για παράδειγμα στους 57°C ή 70°C. Οι ανιχνευτές ρυθμού ανόδου ενεργοποιούνται όταν η θερμοκρασία αυξάνεται γρήγορα μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα, ακόμη και αν δεν έχει φτάσει το προκαθορισμένο όριο. Συγκεκριμένα, οι θερμοδιαφορικοί ανιχνευτές χρησιμοποιούν δύο αισθητήρες θερμοκρασίας, τοποθετημένους με τέτοιο τρόπο, που ένα να επηρεάζεται αμεσότερα απο τη διαφορά θερμοκρασίας σε σχέση με τον άλλο. Στη συνέχεια, ο ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας υπολογίζεται (ως αποτέλεσμα της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ των δύο αισθητήρων) απο τα εσωτερικά κυκλώματα του ανιχνευτή και στην περίπτωση που αυτός είναι μεγαλύτερος του επιτρεπόμενου για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα τότε δίνεται συναγερμός φωτιάς.

Στα σύγχρονα συστήματα χρησιμοποιούνται συχνά διευθυνσιοδοτούμενοι ανιχνευτές θερμότητας, οι οποίοι επιτρέπουν τον ακριβή εντοπισμό του σημείου ενεργοποίησης.



Εικόνα 4.2: Τρόπος λειτουργίας θερμοδιαφορικών ανιχνευτών **(9)**

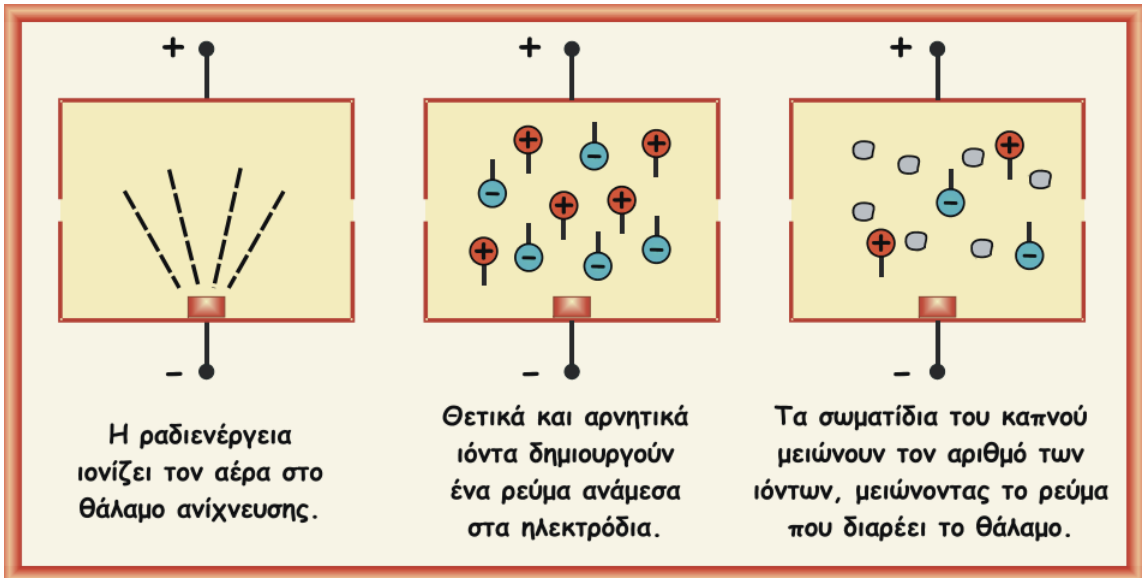
4.1.3 ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΦΛΟΓΑΣ

Ανιχνεύουν οπτικά τη φλόγα και αντιδρούν στη συχνότητα της πάλμωσης που παρουσιάζει. Χρησιμοποιούνται πάντα σε συνδυασμό με ανιχνευτές ιονισμού, ιδιαίτερα σε χώρους πολύ ψηλούς όπως υπόστεγα αεροπλάνων και μεγάλες αποθήκες. Σε χώρους ύψους 15 m, ο ανιχνευτής φλόγας μπορεί, ανάλογα με την ανάπτυξη της φωτιάς, να ενεργοποιηθεί πριν φθάσουν στην οροφή αισθητές ποσότητες αερίων καύσεως. Πιο συγκεκριμένα αποτελούνται εσωτερικά από ένα ή περισσότερα αισθητήρια υπέρυθρης ακτινοβολίας και ειδικά κάτοπτρα. Σε περίπτωση εκδήλωσης πυρκαγιάς η φλόγα παράγει υπέρυθρη ακτινοβολία σε χαμηλές συχνότητες. Αυτή την ακτινοβολία αναγνωρίζουν τα αισθητήρια και ενεργοποιούν τον ανιχνευτή. Κύριως χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις η ανίχνευση της πυρκαγιας χαρακτηρίζεται απο ιδιαίτερη δυσκολία, με έναν από τους παραπάνω τρόπους, όπως χώροι π.χ χώροι ηλεκτρικών εγκαταστάσεων.

4.1.4 ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΙΟΝΙΣΜΟΥ

Οπως καταλαβαίνουμε και από το όνομα του ανιχνευτή η λειτουργία του βασίζεται στην διαδικασία ιονισμού του καπνού. Με πιο απλά λόγια ο ανιχνευτής αυτός λειτουργεί σαν την «μύτη» του συστήματος αφού μπορεί να ανιχνεύσει ποσότητα καπνού, ορατού και μη, μέσα στον χώρο. Πιο συγκεκριμένα ο ανιχνευτής χρησιμοποιεί ένα θάλαμο μέσα στον οποίο γίνεται ο

διαχωρισμός των ιόντων. Οι δύο απέναντι πλευρές αυτού του θαλάμου είναι ηλεκτρόδια (θετικής και αρνητικής διέγερσης) τα οποία είναι συνδεδεμένα με τους αντίστοιχους πόλους του κυκλώματος. Μέσα στον θάλαμο υπάρχει μια μικρή ποσότητα ενός ραδιενεργού υλικού, του Αμερικίου, του οποίου δουλειά είναι να ιονίζει τον αέρα και να παράγει θετικά και αρνητικά ιόντα. Στη συνέχεια λόγω αυτών των ιόντων ρεύμα διαρρέεται μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων. Όταν εισέλθει καπνός στον θάλαμο, τα σωματίδια του καπνού αναγνωρίζονται αμέσως με αποτέλεσμα τα ιόντα που υπήρχαν μέσα στον θάλαμο να μειώνονται αισθητά, άρα αντίστοιχα και το ρεύμα που τον διαρρέει.



Εικόνα 4.3: Τρόπος λειτουργίας ανιχνευτών ιονισμού **(9)**

4.1.5 ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ

Η αξιοπιστία των ανιχνευτών φωτιάς αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες για την αποτελεσματική λειτουργία ενός συστήματος πυρανίχνευσης, καθώς από την ορθή και έγκαιρη ανίχνευση μιας πυρκαγιάς εξαρτάται η προστασία της ανθρώπινης ζωής και των εγκαταστάσεων. Οι σύγχρονοι ανιχνευτές σχεδιάζονται ώστε να προσφέρουν υψηλή ακρίβεια και ταχύτητα απόκρισης, περιορίζοντας παράλληλα την πιθανότητα ψευδών συναγερμών.

Η αξιοπιστία ενός ανιχνευτή επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η ποιότητα κατασκευής, η τεχνολογία ανίχνευσης, η σωστή επιλογή τύπου ανιχνευτή για κάθε χώρο και η τακτική συντήρηση του συστήματος. Οι ανιχνευτές καπνού θεωρούνται ιδιαίτερα

αποτελεσματικοί στην έγκαιρη ανίχνευση πυρκαγιάς, ειδικά σε χώρους γραφείων, ξενοδοχείων και κατοικιών, ενώ οι ανιχνευτές θερμότητας παρουσιάζουν μεγαλύτερη αξιοπιστία σε χώρους με σκόνη, υδρατμούς ή καυσαέρια, όπου οι ανιχνευτές καπνού ενδέχεται να προκαλούν ψευδείς ενεργοποιήσεις.

Στα σύγχρονα συστήματα πυρανίχνευσης χρησιμοποιούνται συχνά διευθυνσιοδοτούμενοι ανιχνευτές, οι οποίοι επικοινωνούν συνεχώς με τον πίνακα ελέγχου και επιτρέπουν τον ακριβή εντοπισμό της θέσης συναγερμού ή βλάβης. Πολλά συστήματα διαθέτουν επίσης λειτουργίες αυτοελέγχου και παρακολούθησης της κατάστασης των αισθητήρων, αυξάνοντας σημαντικά την αξιοπιστία και τη διαθεσιμότητα του συστήματος.

Η σωστή εγκατάσταση παίζει καθοριστικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα των ανιχνευτών. Η τοποθέτηση πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις των κανονισμών πυροπροστασίας και τις οδηγίες του κατασκευαστή, λαμβάνοντας υπόψη τη γεωμετρία του χώρου, τον αερισμό, τα πιθανά εμπόδια και τις συνθήκες λειτουργίας. Εξίσου σημαντική είναι και η περιοδική συντήρηση, η οποία περιλαμβάνει καθαρισμό, δοκιμές λειτουργίας και έλεγχο των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.

Η αξιοπιστία των ανιχνευτών φωτιάς πιστοποιείται μέσω διεθνών και ευρωπαϊκών προτύπων, όπως η σειρά EN 54, που καθορίζει τις απαιτήσεις σχεδιασμού, δοκιμών και λειτουργίας των συστημάτων πυρανίχνευσης. Πιστοποιημένα προϊόντα διαθέτουν εταιρείες όπως η Olympia Electronics, η Siemens, η Bosch και η Notifier, οι οποίες αναπτύσσουν συστήματα υψηλής αξιοπιστίας για κτίρια, βιομηχανίες και εγκαταστάσεις αυξημένων απαιτήσεων ασφαλείας.

4.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΔΕΙΞΗΣ ΚΑΙ ΣΗΜΑΝΣΗΣ

Αποτελούν εξισού σημαντικά μέσα ενός συστήματος πυρανίχνευσης, ενώ ο ρόλος τους αφορά την ειδοποιήση ηχητικά ή οπτικά του ανθρώπινου παράγοντα στην περίπτωση μιας πυρκαγιάς. Μπορούν να διακριθούν σε ηχητικά μέσα, όπως π.χ τα συστήματα συναγερμού με φαροσειρήνα, καθώς και σε οπτικά μέσα, όπως π.χ απομακρυσμένων LED ανιχνευτών. Τα κυριότερα μέσα περιγράφονται ακολούθως.

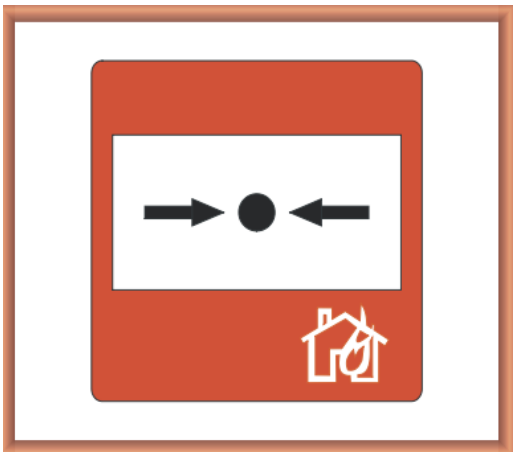
4.2.1 ΣΕΙΡΗΝΕΣ ΠΥΡΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Οι σείρήνες πυρασφάλειας αποτελούν το πλέον διαδομένο ηχητικό μέσο συναγερμού στις σύγχρονες εγκαταστάσεις συστημάτων πυρανίχνευσης. Κατά την ενεργοποίηση τους παράγουν

έναν χαρακτηριστικό διαπεραστικό ήχο, ο οποίος διαφοροποιείται απο ήχουν που τείνουν να παράγουν άλλες συσκευές εντός του χώρου. Οι σειρήνες ενεργοποιούνται αυτόματα μέσω του πίνακα πυρανίχνευσης όταν ανιχνευτεί καπνός, θερμότητα ή φλόγα από τους αντίστοιχους ανιχνευτές. Παράλληλα, μπορούν να ενεργοποιηθούν και χειροκίνητα μέσω κομβίων συναγερμού που είναι εγκατεστημένα σε κατάλληλες θέσεις του κτηρίου (βλ. Εικόνα 4.4). Η σωστή τοποθέτηση των σειρήνων είναι ιδιαίτερα σημαντική για την αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος. Οι συσκευές πρέπει να εγκαθίστανται σε κατάλληλες θέσεις ώστε το ηχητικό σήμα να είναι αντιληπτό σε όλους τους χώρους του κτηρίου, συμπεριλαμβανομένων των διαδρόμων, των χώρων συνάθροισης κοινού και των οδεύσεων διαφυγής. Η ένταση του ήχου καθορίζεται από τα ισχύοντα πρότυπα και πρέπει να υπερβαίνει το επίπεδο του περιβάλλοντος θορύβου ώστε να εξασφαλίζεται η έγκαιρη ειδοποίηση των ατόμων.

4.2.2 ΚΟΥΔΟΥΝΙ ΠΥΡΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Το κουδούνι πυρασφάλειας αποτελεί μία από τις παλαιότερες συσκευές ειδοποίησης που χρησιμοποιούνται στα συστήματα πυρανίχνευσης και συναγερμού, ενω πολλές φορές μπορεί να χρησιμοποιείται παράλληλα της σειρήνας πυρασφάλειας. Και το κουδούνι πυρασφάλειας παράγει χαρακτηριστικό ήχο και η ενεργοποίηση του μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε αυτόματα (μέσω του πίνακα πυρασφάλειας) είτε χειροκίνητα μέσω κομβίων συναγερμού. Παρότι σήμερα, τα κουδούνια πυρασφάλειας, έχουν σε μεγάλο βαθμό αντικατασταθεί από ηλεκτρονικές σειρήνες και συστήματα φωνητικών αναγγελιών, εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται σε ορισμένες εγκαταστάσεις λόγω της απλότητας, της αξιοπιστίας και του χαμηλού κόστους συντήρησής τους



Εικόνα 4.4: Μπουτόν χειροκίνητης ενεργοποίησης συναγερμού φωτιάς

4.2.3 ΦΑΡΟΣ ΠΥΡΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Οι φάροι πυρασφάλειας χρησιμοποιούνται συνδυαστικά με τις σειρήνες και τα κουδούνια πυρασφάλειας με σκοπό την οπτική ενημέρωση των ενοίκων στην περίπτωση εκδήλωσης πυρκαγιάς. Παλαιότερα χρησιμοποιούνταν φάροι με λάμπα πυράκτωσης ή XENON, ενω σήμερα για λόγους κατανάλωσης ενέργειας οι περισσότεροι παράγονται με λαμπτήρες LED.

Εικόνα 4.5: Απεικόνιση ενός τυπικού φάρου πυρασφάλειας με λαμπτήρα LED

4.2.4 ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΑ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ LED

Τα απομακρυσμένα ενδεικτικά LED χρησιμοποιούνται κυρίως σε εκτεταμένες κτηριακές εγκαταστάσεις που περιλαμβάνουν μεγάλο αριθμό ανεξάρτητων χώρων, όπως νοσοκομεία, ξενοδοχεία, εκπαιδευτικά ιδρύματα, εμπορικά κέντρα και κτήρια γραφείων. Σκοπός τους είναι η άμεση και εύκολη αναγνώριση του χώρου στον οποίο έχει ενεργοποιηθεί ένας ανιχνευτής πυρκαγιάς. Πρόκειται για φωτεινές ενδεικτικές λυχνίες τύπου LED, οι οποίες συνδέονται με έναν ανιχνευτή καπνού ή θερμότητας και τοποθετούνται σε διαφορετική θέση από αυτόν. Όταν ο ανιχνευτής ανιχνεύσει καπνό ή θερμότητα και τεθεί σε κατάσταση συναγερμού, ενεργοποιείται ταυτόχρονα και το αντίστοιχο απομακρυσμένο LED. Η εγκατάστασή τους πραγματοποιείται συνήθως εξωτερικά των προστατευόμενων χώρων, πάνω ή δίπλα από την είσοδο κάθε δωματίου, σε εμφανές σημείο. Με τον τρόπο αυτό διευκολύνεται ο άμεσος εντοπισμός της εστίας του συναγερμού από το προσωπικό ασφαλείας ή την πυροσβεστική υπηρεσία, χωρίς να απαιτείται έλεγχος όλων των χώρων του κτηρίου.

4.2.5 ΣΗΜΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ

Πέρα απο τα διάφορα μέσα ανίχνευσης πυρκαγιάς και ειδοποίησης των ενοίκων εντός ενός κτηρίου, απαραίτητη είναι και η ειδοποίηση της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας, η οποία καλείται να αντιδράσει άμεσα με σκοπό την απόσβεση της πυρκαγιάς και την εκκένωση των ενοίκων. Η Πυροσβεστική Υπηρεσία ειδοποιείται για την έναρξη της πυρκαγιάς, με ορισμένους αυτοματοποιημένους μηχανισμούς, οι οποίο αποτελούν κομμάτι της ενεργητικής πυροπροστασίας ενός κτηρίου, και παρουσιάζονται ως ακολούθως **(10)**:

- Μέσω αυτόματης κλήσης από τον κεντρικό πίνακα πυρανίχνευσης με την βοήθεια συσκευής GSM. Η αυτόματη κλήση γίνεται στον τηλεφωνικό αριθμό του πυροσβεστικού σταθμού και με αυτόν τον τρόπο ενημερώνεται η Πυροσβεστική Υπηρεσία για την ύπαρξη της πυρκαγιάς.

- Με την χρήση μια αποκλειστικής γραμμή του ΟΤΕ που ενοικιάζεται από τον ενδιαφερόμενο. Σε αυτή την περίπτωση το σήμα προς την Πυροσβεστική Υπηρεσία είναι οπτικό και ακουστικό, δηλαδή ανάβει μια λυχνία με το όνομα και την διεύθυνση του χώρου και παράλληλα ηχούν ειδικά κουδούνια.

- Με την χρήση ενός συστήματος, πιο σύγχρονου, που στηρίζεται στην παραγωγή ενός κωδικοποιημένου σήματος. Συγκεκριμένα σε περίπτωση πυρκαγιάς το σύστημα αυτό παράγει κύματα υψηλών συχνοτήτων (υπέρηχη συχνότητα) σε κοινή τηλεφωνική γραμμή, τα οποία αφού περάσουν από ειδικά φίλτρα διαβιβάζονται στον παραλήπτη, δηλαδή την Πυροσβεστική Υπηρεσία.

4.2.5.1 ΣΥΣΤΗΜΑ GSM

Η συσκευή GSM ή με την πλήρη ονομασία Global System of Mobile commynication είναι ένα κοινό Ευρωπαϊκό ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας. Πιο συγκεκριμένα είναι ένα κυψελοειδές ψηφιακό σύστημα που χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητικά σήματα και την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαχωρισμό του διαθέσμου φάσματος συχνοτήτων σε έναν αριθμό καναλιών και την διαίρεση αυτών σε χρονοθυρίδες για την μετάδοση σημάτων. Ένα σύστημα GSM αποτελείται από τρία βασικά μέρη **(10)**:

1. Τον κινητό σταθμό, ο οποίος περιλαμβάνει οπωσδήποτε πομπό-δέκτη, κεραία και θέση για SIM.

2. Το βασικό υποσύστημα σταθμού, το οποίο αναλαμβάνει την διαχείριση των κλήσεων σε μία γεωγραφική περιοχή όπου καλύπτεται από ένα σύνολο κεραιών διαφόρων μεγεθών σε σειρά ίδιους με αυτούς που βλέπου σε λόφους και στις ταράτσες κτιρίων.

Το υποσύστημα δικτύου μεταγωγής το οποίο αποτελείται από το κέντρο διανομής, που είναι υπεύθυνο για την διασύνδεση, τον έλεγχο και την δρομολόγηση όλων των εισερχόμενων και εξερχόμενων κλήσεων μεταξύ του δικτύου κινητής τηλεφωνίας και ενός άλλου ή άλλων δικτύων.

4.2.6 ΚΕΝΤΡΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

Οι Κεντρικοί Πίνακες Ελέγχου και αυτομάτου λειτουργίας περιλαμβάνουν,

- Τη μονάδα παροχής ενέργειας του πίνακα που δίνει την κατάλληλη τάση στο σύστημα.
- Τη μονάδα ελέγχου της τάσης της εγκατάστασης.
- Τη μονάδα σήμανσης που θα ενεργοποιήσει το ηχητικό σήμα σε περίπτωση συναγερμού.

- Τις μονάδες ανίχνευσης
- Τους αυτοματισμούς που ενεργοποιούν μηχανισμούς κατάσβεσης.
- Τη μονάδα εφεδρικής τροφοδοσίας.

Η λειτουργία ενός σύγχρονου συστήματος πυρανίχνευσης και συναγερμού βασίζεται σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα ελέγχου και αυτοματισμού, το οποίο αποτελείται από την κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU), τον κεντρικό πίνακα ελέγχου και ενδείξεων (SCC) καθώς και από επιμέρους περιφερειακές μονάδες ελέγχου. Όλα τα τμήματα του συστήματος επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω δικτύου δεδομένων, επιτρέποντας τη συνεχή παρακολούθηση και διαχείριση της εγκατάστασης.

Οι περιφερειακές μονάδες εποπτεύουν τους ανιχνευτές, τα κομβία συναγερμού και τα υπόλοιπα στοιχεία του συστήματος που είναι συνδεδεμένα σε αυτές, ενώ κάθε μεταβολή της κατάστασής τους μεταδίδεται άμεσα στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας. Η CPU, μέσω κατάλληλου λογισμικού, επεξεργάζεται τις πληροφορίες που λαμβάνει και συντονίζει τη λειτουργία όλων των υποσυστημάτων, εξασφαλίζοντας την άμεση απόκριση σε περιπτώσεις συναγερμού ή βλάβης.

Σε περίπτωση πυρκαγιάς ή τεχνικής δυσλειτουργίας, οι σχετικές πληροφορίες εμφανίζονται στην αλφαριθμητική οθόνη του κεντρικού πίνακα ελέγχου και συνοδεύονται από ηχητικές και οπτικές ενδείξεις για την άμεση ειδοποίηση του προσωπικού. Παράλληλα, το σύστημα μπορεί να συνεργάζεται με εγκαταστάσεις μεγαφωνικής αναγγελίας, επιτρέποντας τη μετάδοση οδηγιών εκκένωσης ή άλλων μηνυμάτων έκτακτης ανάγκης σε συγκεκριμένες ζώνες του κτηρίου.

Μέσω των μονάδων ελέγχου και των συστημάτων αναγγελίας, παρέχεται η δυνατότητα στο προσωπικό ασφαλείας να απευθύνεται επιλεκτικά σε συγκεκριμένους χώρους, χωρίς να επηρεάζονται οι υπόλοιπες περιοχές του κτηρίου. Επιπλέον, ο κεντρικός πίνακας μπορεί να ενσωματώνει τηλεφωνικές ή ψηφιακές επικοινωνιακές λειτουργίες, καθώς και συστήματα αυτόματης μετάδοσης προηχογραφημένων μηνυμάτων έκτακτης ανάγκης.

Τέλος, τα σύγχρονα συστήματα διαθέτουν δυνατότητες αποθήκευσης και διαχείρισης δεδομένων, επιτρέποντας την ακριβή αναγνώριση της θέσης και της κατάστασης κάθε επιμέρους συσκευής ή μονάδας του συστήματος. Με τον τρόπο αυτό διευκολύνεται ο εντοπισμός συμβάντων, η διαχείριση βλαβών και η αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος πυροπροστασίας στο σύνολό του **(1)**.

4.3 ΜΕΣΑ ΚΑΤΑΣΒΕΣΗΣ

Ως μέσα κατάσβεσης ορίζονται τα υλικά, οι ουσίες, οι συσκευές και τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο, τον περιορισμό ή την πλήρη κατάσβεση μιας πυρκαγιάς. Σκοπός τους είναι η διακοπή της διαδικασίας της καύσης μέσω της εξάλειψης ενός ή περισσότερων στοιχείων του τετραέδρου της φωτιάς, δηλαδή της θερμότητας, του καυσίμου υλικού, του οξυγόνου ή της αλυσιδωτής χημικής αντίδρασης της καύσης. Τα μέσα κατάσβεσης μπορούν να διαχωριστούν σε φορητά μέσα κατάσβεσης και σε αυτόματα μέσα κατάσβεσης, τα οποία ενεργοποιούνται με την ανίχνευση της πυρκαγιάς απο τα μέσα που περιφράψαμε σε προηγούμενα κεφάλαια. Τα κυριότερα μέσα κατάσβεσης περιγράφονται ως ακολούθως.

4.3.1 ΦΟΡΗΤΑ ΜΕΣΑ ΚΑΤΑΣΒΕΣΗΣ

Όταν αναφερόμαστε σε φορητά μέσα κατάσβεσης αναφερόμαστε στους γνωστούς σε όλους πυροσβεστήρες, οι οποίοι αποτελούν το πλέον διαδεδομένο μέσο κατάσβεσης πυρκαγιών (ειδικά όταν αυτές βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο) και είναι ιδιαίτερα εύκολοι στην ανθρώπινη χρήση. Προφανώς, οι πυροσβεστήρες θα πρέπει να βρίσκονται σε ευκολα προσβάσιμα σημεία εντός του κτηρίου, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα άμεσης χρήσης τους σε περίπτωση πυρκαγιάς. Οι πυροσβεστήρες ανάλογα με την κατασβεστική ουσία που χρησιμοποιούν μπορεί να διακριθούν στις κάτωθι κατηγορίες:

- **Πυροσβεστήρες Νερού:** Η κατασβεστική τους δράση βασίζεται κυρίως στην ψύξη της εστίας της πυρκαγιάς. Το νερό απορροφά μεγάλες ποσότητες θερμότητας λόγω της υψηλής ειδικής θερμότητας και της μεγάλης θερμότητας εξάτμισης που διαθέτει. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η θερμοκρασία του καιόμενου υλικού κάτω από το σημείο ανάφλεξης, με αποτέλεσμα τη διακοπή της καύσης. Οι πυροσβεστήρες νερού χρησιμοποιούνται σε πυρκαγιές στερεών υλικών, αλλά πρέπει να αποφεύγεται η χρήση τους σε πυρκαγιές ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων.

- **Πυροσβεστήρες Αφρού:** Η λειτουργία τους βασίζεται στην εκτόξευση ειδικού αφρογόνου διαλύματος, το οποίο αναμιγνύεται με αέρα και δημιουργεί έναν σταθερό αφρό πάνω στην επιφάνεια του καιόμενου υλικού. Ο αφρός σχηματίζει ένα προστατευτικό στρώμα που απομονώνει το καύσιμο από το οξυγόνο της ατμόσφαιρας,

διακόπτοντας έτσι τη διαδικασία της καύσης. Παράλληλα, η περιεκτικότητα του αφρού σε νερό συμβάλλει στην ψύξη της εστίας της πυρκαγιάς και των γειτονικών επιφανειών. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε χώρους που υπάρχει αυξημένος κίνδυνος πυρκαγιών από υγρά καύσιμα (όπως π.χ πρατήρια καυσίμων).

- **Πυροσβεστήρες Ξηράς Σκόνης:** Οι Πυροσβεστήρες Ξηράς Σκόνης χρησιμοποιούν ως κατασβεστικό υλικό λεπτόκοκκες χημικές ουσίες, οι οποίες εκτοξεύονται προς την εστία της πυρκαγιάς με σκοπό την διακοπή της διαδικασία της καύσης. Οι πυροσβεστήρες ξηράς σκόνης χρησιμοποιούνται στα περισσότερα είδη πυρκαγιών, με τη χρήση τους να συνίσταται και στις πυρκαγιές ηλεκτρικών εγκαταστάσεων.

- **Πυροσβεστήρες Διοξειδίου του Άνθρακα:** Το διοξείδιο του άνθρακα αποθηκεύεται σε υγρή μορφή εντός των πυροσβεστήρων. Κατά, την ενεργοποίηση του πυροσβεστήρα το υγρό CO_2 μετατρέπεται σε αέριο και κατευθυνόμενο προς την εστία της πυρκαγιάς αποσκοπεί στην μείωση της συγκέντρωσης του οξυγόνου γύρω από την εστία και με αυτόν τον τρόπο στην απόσβεση της φωτιάς. Οι πυροσβεστήρες διοξειδίου του άνθρακα χρησιμοποιούνται κυρίως σε πυρκαγιές εύφλεκτων υγρών, καθώς και σε πυρκαγιές ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων.

- **Πυροσβεστήρες αλογονομένων υδρογονανθράκων (σταδιακά αποσύρονται):** Αποτελούν ειδική κατηγορία πυροσβεστήρων που χρησιμοποιήθηκαν ευρέως στο παρελθόν, κυρίως σε πυρκαγιές ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων. Δεν χρησιμοποιούνται πλεόν γιατί οι ουσίες Halon, που εμπεριέχουν, παρουσιάζουν έντονες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (όπως π.χ καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος).

Τέλος οι πυροσβεστήρες, βάσει του βάρους τους, μπορούν να διακριθούν και στις παρακάτω κατηγορίες **(1)**:

- Φορητοί πυροσβεστήρες μικρού βάρους, έως 20 kgr.
- Τροχήλατοι πυροσβεστήρες πάνω σε δίτροχο φορέα, έως 300 kgr.
- Ρυμουλκούμενοι πυροσβεστήρες μικτού βάρους, έως 750 kgr.
- Σταθεροί πυροσβεστήρες που τροφοδοτούν φορητά συστήματα.
- Πυροσβεστικά οχήματα.

4.3.2 ΑΥΤΟΜΑΤΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΗΣ

Οι αυτόματες εγκαταστάσεις πυρόσβεσης αποτελούν ένα από τους βασικότερους μηχανισμούς απόσβεσης πυρκαγιάς. Σκοπός τους είναι, στην περίπτωση ανίχνευσης φωτιάς, η άμεση ανταπόκριση τους για την εξάλειψη της μέσω διαφόρων αυτοματοποιημένων συστήματων, που έχουν ως κύριο κατασβεστικό μέσο το νερό ή προϊόντα νερού. Στην συνέχεια, ακολουθεί μια περιγραφή κάποιων απο τους βασικότερους τύπους αυτόματων εγκαταστάσεων πυρόσβεσης.

4.3.2.1 ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Τα πυροσβεστικά δίκτυα αποτελούν μόνιμες εγκαταστάσεις ενεργητικής πυροπροστασίας, οι οποίες έχουν ως σκοπό την άμεση και συνεχή παροχή νερού για την αντιμετώπιση πυρκαγιών. Αποτελούνται από ένα σύνολο σωληνώσεων, πυροσβεστικών φωλιών, βανών ελέγχου, αντλητικών συγκροτημάτων και συνδέσεων που επιτρέπουν την τροφοδότηση τόσο των μόνιμων συστημάτων πυρόσβεσης όσο και του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται από την Πυροσβεστική Υπηρεσία.

Το νερό αποτελεί το πλέον διαδεδομένο κατασβεστικό μέσο, καθώς είναι εύκολα διαθέσιμο, οικονομικό και διαθέτει εξαιρετικές ψυκτικές ιδιότητες. Η υψηλή θερμοχωρητικότητα και η μεγάλη θερμότητα εξάτμισης που παρουσιάζει επιτρέπουν την απορρόφηση σημαντικών ποσοτήτων θερμικής ενέργειας από την εστία της πυρκαγιάς. Επιπλέον, η αποτελεσματικότητά του μπορεί να ενισχυθεί με την προσθήκη ειδικών αφρογόνων ή άλλων κατασβεστικών προσθέτων, διευρύνοντας το φάσμα των εφαρμογών του.

Κάθε πυροσβεστικό δίκτυο αποτελείται από δύο βασικά υποσυστήματα: το σύστημα παροχής νερού και το σύστημα διανομής του. Το σύστημα παροχής περιλαμβάνει τις υδροδοτικές πηγές και τις πυροσβεστικές αντλίες, οι οποίες εξασφαλίζουν την απαιτούμενη παροχή και πίεση λειτουργίας. Οι αντλίες αυτές είναι συνήθως φυγοκεντρικού τύπου και μπορεί να είναι οριζόντιες ή κατακόρυφες, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης και τον τρόπο υδροληψίας. Ως κινητήριες μονάδες χρησιμοποιούνται ηλεκτροκινητήρες ή πετρελαιοκινητήρες, με τους τελευταίους να προσφέρουν αυξημένη αξιοπιστία σε περιπτώσεις διακοπής της ηλεκτρικής τροφοδοσίας.

Η εκκίνηση των αντλιών πραγματοποιείται συνήθως αυτόματα, μέσω συστημάτων ανίχνευσης πτώσης πίεσης στο δίκτυο. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η άμεση ενεργοποίηση του συστήματος σε περίπτωση χρήσης πυροσβεστικού εξοπλισμού ή λειτουργίας αυτόματων συστημάτων κατάσβεσης.

Το σύστημα διανομής αποτελείται από δίκτυο σωληνώσεων που μεταφέρουν το νερό στα σημεία κατανάλωσης. Οι σωληνώσεις διαμορφώνονται είτε σε κλειστούς βρόχους είτε σε διατάξεις κλάδων, ανάλογα με τις απαιτήσεις αξιοπιστίας και τη γεωμετρία της εγκατάστασης. Μέσω αυτών τροφοδοτούνται οι πυροσβεστικές φωλιές, οι καταιονιστήρες (sprinklers), τα πυροσβεστικά κανόνια και κάθε άλλο μέσο κατάσβεσης που λειτουργεί με νερό **(1)**.

4.3.2.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑΙΟΝΙΣΜΟΥ ΜΕ ΝΕΡΟ (SPRINKLERS)

Τα συστήματα καταιονισμού με νερό αποτελούνται απο τα εξής μέρη:

- Την κεντρική παροχή νερού
- Το δίκτου σωληνώσεων που τοποθετείται στην οροφή του χώρου που θέλουμε να προστατεύσουμε
- Τις κεφαλές sprinkler (ή καταιονιστήρες)

Τα συστήματα sprinkler χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σε μεγάλες εγκαταστάσεις (εργοστάσια, σχολεία, μεγάλα καταστήματα κ.α.) που απαιτούν συνεχή παρακολούθηση λόγω της φύσης κινδύνου που περιέχουν. Είναι τα πιο κατάλληλα συστήματα κατάσβεσης για τον έλεγχο και την αντιμετώπιση μιας πυρκαγιάς όταν αυτή βρίσκεται σε αρχικό στάδιο. Η ενεργοποίηση αυτού του συστήματος γίνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας στον προστατευόμενο χώρο. Τότε κάθε κεφαλή sprinkler ενεργοποιείται ξεχωριστά και εκτοξεύει νερό στον χώρο που ανιχνεύτηκε πυρκαγιά. Για την σίγουρη απόκριση του συστήματος εκτός των άλλων ένα σύστημα καταιονισμού με νερό περιλαμβάνει μια αντλία νερού με σκοπό την διατήρηση του νερού σε σταθερή πίεση, βαλβίδα ελέγχου του νερού αλλά και βαλβίδα αντεπιστροφής. Η δουλειά αυτής της βαλβίδας είναι η διακοπή της κεντρικής παροχής νερού αλλά και των σωληνώσεων σε περίπτωση επιδιόρθωσης του συστήματος .Τέλος ένα σύστημα sprinkler περιλαμβάνει επίσης σωλήνα αποστράγγισης, μετρητή πίεσης του νερού, συσκευή ανίχνευσης ροής του νερού συνδεδεμένη με το σύστημα συναγερμού του κτιρίου και διάταξη

σύνδεσης του συστήματος με την Π.Υ. Τα συστήματα καταιονισμού διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- Σύστημα υγρού τύπου
- Σύστημα ξηρού τύπου
- Σύστημα προενέργειας
- Σύστημα κατακλισμού

Σύστημα υγρού τύπου

Αποτελεί το πλέον διαδεδομένο (και οικονομικό) σύστημα καταιονισμού μιας και έχει ως κύρια βάση το νερό. Στο σύστημα αυτό οι σωληνώσεις που βρίσκονται πάνω από την οροφή είναι μονίμως εφοδιασμένες και γεμάτες με νερό υπό πίεση. Αφού ξεπεράσει η θερμοκρασία του χώρου ένα προκαθορισμένο όριο τότε είναι που οι κεφαλές sprinkler ανοίγουν αυτόματα για την κατάσβεση της πυρκαγιάς.

Σύστημα ξηρού τύπου

Το σύστημα ξηρού τύπου είναι η δεύτερη πιο διαδεδομένη κατηγορία ενός συστήματος καταιονισμού και χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο σε εγκαταστάσεις όπου αδυνατούν να λειτουργήσουν τα συστήματα υγρού τύπου, δηλαδή σε χώρους με πολύ χαμηλές θερμοκρασίες ή σε ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις. Τα συστήματα ξηρού τύπου ενεργοποιούνται με παρόμοιο τρόπο με τα συστήματα υγρού τύπου, με τη διαφορά ότι οι σωλήνες που βρίσκονται στην οροφή του χώρου εμπεριέχουν πεπιεσμένο αέρα ή άζωτο αντί για νερό.

Σύστημα Προενέργειας

Τα συστήματα προενέργειας χρησιμοποιούνται κύριως σε χώρους που σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να γίνει λανθασμένη ενεργοποίηση των συστημάτων καταιονισμού, όπως π.χ κέντρα δεδομένων, μουσεία κ.τ.λ. Τα συστήματα αυτά αποτελούν ένα συνδυασμό ανιχνευτών πυρκαγιάς και ξηρού δικτύου δωληνώσεων. Σε περίπτωση πυρκαγιάς η αύξηση της θερμοκρασίας ενεργοποιεί τους ανιχνευτές και ανοίγουν τα sprinklers, και μόνο τότε εισέρχεται στο δίκτυο νερό.

Σύστημα Κατακλυσμού

Τα συστήματα κατακλυσμού χρησιμοποιούν ανοιχτές κεφαλές, το οποίο αποτελεί και τη βασική διαφορά σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα. Σε περίπτωση πυρκαγιάς μια κεντρική βαλβίδα απελευθερώνει νερό σε ολόκληρο το χώρο με σκοπό την τάχιστη απόσβεση της φωτιάς. Ο συγκεκριμένος τύπος συστηματός καταιονισμού χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις, όπου σε περίπτωση πυρκαγιάς, αυτή θα εξαπλωθεί με μεγάλη ταχύτητα (π.χ αποθήκες καυσίμων), γεγονός το οποίο απαιτεί την άμεση ανταμετώπιση της.

4.3.2.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΕΧΝΙΤΗΣ ΟΜΙΧΛΗΣ ΝΕΡΟΥ

Τα συστήματα ομίχλης νερού είναι συστήματα πυρόσβεσης τα οποίουν αξιοποιούν σταγονίδια νερού με σκοπό τον περιορισμό ή και την απόσβεση μιας φωτιάς. Όπως και τα συστήματα καταιονισμού, τα συστήματα τεχνιτής ομίχλης νερού απαρτίζονται απο μια πηγή νερού, το δίκτυο των σωληνώσεων και τα αντίστοιχια ακροφύσια απο τα οποία εκτοξεύονται τα σταγονίδια σε μορφή ομίχλης. Στόχος των σταγονιδίων νερού είναι η εξάλειψη της φωτιάς μέσω της ψύκτικής τους ικανότητας, καθώς και μέσω της μείωσης της συγκέντρωσης του οξυγόνου στην εστία της πυρκαγιάς. Τα περισσότερα συστήματα τεχνιτής ομίχλης νερού είναι είτε προενέργειας είτε ξηρού τύπου, μιας και μόνο με την ανίχνευση πυρκαγιάς ανοίγει η αντίστοιχη βαλβίδα που επιτρέπει την ροή του νερού εντός των σωληνώσεων του συστήματος και στη συνέχεια την έξοδο του απο τα αντίστοιχα ακροφύσια. Γενικότερα, τα συγκεκριμένα συστήματα χρησιμοποιούνται χρησιμοποιούνται σε χώρους εγκατάστασεις ηλεκτρικών μηχανημάτων, σε μηχανοστάσια πλοίων, σε σήραγγες, καθώς και σε μουσεία και βιβλιοθήκες

4.3.2.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΦΡΟΥ

Τα συστήματα αφρού αποτελούν την ιδανική λύση για την αντιμετώπιση πυρκαγιών που περιλαμβάνουν εύφλεκτα υγρά και στερεά υλικά. Το αφροδιάλυμα είναι μίγμα νερού με αφρογόνο σε αναλογίες 3-6%.. Η ανάμιξη γίνεται με ειδικούς αφροαναμίκτες (eductors), που έχουν προκαθορισμένη ονομαστική παροχή αφροδιαλύματος. Οι αφροαναμίκτες αυτοί λειτουργούν με ορισμένες κατευθύνσεις ροής νερού και του αφρογόνου, και διαθέτουν ρυθμιστή ροής για τον καθορισμό της απαιτούμενης αφροανάμιξης (1% έως 6%)..

Ο αφρός έχει την ικανότητα να κατασβήνει εύφλεκτα υγρά, μέσω της παρεμπόδισης της επαφής του οξυγόνου με τους ατμού του καυσίμου, καθώς και μέσω της ψύξης της επιφάνειας του

καυσίμου, καθώς και των γύρω περιοχών. Οι κυριότεροι τύπου αφρογόνου ανάλογα με τη σύνθεση του είναι οι ακόλουθοι:

- Πρωτεϊνικός Αφρός: Χρησιμοποιείται για την κατάσβεση πυρκαγιών που συμμετέχουν υδρογονάνθρακες.
- Φλουοπρωτεινικος (Φθοριοπρωτεινικος) Αφρο: Έχει εξαιρετική αντοχή στη θερμοκρασία και χρησιμοποιείται και αυτός στην κατάσβεση πυρκαγιών που συμμετέχουν υδρογονάνθρακες.
- Αφρός Σχηματισμού Υδάτινης Μεμβράνης (AFFF): Χρησιμοποιειταί και αυτός στις πυρκαγιε΄ς υδρογονανθράκων, δημιουργώντας μια λεπτή υδάτινη μεμβράνη που απλώνεται με ταχύτητα σε όλη την επιφάνεια των καυσίμων.
- Αφρός Αλκοολικού Τύπου: Συνθετικός αφρός με την προσθήκη πολυσακχαρίτη. Ενεργεί όπως ο προηγούμενος για την καταπολέμηση πυρκαγιών πολικών ενώσεων.
- Αφρός μέσης ή υψηλής διόγκωσης: Συνθετικοί αφροί που απαιτούν ειδικές συσκευές για τη διόγκωση.

Τα συστήματα αφρού δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Δεν ενδείκνυται η χρήση συστημάτων αφρού σε ηλεκτρικές πυρκαγιές.
- Δεν ενδείκνυται η χρήση συστημάτων αφρού για την κατάσβεση πυρκαγιών υλικών που αποθηκεύονται σε υγρή μορφή, αλλά σε συνθήκες περιβάλλοντος αποκτούν αέρια μορφή.
- Δεν ενδείκνυται η χρήση συστημάτων αφρού για την κατάσβεση πυρκαγιών υλικών που αντιδρούν με το νερό.

4.3.2.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑΣΒΕΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ CO2

Τα συστήματα κατάσβεσης με χρήση διοξειδίου ανθράκα στοχεύουν στην ελλάτωση της συγκέντρωσης του οξυγόνου γύρω απο τις εστίες πυρκαγιάς με αποτέλεσμα την διακοπή της διαδικασία της καύσης και άρα απόσβεση της πυρκαγιάς. Ένα σύστημα κατάσβεσης με διοξείδιο του άνθρακα περιλαμβάνει χαλύβδινες φιάλες, ένα γενικό συλλέκτη, το δίκτυο των σωληνώσεων

και τέλος τα ακροφύσια απο τα οποία εκτοξεύεται το CO_2. Τα συστήματα αυτά προτιμώνται σε μόνιμες εγκαταστάσεις που χρειάζεται ένα αδρανές δυσαγωμικό υλικό το οποίο να μην αφήνει κατάλοιπα μετά τη χρήση του. Επίσης προτιμώνται στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Σε χώρους που περιέχουν υγρά ή αέρια καύσιμα.
- Σε χώρους που υπάρχει ηλεκτρονικός ή ηλεκτρολογικός εξοπλισμός.
- Σε μηχανές εσωτερικής καύσης,
- Σε χώρους αποθήκευσης στερεών καυσίμων.
- Σε κλειστούς χώρους αποθήκευσης & επεξεργασίας εύφλεκτων αντικειμένων.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η πυρκαγιά στις κατασκευές αποτελεί ένα ιδιαίτερα σύνθετο και επικίνδυνο φαινόμενο, το οποίο επηρεάζεται από πλήθος παραγόντων, όπως το είδος και η ποσότητα των καύσιμων υλικών, η γεωμετρία του χώρου, ο αερισμός, τα δομικά χαρακτηριστικά του κτηρίου και οι συνθήκες ανάπτυξης της καύσης. Από την ανάλυση που προηγήθηκε προκύπτει ότι η εξέλιξη μιας πυρκαγιάς σε κλειστό χώρο είναι δυναμική και μπορεί να οδηγήσει σε εξαιρετικά επικίνδυνες καταστάσεις, όπως το flashover και το backdraft, οι οποίες θέτουν σε άμεσο κίνδυνο τόσο την ανθρώπινη ζωή όσο και τη στατική επάρκεια της κατασκευής. Η κατανόηση των μηχανισμών ανάπτυξης και εξάπλωσης της φωτιάς αποτελεί βασική προϋπόθεση για τον ορθό σχεδιασμό συστημάτων πυροπροστασίας. Η συμπεριφορά των δομικών στοιχείων σε υψηλές θερμοκρασίες, η μετάδοση θερμότητας μέσω αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας, καθώς και η αλληλεπίδραση θερμών αερίων και καπνού με το περιβάλλον του κτηρίου, καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την εξέλιξη μιας πυρκαγιάς και τις επιπτώσεις της. Παράλληλα, διαπιστώθηκε ότι η παθητική πυροπροστασία αποτελεί θεμελιώδες μέσο περιορισμού της εξάπλωσης της φωτιάς και διατήρησης της φέρουσας ικανότητας των κατασκευών. Η χρήση πυροπροστατευτικών δομικών στοιχείων και υλικών, η δημιουργία πυροδιαμερισμάτων, η πρόβλεψη ασφαλών οδεύσεων διαφυγής και η σωστή αρχιτεκτονική διαμόρφωση του κτηρίου συμβάλλουν ουσιαστικά στη μείωση των συνεπειών μιας πυρκαγιάς. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η ορθή επιλογή δομικών υλικών με υψηλή πυραντίσταση, καθώς και η συμμόρφωση με τους ισχύοντες κανονισμούς πυροπροστασίας. Εξίσου σημαντικός είναι και ο ρόλος της ενεργητικής πυροπροστασίας, η οποία

περιλαμβάνει όλα τα συστήματα ανίχνευσης, ειδοποίησης και κατάσβεσης πυρκαγιάς. Τα αυτόματα συστήματα πυρανίχνευσης, οι καταιονιστήρες (sprinklers), τα συστήματα υδρονέφωσης, τα κατασβεστικά αέρια και τα συστήματα ελέγχου καπνού αποτελούν κρίσιμα μέσα άμεσης επέμβασης και περιορισμού της πυρκαγιάς. Η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον σωστό σχεδιασμό, τη σωστή εγκατάσταση και τη συστηματική συντήρησή τους. Επιπλέον, αναδείχθηκε ότι η πυροπροστασία δεν αποτελεί μόνο τεχνικό ή κατασκευαστικό ζήτημα, αλλά ένα ολοκληρωμένο σύστημα πρόληψης και διαχείρισης κινδύνου. Η σύνταξη εξειδικευμένων μελετών πυροπροστασίας κατά το στάδιο του σχεδιασμού των κτηρίων είναι απολύτως αναγκαία, ώστε να λαμβάνονται υπόψη όλοι οι πιθανοί κίνδυνοι και να εφαρμόζονται τα κατάλληλα μέτρα προστασίας. Η ελλιπής μελέτη ή η λανθασμένη εφαρμογή μέτρων πυροπροστασίας μπορεί να έχει ολέθριες συνέπειες για την ανθρώπινη ζωή, την περιουσία και τη δομική ακεραιότητα των κατασκευών. Συμπερασματικά, η αποτελεσματική προστασία των κτηρίων έναντι πυρκαγιάς απαιτεί τον συνδυασμό παθητικών και ενεργητικών μέτρων πυροπροστασίας, τη συνεχή τεχνολογική εξέλιξη των συστημάτων κατάσβεσης και τη συμμόρφωση με τα σύγχρονα πρότυπα και κανονισμούς πυρασφάλειας. Η εφαρμογή ολοκληρωμένων στρατηγικών πυροπροστασίας συμβάλλει ουσιαστικά στη μείωση των κινδύνων, στην προστασία της ανθρώπινης ζωής και στη διατήρηση της λειτουργικότητας και ασφάλειας των κατασκευών

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Λέκκος Γ. Παναγιώτης (2007). *Ενεργητική & Παθητική Πυροπροστασία Μεταλλικών Κτιρίων*, (σσ. 4-5, 7-8, 53-54, 57, 61,69-71).

2. Fire Security Technical (2004). *Πυρασφάλεια – Πυροπροστασία,* (άρθρο σσ. 1).

3. Γεώργιος Χρ. Αντωνόπουλος (1994). *Μαθήματα Πυροσβεστικής Τέχνης*, (σσ. 53, 78, 151-153, 156).

4. Ιωάννης Σακελλαρίου (2020). *Γενικές Αρχές Πυροπροστασίας και Πυρασφάλειας Κτιρίων. Μελέτη Περίπτωσης «Ξενοδοχείο»*, (σσ. 20-21).

5. Björn Karlsson - James G. Quintiere (2000). *Enclosure Fire Dynamics*, (σσ. 29-30, 33-36).

6. Markus Nilsson (2016). *The Impact of horizontal projections on external fire spread*, (σσ. 9 - 12).

7. Philip J. DiNenno - Dougal Drysdale - Craig L. Beyler - W. Douglas Walton - Richard L. P. Custer - John R. Hall, Jr. - John M. Watts, Jr (2002). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, (σσ. 1-176 – 1-179, 2-55, 2-224, 4-259).

8. Ξένου Χρυσαφώ – Μπιστολαρίδης Ιωάννης (2008). *Μελέτη Πυρασφάλειας Υποκαταστήματος Τράπεζας*, (σσ. 25).

9. Ν. Λακασάς – Π. Αρβανιτίδης (1990). *Το Βιβλίο της Πυρανίχνευσης*, (σσ. 16-17, 19).

10. Καπιτάλης Ιωάννης – Καστάνης Αθανάσιος (2014). *Συστημα Ανιχνευσης Και Αντιμετωπισης Πυρκαγιας Εσωτερικων Χωρων*, (σσ. 18-19).