



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Σύγχρονη Εκπαίδευση Μηχανικών Πυροπροστασίας:

Η Δυνατότητα Σχεδιασμού Πυροπροστασίας

Βάσει Απόδοσης.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μανώλης-Γιάννης Παχάκης

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

***Σύγχρονη Εκπαίδευση Μηχανικών Πυροπροστασίας:
Η Δυνατότητα Σχεδιασμού Πυροπροστασίας
Βάσει Απόδοσης.***

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μανώλης-Γιάννης Παχάκης

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή τον Οκτώβριο του 2010.

.....
Π. Μπούρκας
Ομότιμος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Κ. Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ν. Θεοδώρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Μανώλης-Γιάννης Παχάκης

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

Copyright © Μανώλης Παχάκης, 2010.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Η μηχανική πυροπροστασίας (ΜΠ) είναι ο διακριτός τομέας των μηχανικών, ο οποίος ασχολείται με την εφαρμογή επιστημονικών και μαθηματικών αρχών, για την βέλτιστη επίλυση των προβλημάτων τα οποία προκαλεί η πυρκαγιά, με σκοπό την προστασία της ανθρώπινης ζωής και την ελαχιστοποίηση των επιζήμιων συνεπειών της πυρκαγιάς. Οι στόχοι της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι: α) να αναδείξει τη σπουδαιότητα του ρόλου του μηχανικού πυροπροστασίας (ΜΠ) στο σχεδιασμό της πυροπροστασίας στην σύγχρονη εποχή, β) να αναδείξει την αναγκαιότητα της ανώτατης, εξειδικευμένης και ολοκληρωμένης εκπαίδευσης για την προετοιμασία νέων ΜΠ, γ) να παρουσιάσει το γενικό πλαίσιο της εκπαίδευσης των ΜΠ στα αναγνωρισμένα και εξειδικευμένα προπτυχιακά και μεταπτυχιακά προγράμματα δύο πολυτεχνικών σχολών πανεπιστημίων των ΗΠΑ (University of Maryland και Worcester Polytechnic Institute) και δ) να θέσει το ζήτημα της ανάγκης για δημιουργία αντίστοιχης εκπαίδευσης στην Ελλάδα, καθώς και της ανάγκης για παράλληλη ανάπτυξη του τομέα στη χώρα, σε όλα τα επίπεδα. Παρόλο που οι καταστροφικές συνέπειες της πυρκαγιάς υπάρχουν από καταβολής κόσμου, η επιστήμη στον τομέα της πυρκαγιάς έχει αναπτυχθεί σημαντικά μόλις τα τελευταία πενήντα χρόνια. Αυτό οφείλεται στο ότι η πυροπροστασία είναι ένας τομέας, ο οποίος άπτεται της κοινωνικής πολιτικής και της έννοιας του κράτους πρόνοιας, πολύ περισσότερο από ότι αποτελεί κίνητρο άμεσης ανάπτυξης, τουλάχιστον όπως την αντιλαμβάνεται το σύστημα της αγοράς. Η σχετικά πρόσφατη επιστημονική ανάπτυξη του τομέα, σε συνδυασμό με τις νέες τεχνολογίες, επιτρέπουν την βελτίωση της αποτελεσματικότητας του σχεδιασμού πυροπροστασίας, προς κάλυψη των διαρκώς πολυπλοκότερων αναγκών των σύγχρονων κτηρίων, αλλά και των αναγκών των υπάρχοντων κτηρίων. Σήμερα, παρατηρείται μια παγκόσμια τάση, η οποία οδηγεί τον τομέα προς την κατεύθυνση του ορθολογικού και επιστημονικά τεκμηριωμένου σχεδιασμού πυροπροστασίας βάσει απόδοσης. Ο σχεδιασμός αυτός, βασίζεται στην επιστημονική ανάλυση και πρόβλεψη της απόδοσης του κτηρίου και των ενεργητικών και παθητικών συστημάτων πυροπροστασίας, σε περίπτωση πυρκαγιάς, βάσει συγκεκριμένων ποσοτικών κριτηρίων (θερμοκρασία, ρυθμός έκλυσης ενέργειας, συγκέντρωση τοξικών αερίων, χρόνος εκκένωσης κ.α.). Οι ειδικές γνώσεις και ικανότητες, οι οποίες απαιτούνται πλέον για το βέλτιστο σχεδιασμό της πυροπροστασίας, χρίζουν αναγκαία την εκπαίδευση κατάλληλα ειδικευμένων μηχανικών. Ακόμα και η επιλογή της καταλληλότερης σχεδιαστικής προσέγγισης για ένα έργο, μεταξύ της παραδοσιακής, η οποία βασίζεται στις οδηγίες των κανονισμών, όπως αυτές έχουν προκύψει από την εμπειρία χρόνων, και της σύγχρονης με βάση την απόδοση, η οποία στηρίζεται στην επιστήμη, είναι ζήτημα το οποίο μπορεί να αναλύσει σωστά μόνο ένας ειδικός. Σε κάθε περίπτωση, χωρίς εκπαίδευση ΜΠ και χωρίς τις αντίστοιχη μέριμνα από τον κώδικα κανονισμών, δεν υπάρχει καν η δυνατότητα επιλογής. Σε αυτή τη εργασία, παρουσιάζεται το μέγεθος του προβλήματος των πυρκαγιών σήμερα, καθώς και ο ρόλος τον οποίο έχει ο τομέας της ΜΠ, ως ο πλέον κατάλληλος για την αντιμετώπισή του. Αυτό επιχειρείται, μέσω της επιστράτευσης μιας σειράς από πειστήρια: από στατιστικές πυρκαγιών, μέχρι μελέτες περιστατικών, μαθηματικά μοντέλα δυναμικής της φωτιάς, μέχρι την περιγραφή μαθημάτων της ειδικότητας και τη διεξαγωγή προσομοιώσεων πυρκαγιών με χρήση μοντέλων ζωνών (CFAST) και ρευστοδυναμικής (FDS).

Λέξεις-κλειδιά:

Μηχανική πυροπροστασίας, ανώτατη εκπαίδευση, σχεδιασμός βάσει απόδοσης, κανονιστικός σχεδιασμός, στατιστικές πυρκαγιών, προσομοίωση πυρκαγιάς, προγράμματα σπουδών, δυναμική της φωτιάς, μοντέλα ζωνών, μοντέλα πεδίου.

Abstract

Fire protection engineering (FPE) is the distinct engineering discipline, in which mathematical, scientific, and engineering principles and methods are utilized, in order to devise optimal technical solutions to the problem of uncontrolled destructive fires, for the purpose of protecting life and minimizing property damage. The objectives of this project are: a) to illustrate the importance of the role of FPE in modern fire protection design, b) to demonstrate the necessity of a thorough specialized higher education in FPE, c) to present the general framework of the accredited undergraduate and graduate FPE programs of two U.S. engineering schools (University of Maryland and Worcester Polytechnic Institute), and d) to proclaim the need for quality higher FPE education in Hellas, as well as the need for the general advancement of the fire protection field in the country. Even though, fire's destructive consequences have accompanied humankind since the beginning, fire science has only made significant progress during the past five decades. This is due to the fact, that fire protection has always been more of a matter concerning social policy and the concept of the welfare state, rather than a direct economic growth factor, at least as perceived by the market system. However, the recent scientific advancements, along with the novel technology, have allowed the improvement of the efficiency of fire protection design, so as to cover the increasingly complex needs of modern buildings, as well as to serve the needs of existing structures. Currently, there is a worldwide turn, towards the direction of a rational, scientifically sound, fire protection design based on performance. Performance based design, relies on the engineering analysis of a building's performance under various fire scenarios, as determined by specific quantitative criteria (temperature, heat release rate, toxic gas concentration, tenability etc.). The high level of expertise required by modern day fire protection design, demands the preparation of new generations of robustly trained engineers by higher level programs. Even the choice of the design approach in a particular project, between a traditional prescriptive one, based on codes derived from experience and empirical data, and one based on performance, which relies on science and research, is an FPE expert matter. Nevertheless, without FPE education and without updating the codes with provisions allowing performance based approaches, there exists no choice. This study highlights the severity of the present day fire problem, as well as the role of the FPE professional, as the most suitable authority in dealing with it. This is attempted, through a series of evidence, ranging from fire statistics to case studies, to fire dynamics models, to course descriptions and the conduction of enclosure fire simulations, using both zone (CFAST) and computational fluid dynamics modeling software (FDS).

Keywords:

Fire protection engineering, engineering curricula, performance based design, prescriptive design, fire simulation, fire dynamics, zone modeling, field modeling.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον κ. Μπούρκα για την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ υπό την επίβλεψή του. Επίσης, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω ιδιαίτερα για τις γνώσεις, τις οποίες με μεράκι μου προσέφερε. Ήταν τιμή για μένα, η παρακολούθηση των μαθημάτων του. Δεν μπορώ να ξεχάσω, την βοήθεια που μου προσέφεραν οι συμφοιτητές μου και ιδιαίτερα οι κ.κ. Λαμπρίδης και Θεοδωράκης. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου, για την συμπαράστασή τους.

Για την συγκεκριμένη εργασία, χρειάστηκαν πολλές πληροφορίες από προσωπικό, φοιτητές και μαθητές στα πανεπιστήμια UMD και WPI, καθώς και από τον επαγγελματικό σύλλογο SFPE. Δεν θα μπορούσα να τους παραλείψω:

I would like to thank Dr. D. Lucht, Dr. J. Milke, Dr. R. Jönsson, Dr. O. Ezekoye, C. Fradette, C. Jelelenewicz, W. Maclay, B. Salyers, and K.O., J. K., I. G., for all of their help.

*“Αν δεν στηρίζεις το ένα σου πόδι έξω απ’ τη Γη ποτέ σου
δεν θα μπορέσεις να σταθείς επάνω της.”
Οδυσσέας Ελύτης, Μαρία Νεφέλη (1978)*

Δομή της εργασίας

Η εργασία χωρίζεται σε τρία μέρη, καθώς αυτή είναι η δομή, η οποία κρίθηκε ότι εξυπηρετεί αποτελεσματικότερα το σκοπό της. Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι λόγοι, οι οποίοι καθιστούν την εκπαίδευση *MPI* απαραίτητη προϋπόθεση για το σωστό σχεδιασμό πυροπροστασίας. Οι λόγοι αυτοί, προκύπτουν μέσα από την ιστορική εξέλιξη του τομέα της *MPI*, τα πρόσφατα στατιστικά στοιχεία των πυρκαγιών από την Ελλάδα και τις ΗΠΑ, καθώς και την δομή και την φιλοσοφία της σύγχρονης προσέγγισης του προβλήματος της πυρκαγιάς. Επίσης, παρουσιάζονται οι λόγοι για τους οποίους επιλέχθηκαν ως αντιπροσωπευτικά για παρουσίαση, τα προγράμματα σπουδών του University of Maryland (UMD) και του Worcester Polytechnic Institute (WPI). Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια απλή και συνοπτική παρουσίαση μερικών βασικών αρχών των φαινομένων που σχετίζονται με την πυρκαγιά, καθώς και μια μικρή ανάλυση για το πώς μπορεί ένας *MPI* από βασικές επιστημονικές αρχές να αναπτύξει εξισώσεις για την επίλυση πρακτικών σχεδιαστικών προβλημάτων. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται: α) ένα θεωρητικό πρότυπο προγράμματα σπουδών *MPI*, με βάση τις συσκέψεις και τις αποφάσεις του Διεθνούς Συμβουλίου Εργασίας σε θέματα προγραμμάτων σπουδών *MPI*, το οποίο αποτελείται από διακεκριμένους καθηγητές του χώρου, β) το τετραετές προπτυχιακό και το διετές μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών της σχολής *MPI* του UMD, και γ) το διετές μεταπτυχιακό πρόγραμμα του WPI. Ως επίλογος, παρουσιάζονται οι λόγοι για τους οποίους θα μπορούσε να υπάρχει ροή μαθημάτων εξειδίκευσης *MPI* στην Ελλάδα και ιδιαίτερα στη σχολή ΗΜΜΥ του ΕΜΠ. Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας έγιναν μερικές προσομοιώσεις πυρκαγιών κλειστού χώρου με μοντέλα ζωνών και ρευστοδυναμικής, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στο παράρτημα.

Κύριος στόχος:

*Ο απώτερος σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να συμβάλει στην αναβάθμιση του τομέα της πυροπροστασίας στην Ελλάδα, λειτουργώντας ως έναυσμα για την δημιουργία ενός σύγχρονου και ολοκληρωμένου προγράμματος εκπαίδευσης *MPI*.*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ:

<u>Κεφάλαιο 1^ο :Η Ανάγκη για Εκπαίδευση Μηχανικών Πυροπροστασίας.</u>	<u>Σελίδα</u>
1. Στόχος.	15
2. Εισαγωγή.	15
2.1 Φωτιά και ανθρώπινη εξέλιξη	15
2.2 Η ανάπτυξη της επιστήμης της φωτιάς.	16
2.3 Η ανάγκη για επιστημονική προσέγγιση.	18
2.4 Η περίπτωση των Δίδυμων Πύργων ως θέμα πυροπροστασίας.	20
3. Στατιστικά στοιχεία πυρκαγιών.	22
3.1 Στατιστικά στοιχεία πυρκαγιών για την Ελλάδα.	22
3.1.1 Αστικές πυρκαγιές.	22
3.1.2 Αγροδοασικές πυρκαγιές.	22
3.1.3 Αίτια αστικών πυρκαγιών.	25
3.2 Στατιστικά στοιχεία πυρκαγιών για τις ΗΠΑ.	26
3.2.1 Πυρκαγιές σε κτηριακές εγκαταστάσεις.	27
3.2.2 Πυρκαγιές σε κατοικίες, λόγω ηλεκτρισμού.	29
3.2.3 Αγροδοασικές πυρκαγιές.	30
3.2.4 Πυρκαγιές λόγω κεραυνών.	31
3.2.5 Κοινωνιολογικά χαρακτηριστικά.	32
3.3 Συμπεράσματα: Η ανάγκη για εκπαίδευση ΜΠ.	33
4. Ο κλάδος των μηχανικών πυροπροστασίας στις ΗΠΑ.	34
4.1 Ο επαγγελματικός ρόλος.	34
4.1.1 Ο ορισμός.	34
4.1.2 Αδειοδότηση και άσκηση του επαγγέλματος.	35
4.1.3 Στατιστικά από τον επαγγελματικό χώρο.	40
4.2 Το αντικείμενο.	41
4.2.1 Πρόληψη, προστασία και εκπαίδευση.	41
4.2.2 Οι λόγοι ενός σχεδιασμού πυροπροστασίας.	42
4.2.3 Οι ειδικές γνώσεις.	43
4.2.4 Ο σχεδιασμός βάσει απόδοσης.	44
4.2.5 Η χρήση των ειδικών γνώσεων.	47
4.2.6 Η επιλογή της σχεδιαστικής προσέγγισης.	50
4.3 Συμπεράσματα: Η ανάγκη για εκπαίδευση ΜΠ.	52
5. Παράδειγμα σχεδιασμού πυροπροστασίας βάσει απόδοσης.	53
5.1 Εισαγωγή: περιγραφή του έργου.	53
5.2 Μέθοδοι: Η διαδικασία του σχεδιασμού και η χρήση των μοντέλων.	55
5.3 Αποτελέσματα και προτάσεις.	58
6. Εκπαίδευση Μηχανικής Πυροπροστασίας στις ΗΠΑ.	60
6.1 Η ανάπτυξη της εκπαίδευσης των Μηχανικών Πυροπροστασίας.	60
6.2 Γενικά χαρακτηριστικά των UMD, WPI.	61
6.2.1 Η αναγνώριση από το ABET.	61
6.2.3 Στατιστικά στοιχεία για το UMD και το WPI.	63

7. Βιβλιογραφία (Κεφάλαιο 1^ο).	65
<u>Κεφάλαιο 2^ο : Εισαγωγή στις Βασικές Αρχές του Φαινομένου της Φωτιάς.</u>	
1. Στόχος και σημειώσεις.	70
2. Εισαγωγή.	71
2.1 Η φωτιά.	71
2.2 Κατηγορίες Φωτιάς	72
2.2.1 Φλόγες Διάχυσης.	72
2.2.2 Βραδεία καύση.	74
2.2.3 Αυτοανάφλεξη.	76
2.2.4 Φλόγες προανάμιξης.	76
3. Μεταφορά της θερμότητας.	78
3.1 Αγωγή.	78
3.2 Συναγωγή.	79
3.3 Ακτινοβολία.	81
4. Ανάφλεξη	84
4.1 Ανάφλεξη λεπτών υλικών.	85
4.2 Ανάφλεξη χονδρών υλικών.	86
5. Εξάπλωση της Φωτιάς.	88
5.1 Ταχύτητα εξάπλωσης.	89
5.2 Κατηγορίες εξάπλωσης.	90
6. Ο ρυθμός καύσης.	94
6.1 Ο ρυθμός έκλυσης ενέργειας.	96
7. Η στήλη της φωτιάς και το ύψος της φλόγας.	100
7.1 Η στήλη της φωτιάς.	100
7.2 Το ύψος της φλόγας.	100
7.3 Ροές οροφής.	106
8. Χημικά παράγωγα της φωτιάς.	108
8.1 Κίνδυνοι λόγω αερίων.	112
8.2 Ορατότητα.	112
8.3 Κίνδυνοι λόγω θερμότητας.	112
9. Πυρκαγιά σε κλειστό χώρο.	114
9.1 Το στάδιο της αναπτυσσόμενης πυρκαγιάς.	114
9.2 Η έκλαμψη.	114
9.3 Το στάδιο της πλήρως αναπτυγμένης πυρκαγιάς.	115
9.4 Η ροή των αερίων.	117
9.5 Παραδείγματα απλών υπολογισμών.	121
10. Ανάλυση πυρκαγιάς.	124
11. Πλήρωση δωματίου με καπνό και έλεγχος του καπνού.	128
11.1 Εξισώσεις διατήρησης μάζας και ενέργειας.	128
11.2 Πλήρωση με καπνό σε ερμητικά κλειστό χώρο.	131
11.3 Πλήρωση με καπνό σε χώρο με μικρή διαρροή.	133
11.4 Η ιδανική στήλη της φωτιάς.	135

11.5 Διζωνικά μοντέλα πλήρωσης χώρου με καπνό.	139
11.5.1 Διαρροή στο ύψος του δαπέδου.	139
11.5.2 Υπολογισμός θερμοκρασίας.	141
11.5.3 Διαρροή στο ύψος της οροφής.	142
11.5.4 Περιορισμοί των μοντέλων.	144
11.6 Μοντέλα για την πλήρωση με καπνό χώρου με μεγάλα ανοίγματα.	144
11.6.1 Χωρίς έλεγχο του καπνού.	145
11.6.2 Με έλεγχο του καπνού.	149
11.6.3 Έλεγχος καπνού με φυσική ροή.	151
11.6.4 Έλεγχος καπνού με μηχανικό εξαερισμό.	154
11.6.5 Έλεγχος καπνού μέσω δημιουργίας θετικής πίεσης.	154
11.7 Επίλογος.	155
12. Βιβλιογραφία (Κεφάλαιο 2^ο).	157

Κεφάλαιο 3^ο : Σύγχρονα Προγράμματα Σπουδών ΜΠ.

1. Στόχος και σημειώσεις.	160
2. Πρότυπο πρόγραμμα σπουδών Μηχανικών Πυροπροστασίας.	161
2.1 Ιστορική ανασκόπηση.	161
2.1.2 Το πλαίσιο του γνωστικού αντικείμενου.	162
2.1.3 Μερικές σημαντικές σημειώσεις.	164
2.2 Γενικός σκοπός της εκπαίδευσης μηχανικών.	165
2.2.1 Στόχοι της εκπαίδευσης μηχανικών.	165
2.2.2 Αλλαγές στο ρόλο του μηχανικού.	165
2.3 Γενικές τάσεις.	166
2.3.1 Συνέπειες της εξέλιξης της έρευνας.	166
2.3.2 Σύγχρονη πρακτική.	168
2.3.3 Η σχέση με τους άλλους κλάδους μηχανικών.	170
2.3.4 Η μελλοντική εξέλιξη.	172
2.3.5 Συμπεράσματα.	173
2.4 Ειδικά προβλήματα στην εκπαίδευση ΜΠ.	174
2.5 Ορισμός του τελικού αποτελέσματος.	176
2.5.1 Περιγραφή του ρόλου στην εργασία και σύνολο δεξιοτήτων.	176
2.6. Περιγραφή της ύλης των βασικών μαθημάτων.	179
2.6.1 Ενότητα πρώτη: Μηχανική ρευστών.	179
2.6.2 Ενότητα δεύτερη: Μεταφορά μάζας και θερμότητας.	183
2.6.3 Ενότητα τρίτη: Κλασσική θερμοδυναμική.	190
2.6.4 Ενότητα τέταρτη: Μηχανική στερεών.	193
2.7. Περιγραφή της ύλης των μαθημάτων ειδικότητας ΜΠ.	196
2.7.1 Ενότητα πρώτη: Βασικές αρχές της φωτιάς.	196
2.7.2 Ενότητα δεύτερη: Δυναμική της φωτιάς σε κλειστό χώρο.	203
2.7.3. Ενότητα τρίτη: Ενεργητική πυροπροστασία.	210
2.7.4. Ενότητα τέταρτη: Παθητική πυροπροστασία.	220
2.7.5. Ενότητα πέμπτη: Ανθρώπινη συμπεριφορά και πυρκαγιά.	224

2.8. Περιγραφή της ύλης των εφαρμοσμένων ενοτήτων.	228
2.8.1 Ενότητα πρώτη: Ανάλυση κινδύνων. Σχεδιασμός βάσει απόδοσης.	228
2.8.2 Ενότητα δεύτερη: Πυροπροστασία βιομηχανικών εγκαταστάσεων.	231
3. Εκπαίδευση ΜΠ στο University of Maryland.	236
3.1 Εισαγωγή.	236
3.1.1 Προγράμματα σπουδών ΜΠ.	236
3.1.2 Η έμφαση στην έρευνα.	236
3.1.3 Οι στόχοι.	237
3.1.4 Σύνοψη των ΠΣ.	239
3.2. Περιεχόμενο μαθημάτων ειδικότητας ΜΠ.	242
3.2.1 Επίκαιρα θέματα ΜΠ.	242
3.2.2 Ανάλυση ασφάλειας.	243
3.2.3 Σχεδιασμός συστημάτων ιδιαίτερων κινδύνων.	245
3.2.4 Μηχανική ρευστών για ΜΠ.	247
3.2.5 Σχεδιασμός υδροφόρων συστημάτων πυροπροστασίας.	249
3.2.6 Μεταφορά μάζας και θερμότητας.	251
3.2.7 Μετρήσεις και εργαστήριο.	252
3.2.8 Σεμινάρια επαγγελματικής ανάπτυξης.	253
3.2.9 Δομική πυροπροστασία.	254
3.2.10 Ανάλυση βαθμού επικινδυνότητας πυρκαγιάς.	256
3.2.11 Δυναμική της φωτιάς.	257
3.2.12 Μοντελοποίηση της φωτιάς.	259
3.2.13 Πτυχιακή εργασία.	260
3.2.14 Ασφάλεια κτηρίων και νομοθεσία.	260
3.2.15 Τεχνολογία και νομοθεσία.	264
3.2.16 Δυτικός πολιτισμός και φωτιά.	265
3.2.17 Ανεξάρτητη μελέτη.	265
3.2.18 Ειδικά θέματα.	265
3.3 Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών ΜΠ.	265
3.3.1 Σύντομη περιγραφή μαθημάτων μεταπτυχιακού ΠΣ.	267
4. Εκπαίδευση ΜΠ στο Worcester Polytechnic Institute.	271
4.1 Προγράμματα σπουδών ΜΠ του WPI.	271
4.1.1 Διδακτικό προσωπικό και έρευνα.	272
4.2 Περιγραφή μαθημάτων ειδικότητας ΜΠ.	272
4.2.1 Υπόβαθρο και ελάχιστες απαιτήσεις.	272
4.2.2 Βασικές αρχές της ανάλυσης πυροπροστασίας.	273
4.2.3 Δυναμική της φωτιάς.	273
4.2.4 Μοντελοποίηση της φωτιάς.	275
4.2.5 Συστήματα Πυροπροστασίας.	281
4.2.6 Προχωρημένα θέματα πυροκαταστολής.	281
4.2.7 Πυρανίχνευση, συναγερμοί και έλεγχος καπνού.	281
4.2.8 Κτηριακή πυροπροστασία.	282
4.2.9 Σχεδιασμός πυροπροστασίας βάσει απόδοσης.	285

4.2.10	Ανάλυση σφαλμάτων.	294
4.2.11	Βιομηχανική Πυροπροστασία.	295
4.2.12	Προστασία από εκρήξεις.	296
4.2.13	Ειδικά προβλήματα.	296
4.2.14	Σεμινάρια.	296
4.2.15	Εργαστήριο της επιστήμης της φωτιάς.	296
4.2.16	Διαχείριση Κινδύνων.	297
4.2.17	Μεταπτυχιακή ερευνητική εργασία.	297
4.2.18	Διδακτορική διατριβή.	297
5.	Επίλογος.	298
5.1	Οι κοινές αρμοδιότητες των παραδοσιακών κλάδων μηχανικής με τη ΜΠ.	298
5.1.1	Οι αρχιτέκτονες.	298
5.1.2	Οι πολιτικοί μηχανικοί.	299
5.1.3	Οι χημικοί μηχανικοί.	300
5.1.4	Οι ηλεκτρολόγοι-μηχανολόγοι.	301
5.2	Η ανάγκη για εκπαίδευση ΜΠ στην Ελλάδα.	304
6.	Βιβλιογραφία (Κεφάλαιο 3^ο).	309
Παράρτημα Α: Προσομοιώσεις πυρκαγιάς.		311
1.1	Μοντέλο ζωνών CFAST	311
1.1.1	Πυρκαγιά σε ισόγειο χώρο γραφείων.	312
1.1.2	Πυρκαγιά σε τριώροφο κτήριο.	325
1.1.3	Δεδομένα CFAST	330
1.2	Μοντέλο πεδίου FDS	334
1.2.1	Δεδομένα FDS	345
2.	Βιβλιογραφία παραρτήματος	351
Σημειώσεις και επιπλέον βιβλιογραφία		352

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ:

Η Ανάγκη για Εκπαίδευση Μηχανικών Πυροπροστασίας.

1. Στόχος.

Οι στόχοι του πρώτου κεφαλαίου είναι: α) να αναδείξει τη σπουδαιότητα του ρόλου του μηχανικού πυροπροστασίας (ΜΠ) στο σχεδιασμό της πυροπροστασίας στην σύγχρονη εποχή, β) να αναδείξει την αναγκαιότητα της ανώτατης, εξειδικευμένης και ολοκληρωμένης εκπαίδευσης για την προετοιμασία νέων ΜΠ, γ) να παρουσιάσει την επικρατούσα κατάσταση στο χώρο της μηχανικής πυροπροστασίας (ΜΠ) στις ΗΠΑ.

2. Εισαγωγή.

2.1 Φωτιά και ανθρώπινη εξέλιξη

Το ανθρώπινο είδος, όπως και ολόκληρο το οικοσύστημα του πλανήτη, εξελίχθηκε υπό την παρουσία του φαινομένου της φωτιάς και έχοντας διαδραστική σχέση με αυτό. Τα αρχαιότερα απολιθώματα που μαρτυρούν την παρουσία φωτιάς στη Γη έχουν ηλικία 470 εκατομμυρίων ετών¹, καθώς υπήρχαν πλέον αρκετά φυτά για να παράγουν άφθονη ποσότητα οξυγόνου. Δύο από τα κύρια φυσικά αίτια πρόκλησης της φωτιάς, τα οποία εμφανίζονται στον πλανήτη από την αρχή της δημιουργίας του, είναι οι κεραυνοί και η λάβα των ηφαιστείων. Μια από τις μεγαλύτερες καταστροφές που έχει γνωρίσει ποτέ ο πλανήτης προήλθε από την πτώση μεγάλου φλεγόμενου μετεωρίτη πριν από 65 εκατομμύρια χρόνια που είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή αρκετής αιθάλης στην ατμόσφαιρα, ώστε να επέλθει ένας παρατεταμένος χειμώνας, τουλάχιστον ενός έτους, αφανίζοντας πολλά είδη ζωής.

Το βέβαιο είναι, ότι η φωτιά έχει διαδραματίσει σπουδαίο ρόλο στην εξέλιξή του ανθρώπινου είδους και στην ανάπτυξη των πολιτισμών. Τα αρχαιότερα ίχνη ανθρώπινης χρήσης της φωτιάς για προετοιμασία φαγητού έχουν ηλικία 1,9 εκ. ετών², ενώ το ανθρώπινο γένος, Homo, πρωτοεμφανίζεται πριν από 2,4 εκ. χρόνια. Παρόμοια ίχνη, ηλικίας 1 εκ. ετών έχουν βρεθεί και στην Ελλάδα, συγκεκριμένα στην Χαλκιδική³. Αρχαίοι φιλόσοφοι από την Ασία και την Ελλάδα αναγνώριζαν τη φωτιά ως ένα από τα τέσσερα ή πέντε στοιχεία, από τα οποία αποτελείται το σύμπαν. Σύμφωνα με τον Πρωταγόρα, όπως περιγράφει ο Πλάτωνας⁴, ο Προμηθέας ανέλαβε το έργο από τους θεούς να εξοπλίσει τα έμβια όντα με ειδικές ικανότητες, ώστε να καταφέρουν επιβιώσουν στη Γη. Όμως, εκείνος εναπόθεσε την τύχη του έργου εξολοκλήρου στα χέρια του αδελφού του. Η αμέλειά του αυτή, άφησε τον άνθρωπο γυμνό, ξυπόλυτο και

απροστάτευτο από τη φύση. Κατά την ημέρα παράδοσης του έργου, στην αγωνία του να προλάβει να επανορθώσει, ο Προμηθέας έκλεψε από τη θεά Αθηνά την «έντεχον σοφία» και από το θεό Ήφαιστο την φωτιά και την «έμπτυρον τέχνην». Γιατί, όπως εξηγεί ο Πρωταγόρας, όλες οι τεχνικές γνώσεις της θεάς της σοφίας είναι άχρηστες χωρίς τη φωτιά και τη γνώση της τέχνης της. Ο προσωκρατικός φιλόσοφος Ηράκλειτος, ισχυρίστηκε πως «Αυτόν τον κόσμο, των πάντων, δεν τον δημιούργησε ούτε θεός ούτε άνθρωπος, αλλά είναι «πύρ αείζων», που ανάβει με κανόνες («μέτρα») και σβήνει με κανόνες»⁵. Είναι φανερό ότι ο άνθρωπος είχε από πολύ νωρίς αυξημένη την αίσθηση της σπουδαιότητας και πολυπλοκότητας του φαινομένου της φωτιάς και, φυσικά, την λογική να την χρησιμοποιήσει για την παραγωγή φωτός και θερμότητας σε ολοένα και πιο περίπλοκες εφαρμογές. Από την προστασία, τη θέρμανση και το μαγείρεμα, μέχρι τις ελεγχόμενες πυρκαγιές στις αγροκαλλιέργειες, μέχρι την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

2.2 Η ανάπτυξη της επιστήμης της φωτιάς.

Λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας και κυρίως της διάδοσης της ενέργειας μέσω ηλεκτρισμού, η φωτιά στη σύγχρονη εποχή έχει περάσει πλέον στο παρασκήνιο του πολιτισμού, με αποτέλεσμα να έχει χάσει από την αξία της στην ανθρώπινη αντίληψη, ενώ στην πραγματικότητα είναι περισσότερο σημαντική από ποτέ. Επιπλέον, σε ένα κόσμο που οδηγείται από το σύστημα της αγοράς, η μελέτη του αντικείμενου της φωτιάς και τα έξοδα πυροπροστασίας εν γένει, δεν αποτελούν καταλύτη άμεσης ανάπτυξης της οικονομίας, αλλά αντίθετα θεωρούνται τροχοπέδη και στόχος περικοπών, όπως πολλές άλλες κοινωνικές παροχές. Το αποτέλεσμα είναι, ότι ενώ οι επιστήμες θεμελιώθηκαν και αναπτύσσονται τα τελευταία 500 χρόνια, η επιστήμη της πυρκαγιάς να έχει κάνει βήματα προόδου μόλις τα τελευταία 50 χρόνια. Εδώ, πρέπει να γίνει ο διαχωρισμός μεταξύ της επιστήμης γύρω από το αντικείμενο της πυρκαγιάς και αυτής γύρω από τη θεωρία της καύσης. Ενώ, με επιστημονικούς όρους, η φωτιά και η καύση είναι συνώνυμα, υπάρχει η πρακτική και σημαντική διαφορά ότι στην επιστήμη της φωτιάς μελετάται η φωτιά ως φαινόμενο που δημιουργήθηκε χωρίς καμία πρόθεση ελέγχου του. Άλλωστε, η επιστήμη γύρω από τη θεωρία της καύσης είναι σαφώς πιο ανεπτυγμένη και αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι υπήρξε ζωτικός παράγοντας οικονομικής ανάπτυξης. Όμως, οι ειδικοί που μελετούν την καύση σε μηχανές μπορεί να γνωρίζουν πολύ λίγα για τις πυρκαγιές, όπως και το αντίστροφο.

Εν τέλει, η ανάπτυξη του τομέα της επιστήμης της πυρκαγιάς και κατ' επέκταση της μηχανικής πυροπροστασίας ξεκίνησε στις πλέον ανεπτυγμένες χώρες, κυρίως λόγω των

μεγάλων περιουσιακών απωλειών, των δικαστικών διαμαχών και, επιπροσθέτως, των εμφανών κινδύνων για την κοινωνία. Εμφανών, καθώς ήταν, αρχικά, οι πολύ μεγάλες καταστροφές από πυρκαγιές και, αργότερα, τα συγκεντρωτικά στατιστικά στοιχεία που έδωσαν, τελικά, την αναγκαία ώθηση για τη δημιουργία οργανισμών για την μελέτη των πυρκαγιών και την οργανωμένη ανάπτυξη του τομέα της πυροπροστασίας. Στα τέλη του 19^{ου} αιώνα μια φωτιά στο Πέστιγκο, μια μικρή πόλη των ΗΠΑ, απέφερε 1.152 νεκρούς και καμένη γη 5 εκ. στρεμμάτων, ενώ την ίδια εποχή μια μεγάλη φωτιά στο Σικάγο απέφερε 250 νεκρούς, την καταστροφή 17.000 κτηρίων, την χρεοκοπία 200 ασφαλιστικών εταιριών και την συνολική ζημιά \$200 εκ.⁶ Παρόμοια γεγονότα έπαιξαν ρόλο για την δημιουργία του National Fire Protection Association (NFPA) το 1896 με σκοπό τη παροχή τεχνικών πληροφοριών και τη δημιουργία κανονισμών πυροπροστασίας προς χρήση σε εθελοντική βάση^{7,8}. Η έμφαση του NFPA ήταν στα συστήματα καταιονισμού. Η μεγάλη φωτιά του 1903 στη Βαλτιμόρη κατέστρεψε 80 οικοδομικά τετράγωνα της επιχειρηματικής ζώνης της πόλης, απέφερε ζημιές \$150 εκ. και οδήγησε στην ίδρυση του οργανισμού που σήμερα ονομάζεται National Institute of Standards and Technology (NIST) το 1904. Το Κογκρέσο ανέθεσε στο NIST το έργο της διερεύνησης των επιπτώσεων της πυρκαγιάς στα υλικά των κτηρίων και της βελτίωσης των κτηριακών κανονισμών πυρασφάλειας. Παρουσιάζοντας την επικρατούσα έως τότε κατάσταση στο χώρο της πυροπροστασίας, ο διοικητής του οργανισμού απευθυνόμενος στο Κογκρέσο ανέφερε ότι «οι μεγαλύτερες απώλειες λόγω πυρκαγιάς είναι στις πόλεις στις οποίες υπάρχουν νόμοι και κανονισμοί», αναδεικνύοντας την επικινδυνότητα, μεταξύ άλλων, των ανεπαρκών κανονισμών και του ελαττωματικού συστήματος δημιουργίας και εφαρμογής τους. Όπως αποδείχθηκε από τη συστηματική μελέτη του, το αντικείμενο της πυρκαγιάς ήταν ιδιαίτερα πολύπλοκο, ώστε « [ήταν] τόσο ευρύ το πλαίσιο της διερεύνησης που σύντομα βρέθηκαν αναμεμιγμένα όλα τα εργαστήρια επιστημόνων και μηχανικών του οργανισμού.»⁷

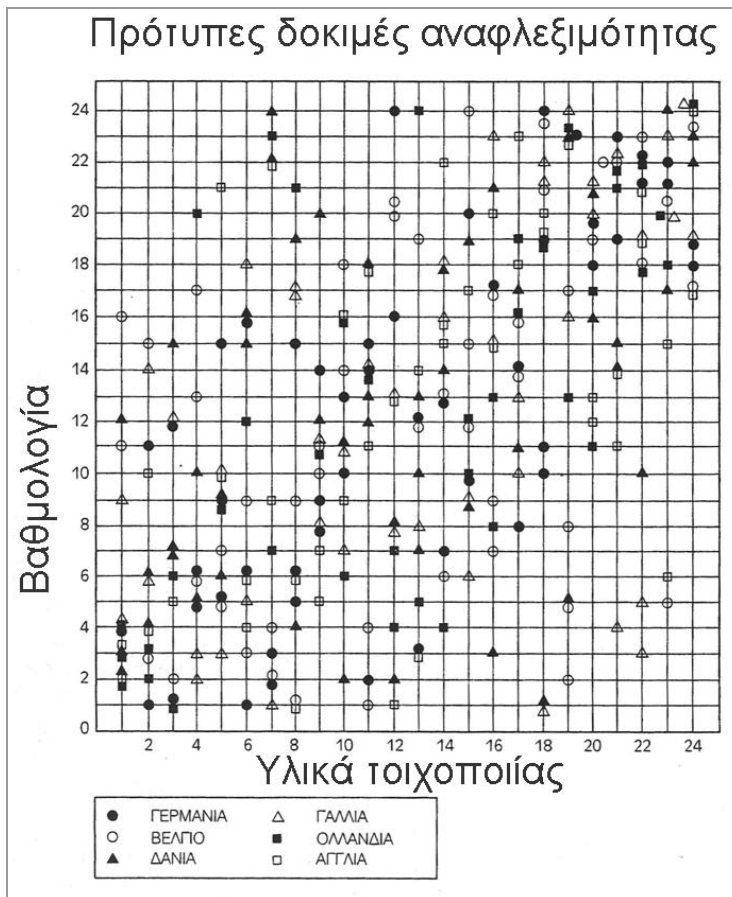
Παρόλο που η δουλειά του NIST απέδωσε ουσιαστική πρόοδο στον τομέα των κανονισμών και των πρότυπων δοκιμασιών στο τομέα της δομικής πυροπροστασίας, οι μεγαλύτερες αλλαγές στον τομέα της επιστήμης της φωτιάς επήλθαν το 1973, λόγω μιας δραματικής τεχνικής αναφοράς μιας επιστημονικής επιτροπής προς το Κογκρέσο, με τίτλο *America Burning*⁹. Σε αυτήν περιγράφονταν οι τεράστιες απώλειες που υπήρχαν ακόμα, σε όλα τα επίπεδα, και «η βασική ανάγκη της ενδυνάμωσης των θεμελίων των γνώσεων γύρω από τη φωτιά σε ένα σώμα επιστημονικής και μηχανικής θεώρησης, ούτως ώστε τα πραγματικά προβλήματα να αντιμετωπίζονται με προγνωστικές αναλύσεις.» Το αποτέλεσμα, ήταν το 1974 να θεσπιστούν νομοθεσίες με σκοπό την ανάπτυξη του τομέα της πυροσβεστικής και της πυροπροστασίας, την βελτίωση της

εκπαίδευσης, της συλλογής και ανάλυσης στατιστικών και της ανάπτυξης της έρευνας. Η έμφαση των ερευνών επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη της φωτιάς στα κτήρια: την ανάφλεξη, την εξάπλωση της φωτιάς, τον καπνό και την έκλαμψη. Ο σκοπός, ήταν πλέον η ασφάλεια των ανθρώπων και όχι μόνο των περιουσιών. Η στροφή αυτή προς την επιβολή υποχρεωτικών μέτρων δημόσιας ασφάλειας, σε συνδυασμό με τις δικαστικές αγωγές λόγω πυρκαγιών, προώθησε την αύξηση της χρήσης καινοτόμων τεχνολογιών πυροπροστασίας, όπως οι ανιχνευτές καπνού στις κατοικίες, τα συστήματα ελέγχου καπνού στα μεγάλα κτήρια και τα αυτόματα συστήματα καταιονισμού στα δημόσια κτήρια και στις κατοικίες. Η νέα έρευνα απέφερε αλλαγές στο τομέα της πυρασφάλειας, οι οποίες ευθύνονται για την μείωση του αριθμού των θανάτων ετησίως στις ΗΠΑ από το 1973 μέχρι σήμερα, στο ένα τρίτο⁷.

2.3 Η ανάγκη για επιστημονική προσέγγιση στο πρόβλημα της πυροπροστασίας.

Όμως, με την ίδια ευκολία που μια νέα τεχνολογία μπορεί να επιφέρει σημαντική βελτίωση στη ζωή των ανθρώπων, μπορεί να κρύβει και μεγάλους κινδύνους. Για παράδειγμα, η εισαγωγή των ελαφρών κυψελωδών πλαστικών, όπως οι αφρώδεις πολυουρεθάνη και πολυστερίνη, βρήκε πολλές εφαρμογές κατά τη δεκαετία του 1970, αλλά συνοδεύτηκε από εξίσου μεγάλη αύξηση του ρυθμού εξάπλωσης των πυρκαγιών, στις οποίες αυτά τα υλικά υπήρχαν. Οι πρότυπες δοκιμασίες αναφλεξιμότητας δεν πρόβλεπαν τέτοια συμπεριφορά και συνεπώς τέθηκε υπό αμφισβήτηση η ακρίβεια τους και το αν μπορούν να εφαρμοστούν για όλα τα υλικά. Παρομοίως, υπό αμφισβήτηση έχουν, κατά καιρούς, τεθεί και άλλες πρότυπες δοκιμασίες του τομέα. Για παράδειγμα, οι δοκιμασίες πυραντίστασης δομικών υλικών δέχονται κριτική, γιατί οι πραγματικές συνθήκες πυρκαγιών μπορεί να είναι πολύ διαφορετικές από αυτές που επικρατούν στους φούρνους δοκιμασιών. Δεν υπάρχουν παγκοσμίως «σωστές συνταγές» και κάθε χώρα, όπως και κάθε αρμόδιος οργανισμός, έχουν τις δικές τους πρότυπες δοκιμασίες, με αποτέλεσμα τα ίδια υλικά να χαρακτηρίζονται διαφορετικά από δοκιμασία σε δοκιμασία ως προς τις ιδιότητες τους σε συνθήκες πυρκαγιάς. Χαρακτηριστικά είναι τα αποτελέσματα της σύγκρισης έξι δοκιμασιών αναφλεξιμότητας υλικών από έξι χώρες (Σχήμα 1)¹⁰. Αν υπήρχε πραγματικός συσχετισμός, η βαθμονόμηση των είκοσι τεσσάρων υλικών θα έπρεπε να παρουσιάζει μια ευθεία γραμμή 45°, αλλά οι δοκιμασίες είναι τόσο διαφορετικές μεταξύ τους, που τα κοινά αποτελέσματα εμφανίζονται σαν μια τυχαία διασπορά. Επίσης, οι παραδοσιακοί κώδικες κανονισμών πυροπροστασίας, οι οποίοι χρησιμοποιούν οδηγίες και κατευθυντήριες γραμμές, εν είδει συνταγογραφίας, σπανίως στηρίζονται σε επιστημονικά θεμέλια και όσο εξελίσσεται ο τομέας των κτηριακών κατασκευών τόσο περισσότερο δυσκολεύονται να ανταποκριθούν στις

ανάγκες⁷. Επιπλέον, οι επιτροπές που θεσπίζουν τους κανονισμούς δεν είναι πάντα ανεξάρτητες από ειδικά συμφέροντα και το ευρύ κοινό δεν έχει τη δυνατότητα να κατανοήσει τους λόγους για του οποίους μπορεί να είναι ανεπαρκείς αυτοί οι κανονισμοί. Γίνεται φανερό, λοιπόν, ότι το φαινόμενο της φωτιάς χρειάζεται περισσότερη έρευνα, ότι υπάρχει η ανάγκη για βελτίωση και εναρμόνιση των παγκόσμιων πρακτικών και κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει μόνο δια μέσου της εφαρμογής επιστημονικών αρχών και ανάλυσης μηχανικής. Οι κανονισμοί βάσει απόδοσης, δηλαδή οι κανονισμοί που θέτουν ως βασική προϋπόθεση πυροπροστασίας κάποιους αντικειμενικούς στόχους, σχετικά με το πως θα πρέπει ένα κτήριο να συμπεριφερθεί σε κάποια σενάρια πυρκαγιάς, και με βάση αυτούς τους στόχους γίνεται ανάλυση με επιστημονικές μεθόδους και σχεδιάζεται η πυροπροστασία, είναι το πρώτο βήμα προς αυτήν την κατεύθυνση.



Σχήμα 1. Τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης 24 υλικών τοιχοποιίας από έξι διαφορετικές πρότυπες δοκιμασίες εθνικών κανονισμών.

2.4 Η περίπτωση των Δίδυμων Πύργων ως θέμα πυροπροστασίας.

Σε μια σύγχρονη κοινωνία, η επένδυση στον τομέα της πυροπροστασίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ενημέρωση του κοινού για τους κινδύνους. Όπως αναφέρθηκε ήδη, αυτό συμβαίνει είτε όταν υπάρχουν μεγάλες καταστροφές, είτε μέσω συγκεντρωτικών στατιστικών. Η ανάπτυξη της επιστήμης της πυρκαγιάς στις ΗΠΑ κατά τη δεκαετία 1975-1985 επετεύχθη με αφορμή τα δραματικά στατιστικά στοιχεία που παρουσιάστηκαν. Σύντομα, όμως, η προσπάθεια αυτή εγκαταλείφθηκε από το κράτος και έπεσε θύμα περικοπών. Τα γεγονότα της 11^{ης} Σεπτεμβρίου του 2001 στο World Trade Center επανέφεραν στο παγκόσμιο προσκήνιο την ανάγκη για εξέλιξη της πυροπροστασίας των κτηρίων, με αποτέλεσμα τη χρηματοδότηση του NIST για τη διερεύνηση των αιτιών της κατάρρευσης των ουρανοξυστών. Η διερεύνηση βασίστηκε κυρίως σε μαθηματικά μοντέλα και εργαστηριακά πειράματα, και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η κατάρρευση των ουρανοξυστών και οι μεγάλες απώλειες ήταν απόρροια προβλημάτων πυροπροστασίας και όχι της κτηριακής αντοχής στην πρόσκρουση¹¹. Οι πύργοι δεν θα κατέρρεαν εάν δεν είχε υποστεί σοβαρή ζημιά η επικάλυψη πυρομόνωσης των δομικών στοιχείων, από την πρόσκρουση των αεροσκαφών και τις πρώτες εκρήξεις. Από εκεί και έπειτα, η πυρκαγιά εξαπλώθηκε σε πολλούς ορόφους, τροφοδοτούμενη από τα υλικά του κτηρίου, καθώς τα καύσιμα των αεροπλάνων αρκούσαν μόνο για λίγα λεπτά. Αρχικά, οι φωτιές προκάλεσαν το λύγισμα των δαπέδων και των περιμετρικών στύλων, και τελικά την κατάρρευση. Η επικάλυψη πυρομόνωσης των δομικών στοιχείων δεν είχε περάσει κάποια δοκιμασία και θα μπορούσε να είχε χρησιμοποιηθεί στη θέση της κάποιο άλλο δοκιμασμένο υλικό. Επίσης, οι μεγάλες απώλειες ζών οφείλονταν στο ότι όλες οι έξοδοι διαφυγής καταστράφηκαν από την πρόσκρουση και οι άνθρωποι εγκλωβίστηκαν στους επάνω ορόφους, ενώ θα έπρεπε να είχαν προβλεφθεί περισσότερες οδεύσεις διαφυγής. Σύμφωνα με τους τοπικούς κανονισμούς η χωρητικότητα των οδεύσεων διαφυγής υπολογίζεται βάσει της εκκένωσης ενός μόνο ορόφου, ανεξαρτήτως του ύψους του κτηρίου, και πουθενά δεν συνυπολογίζεται ο χρόνος εκκένωσης όλου του κτηρίου. Αν τα κτήρια ήταν σε πλήρη λειτουργία, εκτιμάται ότι θα είχαν πεθάνει 14.000 άνθρωποι λόγω του ανεπαρκούς σχεδιασμού διαφυγής. Επίσης, οι ένοικοι δεν είχαν ποτέ προηγουμένως δοκιμάσει τις σκάλες διαφυγής στις καθιερωμένες ασκήσεις πυρασφάλειας. Επιπλέον, τα συστήματα καταιονισμού δεν λειτούργησαν ποτέ, καθώς η προσκρούσεις κατέστρεψαν τον μοναδικό σωλήνα παροχής νερού του συστήματος σε κάθε κτήριο, καθώς στους κανονισμούς δεν υπήρχε πρόβλεψη για εφεδρικό δίκτυο παροχής. Αυτά είναι μερικά από τα συμπεράσματα της έκθεσης του NIST, για την οποία δεν έλλειψε η κριτική από

ειδικούς επιστήμονες, αλλά αυτό είναι αναπόσπαστο κομμάτι της επιστημονικής διεργασίας και ο μόνος δρόμος που οδηγεί σε ουσιαστική πρόοδο.

Είναι λογικό, να μην μπορεί το κάθε κτήριο να σχεδιάζεται με πρόβλεψη για τέτοιου είδους περιπτώσεις. Όμως, η ανάλυση της καταστροφής αυτής αποκάλυψε πολλές αδυναμίες του τομέα πυροπροστασίας (ανεπάρκειες των κανονισμών, έλλειψη ελέγχων, έλλειψη δοκιμασιών, έλλειψη εκπαίδευσης, έλλειψη συντονισμού κ.α.) Η επιτροπή κατέληξε σε προτάσεις, μεταξύ άλλων, όπως: α) Οι πρακτικές και οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για την εξασφάλιση της δομικής πυραντίστασης πρέπει να αναβαθμιστούν με την βελτίωση της τεχνικής βάσης της κατηγοριοποίησης και της βαθμολόγησης της πυραντίστασης των δομικών υλικών, της βελτίωσης της τεχνικής βάσης των πρότυπων δοκιμασιών πυραντίστασης και τη χρήση επιστημονικών μεθόδων με βάση την απόδοση, β) Οι πρακτικές και οι μέθοδοι σχεδιασμού πυραντίστασης πρέπει να βελτιωθούν, απαιτώντας ως στόχο το ότι οι ανεξέλεγκτες πυρκαγιές θα πρέπει να οδηγούνται σε σβήσιμο χωρίς να υπάρξει τοπική η ολική δομική κατάρρευση, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί με κανονισμούς βάσει απόδοσης. Αυτή η προσπάθεια πρέπει να συμπεριλαμβάνει την ανάπτυξη και αξιολόγηση νέων υλικών και νέων τεχνολογιών πυρομόνωσης, καθώς και την επαναξιολόγηση των καθιερωμένων υλικών. Η εισαγωγή νέων υλικών θα πρέπει γίνεται σωστά και απρόσκοπτα, γ) Τα συστήματα ενεργής πυροπροστασίας (καταιονισμού, παροχής νερού, συναγερμοί πυρκαγιάς, και έλεγχος καπνού) πρέπει να αναβαθμιστούν μέσω βελτιώσεων στο σχεδιασμό, στην απόδοση, στην αξιοπιστία, και στην επάρκεια (πλεονασμό), δ) Η εκκένωση των κτηρίων θα πρέπει να βελτιωθεί περιλαμβάνοντας: σχεδιασμό που εξυπηρετεί την ασφαλή και γρήγορη έξοδο, μεθόδους εξασφάλισης καθαρής και έγκαιρης ενημέρωσης των ενοίκων, καλύτερη προετοιμασία και εκπαίδευση των ενοίκων, και την κατάλληλη τεχνολογία, ε) οι ικανότητες των επαγγελματιών στο χώρο της πυροπροστασίας πρέπει να αναβαθμιστεί μέσω μιας εθνικής προσπάθειας διεπιστημονικής εκπαίδευσης ΜΠ, πολιτικών μηχανικών και αρχιτεκτόνων με έμφαση στη υπολογιστική ανάλυση της δυναμικής της φωτιάς και της θερμικής συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων. Γίνεται φανερό, λοιπόν, πως η αναβάθμιση του επιπέδου της πυροπροστασίας δεν μπορεί να επιτευχθεί χωρίς το κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό. Στις επόμενες παραγράφους εξετάζονται κάποια ενδιαφέροντα στατιστικά στοιχεία από την Ελλάδα και τις ΗΠΑ, ώστε να έχει ο αναγνώστης μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της υπάρχουσας κατάστασης στον τομέα της πυρασφάλειας και να αναδειχθεί η ανάγκη για περαιτέρω ανάπτυξη μέσω της χρήσης των επιστημών και της *μηχανικής* από εξειδικευμένους ανθρώπους.

3. Στατιστικά στοιχεία πυρκαγιών.

3.1 Στατιστικά στοιχεία πυρκαγιών για την Ελλάδα¹².

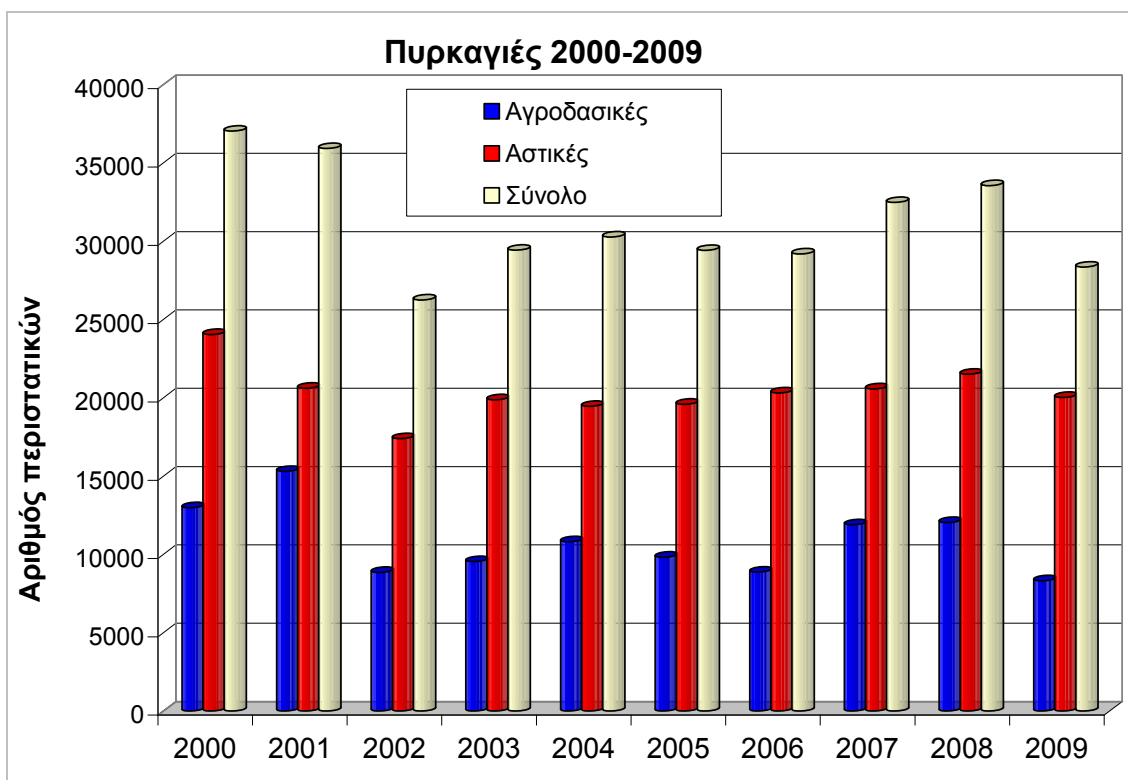
3.1.1 Αστικές πυρκαγιές.

Κατά το έτος 2009, καταγράφηκαν 28.349 πυρκαγιές από το Πυροσβεστικό Σώμα σε ολόκληρη την Ελλάδα, δηλαδή κατά μέσο όρο περίπου 80 περιστατικά ανά ημέρα. Σχεδόν το 71% ήταν αστικές πυρκαγιές και οι υπόλοιπες αφορούσαν αγροδοασικές πυρκαγιές. Παρόμοια είναι τα στατιστικά στοιχεία για την δεκαετία 2000-2009 (Σχήμα 2), με το μέσο όρο των αστικών πυρκαγιών να ανέρχεται στις 20.342 ($65 \pm 5,5\%$) και τον αντίστοιχο των αγροδοασικών στις 10.846 ($35 \pm 7\%$), ή συνολικά 2,76 πυρκαγιές ανά χίλιους κατοίκους ετησίως. Κατά το έτος 2008, έχασαν τη ζωή τους 63 άνθρωποι λόγω αστικής πυρκαγιάς και ένας άνθρωπος λόγω δασικής πυρκαγιάς (συνολικός δείκτης: 0,57 ανά εκατό χιλιάδες κατοίκους). Άλλοι 117 άνθρωποι τραυματίστηκαν λόγω αστικών πυρκαγιών και 37 λόγω αγροδοασικών (δείκτης: 1,37 ανά εκατό χιλιάδες κατοίκους), ενώ η Π.Υ. διέσωσε 63 ανθρώπους από αστικές και 6 από αγροδοασικές πυρκαγιές. Εκ των τραυματιών οι 27 ήταν πυροσβέστες (8 στις αστικές και 19 στις δασικές πυρκαγιές). Όπως φαίνεται, η πλειοψηφία των τραυματισμών και σχεδόν όλοι οι θάνατοι προκλήθηκαν από αστικές πυρκαγιές, γεγονός που τονίζει την σπουδαιότητα της πυροπροστασίας των κτηρίων και του σωστού σχεδιασμού της. Στο ίδιο διάστημα, οι ζημιές από τις αστικές πυρκαγιές εκτιμήθηκαν στα 229 εκατομμύρια €, ενώ η περιουσία που διασώθηκε στα 3.154 εκατομμύρια €. Τα παραπάνω ποσά αντιπροσωπεύουν το 0,1 και 1,31% του ΑΕΠ αντίστοιχα, σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία του ελληνικού κράτους¹³. Οι συνολικές ζημιές για την πενταετία 2004-2008 ανέρχονται στα 710 εκ. €. Η περιουσία, λοιπόν, που διασώζεται λόγω του συνδυασμού των μέτρων πυροπροστασίας και των ενεργειών της Π.Υ. είναι μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερη από τις ζημιές, κάτι που αναδεικνύει γενικά την αναγκαιότητα του τομέα της πυροπροστασίας.

3.1.2 Αγροδοασικές πυρκαγιές.

Αντίστοιχα, στις αγροδοασικές πυρκαγιές του ίδιου έτους κάηκαν 389.346 στρέμματα. Καθώς δεν διατίθενται επίσημα στοιχεία, με ένα πολύ πρόχειρο υπολογισμό και κάνοντας την υπόθεση ότι η ελάχιστη συνολική ζημιά ανά στρέμμα ήταν της τάξης των 500 €, οι καταστροφές εκτιμώνται στο 0,08 % του ΑΕΠ. Αυτό είναι μια ένδειξη για το γεγονός ότι στην Ελλάδα τα αγροδοασικά περιστατικά είναι τουλάχιστον εξίσου

επιζήμια με τα αστικά περιστατικά. Δεν διατίθεται δε, μια εκτίμηση των εκτάσεων που διασώθηκαν, η οποία είναι βέβαιο ότι θα είναι του ίδιου ύψους ή ακόμα και μεγαλύτερη, όπως συμβαίνει με τις αστικές πυρκαγιές. Έχει παρατηρηθεί, ότι διεθνώς το συνολικό κόστος των πυρκαγιών, συνυπολογίζοντας τα κόστη των άμεσων ζημιών (0,28%), των έμμεσων ζημιών (0,065%), της Πυροσβεστική Υπηρεσίας (0,138%), της έρευνας (0,003%), των ασφαλιστικών εταιρειών (0,16%) και της πυροπροστασίας (0,3%) σε μια οικονομία είναι περίπου το 1% του ΑΕΠ^{3,7}. Όμως, οι ζημιές που αποτρέπει και οι ζωές που σώζει αυτό το 0,441% της Π.Υ., της πυροπροστασίας και της έρευνας είναι πολλαπλάσιας αξίας, ακόμα και αν το εξετάσει κανείς καθαρά από οικονομολογικής πλευράς. Στην πραγματικότητα, βεβαίως, είναι ανεκτίμητες και στόχος πρέπει να είναι οι μηδενικές απώλειες ανθρώπινης ζωής και η ελαχιστοποίηση της καταστροφής. Είναι βέβαιο, ότι για ένα τέτοιο πρώτιστο στόχο απαιτούνται μεγαλύτερες επενδύσεις στην έρευνα και την εκπαίδευση ΜΠ, ώστε να βελτιώνεται διαρκώς ο τομέας της πυροπροστασίας στο σύνολό του.



Σχήμα 2. Ο αριθμός των αστικών και αγροδασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα για την δεκαετία 2000-2009.

Ο μέσος όρος των κατεστραμμένων εκτάσεων λόγω πυρκαγιάς σε αγροδασικές περιοχές για τη δεκαετία 2000-2009 πλησιάζει τα 600 χιλιάδες στρέμματα, με μεγάλες

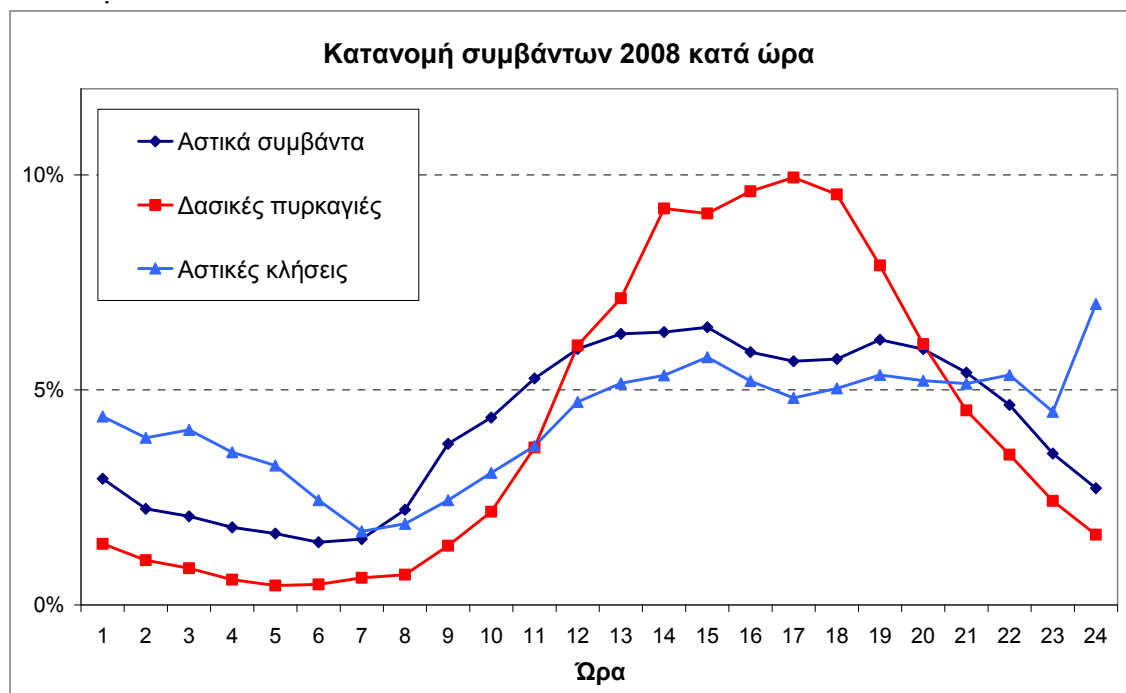
διακυμάνσεις μεταξύ των ετών. Στην Ελλάδα, παρατηρείται, το γνωστό και θλιβερό φαινόμενο, όπου οι αγροδασικές πυρκαγιές παρουσιάζουν τρομακτική έξαρση μία ή δύο φορές ανά δεκαετία, κατά τις οποίες η καμένη γη γίνεται έως και τετραπλάσια του μέσου όρου (Σχήμα 2). Κατά μέσο όρο, για αυτήν την δεκαετία, οι πυρκαγιές κατανέμονται κατά $41 \pm 13\%$ σε δασικές εκτάσεις, $36 \pm 10\%$ σε γεωργικές εκτάσεις και $22 \pm 8\%$ στις υπόλοιπες εκτάσεις (χορτολιβαδικές περιοχές, καλαμιές, βάλτοι, σκουπιδότοποι κ.α.). Σχεδόν το 50% των δασικών πυρκαγιών λαμβάνουν χώρα κατά το τρίμηνο Ιουλίου-Σεπτεμβρίου με αποτέλεσμα να αποφέρουν το 80% του συνόλου της καμένης γης. Επίσης, αντίθετα με τα ατυχήματα πολιτών, οι πυροσβέστες κινδύνεψαν περισσότερο στις δασικές πυρκαγιές, κάτι που πιθανώς να σχετίζεται με τον ανεπαρκή εξοπλισμό και τις αντίξοες συνθήκες που αντιμετωπίζουν στις μεγάλες, και αρκετές φορές προμελετημένες, δασικές πυρκαγιές των καλοκαιρινών μηνών. Τέλος, οι ιδιομορφίες που παρουσιάζει η κατανομή των καταστροφών από πυρκαγιές στη χώρα καθιστούν αναγκαία την ανάπτυξη του τομέα της αγροδασικής πυροπροστασίας όσον αφορά στην έρευνα, στον σχεδιασμό και στην εκπαίδευση. Όχι μόνο είναι απαραίτητη η εκπαίδευση ΜΠ, αλλά δεν μπορεί να είναι πλήρης για τα ελληνικά δεδομένα, εάν δεν καλύπτει τα αντικείμενα σχετικά με πυρκαγιές σε ανοιχτούς χώρους.



Σχήμα 3. Η διακύμανση των αγροδασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα κατά την περίοδο 2000-2009.

3.1.3 Αίτια αστικών πυρκαγιών.

Είναι γενικώς αποδεκτό ότι οι πυρκαγιές οφείλονται κυρίως σε ανθρώπινα αίτια. Κατά το έτος 2008, από το σύνολο των πυρκαγιών με γνωστά αίτια, το 75 % χαρακτηρίστηκε ως εμπρησμός από αμέλεια, το 9,5 % ως εμπρησμός από πρόθεση και το υπόλοιπο ποσοστό ως τυχαία ή φυσική. Είναι γεγονός, ότι η στατιστική υπηρεσία του Πυροσβεστικού Σώματος της Ελλάδας δεν καταγράφει τα αίτια για περίπου το 70% των περιπτώσεων, καθώς είτε αυτά δεν διευκρινίζονται ποτέ, είτε απαιτείται αρκετός χρόνος από τα υπεύθυνα τμήματα για να αναλύσουν τις υποθέσεις, είτε υπάρχει κάποια άλλη εσωτερική δυσλειτουργία όσον αφορά στο θέμα. Όμως, με την προαναφερθείσα κοινή παραδοχή συναινούν μια σειρά από άλλα στοιχεία. Ενδεικτικές είναι οι κατανομές των περιστατικών κατά την διάρκεια μιας ημέρας, σύμφωνα με τις οποίες οι δασικές και οι αστικές πυρκαγιές συμβαδίζουν απολύτως με την ανθρώπινη δραστηριότητα (Σχήμα 3). Τα περιστατικά είναι ελάχιστα κατά την διάρκεια της νύκτας. Μάλιστα, παρατηρείται και μια μικρή κάμψη κατά την μεσημεριανή περίοδο κοινής ησυχίας. Επίσης, το 84% των αστικών πυρκαγιών για το έτος 2008 συνέβησαν εντός κατοικημένων περιοχών.



Σχήμα 4. Η κατανομή των αστικών και αγροδασικών συμβάντων κατά ώρα για το έτος 2008.

Η κατανομή των γνωστών αιτιών πρόκλησης αστικών πυρκαγιών για το έτος 2008 παρουσιάζεται στο Σχήμα 5. Είναι φανερό ότι η συντριπτική πλειοψηφία τους οφείλεται στις δραστηριότητες των ανθρώπων (κάπνισμα 28,8%, πυρακτωμένες επιφάνειες 20,5%, ηλεκτρισμός 16,7%, γυμνές φλόγες 16,5% κτλ.). Είναι, επίσης, φανερό ότι ο ηλεκτρισμός σχετίζεται άμεσα με τον τομέα της πυροπροστασίας καθώς σημαντικό μερίδιο των πυρκαγιών οφείλεται σε ηλεκτρικά φαινόμενα και, φυσικά, όλα σχετίζονται άμεσα ή έμμεσα με τον ενεργειακό τομέα. Άλλωστε, η μελέτη των φαινομένων που σχετίζονται με την ενέργεια αποτελεί το σώμα των επιστημονικών αρχών πάνω στις οποίες στηρίζεται και ο τομέας των ηλεκτρολόγων-μηχανολόγων μηχανικών και ο τομέας των ΜΠ. Είναι θεμιτό, λοιπόν, η εκπαίδευση και η έρευνα του τομέα των ΗΜ να συμπεριλαμβάνει αντικείμενα ΜΠ και είναι, βέβαιο, ότι μπορεί να οδηγήσει σε πλήρη εξειδίκευση ΜΠ.



Σχήμα 5. Η κατανομή των αιτιών αστικών πυρκαγιών για το έτος 2008.

3.2 Στατιστικά στοιχεία πυρκαγιών για τις ΗΠΑ.

Καθώς η εκπαίδευση των ΜΠ στις ΗΠΑ αποτελεί το κύριο αντικείμενο αυτής της εργασίας, κρίνεται σκόπιμη μια σύντομη αναφορά στα στατιστικά στοιχεία από τις πυρκαγιές που συμβαίνουν εκεί. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά στατιστικά στοιχεία των πυρκαγιών κατά τη δεκαετία 1999-2008, ενώ ξεχωριστά παρουσιάζονται τα στοιχεία της 11^{ης} Σεπτεμβρίου του 2001¹⁴. Όπως είναι φυσικό, για

μια δυτική χώρα με 300 εκατομμύρια κατοίκους τα μεγέθη των στοιχείων γίνονται πολύ μεγάλα. Παρόλα αυτά, μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι μετά από τη σχετική κανονικοποίηση σε γενικούς δείκτες, οι αριθμοί δεν διαφέρουν πολύ από τους αντίστοιχους της Ελλάδας. Σε γενικές γραμμές, μπορεί κάποιος να ισχυριστεί ότι στον δυτικό κόσμο τα στατιστικά μεγέθη που σχετίζονται με πυρκαγιές είναι παρόμοια από χώρα σε χώρα και το πρόβλημα είναι το ίδιο σημαντικό παγκοσμίως.

Έτος	Πυρκαγιές [εκ.]	Πυρκαγιές/ 1.000 κατ.	Θάνατοι	Θάνατοι / 100.000 κ.	Τραυματισμοί	Τραυμ./ 100.000 κ.	Άμεσες Ζημιές [δισ. \$]	Άμεσες Ζημιές [% ΑΕΠ]
1999	1,82	6,53	3.570	1,28	21.875	7,83	10,02	0,09
2000	1,71	6,05	4.045	1,43	22.350	7,91	11,21	0,10
2001	1,73	6,08	3.745	1,31	20.300	7,12	10,58	0,09
2001*	-	-	2.451	0,86	800	0,28	33,44	0,29
2002	1,69	5,86	3.380	1,17	18.425	6,4	10,34	0,09
2003	1,58	5,45	3.925	1,35	18.125	6,23	12,31	0,10
2004	1,55	5,29	3.900	1,33	17.875	6,09	9,79	0,08
2005	1,6	5,41	3.675	1,24	17.925	6,06	10,67	0,08
2006	1,64	5,5	3.245	1,09	16.400	5,49	11,31	0,09
2007	1,56	5,16	3.430	1,14	17.675	5,86	14,64	0,11
2008	1,45	4,77	3.320	1,09	16.705	5,49	15,48	0,12
Μέση	1,63	5,61	3.869	1,24	18.766	6,47	11,63	0,1

Πίνακας 1. Στατιστικά στοιχεία για το σύνολο των πυρκαγιών στις ΗΠΑ κατά τη δεκαετία 1999-2008. Με αστερίσκο αναφέρονται ξεχωριστά τα στοιχεία που αφορούν στα γεγονότα της 11^{ης} Σεπτεμβρίου του 2001.

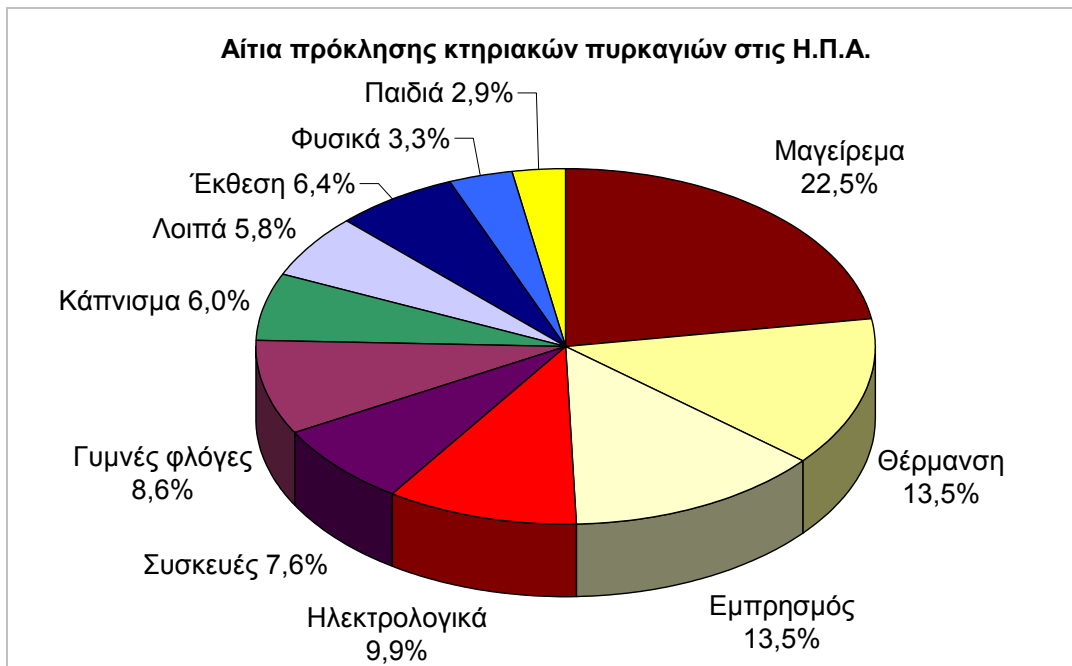
3.2.1 Πυρκαγιές σε κτηριακές εγκαταστάσεις.

Αυτό δίνει ακόμα μεγαλύτερο ενδιαφέρον στα στατιστικά στοιχεία των ΗΠΑ, καθώς οι αρμόδιοι οργανισμοί εκεί εκπονούν και δημοσιοποιούν ειδικές μελέτες και τουλάχιστον κάποια από τα συμπεράσματα μπορεί να θεωρηθούν σχετικά με την κατάσταση σε οποιαδήποτε δυτική χώρα. Για παράδειγμα, βάσει αυτών των μελετών, μπορεί κανείς να κατανοήσει εύκολα τη σπουδαιότητα των πυρκαγιών σε κτηριακές εγκαταστάσεις. Με βάση τα στοιχεία της δεκαετίας 1999-2008¹⁵, εξαιρώντας τα στοιχεία της 11ης Σεπτεμβρίου, ενώ οι πυρκαγιές σε κτήρια αποτέλεσαν μόλις το $32 \pm 2\%$ του συνόλου των πυρκαγιών, προκάλεσαν το $85 \pm 2\%$ των θανάτων πολιτών, το $86 \pm 2\%$ των τραυματισμών και το $81 \pm 6\%$ των υλικών ζημιών. Αυτός είναι και ο λόγος που το αντικείμενο της πυροπροστασίας και η εκπαίδευση των ΜΠ ανά τον κόσμο δίνουν τόση

μεγάλη έμφαση συγκεκριμένα στην πυροπροστασία των κτηρίων. Μάλιστα, όσον αφορά στη μελέτη των πυρκαγιών σε κλειστό χώρο, οι γεωμετρικοί περιορισμοί που επιβάλλουν οι κτηριακές δομές αποτελούν γνώριμο πεδίο και πολλές φορές σύμμαχο στις φυσικομαθηματικές αναλύσεις που ένας μηχανικός συνηθίζει να εφαρμόζει για την επίλυση προβλημάτων.

Συμφώνα με μια μελέτη του 2004 πάνω σε στατιστικά στοιχεία του έτους 2000¹⁶, το 75,4% των κτηριακών πυρκαγιών συμβαίνει σε κατοικίες. Μάλιστα, το 54% του συνόλου των κτηριακών πυρκαγιών συναντάται σε μονο- και διπλο- κατοικίες. Όσον αφορά στα κτήρια που δεν είναι κατοικίες, οι περισσότερες φωτιές συμβαίνουν σε αποθήκες (7,7%) και επιχειρήσεις (4,9%), ενώ στη βιομηχανία συμβαίνει το 2,4% των συνολικών πυρκαγιών. Οι φωτιές σε κατοικίες επιφέρουν το 95% των θανάτων, το 86% των τραυματισμών και το 63,7% των υλικών ζημιών επί του συνόλου των κτηριακών πυρκαγιών. Η κύρια αιτία των πυρκαγιών σε κτήρια είναι το μαγείρεμα (22,5%), ενώ ακολουθούν η θέρμανση (13,5%), ο εμπρησμός από πρόθεση (13,5%), η ηλεκτρολογική εγκατάσταση (9,9%), οι γυμνές φλόγες (8,6%), οι οικιακές συσκευές (7,6%) και οι δευτερογενείς εκθέσεις (6,4%). Ξανά, όπως γίνεται αντιληπτό και από την κατανομή των αιτιών πρόκλησης πυρκαγιάς σε κτήρια (Σχήμα 6), ο ηλεκτρομηχανολογικός τομέας σχετίζεται άμεσα με το αντικείμενο της πυροπροστασίας. Οι κύριες πηγές της αρχικής θερμότητας για τις κτηριακές πυρκαγιές είναι: α) θερμότητα αγωγής ή ακτινοβολίας από συσκευή (30,8%), β) ηλεκτρικά τόξα (13%), γ) θερμότητα από ηλεκτρικές συσκευές (7,5%), δ) σπίθες και σπινθήρες από συσκευές σε λειτουργία (5,9%) και ε) τσιγάρα (5,6%). Στην ανάλυση της κατανομής των κτηριακών πυρκαγιών κατά ώρα, τα αποτελέσματα είναι αρκετά όμοια με αυτά του Σχήματος 4, με την αιχμή να βρίσκεται μεταξύ των ωρών 17:00-19:00, κάτι που συσχετίζεται με την ώρα που χρησιμοποιείται η κουζίνα. Επίσης, στο 57,9% των κτηριακών πυρκαγιών δεν υπήρχε ανιχνευτής καπνού. Στο 28,6% των περιπτώσεων ο ανιχνευτής λειτούργησε, ενώ στο υπόλοιπο ποσοστό είτε δεν λειτούργησε επειδή η φωτιά ήταν πολύ μικρή (4,4%), είτε επειδή απέτυχε (5,8%), είτε η λειτουργία του δεν διευκρινίστηκε από τις αρχές. Σημαντικότερα, το 78% των θανάτων και το 60% των τραυματισμών συνέβησαν στις περιπτώσεις όπου δεν υπήρχε συναγερμός καπνού ή που δεν λειτούργησε σωστά. Όσον αφορά στα αυτόματα συστήματα κατάσβεσης (με νερό, αφρό ή χημικά), μελέτη του 2004 έδειξε ότι τέτοια εγκατάσταση υπήρχε μόλις στο 3,2% των κατοικιών που πήραν φωτιά και στο 2% των θανατηφόρων περιστατικών. Είναι, λοιπόν, αναγκαίο να υπάρχουν τα κατάλληλα μέτρα πυροπροστασίας σε όλα τα κτήρια και να υπάρχουν εξειδικευμένοι μηχανικοί οι οποίοι να κατέχουν την κατάλληλη τεχνογνωσία για το σχεδιασμό της σωστή λειτουργίας της πυροπροστασίας συνολικά, από τον σχεδιασμό και την βελτίωση της σχετικής

τεχνολογίας μέχρι την θέσπιση κώδικα κανονισμών και την μελέτη πυροπροστασίας πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την κατασκευή ενός κτηρίου.



Σχήμα 6. Η κατανομή των αιτιών πρόκλησης πυρκαγιάς σε κτήρια των ΗΠΑ.

3.2.2 Πυρκαγιές σε κατοικίες, λόγω ηλεκτρισμού.

Με βάση τα στατιστικά δεδομένα της τριετίας 2003-2005, κάθε χρόνο στις ΗΠΑ ξεσπάνε 28.300 οικιακές πυρκαγιές λόγω ηλεκτρισμού, με αποτέλεσμα 360 θανάτους, 1000 τραυματισμούς και υλικές ζημιές αξίας \$995 εκατομμυρίων¹⁸. Οι φωτιές αυτές είναι δύο φορές πιο θανατηφόρες, και αποφέρουν υπερδιπλάσιες υλικές ζημιές από το μέσο όρο των υπολοίπων κατηγοριών οικιακών πυρκαγιών. Οι πυρκαγιές λόγω ηλεκτρισμού εμφανίζονται με τριπλάσια συχνότητα σε κατοικίες από ότι σε άλλα κτήρια. Μάλιστα, πολλές δεν καταγράφονται καν ως τέτοιες, καθώς είναι πολύ δύσκολο μετά από μια μεγάλη φωτιά να διευκρινιστεί η πηγή ως, για παράδειγμα, μια ηλεκτρική συσκευή, μια πρίζα, ή ένα καλώδιο. Οι πυρκαγιές αυτές ξεκινούν λόγω του συνδυασμού της υπερφόρτωσης της ηλεκτρικής εγκατάστασης από ενεργοβόρες ηλεκτρικές συσκευές με την ύπαρξη ελαττωματικών αποζευκτών, με αποτέλεσμα την υπερθέρμανση των καλωδίων στους τοίχους. Γίνονται, μάλιστα, δύσκολα αντιληπτές καθώς ξεκινούν με βραδεία καύση μέσα στους τοίχους και όταν ξεσπούν έχουν πια εξαπλωθεί σε αρκετά μεγάλες επιφάνειες. Οι οικιακές πυρκαγιές λόγω ηλεκτρισμού έχουν διπλάσια

πιθανότητα να εξαπλωθούν, από ότι οι υπόλοιπες πυρκαγιές. Επίσης, οι φωτιές λόγω ηλεκτρισμού απαιτούν ειδική προσοχή στην πυρόσβεση καθώς η χρήση νερού μπορεί να αποφέρει ηλεκτροπληξία, ενώ η χρήση χημικών μπορεί να μην οδηγήσει σε κατάσβεση αλλά σε βραδεία καύση. Η διακοπή της ηλεκτροδότησης είναι ένα σημαντικό πρώτο βήμα για την πυρόσβεση.

Το κύριο πρόβλημα των πυρκαγιών λόγω ηλεκτρισμού είναι οι παλιές και φθαρμένες εγκαταστάσεις, σε συνδυασμό με την κακή χρήση και την χωρίς σχεδιασμό επέκταση των εγκαταστάσεων, προς χρήση περισσότερων ή μεγαλύτερων οικιακών συσκευών, με αποτέλεσμα την υπερφόρτωση της εγκατάστασης. Το ένα τρίτο των κατοικιών εκεί, υπερβαίνουν τα 50 έτη κατασκευαστικής ηλικίας. Οι πυρκαγιές αυτές, ξεκινούν συνηθέστερα στους χώρους της κρεβατοκάμαρας (15,1%), τις σοφίτες (11,3%) και τις κουζίνες (9,4%). Οι πλέον επικίνδυνες για την ανθρώπινη ζωή είναι αυτές που ξεκινούν σε χώρους συνάθροισης, όπως το σαλόνι (31,2% των θανάτων). Τα υλικά που αναφλέγονται πρώτα, είναι η μόνωση των ηλεκτρικών καλωδίων (30%), τα δομικά στοιχεία (17,1%), οι μονώσεις της τοιχοποιίας (7%), τα εσωτερικά τελειώματα (6,5%) και τα υλικά της εξωτερικής επιφάνειας των τοίχων (4,7%). Ο εξοπλισμός που σχετίζεται με τις ηλεκτρικές πυρκαγιές είναι, κυρίως, η εσωτερική καλωδίωση της ηλεκτρικής εγκατάστασης του κτηρίου (46,8%), ο φωτισμός (23,5%), και τα καλώδια επέκτασης και οι πρίζες (11,3%). Οι κύριοι παράγοντες, εξαιτίας των οποίων προκαλείται μια τέτοια πυρκαγιά είναι η ηλεκτρική αστοχία-δυσλειτουργία (35,4%), ηλεκτρικό τόξο από αδιευκρίνιστη αιτία (26%), ηλεκτρικό τόξο λόγω φθαρμένης-ελαττωματικής μόνωσης (15,1%) και τόξο λόγω ελαττωματική επαφής ή σπασμένου αγωγού (4,4%). Οι αρμόδιες αρχές εκεί, εξετάζουν τέτοια δεδομένα και προσαρμόζουν τους κανονισμούς ανάλογα. Για παράδειγμα, στις νέες κατασκευές, έχουν επιβάλει την εγκατάσταση διακοπών κυκλώματος λόγω ηλεκτρικών τόξων (AFCI), για τις κρεβατοκάμαρες. Οι AFCI, μέσω ενός κυκλώματος με μικροεπεξεργαστή, έχουν τη δυνατότητα να αναγνωρίζουν το χαρακτηριστικό σήμα των σφαλμάτων, διαχωρίζοντας το από τα φυσιολογικά μεταβατικά σήματα, και να διακόπτουν το κύκλωμα.

3.2.3 Αγροδασικές πυρκαγιές.

Κατά την δεκαετία 1997-2006, ο μέσος όρος των αγροδασικών μη γεωργικών πυρκαγιών (ή πυρκαγιών άγριας πανίδας) στις ΗΠΑ ήταν 78 ± 13 χιλιάδες με καταστροφές της τάξης των 24 ± 11 εκατομμυρίων στρεμμάτων¹⁹. Παρόλο που τα μεγέθη είναι πολύ μεγάλα, παρατηρείται μια σταθερότητα από έτος σε έτος, σε σχέση με τα ελληνικά δεδομένα. Για παράδειγμα, το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου για την

καμένη έκταση ετησίως στις ΗΠΑ είναι 15%, έναντι 45% του αντίστοιχου μεγέθους στην Ελλάδα. Ανά εκατό χιλιάδες κατοίκους, στις ΗΠΑ αντιστοιχούν 26 πυρκαγιές άγριας γης ανά έτος, ενώ στην Ελλάδα περίπου 65. Επί της συνολικής έκτασης της χώρας, οι πυρκαγιές αυτές ευθύνονται ετησίως για την καταστροφή του $0,3 \pm 0,14\%$ στην Ελλάδα, ενώ για το $0,24 \pm 0,04\%$ στις ΗΠΑ. Αυτό, χωρίς να συνυπολογίζεται η πιθανή διαφορά στο σχετικό ποσοστό άγριας γης επί της συνολικής, η οποία δεν είναι γνωστή. Οι Αμερικανοί χωρίζουν τα αίτια των συγκεκριμένων πυρκαγιών σε δύο βασικές κατηγορίες: τα ανθρώπινα και τους κεραυνούς. Για τη δεκαετία 1988-1997, το 88% των πυρκαγιών οφειλόταν σε ανθρώπινη δραστηριότητα και προκάλεσε το 48% της ζημιάς σε έκταση, ενώ το 12% οφειλόταν σε κεραυνούς και προκάλεσε το 52% της ζημιάς σε έκταση. Όσον αφορά στην αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών εκεί, οι σχετικές αρχές αντιμετωπίζουν ιστορικά ένα δίλλημα στον τρόπο προσέγγισης των περιστατικών. Από τη μία, οι φωτιές στην άγρια φύση είναι αναπόσπαστο κομμάτι του οικοσυστήματος και η επιβίωση ορισμένων οργανισμών έχουν σαφή εξάρτηση από τις πυρκαγιές, όπως, για παράδειγμα, η αναπαραγωγή ορισμένων πεύκων. Από την άλλη, η κοινωνία απαιτεί μηδενική ανοχή ακόμα και στις φυσικές πυρκαγιές και απαιτεί πυρασφάλεια όταν χτίζει οικίες μέσα σε άγριες περιοχές. Από το πρώτο πρόγραμμα πυρασφάλειας στην άγρια φύση, το 1885, μέχρι σήμερα, η αντιμετώπιση έχει εξελιχθεί από τη μηδενική ανοχή προς την ανοχή σε ορισμένες φυσικές πυρκαγιές, ενώ λαμβάνονται μέτρα αραίωσης του πυροθερμικού φορτίου των δασών και σχεδιασμένων ελεγχόμενων φωτιών. Συνιστούν δε, αυξημένα μέτρα πυροπροστασίας για τις περιοχές που βρίσκονται κοντά ή μέσα σε αυτές τις περιοχές (κατασκευές με πυρίμαχα υλικά, δημιουργία προστατευτικών ζωνών, πυρανίχνευση και σχέδια διαφυγής).

3.2.4 Πυρκαγιές λόγω κεραυνών.

Όπως προαναφέρθηκε, οι κεραυνοί αποτελούν μία σημαντική κατηγορία των αιτιών πρόκλησης αγροδασικών πυρκαγιών, καθώς αποφέρουν συγκριτικά μεγαλύτερες καταστροφές. Σύμφωνα με μελέτη του 2002²⁰, οι κεραυνοί προκαλούν περίπου 17.400 φωτιές στις ΗΠΑ ετησίως, με αποτέλεσμα 10 θανάτους, 75 τραυματισμούς και \$138 εκατομμύρια σε ζημιές. Από πλευράς οικονομικών ζημιών, οι πυρκαγιές από κεραυνό είναι δύο φορές πιο καταστροφικές από τα υπόλοιπα είδη. Στη χώρα αυτή, τα δύο τρίτα των πυρκαγιών από κεραυνό συμβαίνουν την καλοκαιρινή περίοδο, από Ιούνιο έως Αύγουστο, κατά τη διάρκεια των οποίων δημιουργούνται οι κατάλληλες ατμοσφαιρικές συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτή την περίοδο τα γρήγορα ανοδικά ρεύματα αέρα σε συνδυασμό με την υψηλή υγρασία βοηθούν στο σχηματισμό σύννεφων καταγίδας ή σωρειτομελανιών και, συνεπώς, στη συχνότερη δημιουργία κεραυνών. Βεβαίως, η

σχετική αυτή κατανομή, είναι πολύ πιθανό να είναι διαφορετική σε χώρες με διαφορετικό κλίμα. Το 55% των πυρκαγιών από κεραυνό προκαλείται στην ύπαιθρο, ενώ το 41% προκαλείται σε κτηριακές εγκαταστάσεις και το 1% σε οχήματα. Το 42% των πυρκαγιών από κεραυνό, ξεκινά σε δέντρα και θάμνους, το 25% σε δομικά στοιχεία κτηριακών εγκαταστάσεων και το 8% σε ηλεκτρικά καλώδια. Το 89% των θανάτων, το 86% των τραυματισμών και το 93% των υλικών ζημιών που συμβαίνει στις πυρκαγιές από κεραυνό, είναι σε κτήρια. Για άλλη μια φορά, τα στοιχεία οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η σωστή πυροπροστασία είναι επιτακτική ανάγκη για τις κτηριακές εγκαταστάσεις. Επίσης, το φαινόμενο των κεραυνών και η προστασία από αυτούς είναι άλλο ένα αντικείμενο κοινής μελέτης για τους ηλεκτρολόγους μηχανικούς και τους ΜΠ.

3.2.5 Κοινωνιολογικά χαρακτηριστικά.

Παρόλη την σχετική ανάπτυξη του τομέα και τα αντίστοιχα μέτρα, οι ΗΠΑ παραμένουν στην πέμπτη θέση στη λίστα με το υψηλότερο ποσοστό θανάτων λόγω πυρκαγιάς, μεταξύ είκοσι πέντε ανεπτυγμένων βιομηχανικά κρατών²¹. Μελέτες έχουν δείξει ότι ο κίνδυνος δεν είναι ίδιος για όλους τους κατοίκους, αλλά εξαρτάται από τον τόπο κατοικίας, το κλίμα, την κοινωνική θέση, την οικονομική κατάσταση, την μόρφωση, τα δημογραφικά χαρακτηριστικά και άλλους παράγοντες¹⁷. Οι διαφορές στα στατιστικά πυρκαγιών από πολιτεία σε πολιτεία των ΗΠΑ είναι αρκετά μεγάλες και οφείλονται σε αυτούς τους παράγοντες. Όλες οι σχετικές μελέτες έχουν αναδείξει ισχυρούς συσχετισμούς μεταξύ των χαμηλών εισοδημάτων και του αυξημένου κινδύνου από και για πυρκαγιά²². Μερικοί παράγοντες που έχουν συσχετισθεί ξεχωριστά με τον αυξημένο κίνδυνο και θεωρούνται σημαντικοί είναι: η ανεργία, το εισόδημα κάτω από τα όρια της φτώχειας, η απουσία ενός γονέα, η εκπαίδευση μικρότερης διάρκειας από τα οκτώ έτη, η απουσία λυκειακής εκπαίδευσης, η φυλή, η κατοχή ιδιόκτητης κατοικίας, ο αριθμός των ενοίκων, η ηλικία της κατοικίας, η παρουσία ηλικιωμένων, κ.α. Το πώς η φτώχεια αυξάνει τον κίνδυνο πυρκαγιάς είναι από μόνο του ένα θέμα για διπλωματική εργασία, το λιγότερο. Για αυτή τη μελέτη, αρκεί το ότι έχει επιδράσεις σε τρία επίπεδα: α) της γειτονιάς (εγκαταλειμμένα κτήρια, εγκατάλειψη από το κράτος και υποβάθμιση περιοχής, αυξημένα ποσοστά εμπρησμών), β) του νοικοκυριού (χαμηλή ποιότητα κατοικίας, έλλειψη πυρανιχνευτών/μέτρων πυροπροστασίας, αδυναμία συντήρησης, οικογένειες με ένα γονέα, παιδιά μόνα στο σπίτι, μόνοι ηλικιωμένοι, μεγάλος αριθμός ενοίκων) και γ) το ατομικό (κοινωνικό-οικονομικές πιέσεις και εμπρησμοί λόγω διαμαχών, έλλειψη μόρφωσης, αναλφαβητισμός, έλλειψη επαρκούς ενημέρωσης σε θέματα πυρασφάλειας, ενοίκιαση αντί ιδιοκτησίας, εθισμός σε αλκοόλ και ναρκωτικά). Σχετικά με τα γενικά δημογραφικά στατιστικά, οι Αφρο- και Ινδο- Αμερικανοί άνδρες

έχουν διπλάσιο ποσοστό θανάτων από τον εθνικό μέσο όρο, ενώ και Αφρο-Αμερικανές γυναίκες βρίσκονται αρκετά πάνω από το μέσο όρο. Συνολικά, περίπου 50% περισσότεροι άνδρες από γυναίκες, πεθαίνουν σε πυρκαγιές. Το ένα τρίτο των γυναικών που πεθαίνουν από φωτιά, είναι άνω των 70 χρονών, ενώ οι περισσότεροι άνδρες βρίσκονται μεταξύ 40 και 60 χρονών. Το ένα τρίτο των συνολικών θυμάτων, είναι άνω των 65 ετών, ενώ η πλειοψηφία των τραυματιών είναι μεταξύ 20 και 54 ετών. Τα παιδιά κάτω των 4 ετών, βρίσκονται αυτή τη στιγμή κάτω από το μέσο όρο κινδύνου του γενικού πληθυσμού, εν αντιθέσει με το παρελθόν. Τα στατιστικά που αφορούν στην κοινωνιολογική ανάλυση των πυρκαγιών, έχουν εξέχουσα σημασία στη διαμόρφωση πολιτικών πυροπροστασίας, από την εκπαίδευση του κοινού μέχρι την επιβολή και επιδότηση μέτρων κτηριακής πυροπροστασίας, μέχρι την επιθεώρηση κτηρίων και τη βελτίωση του κώδικα πυροπροστασίας, τομείς οι οποίοι απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό, όπως οι ΜΠ.

3.3 Συμπεράσματα: Η ανάγκη για εκπαίδευση Μηχανικών Πυροπροστασίας.

Συνοψίζοντας, μερικοί από τους λόγους για τους οποίους οι ΜΠ πρέπει να ηγούνται των μελετών στον τομέα της πυροπροστασίας, και, ως εκ τούτου, είναι απαραίτητη η εκπαίδευση ΜΠ και η ανάπτυξη του τομέα είναι: α) οι πυρκαγιές παραμένουν ένας πολύ μεγάλος κίνδυνος για τον άνθρωπο και συνεχίζουν να προκαλούν τεράστιες καταστροφές, παρόλη την πρόοδο στο τομέα, β) οι υπάρχοντες κώδικες κανονισμών και οι πρότυπες δοκιμασίες δεν βασίζονται πάντα σε επιστημονικές αρχές, επικρατεί μια ανομοιομορφία παγκοσμίως, και είναι πολλές φορές ανεπαρκείς, γ) η πυρκαγιά και η πυροπροστασία είναι πολύπλοκα αντικείμενα, για τα οποία απαιτείται προσέγγιση βασισμένη σε επιστημονικές αρχές και αναλύσεις *μηχανικής* για την εξεύρεση των βέλτιστων λύσεων στα πρακτικά προβλήματα που εμφανίζονται σε όλα τα επίπεδα (έρευνα, ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, σχεδιασμός συνολικής πυροπροστασίας, διεπιστημονική συνεργασία και επικοινωνία, δημιουργία κανονισμών, συμμετοχή στη διαμόρφωση πολιτικών, την εκπαίδευση και την ενημέρωση), και κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει μόνο από εξειδικευμένο προσωπικό. Επίσης, είναι φανερό ότι το αντικείμενο της πυροπροστασίας και τα αντικείμενα της ενέργειας και του ηλεκτρισμού σχετίζονται άμεσα, από τις θεμελιώδεις ενεργειακές αρχές μέχρι το σχεδιασμό κυκλωμάτων συσκευών και την προστασία εγκαταστάσεων, καθιστώντας τους ηλεκτρολόγους μηχανικούς ως κατάλληλους υποψήφιους για περαιτέρω εξειδίκευση στην *ΜΠ*.

4. Ο κλάδος των μηχανικών πυροπροστασίας στις ΗΠΑ.

4.1 Ο επαγγελματικός ρόλος.

4.1.1 Ο ορισμός.

Σύμφωνα με το διεθνές επαγγελματικό σωματείο των ΜΠ, το Society of Fire Protection Engineers (SFPE), τα ελάχιστα χαρακτηριστικά που ορίζουν τον τομέα έχουν ως ακολούθως^{23,24}:

Η ΜΠ είναι η εφαρμογή αρχών της επιστήμης και της μηχανικής για την προστασία του ανθρώπου και του περιβάλλοντός του από την καταστροφή λόγω πυρκαγιάς και περιλαμβάνει: α) την ανάλυση κινδύνων, β) τον μετριασμό των ζημιών από φωτιά μέσω κατάλληλου σχεδιασμού, κατασκευής, διαρρύθμισης και χρήσης κτηρίων, υλικών, δομών, βιομηχανικών διαδικασιών και συστημάτων μεταφοράς, γ) το σχεδιασμό, την εγκατάσταση και την συντήρηση των συστημάτων πυρανίχνευσης, πυροκαταστολής και επικοινωνίας, και δ) τη διερεύνηση και ανάλυση συμβάντων. Ένας ΜΠ από την εκπαίδευση και την εμπειρία του: α) γνωρίζει τη φύση των χαρακτηριστικών της φωτιάς και των σχετικών προϊόντων της καύσης, β) γνωρίζει το πώς οι πυρκαγιές δημιουργούνται, εξαπλώνονται, μέσα και έξω από κτηριακές κατασκευές, και πώς μπορούν να ανιχνευθούν, να ελεγχθούν και να σβεσθούν, και γ) έχει την ικανότητα να προβλέψει τη συμπεριφορά των υλικών, του εξοπλισμού και των διεργασιών, όπως αυτή σχετίζεται με την προστασία της ζωής και της περιουσίας από τη φωτιά.

Ο ρόλος των ΜΠ δεν είναι ευρέως γνωστός, ενώ σε πολλές περιπτώσεις ο κλάδος αγνοείται εντελώς. Πολλοί νομίζουν ότι περιορίζεται μόνο στην επιβολή των κανονισμών πυροπροστασίας ή την πραγματογνωμοσύνη. Όμως, ο ρόλος του ΜΠ στο σχεδιασμό της πυροπροστασίας ενός κτηρίου, συνδυάζει στοιχεία από όλα τα αντικείμενα, τα οποία είναι σχετικά με τις μελέτες των εγκαταστάσεων. Όσον αφορά στον αρχιτεκτονικό τομέα, ο ΜΠ ασχολείται με το πώς το σχέδιο και η διαρρύθμιση του χώρου επηρεάζει την πρόσβαση της πυροσβεστικής, τα χαρακτηριστικά των οδεύσεων διαφυγής και άλλους παράγοντες που σχετίζονται με την πυρασφάλεια. Όσον αφορά στον δομικό τομέα, ο ΜΠ ασχολείται με την αντοχή, το πάχος και τον βαθμό πυρανίστασης των δομικών υλικών, με την θέση των πυροφραγμών, με την αντοχή των δομών υπό το βάρος γεμάτων σωλήνων του συστήματος καταιονισμού και με την αντοχή σε σεισμούς. Όσον αφορά στον μηχανολογικό τομέα, ο ΜΠ υπολογίζει τις ροές νερού για το σύστημα καταιονισμού, την εκροή ειδικών πυροσβεστικών ουσιών από ακροφύσια

και τη ροή των αερίων στα συστήματα ελέγχου καπνού. Όσον αφορά στον ηλεκτρολογικό τομέα, ο ΜΠ ασχολείται με την σύνδεση των συστημάτων συναγερμού πυρκαγιάς, των συστημάτων πυρανίχνευσης, των ειδικών συστημάτων πυρόσβεσης και των πυροσβεστικών αντλιών. Επίσης, ασχολείται με την εφεδρική τροφοδοσία, τον φωτισμό εκτάκτου ανάγκης και με τον ηλεκτρικό εξοπλισμό προς χρήση σε επικίνδυνες τοποθεσίες. Όσον αφορά στον χημικό τομέα, ο ΜΠ αναλύει τον βαθμό επικινδυνότητας των χημικών διεργασιών και των πιθανών αντιδράσεων. Αυτό περιλαμβάνει: α) τον προσδιορισμό του βαθμού επικινδυνότητας των υλικών και των πιθανών αντιδράσεων, β) την κατάδειξη των πιθανών πηγών ανάφλεξης, γ) την κατάδειξη των πιθανών πηγών έκχυσης υγρών, των ποσοτήτων που είναι πιθανόν να χυθούν και των συνεπειών της ανάφλεξης των υγρών αυτών, δ) τον προσδιορισμό των συνεπειών των επικίνδυνων πιέσεων, θερμοκρασιών, συγκεντρώσεων και ροών των υλικών σε αντιδράσεις, και ε) την ανάλυση των συστημάτων ελέγχου των διεργασιών. Επιπλέον, οι ΜΠ πρέπει να ενοποιήσουν αυτές τις δραστηριότητες σε ένα ολοκληρωμένο πακέτο.

4.1.2 Αδειοδότηση και άσκηση του επαγγέλματος.

Στις ΗΠΑ, η άσκηση του επαγγέλματος του μηχανικού είναι νομικά ρυθμιζόμενη διαφορετικά από κάθε πολιτεία. Ο σχεδιασμός των συστημάτων πυροκαταστολής είναι κατά κανόνα υπευθυνότητα μηχανικού με πιστοποίηση PE, ανεξαρτήτου ειδικότητας²⁵. Για να λάβει κάποιος αδειοδότηση σαν μηχανικός πρέπει²⁶:

α) να αποφοιτήσει από μια αναγνωρισμένη από το Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET) πανεπιστημιακή προπτυχιακή σχολή *μηχανικής* 4ετούς φοίτησης.

β) να εξεταστεί επιτυχώς στις δωρες εξετάσεις γενικών γνώσεων *μηχανικής* Fundamentals of Engineering (FE). Σε αυτές, μπορεί κάποιος να επιλέξει από τις εξής κατευθύνσεις: χημικών, πολιτικών, ηλεκτρολόγων, περιβαλλοντολόγων, βιομηχανικών, μηχανολόγων και μιας κατεύθυνσης για όλες τις υπόλοιπες ειδικότητες. Για παράδειγμα, τα θέματα για τους υπόλοιπους μηχανικούς, που είναι πιθανόν η επιλογή των ΜΠ, είναι από τα αντικείμενα²⁷: μαθηματικά, πιθανότητες και στατιστική, χημεία, υπολογιστές, ηθική και πρακτικές επιχειρήσεων, οικονομικά μηχανικών, στατική και δυναμική, αντοχή υλικών, ιδιότητες υλικών, μηχανική ρευστών, ηλεκτρομαγνητισμός, θερμοδυναμική, προχωρημένα μαθηματικά για μηχανικούς, βιολογία, εφαρμοσμένη μηχανική και μεταφορά θερμότητας. Κάθε κατεύθυνση, έχει κάποιες διαφορές στα αντικείμενα εξέτασης από τα παραπάνω βασικά αντικείμενα. Για παράδειγμα, οι ηλεκτρολόγοι αντί κάποιων από τα παραπάνω, εξετάζονται στα: ενέργεια, κυκλώματα, συστήματα ελέγχου, σήματα, επικοινωνίες, ηλεκτρονική και ψηφιακά συστήματα.

γ) να αποκτήσει 4ετή εργασιακή εμπειρία, υπό την επίβλεψη ενός μηχανικού που κατέχει την πιστοποίηση PE.

δ) να εξεταστεί επιτυχώς στις δώρες εξετάσεις επαγγελματικής πιστοποίησης Principles and Practice in Engineering (PE). Εκεί οι αναγνωρισμένες κατευθύνσεις μηχανικών, συνεπώς και εξετάσεων, είναι είκοσι πέντε, και μία από αυτές είναι η *MPI*. Τα θέματα για αυτήν, είναι^{23,28}:

I. Ανάλυση πυροπροστασίας:

A. Είδη ανάλυσης: Τεχνικές ανάλυσης κινδύνων (π.χ. εκτιμήσεις δεινότητας για ένα σενάριο πυρκαγιάς). Τεχνικές ανάλυσης βαθμού επικινδυνότητας (π.χ. πιθανότητες, δεινότητα). Τεχνικές οικονομικής ανάλυσης (π.χ. κόστη-ωφέλειες, κύκλοι ζωής). Όρια και περιορισμοί των αναλύσεων. Έλεγχος εύφλεκτων υλικών, πηγών ανάφλεξης, και οξειδωτικών ουσιών. Επιθεώρηση, δοκιμασίες και προληπτική συντήρηση, ασφάλεια διεργασιών, περιορισμός κινδύνων. Ποσοτικοποίηση συχνότητας και δεινότητας συμβάντων, εκτίμηση διαθέσιμου χρόνου για διαφυγή, ανάλυση πιθανότητας καταστροφών εκτεθειμένων αντικειμένων.

B. Πηγές πληροφοριών για τις αναλύσεις: Χρήση και λειτουργία μιας εγκατάστασης (π.χ. βιομηχανικές διεργασίες, ένοικοι και υλικά μιας εγκατάστασης). Αποδεκτά όρια (π.χ. μέγιστη θερμότητα, ροή θερμότητας, συγκεντρώσεις αερίων). Κώδικες κανονισμών και πρότυπες δοκιμασίες. Χωρητικότητα ενοίκων, κατηγοριοποίηση πηγών κινδύνων και αγαθών. Μέθοδοι δοκιμασιών πυρκαγιών (π.χ. κατηγοριοποίηση, χαρακτηριστικά υλικών και προϊόντων). Τεχνικές ερμηνείας των δεδομένων από δοκιμασίες πυρκαγιάς. Έκθεση σε πυρκαγιά (π.χ. αποστάσεις από πηγές κινδύνων). Τεχνικό σχέδιο και σχεδιαγράμματα (π.χ. έγγραφα συμβολαίων, ηλεκτρολογικά και αρχιτεκτονικά σχέδια).

II. Διαχείριση πυροπροστασίας:

Δυνατότητες και περιορισμοί του σχεδιασμού. Διαδικασίες κατά τη βλάβη των συστημάτων μιας εγκατάστασης. Συχνότητα επιθεώρησης και συντήρησης.

III. Επιστήμη της φωτιάς και ανθρώπινη συμπεριφορά:

A. Δυναμική της φωτιάς: Συμπεριφορά της φωτιάς και του καπνού. Ανάπτυξη της πυρκαγιάς. Καύση. Στήλη της φωτιάς, παράσυρση του αέρα και θερμοκρασία. Ιδιότητες υλικών (π.χ. θερμότητα καύσης, αναφλεξιμότητα, θερμικά και μηχανικά όρια και όρια έκρηξης). Συμβατότητα υλικών (π.χ. διάταξη αποθήκευσης, αντιδρώντα με νερό). Μεταφορά θερμότητας από της φωτιά και τον καπνό.

B. Ανθρώπινη συμπεριφορά στην πυρκαγιά: Κινήσεις κατά την εκκένωση κτηρίου. Δυνατότητες της ανθρώπινης απόδοσης στη μετακίνηση. Αντίδραση στα σημάδια πυρκαγιάς (π.χ. συναγεμρός, καπνός, θερμότητα). Αναλύσεις εξόδου βάσει του χρόνου.

IV. Συστήματα πυροπροστασίας:

A. Σχεδιασμός υδροφόρων συστημάτων πυροκαταστολής: Σχεδιαστικά κριτήρια (π.χ. απαιτήσεις ροής και πίεσης νερού, πυκνότητες, περιοχές σχεδιασμού). Υπολογισμοί τεχνικής υδραυλικής. Μέθοδοι διαστασιολόγησης σωληνώσεων. Είδη συστημάτων (π.χ. σωλήνες με νερό και σωλήνες με πεπιεσμένα αέρια, συστήματα με αφρό, συστήματα ψεκασμού σταγονιδίων). Μέρη του συστήματος (π.χ. είδη καταιονητήρων, βαλβίδες, ανιχνευτές ροής, επιλογή υλικών σωλήνωσης, έλεγχος διασταυρώσεων, στήριξη). Επιλογή θέσης (π.χ. εμπόδια, περιβαλλοντικές παράμετροι). Παροχή και διανομή νερού (π.χ. δημόσια, ιδιωτική, δοχεία). Πυροσβεστικές αντλίες και έλεγχος. Αποκλειστική παροχή νερού για πυροπροστασία. Επιλογή, αξιολόγηση, δοκιμασίες και συντήρηση συστημάτων καταιονισμού.

B. Σχεδιασμός συστημάτων ιδιαίτερων κινδύνων: Σχεδιαστικά κριτήρια. Μέθοδος σχεδιασμού (π.χ. ολική ή τοπική εφαρμογή πυρόσβεσης). Διαστασιολόγηση σωληνώσεων. Είδη συστημάτων (π.χ. διοξειδίου του άνθρακα, καθαρές ουσίες, χημικές σκόνες). Μέρη του συστήματος. Αποθήκευση ουσιών. Ασφάλεια προσωπικού. Έλεγχος (π.χ. ενεργοποίηση, ανίχνευση, έκλυση). Παράλληλες ζημιές (π.χ. τοξικά ή όξινα υποπροϊόντα). Ενδοασφάλεια συστήματος (π.χ. διακοπή λειτουργιών). Μέθοδοι δοκιμασιών (π.χ. δοκιμασία ικανότητας κλειστού χώρου να συγκρατήσει το πυροσβεστικό μέσο (δοκιμασία ακεραιότητας), περιβαλλοντικές παράμετροι). Επιλογή, αξιολόγηση, δοκιμασίες και συντήρηση μη υδροφόρων συστημάτων πυρόσβεσης.

Γ. Συστήματα πυρανίχνευσης και σήμανσης: Σχεδιαστικά κριτήρια (π.χ. ακολουθία λειτουργίας, επιλογή συσκευής έναρξης λειτουργίας του συστήματος και επιλογή αποστάσεων). Είδη συστημάτων (π.χ. συστήματα διευθυνσιοδοτούμενα, συμβατικά). Μέρη του συστήματος. Συσκευές έναρξης λειτουργίας (π.χ. είδη, επιλογή θέσης, απόδοση). Παράγοντες επιρροής λόγω θέσης (π.χ. ταχύτητα του αέρα, θερμοκρασία). Συσκευές σήμανσης (π.χ. είδη, επιλογή θέσης, απόδοση, επικοινωνία με φωνή). Κατηγορίες κυκλωμάτων και μέθοδοι συνδεσμολόγησης. Επιβιωσιμότητα του συστήματος. Ηλεκτροδότηση. Συστήματα κτηριακού ελέγχου (π.χ. ανάκληση ανελκυστήρων, κλιματισμός, αερισμός και θέρμανση, έλεγχος καπνού, απελευθέρωση εξόδων). Συστήματα επιτήρησης (π.χ. κεντρικός σταθμός). Μέθοδοι δοκιμασιών (π.χ. επαλήθευση ακολουθίας λειτουργιών). Επιλογή, αξιολόγηση, δοκιμασίες και συντήρηση συστημάτων ανίχνευσης θερμότητας, καπνού και φλόγας, συναγερωμών και συστημάτων επίβλεψης.

Δ. Συστήματα διαχείρισης καπνού: Σχεδιαστικά κριτήρια (π.χ. στόχοι, επιβιωσιμότητα εξοπλισμού, όρια πίεσεων). Είδη συστημάτων (π.χ. κλιμακοστάσια υπό πίεση, έλεγχος καπνού σε ζώνες, εξαερισμός). Μέρη συστημάτων. Μηχανική των ρευστών (π.χ. ροές στους ανοίγματα, το φαινόμενο απαγωγής αέρα αντί καπνού). Φυσικά φαινόμενα (π.χ. φαινόμενο καμινάδας, άνεμοι). Μηχανισμοί ενεργοποίησης. Ηλεκτροδότηση. Λειτουργία και διάδραση συστημάτων (π.χ. συναγερωμοί, κλιματισμός). Μέθοδοι δοκιμασιών (π.χ. προδιαγραφές, απαιτήσεις κανονισμών, επαλήθευση σωστής ακολουθίας λειτουργιών, απόδοση μερών συστήματος, ασφάλεια).

Ε. Συστήματα προστασίας από και πρόληψης εκρήξεων: Σχεδιαστικά κριτήρια (π.χ. μέγιστη πίεση, ρυθμός εξαερισμού, συγκεντρώσεις ουσιών). Σχεδιαστικές μέθοδοι (π.χ. καταστολή, αδρανοποίηση, απομόνωση, εξαερισμός). Είδη ουσιών (π.χ. αέρια, στερεά χημικά). Εξαερισμός (π.χ. θέση, διαστάσεις). Μέρη συστήματος (π.χ. κατασκευαστικά υλικά, έκλυση ουσιών, σωληνώσεις, διάταξη εξαερισμού). Ασφάλεια προσωπικού. Έλεγχος (π.χ. ενεργοποίηση, ανίχνευση, έκλυση ουσιών). Παράλληλες ζημιές (π.χ. γειτονικές δομές). Ενδοασφάλεια συστήματος (π.χ. διακοπή λειτουργίας). Μέθοδοι δοκιμασιών (π.χ. επιβιωσιμότητα άλλων συστημάτων).

V. Σχεδιασμός συστημάτων παθητικής πυροπροστασίας κτηρίων:

A. Κτηριακή κατασκευή: Τύποι κατασκευών (π.χ. εύφλεκτων, πυρίμαχων, με πλαίσια). Κατασκευαστικά υλικά (π.χ. οροφές, μονώσεις, καλύμματα). Περιορισμοί ύψους και εμβαδού. Αποστάσεις κτηρίων. Υλικά εσωτερικών τελειωμάτων (π.χ. βαθμός εξάπλωσης πυρκαγιάς, κρίσιμο όριο ροής θερμικής ακτινοβολίας). Δομική πυραντίσταση (π.χ. μέθοδοι υπολογισμού). Διαμερισματοποίηση και διαχωρισμός (π.χ. πυροφραγμοί). Κάθετα ανοίγματα. Προστασία ανοιγμάτων.

B. Οδεύσεις διαφυγής: Σχεδιαστικά κριτήρια. Έξοδοι (π.χ. τύποι, αποστάσεις μετακίνησης, επάρκεια, χωρητικότητα). Μέρη του συστήματος (π.χ. πρόσβαση στις εξόδους). Λεπτομέρειες του συστήματος (π.χ. κλιμακοστάσια, διάδρομοι, πόρτες). Είδη χρήσης κτηρίων. Χωρητικότητα και πληρότητα ενοίκων. Φωτισμός ανάγκης. Σηματοδότηση των οδεύσεων διαφυγής.

Από τα θέματα που εξετάζονται μπορεί κανείς να σχηματίσει μια γενική εικόνα του πλαισίου των γνώσεων που πρέπει να κατέχει και να μπορεί να εφαρμόσει ένας ΜΠ. Σύμφωνα με τον οργανισμό που διοργανώνει αυτές τις εξετάσεις, National Council of Examiners for Engineering and Surveying, τα ελάχιστα κριτήρια για ένα ΜΠ είναι τα εξής²³:

- *Η επαρκής κατανόηση των βασικών συστημάτων και πρακτικών πυροπροστασίας, όπως αυτά σχετίζονται με την προστασία της ζωής, την πρόληψη, την ανίχνευση, τον έλεγχο και την καταστολή της πυρκαγιάς. Αυτό συμπεριλαμβάνει την ικανότητα εφαρμογής αυτών των γνώσεων σε συνδυασμό με τους καθιερωμένους κανονισμούς πυροπροστασίας.*
- *Η επαρκής γνώση της φύσης και των χαρακτηριστικών της φωτιάς και των σχετικών κινδύνων, συμπεριλαμβανομένου του πώς δημιουργείται, αναπτύσσεται και εξαπλώνεται.*
- *Η βασική κατανόηση των συνεπειών της φωτιάς και των μέτρων για την προστασία της ζωής, της περιουσίας, των εργασιών και του περιβάλλοντος.*
- *Η βασική κατανόηση των κινδύνων και του βαθμού επικινδυνότητας.*
- *Η επίγνωση των σχετικών μέσων και προτύπων πυροπροστασίας.*

Ένας μηχανικός πρέπει να περάσει με επιτυχία από αυτά τα τέσσερα στάδια για να αποκτήσει την ιδιότητα του «διαπιστευμένου επαγγελματία μηχανικού». Παρόλο που η πιστοποίηση είναι προαιρετική και ο προπτυχιακός τίτλος αρκεί για να εργαστεί κανείς οπουδήποτε ως μηχανικός υπό τον τίτλο «απόφοιτος μηχανικός», πολλοί μηχανικοί επιλέγουν το δρόμο της πιστοποίησης PE. Οι περιπτώσεις στις οποίες είναι απαραίτητη η πιστοποίηση PE, ορίζονται από τους νόμους κάθε πολιτείας. Για παράδειγμα, στο Τέξας πρέπει να έχει κανείς την πιστοποίηση PE εάν πρόκειται να σχεδιάσει έργο δημόσιας χρηματοδότησης άνω των \$8.000, σε περίπτωση που το έργο χρειάζεται ηλεκτρομηχανολογική μελέτη και άνω των \$20.000, αν δεν χρειάζεται²⁹. Επίσης, αν ένα δημόσιο ή ιδιωτικό κτήριο έχει πάνω από οκτώ διαμερίσματα, χρειάζεται η πιστοποίηση PE για να υπογραφούν τα έργα. Δηλαδή, υπάρχει μια διαβάθμιση και μια σχετική ελευθερία στην απόκτηση των δικαιωμάτων. Η πιστοποίηση PE είναι κοινή για όλες τις ειδικότητες μηχανικών, καθώς ο κορμός της εκπαίδευσης, της φιλοσοφίας και της υπόστασης ενός μηχανικού είναι κοινός για όλες τις ειδικότητες. Οι κατευθύνσεις των εξετάσεων, σε συνδυασμό με την προηγούμενη εκπαίδευση και εμπειρία βοηθούν τον μηχανικό να αποκτήσει επαρκείς γνώσεις για ένα συγκεκριμένο τομέα. Η αλήθεια είναι ότι το όλο σύστημα είναι πολύ διαφορετικό από αυτό της Ελλάδας, καθώς είναι ιδιόμορφο, αυτοδιαχειριζόμενο και διαφέρει κατά τόπους, μέσα στην ίδια χώρα. Γενικά, έγκειται στον μηχανικό να αποφασίσει αν έχει τις γνώσεις για να λύσει ένα πρόβλημα σε κάποιο τομέα (με την εξαίρεση του τομέα των πολιτικών μηχανικών)²⁵. Για την ίδια πολιτεία, το Τέξας, ο κανονισμός λέει ότι «ο πιστοποιημένος μηχανικός μπορεί να διεξάγει οποιαδήποτε ανατεθείσα εργασία *μηχανικής* για την οποία διαθέτει τα προσόντα με βάση την εκπαίδευση, τις εξετάσεις και την εμπειρία, ώστε να την φέρει εις πέρας με επάρκεια και αποτελεσματικότητα»²⁹. Για παράδειγμα ένας ηλεκτρολόγος ή ένας μηχανολόγος μπορεί να σχεδιάσει την πυροπροστασία ενός κτηρίου, αν διαθέτει την κατάλληλη εμπειρία και τις απαραίτητες γνώσεις. Αν κάποιος μηχανικός εξασκεί το επάγγελμα σε τομέα που δεν έχει κανενός είδους επάρκεια, γίνεται καταγγελία και εξετάζεται από τις αρχές η αφαίρεση της άδειάς του^{25,29}. Όμως, αυτό είναι κάτι που συμβαίνει πολύ σπάνια. Άλλωστε, κάτι τέτοιο αποτρέπεται από την ίδια την αγορά.

4.1.3 Στατιστικά από τον επαγγελματικό χώρο.

Σύμφωνα με το SFPE, αυτή τη στιγμή απασχολούνται στις ΗΠΑ περίπου 6.000 επαγγελματίες ΜΠ, εκ των οποίων οι μισοί έχουν πτυχίο *MIT*²⁵. Εκτιμάται ότι το 70% εργάζεται στον τομέα συμβούλων, το 10% στον ασφαλιστικό τομέα, το 10% στη βιομηχανία και το 5% στην πυροσβεστική υπηρεσία και στον τομέα της επιβολής κανονισμών. Οι εργοδότες ενός ΜΠ μπορεί να είναι ασφαλιστικές εταιρίες, εκπαιδευτικά

ιδρύματα, οργανισμοί και σύλλογοι πυροπροστασίας, κατασκευαστές εξοπλισμού πυροπροστασίας, εργαστήρια δοκιμασιών πυρκαγιάς, δημόσιες υπηρεσίες και δήμοι. Σε μια έρευνα του οργανισμού για το έτος 2006, βρέθηκε ότι σχεδόν το ένα τρίτο των ΜΠ κατέχουν τίτλους μεταπτυχιακής εκπαίδευσης και ότι το 44% κατέχει την πιστοποίηση PE. Η μέση τιμή του ετήσιου εισοδήματος ενός ΜΠ αγγίζει τα \$100.000, ενώ τα πρώτα χρόνια αμειβεται με περίπου \$50.000 το χρόνο. Ένας τίτλος πέραν του προπτυχιακού, αυξάνει το μισθό κατά 10%, ενώ η πιστοποίηση PE κατά 20%. Τα μισθολογικά αυτά νούμερα βρίσκονται στα ίδια επίπεδα με τις παραδοσιακές ειδικότητες μηχανικών στις ΗΠΑ, ενδεικτικό της εκτίμησης που χαίρουν οι ΜΠ στην εγχώρια αγορά. Τέλος, σχεδόν οι μισοί ΜΠ κατείχαν καθήκοντα θέσης επιβλέποντα άλλων μηχανικών.

4.2 Το αντικείμενο.

4.2.1 Πρόληψη, προστασία και εκπαίδευση.

Όπως συμβαίνει με τις άλλες ειδικότητες μηχανικών, έτσι και οι ΜΠ ασχολούνται με το σχεδιασμό συσκευών, συστημάτων και μεθόδων προς εξυπηρέτηση κάποιας λειτουργίας και κάποιου σκοπού. Σε αυτή την περίπτωση ο σκοπός είναι η προστασία των ανθρώπων, των περιουσιών και της ομαλής λειτουργίας των κάθε είδους εργασιών από τις επιζήμιες συνέπειες μιας πυρκαγιάς. Όσον αφορά στο σχεδιασμό, τα κύρια αντικείμενα με τα οποία ασχολείται ένας ΜΠ είναι ο έλεγχος της ανάφλεξης, ο έλεγχος της ασφαλούς διαφυγής των ενοίκων, η ανίχνευση, ο έλεγχος της εξάπλωσης και η αποτροπή του ενδεχομένου δομικής κατάρρευσης. Το κομμάτι της πρόληψης των πυρκαγιών είναι πολύ σημαντικό μέρος ενός σχεδιασμού πυροπροστασίας, και είναι επίσης σημαντικό να γίνεται στη φάση του συνολικού σχεδιασμού του κτηρίου. Μερικά μέτρα πρόληψης που μπορεί να χρησιμοποιήσει ένας ΜΠ αφορούν: στις αποστάσεις μεταξύ των πηγών κινδύνων και των εν δυνάμει εκτεθειμένων σε κίνδυνο αντικειμένων, στα συστήματα ενδοασφάλειας του εξοπλισμού που χρησιμοποιεί καύσεις, στα συστήματα για τον έλεγχο των υγρών (δοχεία, αποχέτευση κτλ.), στις γειώσεις και τον έλεγχο του στατικού ηλεκτρισμού, στον αντιεκρηκτικό ηλεκτρολογικό εξοπλισμό και εξοπλισμό θέρμανσης για τις επικίνδυνες περιοχές, στα συστήματα ελέγχου ασφάλειας διεργασιών κ.α. Από εκεί και πέρα, τα συστήματα πυροπροστασίας που καλείται να σχεδιάσει ένας ΜΠ εξαρτώνται από το τι πρέπει να προστατευτεί, και το είδος και το επίπεδο της προστασίας που είναι κατάλληλη για τις δεδομένες πηγές κινδύνων. Παραδείγματα συστημάτων πυροπροστασίας είναι: α) τα συστήματα πυρανίχνευσης με αυτοματισμούς για το κλείσιμο πορτών, καπνοφρακτών, και τη διακοπή του συστήματος κλιματισμού ή των διεργασιών, β) η επικάλυψη κτηρίων, κατασκευών και εξοπλισμού με

πυρίμαχα υλικά (πυροστεγανοποίηση), γ) οι πυροφραγμοί, οι πόρτες πυρασφάλειας, οι τοίχοι πυρασφάλειας και άλλες πυρίμαχες κατασκευές, δ) τα συστήματα αδρανοποίησης, ε) τα συστήματα καταιονισμού, ζ) τα συστήματα ελέγχου του καπνού, η) τα συστήματα ιδιαιτέρων κινδύνων με χημικά, αφρό ή «καθαρές» ουσίες. Τα μέτρα πυροπροστασίας κατηγοριοποιούνται και ως παθητικά, δηλαδή ενσωματωμένα στη δομική κατασκευή (π.χ. πυροδιαμερισματοποίηση, οδεύσεις διαφυγής, φωτισμός ασφαλείας), και ενεργητικά, δηλαδή αυτά που ενεργοποιούνται κατά την διάρκεια της πυρκαγιάς (π.χ. συστήματα πυρανίχνευσης, συναγερμού, καταιονισμού και πυροκαταστολής). Το τρίτο σκέλος των μέτρων πυροπροστασίας είναι η εκπαίδευση όλων των εμπλεκομένων (π.χ. σχέδια και ασκήσεις εκκένωσης κτηρίου).

4.2.2 Οι λόγοι ενός σχεδιασμού πυροπροστασίας.

Ο σωστός σχεδιασμός απαιτεί γνώση των λόγων που το σύστημα εγκαθίσταται, της περιουσίας που καλείται να προστατευτεί, της λειτουργίας που καλείται το σύστημα να εκτελέσει και της επιστήμης πίσω από το σχεδιασμό του συστήματος. Ο λόγος εγκατάστασης μπορεί να είναι η απλή συμμόρφωση με τους κανονισμούς. Μπορεί, όμως, να απαιτούνται επιπλέον μέτρα για την επαρκή προστασία της ανθρώπινης ζωής, ενός κτηρίου, των περιεχομένων του, της συνέχειας των εργασιών, ή συγκεκριμένων επικίνδυνων περιοχών ή διεργασιών. Επίσης, η επιπρόσθετη πυροπροστασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να έχουν τα αρχιτεκτονικά σχέδια μεγαλύτερη ελευθερία. Για παράδειγμα, η προσθήκη συστημάτων κουρτινών καταιονισμού, μπορεί να επιτρέψει την κατασκευή ενός αίθριου στα μεγάλα εμπορικά κέντρα²³. Άλλα κτήρια προστατεύονται για να μην προκληθεί ζημιά σε γειτονικές περιουσίες. Μια από τις προκλήσεις για ένα ΜΠ, είναι να σχεδιάσει τα συστήματα όσο πιο αποδοτικά γίνεται για να πετύχει τους στόχους, αλλά και να προβλέψει τις πιθανές μελλοντικές αλλαγές που μπορεί να προκύψουν στα δεδομένα ενός κτηρίου.

Η προστασία της περιουσίας υπήρξε ιστορικά μεγάλο κίνητρο για την ανάπτυξη της πυροπροστασίας. Για παράδειγμα, αναπτύχθηκαν τα παραδοσιακά συστήματα καταιονισμού για να προστατεύουν κτήρια, και παρόμοια ειδικά συστήματα χρησιμοποιούνται για την προστασία προϊόντων σε ράφια ή την προστασία μετασχηματιστών. Σκοπός των συστημάτων αυτών, είναι κυρίως η παρεμπόδιση της εξάπλωσης της φωτιάς. Έχουν, επίσης, αναπτυχθεί ειδικά συστήματα πυροκαταστολής, όπως κάποια που χρησιμοποιούν αέριες ουσίες, για την προστασία υπολογιστών που περιέχουν κρίσιμα δεδομένα. Αυτά ενεργοποιούνται πριν τα συστήματα καταιονισμού, ώστε να περιορίζεται η ζημιά στον εξοπλισμό. Άλλο παράδειγμα, είναι τα ειδικά

συστήματα προστασίας από εκρήξεις που ανιχνεύουν την συσσώρευση πίεσης και καταστέλλουν την αντίδραση σε msec.

Η προστασία της ζωής είναι, βεβαίως, ο πιο σημαντικός στόχος της πυροπροστασίας και, εν μέρει, επιτυγχάνεται με την προστασία του κτηρίου. Όμως, οι άνθρωποι πέρα από τη φωτιά, βλάπτονται και από τον καπνό και τα προϊόντα της καύσης. Οπότε, χρησιμοποιούνται συστήματα ελέγχου του καπνού, ώστε να υπάρχει αρκετός χρόνος για ασφαλή διαφυγή, πριν τα βλαβερά αέρια φτάσουν σε επικίνδυνες συγκεντρώσεις. Ο στόχος της πυροπροστασίας όσον αφορά στην προστασία της ανθρώπινης ζωής είναι η ασφαλής διαφυγή και επιτυγχάνεται μέσω της πρόβλεψης για τον επαρκή αριθμό εξόδων, τον υπολογισμό του κατάλληλου μήκους για τις διαδρομές διαφυγής, του υπολογισμού του κατάλληλου πλάτους των οδεύσεων διαφυγής, τον αξιόπιστο φωτισμό των οδεύσεων, την καθαρή σήμανση των οδεύσεων, την έγκαιρη και καθαρή σήμανση συναγερμού και την προστασία των εξόδων. Σε κάποιες περιπτώσεις, η προστασία για την αποφυγή της διακοπής των λειτουργιών ενός κτηρίου είναι επιθυμητή ή απαραίτητη και αυτό συνεπάγεται επιπλέον ειδικό σχεδιασμό πυροπροστασίας. Τέλος, η πυροπροστασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια κατασκευή, όχι τόσο για την αξία της, αλλά για τις επιπτώσεις που μπορεί να έχει η εξάπλωση μιας φωτιάς στο περιβάλλον.

4.2.3 Οι ειδικές γνώσεις.

Η γνώση της λειτουργίας ενός συστήματος είναι, φυσικά, απαραίτητη για το σχεδιασμό πυροπροστασίας. Για παράδειγμα, τα συστήματα πυροπροστασίας μπορεί μεν να χρειάζονται την πυρανίχνευση για να λειτουργήσουν, αλλά αυτό δεν σημαίνει ότι η πυρανίχνευση από μόνη της καθιστά πυροπροστασία. Παρόλα αυτά, όταν κρίνεται ότι δεν χρειάζονται συστήματα πυροπροστασίας, ο σκοπός της πυρανίχνευσης μπορεί να είναι η ειδοποίηση των ενοίκων ή η αυτόματη διακοπή κάποιων διεργασιών. Επίσης, κάθε σχεδιασμός απαιτεί το σωστό είδος πυρανίχνευσης. Τα συστήματα καταιονισμού διαθέτουν ανιχνευτές θερμότητας, τα συστήματα ελέγχου καπνού λειτουργούν με ανιχνευτές καπνού, ενώ για τα ειδικά συστήματα πυροκαταστολής μπορεί να χρησιμοποιηθεί, αναλόγως την περίπτωση, οποιοσδήποτε από μια σειρά ανιχνευτών: καπνού (ιονισμού, αεραγωγών, υψηλής ευαισθησίας κ.α.), αισθητήρες οξυγόνου και άλλων αερίων, αισθητήρες ρυθμού ανόδου θερμότητας, φλόγας, κυμάτων πίεσης έκρηξης, αισθητήρες πίεσης, θερμοκρασίας, ροής και στάθμης υγρών για διεργασίες, αισθητήρες παρουσίας υγρών κ.α. Τα συστήματα ανίχνευσης που χρησιμοποιούνται για την ειδοποίηση των ενοίκων για εκκένωση, είναι οι χειροκίνητοι διακόπτες, οι ανιχνευτές

καπνού και θερμότητας, οι ανιχνευτές καταρροής νερού που ενεργοποιούνται από τα εν λειτουργία συστήματα καταιονισμού, οι συναγερμοί που είναι μέρη των ειδικών συστημάτων πυροκαταστολής κ.α. Τα ίδια ή ξεχωριστά συστήματα ανίχνευσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την ειδοποίηση της πυροσβεστικής. Οι επικίνδυνες διεργασίες μπορούν να διακοπούν κάνοντας χρήση διαφόρων μεθόδων ανίχνευσης. Για παράδειγμα, οι διεργασίες που μπορεί να παράγουν εύφλεκτες αναθυμιάσεις, ανιχνεύονται από κατάλληλους αισθητήρες αερίων. Τα συστήματα ελέγχου του καπνού έχουν ως κύριο σκοπό την εξασφάλιση της ασφαλούς διαφυγής των ενοίκων, τον περιορισμό της εξάπλωσης του καπνού, και τη διευκόλυνση του έργου της πυροσβεστικής. Μπορεί να αποτελούνται απλά από τον κοινό εξαερισμό των κτηρίων ή από ειδικά συστήματα. Άλλο ένα παράδειγμα ειδικής λειτουργίας ενός συστήματος πυροπροστασίας, είναι η χρήση των κουρτινών καταιονισμού που σκοπό έχουν να προστατεύσουν μια δομή, π.χ. ένα τοίχο, από την έκθεση σε ακτινοβολούμενη θερμότητα. Ο έλεγχος της πυρκαγιάς έγκειται στα συστήματα καταιονισμού, τα οποία, όμως βάσει κανονισμών, δεν είναι απαραίτητα σχεδιασμένα για να σβήσουν πλήρως τη φωτιά, αλλά πρωτίστως για να αποτρέψουν την εξάπλωσή της. Για αυτόματη πυρόσβεση, χρησιμοποιούνται συστήματα που διαθέτουν καταιονητήρες ταχείας απόκρισης, συστήματα κατακλυσμού με αέριες ουσίες, συστήματα αδρανοποίησης, συστήματα καταστολής σπινθήρων και συστήματα καταστολής εκρήξεων. Χωρίς τη γνώση των κινήτρων, των προστατευόμενων αντικειμένων, των σχετικών λειτουργιών και της επιστήμης πίσω από τα συστήματα πυροπροστασίας δεν μπορεί να επιτευχθεί σωστός σχεδιασμός. Η γνώση αυτή απαιτεί κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό.

4.2.4 Ο σχεδιασμός βάσει απόδοσης.

Οι μηχανικοί των παραδοσιακών ειδικοτήτων, κάνουν συχνά σχέδια βάσει απόδοσης, δηλαδή σχεδιασμό που πληροί συγκεκριμένες προϋποθέσεις και επίπεδα απόδοσης, βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων. Για παράδειγμα, ένας ηλεκτρολόγος ή μηχανολόγος σχεδιάζει ένα σύστημα κλιματισμού με βάση τις θερμικές απώλειες ενός χώρου, κάνοντας χρήση αρχών της μεταφοράς θερμότητας και της θερμοδυναμικής, και ένας πολιτικός μηχανικός σχεδιάζει μια γέφυρα με βάση την αντοχή της σε κάποια φορτία, κάνοντας χρήση των αρχών της στατικής και δυναμικής μηχανικής και της αντοχής υλικών. Βασική προϋπόθεση για τη χρήση τέτοιου σχεδιασμού, είναι ότι πρέπει να έχουν αναπτυχθεί επαρκώς τα επιστημονικά θεμέλια πάνω στα οποία στηρίζονται τέτοιες αναλύσεις και να έχουν γίνει κτήμα των μηχανικών που τις κάνουν. Επίσης, πρέπει τα σχεδιαστικά φορτία να είναι γνωστά. Η επιστήμη πάνω στην οποία βασίζεται η *MPI*, δηλαδή η δυναμική της φωτιάς, έχει αναπτυχθεί σημαντικά μόλις τις τελευταίες

δεκαετίες, και έως πρόσφατα δεν επαρκούσε για αναλύσεις με βάση την απόδοση. Όμως, πλέον, υπάρχει μια παγκόσμια στροφή προς αυτή την κατεύθυνση, με αποτέλεσμα αυτές οι αναλύσεις να κρίνονται απαραίτητες, να πληθαίνουν, και να εισχωρούν στο τομέα των κανονισμών.

Ο μακροπρόθεσμος στόχος είναι να υπάρχει η επιλογή της χρήσης κανονισμών βάσει απόδοσης αντί των παραδοσιακών κανονισμών βάσει οδηγιών, για όλες τις περιπτώσεις. Αντί οι κανονισμοί να προσδιορίζουν ακριβώς ποια προστατευτικά μέτρα πρέπει να ληφθούν, όπως το πόσες έξοδοι πρέπει να υπάρχουν αναλόγως της χρήσης ή του αριθμού ενοίκων ενός κτηρίου, η απόδοση ολόκληρου του συστήματος θα αξιολογείται με βάση συγκεκριμένους σχεδιαστικούς στόχους, όπως το στόχο ο καπνός να μην επιτρέπεται να φτάσει στους ενοίκους και το κτήριο να πρέπει να εκκενωθεί πλήρως σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα σε περίπτωση πυρκαγιάς. Ο συγκεκριμένος στόχος μπορεί να υποστηριχθεί από ένα ΜΠ, κάνοντας αναλύσεις με μοντέλα βασισμένα σε επιστημονικές αρχές, για την ανάπτυξη και μετακίνηση του καπνού, καθώς και για τον χρόνο εκκένωσης για διάφορα σενάρια πυρκαγιάς. Για παράδειγμα, ένας παραδοσιακός κανονισμός βάσει οδηγιών στις ΗΠΑ (NFPA 101), ορίζει το μέγιστο μήκος διαδρομής μέχρι την έξοδο, σε ένα κτήριο γραφείων με σύστημα καταιονισμού, στα 300 πόδια (91,44 μέτρα)³¹. Ένας αντίστοιχος κανονισμός με βάση την απόδοση θα ήταν: «η μέγιστη διαδρομή πρέπει να παρέχει στους ενοίκους, τις συνθήκες για ασφαλή έξοδο καθ' όλη τη διάρκεια της εκκένωσης». Ο υπολογισμός αυτός, απαιτεί πολλές αναλύσεις (χρόνου εκκένωσης, κίνησης καπνού, επίπεδα μονοξειδίου του άνθρακα, ορατότητας, θερμοκρασίας, κατάστασης των ενοίκων), για πολλά διαφορετικά σενάρια φωτιάς. Για κτήρια που η καθοδική μετακίνηση του καπνού και η ακτινοβολούμενη θερμότητα είναι μικρές, όπως σε ένα εμπορικό κέντρο με μεγάλο αίθριο, η ασφαλή διαδρομή μπορεί να προκύψει πολύ μεγαλύτερη. Στην αντίθετη περίπτωση, μπορεί να προκύψει ανεπαρκής. Σε κάθε περίπτωση, με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα να ληφθούν κατάλληλα μέτρα ώστε να αντιμετωπιστεί ένα πρακτικό πρόβλημα με επιστημονική προσέγγιση. Ως αντιμετώπιση, μπορεί να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα συστήματα καπνού ή περισσότερες έξοδοι. Ένα μέτρο που συνηθίζεται, είναι η μείωση των αποστάσεων μεταξύ των καταιονητήρων ή η μείωση της θερμοκρασίας ενεργοποίησης, με σκοπό την καλύτερη και πιο γρήγορη ανταπόκριση, η οποία μπορεί να συνεπάγεται μικρότερη φωτιά και περισσότερο χρόνο για ασφαλή έξοδο. Ένας άλλου είδους στόχος πυροπροστασίας βάσει απόδοσης, θα μπορούσε να είναι ότι ο σχεδιασμός θα πρέπει να εξασφαλίζει ότι η πυρκαγιά σε ένα δεδομένο κλειστό χώρο με δεδομένα υλικά δεν θα φτάσει στη φάση της έκλαμψης, δηλαδή της εμπλοκής όλων των υλικών

στην πυρκαγιά. Κάτι που μπορεί να προβλεφθεί από τον υπολογισμό του ρυθμού έκλυσης ενέργειας των καυσίμων ή της θερμοκρασίας των αέριων στρωμάτων.

Θεωρητικά η επιστήμη της φωτιάς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό οποιουδήποτε σεναρίου πυρκαγιάς. Αυτό μπορεί να γίνει εφικτό στο μέλλον, όμως προς το παρόν χρησιμοποιούνται απλά σενάρια, λόγω πρακτικών περιορισμών, με την πρόκληση να είναι η επίτευξη της ρεαλιστικότητας αυτών των σεναρίων. Αυτό, σε συνδυασμό με την ολοένα αυξανόμενη πολυπλοκότητα των νέων τεχνολογιών, απαιτεί την εις βάθος γνώση του αντικειμένου και των μοντέλων που υπάρχουν. Επίσης δύσκολη είναι η επιλογή ενός ρεαλιστικού θερμικού φορτίου πυρκαγιάς. Οι ΜΠ σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιούν το μέγιστο δυνατό φορτίο, τη χειρότερη περίπτωση. Άλλες φορές αναλύουν τα πιο πιθανά φορτία για πολλά διαφορετικά σενάρια. Όλα αυτά καταγράφονται και τυχόν αλλαγές στο κτήριο, πιθανόν να απαιτούν νέες αναλύσεις. Η κατανόηση της επιστήμης της φωτιάς και η επιλογή των φορτίων είναι μεν πολύ κρίσιμες για το σχεδιασμό, αλλά είναι μόνο η αρχή. Για να εφαρμοστεί ένα τέτοιο σχέδιο πρέπει να το επιτρέπουν οι κανονισμοί, είτε επειδή είναι κανονισμοί βάσει απόδοσης είτε επειδή επιτρέπουν εναλλακτικές λύσεις, γνωστές και ως «ισοδυναμίες», από τις παραδοσιακές οδηγίες. Έπειτα, πρέπει να επιλεγθούν τα κατάλληλα κριτήρια απόδοσης, να γίνουν κάποια σχέδια πυροπροστασίας, να δοκιμαστούν τα σχέδια με βάση τα κριτήρια απόδοσης και να επιλεγθεί ένα τελικό σχέδιο. Επίσης, πρέπει να υπάρχει συντονισμός του σχεδιασμού με τις άλλες ειδικότητες, να υπάρχει οργάνωση και καταγραφή των σχεδίων και να λαμβάνονται οι σχετικές εγκρίσεις από τις αρμόδιες αρχές.

Με βάση τον οδηγό *SFPE Engineering Guide to Performance/Based Fire Protection analysis and Design of Building* του NFPA και του SFPE³², τα στάδια μιας ανάλυσης με βάση την απόδοση είναι τα εξής: ο ορισμός του γενικού πλαισίου της μελέτης, ο προσδιορισμός των στόχων πυρασφάλειας, ο ορισμός των στόχων του σχεδίου και των άμεσα ενδιαφερομένων (ιδιοκτητών και σχεδιαστών), η επιλογή των κριτηρίων απόδοσης, η ανάπτυξη σεναρίων πυρκαγιάς, οι δοκιμές των σχεδίων, η αξιολόγηση των δοκιμών και η επιλογή του τελικού σχεδίου. Κάθε ένα από αυτά τα στάδια απαιτεί την γνώση: των κινδύνων και του βαθμού επικινδυνότητας πυρκαγιάς, των χαρακτηριστικών της πυρκαγιάς, του τρόπου με τον οποίο η πυρκαγιά ξεκινά, αναπτύσσεται και εξαπλώνεται, των συνεπειών της πυρκαγιάς στον άνθρωπο, τα κτήρια και τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε αυτά, των αρχών πάνω στις οποίες βασίζονται τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται και τις βασικές αρχές της πρόληψης, ανίχνευσης και του ελέγχου της πυρκαγιάς. Αυτά αποτελούν κάποια από τα αντικείμενα των προγραμμάτων σπουδών

των ΜΠ. Από αυτά τα αντικείμενα αντλούν οι ΜΠ για να φέρουν εις πέρας τον σχεδιασμό βάσει απόδοσης.

4.2.5 Η χρήση των ειδικών γνώσεων.

Η επιστήμη της φωτιάς χρησιμοποιεί αρχές της θερμοδυναμικής, της μηχανικής ρευστών και της μεταφοράς θερμότητας για τον υπολογισμό διαφόρων χαρακτηριστικών των φλογών. Για παράδειγμα, έχουν αναπτυχθεί σχέσεις που συσχετίζουν το ύψος μιας φλόγας με τον αριθμό Froude, δηλαδή το λόγο των δυνάμεων της αδράνειας με τις δυνάμεις της βαρύτητας, και το μέγεθος της φλεγόμενης επιφάνειας. Η χρήση αυτών των εξισώσεων, όμως, απαιτεί αρκετές γνώσεις για τις ιδιότητες του καυσίμου. Απλούστερες σχέσεις, οι οποίες σχετίζουν το ύψος με το ρυθμό έκλυσης ενέργειας, έχουν προκύψει, είτε αναλυτικά για συγκεκριμένα καύσιμα ή συγκεκριμένες γεωμετρίες, είτε με προσαρμογή αναλυτικών εξισώσεων σε εμπειρικά δεδομένα. Η χρήση οποιασδήποτε από αυτές τις εξισώσεις απαιτεί τη γνώση του από πού προέρχονται, ποιες παραδοχές εμπεριέχουν, πού είναι εφαρμόσιμες και πως εφαρμόζονται. Για παράδειγμα, πρέπει κανείς να γνωρίζει σημαντικές λεπτομέρειες, όπως τον τρόπο υπολογισμού της ισοδύναμης διαμέτρου για μια ακανόνιστη φλόγα ή το πώς να αντιμετωπίσει την στατιστική απόκλιση του ύψους. Επίσης, έχουν αναπτυχθεί συσχετισμοί για την περιγραφή της θερμοκρασίας και της ταχύτητας των αερίων στη στήλη της φωτιάς, με βάση τις αρχές διατήρησης της μάζας και της ενέργειας σε συνδυασμό με κάποιες αποδοχές που αφορούν στην άνωση και στην παράσυρση του αέρα προς τη φωτιά. Όπως και το ύψος της φλόγας, αυτά τα μεγέθη είναι στατιστικά. Άλλα χαρακτηριστικά της φωτιάς, τα οποία μπορούν να υπολογιστούν, είναι η έκλυση θερμότητας, η μεταφορά θερμότητας προς εκτεθειμένες επιφάνειες και η ανάφλεξη των υλικών.

Η ανάλυση κινδύνων και επικινδυνότητας πυρκαγιάς αφορά στην εκτίμηση των κινδύνων για την ανθρώπινη ζωή. Ο στόχος της ανάλυσης κινδύνων είναι η εκτίμηση του πιθανότερου αποτελέσματος ενός συγκεκριμένου συνόλου συνθηκών, οι οποίες ονομάζονται σενάρια πυρκαγιάς. Ένα σενάριο περιλαμβάνει λεπτομέρειες για τις διαστάσεις του χώρου, τα περιεχόμενα, τα υλικά κατασκευής, τη διαρρύθμιση, τα ανοίγματα, πληροφορίες για τους ενοίκους και οτιδήποτε άλλο σχετίζεται με την ανάλυση. Αυτή η εκτίμηση μπορεί να γίνει, είτε απλώς από την εμπειρία ενός ειδικού, είτε μέσω πιθανολογικών μεθόδων βασισμένων σε δεδομένα παλιών περιστατικών, είτε με προσδιοριστικές τεχνικές, όπως οι αναλυτικές σχέσεις και η χρήση μοντέλων. Σήμερα, η τάση είναι η χρήση μοντέλων όπου είναι αυτό δυνατόν, με τη συνοδεία της έμπειρης εκτίμησης των ειδημόνων. Οι πιθανολογικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται

περισσότερο για την ανάλυση του βαθμού επικινδυνότητας (ρίσκου). Η ανάλυση κινδύνων, είναι ουσιαστικά ένα υποσύνολο αυτού που ονομάζεται ανάλυση επικινδυνότητας. Η δεύτερη αποτελείται από μια σειρά αναλύσεων κινδύνων, οι οποίες σταθμίζονται ανάλογα με την πιθανότητα να συμβούν. Ο συνολικός βαθμός επικινδυνότητας είναι τότε το σύνολο των σταθμισμένων πιθανών τρόπων πυρκαγιάς.

Η μοντελοποίηση που χρησιμοποιείται στα σενάρια πυρκαγιάς, αφορά κατά κανόνα στις συνέπειες της πυρκαγιάς και αποτελεί σημαντικό μέρος της ανάλυσης με βάση την απόδοση. Επειδή η ακριβής μοντελοποίηση της φωτιάς σε μοριακό επίπεδο για μεγάλες εφαρμογές δεν είναι ακόμα εφικτή στην πράξη, χρησιμοποιούνται μακροσκοπικά μοντέλα με διάφορες παραδοχές και προσεγγίσεις. Μερικές από τις παραμέτρους που εκτιμούν τα μοντέλα είναι οι θερμοκρασίες (στη στήλη της φωτιάς, στις ταχείες ροές οροφής, στη διαστρωμάτωση των αερίων), οι ταχύτητες στη στήλη της φωτιάς, το ύψος του στρώματος καπνού, ο χρόνος μέχρι την έκλαμψη, οι παράμετροι εξαερισμού, ο ροή μάζας στα ανοίγματα, ο χρόνος μέχρι την ανάφλεξη ενός αντικειμένου, η εξάπλωση της φωτιάς, η ενεργοποίηση των συστημάτων καταιονισμού, η αντοχή δομικών στοιχείων στην πυρκαγιά, η μετακίνηση του καπνού, η μετακίνηση των ανθρώπων κατά την εκκένωση κ.α. Κάποια από τα μοντέλα, χρησιμοποιούν αποτελέσματα από δοκιμασίες πυρκαγιάς υπό ορισμένες συνθήκες, οπότε πρέπει ο χειριστής να γνωρίζει σε ποιες περιπτώσεις είναι θεμιτό να χρησιμοποιούνται. Όπως και για τις εξισώσεις, η εφαρμογή των μοντέλων απαιτεί τη γνώση των παραμέτρων που υπολογίζουν, των προσεγγίσεων και των παραδοχών που γίνονται, των περιορισμών που υπάρχουν και του πως ερμηνεύονται τα αποτελέσματα, σε σχέση με την ανάλυση του βαθμού επικινδυνότητας και το συνολικό σχεδιασμό πυροπροστασίας. Σε συνδυασμό με τα μοντέλα, οι ΜΠ καλούνται να γνωρίζουν τις σχετικές λεπτομέρειες και για τα συστήματα πυροπροστασίας νέας τεχνολογίας. Υπάρχουν πλέον, συστήματα καταιονισμού με πολλά διαφορετικά είδη ροών και γεωμετριών για ειδικές εφαρμογές (συστήματα για σοφίτες, παράθυρα, χώρους χωρίς πρόσβαση, εκτενούς κάλυψης, και συστήματα μεγάλων σταγόνων, μεγάλων ροών, ταχείας απόκρισης κ.α.) Η επιλογή ενός συστήματος, απαιτεί τη γνώση της λειτουργίας, των σχεδιαστικών χαρακτηριστικών και των περιορισμών του. Το ίδιο συμβαίνει και με τα ηλεκτρονικά συστήματα συναγερμού, όπου πλέον υπάρχει η δυνατότητα επιτήρησης πολλών συσκευών και παραμέτρων.

Η επιλογή και η περιγραφή των σεναρίων πυρκαγιάς και άρα των πιθανών θερμικών φορτίων πρέπει να είναι ρεαλιστική και διεξοδική. Για αυτό, απαιτείται πολλή καλή γνώση των δεδομένων του κτηρίου, της χρήσης, των περιεχομένων και των ενοίκων του. Πρέπει κανείς να έχει επαρκείς πληροφορίες για την κατασκευή (υλικά,

υπάρχουσα δομική πυροπροστασία κτλ.), τη διαρρύθμιση (γεωμετρικά χαρακτηριστικά κτλ.), τις υπηρεσίες κτηρίου (ηλεκτρολογική εγκατάσταση, φυσικό αέριο, δίκτυο παροχής νερού, θέρμανση, κλιματισμό, αερισμό, απορρίμματα, επικοινωνίες κτλ.) και το επίπεδο εκπαίδευσης του προσωπικού ασφαλείας. Επίσης, πρέπει να γνωρίζει όλα τα εύφλεκτα περιεχόμενα του κτηρίου, την διάταξή τους στο χώρο και τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα, καθώς και τα χαρακτηριστικά τους (ενεργειακά, εκκίνηση και τερματισμός διεργασιών, ροής κ.α.). Αυτές οι πληροφορίες, χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της πιθανότητας για έναυση και εξάπλωση μιας πυρκαγιάς, καθώς και για τον υπολογισμό των πιθανών καταστροφών, αλλά και του κατάλληλου τρόπου κατάσβεσης. Ο προσδιορισμός των πιθανών πηγών ανάφλεξης και η ποσοτικοποίηση των χαρακτηριστικών τους (μέγεθος φλόγας, ρυθμός έκλυσης ενέργειας ή ισχύς της) μπορεί να οδηγήσει στον υπολογισμό του χρόνου ανάφλεξης γειτονικών αντικειμένων και στην εκτίμηση της αποτελεσματικότητας διαφόρων μέτρων πρόληψης. Για παράδειγμα, αν η πιθανή πηγή κινδύνου είναι ένα καλώδιο, ο ποσοτικός χαρακτηρισμός του ως πιθανή πηγή έναυσης αφορά στην ενέργεια που εκλύει το ηλεκτρικό τόξο που είναι δυνατόν να δημιουργηθεί. Η ανάφλεξη των πρώτων εκτεθειμένων αντικειμένων εξαρτάται από την αναφλεξιμότητα τους, το μέγεθος, την διάταξη και την απόσταση από την πηγή, κάτι που υπολογίζεται ως μέρος του σεναρίου. Επίσης, πρέπει να προσδιορίζονται τα υλικά που καίγονται με βραδεία καύση, όπως κάποια πλαστικά και ελαστικά με μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, καθώς έχουν διαφορετικούς ρυθμούς έκλυσης ενέργειας, διαφορετικά χαρακτηριστικά εξάπλωσης της φλόγας, και επηρεάζουν την σύνθεση του καπνού και την ανίχνευση. Ακόμα, ο ρυθμός εξάπλωσης της φωτιάς διαφέρει για κάθε υλικό και επηρεάζει την δεινότητα της πυρκαγιάς. Οι απαραίτητες πληροφορίες που πρέπει να έχει ο σχεδιαστής της πυροπροστασίας με βάση την απόδοση για τους ενοίκους, περιλαμβάνει τον αριθμό, την κατανομή τους στο κτήριο, την οικειότητά τους με το κτήριο, την ηλικία και την νοητική και φυσική τους κατάσταση. Τέλος, τα πιθανά σενάρια πυρκαγιών μπορεί να προκύψουν από ιστορικά δεδομένα πυρκαγιών σε παρόμοιες περιπτώσεις, από την επινοητικότητα των μηχανικών, αλλά και από αναλυτικές μεθόδους πιθανοτήτων, όπως η μέθοδος δένδρων γεγονότων, η μέθοδος δένδρων σφαλμάτων, η ανάλυση αστοχίας και η μελέτη κινδύνων και λειτουργικότητας. Από όλα τα πιθανά σενάρια που προκύπτουν, επιλέγονται αυτά που υπερβαίνουν το επίπεδο επικινδυνότητας που έχει οριστεί αρχικά ως στόχος του σχεδιασμού και σε αυτά δοκιμάζονται τα υποψήφια σχέδια πυροπροστασίας. Επίσης, επιλέγονται και τα σενάρια χειρότερης περίπτωσης, ώστε να συνυπολογίζονται κάποια συντηρητικά ανώτατα όρια. Οι συνέπειες των σεναρίων υπολογίζονται, με και χωρίς τα διάφορα μέτρα πυροπροστασίας, μέσω των γνώσεων του ρυθμού έκλυσης ενέργειας, του ρυθμού παραγωγής καπνού και του ρυθμού εξάπλωσης της πυρκαγιάς. Η εκτίμηση του φορτίου,

η επιλογή των σεναρίων πυρκαγιάς και ο υπολογισμός των συνεπειών είναι έργα πολύ δύσκολα και σημαντικά για τον συνολικό σχεδιασμό, και σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να γίνονται χωρίς την κατάλληλη εκπαίδευση.

4.2.6 Η επιλογή της σχεδιαστικής προσέγγισης.

Στα περισσότερα έργα διεθνώς, γίνεται χρήση των παραδοσιακών κανονισμών που καθορίζουν κάποιες προδιαγραφές και οδηγίες οι οποίες πρέπει να τηρούνται. Οι κανονισμοί αυτοί προκύπτουν κατά κανόνα από την εμπειρία ή από κάποια πειραματικά δεδομένα υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Οι λόγοι για τους οποίους επικρατούν ακόμα είναι: α) ότι η επιστήμη της φωτιάς άργησε πολύ να αναπτυχθεί και δεν έχει ακόμα εξελιχθεί πλήρως, β) ότι δεν υπάρχουν ακόμα πολλοί κανονισμοί που επιτρέπουν τον σχεδιασμό με βάση την απόδοση και υπάρχουν ακόμα λιγότεροι κανονισμοί αμιγώς βάσει απόδοσης, γ) ότι οι αναλύσεις βάσει απόδοσης δεν έχουν προτυποποιηθεί επαρκώς, δ) ότι είναι δοκιμασμένοι στο χρόνο και είναι η καθιερωμένη και διαδεδομένη πρακτική, ε) ότι καλύπτουν πολλές διαφορετικές συνθήκες, και ζ) ότι είναι εύκολοι στην εφαρμογή και την επιβολή, καθώς δεν απαιτούν ιδιαίτερες και χρονοβόρες αναλύσεις. Από την άλλη, ο σχεδιασμός βάσει απόδοσης είναι ιδιαίτερα χρήσιμος σε κτήρια, όπου είναι δύσκολη η συμμόρφωση με τους παραδοσιακούς κανονισμούς, λόγω αρχιτεκτονικών καινοτομιών ή άλλων ιδιομορφιών, σε παλιά κτήρια που υπόκεινται αλλαγές και σε κτήρια που απαιτείται επιπλέον προστασία. Όπως είναι επίσης χρήσιμος, σε κτήρια για τα οποία δεν υπάρχει η μελλοντική προοπτική της αλλαγής χρήσης. Από τη μία πλευρά, ο σχεδιασμός βάσει απόδοσης προσφέρει ευελιξία στο σχεδιασμό ενός κτηρίου, επιτρέποντας προοδευτικές λύσεις, αλλά από την άλλη αφαιρεί την ευελιξία όσον αφορά στις μελλοντικές αλλαγές του κτηρίου, καθώς ενδέχεται αυτές να ακυρώσουν την ισχύ της επιδιωκόμενης προστασίας. Βέβαια, ακόμα και σε αυτή την περίπτωση, ένας σχεδιαστής μπορεί να ανατρέξει στα έγγραφα του σχεδιασμού, τα οποία είναι αναπόσπαστο κομμάτι του, να ελέγξει και αν χρειαστεί να επαναλάβει την όλη διαδικασία, εφαρμόζοντας στο τέλος τις προσαρμογές. Με άλλα λόγια, ο σχεδιασμός με βάση την απόδοση απαιτεί ειδικές γνώσεις ακόμα και μετά το τέλος του έργου.

Εν αντιθέσει, οι ίδιοι παραδοσιακοί κανονισμοί ισχύουν για μια ευρεία γκάμα εγκαταστάσεων. Για παράδειγμα, οι ίδιοι κανονισμοί ισχύουν για ένα κτήριο γραφείων, είτε έχει ένα όροφο είτε πολλούς, είτε έχει μεγάλο πυροθερμικό φορτίο είτε μικρό, είτε το εμβαδό της βάσης του είναι μικρό, είτε είναι μεγάλο. Από κτήριο σε κτήριο, τα βασικά μέτρα πυροπροστασίας παραμένουν τα ίδια με λίγες αλλαγές. Όμως, αυτό έχει το μειονέκτημα της ανομοιομορφίας σε επίπεδο προστασίας και στη σχέση κόστους-

ωφέλειας. Ένα κατάσταση που πουλάει περιοδικά και μία κάβα οινοπνευματωδών ποτών, μπορεί να εμπίπτουν στη ίδια κατηγορία χρήσης (π.χ. εμπορική), ενώ ο βαθμός κινδύνου τους για πυρκαγιά είναι πολύ διαφορετικός. Επικρατεί δε, η παρανόηση ότι οι παραδοσιακοί κανονισμοί εμπεριέχουν μηδενικό επίπεδο επικινδυνότητας, η οποία προκύπτει από το γεγονός ότι δεν απαιτείται ο υπολογισμός ενός αποδεκτού επιπέδου. Στην πραγματικότητα, όμως, υπάρχουν παραδοχές επιπέδου επικινδυνότητας και στο παραδοσιακό σχεδιασμό, οι οποίες είναι εγγενής και δεν αναφέρονται. Το παράδοξο είναι, πως για τον υπολογισμό του απαιτούνται τεχνικές από τις αναλύσεις βάσει απόδοσης. Τέτοιες αναλύσεις είναι επιθυμητές στην περίπτωση κατά την οποία πρέπει να ληφθεί μια απόφαση για τη κατάλληλη σχεδιαστική προσέγγιση.

Όπως συμβαίνει με όλα τα είδη σχεδιασμού, πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν και οι σχέσεις κόστους-ωφελειών. Ο σχεδιασμός με βάση την απόδοση είναι πιο ακριβός στην δημιουργία του, απαιτεί περισσότερο χρόνο, εκπαιδευμένο προσωπικό και περισσότερα έγγραφα. Από την άλλη, το κόστος της εγκατάστασης μπορεί να αποδειχθεί πολύ οικονομικότερο, καθώς η επιστημονική ανάλυση της κάθε περίπτωσης ως ξεχωριστής, είναι κατά κανόνα πιο αποδοτική. Επίσης, μια απαίτηση για το σχεδιασμό βάσει απόδοσης, είναι ότι το τελικό σχέδιο πρέπει να πάρει έγκριση από ανεξάρτητους αρμόδιους ΜΠ, οι οποίοι και το αξιολογούν (αξιολόγηση από ομότιμους). Επιπλέον, υπάρχει το κόστος της επιτήρησης για τυχόν αλλαγές, επανελέγχου της εγκυρότητας των σχεδίων με βάση τις αλλαγές και το πιθανό κόστος επανασχεδιασμού αν αυτές είναι μεγάλες. Για την επιλογή μεταξύ του σχεδιασμού βάσει των παραδοσιακών κανονισμών και του σχεδιασμού βάσει απόδοσης, όπου αυτό επιτρέπεται, πρέπει να συνεκτιμώνται όλα τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους ξεχωριστά για κάθε περίπτωση. Για πάρα πολλές εγκαταστάσεις, ο παραδοσιακός σχεδιασμός είναι γρήγορος, οικονομικός και τείνει να είναι αρκετά συντηρητικός, έτσι ώστε να καλύπτει τυχόν αλλαγές στο κτήριο. Όσο πιο εξειδικευμένο είναι ένα κτήριο και όσο ξεφεύγει από τη συνηθισμένη αρχιτεκτονική, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να είναι πολύ πιο χρήσιμος ο σχεδιασμός βάσει απόδοσης. Το μόνο βέβαιο είναι, ότι χωρίς κατάλληλα εκπαιδευμένους ΜΠ δεν υπάρχει καν η δυνατότητα σχεδιασμού βάσει απόδοσης και ακόμα και ο παραδοσιακός σχεδιασμός μπορεί να εφαρμόζεται ανεπαρκώς, ελλείψει κατανόησης των βασικών αρχών της επιστήμης της φωτιάς. Για παράδειγμα, στην Ελλάδα όπου δεν έχει ακόμα αναπτυχθεί ο τομέας της *MPI*, ως ξεχωριστός κλάδος, δεν υπάρχει καν το ρυθμιστικό πλαίσιο που να επιτρέπει τέτοιο σχεδιασμό.

Πολλές φορές, το σχεδιασμό πυροπροστασίας καλούνται να τον κάνουν επαγγελματίες που δεν έχουν εις βάθος εκπαίδευση στο αντικείμενο. Αυτό συμβαίνει

γιατί υπάρχει έλλειψη ΜΠ και γιατί το επιτρέπει η φαινομενική ευκολία των παραδοσιακών κανονισμών· το μόνο που έχει να κάνει κανείς είναι να ακολουθήσει τις οδηγίες σαν συνταγή. Όμως, αυτό είναι πολύ επικίνδυνο είτε πρόκειται για παραδοσιακό σχεδιασμό, αλλά ακόμα περισσότερο όταν πρόκειται για σχεδιασμό βάσει απόδοσης, καθώς χωρίς την πλήρη κατανόηση των φαινομένων, των συνθηκών και των μεθόδων είναι πολύ πιθανή η λανθασμένη εφαρμογή ακόμα και των πιο απλών μέτρων. Επίσης, ο τομέας της ΜΠ έχει κάποιες σημαντικές διαφορές από τους καθιερωμένους τομείς μηχανικής, όσον αφορά στην πρακτική του σχεδιασμού. Για παράδειγμα, όταν εφαρμόζουν οι ηλεκτρολόγοι/μηχανολόγοι τις αρχές της μηχανικής των ρευστών και της μεταφοράς θερμότητας για το σχεδιασμό ενός συστήματος κλιματισμού, τα φορτία είναι γνωστά και σταθερά. Όμως, στο σχεδιασμό ενός συστήματος καταιονισμού υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα για το ποια θα είναι τα φορτία, τα οποία θα πρέπει να μπορεί να αντιμετωπίσει το σχεδιαζόμενο σύστημα. Επίσης, τα συστήματα πυροπροστασίας χρησιμοποιούνται πολύ σπάνια, με διαφορετικές συνέπειες από ότι στις φυσιολογικές καταστάσεις για τους υπόλοιπους τομείς, όσον αφορά στην αξιοπιστία και στην συντήρηση. Δηλαδή, ο μηχανικός που θα κληθεί να σχεδιάσει ένα σύστημα πυροπροστασίας, είτε η βασική του ειδικότητα είναι ηλεκτρολόγος, είτε μηχανολόγος, είτε κάποια άλλη, είναι απαραίτητο να έχει εκπαίδευση ΜΠ.

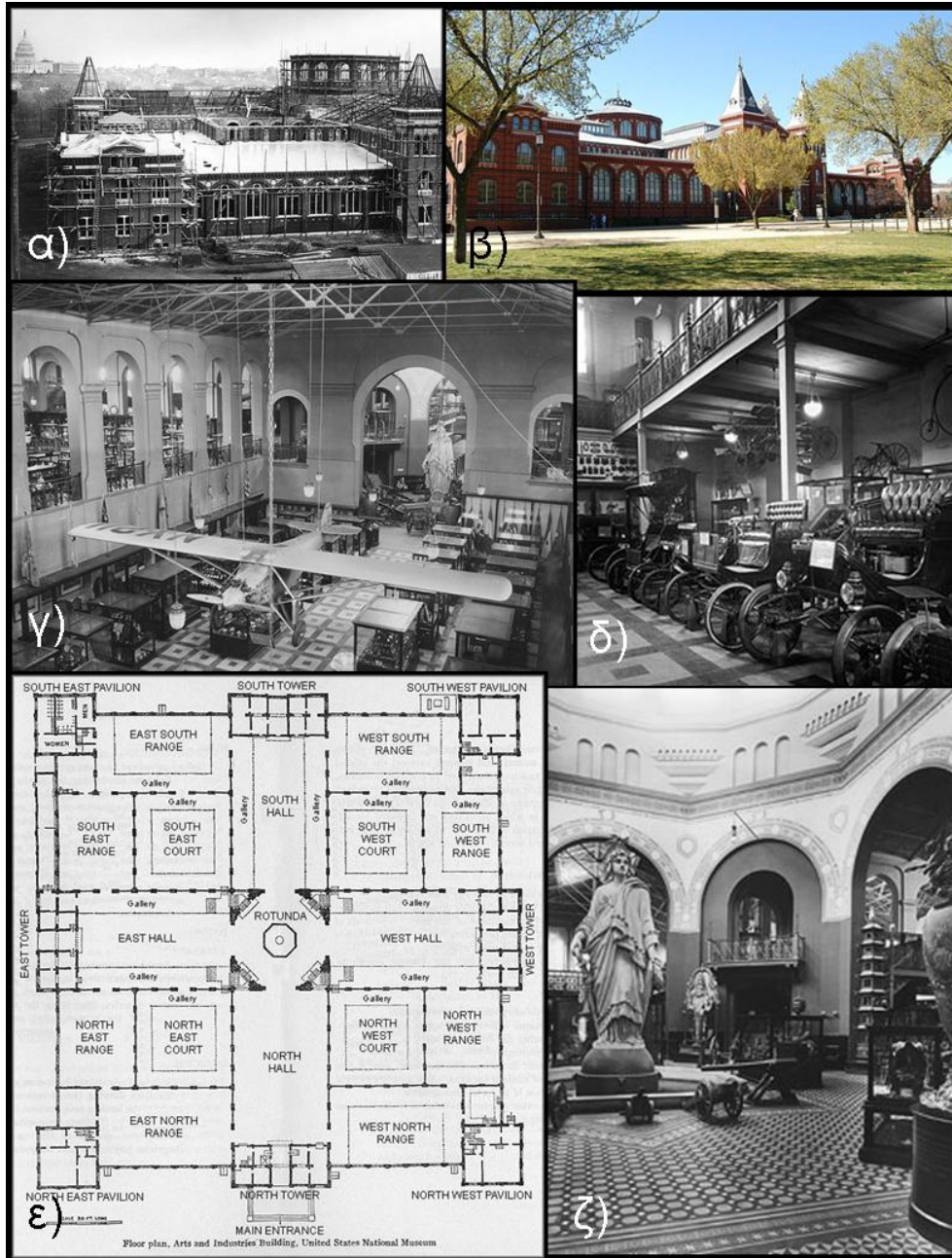
4.3 Συμπεράσματα: Η ανάγκη για εκπαίδευση μηχανικών πυροπροστασίας.

Συνοψίζοντας και συνεχίζοντας από την παράγραφο 3.3, ένας παραπάνω λόγος για τον οποίο οι ΜΠ πρέπει να ηγούνται των μελετών στον τομέα της πυροπροστασίας, και ως εκ τούτου είναι απαραίτητη η εκπαίδευση ΜΠ και η ανάπτυξη του τομέα είναι: δ) ότι ένας εκπαιδευμένος ΜΠ προσφέρει στο σχεδιασμό πυροπροστασίας την, εις βάθος και εύρος, γνώση του αντικειμένου, από τις θεμελιώδεις επιστημονικές αρχές μέχρι τις ειδικές λεπτομέρειες που κρύβονται στα υπολογιστικά μοντέλα και στις νέες τεχνολογίες, και την ικανότητα της σωστής εφαρμογής της για το σχεδιασμό συσκευών, μεθόδων, συστημάτων και της ολοκληρωμένης πυροπροστασίας μιας εγκατάστασης, βάσει οδηγιών ή απόδοσης. Επίσης, θεωρείται αυτονόητο ότι η εκπαίδευση αυτή συμπεριλαμβάνει την απαραίτητη ικανότητα σωστής επικοινωνίας και συνεργασίας με όλους τους εμπλεκόμενους επαγγελματίες οποιασδήποτε ειδικότητας.

5. Παράδειγμα σχεδιασμού πυροπροστασίας βάσει απόδοσης.

5.1 Εισαγωγή: περιγραφή του έργου.

Μια απλή εφαρμογή αναλύσεων πυροπροστασίας με βάση την απόδοση³³, έγινε κατά τη διάρκεια της αναπαλαίωσης ενός ιστορικού μουσείου στην Ουάσινγκτον, το Arts and Industries Building (AIB, ίδρυση 1879), το οποίο είναι ένα από τα δεκαέξι κτήρια που ανήκουν στο φημισμένο Smithsonian Institution (SI). Σκοπός του έργου, ήταν η επιστροφή του κτηρίου στην αρχική του μορφή και κατάσταση (Σχήμα 7), χωρίς καμία αλλοίωση της αρχικής αρχιτεκτονικής, αλλά με την εφαρμογή σύγχρονων σχεδίων πυροπροστασίας και ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων. Σε πρώτη φάση, οι εργολήπτες, η τεχνική εταιρεία συμβούλων πυροπροστασίας Gage-Babcock and Associates Inc., βρήκαν ότι τα υπάρχοντα μέτρα πυροπροστασίας ήταν υπεραρκετά για την κάλυψη των απαιτήσεων των κανονισμών βάσει οδηγιών. Αυτό, καθότι το SI, ένας ακαδημαϊκός και ερευνητικός οργανισμός που κατέχει το μεγαλύτερο συγκρότημα μουσείων στον κόσμο, διαθέτει του δικούς του, ιδιαίτερα προστατευτικούς, κανόνες πυροπροστασίας και διατηρεί προσωπικό ΜΠ για την εφαρμογή τους. Έτσι, λοιπόν, το AIB διέθετε ήδη πλήρη συστήματα ανίχνευσης καπνού, μη αναγκαία βάσει κανονισμών, και καταιονισμού σε όλο το κτήριο, με πυκνότητα υπολογισμένη βάσει μεγαλύτερου βαθμού επικινδυνότητας από τον πραγματικό. Επίσης, το ίδρυμα είχε κανονισμούς που περιόριζαν τη χρήση εύφλεκτων υλικών στις εκθέσεις, καθώς και εξειδικευμένο προσωπικό για τον έλεγχο των συστημάτων πυροπροστασίας. Το μόνο που έμενε, ήταν οι σχεδιαστές να ελέγξουν την αποτελεσματικότητα του σχεδιασμού εκκένωσης του κτηρίου. Το συγκεκριμένο ζήτημα, προέκυψε λόγω της αρχιτεκτονικής ιδιομορφίας, του ότι όλες οι εξοδοί του διώροφου κτηρίου βρίσκονται στον πρώτο όροφο. Ως αποτέλεσμα υπήρχαν μερικές αποκλίσεις από τους σύγχρονους κανονισμούς, όπως το ότι οι μέγιστες αποστάσεις από την έξοδο ήταν μεγαλύτερες από τις προβλεπόμενες και το ότι θα έπρεπε οι μισές σκάλες εξόδου του δεύτερου ορόφου να οδηγούν κατευθείαν έξω από το κτήριο και όχι στις εξόδους του πρώτου ορόφου. Όμως, καθώς το κτήριο ήταν διατηρητέο, δεν υπήρχε η επιλογή επανασχεδιασμού των εξόδων του δεύτερου ορόφου και η λύση θα έπρεπε να βρεθεί μέσω αναλύσεων βάσει απόδοσης. Πιο συγκεκριμένα, έπρεπε καταρχήν να διευκρινιστεί, το αν επαρκούσαν ή όχι τα μέτρα, τα οποία εν μέρει δεν ικανοποιούσαν τους παραδοσιακούς κανονισμούς, για την ασφαλή έξοδο των επισκεπτών, για διάφορα σενάρια πυρκαγιάς.



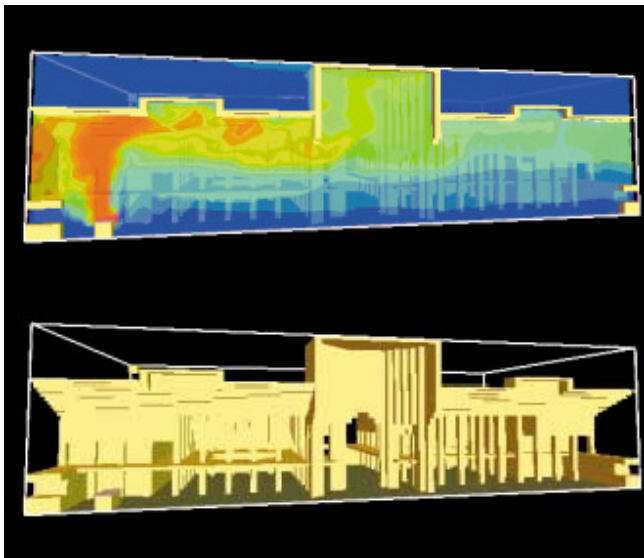
Σχήμα 7. Το κτήριο AIB³⁴: α) κατά την κατασκευή του, το 1879, β) σήμερα, γ) το 1928, στην έκθεση του πρώτου μονοθέσιου αεροπλάνου που έκανε υπερατλαντικό ταξίδι, από τη Νέα Υόρκη στο Παρίσι, το Spirit of St. Louis, δ) σε μια έκθεση αυτοκινήτων τη δεκαετία του 1920, ε) η αρχική κάτοψη του ισόγειου, με χαρακτηριστικά τους ανοιχτούς χώρους, την ροτόντα και τις τέσσερις εξόδους και ζ) ένα άγαλμα της ελευθερίας, στη ροτόντα, τη δεκαετία του 1890.

5.2 Μέθοδοι: Η διαδικασία του σχεδιασμού και η χρήση των μοντέλων.

Το κτήριο εσωτερικά έχει μορφή, η οποία μπορεί να θεωρηθεί παρόμοια με ένα σύγχρονο διώροφο εμπορικό κέντρο. Ο πρώτος όροφος είναι περίπου 8.000 m², ο δεύτερος 3.300 m², ενώ στο κέντρο υπάρχει μια ροτόντα ύψους 25 m. Οι περισσότεροι χώροι είναι ανοικτοί για εκθέσεις, ενώ υπάρχουν μερικά γραφεία, ένας παιδικός σταθμός, ένα θέατρο και ένα κατάστημα δώρων. Το μέγιστο φορτίο ενοίκων-επισκεπτών υπολογίστηκε στους 4.550, ως σενάριο χειρότερης περίπτωσης, με βάση ιστορικά δεδομένα από το αρχείο του SI και ακολουθώντας την κατάλληλη μεθοδολογία. Το γενικό πλαίσιο του έργου ήταν ο εναρμονισμός των μέτρων πυροπροστασίας με τις σύγχρονες πρακτικές, χωρίς την αλλαγή της ιστορικής αρχιτεκτονικής του κτηρίου (*SFPE Guide*³², βήμα 1^ο). Βασικός στόχος της πυροπροστασίας, ορίστηκε η ελαχιστοποίηση των τραυματισμών από πυρκαγιά και η πρόληψη των ενδεχόμενων θανάτων (βήμα 2^ο). Οι στόχοι της προστασίας της περιουσίας και της συνέχειας της λειτουργίας δεν κρίθηκαν απαραίτητο να συμπεριληφθούν, καθώς καλύπτονταν ήδη από τα προϋπάρχοντα μέτρα. Από αυτούς του στόχους πυροπροστασίας, προέκυψαν οι σχεδιαστικοί στόχοι (βήμα 3^ο), οι οποίοι συνοψίζονται ως: «πρέπει να υπάρχει αρκετός χρόνος για τους ανθρώπους που δεν βρίσκονται σε άμεση επαφή με τα πρώτα υλικά που καίγονται, για τους ανθρώπους που βρίσκονται εκτός του διαμερίσματος της εστίας και τους ανθρώπους που βρίσκονται εκτός του ορόφου της εστίας, να φθάσουν σε μία ασφαλή τοποθεσία, χωρίς οι βλαβερές συνέπειες της πυρκαγιάς να τους καταβάλλουν.» Η επίτευξη αυτού του στόχου εξετάστηκε με αναλύσεις μοντέλων προσομοίωσης πυρκαγιάς και εκκένωσης κτηρίου. Τα κριτήρια της αξιολόγησης που επιλέχθηκαν ήταν η θερμοκρασία, η συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα και η ορατότητα (βήμα 4^ο).

Το υπολογιστικό μοντέλο προσομοίωσης πυρκαγιάς που χρησιμοποιήθηκε είναι το Fire Dynamics Simulator (FDS) του NIST³⁵, ένα μοντέλο πεδίου, δηλαδή μοντέλο το οποίο εξετάζει ολόκληρο το χώρο, αντί να τον χωρίζει σε ομοιόμορφες ζώνες μεγάλης κλίμακας. Το FDS χωρίζει το χώρο σε πολύ μικρούς όγκους, κατά επιλογή του χρήστη, και λύνει αριθμητικά τις εξισώσεις Navier-Stokes, οι οποίες περιγράφουν την κίνηση των ρευστών, προσαρμοσμένες για θερμικά υποκινούμενες ροές με χαμηλές ταχύτητες. Η έμφαση δίνεται στη εύρεση αποτελεσμάτων, σχετικών με τη μεταφορά θερμότητας και καπνού από τη φωτιά, μέσω των υπολογισμών μεταφορά μάζας, ορμής και ενέργειας από και προς τους στοιχειώδεις όγκους. Αυτός ο κατακερματισμός του χώρου, δίνει τη δυνατότητα μέτρησης παραμέτρων στα σημεία ενδιαφέροντος, για οποιαδήποτε χρονική στιγμή της προσομοίωσης. Για τον υπολογισμό του χρόνου εκκένωσης, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα EVACNET4³⁶. Μέσω ενός αλγόριθμου, ροής σε δίκτυο

με σταθμούς συγκεκριμένης χωρητικότητας και με διαμεταφορά, δηλαδή με ενδιάμεσους σταθμούς, αυτό το πρόγραμμα βελτιστοποιεί τη ροή των ενοίκων προς τις εξόδους. Ο χρήστης πρέπει να ορίσει το αρχικό φορτίο ενοίκων, τις θέσεις τους, την ταχύτητά τους, τα πλάτη των διαδρομών και τα χαρακτηριστικά της ροής. Καθώς το πρόγραμμα υπολογίζει τους ελάχιστους χρόνους εκκένωσης, οι σχεδιαστές έκαναν χρήση χειρότερων συνθηκών, προσθέτοντας έτσι κάποιο επίπεδο ασφάλειας στους υπολογισμούς. Από τα προβλεπόμενα, αύξησαν το αρχικό φορτίο των ενοίκων, μείωσαν την ταχύτητα μετακίνησης, μεγάλωσαν τις διαδρομές, μείωσαν τις εξόδους, υποθέτοντας ότι η μεγαλύτερη έξοδος είναι μπλοκαρισμένη, αύξησαν το χρόνο εκκίνησης της εκκένωσης και αφαίρεσαν κάποιες σκάλες. Επιπλέον, προσέθεσαν ένα ποσοστό ασφάλειας 50% στα αποτελέσματα, για να καλύψουν την αβεβαιότητα του μοντέλου. Επίσης, πρόσθεσαν ακόμα τρία λεπτά χρόνο ως καθυστέρηση μεταξύ του συναγερμού και της αντίδρασης των ενοίκων, με βάση τους τυπικούς χρόνους καθυστέρησης έναρξης εκκένωσης και του χρόνου ενεργοποίησης του συναγερμού καπνού. Τα αποτελέσματα από τα δύο μοντέλα συγκρίθηκαν με τα κρίσιμα επίπεδα των επιλεγμένων κριτηρίων αξιολόγησης. Τα κρίσιμα επίπεδα επιλέχθηκαν βάσει του *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*³⁷, έτσι ώστε να μπορεί ο ένοικος να αντέξει για τριάντα λεπτά, δηλαδή τον μέγιστο πιθανό χρόνο εξόδου, με τις προσαυξήσεις ασφάλειας. Σε περίπτωση, όμως, που οι τιμές ξεπερνούσαν τα όρια αυτά, έστω και για ένα δευτερόλεπτο, τότε η περιοχή χαρακτηρίζοντας αυτόματα μη βιώσιμη.



Σχήμα 8. Γραφική αναπαράσταση της προσομοίωσης της πυρκαγιάς από το FDS.

5.3 Αποτελέσματα και προτάσεις.

Η επιλογή των σεναρίων πυρκαγιάς (βήμα 5^ο) προέκυψε από τα οκτώ προτεινόμενα σενάρια από το *Life Safety Code* του 2000 ³¹, και κάποια επιπλέον σενάρια που αφορούσαν πυρκαγιές σε χώρους εκθέσεων. Η έμφαση στα συγκεκριμένα, προέκυψε από προκαταρκτικούς υπολογισμούς σχετικά με τα αναμενόμενα θερμικά φορτία, την πυκνότητα των επισκεπτών, την αποτελεσματικότητα του συστήματος καταιονισμού, την αποτελεσματικότητα της ανίχνευσης καπνού και της δομικής πυροπροστασίας (πυροδιαχωρισμοί). Στα χαρακτηριστικά του αναμενόμενου καύσιμου φορτίου, συνυπολογίστηκαν οι περιορισμοί των εύφλεκτων υλικών που εφαρμόζει το SI. Κάθε σενάριο πυρκαγιάς εμπεριείχε πολλαπλά «πακέτα» καύσιμων υλικών, διασκορπισμένα στο χώρο, αναλόγως του σεναρίου. Ένα τυπικό πακέτο, κατείχε χαρακτηριστική χρονική καμπύλη ανάπτυξης της φωτιάς όμοια με αυτή ενός καναπέ με μέγιστο ρυθμό έκλυσης ενέργειας 3,1 MW. Η επίδραση του συστήματος καταιονισμού, συνυπολογίστηκε ξεχωριστά για τα ίδια σενάρια, κάνοντας χρήση των χειρότερων πιθανών καμπυλών ανάπτυξης της φωτιάς, και της σταθεροποίησης του ρυθμού έκλυσης ενέργειας καθ' όλη την διάρκεια της προσομοίωσης στην τιμή που είχε όταν ενεργοποιήθηκε το σύστημα καταιονισμού. Για κάποια σενάρια αυτή η τιμή έφτανε τα 4,8 MW. Όπως είναι φανερό, οι σχεδιαστές χρησιμοποίησαν πολλές συντηρητικές παραδοχές, δηλαδή παραδοχές που προσθέτουν επιπλέον ασφάλεια, για να καλύψουν τις αβεβαιότητες που εμπεριέχουν τα μοντέλα, καθώς και για την απλοποίηση των μοντέλων και των σεναρίων. Τα αποτελέσματα από όλα τα σενάρια, έδειξαν ότι σε καμία χρονική στιγμή κατά τη διάρκεια του απαραίτητου χρόνου εκκένωσης και σε κανένα σημείο του δεν πλησιάστηκαν τα κρίσιμα όρια θερμοκρασίας, συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα και ορατότητας. Παρόλα αυτά, οι σχεδιαστές πρότειναν κάποιες βελτιώσεις, όπως: καταιονητήρες ταχείας απόκρισης για όλο το κτήριο, μέτρα παθητικής πυροπροστασίας διαχωρισμού των εκθέσεων από τους υπόλοιπους χώρους, έξι πρόσθετες σκάλες από τον δεύτερο όροφο, καθώς και οδηγίες για τον περιορισμό της πυροθερμικής υπερφόρτωσης, με καύσιμα, των χώρων των εκθέσεων.

Στον πίνακα 2, παρουσιάζονται ως παράδειγμα μερικά αποτελέσματα για ένα από τα πιθανά σενάρια πυρκαγιάς, στο οποίο η μεγαλύτερη έξοδος είναι μπλοκαρισμένη και ο μέγιστος ρυθμός έκλυσης ενέργειας είναι 7,5 MW. Τα αποτελέσματα αντιπροσωπεύουν τις εικονικές μετρήσεις από το FDS σε έξι τοποθεσίες κατά τη χρονική στιγμή που εξέρχεται και ο τελευταίος επισκέπτης. Όλα είναι πολύ κάτω από τα, ήδη συντηρητικά, κρίσιμα όρια. Τέλος, μπορεί κάποιος να δει με σκεπτικισμό κάποιο κομμάτι της συγκεκριμένης μελέτης, όπως για παράδειγμα την επιλογή ενός μοντέλου

εκκένωσης με εγγενή την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής. Όμως, πρέπει να τονιστεί ότι τα τελικά σχέδια ενός σχεδιασμού πυροπροστασίας βάσει απόδοσης περνάν από αξιολόγηση από ομότιμους και από άλλες αρμόδιες επιτροπές πριν την έγκριση. Αυτό που φαίνεται ξεκάθαρα από αυτό το παράδειγμα είναι το πώς ο σχεδιασμός βάσει απόδοσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξεύρεση λύσεων σε περιπτώσεις που ο κώδικας κανονισμών δεν μπορεί να εφαρμοστεί, το πόσες δυνατότητες έχει ήδη, και το πόσες ακόμα μπορεί να αποκτήσει με την εξέλιξη των μοντέλων και της τεχνολογίας, αλλά και το πόσο εύκολα μπορεί να χρησιμοποιηθεί λανθασμένα από μη κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό.

Μέτρηση \ Θέση	Μπαλκόνι 2^ο ορ.	Έκθεση 1^ο ορ.	Ροτόντα	Έξοδος 1	Έξοδος 2	Έξοδος 3
Χρόνος τελευταίου εξελθόντα	14,8	20,8	13,5	21,5	21,8	20,9
Θερμοκρασία (C°)	32	36,7	30,5	31	35,9	35,5
Κρίσιμη θερμοκρασία (C°)	65					
Συγκέντρωση CO (ppm)	127	106	100	100	106	103
Κρίσιμη συγκ. CO (ppm)	950					
Ορατότητα (m)	70	95	120	94	92	90
Κρίσιμη ορατότητα (m)	10					

Πίνακας 2. Αποτελέσματα για ένα σενάριο πυρκαγιάς ισχύος 7,5 MW.

6. Εκπαίδευση ΜΠ στις ΗΠΑ.

6.1 Η ανάπτυξη της εκπαίδευσης των μηχανικών πυροπροστασίας.

Ένας μηχανικός καλείται να σχεδιάσει τις βέλτιστες λύσεις, για κάποια πρακτικά και ειδικά προβλήματα του κόσμου, κάνοντας χρήση επιστημονικών και τεχνικών γνώσεων και μεθόδων. Τα προβλήματα αυτά προκύπτουν από τις ανάγκες που δημιουργούνται καθώς εξελίσσονται οι πολιτισμοί. Οι ειδικοί κλάδοι της *μηχανικής* προκύπτουν από την ανάγκη λύσης ειδικών τεχνικών προβλημάτων. Στο σύγχρονο πολιτισμό, τις ανάγκες αυτές τις κρίνει κυρίως το σύστημα της αγοράς, το οποίο είναι βασισμένο στη διαρκή ανάπτυξη. Καθώς η τεχνολογία αναπτύσσεται και εξειδικεύεται διαρκώς, δημιουργούνται νέες ανάγκες, νέα προβλήματα και νέες ειδικότητες *μηχανικής*. Οι τομείς των αρχιτεκτόνων, των πολιτικών, των ναυπηγών και των μηχανολόγων, πιθανότατα να υπήρχαν, υπό την μια ή την άλλη μορφή, από τα αρχαία χρόνια. Στο τέλος του 19^{ου} αιώνα, εμφανίστηκε ο κλάδος των ηλεκτρολόγων μηχανικών με σκοπό την εκμετάλλευση και τη διάδοση της ηλεκτρικής ενέργειας. Ακολουθώντας ανάλογες ανάγκες, έχουν επίσης δημιουργηθεί πολλοί άλλοι παγκοσμίως αναγνωρισμένοι κλάδοι, όπως η *μηχανική* αεροναυπηγικής, αεροδιαστημικής, πυρηνικών, βιοιατρικής, κατασκευαστικής, περιβάλλοντος, παραγωγής, διοίκησης, γεωλογίας κ.α. Ο κορμός της εκπαίδευσης όλων των μηχανικών είναι κοινός, αλλά κάθε ειδικότητα ασχολείται με διαφορετικά προβλήματα. Κατά την επίσημη εκπαίδευση, αυτό συνεπάγεται την προσαρμογή των γενικών γνώσεων και την έμφαση σε ειδικές μεθόδους για την επίλυση συγκεκριμένων προβλημάτων. Το πρόβλημα των πυρκαγιών υπήρχε πάντοτε, όμως αντιμετωπιζόταν σποραδικά. Μετά τη μεγάλη πυρκαγιά της Ρώμης, το 64 μΧ, ο Νέρωνας εισήγαγε νομοθεσία για τη χρήση πυρίμαχων υλικών στους εξωτερικούς τοίχους των κτηριακών κατασκευών³⁸. Μετά τη Μεγάλη Πυρκαγιά του Λονδίνου, η οποία έκαψε το 80% της πόλης το 1666, δημιουργήθηκε νομοθεσία που προσδιόριζε τα κατάλληλα υλικά για κτηριακές κατασκευές και επέβαλε πυρίμαχους διαχωρισμούς. Όμως, το πρόβλημα άρχισε να αντιμετωπίζεται μεθοδικά, όταν ο κλάδος της *ΜΠ* αναπτύχθηκε στις αρχές του προηγούμενου αιώνα. Σε αυτό, συνέβαλαν τα μέγιστα κάποιες ασφαλιστικές εταιρίες, όπως η Factory Mutual και η Factory Insurance Association, που στόχο είχαν την ελαχιστοποίηση των εξόδων τους, μέσω της βελτίωσης της προστασίας των ασφαλισμένων περιουσιών. Δια μέσου των ασφαλιστικών εταιριών, η πρώτη επίσημη σχολή εκπαίδευσης *ΜΠ* στις ΗΠΑ ιδρύθηκε το 1903 στο ίδρυμα που ονομάζεται σήμερα Illinois Institute of Technology. Αυτή η σχολή είχε διάρκεια 82 ετών και παρήγαγε περίπου χίλιους ΜΠ.

Όμως, η πραγματική ανάδειξη της *MΠ* ως αναγνωρισμένου και ξεχωριστού κλάδου *μηχανικής*, ήρθε στο δεύτερο μισό του 20ού αιώνα, ακολουθώντας τις ραγδαίες εξελίξεις στον τομέα της επιστήμης τη φωτιάς. Το πρώτο αναγνωρισμένο προπτυχιακό πρόγραμμα *MΠ* στις ΗΠΑ ιδρύθηκε στο University of Maryland το 1956. Το πρώτο μεταπτυχιακό πρόγραμμα *MΠ* ιδρύθηκε στο University of Edinburgh το 1973. Ακολούθησε η δημιουργία του πρώτου μεταπτυχιακού προγράμματος *MΠ* των ΗΠΑ στο Worcester Polytechnic Institute, το 1979. Σύμφωνα με το SFPE^{6,39}, αυτή τη στιγμή υπάρχουν συνολικά λιγότερα από δεκαπέντε πολυτεχνικές σχολές που παρέχουν προγράμματα εκπαίδευσης αμιγώς στο τομέα των *MΠ*, σε ολόκληρο τον κόσμο: συγκεκριμένα σε Καναδά, Σουηδία, Σκωτία, Αγγλία, Ρωσία, Ιαπωνία, Κίνα, Βέλγιο, Β. Ιρλανδία, Νορβηγία, Χονγκ Κόνγκ, Αυστραλία και ΗΠΑ. Βεβαίως, υπάρχουν και αρκετές σχολές που προσφέρουν απλά κάποια μαθήματα πάνω στο αντικείμενο, όπως για παράδειγμα κάνουν παραδοσιακά πολλές σχολές μηχανικών στην Ιαπωνία. Όπως υπάρχουν και πολλές σχολές, οι οποίες ασχολούνται με το αντικείμενο στο τομέα της έρευνας, όπως συμβαίνει στα φημισμένα University of California, Berkeley και Massachusetts Institute of Technology. Οι μεγαλύτερες πρόοδοι στην ανάπτυξη της επιστήμης της φωτιάς επετεύχθησαν στα κέντρα έρευνας των ΗΠΑ, της Ιαπωνίας, της Ρωσίας, της Σουηδίας, της Αγγλίας και της Σκωτίας, οι οποίες είναι οι παραδοσιακές δυνάμεις στο χώρο.

Για τη συγκεκριμένη εργασία, επιλέχθηκε ως αντιπροσωπευτική η παρουσίαση δύο προγραμμάτων σπουδών από τις ΗΠΑ: α) του αναγνωρισμένου από το ABET, 4ετούς διάρκειας φοίτησης, προπτυχιακού προγράμματος, που οδηγεί σε τίτλο «Bachelor of Science in Fire Protection Engineering», το οποίο προσφέρεται από το Department of Fire Protection Engineering, School of Engineering του University of Maryland (College Park, Maryland), και β) του 2ετούς διάρκειας φοίτησης, μεταπτυχιακού προγράμματος, που οδηγεί σε τίτλο «Master of Science in Fire Protection Engineering», το οποίο προσφέρεται από το Department of Fire Protection Engineering του Worcester Polytechnic Institute (Worcester, Massachusetts). Περιγράφονται, επίσης το αντίστοιχο μεταπτυχιακό πρόγραμμα του UMD, και το αναγνωρισμένο από το ABET, συνδυασμένο πρόγραμμα του WPI, το οποίο οδηγεί σε προπτυχιακό τίτλο B.S. είτε ηλεκτρολόγων, είτε μηχανολόγων, είτε χημικών, είτε πολιτικών μηχανικών, και ταυτόχρονα σε τίτλο M.S. *MΠ*.

6.2 Γενικά χαρακτηριστικά των UMD και WPI.

6.2.1 Η αναγνώριση από το Accreditation Board for Engineering and Technology.

Ένας από τους λόγους, για τους οποίους επιλέχθηκαν για παρουσίαση δύο εκπαιδευτικά ιδρύματα των ΗΠΑ, είναι η σχετικά μεγαλύτερη διαθεσιμότητα επαρκών πληροφοριών, σε σχέση με άλλες σχολές και χώρες. Όμως, ο σημαντικότερος λόγος είναι ότι πρόκειται για δύο από τις σημαντικότερες σχολές του τομέα σε παγκόσμιο επίπεδο, μαζί με το University of Edinburgh της Σκωτίας και το Lund University της Σουηδίας, και ότι η συγκεκριμένη χώρα είναι γνωστό ότι διαθέτει αρκετά πανεπιστήμια υψηλού επιπέδου. Επίσης, είναι οι μοναδικές σχολές του είδους, αναγνωρισμένες από το ABET, μέσω των προπτυχιακών προγραμμάτων τους. Το ABET, η επίσημη αρχή αναγνώρισης επιστημονικών και τεχνολογικών προγραμμάτων σπουδών, είναι ένας ανεξάρτητος μη κερδοσκοπικός οργανισμός, ο οποίος δημιουργήθηκε από τους σχετικούς επαγγελματικούς συλλόγους μηχανικών, και έχει ως σκοπό την προαγωγή της τεχνολογικής εκπαίδευσης στις ΗΠΑ. Μια από τις πολλές λειτουργίες του, είναι η παροχή συμβουλευτικής βοήθειας, η επιτήρηση, η αξιολόγηση και η πιστοποίηση προγραμμάτων σπουδών. Για να εγγυηθεί ένα πρόγραμμα σπουδών, το αξιολογεί κατά τακτά χρονικά διαστήματα με βάση κάποια κριτήρια. Στην περιγραφή των μαθημάτων που γίνεται στο τρίτο κεφάλαιο, κάποια από αυτά τα κριτήρια εμφανίζονται ως εκπαιδευτικοί στόχοι, ακριβώς λόγω της εναρμόνισης με την συγκεκριμένη διαδικασία. Η γενική περιγραφή δύο εκ των κριτηρίων αξιολόγησης τα οποία σχετίζονται με την παρούσα εργασία, ως μέρος της μελέτης ενός πιστοποιημένου προγράμματος σπουδών ΜΠ, είναι ⁴⁰:

- Ένα πρόγραμμα *μηχανικής* πρέπει να επιδεικνύει ότι οι φοιτητές του αποκτούν: α) την ικανότητα να εφαρμόζουν γνώσεις μαθηματικών, επιστημών και *μηχανικής*, β) την ικανότητα να σχεδιάζουν και να διεξάγουν πειράματα, καθώς και να αναλύουν και να ερμηνεύουν τα αποτελέσματα, γ) την ικανότητα να σχεδιάζουν ένα σύστημα, ένα στοιχείο ή μια διεργασία που να καλύπτει συγκεκριμένες απαιτήσεις με ρεαλιστικούς περιορισμούς (οικονομικούς, περιβαλλοντικούς, δυνατότητας παραγωγής, κοινωνικούς, πολιτικούς, ηθικούς, ασφαλείας και βιωσιμότητας), δ) την ικανότητα να λειτουργούν μέσα σε διεπιστημονικές ομάδες, ε) την ικανότητα να προσδιορίζουν, να διατυπώνουν και να λύνουν προβλήματα *μηχανικής*, ζ) την κατανόηση των επαγγελματικών και ηθικών ευθυνών, η) την ικανότητα να επικοινωνούν τις γνώσεις τους αποτελεσματικά, θ) την γενική παιδεία που είναι απαραίτητη για την κατανόηση των επιπτώσεων των λύσεων *μηχανικής* μέσα στο

γενικό οικονομικό, περιβαλλοντικό και κοινωνικό πλαίσιο, ι) την αναγνώριση της ανάγκης για τη δια βίου εκπαίδευση και την ικανότητα της πρόσβασης σε αυτή, κ) την γνώση επίκαιρων ζητημάτων του τομέα, λ) την ικανότητα της χρήσης των τεχνικών, των δεξιοτήτων και των σύγχρονων εργαλείων που είναι απαραίτητα για την εφαρμογή της *μηχανικής*. Αυτά τα κριτήρια πρέπει να αποτελούν μέρος των στόχων ενός τμήματος.

- Οι καθηγητές πρέπει να εξασφαλίζουν ότι τα μαθήματα του προγράμματος σπουδών αφιερώνουν αρκετό χρόνο και προσοχή σε κάθε κομμάτι των στόχων. Ο κορμός του προγράμματος σπουδών πρέπει να περιλαμβάνει: α) μαθήματα μαθηματικών και βασικών επιστημών (με εργαστήρια) πανεπιστημιακού επιπέδου και κατάλληλα για την ειδικότητα, β) μαθήματα επιστημών και σχεδιασμού *μηχανικής*, σχετικών με την ειδικότητα, καθώς αυτά τα μαθήματα στηρίζονται στα μαθηματικά και τις επιστήμες, προωθούν την επινοητικότητα στις εφαρμογές και λειτουργούν ως γεφύρωμα μεταξύ των επιστημών και της πρακτικής *μηχανικής* σε μια διαδικασία λήψεως αποφάσεων, στην οποία συνδυάζονται όλα τα αντικείμενα και χρησιμοποιούνται τα κατάλληλα μέσα για να ικανοποιηθούν με τον βέλτιστο τρόπο κάποιες σχεδιαστικές ανάγκες, γ) μαθήματα γενικής παιδείας που να συμπληρώνουν το τεχνικό μέρος του προγράμματος σπουδών και συνάδουν με του στόχους, δ) μια μείζονα πτυχιακή εργασία σχεδιασμού, βασισμένη στις γνώσεις και στην εμπειρία που αποκτήθηκαν μέσα από το πρόγραμμα σπουδών, η οποία να περιέχει το κατάλληλο επίπεδο *μηχανικής* και να συμπεριλαμβάνει πολλαπλούς ρεαλιστικούς περιορισμούς.

Αυτή είναι η γενική περιγραφή μερικών από τα πολλά κριτήρια, τα οποία πρέπει τηρεί ένα πρόγραμμα σπουδών για να λάβει την πιστοποίηση ABET. Επιπλέον λεπτομέρειες και απαιτήσεις προστίθενται από τους επί μέρους επαγγελματικούς συλλόγους. Τα παραπάνω γίνονται, για να τηρείται από τα ανώτατα ιδρύματα ένα ελάχιστο επίπεδο εκπαίδευσης. Είναι γεγονός, ότι οι σημαντικές σχολές *μηχανικής* της χώρας τυγχάνουν παγκόσμιας εκτίμησης, διότι διαθέτουν συγκεκριμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Σε ότι αφορά την παρούσα εργασία, τα σημαντικότερα είναι η έμφαση στην έρευνα, τις εφαρμογές και το σχεδιασμό. Τα προγράμματα *μηχανικής* είναι 4ετούς διάρκειας προπτυχιακής φοίτησης, 2ετούς μεταπτυχιακής φοίτησης και πολυετούς διδακτορικής φοίτησης (4+). Επίσης, αξίζει να διευκρινιστεί ότι η δομή ενός πανεπιστημίου των ΗΠΑ έχει κατά κανόνα ως εξής: ένα university (πανεπιστήμιο) αποτελείται από πολλά colleges (κολλέγια), τα οποία αποτελούνται από διάφορα departments (τμήματα). Δηλαδή, ένα πανεπιστήμιο μπορεί να αποτελείται από κολλέγια επιστημών, καλών τεχνών, *μηχανικής*, διοίκησης, επικοινωνιών, νομικής, ιατρικής κτλ.

Κάποια από αυτά, όπως τα κολέγια νομικής και ιατρικής, προσφέρουν μόνο μεταπτυχιακά προγράμματα. Με τη σειρά του, ένα κολλέγιο/σχολή *μηχανικής*, δηλαδή ένα πολυτεχνείο, αποτελείται από τμήματα μηχανολογίας, ηλεκτρολογίας, πολιτικών, βιοϊατρικών και άλλων ειδικοτήτων. Τέλος, μπορεί ένα ανώτατο ακαδημαϊκό ίδρυμα, συνήθως ονομαζόμενο college ή institute, να λειτουργεί σε μικρότερη κλίμακα από ένα university, και να αποτελείται απλά από λιγότερες σχολές (π.χ. M.I.T., W.P.I.). Με άλλα λόγια, η διαφορά μεταξύ των όρων πανεπιστημίου, κολεγίου, ιδρύματος και σχολής έγκειται στο μέγεθος και όχι στο επίπεδο του ιδρύματος.

6.2.3 Στατιστικά στοιχεία για το UMD και το WPI.

Παρόλο που με το αντικείμενο της *MPI*, έχουν κατά καιρούς ασχοληθεί, και σε κάποια συνεχίζουν να ασχολούνται, καθηγητές από τα κορυφαία πανεπιστήμια των ΗΠΑ (Harvard, MIT, Berkeley), τα ολοκληρωμένα προγράμματα σπουδών *MPI* είναι μικρά και διατηρούνται σε λίγα πανεπιστήμια. Το κορυφαίο εξ αυτών, είναι το University of Maryland (έτος ίδρυσης 1856), το οποίο αξιολογήθηκε ως πεντηκοστό τρίτο στην εθνική κατάταξη πανεπιστημίων, εικοστό δεύτερο στην εθνική κατάταξη πολυτεχνικών σχολών, και ένατο στην εθνική κατάταξη δημοσίων πολυτεχνικών σχολών, σύμφωνα με το US News and World Report Rankings του 2010 ⁴¹. Επίσης, ψηλά σε εκτίμηση είναι το Worcester Polytechnic Institute (έτος ίδρυσης 1865), το οποίο βρίσκεται στην εξηκοστή όγδοη θέση στην εθνική κατάταξη πανεπιστημίων και στην πεντηκοστή πρώτη στην εθνική κατάταξη πολυτεχνικών σχολών, αντιστοίχως. Παρόμοια αποτελέσματα, για τα δύο πανεπιστήμια συναντώνται και σε άλλες αξιολογήσεις. Όπως είναι φυσικό, σε αυτές τις αξιολογήσεις χρησιμοποιούνται μια σειρά από κριτήρια, διαφορετικά για την κάθε μια, και δεν είναι δυνατόν να αποδώσουν με ακρίβεια την πραγματικότητα, παρά μόνο να μεταφέρουν μια γενική εικόνα. Ένα καλό ενδεικτικό στοιχείο ποιότητας, είναι η χρηματοδότηση που απορροφούν τα πανεπιστήμια για έρευνα. Το 2009 το UMD απορρόφησε \$519 εκ. σε κονδύλια για έρευνα, το ένα τρίτο εκ των οποίων ήταν για έρευνα στον τομέα της *μηχανικής*, ένα ποσό που αναλογεί σε \$650.000 ανά καθηγητή ανά έτος⁴². Το 2008, το UMD ήταν στην εθνική κατάταξη πανεπιστημίων: 44^ο στην απορρόφηση κονδυλίων για έρευνα, 47^ο στα βραβεία καθηγητών, 39^ο σε αριθμό καθηγητών μελών της National Academy, 52^ο σε εθνικά αριστεία φοιτητών, 94^ο στη βαθμολογία γενικών εξετάσεων εισαγωγής, και 14^ο σε αποφοίτηση διδακτορικών. Για την ίδια περίοδο το WPI ήταν: 145^ο σε εθνικά αριστεία φοιτητών, 83^ο στη βαθμολογία γενικών εξετάσεων εισαγωγής, και 156^ο σε μέλη της National Academy. Φυσικά, κάποιες από τις θέσεις αυτές, σχετίζονται και με το μέγεθος των δύο πανεπιστημίων. Το UMD έχει περίπου 37.000 φοιτητές και 4.000 καθηγητές (~ 9:1), ενώ το WPI έχει

συνολικά περίπου 4.600 φοιτητές και 365 καθηγητές (~ 12.5:1), ενώ έχει αξιολογηθεί ως το κορυφαίο στη χώρα στην αποδοτικότητα στη διδασκαλία⁴³. Τα δίδακτρα για το δημόσιο UMD είναι \$8.000 για κάτοικους της πολιτείας, και \$24.000 για τους υπόλοιπους, ενώ τα δίδακτρα για το ιδιωτικό WPI είναι περίπου \$37.000 ετησίως. Τα στατιστικά αυτά απλά μεταφέρουν μια γενική εικόνα. Η αλήθεια είναι, ότι τα υπάρχοντα τμήματα *MPI*, επιβιώνουν υπό αντίξοες συνθήκες, καθώς ο τομέας δεν έχει ακόμα την προσοχή και την αναγνώριση που του αρμόζει. Η πραγματική αξία των δύο τμημάτων έγκειται στο ότι, ενώ είναι πολύ μικρά, στέκονται ως σημαιοφόρα στο τομέα, συμβάλλοντας τα μέγιστα στην ανάπτυξή του, καταφέρνουν να διατηρούνται σε υψηλό επίπεδο μέσα σε καλά πανεπιστήμια, να προσελκύουν διακεκριμένο διδακτικό προσωπικό, δυνατούς φοιτητές, αρκετά χρήματα για έρευνα και το ενδιαφέρον της κοινωνίας και της αγοράς. Δεν είναι τυχαίο ότι όλοι οι φοιτητές των δύο προγραμμάτων *MPI* απορροφούνται άμεσα από την αγορά σε σχετικές θέσεις^{25,44,45}.

7. Βιβλιογραφία (Κεφάλαιο Πρώτο):

- 1) Wellman CH, Gray J. The microfossil record of old plants. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2000; 355.
- 2) Bowman DM, Balch JK, Artaxo P. Fire in the Earth system. *Science.* 2009; 324.
- 3) Παπαϊωάννου ΚΚ. *Εισαγωγή στην πυροπροστασία των κατασκευών.* Εκδόσεις Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 1986.
- 4) Πλάτων. *Πρωταγόρας.* Εκδόσεις Κάκτος, Αθήνα, 1993.
- 5) Ευαγγέλου Ι, Γκίκας Σ. *Προσωκρατικοί φιλόσοφοι.* Εκδόσεις Σαββάλας, Αθήνα, 1995.
- 6) Nolan DP. *Encyclopedia of Fire Protection.* Delmar Cengage Learning, Albany, NY, 2006.
- 7) Quintiere JG. *Fundamentals of Fire Phenomena.* John Wiley & Sons, West Sussex, U.K., 2006.
- 8) Quintiere JG. *Principles of Fire Behavior.* Delmar Cengage Learning, Albany, NY, 1998.
- 9) United States Fire Administration. *America Burning: The Report of the National Commission on Fire Prevention and Control.* US Independent Agencies and Commissions, 2003.
- 10) Emmons HW. *Fire Research Abstracts and Reviews 10.* 1968; 2.
- 11) NIST. *Final Report of the National Construction Safety Team on the Collapses of the World Trade Center Towers.* U.S. Department of Commerce, 2005.
Διαθέσιμο στο: <http://wtc.nist.gov/pubs>
- 12) Αποστολάτος Μ. (Προσωπική επικοινωνία). Τμήμα Στατιστικής. Διεύθυνση Πληροφορικής-Επικοινωνιών. Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος Ελλάδας, 2010.
- 13) Ελληνική Στατιστική Αρχή. *Βουλή των Ελλήνων,* 2009.
Διαθέσιμο στο: <http://www.statistics.gr>
- 14) National Fire Data Center. *Fire Statistics, National.* U.S. Fire Administration. Department of Homeland Security's Federal Emergency Management Agency, 2010.
Διαθέσιμο στο: <http://www.usfa.dhs.gov/statistics/national>
- 15) National Fire Data Center. *Fire Statistics, National, All Structure Fires..* U.S. Fire Administration. Department of Homeland Security's Federal Emergency Management Agency, 2010.
Διαθέσιμο στο: http://www.usfa.dhs.gov/statistics/national/all_structures.shtm
- 16) USFA, National Fire Data Center. *All Structure Fires in 2000.* Topical Fire Research Series. 2004; v.3, 8.

- Διαθέσιμο στο: <http://www.usfa.dhs.gov/downloads/pdf/tfrs/v3i8.pdf>
- 17) USFA, National Fire Data Center. *Fire in the United States 1992-2001*. Department of Homeland Security. Federal Emergency Management Agency, 2004.
Διαθέσιμο στο: <http://www.usfa.dhs.gov/downloads/pdf/publications/fa-286.pdf>
- 18) USFA, National Fire Data Center. *Residential Building Electrical Fires*. Topical Fire Research Series. 2008; v.8, 2.
Διαθέσιμο στο: <http://www.usfa.dhs.gov/downloads/pdf/tfrs/v8i2.pdf>
- 19) USFA, National Fire Data Center. *2000 Wildland Fire Season*. Topical Fire Research Series. 2000; v.1, 2.
Διαθέσιμο στο: <http://www.usfa.dhs.gov/downloads/pdf/tfrs/v1i2-508.pdf>
- 20) USFA, National Fire Data Center. *Lighting Fires*. Topical Fire Research Series. 2001; v.2, 6.
Διαθέσιμο στο: <http://www.usfa.dhs.gov/downloads/pdf/tfrs/v2i6-508.pdf>
- 21) National Fire Data Center. *Socioeconomic Factors and the incidence of Fire*. U.S. Fire Administration. Department of Homeland Security's Federal Emergency Management Agency, 1997.
Διαθέσιμο στο: <http://www.usfa.dhs.gov/downloads/pdf/publications/socio.pdf>
- 22) USFA, National Fire Data Center. *Fire in the United States 2003-2007*. Department of Homeland Security. Federal Emergency Management Agency, 2009.
Διαθέσιμο στο: http://www.usfa.dhs.gov/downloads/pdf/publications/fa_325.pdf
- 23) Lataille JI. *Fire Protection Engineering in Building Design*. Butterworth-Heinemann, 2002.
- 24) Harley M. *Fire Protection Engineering*. Whole Building Design Guide. National Institute of Building Sciences, 2009.
Διαθέσιμο στο: http://www.wbdg.org/design/dd_fireprotecteng.php
- 25) Jelenewicz C. (Προσωπική επικοινωνία). *Engineering Manager*. Society of Fire Protection Engineers, 2010.
- 26) National Council of Examiners for Engineering and Surveying. *Model Law*. 2009.
Διαθέσιμο στο: <http://www.ncees.org/Documents/Public/Model%20Law.pdf>
- 27) National Council of Examiners for Engineering and Surveying. *FE Examination: Other Disciplines Exam Specifications*. 2010. Διαθέσιμο στο:
<http://www.ncees.org/Documents/Public/FE%20Other%20Apr%202010.pdf>
- 28) National Council of Examiners for Engineering and Surveying. *PE Examination: Fire Protection Exam Specifications*. 2004. Διαθέσιμο στο:
<http://www.ncees.org/Documents/Public/PE%20Fire%20Oct%202004.pdf>

- 29) Texas Board of Professional Engineers. Texas Engineering Practice Act and Rules Concerning the Practice of Engineering and Professional Engineering Licensure. The State of Texas, 2010.
Διαθέσιμο στο: http://www.tbpe.state.tx.us/downloads/law_rules061310.pdf
- 30) Society of Fire Protection Engineers. *2007 Profile of the Fire Protection Engineer*. 2007. Διαθέσιμο στο:
http://www.sfpe.org/upload/the_2007_sfpe_employment_survey_-_final.pdf
- 31) Coté R, Harrington GE (editors). *NFPA 101: Life Safety Code Handbook*. National Fire Protection Association, 2009.
- 32) Society of Fire Protection Engineers. *SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection Analysis and Design of Buildings*. National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2000.
- 33) Bowman, A. Performance-Based Analysis of an Historic Museum. *SFPE's Fire Protection Engineering*. 2000; 8.
Διαθέσιμο στο: http://www.fpemag.com/_pdf/archives/FPE_FALL_2000.pdf
- 34) The Smithsonian Institution: <http://www.si.edu/>
- 35) National Institute of Standards and Technology. *Fire Dynamics Simulator and Smokeview*: <http://www.fire.nist.gov/fds/>
- 36) Kisko T. *EVACNET4*. University of Florida, College of Engineering, Department of Industrial and Systems Engineering: <http://www.ise.ufl.edu/kisko/files/evacnet/>
- 37) DiNenno PJ, Drysdale D *et al.* (editors). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2002.
- 38) Richardson K. (editor). *History of Fire Protection Engineering*. National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2003.
- 39) SFPE. *Careers in Fire Protection Engineering*:
http://www.careersinfireprotectionengineering.com/pathways_highschool.htm
- 40) ABET. *Criteria for Accrediting Engineering Programs, 2010*. Διαθέσιμο στο:
http://www.abet.org/forms.shtml#For_Engineering_Programs_Only
- 41) U.S. News and World Report. *Best College Rankings 2010*:
<http://colleges.usnews.rankingsandreviews.com/best-colleges/national-universities-rankings>
- 42) The Center for Measuring University Performance. *The Top American Research Universities*. Arizona State University, 2009.
Διαθέσιμο στο: <http://mup.asu.edu/research2009.pdf>
- 43) National Survey of Student Engagement: <http://nsse.iub.edu/html/about.cfm> και
<http://www.wpi.edu/about/facts.html>

- 44) Milke JA. (Προσωπική επικοινωνία). Professor and Associate Chair. Department of Fire Protection Engineering. A. James Clark School of Engineering. University of Maryland, College Park, MD, 2010.
- 45) Lucht DA. (Προσωπική επικοινωνία). Adjunct Professor and Director Emeritus, Center for Firesafety Studies. Department of Fire Protection Engineering. Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA, 2010.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ:

Εισαγωγή στις Βασικές Αρχές του Φαινομένου της Φωτιάς.

1. Στόχος και σημειώσεις.

Ο στόχος του δεύτερου κεφαλαίου είναι η παρουσίαση μιας απλής γενικής εισαγωγής σε κάποιες από τις βασικές αρχές του φαινομένου της φωτιάς, ώστε ο αναγνώστης να έχει μια πρώτη εικόνα για το αντικείμενο και για κάποιες βασικές έννοιες του.

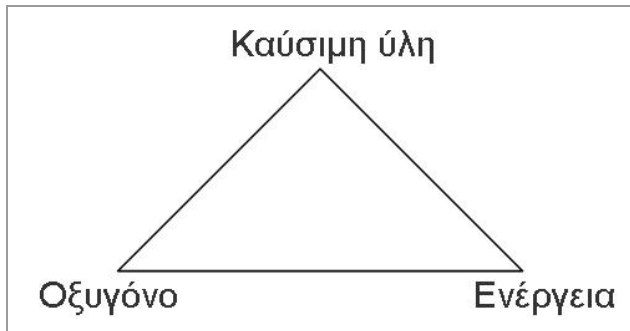
Η παρακάτω παρουσίαση, δεν στοχεύει στην αντιπροσώπευση του επίπεδου, στο οποίο βρίσκεται ο τομέας σήμερα, όσον αφορά στην έρευνα, στην εκπαίδευση και στις πρακτικές του επαγγέλματος. Ούτε, βεβαίως, καλύπτει το εύρος του φάσματος του αντικειμένου. Δεν κρίθηκε σκόπιμο, να επιχειρηθεί μια τέτοιου είδους εκτενής ανάλυση, είτε σε βάθος, με παρουσίαση προχωρημένων μαθηματικών αναλύσεων, σύγχρονων σχεδιαστικών πρακτικών και επίκαιρων ζητημάτων έρευνας, είτε σε εύρος, με παρουσίαση του συνόλου των αντικειμένων που απασχολούν τον κλάδο. Κάτι τέτοιο, απαιτεί μια σειρά από μελέτες. Ο καλύτερος οδηγός, για όποιον επιθυμεί να ενημερωθεί ενδελεχώς για το επίπεδο του τομέα σήμερα, είναι το *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*¹. Καθώς, το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η εκπαίδευση της ΜΠ, κρίθηκε χρήσιμη μια εισαγωγική παρουσίαση των βασικών αρχών του αντικειμένου που αποτελεί την βάση της επιστήμης της φωτιάς, της δυναμικής της φωτιάς. Άλλωστε, αυτό είναι το αντικείμενο που έχει αναγάγει τον τομέα της πυροπροστασίας, σε ξεχωριστό επιστημονικό πεδίο. Στο πρώτο κομμάτι (εν. 2-10), επιχειρείται μια γενική επισκόπηση των αρχών που σχετίζονται με την ανάφλεξη, το ρυθμό καύσης και την εξάπλωση της φωτιάς, η οποία είναι βασισμένη, κυρίως, στα βιβλία του Quintiere: *Principles of Fire Behavior*² και *Fundamentals of Fire Phenomena*³. Στο δεύτερο κομμάτι (εν. 11), αναλύονται με λίγο μεγαλύτερη λεπτομέρεια, τα φαινόμενα που σχετίζονται με την πλήρωση ενός δωματίου με καπνό, βάσει του βιβλίου του Karlsson: *Enclosure Fire Dynamics*⁴. Ο σκοπός της ανάλυσης, είναι να αναδείξει το γεγονός ότι ένας μηχανικός μπορεί, κάνοντας κάποιες εύστοχες παραδοχές, να αναπτύξει, με πρώτη ύλη κάποιες θεμελιώδεις επιστημονικές αρχές, απλές αναλυτικές εξισώσεις για την επίλυση προβλημάτων. Μέσω αυτής της διαδικασίας, γίνονται ευκολότερα κατανοητές, οι τεράστιες δυνατότητες των αναλύσεων μηχανικής στον τομέα της πυροπροστασίας, αλλά και των κινδύνων που υπάρχουν, για λανθασμένη εφαρμογή από κάποιον που δεν έχει την κατάλληλη εκπαίδευση.

2. Εισαγωγή.

2.1 Η φωτιά.

Η φωτιά, είναι μια σειρά από εξώθερμες χημικές αντιδράσεις οξειδωσης (καύσης), στην οποία συμμετέχει καύσιμη ύλη και οξειδωτικοί παράγοντες, και κατά την οποία εκλύεται ενέργεια αρκετά σημαντική, ώστε να είναι επιβλαβής για τον άνθρωπο σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Συνήθως, ένα μέρος της ενέργειας αυτής, η φλόγα, είναι υπό μορφή φωτός. Όμως, υπάρχουν και περιπτώσεις, στις οποίες δεν εκπέμπεται φωτεινή ακτινοβολία, όπως είναι η καύση υδρογόνου. Ο τυπικός οξειδωτικός παράγοντας στη γήινη ατμόσφαιρα είναι το οξυγόνο. Η πλειοψηφία των καυσίμων υλικών αποτελείται από άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο. Για την περίπτωση των πλαστικών, συμμετέχουν επίσης, το άζωτο, το χλώριο και το φθόριο. Η διαφοροποίηση της έννοιας της φωτιάς, από την αντίδραση της καύσης, είναι δύσκολο να οριστεί. Στον επιστημονικό χώρο, αντιμετωπίζονται ως ένα και το αυτό. Όμως, σε πρακτικό επίπεδο υπάρχει η σημαντική διαφορά, ότι στην περίπτωση της φωτιάς/πυρκαγιάς, δεν υπάρχει σκοπός και σχεδιασμός ελέγχου του φαινομένου. Ένα κριτήριο που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τον ορισμό της φωτιάς είναι ότι ο ρυθμός έκλυσης ενέργειας ανά μονάδα όγκου της αντίδρασης, πρέπει να είναι άνω του 1 MW/m^3 . Η ποσότητα αυτή, είναι ικανή να θερμάνει νερό κατά $1 \text{ }^\circ\text{C}$ ανά δευτερόλεπτο. Η πυκνότητα της εκλυόμενης ενέργειας φτάνει πολύ υψηλότερες τιμές, σε πυρκαγιές που διατηρούνται για μεγάλο χρονικό διάστημα· μεγέθη της τάξης των 10^7 MW/m^3 . Οι θερμοκρασίες στην ζώνη αντίδρασης, μπορεί να φτάσουν τους $2000 \text{ }^\circ\text{C}$ στην περίπτωση των υγρών καυσίμων, και τους $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ στην περίπτωση των στερεών.

Το τρίγωνο της φωτιάς, είναι μια έννοια που χρησιμοποιείται για την περιγραφή των διεργασιών του φαινομένου της φωτιάς. Όλα τα στοιχεία του τριγώνου είναι απαραίτητα για την ύπαρξη μιας φωτιάς (Σχήμα 1.1). Το πρώτο απαραίτητο στοιχείο είναι η καύσιμη ύλη. Κατά την καύση, η καύσιμη ύλη αντιδρά με ένα οξειδωτικό παράγοντα· συνήθως οξυγόνο. Η χημική αυτή αντίδραση, απελευθερώνει ενέργεια. Επίσης, δημιουργεί διάφορα χημικά παράγωγα. Από την ενέργεια αυτή, μεταφέρεται θερμότητα πίσω στην καύσιμη ύλη. Κατά αυτό τον τρόπο, συντηρούνται η θερμοκρασία που είναι απαραίτητη για την συνέχεια της αντίδρασης και η αεριοποίηση των καυσίμων. Η φωτιά, λοιπόν, μπορεί να αντιμετωπιστεί: είτε με την αφαίρεση των καυσίμων, είτε με την αφαίρεση του οξυγόνου, είτε με την μείωση της εκλυόμενης ενέργειας με πυρόσβεση ή με χρήση επιβραδυντικών υλικών.



Σχήμα 1.1. Το τρίγωνο της φωτιάς.

2.2 Κατηγορίες Φωτιάς

Η φωτιά διαχωρίζεται σε τέσσερα διαφορετικά φαινόμενα:

- 1) Τις φλόγες διάχυσης.
- 2) Την βραδεία καύση.
- 3) Την αυτοαναφλεξη.
- 4) Τις φλόγες προανάμιξης.

2.2.1 Φλόγες Διάχυσης.

Η φλόγες διάχυσης είναι η επικρατέστερη μορφή του φαινομένου της φωτιάς. Αντιπροσωπεύει τις φωτιές σε κτήρια και δάση, καθώς και πολλές από εκείνες, τις οποίες συναντάμε καθημερινά, όπως τη φλόγα ενός κεριού. Η φλόγα διάχυσης είναι η καύση κατά την οποία το καύσιμο αέριο και το οξυγόνο μεταφέρονται στη ζώνη της αντίδρασης μέσω διαχύσεως. Η διάχυση είναι ο φυσικός τρόπος μεταφοράς μάζας από μια υψηλή συγκέντρωση προς μια χαμηλή, λόγω τυχαίων μοριακών κινήσεων. Στην μόνιμη κατάσταση, διέπεται από το Νόμο του Fick:

$$J_A(x,t) = -D_A \frac{\partial C_A(x,t)}{\partial x} \quad \{\text{Σχέση 2.1}\},$$

Σύμφωνα με αυτόν, ο ρυθμός γραμμομοριακής διάχυσης J_A [$\frac{mol}{m^2 s}$] μιας ουσίας A, είναι ανάλογος με την βάρθρωση της συγκέντρωσης της ουσίας C_A και εξαρτάται από το συντελεστή διάχυσης της, D_A [$\frac{m^2}{s}$]. Το αρνητικό πρόσημο ορίζει τη ροή της μάζας,

από την υψηλή προς τη χαμηλή συγκέντρωση. Έτσι, σε μία φωτιά, το οξυγόνο του αέρα μεταφέρεται προς τη φωτιά, όπου συγκέντρωσή του φτάνει το μηδέν. Το ίδιο συμβαίνει και με την καύσιμη αέρια ύλη, η οποία διαχέεται στη ζώνη της αντίδρασης. Τα παράγωγα της φωτιάς, επίσης διαχέονται στο χώρο.

Οι περισσότερες φωτιές στη φύση emπίπτουν στην κατηγορία φλογών διάχυσης. Στην περίπτωση ενός κεριού, η φλόγα λειώνει το κερί. Λόγω του τριχοειδούς φαινομένου, το λιωμένο κερί μεταφέρεται ανοδικά, επάνω στο φυτίλι. Έπειτα, η φλόγα εξαερώνει το κερί. Το αέριο πλέον καύσιμο, διαχέεται μέσα στη φλόγα, όπου συναντά το οξυγόνο. Η φλόγα ενός κεριού, είναι ένα παράδειγμα στρωτής φλόγας διάχυσης, η οποία διέπεται καθαρά από τους νόμους της μοριακής διάχυσης. Στις φλόγες ψηλότερες των 30 cm, υπεισέρχονται φαινόμενα αστάθειας των ρευστών, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν τυρβώδη μορφή. Τα φαινόμενα αυτά, σχετίζονται, μεταξύ άλλων, με τη βαρύτητα. Οι υψηλές θερμοκρασίες που προκαλεί η φωτιά, ωθούν τα θερμά και ελαφρύτερα αέρια προς τα επάνω (άνωση). Λόγω αυτών των ροών, η φλόγα παραμορφώνεται και προκύπτουν, μακροπρόθεσμα, αστάθειες ροής. Ο μεγάλος ρόλος που παίζει η βαρύτητα στη συμπεριφορά της φωτιάς κάνει πολύ ενδιαφέρουσα, την έρευνα υπό συνθήκες μηδενικής βαρύτητας.

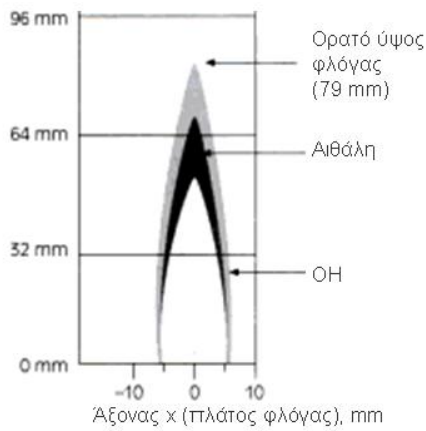
Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα πειράματα που έκανε ο Smyth^{5,6}, στα οποία εξετάζεται μια στρωτή φλόγα διάχυσης με χρήση μεθανίου (CH_4), ως καύσιμης ύλης. Οι μετρήσεις θερμοκρασίας, ταχύτητας και κατανομής της ύλης που έγιναν για ελεγχόμενη φλόγα ύψους 79 mm, ανέλυσαν την δομή της συγκεκριμένης φωτιάς. Οι μετρήσεις σε ύψος 9 mm, της φλόγας που αντιπροσωπεύεται στο Σχήμα 2A, αναδεικνύουν ότι η ζώνη της αντίδρασης καύσης εντοπίζεται στην περιοχή πλάτους 5 έως 7 mm, από το κέντρο του καυστήρα. Αυτό φαίνεται καθαρά, σε όλα τα διαγράμματα. Η θερμοκρασία (Σχήμα 2B), σε αυτή τη ζώνη φτάνει το μέγιστό της, περίπου 1700 °C. Μάλιστα, η πραγματική θερμοκρασία εκτιμάται στους 2000 °C, με τη διαφορά να οφείλεται στη παρεμβολή του θερμικού ζεύγους. Η θερμοκρασία προς το κέντρο της φλόγας, οφείλεται σε φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας με αγωγή, από τη ζώνη της αντίδρασης. Παρόμοια συμπεριφέρεται και η ταχύτητα της ύλης (Σχήμα 2Γ), η οποία φτάνει στο μέγιστό των 75 cm/s, στην ίδια περιοχή με τη θερμοκρασία, λόγω της άνωσης. Με χρήση οπτικών μεθόδων με λέιζερ, έγινε ανάλυση της κατανομής της ύλης και των παραγώγων, όπως η αιθάλη και οι ρίζες υδροξυλίου ($\text{OH}\cdot$). Οι ελεύθερες ρίζες, προκύπτουν ως ενδιάμεσα βραχύβια προϊόντα των αντιδράσεων της καύσης. Εντοπίζονται σχεδόν σε όλη τη φωτεινή ζώνη της αντίδρασης, αλλά και πέρα από αυτήν, στην πλευρά του αέρα. Η αιθάλη αποτελείται από μόρια άνθρακα, τα οποία προκύπτουν από τη διαδοχική

διάσπαση των υδρογονανθράκων του καυσίμου. Η παραγωγή αιθάλης στην ζώνη αντίδρασης ξεκινά από την πλευρά του καυσίμου. Καθώς τα μόρια άνθρακα προχωρούν προς την πλευρά του αέρα, καταναλώνονται σε αντιδράσεις οξείδωσης, κυρίως λόγω των ριζών υδροξυλίου (Σχήμα 2.1 Ζ). Η οξείδωση αυτή, γίνεται ορατή μέσω της κιτρινωπής λάμψης της φλόγας. Στη συγκεκριμένη φλόγα, όλη η αιθάλη καταναλώνεται πριν το τέλος της φωτεινής ζώνης. Όμως, σε άλλες περιπτώσεις η αιθάλη απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα ως μαύρος καπνός. Στο Σχήμα 2.1 Δ, μπορεί κανείς να διακρίνει, πως το οξυγόνο και το μεθάνιο έχουν μηδενική συγκέντρωση σε απόσταση 6 mm από το κέντρο της φλόγας. Δηλαδή ακριβώς στο σημείο, όπου βρίσκεται το κέντρο της ζώνης αντίδρασης. Επίσης, διακρίνεται ότι το νερό, το διοξείδιο του άνθρακα, το μονοξείδιο του άνθρακα και το υδρογόνο, είναι στη μέγιστη συγκέντρωση τους στην ίδια περιοχή (Σχήμα 2.1 Ε). Τα δύο πρώτα, είναι τα κύρια παράγωγα των αντιδράσεων καύσης που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Τα άλλα δύο, για τη συγκεκριμένη περίπτωση, δεν φθάνουν έως την ατμόσφαιρα. Όταν η καύση είναι ατελής, όπως όταν υπάρχει πλεόνασμα καυσίμων σε σχέση με τον αέρα ή όταν χρησιμοποιηθούν επιβραδυντικά καύσης, κάποια από τα ενδιάμεσα προϊόντα (ασετιλίνη (C_2H_2), βενζόλιο (C_6H_6), διακετυλένιο (C_4H_2), βουταδιένιο (C_4H_6), μονοξείδιο του άνθρακα (CO)) δεν οξειδώνονται πλήρως και απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Αυτές είναι παρατηρήσεις όσον αφορά σε μια φλόγα στρωτής διάχυσης. Όμως, στην πραγματικότητα σχεδόν όλες οι φωτιές εμπεριέχουν φαινόμενα τύρβης. Το αποτέλεσμα είναι, οι διεργασίες να διακυμαίνονται με μεγάλη τυχαιότητα (Σχήμα 2.1 Η). Αυτό δυσκολεύει τις μετρήσεις ακόμα περισσότερο και συμβάλλει στη γενική μείωση των μέσων τιμών.

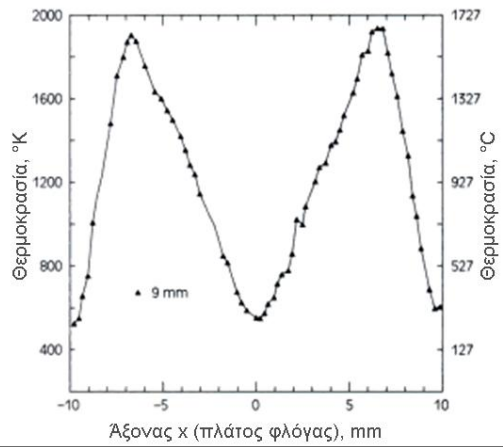
2.2.2 Βραδεία καύση.

Η βραδεία καύση ή υποβόσκουσα φωτιά, είναι μια αργή αντίδραση μεταξύ της επιφάνειας ενός στερεού καυσίμου και του οξυγόνου, η οποία συνοδεύεται από πυράκτωση και απανθράκωση. Η πυράκτωση είναι ενδεικτική θερμοκρασιών άνω των $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Η βραδεία καύση απαιτεί μικρές ποσότητες αέρα και έχει σχετικά μικρές ταχύτητες, της τάξης των 10^{-3} cm/s . Οι αντιδράσεις της είναι ατελείς και παράγονται μεγάλες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα, κάτι που καθιστά πολύ επικίνδυνη αυτή την κατηγορία φωτιάς. Η αργή καύση, μπορεί να μετατραπεί σε φλέγουσα αν αυξηθεί η ροή του αέρα πάνω από το καύσιμο.

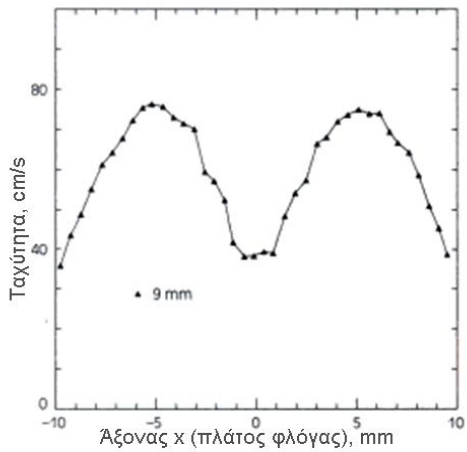
Α) Κάθετη τομή φλόγας



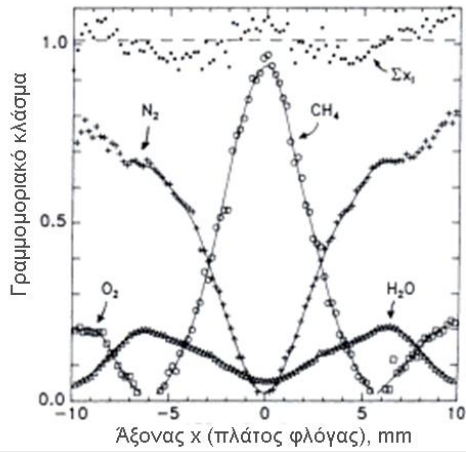
Β) Κατανομή της θερμοκρασίας



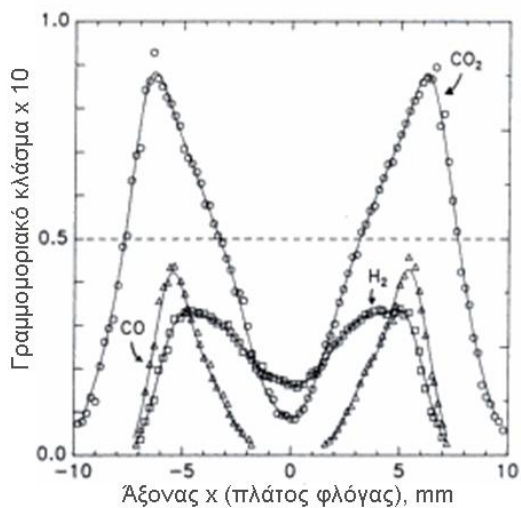
Γ) Κατανομή της ταχύτητας



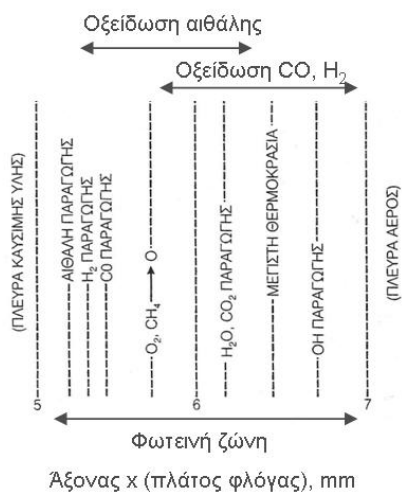
Δ) Κατανομή της ύλης

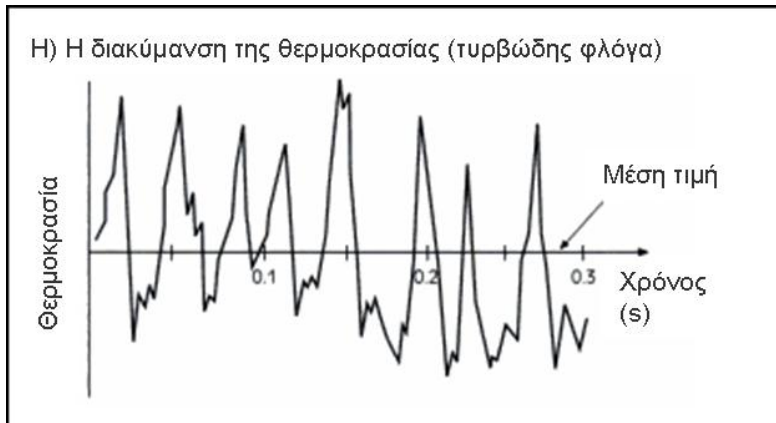


Ε) Κατανομή της ύλης (παράγωγα)



Ζ) Κατανομή των παραγώγων





Σχήμα 2.1. Μετρήσεις θερμοκρασίας, ταχύτητας και κατανομής της ύλης για μια φλόγα στρωτής διάχυσης ύψους 79 mm, με καύσιμο το μεθάνιο.

2.2.3 Αυτοανάφλεξη.

Η αυτοανάφλεξη είναι μια καύση, η οποία αρχίζει συνήθως με μια αργή οξειδωση ενός καυσίμου από τον αέρα. Από κάποιο σημείο και έπειτα, η απελευθέρωση της ενέργειας λόγω της αντιδράσεως, γίνεται μεγαλύτερη από την ικανότητα του συστήματος να αποβάλει θερμότητα στην γύρω ατμόσφαιρα. Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του καυσίμου και η αύξηση του ρυθμού της αντίδρασης, μέχρι που δημιουργούνται φλόγες διάχυσης (ή βραδεία καύση). Η όλη διαδικασία μπορεί να διαρκέσει ώρες ή ακόμα και μέρες. Ένας τρόπος μέτρησης της τάσης που έχει ένα υλικό για αυτοανάφλεξη, είναι η εύρεση της μικρότερης θερμοκρασίας ικανής να προκαλέσει, σε ώρες ή ακόμα και ημέρες, ανάφλεξη. Έχει παρατηρηθεί ότι ο όγκος ενός καυσίμου επηρεάζει το σημείο αυτοανάφλεξης του, καθώς αλλάζει η ικανότητα απαγωγής της θερμότητας από το κέντρο του. Τέλος, τα αποτελέσματα από τις δοκιμασίες αυτοανάφλεξης υλικών, οι οποίες γίνονται σε φούρνους, είναι πολύ δύσκολο να γενικευτούν με ακρίβεια. Ο λόγος είναι, ότι οι πραγματικές συνθήκες, συνήθως διαφέρουν αρκετά από τις συνθήκες των δοκιμασιών.

2.2.4 Φλόγες προανάμιξης.

Οι φλόγες προανάμιξης αφορούν στις καύσεις, όπου η καύσιμη ύλη και το οξυγόνο είναι αναμεμιγμένα πριν από την ανάφλεξη. Οι καύσεις αυτές, σχετίζονται με διεργασίες, οι οποίες είναι συνήθως ελεγχόμενες από τον άνθρωπο. Αρχικά, η διάδοση των φλογών προανάμιξης κινείται με στρωτή ροή, σε ταχύτητες της τάξης του 1 m/s. Τα φαινόμενα τύρβης που παρουσιάζονται στην πορεία, αυξάνουν την ταχύτητα της φλόγας.

Σε περιορισμένο κλειστό χώρο η διεργασία αυτή μπορεί να οδηγήσει σε ταχεία αύξηση της πίεσης και έκρηξη. Αν αναπτυχθεί αρκετή πίεση, η έκρηξη συνοδεύεται από ωστικό κύμα και πολύ μεγάλες ταχύτητες φλόγας (~2000 m/s).

Τα αέρια καύσιμα αναφλέγονται μεταξύ δύο συγκεκριμένων ορίων συγκέντρωσης, τα οποία εξαρτώνται από τη θερμοκρασία (Σχήμα 2.2). Για κάθε αέριο καύσιμο, υπάρχει ένα ανώτερο και ένα κατώτερο όριο συγκέντρωσης μάζας, στο οποίο μπορεί να δημιουργηθεί ανάφλεξη και να συντηρηθεί η διάδοση της φλόγας. Για τις συγκεντρώσεις που βρίσκονται ανάμεσα σε αυτά τα δύο όρια, αρκεί μια μικρή ποσότητα ενέργειας ώστε να προκληθεί ανάφλεξη, και στη συνέχεια να εξαπλωθεί η φλόγα. Στις χαμηλές θερμοκρασίες, τα αέρια καύσιμα μετατρέπονται σε υγρά, τα οποία έχουν και αυτά δύο όρια αναφλεξιμότητας. Στο κατώτερο όριο συγκέντρωσης ανάφλεξης, η ελάχιστη θερμοκρασία T_L , πριν υγροποιηθεί το καύσιμο ονομάζεται σημείο ανάφλεξης. Στο σημείο ανάφλεξης, απαιτείται ενέργεια της τάξης του 1 mJ, από μία σπίθα, για να προκληθεί ανάφλεξη. Για τις υψηλές θερμοκρασίες, η απαιτούμενη ενέργεια για ανάφλεξη γίνεται μηδαμινή. Το σημείο ανάφλεξης είναι, λοιπόν, η κατώτερη θερμοκρασία, στην οποία δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες για ανάφλεξη. Αντίστοιχα, το σημείο αυτοανάφλεξης είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία, στην οποία η ανάφλεξη γίνεται χωρίς την προσθήκη εξωτερικής ενέργειας.



Σχήμα 2.2. Η σχέση των ορίων ανάφλεξης με τη θερμοκρασία.

3. Μεταφορά της θερμότητας.

3.1 Αγωγή.

Οι κατηγορίες μεταφοράς θερμότητας είναι τρεις: αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία. Αγωγή είναι η μεταφορά θερμότητας μεταξύ δύο μαζών που βρίσκονται σε επαφή, μέσω μοριακών ταλαντώσεων και μεταφοράς ελευθέρων ηλεκτρονίων. Περιγράφεται μαθηματικά, στην μόνιμη κατάσταση, από τον νόμο του Fourier, ο οποίος είναι ανάλογος του νόμου του Fick, ως εξής:

$$\boxed{\vec{q}'' = -k\vec{\nabla}T} \quad \{\text{Σχέση 3.1}\},$$

όπου \vec{q}'' [$\frac{J}{s \cdot m^2}, \frac{W}{m^2}$] η ροή θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας, k η θερμική αγωγιμότητα του υλικού της επιφάνειας [$\frac{W}{m \cdot K}$] και ο τρίτος όρος είναι η βάρθρωση της θερμοκρασίας. Για την απλή περίπτωση μεταφοράς θερμότητας σε μία διάσταση, όπως για παράδειγμα σε ένα τοίχο (Σχήμα 4), η εξίσωση γίνεται ως εξής:

$$\boxed{\dot{Q}_x = -\frac{kA}{L}\Delta T = -\frac{A}{R}\Delta T} \quad \{\text{Σχέση 3.2}\},$$

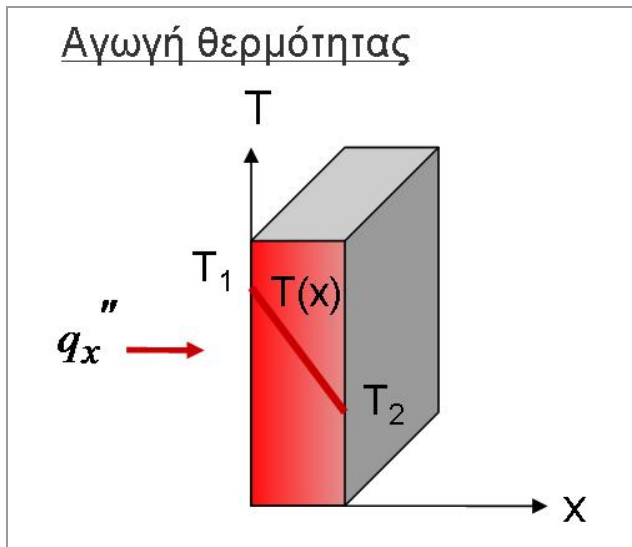
όπου η ροή θερμότητας \dot{Q}_x [W], μεταξύ μιας διαφοράς θερμοκρασιών ΔT σε ένα σώμα είναι ανάλογη της επιφάνειας A , και αντιστρόφως ανάλογη της θερμικής αντίστασης R [$\frac{m^2 K}{W}$], του υλικού του τοίχου. Το αρνητικό πρόσημο, ορίζει την φορά της μεταφοράς θερμότητας από τις υψηλές στις χαμηλές θερμοκρασίες. Ως παράδειγμα, με αυτές τις εξισώσεις μπορεί κανείς να συγκρίνει την ικανότητα της θερμότητας να διαπεράσει δύο διαφορετικά υλικά, όπως τον μονωτικό αφρό πολουρεθάνης ($k = 0.034$ W/m·K) και το χάλυβα ($k = 45,8$ W/m·K), για μια διαφορά θερμοκρασίας 20 βαθμών μεταξύ των δύο επιφανειών, ενός τοίχου πάχους 5 cm. Από τη Σχέση 3.2, προκύπτει ότι το μονωτικό επιτρέπει επιφανειακή ροή θερμότητας 0,013 kW/m², ενώ χάλυβας 18,3 kW/m². Η διαφορά, είναι τρεις τάξεις μεγέθους.

Στην πραγματικότητα, η μεταφορά θερμότητας σε μια φωτιά διέπεται από μεταβατικά φαινόμενα και οι εξισώσεις γίνονται πολύπλοκες, καθώς εξαρτώνται από τα

είδη των υλικών, το σχήμα τους και το χρόνο. Μια εξίσωση, η οποία μπορεί να δώσει μια αδρή εκτίμηση του χρόνου που χρειάζεται για να κατασταλάξει η μεταβατική κατάσταση σε μια μόνιμη, και να αρχίσει να γίνεται αισθητή η επίδραση της θερμοκρασίας της άμεσα θερμαινόμενης επιφάνειας στην άλλη επιφάνεια, είναι η εξής:

$$\text{χρόνος θερμικής διείσδυσης} = L^2/16\alpha \quad \{\text{Σχέση 3.3}\},$$

όπου α είναι η θερμική διαχυτικότητα ($\alpha = k/\rho c$ [m^2/s]), ρ η πυκνότητα και c η ειδική θερμοχωρητικότητα [$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]. Από την εφαρμογή της εξίσωσης αυτής στο προηγούμενο παράδειγμα, προκύπτει ότι ο χρόνος διείσδυσης διαφέρει κατά μία τάξη μεγέθους για τα δύο υλικά: 130 sec και 12,4 sec, αντίστοιχα.



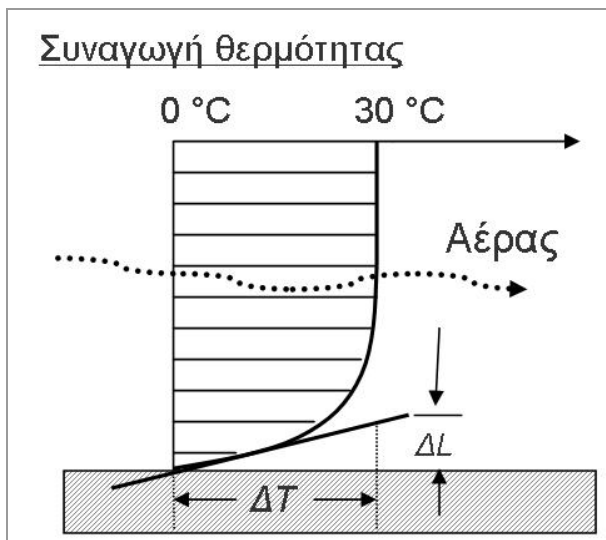
Σχήμα 3.1. Αγωγή θερμότητας σε μια διάσταση.

3.2 Συναγωγή.

Η μεταφορά θερμότητας με συναγωγή διακατέχεται από τις ίδιες αρχές με την αγωγή, με την σημαντική διαφορά ότι η θερμότητα μεταφέρεται από ένα ρευστό που βρίσκεται σε κίνηση. Η εξίσωση της μόνιμης κατάστασης που χαρακτηρίζει το φαινόμενο, είναι ο νόμος της ψύξης του Newton:

$$\dot{q}'' = \frac{\dot{Q}}{A} = -hA \cdot (T_s - T_\infty) \quad \{\text{Σχέση 3.4}\},$$

όπου h , είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας. Ορίζεται ως ο λόγος της θερμικής αγωγιμότητας k του ρευστού, με το πάχος Δl του οριακού στρώματος του ρευστού. Το ρευστό που βρίσκεται στο οριακό στρώμα, κινείται με μικρή ταχύτητα. Σε αυτή την περιοχή, λαμβάνει χώρα το μεγαλύτερο μέρος της μεταφοράς θερμότητας (Σχήμα 3.2). Η τιμή του h , εξαρτάται από την ταχύτητα και τις ιδιότητες του ρευστού. Επίσης, η διαφορά θερμοκρασίας ΔT , είναι μεταξύ της επιφάνειας T_s και της κύριας μάζας του ρευστού T_∞ , μακριά από το οριακό στρώμα. Οι τυπικές τιμές του h , τις οποίες συναντά κανείς στο αντικείμενο της πυροπροστασίας, κυμαίνονται ως εξής [$\text{W}/^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2$]: 5-10 για φυσικές ροές αέρα, ~30 για μια στρωτή φλόγα, ~20 για τυρβώδη φλόγα από λιμνάζων καύσιμο, 5-50 για τη στήλη της φωτιάς στο ύψος της οροφής, ~10 για ταχύτητα αέρα 2 m/s και ~75 για ταχύτητα αέρα 35 m/s. Χρησιμοποιώντας το h μιας τυπικής τυρβώδους φλόγας (5-10 $\text{W}/^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2$) και μια τυπική διαφορά θερμοκρασίας 780 βαθμών, μεταξύ της επιφάνειας και της μέσης θερμοκρασίας της φλόγας, μπορεί κανείς να υπολογίσει, ότι η ροή θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας είναι 3,9-7,8 kW/m^2 .



Σχήμα 3.2. Μεταφορά θερμότητας με συναγωγή από τον αέρα, προς μια επιφάνεια.

3.3 Ακτινοβολία.

Ο τρίτος τρόπος μεταφοράς θερμότητας, είναι η ανταλλαγή θερμικής ακτινοβολίας μεταξύ δύο σωμάτων. Όλα τα σώματα, τα οποία έχουν θερμοκρασία μεγαλύτερη του απόλυτου μηδενός εκπέμπουν εξαιτίας της, ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Αυτή, βρίσκεται στο μήκος κύματος από 0,1 έως 100 μm, δηλαδή από το ορατό έως το μέσο υπεριώδες φάσμα. Η θερμότητα που εκπέμπει μέσω ακτινοβολίας ένα σώμα, περιγράφεται από τον Νόμο Stefan–Boltzmann:

$$\boxed{\dot{q}'' = \varepsilon \sigma T^4} \quad \{\text{Σχέση 3.5}\},$$

όπου \dot{q}'' είναι η ροή ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας [W/m^2], σ είναι η σταθερά Stefan–Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-11} \text{ kW}/\text{m}^2\text{K}^4$), T η θερμοκρασία του σώματος που εκπέμπει την ακτινοβολία, και ε ο συντελεστής εκπομπής. Ο τελευταίος, περιγράφει την ικανότητα ενός σώματος να εκπέμπει την μέγιστη δυνατή ακτινοβολία, και κυμαίνεται από το 0 μέχρι το ένα (μέλαν σώμα). Σε εφαρμογές πυρκαγιών, ο συντελεστής εκπομπής είναι τυπικά κοντά στο $0,8 \pm 0,2$, για επιφάνειες στερεών και ρευστών. Για αέρια και φλόγες, ο συντελεστής εξαρτάται από το πάχος τους και μπορεί να εκτιμηθεί ως εξής:

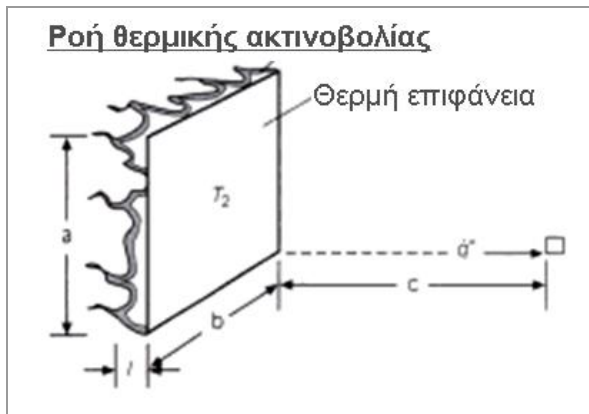
$$\boxed{\varepsilon = 1 - e^{-kl}} \quad \{\text{Σχέση 3.6}\},$$

όπου l είναι το πάχος της φλόγας και το k είναι ο συντελεστής απορροφητικότητας της φλόγας, ο οποίος περιγράφει την ικανότητα του μέσου να εμποδίζει την ακτινοβολία να το διαπερνά. Για τυρβώδεις φλόγες, το k τυπικά κυμαίνεται από το 0,1 έως 1 m^{-1} , ενώ για φλόγες με πάχος μεγαλύτερο των 2 m, ο συντελεστής εκπομπής γίνεται πρακτικώς 1. Παρόλα αυτά, στις πολύ μεγάλες φωτιές, η ποσότητα αιθάλης που παράγεται, εμποδίζει την εκπομπή ακτινοβολίας.

Μπορεί κανείς να κάνει μια γενική εκτίμηση του κινδύνου, για ανάφλεξη εξ αποστάσεως, τον οποίο διατρέχει ένα αντικείμενο από την θερμική ακτινοβολία μιας πηγής, με δύο προσεγγιστικές εξισώσεις. Η πρώτη, αφορά στην ροή ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας, στην οποία εκτίθεται ένα αντικείμενο από μια θερμή επιφάνεια, όπως μια φλόγα, που βρίσκεται σε απόσταση (Σχήμα 3.3):

$$\boxed{\dot{q}'' = \varepsilon \sigma T_2^4 F_{12}} \quad \{\text{Σχέση 3.7}\},$$

όπου T_2 η θερμοκρασία της φλόγας και F_{I2} ο συντελεστής σχήματος. Αυτός, αντιπροσωπεύει το κλάσμα των ακτινών της πηγής που βλέπει το ίδιο το αντικείμενο. Η τιμή του, εξαρτάται από το μέγεθος της πηγής, τον προσανατολισμό των δύο σωμάτων και την απόσταση μεταξύ τους. Συνήθως, υπολογίζεται από σχετικά διαγράμματα και πίνακες.



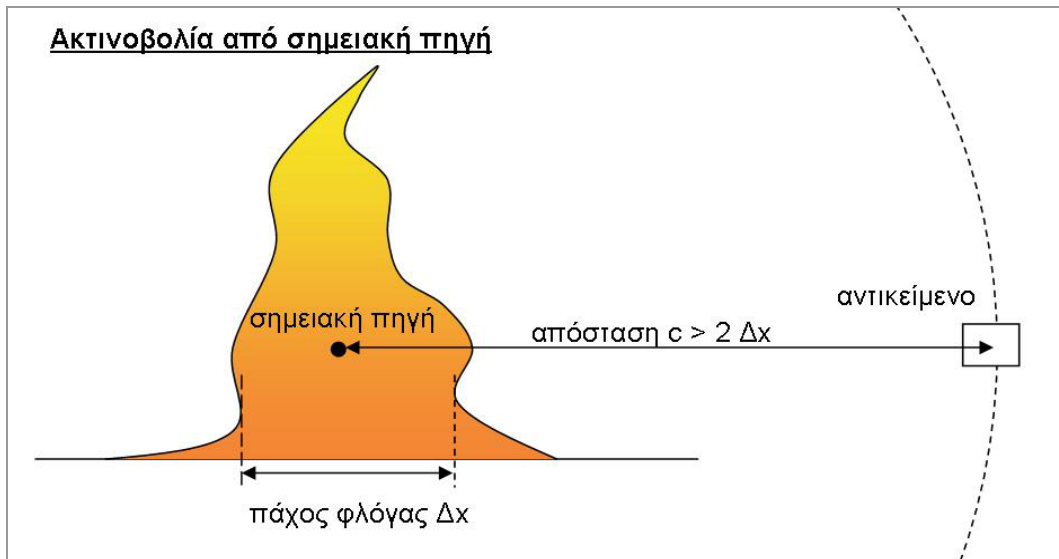
Σχήμα 3.3. Μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία από μια θερμή επιφάνεια (φλόγα) σε ένα αντικείμενο σε απόσταση.

Η δεύτερη εξίσωση αφορά τις περιπτώσεις, όπου το αντικείμενο βρίσκεται σε απόσταση τουλάχιστον δύο φορές μεγαλύτερης της διαμέτρου της φλόγας. Η εξίσωση είναι :

$$\dot{q}'' = \frac{X_r \dot{Q}}{4\pi \cdot c^2} \quad \{\text{Σχέση 3.8}\},$$

όπου \dot{Q} είναι ο ρυθμός έκλυσης ενέργειας ή ισχύς της καύσης [kW]. Το X_r είναι ο λόγος της ενέργειας που είναι σε μορφή ακτινοβολίας, με την συνολική ενέργεια που εκλύεται. Το c είναι η απόσταση του αντικειμένου από την πηγή, η οποία για αυτή την εξίσωση αντιπροσωπεύεται ως ένα σημείο (Σχήμα 3.4). Η τιμή του X_r για συγκεκριμένα καύσιμα, βρίσκεται από πίνακες και κυμαίνεται μεταξύ 0,15 και 0,60, αν και δεν είναι απαραίτητα σταθερές. Η προσεγγιστική αυτή εξίσωση, βασίζεται στο ότι η ακτινοβολία που δέχεται η επιφάνεια μιας σφαίρας με ακτίνα c , από μια σημειακή πηγή στο κέντρο της, είναι ομοιόμορφη. Τέλος, η ροή της θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας, στην οποία εκτίθεται ένα αντικείμενο, είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την εκτίμηση πιθανών κινδύνων. Η ακτινοβολία του Ήλιου γίνεται αντιληπτή στη Γη ως περίπου 1 kW/m^2 . Η

ίδια επιφανειακή ροή, 1 kW/m^2 , είναι το ελάχιστο όριο, το οποίο μπορεί να προκαλέσει πόνο στο γυμνό δέρμα. Τα 4 kW/m^2 είναι η ελάχιστη θερμική ροή, η οποία μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα στο γυμνό δέρμα, και τα 10 kW/m^2 το ελάχιστο όριο για την πρόκληση ανάφλεξης.



Σχήμα 3.4. Ομοιόμορφη ακτινοβολία από σημειακή πηγή, η οποία αντιπροσωπεύει μια φλόγα.

4. Ανάφλεξη

Τα τρία στοιχεία που συνθέτουν και χαρακτηρίζουν την ανάπτυξη της φωτιάς είναι κατά σειρά, η ανάφλεξη, ο ρυθμός καύσης και η εξάπλωση της φλόγας. Η μελέτη των τριών αυτών φαινομένων, αποφέρει πληροφορίες για τον χρόνο έναρξης της φωτιάς, για τα σύνορά της καθώς αναπτύσσεται και για την κατανάλωση καυσίμου, μέσα σε αυτά. Υπάρχουν δύο κατηγορίες ανάφλεξης: η αυτοανάφλεξη και η ανάφλεξη από φλόγα οδηγό, δηλαδή λόγω μια μικρής πηγής ενέργειας, όπως είναι μια σπίθα. Η ανάφλεξη από σπίθα έχει ως ελάχιστες απαιτήσεις: θερμοκρασία στην επιφάνεια του καυσίμου τουλάχιστον ίση με το σημείο ανάφλεξης του και συγκέντρωση καυσίμου τουλάχιστον ίση με το κατώτερο όριο ανάφλεξης. Οι συνθήκες αυτές, είναι αρκετές για ένα υγρό καύσιμο να έχει την εξατμισμό που χρειάζεται ώστε μια σπίθα να προκαλέσει φωτιά, η οποία να μπορεί να διατηρηθεί και να διαδοθεί. Στον Πίνακα 4.1, αναγράφονται οι κρίσιμες θερμοκρασίες που αφορούν στα υγρά καύσιμα. Μπορεί κανείς εύκολα να συμπεράνει, ότι το σημείο ανάφλεξης είναι χαμηλότερο από το σημείο βρασμού και ότι το σημείο αυτοανάφλεξης είναι πολύ υψηλότερο, από τα άλλα δύο. Ως συνέπεια, τα υγρά καύσιμα εξατμίζονται πλήρως προτού φτάσουν στο σημείο αυτοανάφλεξης. Όσον αφορά στην αυτοανάφλεξη στερεών καυσίμων, πρέπει και εκεί η θερμοκρασία στην επιφάνεια τους να φτάσει στο σημείο αυτοανάφλεξης, των αερίων καυσίμων τα οποία προέρχονται από την εξαέρωση, του ίδιου του στερεού. Στις πραγματικές φωτιές, η κύρια μορφή ανάφλεξης είναι η ανάφλεξη με οδηγό, καθώς το σημείο ανάφλεξης είναι πάντα πολύ χαμηλότερο (250 °C με 450 °C) από το σημείο αυτοανάφλεξης (πάνω από 500 °C) και υπάρχουν πολλές πηγές ενέργειας που μπορούν να προκαλέσουν έναυση.

<i>Υγρό</i>	<i>T_{FP} (K)</i>	<i>T_g (K)</i>	<i>T_{AUTO} (K)</i>
Προπάνιο (C ₃ H ₈)	169	231	723
Βενζίνη	~228	~306	~644
Ακρολεΐνη (C ₃ H ₄ O)	247	326	508
Άκετόνη (C ₃ H ₆ O)	255	329	738
Μεθανόλη (C ₃ H ₃ OH)	285	337	658
Αιθανόλη (C ₂ H ₅ OH)	286	351	636
Κηροζίνη (C ₁₄ H ₃₀)	~322	~505	~533
Κρεοζόλη (C ₇ H ₈ O)	359	476	832
Φορμαλεδεϋδη (CH ₂ O)	366	370	703

Πίνακας 4.1. Κρίσιμες θερμοκρασίες για υγρά καύσιμα, όπου T_{FP} είναι το σημείο ανάφλεξης, T_B το σημείο βρασμού και T_{AUTO} το σημείο αυτοανάφλεξης.

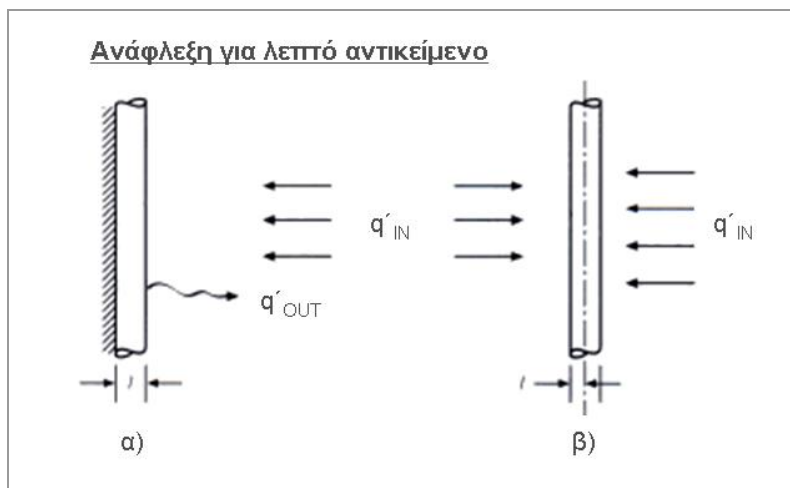
Ενώ τα σημεία ανάφλεξης υγρών καυσίμων, μπορούν να μετρηθούν πειραματικά και να υπολογιστούν θεωρητικά με ακρίβεια, δεν συμβαίνει το ίδιο με τα στερεά. Αυτό ισχύει, διότι η τιμή των σημείων εξαρτάται από την συγκέντρωση και από τον τρόπο που θερμαίνονται τα καύσιμα. Για παράδειγμα, ένα ξύλο μπορεί να πάρει φωτιά στους 200 °C, αν θερμανθεί με συναγωγή (κίνηση θερμού αέρα), ενώ ανάβει στους 300 °C αν θερμανθεί με ακτινοβολία. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό στην περίπτωση της θέρμανσης μέσω ακτινοβολίας, σχετίζεται μερικώς με τη δημιουργία πορώδους κάρβουνου στην επιφάνεια, το οποίο δρα ως μονωτικό. Δεν υπάρχουν, λοιπόν, δεδομένα για κάθε πιθανή συνθήκη. Το αποτέλεσμα είναι, ότι στην πράξη χρησιμοποιούνται προσεγγίσεις που πηγάζουν από δεδομένα υπό διαφορετικές συνθήκες. Επιπλέον, οι μετρήσεις της θερμοκρασίας μέχρι το σημείο ανάφλεξης σε μια επιφάνεια είναι τεχνικά πολύ δύσκολες. Έτσι, σε πολλές περιπτώσεις γίνεται χρήση μαθηματικών μοντέλων, για την εκτίμηση των πραγματικών τιμών.

4.1 Ανάφλεξη λεπτών υλικών.

Ένα μοντέλο που επιτρέπει την πρόβλεψη της θερμοκρασίας ανάφλεξης ενός «λεπτού» στερεού είναι το παρακάτω. Ο όρος «λεπτό» δεν αναφέρεται μόνο στην διάσταση του υλικού, αλλά κυρίως στην ικανότητα της διατήρησης ομοιόμορφης θερμοκρασίας κατά τη θέρμανσή του. Κατά κανόνα, τα λεπτά υλικά έχουν πάχος 1 με 2 mm, εκτός και αν θερμαίνονται με πολύ χαμηλό ρυθμό, οπότε μπορεί να είναι και λίγο μεγαλύτερα. Στο Σχήμα 8, διακρίνονται οι δύο περιπτώσεις για τις οποίες αναπτύχθηκε το μοντέλο: α) ένα αντικείμενο πάχους l που θερμαίνεται από την μία πλευρά, ενώ η άλλη είναι θερμικώς μονωμένη, και β) ένα αντικείμενο που θερμαίνεται συμμετρικά. Και στις δύο περιπτώσεις υπάρχει μια εισροή (\dot{q}''_{IN}) και μια εκροή (\dot{q}''_{OUT}) θερμότητας. Η διαφορά τους (\dot{q}'') πρέπει να είναι αρκετά σημαντική, ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία και να γίνει ανάφλεξη. Το πόσο γρήγορα μπορεί να αυξηθεί η θερμοκρασία, εξαρτάται από την ικανότητα του υλικού να αποθηκεύει ενέργεια, δηλαδή από την ειδική θερμοχωρητικότητα c , την πυκνότητα ρ και το πάχος l . Σύμφωνα με το μοντέλο, ο χρόνος ανάφλεξης ενός λεπτού αντικειμένου προκύπτει από την εξίσωση:

$$t_{ig} = \frac{\rho l c}{\dot{q}''} (T_{ig} - T_0) \quad \{\text{Σχέση 4.1}\},$$

όπου T_0 είναι η αρχική θερμοκρασία και το T_{ig} είναι η θερμοκρασία ανάφλεξης. Η εξίσωση αυτή, ισχύει για μικρά χρονικά διαστήματα και εισροές θερμότητας ικανές να ανεβάσουν τη θερμοκρασία του υλικού στο σημείο ανάφλεξης, μέσα σε αυτά. Αν εφαρμοστεί αυτή τη σχέση για ένα βαμβακερό υλικό, αντιπροσωπευτικό των λεπτών υλικών που υπάρχουν τυπικά σε ένα δωμάτιο, με $\rho = 0,57 \text{ g/cm}^3$, $c = 0,34 \text{ cal/g}\cdot\text{K}$, $l = 1 \text{ mm}$ και $T_{ig} = 300 \text{ }^\circ\text{C}$, και για εισροές θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας από 10 έως 40 kW/m^2 , οι χρόνοι ανάφλεξης που προκύπτουν είναι 25 έως 5 sec, αντίστοιχα. Γίνεται εύκολα αντιληπτό, λοιπόν, το πόσο γρήγορα μπορούν να πάρουν φωτιά αυτά τα υλικά υπό συνθήκες έκλαμψης ($\sim 20 \text{ kW/m}^2$ με τον καπνό να φτάνει τους $500 \text{ }^\circ\text{C}$).



Σχήμα 4.1. Περιπτώσεις εφαρμογής του μοντέλου ανάφλεξης λεπτών υλικών.

4.2 Ανάφλεξη χονδρών υλικών.

Για τα «χονδρά» υλικά, με πάχος μεγαλύτερο των 2 mm, μια προσεγγιστική λύση, η οποία προκύπτει από τη λύση της γενικής εξίσωσης της θερμότητας (για αντικείμενο ημι-απείρου πάχους), είναι η εξής:

$$t_{ig} = C(k\rho c) \left[\frac{T_{ig} - T_0}{\dot{q}''} \right]^2 \quad \{\text{Σχέση 4.2}\},$$

όπου k είναι η θερμική αγωγιμότητα. Το C είναι μια σταθερά, η οποία, από τη θεωρητική ανάπτυξη της παραπάνω προσεγγιστικής εξίσωσης, προκύπτει ίση με $\pi/4$. Αυτό ισχύει

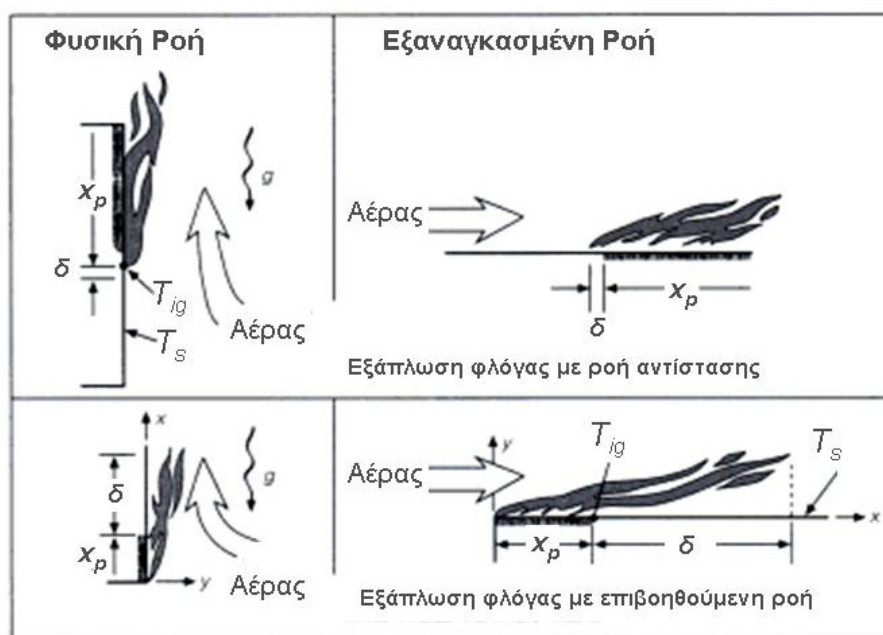
για την ιδανική περίπτωση, όπου δεν υπάρχουν απώλειες θερμότητας από την επιφάνεια. Όταν υπάρχουν θερμικές απώλειες, εκτιμάται ως ίση με 2/3. Πειραματικά, έχει δειχθεί ότι η σταθερά είναι ανεξάρτητη από τις ιδιότητες του υλικού, αλλά έχει μια μικρή εξάρτηση από την ροή θερμότητας. Επίσης, έχει αποδειχθεί ότι ο όρος $k\rho c$, ή αλλιώς θερμική αδράνεια, αντιπροσωπεύει ένα μέτρο του χρόνου που απαιτείται για την αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας ενός αντικειμένου. Μικρές τιμές του, συνεπάγονται γρήγορη επιφανειακή θέρμανση. Η ακρίβεια των λύσεων της Σχέσης 4.2, επηρεάζεται σημαντικά από τους όρους $k\rho c$ και T_{ig} , είτε επειδή δεν παραμένουν σταθεροί υπό συνθήκες φωτιάς, είτε επειδή τα δεδομένα είναι περιορισμένα και όχι πάντα ακριβή. Εφαρμόζοντας τις δύο εξισώσεις, για ένα υλικό κοντραπλακέ, με ιδιότητες $T_{ig} = 350\text{ }^\circ\text{C}$, $k = 0,15\text{ W/m}\cdot\text{K}$, $\rho = 640\text{ kg/m}^3$, $c = 2,9\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$, το οποίο στην μία περίπτωση είναι 0,5 mm (λεπτό) και στην άλλη είναι χονδρό (άνω των 2 mm), για μια εισροή θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας 25 kW/m^2 , προκύπτει ότι το πρώτο αναφλέγεται σε 12 sec και το δεύτερο σε 38 sec. Στον Πίνακα 4.2, παρουσιάζονται μερικές τυπικές τιμές για το χρόνο ανάφλεξης ορισμένων κοινών υλικών. Είναι φανερό, ότι είναι θέμα λεπτών το να πάρουν φωτιά τέτοια υλικά σε ένα δωμάτιο υπό συνθήκες έκλαμψης (20 kW/m^2), πόσο μάλλον, όταν η φωτιά είναι σε πλήρη εξέλιξη (100 kW/m^2).

Θερμική ροή (kW/m^2)	Χρόνος ανάφλεξης (s)	Υλικό
10	300	Πλεξιγκλάς, αφρός πολυουρεθάνης, ακρυλικός τάπητας
20	70	Μάλλινος τάπητας
	150	Χαρτο- ή γυψο-σανίδα
	250	Νοβοπάν
30	5	Αφρός πολυκιανούχος
	70	Μάλλινος ή νάιλον τάπητας
	150	Καπλαμάς

Πίνακας 4.2. Τυπικός χρόνος ανάφλεξης για χονδρά αντικείμενα.

5. Εξάπλωση της Φωτιάς.

Η εξάπλωση της φλόγας, περιγράφεται θεωρητικά από την αύξηση της θέσης του μετώπου της περιμέτρου της φλεγόμενης περιοχής. Ο όρος εξάπλωση της φωτιάς, είναι πιο γενικός και συμπεριλαμβάνει την εξάπλωση της φλόγας, την ανάπτυξη των αργών καύσεων και την ανάπτυξη των φαινομένων φωτιάς που σχετίζονται με φλόγες προανάμιξης. Σπουδαίο ρόλο παίζουν η βαρύτητα και ο άνεμος, παράγοντες οι οποίοι μπορεί να επιβοηθούν ή να αντιστέκονται στην εξάπλωση (Σχήμα 5.1). Πίσω από το μέτωπο της εξάπλωσης υπάρχει συνήθως μια περιοχή όπου η καύση έχει πάψει. Ανάμεσα στα δύο μέτωπα βρίσκεται η περιοχή πυρόλυσης, της οποίας ο ρυθμός καύσης είναι το δεδομένο πρότυπο σημασίας για την ανάλυση κινδύνου, καθώς σχετίζεται άμεσα με την θερμοκρασία, την ορατότητα, την τοξικότητα και την διαβρωτικότητα της πυρκαγιάς.



Σχήμα 5.1. Παραδείγματα του ρόλου της βαρύτητας και του ανέμου στην εξάπλωση της φλόγας. Πάνω αριστερά: Η ροή του αέρα αντιστέκεται στην εξάπλωση της φλόγας όταν η φλόγα κινείται προς τα κάτω, ενώ ο αέρας λόγω άνωσης, προς τα πάνω. Πάνω δεξιά: Ένα ρεύμα αέρος μπορεί να κινείται αντίθετα με την εξάπλωση της φλόγας. Κάτω αριστερά: Τα ρεύματα λόγω άνωσης, μπορεί να βοηθούν μια φλόγα που κινείται ανοδικά. Κάτω δεξιά: Ένα ρεύμα αέρος μπορεί να βοηθά στην εξάπλωση της φλόγας.

5.1 Ταχύτητα εξάπλωσης.

Ακριβώς στη θέση του μετώπου x_p , η θερμοκρασία φτάνει στο σημείο ανάφλεξης. T_s είναι η θερμοκρασία της επιφάνειας, η οποία δεν επηρεάζεται ακόμα από μια άμεση επαφή με τη φλόγα και βρίσκεται μακριά από το μέτωπο, τουλάχιστον κατά μια απόσταση δ . Η σχέση που μας δίνει την ταχύτητα εξάπλωσης της φλόγας στη μόνιμη κατάσταση, είναι η εξής:

$$v = \frac{\dot{Q}}{\rho c A (T_{ig} - T_s)} \quad \{\text{Σχέση 5.1}\},$$

όπου A είναι η κάθετη επιφάνεια του μετώπου και \dot{Q} ο ρυθμός έκλυσης ενέργειας [W] από την περιοχή της πυρόλυσης. Η εξίσωση αυτή, προκύπτει από την εξίσωση της διατήρησης της ενέργειας μεταξύ της φλεγόμενης περιοχής και της περιοχής δ . Με κατάλληλες αντικαταστάσεις στους όρους \dot{Q} και A , προκύπτουν εξισώσεις που περιγράφουν ειδικές περιπτώσεις.

Για την εξάπλωση της φλόγας σε στερεές επιφάνειες, έχει αποδειχθεί ότι η πιο σημαντική ροή θερμότητας είναι αυτή, η οποία λαμβάνει χώρα στην επιφάνεια του στερεού ακριβώς μπροστά από το μέτωπο, κατά ένα μήκος δ . Η εν λόγω σημαντική περιοχή, ορίζεται από το εμβαδό της $\delta \cdot w$, όπου w είναι το πλάτος του μετώπου. Έτσι, αντικαθιστώντας τον όρο $\dot{Q} = \dot{q}'' \delta w$ στην Σχέση 5.1, προκύπτει η εξίσωση:

$$v = \frac{\dot{q}'' \delta}{\rho c l (T_{ig} - T_s)} \quad \{\text{Σχέση 5.2}\},$$

όπου l είναι το ύψος του καυσίμου. Φυσικά, ο προσανατολισμός και ο τύπος της ροής του αέρα, επηρεάζουν τη ροή θερμότητας και την περιοχή δ . Μετρήσεις έχουν δείξει, ότι για μια φλόγα που εξαπλώνεται προς τα κάτω σε ένα τοίχο, η περιοχή δ είναι πολύ μικρή (1 mm) και η εκροή θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας από αυτήν, είναι περίπου 70 kW/m². Για φλόγες που εξαπλώνονται ανοδικά σε ένα τοίχο, η ροή είναι 25 kW/m² για όλη τη φωτεινή περιοχή της φλόγας, η οποία μπορεί να είναι από 20 cm έως και 2 m. Μάλιστα, τα αποτελέσματα δεν εξαρτώνται από το καύσιμο υλικό του τοίχου· είτε είναι

έναν ξύλινο τοίχο ποτισμένο με βενζίνη, είτε είναι από απλό ξύλο, η εκροή θερμότητας από τη φλόγα παραμένει η ίδια.

Η ροή θερμότητας από τις φλόγες, μπορεί να διεισδύσει εις βάθος, μόνο μέχρι ενός σημείου από την επιφάνεια του στερεού. Αυτό συμβαίνει, διότι αυτού του είδους η θέρμανση προλαβαίνει να συμβεί, μόνο κατά τη διάρκεια του χρόνου ανάφλεξης. Συνεπώς, και στην περιγραφή της εξάπλωσης της φλόγας, δημιουργείται η ανάγκη ενός διαχωρισμού, μεταξύ λεπτών και χονδρών υλικών. Αντικαθιστώντας το χρόνο ανάφλεξης από τη Σχέση 4.1 στη Σχέση 5.2, προκύπτει ότι:

$$\boxed{v = \frac{\delta}{t_{ig}}} \quad \{\text{Σχέση 5.3}\},$$

η οποία μάλιστα έχει αποδειχθεί ότι ισχύει και για την περίπτωση των χονδρών υλικών, με αντικατάσταση του χρόνου ανάφλεξης χονδρών υλικών:

$$\boxed{v = \frac{4/\pi (\dot{q}'' \delta)}{k\rho c(T_{ig} - T_s)^2}} \quad \{\text{Σχέση 5.4}\},$$

Επομένως, η εύρεση της ταχύτητας εξάπλωσης εξαρτάται μόνο από τη μέτρηση ή τον θεωρητικό υπολογισμό των δ και t_{ig} . Επίσης, από την Σχέση 4, μπορεί να βρει κανείς το βάθος της διείσδυσης ως:

$$\boxed{L = 4\sqrt{at_{ig}}} \quad \{\text{Σχέση 5.5}\},$$

Τέλος, σημειώνεται ότι τα σύνθετα υλικά, πρέπει να λαμβάνονται ως ένα χονδρό υλικό.

5.2 Κατηγορίες εξάπλωσης.

Στην περίπτωση που η φλόγα εξαπλώνεται καθοδικά ή εγκάρσια σε ένα τοίχο, ο όρος $\dot{q}'' \delta$ της Σχέσης 5.4, εξαρτάται από την ροή του αέρα και από το είδος του καυσίμου. Στην ειδική περίπτωση, κατά την οποία δεν υπάρχει εξαναγκασμένη κίνηση αέρα, ο παρονομαστής της Σχέσης 5.4, ορίζεται ως ιδιότητα φ [kW^2/m^3]. Το φ , εξαρτάται μόνο από το είδος του καυσίμου και μπορεί να εκτιμηθεί, μεταξύ άλλων παραμέτρων, μέσω της δοκιμασίας American Society for Testing and Materials (ASTM)

E 1321: *Standard Test Method for Determining Ignition and Flame Spread Properties*⁷. Αυτού του τύπου η εξάπλωση, δηλαδή με τη φυσική ροή να αντιστέκεται, συμβαίνει μόνο εφόσον υπάρχει μια ελάχιστη κρίσιμη θερμοκρασία στην επιφάνεια του καυσίμου (π.χ. 120 °C για εγκάρσια εξάπλωση σε κοντραπλακέ). Σε θερμοκρασίες χαμηλότερες αυτής, η φλόγα δεν εξαπλώνεται. Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες της κρίσιμης, η ταχύτητα εξάπλωσης αυξάνεται εκθετικά. Για παράδειγμα, η εγκάρσια εξάπλωση σε ένα κοντραπλακέ έχει ταχύτητα 0,33 mm/s όταν ξεκινά, στους 120 °C, και φτάνει τα 3 mm/s στους 300 °C. Όταν η θερμοκρασία φτάσει στο σημείο ανάφλεξης του υλικού, η διαδικασία αυτή σταματά. Αυτό συμβαίνει, διότι η φλόγα πλέον εξαπλώνεται μέσα από τα αέρια που προέρχονται από την πυρόλυση του στερεού καυσίμου, με ταχύτητα φλόγας προανάμιξης 3-10 cm/s. Στις δοκιμασίες καθοδικής ή εγκάρσιας εξάπλωσης, αυτή η «προθέρμανση» των επιφανειών μέχρι την κρίσιμη θερμοκρασία, γίνεται μέσω ακτινοβολίας από θερμαντικά σώματα. Όμως, στις πραγματικές φωτιές η θέρμανση των επιφανειών γίνεται με μεταφορά θερμότητας μέσω του θερμού καπνού, δείγμα του πόσο μπορούν να επηρεάσουν οι συνθήκες που επικρατούν στο χώρο, την επιτάχυνση της εξάπλωσης.

Στις φλόγες που εξαπλώνονται επιβοηθούμενες από τη ροή του αέρα, είτε αυτή είναι φυσική είτε εξαναγκασμένη, τα φαινόμενα είναι μεταβατικά και δεν υπάρχουν τέλειες γενικές εξισώσεις, οι οποίες να μπορούν να εφαρμοστούν για όλες τις περιπτώσεις. Αυτή η κατηγορία, συμπεριλαμβάνει τις φλόγες με ανοδική εξάπλωση σε ένα τοίχο, τις φλόγες οροφής και τις φλόγες σε ένα άνοιγμα, με κάθε μία από αυτές τις κατηγορίες να συμπεριφέρεται διαφορετικά. Η εξάπλωση της φλόγας για αυτές τις φωτιές, επιτυγχάνεται μέσω της εκροής ενέργειας από το κομμάτι της φλόγας που εκτείνεται ακριβώς πάνω από την περιοχή δ (Σχήμα 5.1). Το ύψος της φλόγας, και συνεπώς η εξάπλωσή της, εξαρτώνται από την έκλυση ενέργειας της φωτιάς, η οποία, για αυτή την κατηγορία, είναι μεταβαλλόμενη. Για παράδειγμα, στη διαδικασία της εξάπλωσης της φλόγας από μια εστία στο δάπεδο, μέσω ενός τοίχου, προς την οροφή, αλλάζουν οι συγκεντρώσεις και τα είδη των καυσίμων, καθώς και η ροή του αέρα. Η εξίσωση 14 ισχύει μόνο για το αρχικό στάδιο της φωτιάς. Όμως, όσο η φωτιά εξαπλώνεται, η εξάρτηση από την αρχική εστία χάνεται, και οι συνθήκες στην περιοχή δ μεταβάλλονται (όπως και το μήκος αυτής). Οι τυπικές ταχύτητες εξάπλωσης για φλόγες επιβοηθούμενες από την ροή του αέρα είναι από 1 έως 200 cm/s.

Η εξάπλωση της φλόγας σε πορώδη υλικά, εξαρτάται από την έκλυση ενέργειας, η οποία συμβαίνει μέσα στα όρια του πορώδες πλέγματος που σχηματίζουν τα υλικά, και όχι από τα φαινόμενα στην εξωτερική του επιφάνεια. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι

φωτιές κλαδιών στα δάση και οι επιβοηθούμενες από τον άνεμο φωτιές σε συμπλέγματα κατοικιών. Η ταχύτητα της εξάπλωσης μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση:

$$v = \frac{\dot{q}''}{\rho_{\delta} c (T_{ig} - T_s)} \quad \{\text{Σχέση 5.6}\},$$

όπου το ρ_{δ} είναι ο λόγος της μάζας του καυσίμου με τον όγκο του πλέγματος (συνολική πυκνότητα). Μάλιστα, για τα υλικά που υπάρχουν στα δάση, και γενικότερα για την ξυλεία, οι εκροές θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας και οι θερμικές ιδιότητες είναι σχεδόν σταθερές. Έχει δηχθεί πειραματικά ότι ισχύει⁸:

$$v = \frac{C}{\rho_{\delta}} \quad \{\text{Σχέση 5.7}\},$$

όπου το C είναι μια σταθερά. Για δασικά καύσιμα, είναι ίση με περίπου $0,07 \text{ kg/m}^3$, ενώ είναι $0,05 \text{ kg/m}^3$ για ένα πλέγμα από ξύλινες ράβδους με διάμετρο 3 cm (π.χ. μια κούνια). Όταν υπάρχει άνεμος, έχει δηχθεί πειραματικά ότι η Σχέση 5.7 ισχύει, εφόσον πολλαπλασιαστεί με τον όρο $(1+V_w)$, όπου V_w είναι η ταχύτητα του ανέμου σε m/s (για ταχύτητες μέχρι 4 m/s)⁹.

Η εξάπλωση της φλόγας σε υγρές επιφάνειες, ακολουθεί παρόμοιους μηχανισμούς με την εξάπλωση στα στερεά. Η διαφορά είναι, ότι προκύπτουν κινήσεις του υγρού, λόγω των θερμοκρασιακών διαφορών. Για παράδειγμα, επειδή η θερμοκρασία του υγρού κάτω από τη φλόγα είναι μεγαλύτερη, προκαλούνται φυσικές ροές που απομακρύνονται από τη φλόγα. Επίσης, επειδή η επιφανειακή τάση μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, το υγρό στην περιοχή δ τείνει να τραβάει τη φλόγα από την θερμότερη προς την ψυχρότερη περιοχή. Αυτά τα δύο φαινόμενα είναι υπεύθυνα για την αύξηση του ρυθμού της εξάπλωσης στα υγρά, σε σχέση με τα στερεά.

Η εξάπλωση της φλόγας είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο, το οποίο δύσκολα περιγράφεται πλήρως με ποσοτικές αναλύσεις. Στον Πίνακα 5.1, παρουσιάζονται μερικές χρήσιμες τυπικές τιμές χρόνου εξάπλωσης της φλόγας. Παρόλο που υπάρχουν αρκετές εξισώσεις, δεν υπάρχουν αρκετά δεδομένα για τις μεταβλητές τους και για τις ιδιότητες των καυσίμων. Εν μέρει, αυτό οφείλεται και στον τρόπο, με τον οποίο γίνονται οι καθιερωμένες δοκιμασίες που χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωση των κανονισμών και της νομοθεσίας. Πιο συγκεκριμένα, οι περισσότερες δοκιμασίες παράγουν απλά

σχετικούς δείκτες, και όχι παραμέτρους που μπορούν χρησιμοποιηθούν στις γενικές εξισώσεις. Μάλιστα, μερικές μπορούν να χαρακτηριστούν έως και παραπλανητικές, καθώς δεν χρησιμοποιούν ρεαλιστικά σενάρια πυρκαγιάς. Άλλες βασίζονται αποκλειστικά σε πειραματικά δεδομένα. Για παράδειγμα, το Steiner tunnel test¹⁰ (ASTM E 84) είναι μια δοκιμασία για την εξάπλωση φλόγας επιβοηθούμενης από τη ροή του αέρα, με το υλικό να βρίσκεται στην οροφή ενός αγωγού. Η δοκιμασία παράγει μια σχετική βαθμολόγηση της εξάπλωσης (δείκτη), κανονικοποιημένης με ένα ρυθμό εξάπλωσης, ο οποίος έχει παραχθεί από πειράματα καύσης κόκκινου δρυ. Παρόμοιους σχετικούς δείκτες, παράγει και η δοκιμασία για καθοδική εξάπλωση φλόγας, ASTM E 162¹¹. Αντιθέτως, η δοκιμασία ASTM E 648¹² είναι από τις ελάχιστες που δίνουν δεδομένα με επιστημονικούς όρους. Με αυτήν, βρίσκεται η ελάχιστη ροή θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας, η οποία απαιτείται για την εξάπλωση της φλόγας, σε υλικά του δαπέδου. Μια άλλη δοκιμασία που δίνει επιστημονικά χρήσιμες ποσότητες, όπως τα T_s , T_{ig} , k_{rc} και το ϕ , είναι η ASTM E 1321⁷. Παραδόξως, αυτή δεν χρησιμοποιείται καθόλου για την διαμόρφωση κανονισμών. Φυσικά, δεν υπάρχει καμία δοκιμασία που να αποδίδει όλα εκείνα τα στοιχεία, τα οποία είναι απαραίτητα για την πρόβλεψη της εξάπλωσης της φωτιάς με επιστημονική ανάλυση. Αυτή η έλλειψη, είναι ένα σοβαρό πρόβλημα για την εκτίμηση των κινδύνων από την εφαρμογή νέων υλικών.

Τύπος	Ταχύτητα εξάπλωσης (cm/s)
Βραδεία καύση	0,001-0,01
Εγκάρσια η καθοδική διάδοση	0,1
Δασική εξάπλωση με άνεμο	1-30
Ανοδική διάδοση	1-100
Οριζόντια διάδοση σε υγρά	1-100
Φλόγες προανάμιξης	(στρωτή ροή) 10-100
	(έκρηξη) 10 ⁵

Πίνακας 5.1. Τυπικές ταχύτητες εξάπλωσης της φλόγας.

6. Ο ρυθμός καύσης.

Ο ρυθμός καύσης, ορίζεται ως ο ρυθμός κατανάλωσης της μάζας του καυσίμου, αποκλειστικά από την αντίδραση της καύσης, και όχι, για παράδειγμα, από την απλή εξάτμιση. Είναι μεταβλητή ποσότητα, και εξαρτάται από τις ιδιότητες, τη διάταξη, τον προσανατολισμό και την επιφάνεια του καυσίμου. Μια γενική εξίσωση για την εκτίμηση του ρυθμού καύσης ανά μονάδα επιφάνειας, είναι η:

$$\boxed{\dot{m}_f'' = \frac{\dot{q}''}{L}} \quad \{\text{Σχέση 6.1}\},$$

όπου \dot{m}_f'' είναι ο ρυθμός κατανάλωσης μάζας ανά μονάδα επιφάνειας και L είναι η θερμότητα που απαιτείται για την εξαέρωση του καυσίμου. Το \dot{q}'' , είναι η συνολική ροή θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας, την οποία αντιλαμβάνεται το καύσιμο. Δηλαδή, είναι η ροή που παράγεται από την καύση της φλόγας, συν την εισροή θερμότητας από το περιβάλλον, μείον την εκροή θερμότητας από την εκπομπή θερμικής ακτινοβολίας. Η παραπάνω σχέση, αποτελεί μια ακριβής περιγραφή του ρυθμού καύσης για τα υγρά και τα θερμοπλαστικά στερεά καύσιμα. Όμως, για τα θερμοσκληραινόμενα πλαστικά, την ξυλεία και γενικά τα υλικά που καρβουνιάζουν όταν καίγονται, μπορεί μόνο να δώσει μια εκτίμηση, για την μέγιστη τιμή του. Τα υγρά και τα θερμοπλαστικά φτάνουν πολύ γρήγορα σε μια μόνιμη κατάσταση και έχουν σταθερό L . Τα υλικά που καρβουνιάζουν φτάνουν γρήγορα στο μέγιστο ρυθμό καύσης τους. Κατόπιν, η καύση τους εξασθενεί. Για αυτά, το L μπορεί να εκφραστεί μόνο ως ένας προσεγγιστικός μέσος όρος. Η πραγματική τιμή, μεταβάλλεται με το χρόνο, λόγω της απώλειας ενέργειας στο κάρβουνο. Επίσης, για μικρές «λίμνες» υγρών καυσίμων και για στερεά εμποτισμένα με υγρά καύσιμα, η σχέση υπερεκτιμά το ρυθμό καύσης. Αυτό συμβαίνει, διότι αρκετή από τη συνολική θερμότητα ξοδεύεται διεισδύοντας εις βάθος στο καύσιμο. Αν και είναι δύσκολο να μετρηθούν, οι τυπικές τιμές για το \dot{m}_f'' σε μια φωτιά είναι από 5 έως 50 $\text{g/m}^2\text{s}$. Παρόλο που δεν υπάρχει μια ενιαία και απλή θεωρία που να εξηγεί το μηχανισμό της κατάσβεσης, ισχύει ως πρακτικός κανόνας, ότι τιμές μικρότερες των 5 $\text{g/m}^2\text{s}$, οδηγούν σε σβέση. Με ένα τέτοιο ρυθμό καύσης, κατάσβεση μπορεί να προκληθεί, μέσω μιας μείωσης του οξυγόνου της ατμόσφαιρας ή μέσω μιας μείωσης της συνολικής εισροής θερμότητας στην επιφάνεια (ψύξη με νερό).

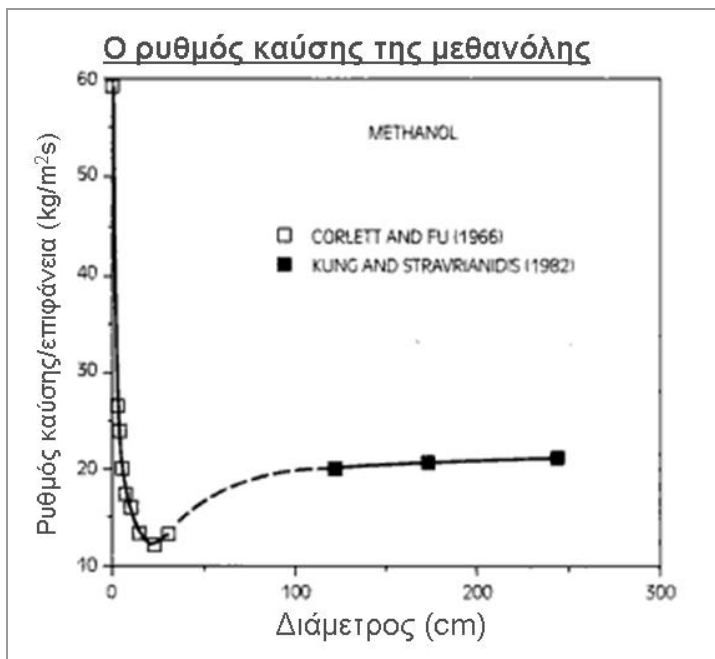
Στον Πίνακα 6.1, αναγράφονται μερικές τιμές για το L διαφόρων υλικών. Παρατηρείται, ότι οι τιμές αυξάνονται καθώς πηγαίνει κανείς από τα υγρά (< 1 kJ/g), στα θερμοπλαστικά (1-3 kJ/g) και στα υλικά που δημιουργούν κάρβουνο κατά την καύση τους (2-6 kJ/g), αν και για τα τελευταία οι τιμές είναι προσεγγιστικές. Στα στερεά, η προσθήκη χημικών επιβραδυντικών ουσιών, μπορεί να οδηγήσει στη μείωση της τιμής της θερμότητας εξαέρωσης L. Επίσης, την τιμή του L, επηρεάζει η φυσική μορφή του στερεού (σκόνη, αφρός κτλ.). Σε μία φωτιά, τα υγρά καύσιμα φτάνουν στην θερμοκρασία του σημείου ζέσεως τους (π.χ. 30 °C για βενζίνη και 232 °C για κηροζίνη). Τα θερμοπλαστικά φθάνουν θερμοκρασίες της τάξης των 250-400 °C και τα υλικά που κάρβουναίνουν, φθάνουν τους 400-500 °C.

Καύσιμο	L [kJ/g]
Υγρά:	
Βενζίνη	0,33
Εξάνιο	0,45
Κηροζίνη	0,67
Μεθανόλη	1,23
Θερμοπλαστικά:	
Πολυεθυλένιο	1,8-3,6
Προπυλένιο	2-3,1
Νάιλον	2,4-3,8
Πολυστερίνη	1,3-1,9
Εύκαμπτος αφρός πολυουρεθάνης	1,2-2,7
Υλικά που δημιουργούν κάρβουνο:	
Χλωριούχο πολυβινύλιο	1,7-2,5
Άκαμπτος αφρός πολυουρεθάνης	1,2-5,3
Χαρτί φίλτρου γκοφρέ	2,2
Ξύλα	4-6,5

Πίνακας 6.1. Τυπικές τιμές L για υγρά, θερμοπλαστικά και υλικά που δημιουργούν κάρβουνο κατά την καύση τους ¹.

Το κύριο πρόβλημα, το οποίο προκύπτει όσον αφορά στην εφαρμογή της Σχέσης 6.1, είναι ότι είναι δύσκολο να υπολογιστεί ή να μετρηθεί η συνολική θερμική εισροή στην επιφάνεια του καυσίμου. Μεταξύ άλλων, αυτή εξαρτάται από το είδος του καυσίμου, τον προσανατολισμό και την διάταξη του. Για κάθε διαφορετική περίπτωση, χρειάζονται ξεχωριστά πειράματα. Για παράδειγμα, έχει αποδειχθεί ότι ο ρυθμός καύσης στα υγρά καύσιμα επηρεάζεται από τη διάμετρο της «λίμνης» των καυσίμων. Αυτό είναι κάτι που φαίνεται καθαρά στην περίπτωση της μεθανόλης (Σχήμα 6.1). Όταν η

διάμετρος είναι μικρότερη των 5 cm, η φλόγα είναι λεπτή, στρωτή και φτάνει τους 2000 °C. Για την ίδια περιοχή (< 5 cm), ισχύει το ότι όσο μεγαλώνει η διάμετρος, ολοένα και μεγαλύτερο μέρος της φλόγας απομακρύνεται από την επιφάνεια του καυσίμου, με αποτέλεσμα να μειώνεται το \dot{m} . Ο ρυθμός καύσης φτάνει στο ελάχιστό του στην περιοχή 5-20 cm, όπου η φλόγα γίνεται έντονα τυρβώδης, φτάνει στη θερμοκρασία των 800 °C και εκλύει θερμότητα με ροή ανά επιφάνεια 8 kW/m², το μέγιστο. Η αύξηση του ρυθμού καύσης για μεγαλύτερες διαμέτρους οφείλεται στο γεγονός ότι η φλόγα αυξάνεται και πυκνώνει, με αποτέλεσμα την εκπομπή μεγαλύτερης ακτινοβολίας από προϊόντα της καύσης, όπως η αιθάλη. Όταν αυτή η ακτινοβολία φτάσει το μέγιστό της, το ίδιο κάνει και ο ρυθμός καύσης. Γενικά, αυτό συμβαίνει όταν η διάμετρος είναι 1 με 2 m. Στον Πίνακα 6.2, αναγράφονται μερικές τιμές μέγιστων ρυθμών καύσης ανά μονάδα επιφάνειας για υγρά και στερεά καύσιμα, όπως αυτές έχουν προκύψει από πειράματα. Οι τιμές για τα στερεά πρέπει να λαμβάνονται μόνο ως αδρές προσεγγίσεις, αλλά είναι χρήσιμες για υπολογισμούς, ιδιαίτερα για σενάρια χειρότερης κατάστασης.



Σχήμα 6.1. Η εξάρτηση του ρυθμού καύσης ανά μονάδα επιφάνειας από τη διάμετρο της «λίμνης» μεθανόλης^{13,14}.

6.1 Ο ρυθμός έκλυσης ενέργειας.

Η ποσότητα, η οποία είναι περισσότερο χρήσιμη, όσον αφορά στις πυρκαγιές, είναι ο ρυθμός έκλυσης ενέργειας, ή ρυθμός έκλυσης θερμότητας, \dot{Q} [kW]. Ο ρυθμός έκλυσης ενέργειας, ευρύτερα γνωστός ως ρυθμός έκλυσης ενέργειας, αντιπροσωπεύει την ισχύ της φωτιάς και την ικανότητά της να προκαλέσει καταστροφές. Το ύψος της φλόγας, η ικανότητα μιας φωτιάς για ανάπτυξη και η έκλαμψη, σχετίζονται άμεσα με το ρυθμό έκλυσης ενέργειας, ο οποίος εκφράζεται ως εξής:

$$\dot{Q} = \dot{m}_f'' A \Delta h_c \quad \{\text{Σχέση 6.2}\},$$

όπου Δh_c είναι η ωφέλιμη θερμότητα της καύσης ανά μονάδα αντιδρούσας μάζας, κατά τη φλέγουσα φάση της φωτιάς. Η τιμή του Δh_c , μετριέται με μια συσκευή θερμιδομετρίας, η οποία είναι γνωστή ως «βόμβα οξυγόνου». Σε αυτήν, το δείγμα καίγεται πλήρως σε κλειστό δοχείο, με πλεόνασμα καθαρού οξυγόνου. Για ένα καιγόμενο ξύλο, η τυπική τιμή του Δh_c είναι περίπου 13 kJ/g, κατά τη φλέγουσα φάση. Μια επίσης σημαντική παράμετρος, για την εκτίμηση κινδύνων είναι ο λόγος $\Delta h_c/L$, καθώς μας δίνει την ενέργεια που εκλύεται ανά την ενέργεια που απαιτείται για την εξαέρωση του καυσίμου. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 6.2, τα υγρά καύσιμα είναι πολύ πιο επικίνδυνα από τα στερεά. Ως ένα απλό παράδειγμα, μπορεί κανείς να συγκρίνει τις τιμές του ρυθμού έκλυσης ενέργειας από την καύση τριών διαφορετικών υλικών (ξύλο, πολυαιθυλένιο και βενζίνη), για μια φωτιά με διάμετρο 1 m. Χρησιμοποιώντας τις μέγιστες τιμές από τον Πίνακα 6.2, και τη Σχέση 6.2, τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι 130 kW για το ξύλο, 1189 kW για την πολυστερίνη και 1887 για τη βενζίνη.

Για την μέτρηση του ρυθμού έκλυσης ενέργειας χρησιμοποιούνται πειραματικές μέθοδοι, όπως η θερμιδομετρία κατανάλωσης οξυγόνου. Με χρήση κατάλληλων διατάξεων (Σχήμα 6.2), μπορεί να μετρηθεί η κατανάλωση μάζας (ζύγιση κατά την καύση) και η κατανάλωση του οξυγόνου. Γνωρίζοντας ότι η θερμότητα καύσης ανά μονάδα μάζας οξυγόνου που καταναλώνεται είναι σταθερή για ένα μεγάλο φάσμα υλικών (13 kJ/g), μπορεί κανείς να υπολογίσει τον ρυθμό έκλυσης ενέργειας. Μερικές τυπικές τιμές για το μέγιστο ρυθμό καύσης υλικών είναι [g/s]: 3-10 για κάδο απορριμμάτων, 10-100 για καρέκλες και καναπέδες, 130 για μια κρεβατοκάμαρα και 30.000 για ένα σπίτι¹. Μερικές τυπικές τιμές για το μέγιστο ρυθμού έκλυσης ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας καυσίμου υλικού είναι [MW/m²]: 2,2 για βενζίνη και κηροζίνη,

2,2 για χάρτινα κιβώτια στοιβαγμένα καθ' ύψος (4,5 m) και 6,6 για ξύλινες παλέτες ύψους 3 m. Στην πραγματικότητα, ακόμα και για αντικείμενα της ίδιας κατηγορίας προκύπτουν αρκετά διαφορετικές τιμές, οι οποίες εξαρτώνται από το μέγεθος, το υλικό, τα βραδύκαυστα υλικά που υπάρχουν και τον τρόπο ανάφλεξης. Είναι απαραίτητες, λοιπόν, δοκιμασίες για κάθε διαφορετική περίπτωση.

Καύσιμο	\dot{m}_f'' [g/m ² s]	Δh_c [kJ/g]	$\Delta h_c/L$
Προπάνιο	100-130	46,5	
Μεθάνιο	80-100	50	40,7
Βενζόλιο	90	40	
Βουτάνιο	80	45,7	
Εξάνιο	70-80	43,8	97,4
Επτάνιο	65-75	44,6	76,9
Βενζίνη	50-60	43,7	135,2
Μεθανόλη	22	19,8	
Πολυστερίνη	38	39,8	20,9-30,6
Πολυαιθυλένιο	26	43,3	12-24
Πολυπροπυλένιο	24	43,3	
Πολυβινύλιο χλωριούχο	16	16,4	6,6-9,6
Ξύλο	11	13-15	2-3,75

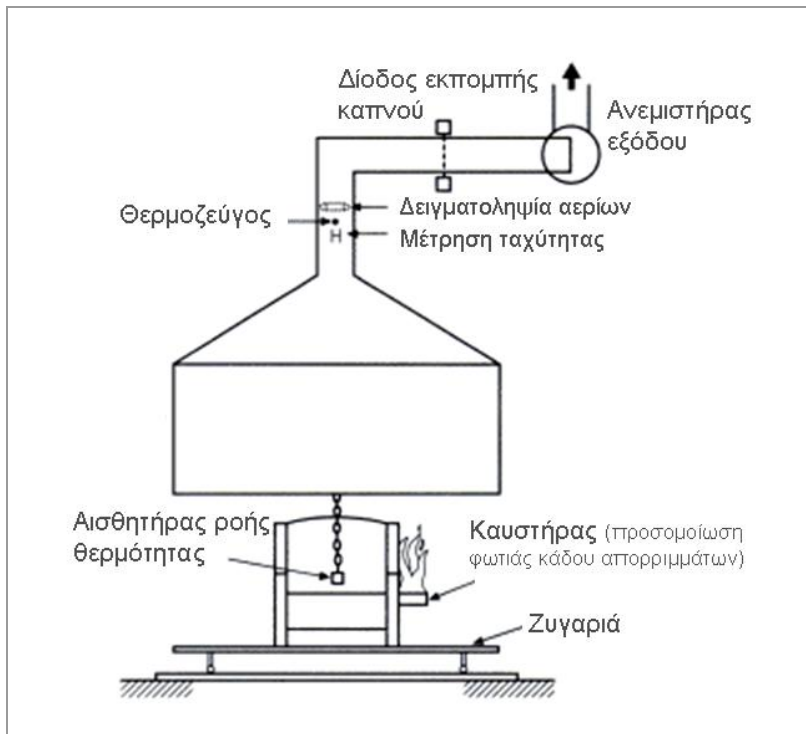
Πίνακας 6.2. Τιμές για το μέγιστο ρυθμό καύσης ανά μονάδα επιφάνειας, τη θερμότητα φλέγουσας καύσης και το λόγο $\Delta h_c/L$ για διάφορα υλικά ¹.

Ένα χρήσιμο μέγεθος για την εκτίμηση της ανάπτυξης της φωτιάς, είναι ο χαρακτηριστικός χρόνος t_1 κάθε αντικειμένου, στον οποίο φτάνει στην εκπομπή 1 MW ενέργειας. Έχει βρεθεί πειραματικά ότι ο ρυθμός ανάπτυξης της φωτιάς, περιγράφεται προσεγγιστικά από τη σχέση:

$$\boxed{\dot{Q} = at^2} \quad \{\text{Σχέση 6.3}\},$$

όπου το a είναι μια σταθερά, χαρακτηριστική του καιγόμενου αντικειμένου, η οποία προκύπτει από την προσαρμογή της παραπάνω εξίσωσης σε εμπειρικά δεδομένα. Τυπικές τιμές για το t_1 είναι: 77-115 s για ξύλινες παλέτες ύψους 3 m, 58 s για χάρτινα κιβώτια ύψους 4,5 m, 24-39 s για οινόπνευμα σε δοχεία στοιβαγμένα καθ' ύψος (6 m) και 9 s για κάδους πολυπροπυλενίου στοιβαγμένους καθ' ύψος (4,5 m) μέσα σε χάρτινα κιβώτια^{1,18}. Η σχέση αυτή, έχει ενσωματωθεί σε κανονισμούς των ΗΠΑ, οι οποίοι

σχετίζονται με την πυρανίχνευση (NFPA 72B)¹⁵ και την ανίχνευση καπνού (NFPA 92B)¹⁶, για την κατηγοριοποίηση της ταχύτητας της φωτιάς. Για παράδειγμα, μια φωτιά με χαρακτηριστικό χρόνο έως 75 s χαρακτηρίζεται πολύ γρήγορη, με χρόνο από 75-150 s θεωρείται γρήγορη, με χρόνο 150-300 s μέτρια κ.τ.λ.



Σχήμα 6.2. Διάγραμμα διάταξης θερμιδομετρίας κατανάλωσης οξυγόνου¹.

7. Η στήλη της φωτιάς και το ύψος της φλόγας.

7.1 Η στήλη της φωτιάς.

Με τον όρο στήλη της φωτιάς, περιγράφεται η στήλη των αιωρημάτων, η οποία σχηματίζεται πάνω από την φωτιά και περιλαμβάνει όλα τα παράγωγα της καύσης. Σε μια φωτιά, τα αέρια πάνω από την εστία θερμαίνονται, η πυκνότητά τους μειώνεται και συνεπώς μετακινούνται ανοδικά (άνωση). Η μετακίνηση αυτή, έχει ως συνέπεια την παράσυρση των ψυχρότερων αερίων που βρίσκονται γύρω από τη φωτιά, μέσα στη στήλη. Η ροή παράσυρσης του αέρα προς το εσωτερικό της στήλης, είναι εν μέρει υπεύθυνη για το ύψος της φλόγας και τα χαρακτηριστικά της στήλης. Οι φλόγες, οι οποίες είναι ψηλότερες από 30 cm, παρουσιάζουν τυρβώδη ροή με χαρακτηριστικές διακυμάνσεις στη θερμοκρασία, συχνότητας περίπου 10 Hz. Επιπλέον, καθώς τα ρευστά της στήλης ανεβαίνουν λόγω άνωσης, τα ψυχρότερα σύνορά τους επιβραδύνονται από φαινόμενα τριβής των ρευστών, και επιστρέφουν προς τα κάτω. Ως συνέπεια, σχηματίζονται δίνες περιμετρικά της στήλης, οι οποίες παίζουν σημαντικό ρόλο στην παράσυρση του αέρα μέσα στη στήλη, και οι οποίες σχηματίζουν ανοδικούς περιοδικούς στρόβιλους. Κάθε τέτοιος στρόβιλος οδηγεί την φωτιά από το ελάχιστο στο μέγιστο ύψος της, κάτι που συμβαίνει με συχνότητα, η οποία υπολογίζεται από τη σχέση:

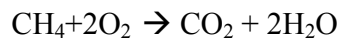
$$f = \frac{1.5}{\sqrt{D}} \quad \{\text{Σχέση 7.1}\},$$

όπου D είναι η διάμετρος της βάσης της φωτιάς. Για παράδειγμα, σε μια φωτιά με διάμετρο βάσης 10 cm, σχηματίζονται περίπου 5 ανοδικοί στρόβιλοι το δευτερόλεπτο και ισάριθμες διακυμάνσεις του ύψους της φλόγας. Αυτά τα φαινόμενα, είναι υπεύθυνα για τη χαρακτηριστική μορφή που παρουσιάζει μια φωτιά και η στήλη της.

7.2 Το ύψος της φλόγας.

Για μία φλόγα, αναβλύζουσα από ένα σωλήνα με διάμετρο D και με ταχύτητα εξόδου v_e , ισχύει ότι καθώς η ταχύτητα της αυξάνεται, η φλόγα παραμένει στρωτή μέχρι που φτάνει το μέγιστο ύψος της (Σχήμα 7.1). Το μέγιστο αυτό ύψος, είναι περίπου 200 φορές η διάμετρος της εξόδου. Για ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες, η φλόγα γίνεται τυρβώδης και το ύψος της παραμένει σταθερό. Σε αυτές τις ταχύτητες, το ύψος εξαρτάται μόνο από το είδος του καυσίμου και την διάμετρο του σωλήνα. Γενικά, το

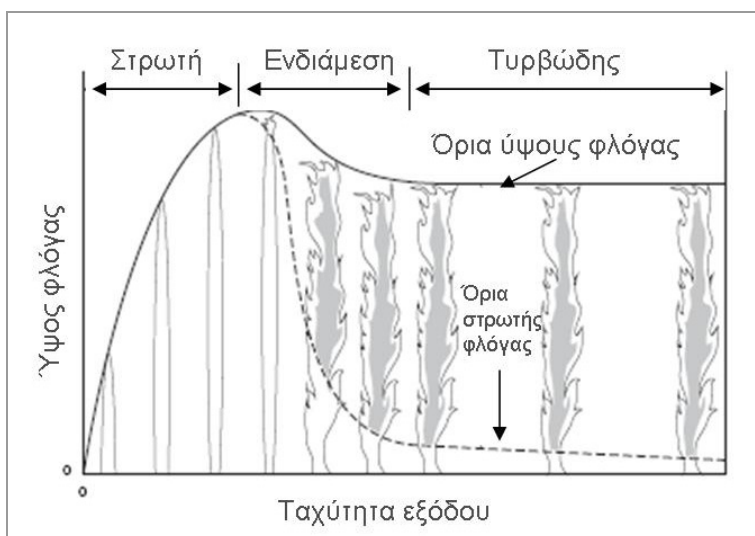
ύψος της φλόγας φτάνει μέχρι το σημείο, όπου έχει καεί όλο το καύσιμο. Από τη στιγμή που το καύσιμο παρέχεται μόνο στη βάση, το ύψος εξαρτάται από την ροή του αέρα, ο οποίος παρασύρεται στη ζώνη καύσης. Για να είναι η καύση πλήρης πρέπει να υπάρχει ένας στοιχειομετρικός λόγος s , μεταξύ της μάζας του αέρα και της μάζας του καυσίμου. Για παράδειγμα, το στοιχειομετρικό κλάσμα για την ιδανική καύση μεθανίου είναι 17,2, δηλαδή 274,7 gr αέρα, 21% οξυγόνο και 79% άζωτο, για κάθε 16 gr μεθανίου, κάτι που προκύπτει εύκολα από τη χημική εξίσωση της αντίδρασης:



Στην περίπτωση που η φλόγα είναι τυρβώδης, η όλη διαδικασία παύει να είναι ιδανική. Το αποτέλεσμα είναι, ότι η παροχή αέρα είναι μεγαλύτερη από την φυσιολογική. Για αναβλύζουσα, αλλά και τυρβώδη φλόγα, ισχύει ότι:

$$s = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} = \frac{\rho_a D v_e L}{\rho_f D^2 v_e \pi/4} \Rightarrow \frac{L}{D} = \frac{\pi \rho_f s}{4 \rho_a} \quad \{\text{Σχέση 7.2}\},$$

όπου \dot{m}_a , είναι η ροή μάζας του αέρα που προσάγεται στη φωτιά όταν η φλόγα είναι τυρβώδης, \dot{m}_f είναι η παροχή καυσίμου, ρ_a είναι η πυκνότητα του αέρα, και ρ_f είναι η πυκνότητα του καυσίμου στην έξοδο του σωλήνα, ως αέριο. Από τη Σχέση 7.2, γίνεται φανερό, ότι το ύψος της φλόγας είναι σταθερό για την τυρβώδη αναβλύζουσα φλόγα και εξαρτάται μόνο από το καύσιμο (ρ_f) και την διάμετρο (D).



Σχήμα 7.1 Η εξάρτηση της αναβλύζουσας ροής από την ταχύτητα εξόδου¹.

Για την περίπτωση της φωτιάς σε λιμνάζοντα καύσιμα, η ταχύτητα της εξάτμισης των καυσίμων, η οποία είναι της τάξης των μερικών εκατοστών ανά δευτερόλεπτο, δεν είναι σε καμία περίπτωση ικανή να προκαλέσει προσαγωγή του αέρα ανάλογη, με τις αναβλύζουσες φλόγες. Η άνωση, είναι υπεύθυνη για τις μεγαλύτερες ταχύτητες στη στήλη της φωτιάς και συνεπώς υπεύθυνη για την παράσυρση του αέρα. Μάλιστα, χρησιμοποιώντας τις αρχές της διατήρησης της ενέργειας για ένα όγκο ελέγχου ενός αερίου που θερμαίνεται, μπορεί κανείς να δείξει ότι ισχύει:

$$v = \sqrt{\frac{2(\rho_a - \rho)gL}{\rho}} = \sqrt{\frac{2(T - T_a)gL}{T_a}} \quad \{\text{Σχέση 7.3}\},$$

όπου ρ είναι η πυκνότητα του θερμαινόμενου αερίου, στο ύψος L . Η παραπάνω εξίσωση, δίνει ταχύτητες λόγω άνωσης, οι οποίες είναι τουλάχιστον δύο τάξεις μεγέθους μεγαλύτερες από τις ταχύτητες εξάτμισης του καυσίμου. Χρησιμοποιώντας την ίδια προσέγγιση, μπορεί κανείς να δείξει θεωρητικά ότι ισχύει:

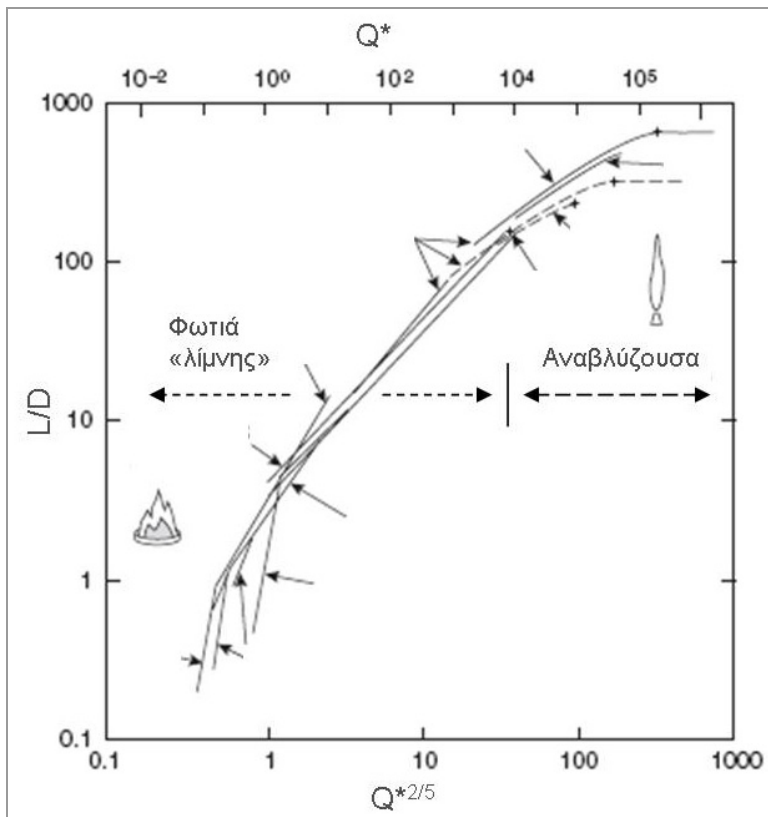
$$\sqrt{Fr} \approx \frac{v}{\sqrt{gD}} = Q^* = \frac{\dot{Q}}{\rho_a c_{pa} T_a \sqrt{gD}^{5/2}}, \text{ και}$$

$$\frac{L}{D} \sim Q^{*2/5} = \frac{(\dot{Q}/\rho_a c_{pa} T_a \sqrt{g})^{2/5}}{D} \quad \{\text{Σχέση 7.4}\},$$

όπου Q^* , είναι ένας αδιάστατος ρυθμός έκλυσης ενέργειας για τυρβώδη φωτιά, ο οποίος αντιπροσωπεύει την ισχύ της φωτιάς, σε σχέση με την διάμετρο της βάσης της. Επίσης, το Q^* αντιπροσωπεύει προσεγγιστικά την ρίζα του αριθμού Froude⁴, ο οποίος εκφράζει ένα λόγο των δυνάμεων της αδράνειας με τις δυνάμεις της βαρύτητας. Το c_{pa} είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα της ατμόσφαιρας. Ο αριθμητής της παραπάνω σχέσης, ονομάζεται χαρακτηριστικό μήκος καύσης, μέγεθος το είναι αντιπροσωπευτικό του ύψους της φλόγας. Το ύψος της φλόγας για αυτήν την περίπτωση, εξαρτάται κυρίως από το ρυθμό έκλυσης ενέργειας της φωτιάς, δηλαδή την ισχύ της. Στο Σχήμα 7.2 παρουσιάζονται δεδομένα για το πλήρες φάσμα μιας φωτιάς: από τα μικρά Q^* (0.5-100), περιοχή όπου αντιπροσωπεύονται οι φυσικές φωτιές, μέχρι τις αναβλύζουσες φλόγες ($Q^* > 10^4$), όπου ή άνωση παύει να παίζει σημαντικό ρόλο. Μία χρήσιμη προσεγγιστική σχέση, για το μέσο ύψος φυσικών φλογών, με βάση πειραματικά δεδομένα, είναι^{1-4,26}:

$$\frac{L}{D} = 3,7\dot{Q}^{*2/5} - 1,02, \text{ και } \boxed{L = 0.235\dot{Q}^{2/5} - 1,02D} \quad \{\text{Σχέση 7.5}\},$$

όπου το \dot{Q} είναι σε kW, και τα μήκη είναι σε m. Η σχέση αυτή ονομάζεται σχέση Heskestad και προέκυψε από την μικρή διόρθωση ενός θεωρητικού μοντέλου, μετά από πειράματα. Συνεχίζοντας το παράδειγμα από την παράγραφο 6.1, σύμφωνα με τη Σχέση 7.5, η φλόγα από φωτιά διαμέτρου 1 m, θα έχει ύψος 0,59 m αν το καύσιμο είναι από ξύλο, 2,89 m αν είναι από πολυστερίνη και 3,68 m αν είναι βενζίνη.



Σχήμα 7.2. Πειραματικά δεδομένα από πολλές διαφορετικές μελέτες, τα οποία συνδέουν το ύψος της φλόγας με την παράμετρο Q^* . Κάθε βελάκι, δείχνει τα αποτελέσματα πειραμάτων από ξεχωριστή έρευνα.

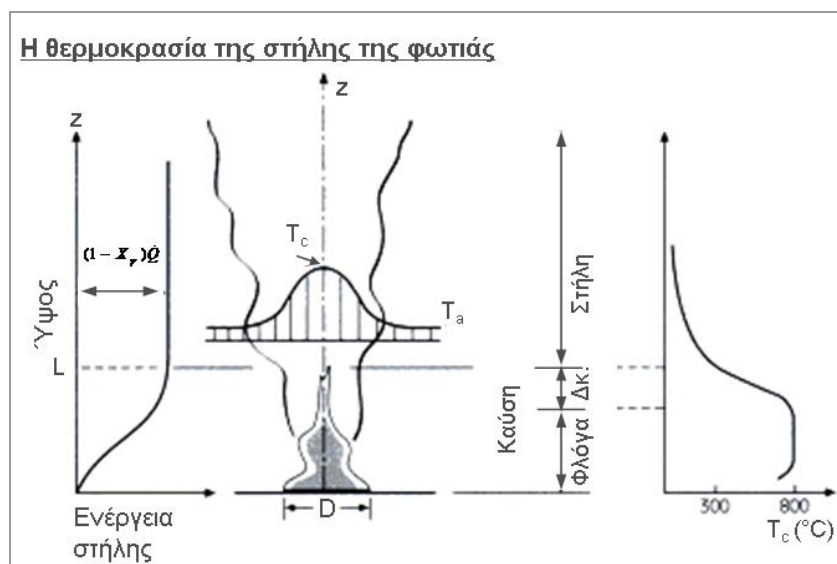
Η θερμοκρασία της στήλης κυμαίνεται από την ελάχιστη τιμή της στα σύνορα με την περιβάλλουσα ατμόσφαιρα, μέχρι την μέγιστη τιμή της T_c , στο κέντρο της φωτιάς (Σχήμα 7.3). Η ροή ενέργειας, την οποία δέχεται η στήλη πάνω από την ζώνη καύσης ($z > L$), είναι σταθερή και ισούται με τον ρυθμό έκλυσης ενέργειας της φωτιάς, μειωμένο κατά τις απώλειες προς την ατμόσφαιρα λόγω εκπομπής ακτινοβολίας, $(1 - X_r)\dot{Q}$. Χρησιμοποιώντας την αρχή της διατήρησης της ενέργειας και τη στοιχειομετρική

αναλογία αέρα και καυσίμου, μπορεί κανείς να υπολογίσει την μέση θερμοκρασία T της στήλης, με τις παρακάτω σχέσεις:

$$T - T_a = \frac{\Delta H_c (1 - X_r)}{c_p n s} \text{ για τη ζώνη καύσης } (z < L), \text{ \{Σχέση 7.7\},}$$

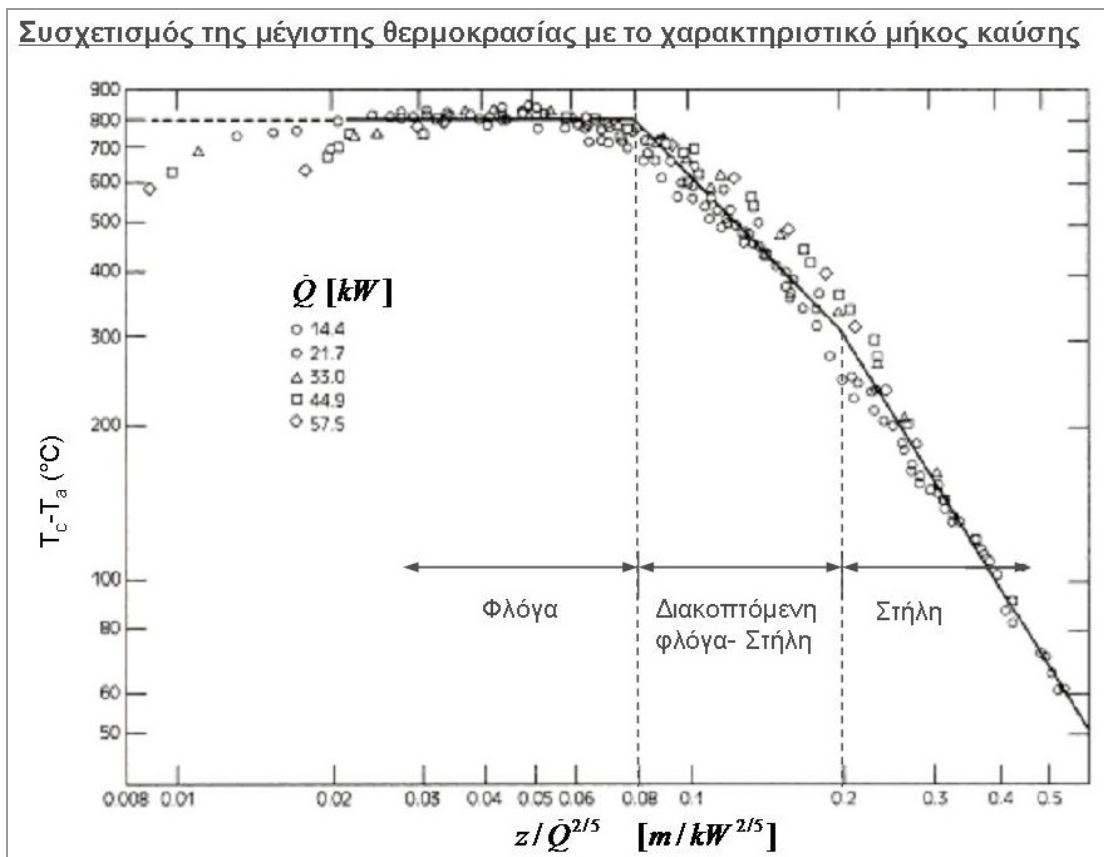
$$T - T_a = \frac{\dot{m}_f \Delta H_c (1 - X_r)}{\dot{m}_a c_p} \text{ για } z > L, \text{ \{Σχέση 7.7\},}$$

όπου n είναι μια παράμετρος, η οποία διορθώνει την στοιχειομετρική αναλογία μεταξύ αέρα και καυσίμου, κατά το επιπρόσθετο ποσό του αέρα που απαιτείται, λόγω της ανεπαρκούς ανάμιξης η οποία συμβαίνει σε μια τυρβώδη φλόγα. Οι δύο σχέσεις έχουν μια σχετική ανεξαρτησία από τον τύπο του καυσίμου, καθώς οι διεργασίες που επηρεάζουν τη θερμοκρασία στη στήλη είναι η ανάμιξη αέρα και καυσίμου και η προσαγωγή του αέρα. Αυτά είναι φαινόμενα, τα οποία έχουν να κάνουν με την τύρβη και την άνωση. Όπως έχει προαναφερθεί, το X_r είναι το κλάσμα της ενέργειας που ακτινοβολείται σε σχέση με την συνολική ενέργεια που εκλύεται. Στις μεγάλες φωτιές, υπάρχει η τάση να σχηματίζονται σύννεφα αιθάλης πάνω από τις φλόγες. Το αποτέλεσμα είναι, ότι το X_r μειώνεται και, ως συνέπεια, η μέση θερμοκρασία της στήλης αυξάνεται.



Σχήμα 7.3. Η χωρική διακύμανση, την οποία παρουσιάζουν η ενέργεια που απορροφά η στήλη και η θερμοκρασία της φωτιάς και της στήλης.

Με βάση πληθώρα δεδομένων από την καύση σε λιμνάζοντα καύσιμα, έχει συσχετισθεί η μέγιστη θερμοκρασία της στήλης T_c (των χρονικών μέσων όρων της), με το χαρακτηριστικό μήκος καύσης. Αντιπροσωπευτικά, στο Σχήμα 7.4 παρουσιάζεται η γραφική παράσταση ενός τέτοιου συσχετισμού, για φωτιές διαφορετικής ισχύος με καύσιμο το προπάνιο¹⁻⁴. Τα αποτελέσματα από την καύση πολλών άλλων υδρογονανθράκων, δίνουν σχεδόν πανομοιότυπες γραφικές παραστάσεις, αναδεικνύοντας την καθολικότητα του συσχετισμού και την ανεξαρτησία της θερμοκρασίας της στήλης από το είδος του καυσίμου. Από αυτές τις παραστάσεις, φαίνεται ότι οι τάσεις όσον αφορά στη θερμοκρασία, διαχωρίζονται σε τρεις ζώνες. Στη πρώτη ζώνη βρίσκεται η φλόγα, όπου η θερμοκρασία είναι η μέγιστη (800 °C). Στην ενδιάμεση ζώνη, η φλόγα είναι διακοπτόμενη, μέχρι που η φλόγα φτάνει το μέγιστο ύψος της. Σε αυτό το σημείο, ισχύει ότι $L/\dot{Q}^{2/5} \approx 0,2$, ενώ η θερμοκρασία πέφτει περίπου στους 300 °C. Η τελευταία ζώνη, βρίσκεται πέρα από την ζώνη καύσης.



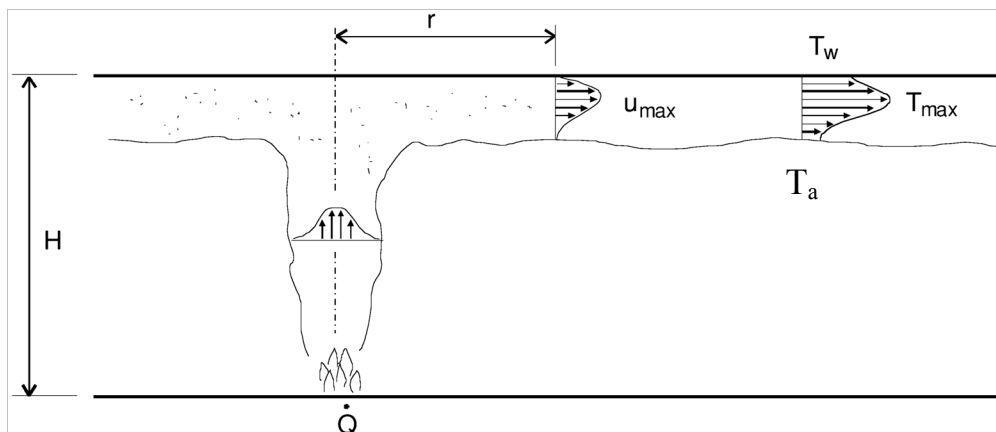
Σχήμα 7.4. Ο συσχετισμός της μέγιστης θερμοκρασίας με το χαρακτηριστικό μήκος καύσης, για φλόγες προπανίου.

7.3 Ροές οροφής.

Όταν η στήλη της φωτιάς προσκρούσει στην οροφή, τα αέρια διαχέονται ακτινικά στο δωμάτιο. Τα ρεύματα αυτά, ονομάζονται ταχείες ή αναβλύζουσες ροές οροφής. Καθώς η πλειοψηφία των συστημάτων πυρανίχνευσης τοποθετούνται στην οροφή, οι ροές οροφής έχουν εξέχουσα σημασία για τον σχεδιασμό τους. Αρχικά, το θερμό στρώμα στην οροφή έχει πάχος περίπου 5 έως 12% του ύψους του δωματίου H . Τα προφίλ της ταχύτητας και της θερμότητας είναι αυτά που διακρίνονται στο Σχήμα 7.5. Η μέγιστη ταχύτητα ροής και η μέγιστη θερμοκρασία βρίσκονται σε απόσταση από την οροφή, η οποία αναλογεί στο 1% του H . Η θερμοκρασία στην οροφή είναι T_w και η θερμοκρασία του αέρα είναι T_a . Αυτές οι δύο, ορίζουν τα δύο όρια της θερμοκρασίας καθ' ύψος του θερμού στρώματος. Καθώς η ροή οροφής απομακρύνεται από την εστία, ψύχεται από την παράσυρση αέρα προς το θερμό στρώμα και από την απώλεια θερμότητας προς την οροφή. Μέσα από ένα συνδυασμό ενός θεωρητικού μοντέλου και της πειραματικής επαλήθευσης του με φωτιές από 500 kW έως 100 MW, για ύψη H από 4,6 έως 15,5 m, προέκυψαν τα εξής²⁴:

$$T_{max} - T_a = \frac{16,9\dot{Q}^{2/3}}{H^{5/3}} \quad \text{για } \rho/H < 0,18 \quad \{\text{Σχέση 7.8}\},$$

$$\text{και } T_{max} - T_a = \frac{5,38\left(\frac{\dot{Q}}{r}\right)^{2/3}}{H} \quad \text{για } \rho/H > 0,18 \quad \{\text{Σχέση 7.9}\},$$



Σχήμα 7.5 Οι ταχείες (αναβλύζουσες) ροές οροφής.

Με άλλα λόγια, η περιγραφή της μέγιστης θερμοκρασίας της ροής της οροφής χωρίζεται σε δύο περιοχές. Μία κοντά στη στήλη, όπου η θερμοκρασία είναι ανεξάρτητη της απόστασης r , από το κέντρο της φωτιάς, και μια μακριά, όπου η απόσταση έχει σημασία. Παρομοίως, δύο συμπεριφορές έχει και η ταχύτητα:

$$v_{\max} = 0,96 \left(\frac{\dot{Q}}{H} \right)^{1/3} \quad \text{για } \rho/H < 0,15 \quad \{\text{Σχέση 7.10}\},$$

$$\text{και } v_{\max} = \frac{0,195 \dot{Q}^{1/3} H^{1/2}}{r^{5/6}} \quad \text{για } \rho/H > 0,15 \quad \{\text{Σχέση 7.11}\}$$

Στις παραπάνω σχέσεις η θερμική ισχύς δίνεται σε kW. Οι σχέσεις αυτές, έχουν ισχύ για το αρχικό διάστημα μιας φωτιάς, προτού οι ροές του καπνού φτάσουν τους τοίχους και αρχίσουν να επιστρέφουν. Επίσης, πρέπει η θερμική ισχύς να διατηρείται σταθερή. Για μεταβλητή ισχύ (πχ. at^2), χρησιμοποιούνται σχέσεις, οι οποίες επιλύονται με υπολογιστές. Τέλος, σημειώνεται ότι αν οι ανιχνευτές οροφής βρίσκονται έξω από αυτό το 1%, όπου υπάρχουν αυτές οι μέγιστες ταχύτητες και θερμοκρασίες είναι πολύ πιθανό τα αποτελέσματα να είναι διαφορετικά και οι χρόνοι ενεργοποίησης σημαντικά μεγαλύτεροι.

Όμοια με τις ροές των αερίων, κατά την περίπτωση που οι ίδιες οι φλόγες φτάσουν στην οροφή, διαχέονται ακτινικά με μεγάλη ταχύτητα. Οι φλόγες αυτές τροφοδοτούνται από τον παρασυρόμενο αέρα και ονομάζονται αναβλύζουσες φλόγες οροφής. Πειράματα με μικρές φωτιές²⁵, έδειξαν ότι για το μήκος r_f της φλόγας οροφής από το κέντρο της φωτιάς, ισχύει προσεγγιστικά ότι:

$$\frac{r_f}{D} = 0,5 \left(\frac{L-H}{D} \right)^{0,96} \quad \{\text{Σχέση 7.12}\}$$

Δηλαδή, το μήκος της φλόγας οροφής είναι περίπου το μισό από το ύψος υπέρβασης της φλόγας, με το οποίο θεωρητικά θα ξεπερνούσε το ύψος της οροφής ($L-H$). Για μεγαλύτερες φωτιές (93-760 kW), έχει δειχθεί ότι το μήκος της ακτινικής φλόγας είναι περίπου το ίδιο με το θεωρητικό μήκος έκτασης της φλόγας πάνω από την οροφή²⁶:

$$r_f = 0,95(L-H) \quad \{\text{Σχέση 7.14}\}$$

8. Χημικά παράγωγα της φωτιάς.

Τα χημικά παράγωγα μιας φωτιάς εξαρτώνται από τον τύπο της καύσης, την αναλογία αέρα/καυσίμου και το είδος του καυσίμου. Τα στοιχεία που συναντά κανείς σε καύσιμα είναι ο άνθρακας, το υδρογόνο, το οξυγόνο, το χλώριο, το φθόριο, το βρόμιο και το άζωτο. Αν η αντίδραση είναι πλήρης, τα παράγωγα της καύσης είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το νερό και, εφόσον υπάρχουν στην καύσιμη ύλη, τα υπόλοιπα από τα παραπάνω στοιχεία στην αέρια μορφή τους. Αν εμφανίζεται στοιχειομετρικό πλεόνασμα αέρα στην αντίδραση (υπεραερισμός ή φτωγή σε καύσιμο ή ελεγχόμενη από το καύσιμο), τότε εκτός των παραπάνω, παράγεται μονοξείδιο του άνθρακα, αιθάλη, και υδροκυάνιο, υδροχλώριο, υδροφθόριο και υδροβρόμιο, ανάλογα με το καύσιμο. Αν υπάρχει έλλειψη αέρα (υποαερισμός ή πλούσια σε καύσιμο ή ελεγχόμενη από τον εξαερισμό), τότε εκτός των παραπάνω παράγονται ακόμα περισσότερο μονοξείδιο του άνθρακα και αιθάλη, καθώς και διάφορα μόρια υδρογονανθράκων. Επίσης, στην βραδεία καύση, κατά την οποία δεν απαιτείται παρά ελάχιστο οξυγόνο, παράγονται όλα τα παραπάνω. Κυρίως, όμως, παράγεται μονοξείδιο του άνθρακα.

Στον Πίνακα 8.1, παρατίθενται τιμές για το χημικό βαθμό παραγωγής y , των προϊόντων της καύσης για διάφορα καύσιμα. Για την αντίδραση της καύσης, ο βαθμός παραγωγής ή απόδοση, είναι ο λόγος της μάζας ενός προϊόντος της καύσης, με την μάζα του καυσίμου που καταναλώθηκε. Στον πίνακα, αναφέρονται επίσης οι πραγματικές τιμές της θερμότητας καύσης ανά μονάδα μάζας καυσίμου (Δh_c). Όπως φαίνεται, οι πραγματικές είναι μικρότερες από τις θεωρητικές τιμές, οι οποίες υπολογίζονται για την τέλεια καύση. Τα δευτερεύοντα παράγωγα της καύσης, όπως το μονοξείδιο του άνθρακα, μπορεί να έχουν πολύ μικρότερη παραγωγή από τα κύρια, αλλά είναι υπεύθυνα σε μεγάλο βαθμό για την επικινδυνότητα μιας πυρκαγιάς. Η παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα εξαρτάται από το είδος της καύσιμης ύλης, αλλά και από την παροχή του αέρα. Ο βαθμός παραγωγής του μονοξειδίου, μεταβάλλεται με την παροχή του αέρα, διαφορετικά για κάθε καύσιμο. Για την περίπτωση δε της βραδείας καύσης, οι βαθμοί παραγωγής του μονοξειδίου φτάνουν έως και 0,3. Ένα παράδειγμα απλού υπολογισμού είναι το ακόλουθο. Έστω ότι υπάρχει μια φωτιά του ίδιου μεγέθους (2000 kW) για δύο διαφορετικά υλικά, το ξύλο και την πολυστερίνη. Τότε, μπορεί κανείς να υπολογίσει από τη Σχέση 6.2 και χρησιμοποιώντας τις τιμές από τον Πίνακα 6.2, ότι η εμπλεκόμενη επιφάνεια A πρέπει να είναι $15,2 \text{ m}^2$ για το ξύλο και $1,9 \text{ m}^2$ για την πολυστερίνη. Ο ρυθμός παραγωγής μονοξειδίου του άνθρακα υπολογίζεται από τη σχέση $\dot{m}_{CO} = y_{CO} \dot{m}_f A$. Αντικαθιστώντας τις αντίστοιχες τιμές από τους Πίνακες 6.2 και 8.1,

για συνθήκες υπεραερισμού, βρίσκει κανείς ότι είναι 0,67 g/s για το ξύλο και 4,3 g/s για την πολυστερίνη.

Καύσιμο	Υπεραερισμός			Υποαερισμός				
	y_{CO_2}	y_{CO}	$y_{ααθ.}$	$\Delta H_c [kJ/g]$	$\Delta H_{cθ.}$	$D_m [m^2/g]$	y_{CO}	y_{H_2}
Αέρια:								
Προπάνιο	2,85	0,005	0,024	43,7	46,4	0,155	0,229	0,011
Ασετυλίνη	2,6	0,042	0,096	36,7	48,2	0,315		
Υγρά:								
Οινόπνευμα	1,77	0,001	0,008	25,6	26,8		0,219	0,0098
Επτάνιο	2,85	0,01	0,037	41,2	44,6	0,19		
Στερεά:								
Ξύλο	1,27	0,004	0,015	12,4	17,7	0,037	0,138	0,0024
Πολυστερίνη	2,33	0,06	0,164	27	39,2	0,335		
Πολυουρεθάνη	1,51	0,031	0,227	19	27,2	0,326		

Πίνακας 8.1. Βαθμοί παραγωγής από την καύση διαφόρων υλικών.

Όσον αφορά στην επικινδυνότητα μιας φωτιάς, τον σπουδαιότερο ρόλο έχουν η σύνθεση και οι σχετικές συγκεντρώσεις των παραγώγων μέσα στον καπνό. Καπνός, θεωρείται το νέφος των αερίων που εκρέει από τη φωτιά και αναμιγνύεται με τον αέρα, χωρίς όμως καμία περαιτέρω αντίδραση. Ένας τρόπος έκφρασης της συγκέντρωσης ενός παραγώγου στον καπνό είναι το κλάσμα μάζας:

$$Y_{\pi} = \frac{\dot{m}_{\pi}}{\dot{m}_{καπν}} = \frac{y_{\pi} \dot{m}_f}{\dot{m}_{καπν}} \quad \{\text{Σχέση 8.1}\}$$

Ο συνηθέστερος τρόπος έκφρασης της συγκέντρωσης, όσον αφορά στις μελέτες με θέμα τον καπνό, είναι μέσω των ογκομετρικών κλασμάτων X . Δηλαδή, του λόγου του όγκου ενός αερίου υπό φυσιολογικές ατμοσφαιρικές συνθήκες, με τον αντίστοιχο όγκο του καπνού. Μια εύχρηστη προσεγγιστική σχέση για τον υπολογισμό του ογκομετρικού κλάσματος ενός παραγώγου είναι η ακόλουθη:

$$X_{\pi} \approx \frac{29Y_{\pi}}{M_{\pi}} \quad \{\text{Σχέση 8.2}\},$$

όπου M_{π} , είναι το μοριακό βάρος του παραγώγου, και 29 είναι, κατά παραδοχή, το μοριακό βάρος του καπνού, καθώς αποτελείται κυρίως από άζωτο (28 gr/mole). Επειδή,

οι εν λόγω επικίνδυνες ουσίες βλάπτουν σε πολύ μικρές ποσότητες, εκφράζονται συνήθως σε μέρη ανά εκατομμύριο (p.p.m). Γενικά, υπάρχουν συγκεκριμένα προϊόντα της καύσης, τα οποία ανάλογα με τη συγκέντρωσή τους μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στον άνθρωπο. Επίσης, μπορεί να προκληθούν υλικές ζημιές, όπως συμβαίνει με την εναπόθεση οξέων σε εξοπλισμό (HCl, HBr, HF κ.α.).

8.1 Κίνδυνοι λόγω αερίων.

Αέρια, όπως το μονοξείδιο του άνθρακα, το υδροκυάνιο, ακόμα και το διοξείδιο του άνθρακα σε υψηλή συγκέντρωση, μπορούν να προκαλέσουν νάρκωση στον άνθρωπο, με συνέπεια την μείωση της ικανότητας διαφυγής και το θάνατο. Τις ίδιες συνέπειες, μπορεί να έχει και η μείωση του οξυγόνου από την ατμόσφαιρα. Το μονοξείδιο του άνθρακα και το υδροκυάνιο δρουν καταλαμβάνοντας τη θέση του οξυγόνου στην αιμοσφαιρίνη (Hb), λόγω μεγαλύτερης συνάφειας. Επίσης, το υδροκυάνιο δρα ως αναστολέας συγκεκριμένου ενζύμου στα κύτταρα, με αποτέλεσμα να τα καθιστά ανίκανα χρήσης οξυγόνου. Μελέτες σε πιθήκους έχουν δείξει, ότι το όριο κάτω από το οποίο οι συγκεντρώσεις δεν είναι ικανές να προκαλέσουν αναισθησία, είναι 90 p.p.m. για το HCN και 900 p.p.m. για το CO^{2,17}, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν μπορούν να προκαλέσουν ανικανότητα αντίδρασης. Ποσότητες 100 p.p.m. και 1000 p.p.m., για HCN και CO αντίστοιχα, προκαλούν αναισθησία σε 30 λεπτά. Ποσότητες 200 p.p.m. και 8000 p.p.m. αντίστοιχα, προκαλούν αναισθησία σε λιγότερο από πέντε λεπτά. Στον Πίνακα 8.2, αναγράφονται οι επιπτώσεις που έχει η μείωση του οξυγόνου ή η αύξηση του μονοξειδίου του άνθρακα στον άνθρωπο, αναλόγως της συγκέντρωσής τους στην ατμόσφαιρα και στο αίμα. Η ανικανότητα αντίδρασης συμβαίνει μόλις στο 8-12 % για το X_{O2} και στα 400-600 p.p.m. για το X_{CO}. Όταν η σχετική συγκέντρωση της καρβοξυ-αιμοσφαιρίνης (COHb) φτάσει το 50-70 %, προκαλείται θάνατος. Παρόλο που είναι χρήσιμες για τη γενική κατανόηση των κινδύνων, αυτές οι τιμές δεν είναι επακριβείς και μπορεί να διαφέρουν με βάση την υγεία και άλλους παράγοντες.

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι υπεύθυνο για τους περισσότερους θανάτους στις πυρκαγιές, κάτι που έχει να κάνει κυρίως με την μεγάλη χρονική διάρκεια έκθεσης σε βραδείες καύσεις, και με την ταχεία ανάπτυξη της φωτιάς που οδηγεί σε συνθήκες υποαερισμού. Μια προσεγγιστική εξίσωση για τη σχετική συγκέντρωση της COHb είναι:

$$\text{COHb [\%]} \approx 0,33 \text{ RMV [lt αέρα/min]} \cdot X_{\text{CO}} [\%] \cdot t [\text{min}] \quad \{\text{Σχέση 8.3}\},$$

όπου t είναι ο χρόνος έκθεσης και RMV είναι ο ογκομετρικός ρυθμός εισπνοής του ανθρώπου. Τυπικές τιμές RMV για ένα άνδρα 70 kg, είναι: 8,5 lt/min σε ανάπαυση, 25 lt/min κατά την διεξαγωγή ελαφριών εργασιών, και 50 lt/min αν ασχολείται με βαριές εργασίες ή τρέχει με αργό ρυθμό. Η συγκέντρωση της COHb εξαρτάται από το χρόνο, τη συγκέντρωση του μονοξειδίου και τον ογκομετρικό ρυθμό εισπνοής, ο οποίος επηρεάζεται όχι μόνο από την δραστηριότητα, αλλά και από τη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (Πίνακας 8.3). Τα αέρια, λοιπόν, που μπορούν να προκαλέσουν υποξία και συνεπώς νάρκωση, είναι το μονοξείδιο και το διοξείδιο του άνθρακα, το οξυγόνο όταν υπάρχει έλλειψη του, και το υδροκυάνιο, εφόσον η καύσιμη ύλη διαθέτει άτομα αζώτου. Επιπλέον, σε μια πυρκαγιά μπορεί να δημιουργούνται όξινα αέρια (HCl, HF, HBr, ακρολεϊνη, φορμαλδεϋδη κ.α.), ανάλογα με το καύσιμο. Αυτά, μπορεί να προκαλέσουν πόνο στα μάτια και στους πνεύμονες, να μειώσουν τον ογκομετρικό ρυθμό εισπνοής και να προκαλέσουν θάνατο, μετά το πέρας της πυρκαγιάς.

Μείωση οξυγόνου		Αύξηση CO		Επίδραση
O ₂ Hb [%]	X _{O₂} [%]	COHb [%]	X _{CO} [p.p.m.]	
90-100	15-21	0-10	<80	Καμία
80-90	12-15	10-20	80-150	Κόπωση
60-80	8-12	20-40	150-400	Ζάλη, ναυτία, πιθανή παράλυση
50-60	6-8	40-50	400-600	Εξάντληση, ασφυξία, κατάρρευση
30-50	3-6	50-70	600-3000	Αναισθησία σε min, πιθανός θάνατος
0-30	0-3	70-100	>3000	Αναισθησία σε sec, πιθανός θάνατος

Πίνακας 8.2. Η επίδραση που μπορεί να έχει στον άνθρωπο η μείωση του οξυγόνου ή αύξηση του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα^{2,17}.

Συγκέντρωση CO ₂ στον εισπνεόμενο αέρα (%)	Επίδραση
0,04	Φυσιολογικός αέρας
0,5	Όριο ασφαλείας
1,8-2	30-50 % αύξηση ρυθμού αναπνοής
2,5-3	100 % αύξηση ρυθμού αναπνοής
4	300 % αύξηση ρυθμού αναπνοής
5	Ζάλη, συμπτώματα δηλητηρίασης (> 30 min)
7-9	Αναισθησία σε 15 min
10-30	Αναισθησία λιγότερο από 10 min, θάνατος

Πίνακας 8.3. Η επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα υπό κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες.

8.2 Ορατότητα.

Η μειωμένη ορατότητα λόγω καπνού, είναι η πρώτη επίπτωση της φωτιάς, καθώς η αιθάλη (μαύρος καπνός) και τα πισσώδη σωματίδια (λευκός καπνός) αποδυναμώνουν το φώς. Ο συντελεστής απόσβεσης k_s [m^{-1}] αντιπροσωπεύει την μείωση της αρχικής έντασης του φωτός I_o , λόγω απορρόφησης και σκέδασης στο μέσο, και εκφράζεται ως:

$$I = I_o e^{(-k_s l)} \quad \{\text{Σχέση 8.4}\},$$

όπου l είναι η απόσταση που καλύπτει το φώς στο μέσο. Ο συντελεστής απόσβεσης μπορεί να υπολογιστεί για μια φωτιά, γνωρίζοντας το ρυθμό καύσης και την ογκομετρική ροή \dot{V} [lt/s]:

$$k_s = \frac{\dot{m} D_m}{\dot{V}} \quad \{\text{Σχέση 8.5}\},$$

όπου D_m είναι η οπτική πυκνότητα μάζας και σχετίζεται άμεσα με το βαθμό παραγωγής των χημικών προϊόντων της φωτιάς (Πίνακας 8.1). Η ορατότητα σε μία φωτιά μετρείται από την L_v , η οποία είναι η μέγιστη απόσταση που μπορεί να βρίσκεται ένα αντικείμενο και να μπορεί να αναγνωρισθεί από έναν άνθρωπο. Πειραματικά έχειδειχθεί, ότι για κάθε τιμή του συντελεστή απόσβεσης αντιστοιχεί και μία τιμή απόστασης ορατότητας. Κάτι που επηρεάζεται και από τον φωτισμό των αντικειμένων.

8.3 Κίνδυνοι λόγω θερμότητας.

Η θερμότητα που εκλύεται από μια πυρκαγιά και η οποία μεταφέρεται, κυρίως μέσω συναγωγής και ακτινοβολίας, αποτελεί εξίσου μεγάλο κίνδυνο για τον άνθρωπο, καθώς μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα και υπερθερμία. Για να προκληθούν εγκαύματα σε χρονικό διάστημα δευτερολέπτων, απαιτούνται τουλάχιστον 4 kW/m^2 ροής θερμότητας. Το ανθρώπινο σώμα αισθάνεται πόνο όταν το δέρμα φτάσει τους $45 \text{ }^\circ\text{C}$. Οι θερμοκρασίες μεγαλύτερες από αυτό το όριο προκαλούν βλάβες σε ιστούς που βρίσκονται βαθύτερα. Ως ένα απλό παράδειγμα, από τη σχέση $\dot{q}'' = h(T_{\text{καπ}} - T_{\text{δερμ}})$ και επιλέγοντας ένα συντελεστή μεταφοράς θερμότητας για ένα ακίνητο άνθρωπο, ίσο με $10 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$, προκύπτει ότι η ελάχιστη θερμοκρασία του καπνού, η οποία είναι ικανή να προκαλέσει έγκαυμα στο ανθρώπινο δέρμα είναι $445 \text{ }^\circ\text{C}$ (για ροή 4 kW/m^2 , θερμοκρασία

δέρματος 45 °C, μόνιμη κατάσταση χωρίς ακτινοβολία). Η αντίστοιχη θερμοκρασία για την πρόκληση πόνου (1 kW/m²), είναι περίπου 200 °C. Τέλος, στην κατάσταση της υπερθερμίας, η θερμοκρασία του σώματος φτάνει στους 41 °C και άνω. Σε αυτήν, ο ανθρώπινος οργανισμός αρχίζει να χάνει τον έλεγχο της ρύθμισης της θερμοκρασίας του, κάτι που μπορεί να προκαλέσει το θάνατο. Η ικανότητα εφίδρωσης, μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στην αντοχή του ανθρώπινου οργανισμού σε τέτοιες καταστάσεις. Η σχετική υγρασία επηρεάζει αυτή την ικανότητα, με αποτέλεσμα να δρα ως ρυθμιστικός παράγοντας όσον αφορά στον κίνδυνο υπερθερμίας. Υπό σταθερή θερμοκρασία έκθεσης 49 °C, αν η σχετική υγρασία είναι στο 10 %, ο ανθρώπινος οργανισμός αντέχει περίπου για 10 ημέρες. Αν η υγρασία είναι στο 50 %, αντέχει μόλις 2 ώρες, ενώ αν είναι 100 % μόλις 10 λεπτά.

9. Πυρκαγιά σε κλειστό χώρο.

Τα κύρια θέματα που απασχολούν στην μελέτη πυρκαγιών σε κλειστούς χώρους, είναι ο περιορισμός της εξάπλωσης της φωτιάς πέραν του διαμερίσματος και η αντιμετώπιση του καπνού. Στις μικρές φωτιές, ο καπνός μπορεί να μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις, ενώ οι μεγάλες φωτιές επηρεάζονται πολύ από τις συνθήκες του διαμερίσματος. Για παράδειγμα, όταν υπάρχει αύξηση της ροής θερμότητας λόγω θετικής θερμικής ανάδρασης, μεγαλώνουν, ενώ όταν υπάρχει έλλειψη οξυγόνου λόγω μειωμένης ροής αέρα, αποδυναμώνονται. Στις φωτιές σε κλειστό χώρο, η κίνηση του καπνού και η κίνηση του αέρα οφείλονται κυρίως στην άνωση, λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας, και δευτερευόντως στις εξαναγκασμένες ροές παροχής αέρα. Τα στάδια μιας φωτιάς σε ένα διαμέρισμα είναι τα εξής: η αναπτυσσόμενη φωτιά, η έκλαμψη και η πλήρως αναπτυγμένη φωτιά.

9.1 Το στάδιο της αναπτυσσόμενης πυρκαγιάς.

Η αναπτυσσόμενη φωτιά είναι η αρχική φάση, όπου η φωτιά δεν εξαρτάται από τις συνθήκες του διαμερίσματος και οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές. Μετά την ανάφλεξη, η φωτιά σε ένα αντικείμενο μεγαλώνει και η παραγόμενη θερμότητα είναι αρκετή για να διατηρήσει την καύση, αλλά και να εμπλέξει άλλα αντικείμενα. Στους τοίχους, οι θερμοκρασίες και η συγκέντρωση του οξυγόνου δεν διαφέρουν σημαντικά, από τις τιμές τους υπό φυσιολογικές συνθήκες. Για το μεγαλύτερο κομμάτι αυτού του σταδίου, η φωτιά συμπεριφέρεται σαν να πρόκειται για φωτιά σε ανοιχτό χώρο, και είναι ελεγχόμενη από το καύσιμο. Ενδεικτικά, για ένα δωμάτιο 10 m² με μία πόρτα, οι τιμές για αυτή τη φάση μπορεί να είναι: συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα από 0,01-0,03%, ορατότητα από 10-250 m, ισχύς της φωτιάς 600 kW, και 10 φορές μεγαλύτερη συγκέντρωση οξυγόνου από ότι απαιτείται για την καύση. Η εξάπλωση της φωτιάς εξαρτάται από τη γεωμετρία του χώρου, τον εξαερισμό και τα εύφλεκτα υλικά που υπάρχουν στα εσωτερικά τελειώματα.

9.2 Η έκλαμψη.

Η έκλαμψη, ή αλλιώς ολική ανάφλεξη, είναι η στιγμιαία φάση μεταξύ της αναπτυσσόμενης φωτιάς και της πλήρως αναπτυγμένης φωτιάς, στην οποία συμβαίνουν δραματικές αλλαγές στις συνθήκες του διαμερίσματος, λόγω του περιορισμένου χώρου. Μπορεί να προκληθεί από πολλές καταστάσεις, όπως: α) την ταχεία ανάφλεξη και

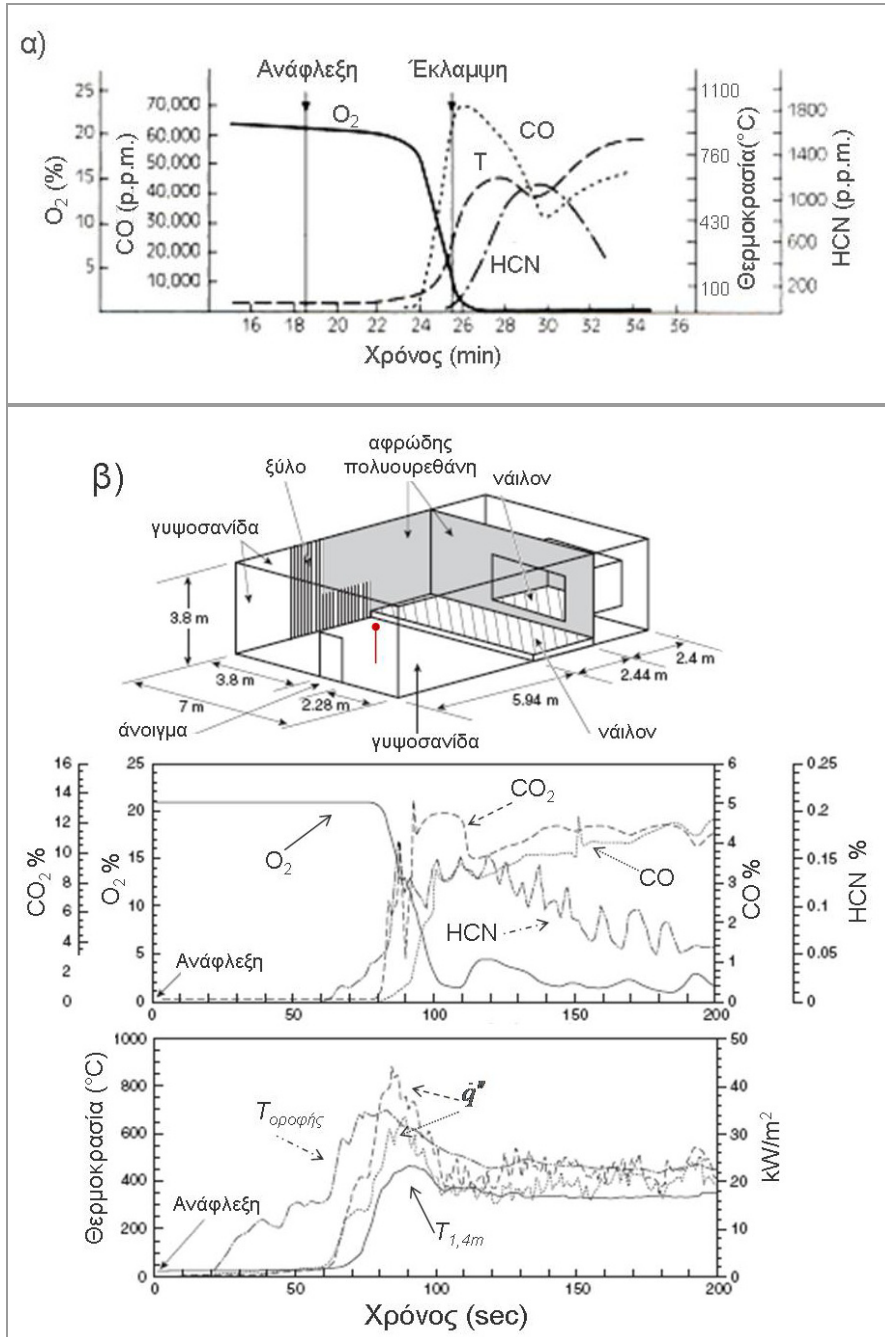
εξάπλωση λόγω αυξημένης ροής θερμότητας, β) την συσσώρευση αερίων καυσίμων και την ξαφνική έκθεση τους σε οξυγόνο, κατάσταση η οποία προκαλεί κύματα φωτιάς απότομα και, γ) την αύξηση του ρυθμού καύσης και την απότομη έκταση των φλογών στο δωμάτιο. Ενδεικτικά, για το ίδιο δωμάτιο των 10 m² με μία πόρτα, οι τιμές για αυτή τη φάση μπορεί να είναι: συγκέντρωση μονοξειδίου 0,03-3%, ορατότητα 3-70 cm, ρυθμός έκλυσης ενέργειας 1000 kW, θερμοκρασία καπνού 500 °C και τρεις φορές περισσότερο οξυγόνο από ότι απαιτείται για την καύση. Συνήθως, έκλαμψη οδηγεί την πυρκαγιά στη πλήρως αναπτυγμένη φάση της, όπου εμπλέκονται όλα τα καύσιμα υλικά. Όμως, αυτό εξαρτάται και από την παροχή του αέρα. Είναι πιθανό, ο αέρας να μην επαρκεί για την πλήρη εμπλοκή, όπως συμβαίνει στην περίπτωση υποαερισμού. Με άλλα λόγια, η έκλαμψη είναι η μετάβαση από τη φάση της ανάπτυξης της φωτιάς, όπου η καύση είναι ελεγχόμενη από το καύσιμο, στην φάση όπου η καύση είναι ελεγχόμενη από την παροχή του αέρα.

9.3 Το στάδιο της πλήρως αναπτυγμένης πυρκαγιάς.

Στο στάδιο της πλήρως αναπτυγμένης φωτιάς, οι φλόγες «τυλίγουν» το δωμάτιο, πιθανώς ξεπροβάλουν και από τα ανοίγματα, συντελούνται δομικές ζημιές, όλα τα καύσιμα εμπλέκονται στη μέγιστη δυνατότητά τους και η ροή θερμότητας μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 150 kW/m². Στη φάση αυτή, η κατάσταση είναι συνήθως ελεγχόμενη από τον αερισμό και σε αυτήν παράγονται οι μέγιστες τιμές καπνού, μονοξειδίου του άνθρακα και ενέργειας. Όμως, υπάρχει η πιθανότητα η πυρκαγιά να παραμείνει ελεγχόμενη από το καύσιμο, αν υπάρχει αρκετή παροχή αέρα. Ενδεικτικά, για το ίδιο παράδειγμα, οι τιμές εδώ γίνονται: συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα 2-7%, ορατότητα 0,1-10 cm, ισχύς 4500 kW και συγκέντρωση οξυγόνου μικρότερη από την απαιτούμενη για την πλήρη καύση. Τέλος, ακολουθεί η φάση της εξασθένησης, όπου έχει καεί η μεγαλύτερη μάζα των καυσίμων και οι θερμοκρασίες μειώνονται σταδιακά προς τα φυσιολογικά επίπεδα.

Στο σχήμα 9.1 α, αναπαριστάται η διακύμανση των συγκεντρώσεων του οξυγόνου, του μονοξειδίου του άνθρακα και του υδροκυανίου, αλλά και της θερμοκρασίας, για μια φωτιά η οποία ξεκινά από βραδεία καύση σε ένα δωμάτιο 20 m², ύψους 2,5 m, με μία ανοιχτή πόρτα¹⁸. Οι μετρήσεις λήφθηκαν σε ύψος 1,7 m. Η ανάφλεξη ξεκινά στα 18,5 min και η έκλαμψη συμβαίνει στα 25,5 min. Την στιγμή της έκλαμψης η θερμοκρασία είναι 280 °C, αλλά φτάνει τους 538 °C σε λιγότερο από ένα λεπτό. Λίγο μετά την έκλαμψη, η συγκέντρωση του οξυγόνου πέφτει στο μηδέν (υποαερισμός), το μονοξείδιο φτάνει στη μέγιστη τιμή του 7%, η θερμοκρασία φτάνει

έως τους 870 °C και η συγκέντρωση του υδροκυανίου φτάνει το μέγιστο που επιτρέπει ο υποαερισμός (από την καύση επίπλων με πολυουρεθάνη).



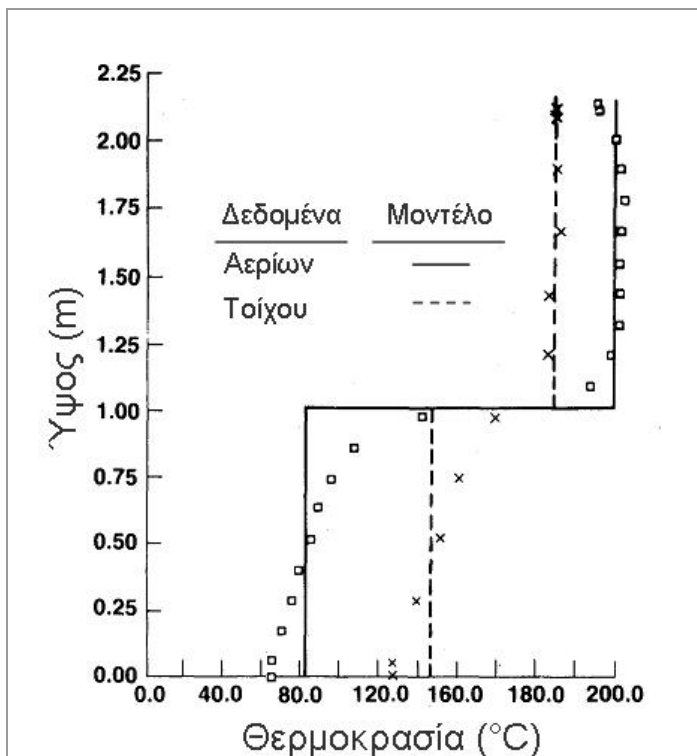
Σχήμα 9.1: α) Η διακύμανση των συγκεντρώσεων του οξυγόνου, του μονοξειδίου του άνθρακα, του υδροκυανίου και της θερμοκρασίας, κατά τη διάρκεια μιας φωτιάς δωματίου 20 m² ¹⁸. β) Τα αντίστοιχα αποτελέσματα από την αναπαράσταση πραγματικού περιστατικού ¹⁹. Με κόκκινο, φαίνεται το σημείο των συγκεκριμένων μετρήσεων.

Σε μια προσπάθεια ανάλυσης των συνθηκών, οι οποίες δημιουργήθηκαν κατά τη πυρκαγιά σε νυκτερινό κέντρο διασκέδασης στο Rhode Island το 2003, το NIST διεξήγαγε κάποια πειράματα μικρότερης κλίμακας¹⁹. Η συγκεκριμένη πυρκαγιά, ξεκίνησε από τα πυροτεχνήματα μιας συναυλίας. Οι τοίχοι γύρω από τη σκηνή, οι οποίοι ήταν καλυμμένοι με αφρώδη πολυουρεθάνη, διέδωσαν πολύ γρήγορα τη φωτιά. Μέσα σε ένα λεπτό, ο καπνός ήταν ορατός στις εξόδους και σε λιγότερο από πέντε λεπτά, οι φλόγες ξεπρόβαλαν από την στέγη. Το κτήριο δεν διέθετε σύστημα καταιονισμού. Η έξοδος μπλόκαρε, λόγω του υπεράριθμου πληθυσμού, και το αποτέλεσμα ήταν η απώλεια 100 ανθρώπων. Τα πειράματα έγιναν σε ένα δωμάτιο 10,8 x 7 x 3,8 m, με μία πόρτα 0,91 x 2 m. Η κατασκευή έγινε με μεταλλικό πλαίσιο και επενδύθηκε με δύο στρώματα πυρομονωτικού ασβεστοπυρίτη και εσωτερικό τελείωμα γυψοσανίδας. Στη σκηνή προστέθηκαν ένα στρώμα κοντραπλακέ και ένα στρώμα αφρού πολυουρεθάνης. Η δομή μελετήθηκε και κατασκευάστηκε, έτσι ώστε να αναπαρασταθούν, όσο το δυνατόν πιο πιστά, οι πραγματικές συνθήκες της πυρκαγιάς. Μετρήσεις θερμοκρασίας, συγκέντρωσης αερίων (CO, CO₂, O₂, και HCN) και ροής θερμότητας, ελήφθησαν σε πολλά σημεία του χώρου. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο Σχήμα 9.1 β, αντιπροσωπεύουν τις μετρήσεις, από ένα σημείο ύψους 1,4 m, σε απόσταση 2,35 m από το κέντρο της εξόδου. Σε λιγότερο από 90 δευτερόλεπτα, οι συνθήκες ήταν: θερμοκρασία άνω των 400 °C, θερμική ροή ανά μονάδα επιφάνειας άνω των 30 kW/m², ογκομετρικό κλάσμα οξυγόνου κάτω του 0,05, και αντίστοιχα, μεγαλύτερο του 0,0015 και 0,03 για το υδροκυάνιο και το μονοξείδιο του άνθρακα. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς των μελετητών, οι άνθρωποι είχαν λιγότερο από ενάμισι λεπτό για να διαφύγουν. Αντιθέτως, όταν τα πειράματα έγιναν με σύστημα καταιονισμού, η αρχική φωτιά τέθηκε υπό έλεγχο μέσα σε 30 δευτερόλεπτα, και οι συνθήκες εξόδου παρέμειναν ασφαλείς καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

9.4 Η ροή των αερίων.

Οι ροές, οι οποίες δημιουργούνται σε μια πυρκαγιά κλειστού διαμερίσματος οφείλονται κυρίως στις διαφορές πίεσεως που δημιουργούνται λόγω της άνωσης. Αυτές οι διαφορές είναι μικρές, σχετικά με την ατμοσφαιρική πίεση. Κατά δεύτερο λόγο, οι ροές μπορεί να οφείλονται σε τεχνητούς αερισμούς, οι οποίοι σε ένα τυπικό χώρο δημιουργούν ακόμα μικρότερες διαφορές πίεσεως. Σε ένα δωμάτιο με ένα άνοιγμα, η πυρκαγιά δημιουργεί ένα στρώμα καπνού, το οποίο κινείται καθοδικά από την οροφή. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία ή η ροή θερμότητας από τη φωτιά, ο καπνός κινείται προς τα κάτω. Στην πορεία, δημιουργείται μια διαστρωμάτωση μεταξύ του καπνού και του καθαρού αέρα. Υπάρχει ένα ουδέτερο ύψος, το οποίο διαχωρίζει το χώρο κίνησης του

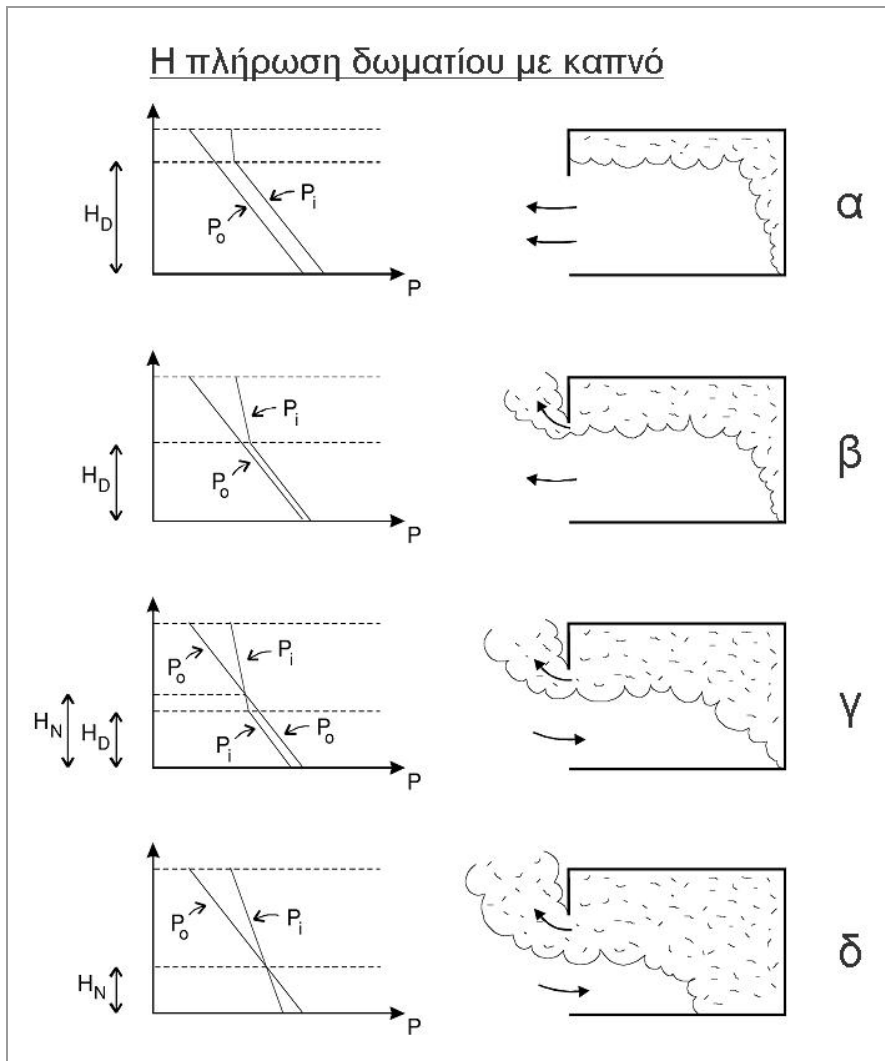
καπνού προς τα έξω, με αυτόν του αέρα που παρασύρεται προς τη φωτιά. Ο καπνός μπορεί να βρίσκεται χαμηλότερα από το ουδέτερο ύψος, αλλά κινείται μόνο ψηλότερα από αυτό. Στην ουσία, είναι το ύψος στο οποίο η διαφορά πίεσης μεταξύ του δωματίου και του εξωτερικού χώρου είναι μηδενική. Στην ελεύθερη επιφάνεια του καπνού, όπου ο καπνός συναντά τον αέρα, δεν υπάρχει σχεδόν καθόλου ανάμιξη, ενώ μέσα στο στρώμα του καπνού υπάρχει αρκετή αναταραχή με αποτέλεσμα η θερμοκρασία να γίνεται ομοιόμορφη. Στο Σχήμα 9.2, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μετρήσεων θερμοκρασίας, από μια φωτιά σε ένα μικρό δωμάτιο²⁰. Πάνω σε αυτά, προσαρμόστηκε ένα διζωνικό μαθηματικό μοντέλο, με πλήρη ανάμιξη για κάθε ένα από τα δύο στρώματα. Εδώ, φαίνεται καθαρά ο διαχωρισμός των δύο στρωμάτων, ενός ψυχρού και ενός θερμού, ανάμεσα στα οποία δεν υπάρχει ανάμιξη. Όμως, ανάμιξη μπορεί να υπάρξει σε αεραγωγούς, σε φρεάτια και σε κρούσους τοίχους, όπου προϊόντα της καύσης εισβάλλουν στην ψυχρή ζώνη.



Σχήμα 9.2. Προσαρμογή διζωνικού μοντέλου σε δεδομένα θερμοκρασίας από πυρκαγιά 120 kW σε δωμάτιο διαστάσεων 2,8x2,8x2,1 m.

Αν το δωμάτιο είναι κλειστό και έχει μικρές διαρροές, η δυναμική της κίνησης του καπνού έχει ως αποτέλεσμα την πλήρωση του δωματίου με καπνό. Στις εξαιρέσεις, όπου δεν υπάρχουν διαρροές, όπως στα πυρηνικά εργοστάσια, η αύξηση της πίεσης

μπορεί να προκαλέσει δομικές ζημιές. Κατά την διαδικασία πλήρωσης ενός δωματίου, η σχετικά μικρή πίεση που δημιουργείται είναι θετική, με αποτέλεσμα να υπάρχει διαρροή του καπνού προς τα έξω. Αντίθετα, αν η φωτιά σβήσει λόγω έλλειψης οξυγόνου, η θερμοκρασία πέφτει με αποτέλεσμα να δημιουργείται αρνητική πίεση. Ως εκ τούτου, εισέρχεται αέρας από τις χαραμάδες, ο οποίος μπορεί να ενεργοποιήσει ξανά τη φωτιά και πιθανόν να προκαλέσει απότομα κύματα φωτιάς.



Σχήμα 9.3. Η διαδικασία της πλήρωσης ενός δωματίου με ένα άνοιγμα κατά την αρχική φάση ανάπτυξης της φωτιάς. P_i είναι η πίεση μέσα στο διαμέρισμα και P_o είναι η πίεση έξω από αυτό.

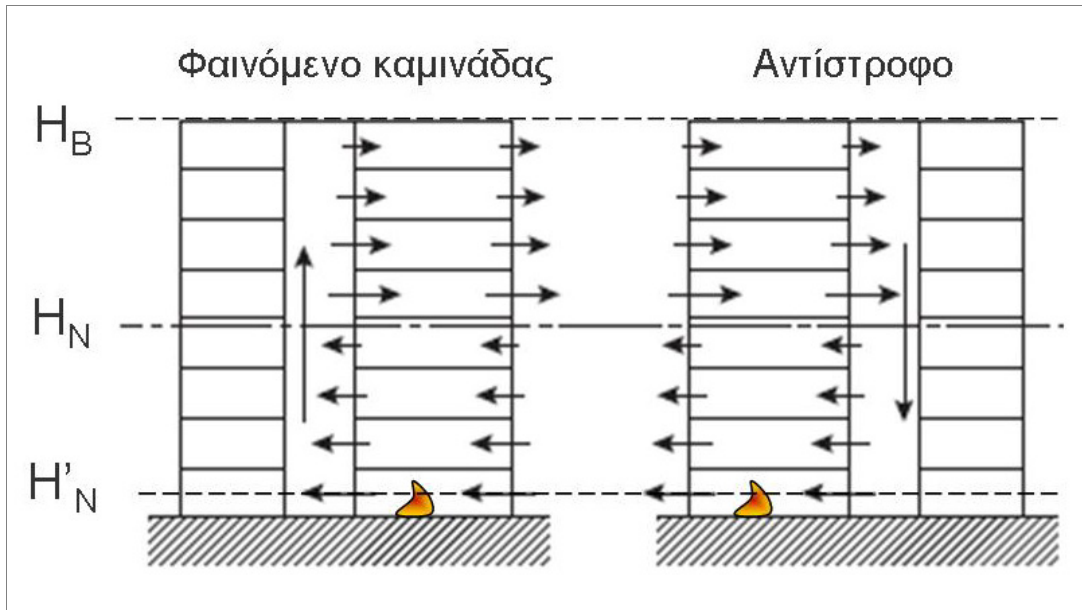
Για ένα δωμάτιο με ένα άνοιγμα, ο χώρος γεμίζει με καπνό στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης της φωτιάς, κατά τον τρόπο που φαίνεται στο Σχήμα 9.3. Στην αρχή η πίεση

μέσα στο δωμάτιο είναι θετική και ωθεί τον αέρα προς τα έξω (Σχήμα 9.3 α,β). Όταν η ελεύθερη (κάτω) επιφάνεια του καπνού, η οποία βρίσκεται σε ύψος H_D από το έδαφος, φτάσει στην κορυφή του ανοίγματος, ύψους H_O , η ροή αρχίζει και γίνεται διπλής κατεύθυνσης. Ο θερμός καπνός εξέρχεται από το δωμάτιο πάνω από το ουδέτερο ύψος H_N , ενώ ο ψυχρότερος αέρας ακολουθεί την αντίθετη πορεία, κάτω από το H_N (Σχήμα 9.3 γ). Το ουδέτερο ύψος κυμαίνεται από $H_O/2$ μέχρι $H_O/3$ κατά την αναπτυσσόμενη φάση φωτιάς, ενώ στη πλήρη ανάπτυξη φτάνει μερικούς πόντους από το δάπεδο.

Όσον αφορά στα μεγάλα κτήρια, οι ροές είναι περισσότερο πολύπλοκες και τα φαινόμενα που σχετίζονται με την κίνηση του καπνού δεν έχουν μελετηθεί ακόμα επαρκώς. Για παράδειγμα, η ξαφνική εμφάνιση καπνού στους διαδρόμους δημιουργεί μια κυματώδη εξάπλωση, στην οποία μπορεί να προκύψουν κύματα επιστροφής καπνού κάτω από το ουδέτερο ύψος. Η κίνηση του καπνού στα φρεάτια, όπως αυτό του ανελκυστήρα, χαρακτηρίζεται από πολύπλοκες αναμίξεις, οι οποίες τελικά οδηγούν τον καπνό προς τα πάνω και στο υπόλοιπο κτήριο, όπου υπάρχουν ανοίγματα (Σχήμα 9.4). Με αυτό τον τρόπο, δημιουργείται πάλι μια διαστρωμάτωση, αυτή τη φορά σε ολόκληρο το κτήριο. Ο καπνός εξέρχεται από τα ανοίγματα που βρίσκονται πάνω από το ουδέτερο ύψος του κτηρίου, H_N , ενώ ο αέρας εισέρχεται κάτω από αυτό το όριο. Για την απλή περίπτωση ενός κτηρίου, όπου τα ανοίγματα είναι τα ίδια σε όλους τους ορόφους ισχύει:

$$\boxed{\frac{H_N}{H_B} = \frac{1}{1 + \frac{T_a}{T}}} \quad \{\text{Σχέση 9.1}\},$$

όπου H_B είναι το ύψος του κτηρίου, T_a είναι η εξωτερική θερμοκρασία και T είναι η μέση θερμοκρασία του καπνού. Στην εξίσωση αυτή, δεν συμπεριλαμβάνεται το γεγονός ότι υπάρχει και ένα δεύτερο ουδέτερο ύψος H'_N , συγκεκριμένα για τον όροφο στον οποίο βρίσκεται η εστία. Για ένα μεγάλο κτήριο, η θερμοκρασία του καπνού πέφτει περίπου στο επίπεδο της ατμοσφαιρικής. Οπότε, το ουδέτερο ύψος προκύπτει όσο περίπου το μισό ύψος του κτηρίου. Βεβαίως, μεγάλο ρόλο στη δυναμική του καπνού παίζουν ο άνεμος, οι φυσικές ροές λόγω άνωσης (φαινόμενο «καμινάδας») και οι τεχνητές ροές που δημιουργούνται από την θέρμανση, τον κλιματισμό και τον εξαερισμό του κτηρίου. Για παράδειγμα, ένα κτήριο που είναι εσωτερικά πιο ψυχρό από το περιβάλλον, κάτι που συμβαίνει τα καλοκαίρια λόγω κλιματισμού, θα έχει τις αντίθετες ροές (Σχήμα 9.4). Δηλαδή, θα υπάρχει καθοδική κίνηση του καπνού και εκροή κάτω από τον όροφο της φωτιάς.



Σχήμα 9.4. Η κίνηση και εξάπλωση του καπνού σε ένα μεγάλο κτήριο, μέσα από ένα φρεάτιο.

9.5 Παραδείγματα απλών υπολογισμών.

Για ένα δωμάτιο με ένα άνοιγμα, οι μικρές διαφορές πίεσης μεταξύ του αέρα και του καπνού, ελέγχουν την ροή στο άνοιγμα. Η ροή αυτή, είναι περίπου ίση για τον αέρα που εισέρχεται και για τον καπνό που εξέρχεται. Η ακριβής τιμή των ροών, εξαρτάται από το μέγεθος του ανοίγματος και τη διαφορά θερμοκρασίας. Μεγάλα ανοίγματα σε συνδυασμό με σχετικά μικρές διαφορές θερμοκρασίας, οδηγούν σε μικρότερες ροές. Η παρακάτω σχέση, δίνει τη μέγιστη δυνατή ροή του αέρα, $\dot{m}_{a,max}$ [kg/s], και είναι μια καλή προσέγγιση για τον υπολογισμό της παροχής του αέρα, για τις περιπτώσεις που η πυρκαγιά είναι μεγάλη και τα ανοίγματα μικρά:

$$\dot{m}_{a,max} = 0,5 A_o \sqrt{H_o} \quad \{\text{Σχέση 9.2}\},$$

όπου A_o [m²], είναι η επιφάνεια του ανοίγματος (επιφάνεια ροής), ο όρος $\sqrt{H_o}$ προέρχεται από την σχέση της ταχύτητας (Σχέση 7.3), και ο όρος $A_o \sqrt{H_o}$ ονομάζεται παράγοντας εξαερισμού.

Μια προσεγγιστική σχέση για τη μέση θερμοκρασία του στρώματος του καπνού, χωρίς να συνυπολογίζεται η θερμοκρασία της στήλης της φωτιάς, είναι:

$$\Delta T = T - T_a = 6,85 \left(\frac{\dot{Q}^2}{(hA)(A_o \sqrt{H_o})} \right)^{1/3} \quad \{\text{Σχέση 9.3}\},$$

όπου ΔT [°C], είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του καπνού και του αέρα. Το A , είναι το συνολικό εμβαδό των εσωτερικών επιφανειών του δωματίου, χωρίς να προσμετράται η επιφάνεια των ανοιγμάτων. Το h , είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας και λαμβάνεται σε αυτή την εξίσωση ως το μέγιστο εκ των $\sqrt{\frac{k\rho c}{t}}$ ή $\frac{k}{l}$, όπου το t είναι ο χρόνος [s], ο οποίος απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία και l είναι το πάχος της εσωτερικής τοιχοποιίας. Μερικές ενδεικτικές τιμές για τις ιδιότητες k και $k\rho c$ δίνονται στον Πίνακα 9.1. Αν υπάρχουν πολλαπλά ανοίγματα και διαφορετικά υλικά στους τοίχους, οι Σχέσεις 9.2 και 9.3 ισχύουν, αρκεί να χρησιμοποιηθούν τα αθροίσματα των διαφορετικών παραγόντων εξαερισμού και διαφορετικών όρων hA . Όπως γίνεται φανερό από τη Σχέση 9.3, η αύξηση της θερμοκρασίας του καπνού εξαρτάται από το μέγεθος της φωτιάς και από το μέγεθος των ανοιγμάτων. Μεγαλύτερες φωτιές και μικρότερα ανοίγματα συνεπάγονται μεγαλύτερες θερμοκρασίες καπνού.

Υλικό	$k\rho c$ [kW ² s/m ⁴ °C ²]	k [kW/m°C]
Μονωτική πλάκα	0,09	4,1 x 10 ⁻⁵
Ξύλο	0,3	1,5 x 10 ⁻⁴
Γυψοσανίδα	0,6	5 x 10 ⁻³
Σκυρόδεμα	2	1 x 10 ⁻³
Χάλυβας	150	5 x 10 ⁻²

Πίνακας 9.1. Ενδεικτικές τιμές ιδιοτήτων k και $k\rho c$.

Για ένα απλό παράδειγμα ενός δωματίου 4 x 4 x 3 m, φτιαγμένο με γυψοσανίδα μεγάλου πάχους, με ένα άνοιγμα 1 x 2 m, όπου υπάρχει μία φωτιά ισχύος 500 kW και όπου η θερμοκρασία χρειάζεται 100 s για να φτάσει σε μια μέγιστη θερμοκρασία ή μια μόνιμη κατάσταση, προκύπτει, από τη Σχέση 9.3 και τον Πίνακα 9.1, μια διαφορά θερμοκρασίας των 162 °C. Για τον υπολογισμό της θερμότητας που απαιτείται για να επιτευχθεί η έκλαμψη, προκύπτει από τη Σχέση 9.3, ότι:

$$\dot{Q}_{FO} = 624 \left[(hA)(A_o \sqrt{H_o}) \right] \quad \{\text{Σχέση 9.4}\},$$

όπου ως αντιπροσωπευτική της έκλαμψης, θεωρείται η αύξηση της θερμοκρασίας $\Delta T = 500^\circ\text{C}$. Σε αυτή τη θερμοκρασία, η ροή θερμότητας μέσω ακτινοβολίας για ένα μέλαν σώμα είναι 23 kW/m^2 (Σχέση 3.5), ποσότητα ικανή να προκαλέσει γρήγορα ανάφλεξη σε πολλά υλικά. Συνεχίζοντας το προηγούμενο παράδειγμα και θεωρώντας ότι η έκλαμψη συμβαίνει γύρω στα 100 s , η ροή θερμότητας που απαιτείται είναι $2,71 \text{ MW}$. Επίσης, μπορεί κανείς να υπολογίσει τον μέγιστο ρυθμό έκλυσης ενέργειας για την περίπτωση που η καύση είναι ελεγχόμενη από τον αερισμό:

$$\dot{Q}_{\max} = 3000\dot{m}_{a,\max} \quad \{\text{Σχέση 9.5}\},$$

όπου το 3.000 kJ ανά kg αέρα, είναι μια προσεγγιστική τιμή της θερμότητας που εκλύουν σχεδόν όλα τα κοινά καύσιμα υδρογονανθράκων. Η μέγιστη ροή μάζας, δίνεται από τη Σχέση 9.2, η οποία ισχύει για μεγάλες φωτιές και μικρά ανοίγματα. Για το ίδιο παράδειγμα, η μέγιστη ροή θερμότητας που εκλύεται στην ελεγχόμενη από τον αερισμό περίπτωση είναι $4,24 \text{ MW}$. Σε αυτή την περίπτωση, ο ρυθμός έκλυσης ενέργειας είναι μεγαλύτερος από αυτόν που απαιτείται για να γίνει έκλαμψη, κάτι που ισχύει γενικότερα για τις πυρκαγιές σε κλειστούς χώρους.

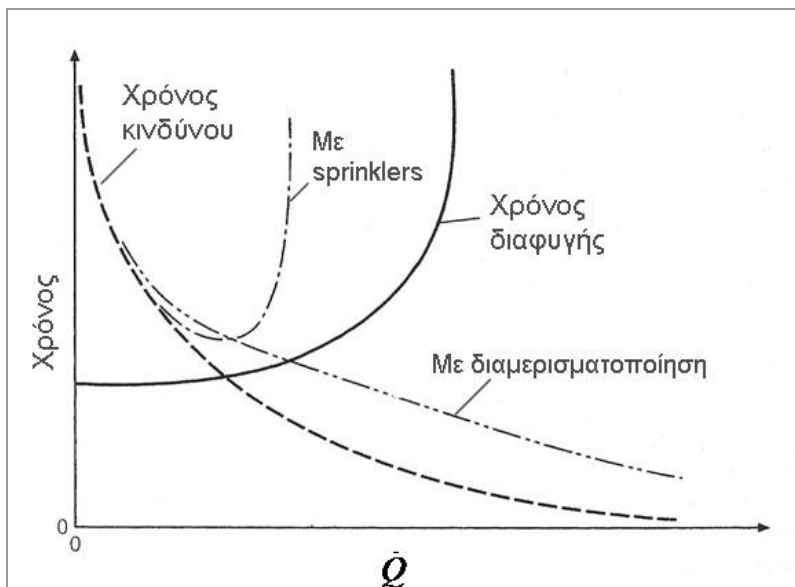
Για το ίδιο παράδειγμα, αν η φωτιά βρίσκεται σε πλήρη ανάπτυξη και αποδεχθεί κανείς την τυπική θερμοκρασία των 800°C , τότε η ακτινοβολία φτάνει τα 75 kW/m^2 . Με μια μέση θερμότητα εξαέρωσης L ίση με 2 kJ/g και το καύσιμο να βρίσκεται στην επιφάνεια του δαπέδου, με επιφάνεια 12 m^2 , προκύπτει από τη Σχέση 6.1 ένας ρυθμός καύσης ίσος με 450 g/s . Για μια μέση ωφέλιμη θερμότητα ΔH_c ίση με 20 kJ/g , προκύπτει από τη Σχέση 6.2, ότι η εκλυόμενη θερμική ισχύς στην πλήρη ανάπτυξη της φωτιάς είναι 9 MW . Εφόσον τα $4,24 \text{ MW}$ είναι η μέγιστη θερμική ισχύς που εκλύεται μέσα στο δωμάτιο, τα υπόλοιπα $4,76 \text{ MW}$ αποδίδονται έξω από αυτό, κάτι που αναδεικνύει τη σημασία της μεταβατικής φάσης, της έκλαμψης. Μάλιστα, αν θεωρήσει κανείς ότι εμπλέκεται όλη η εσωτερική επιφάνεια σαν καύσιμο ($A = 86 \text{ m}^2$), τότε ο ρυθμός καύσης γίνεται 3225 g/s και ο ρυθμός έκλυσης ενέργειας $64,5 \text{ MW}$. Γεγονός, το οποίο αναδεικνύει τον κίνδυνο που κρύβουν τα εύφλεκτα υλικά που χρησιμοποιούνται στα εσωτερικά τελειώματα. Γενικά, η φάση της πλήρως ανεπτυγμένης φωτιάς εξαρτάται από το είδος και την έκταση των καυσίμων υλικών.

10. Ανάλυση πυρκαγιάς.

Παρόλο που οι περισσότερες από τις προαναφερθείσες σχέσεις είναι απλοποιημένες, είναι φανερό ότι υπάρχουν μέθοδοι για τον ποσοτικό υπολογισμό του μεγέθους και της ανάπτυξης μιας φωτιάς. Η ανάλυση σεναρίων πυρκαγιάς με μεθόδους μηχανικής, είναι πολύ σημαντικές και για τον τομέα του σχεδιασμού πυροπροστασίας και για τον τομέα της πραγματογνωμοσύνης. Στη φάση του σχεδιασμού της πυρασφάλειας ενός κτηρίου, ο μηχανικός καλείται να εφαρμόσει τον τοπικό κώδικα κανονισμών, υπό τις οδηγίες του οποίου πρέπει να συμμορφώνεται η εγκατάσταση. Όμως, υπάρχουν, πολλές περιπτώσεις, όπου είτε ο κανονισμός δεν είναι εφαρμόσιμος, είτε ο εργοδότης επιθυμεί βελτιώσεις ή εναλλακτικές λύσεις. Σε αυτές τις περιπτώσεις, απαιτείται επιστημονική ανάλυση της πυρκαγιάς, η οποία μπορεί να αφορά όλους τους τομείς του σχεδιασμού, όπως: την πυρανίχνευση και το συναγερμό, την καταστολή του πυρός, την ασφαλή διαφυγή, την ομαλή συνέχεια της λειτουργίας ενός κτηρίου και την δομική ακεραιότητα. Η πιο σημαντική πλευρά του σχεδιασμού πυροπροστασίας είναι η σχέση του χρόνου ανάπτυξης μιας φωτιάς και του χρόνου διαφυγής των ενοίκων. Τα μεγέθη αυτά, μπορούν να υπολογιστούν για ρεαλιστικά σενάρια πυρκαγιάς. Γενικά, ο χρόνος διαφυγής μεγαλώνει όσο η πυρκαγιά αναπτύσσεται, καθώς ο καπνός δυσκολεύει την μετακίνηση των ανθρώπων. Αντιθέτως, ο χρόνος τον οποίο χρειάζεται η φωτιά για να γίνει επιζήμια (χρόνος κινδύνου) ελαττώνεται. Ο στόχος είναι ο χρόνος διαφυγής να είναι πάντα μικρότερος από τον χρόνο κινδύνου, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί με μέτρα, όπως η εγκατάσταση αυτόματου συστήματος καταιονισμού και η διαμερισματοποίηση (Σχήμα 10.1).

Η σύγχρονη τάση στον τομέα της πυροπροστασίας είναι η εφαρμογή κανονισμών με βάση την απόδοση αντί των παραδοσιακών κατευθυντήριων κανονισμών. Ουσιαστικά, οι κανονισμοί με βάση την απόδοση απαιτούν την χρήση υπολογισμών ανάλυσης της πυρκαγιάς για διαφορετικά σενάρια και είναι ένας τομέας που εξελίσσεται, χωρίς να υπάρχει ακόμα ένα ενιαίο μεθοδολογικό πλαίσιο. Επίσης, είναι γεγονός ότι οι δικαστικές διαμάχες έχουν ωθήσει τον τομέα της πυροπροστασίας προς αυτήν την κατεύθυνση, δηλαδή την επιστημονική ανάλυση πυρκαγιών. Ολοένα και περισσότερο χρησιμοποιούνται μαθηματικά μοντέλα για τον σχεδιασμό πυροπροστασίας ή την πραγματογνωμοσύνη πυρκαγιών. Δύο γενικοί τύποι προσδιοριστικών μοντέλων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται συχνά στον τομέα της πυροπροστασίας είναι τα μοντέλα ζωνών και τα μοντέλα πεδίου (ή δυναμικής ρευστού). Τα πρώτα, χωρίζουν το χώρο σε μεταβλητές ζώνες, μέσα στις οποίες οι ιδιότητες είναι ομοιόμορφες. Τα συνηθέστερα,

περιέχουν δύο ζώνες, μια θερμή και μια ψυχρή. Σε αυτά, για κάθε χρονικό βήμα, λύνονται οι εξισώσεις διατήρησης της μάζας και της ενέργειας για τις δύο ζώνες. Η σχέση της διατήρησης της ορμής δεν χρησιμοποιείται άμεσα. Αντί αυτής, για τον υπολογισμό των ταχυτήτων των αερίων και των διαφορών πιέσεων σε ένα άνοιγμα, χρησιμοποιούνται κάποιες αναλυτικές προσεγγιστικές σχέσεις, οι οποίες εμπεριέχουν αρκετές παραδοχές. Τα διζωνικά μοντέλα χρησιμοποιούνται σε τομείς, όπως η μελέτη της διαστρωμάτωσης της θερμοκρασίας και του καπνού, αλλά και η ανάπτυξη μιας πυρκαγιάς, σε διαμερίσματα και κτήρια.



Σχήμα 10.1. Η γενική σχέση του χρόνου διαφυγής με το χρόνο κινδύνου για τρεις διαφορετικές περιπτώσεις: με sprinklers, με διαμερισματοποίηση και χωρίς πρόσθετα μέτρα.

Τα υπολογιστικά μοντέλα δυναμικής ρευστού έχουν μεγαλύτερες δυνατότητες και είναι περισσότερο εξελιγμένα και ακριβή, αλλά απαιτούν μεγαλύτερο χρόνο, μεγαλύτερη υπολογιστική δύναμη και πιο εξειδικευμένους χρήστες. Σε αυτά, ο χώρος τεμαχίζεται σε πολύ μικρούς όγκους, για τους οποίους λύνονται, με διάφορες αριθμητικές μεθόδους, οι γενικές εξισώσεις της διατήρησης της μάζας, της ενέργειας και της ορμής (μέσω των εξισώσεων ροής Navier-Stokes). Αναλόγως της εφαρμογής, υπάρχουν διάφορα ειδικά μοντέλα, τα οποία δομούνται πάνω στον κεντρικό αλγόριθμο ενός γενικού μοντέλου δυναμικής ρευστού. Όσον αφορά στην μοντελοποίηση της πυρκαγιάς, υπάρχουν μοντέλα με εφαρμογές σε πάρα πολλά αντικείμενα. Μερικά εξ αυτών, είναι η ανάφλεξη, η εξάπλωση της φωτιάς, τα τυρβώδη φαινόμενα, η ακτινοβολία θερμότητας, η παραγωγή και κίνηση αιθάλης, η πυρόλυση, η καύση κ.α. Τα μοντέλα

αυτά, είναι ιδιαίτερα χρήσιμα, όταν η γεωμετρία του χώρου είναι πολύπλοκη. Τέλος, υπάρχουν και τα στοχαστικά μοντέλα, τα οποία κάνουν στατιστικές προβλέψεις για τη μετάβαση από το ένα στάδιο της πυρκαγιάς στο επόμενο. Ένα από τα κοινά σημεία όλων των μοντέλων πυρκαγιάς, είναι ότι απαιτούν από το χρήστη, εκτός των άλλων παραμέτρων, να προσδιορίσει επακριβώς την αρχική φωτιά. Επίσης, ένα άλλο κοινό στοιχείο είναι ότι όλα τα μοντέλα έχουν τους περιορισμούς τους. Κατά κανόνα, ένα μοντέλο προσφέρει προσεγγιστικές λύσεις για ένα συγκεκριμένο πλαίσιο προβλημάτων και περιέχει αρκετές, κρυφές ή φανερές, παραδοχές. Ως συνέπεια, μια λάθος εφαρμογή του, είναι πιθανό να οδηγήσει σε επικίνδυνες καταστάσεις.

Ένας άλλος τρόπος, ο οποίος χρησιμοποιείται για την ανάλυση της πυρκαγιάς, είναι ο παραδοσιακός τρόπος της χρήσης προσεγγιστικών αναλυτικών εξισώσεων. Οι εξισώσεις αυτές, προκύπτουν από τους θεμελιώδεις νόμους της φυσικής και της χημείας, μέσω αρκετών στοχευμένων παραδοχών. Συνήθως οι τελικές εξισώσεις επαληθεύονται και βελτιώνονται μέσω πειραμάτων. Κάποιες από αυτές, βασίζονται αποκλειστικά σε πειραματικά δεδομένα. Φυσικά, και για αυτού του είδους την ανάλυση γίνεται συνήθως χρήση υπολογιστών. Αρκετά διαδεδομένα είναι τα φύλλα υπολογισμού, λόγω του ότι είναι εύχρηστα και αποθηκεύουν λίστες από δεδομένα για τις ιδιότητες πληθώρας υλικών. Τέτοιες εξισώσεις, υπάρχουν για: τον υπολογισμό του ύψους φλόγας, των ροών μάζας, της θερμοκρασίας και των ταχυτήτων στη στήλη της φωτιάς, του χρόνου ενεργοποίησης των συστημάτων καταιονισμού, των πιέσεων σε ένα δωμάτιο κ.α. Κάποιες από αυτές, στην απλούστερη μορφή τους, εξετάστηκαν ήδη στο δεύτερο κεφάλαιο.

Οι αναλύσεις αυτές, μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες: την ανάλυση της καύσης, την ανάλυση των συνθηκών που προκύπτουν στο περιβάλλον από την καύση και την ανάλυση της μεταφοράς θερμότητας. Στην πρώτη, υπολογίζεται ο ρυθμός ανάπτυξης της πυρκαγιάς και η ενέργεια που εκλύεται. Για τους υπολογισμούς, χρησιμοποιούνται γνώσεις για τη μάζα και τις ιδιότητες του καυσίμου (ρυθμός καύσης, θερμότητα καύσης, ρυθμός έκλυσης ενέργειας, βαθμός παραγωγής ουσιών κ.α.), οι οποίες παρέχονται από πειραματικά δεδομένα. Επίσης, χρησιμοποιούνται εκτιμήσεις για τις συνθήκες αερισμού, καθώς αυτές επηρεάζουν την έκλυση ενέργειας. Στην δεύτερη κατηγορία, εφαρμόζονται οι νόμοι διατήρησης της μάζας, της ενέργειας και της ορμής, οι οποίοι οδηγούν σε κάποιες διαφορικές εξισώσεις. Μέσω στοχευμένων παραδοχών για τη μεταφορά μάζας και ενέργειας σε ένα χώρο, προκύπτει ένα ολοκληρωμένο σύνολο εξισώσεων. Κατά κανόνα, οι εξισώσεις είναι πολύπλοκες και απαιτούνται αριθμητικές μέθοδοι για την επίλυσή τους, συνεπώς και υπολογιστές. Περαιτέρω απλοποιήσεις,

μπορεί να προκύψουν με χρήση κάποιων πειραματικών δεδομένων και επιπλέον παραδοχών. Αυτού του τύπου η ανάλυση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό: των θερμοκρασιών, των ροών, και της ταχύτητας των αερίων στη στήλη της φωτιάς και στις ταχείες ροές οροφής, του ύψους της φλόγας, των ροών αερίων στα ανοίγματα, των θερμοκρασιών των αερίων ενός χώρου, του χρόνου μέχρι το στάδιο της έκλαμψης, της εξέλιξης της πλήρωσης ενός χώρου με καπνό, των πιέσεων που αναπτύσσονται σε ένα χώρο από την πυρκαγιά κ.α. Για την κατηγορία των αναλύσεων μεταφοράς θερμότητας, οι αναλυτικές εξισώσεις προκύπτουν από τις εξισώσεις διατήρησης, με την παραδοχή ότι το μέσο μεταφοράς είναι ομογενές με σταθερές ιδιότητες, και αμελώντας τους μηχανισμούς μεταφοράς, οι οποίοι είναι οι λιγότερο σημαντικοί ανά περίπτωση. Με αυτές τις αναλύσεις, μπορεί να υπολογιστεί οτιδήποτε έχει σχέση με την ροή θερμότητας από και προς στερεά, υγρά και αέρια: οι χωροχρονικές περιγραφές της θερμοκρασίας, η εξάπλωση της φωτιάς, ο χρόνος ενεργοποίησης ανιχνευτών, ο χρόνος ανάφλεξης κ.α. Όλα παραπάνω, αναδεικνύουν την αναγκαιότητα εξειδικευμένης εκπαίδευσης ΜΠ, ώστε οι επαγγελματίες που ασχολούνται με την πυροπροστασία να έχουν την πλήρη κατανόηση του φαινομένου, αλλά και των κατάλληλων επιστημονικών «εργαλείων», από τους πιο απλούς επιστημονικούς νόμους μέχρι τα πιο πολύπλοκα υπολογιστικά μοντέλα, τα οποία χρειάζεται να εφαρμόσει για τη σωστή επίλυση πρακτικών προβλημάτων του χώρου.

11. Πλήρωση δωματίου με καπνό και έλεγχος του καπνού.

Σε αυτό το κομμάτι θα εξεταστεί το πώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι βασικές επιστημονικές αρχές, τα μαθηματικά, οι στοχευμένες παραδοχές και τα πειραματικά αποτελέσματα, για την παραγωγή προσεγγιστικών εξισώσεων και την επίλυση απλών προβλημάτων υπολογισμού του χρόνου πλήρωσης ενός διαμερίσματος με καπνό. Υπενθυμίζεται, ότι περισσότεροι θάνατοι στις πυρκαγιές προκύπτουν από την εισπνοή επικίνδυνων αερίων και καπνού, οπότε οι συγκεκριμένες αναλύσεις έχουν ιδιαίτερη σημασία. Οι εξισώσεις στις οποίες βασίζονται οι αναλύσεις της πλήρωσης δωματίου με καπνό, είναι κυρίως οι εξισώσεις διατήρησης της ενέργειας και της μάζας. Από τη στιγμή που η ροές της μάζας εξαρτώνται από την θερμοκρασία και, με τη σειρά της, η ενέργεια ενός χώρου εξαρτάται από τις ροές μάζας, οι εξισώσεις δεν είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Στην πράξη, αυτές λύνονται ταυτόχρονα με τη χρήση υπολογιστών. Όμως, η χρήση κάποιων λογικών παραδοχών, επιτρέπει την ξεχωριστή επίλυση των εξισώσεων και την εύρεση αναλυτικών λύσεων. Η εξίσωση διατήρησης της ενέργειας επιτρέπει την έκφραση των ροών μάζας στα ανοίγματα, ως συνάρτηση των διαφορών πίεσης. Μέσω της εξίσωσης διατήρησης της ενέργειας μπορούν να υπολογιστούν οι θερμοκρασίες των αερίων, οι οποίες επιτρέπουν, με τη σειρά τους, τον υπολογισμό των διαφορών πίεσης. Η εξίσωση διατήρησης της ορμής δεν εφαρμόζεται άμεσα, διότι οι ταχύτητες και οι πιέσεις στα ανοίγματα υπολογίζονται εμμέσως, βάσει κάποιων παραδοχών. Η παρακάτω ανάλυση αφορά δύο κατηγορίες εξαερισμού: α) καθόλου ή πολύ μικρού, όπου η πίεση αυξάνεται απότομα και οδηγεί τη μάζα των αερίων προς τα έξω, β) κανονικού ή μεγάλου, όπου οι ροές εξαρτώνται από τις υδροστατικές διαφορές πίεσης στα ανοίγματα. Ο σκοπός, είναι η σύντομη παρουσίαση του πώς οι βασικές επιστημονικές αρχές μπορεί να οδηγήσουν σε εξισώσεις προς χρήση στην ανάλυση και το σχεδιασμό πυροπροστασίας, αλλά και να τονιστούν οι παραδοχές που εμπεριέχονται σε τέτοιου είδους αναλύσεις.

11.1 Εξισώσεις διατήρησης μάζας και ενέργειας.

Καταρχήν, είναι απαραίτητη η εξίσωση της διατήρησης της μάζας, μία μορφή της οποίας είναι η ακόλουθη:

$$\boxed{\frac{dm}{dt} + \sum_{j=1}^n \dot{m}_j = 0} \quad \{\text{Σχέση 11.1}\},$$

όπου ο πρώτος όρος, αντιπροσωπεύει το ρυθμό μεταβολής της μάζας σε ένα όγκο ελέγχου (CV) και ο δεύτερος, το συνολικό ρυθμό απώλειας μάζας. Η ολοκληρωτική μορφή της ίδιας σχέσης για ένα όγκο ελέγχου με κλειστή επιφάνεια (CS), μέσω της χρήσης της σχέσης $m = \rho V$, γίνεται:

$$\boxed{\frac{d}{dt} \iiint_{CV} \rho dV + \iint_{CS} \rho v_n dS = 0} \quad \{\text{Σχέση 11.2}\},$$

όπου το v_n είναι η ταχύτητα κάθετη στην επιφάνεια του όγκου ελέγχου. Επίσης, από την θερμοδυναμική ισχύει, ότι για ένα κλειστό σύστημα ο ρυθμός μεταβολής της ενέργειας ισούται με το ρυθμό της θερμότητας που προστίθεται στο σύστημα, μείον το ρυθμό του έργου που εκτελείται από το ρευστό του κλειστού συστήματος. Για τις συγκεκριμένες εφαρμογές, οι αλλαγές στην κινητική και την δυναμική ενέργεια είναι πολύ μικρές, σε σχέση με τις αλλαγές στην εσωτερική ενέργεια για σταθερό όγκο (U), οπότε αμελούνται. Έτσι, ισχύει ότι:

$$\boxed{\frac{dU}{dt} = \dot{Q} - \dot{W}} \quad \{\text{Σχέση 11.3}\}$$

Από την θερμοδυναμική, χρειάζονται επίσης οι σχέσεις του ορισμού της ειδικής ενθαλπίας, της ειδικής θερμοχωρητικότητας σε σταθερό όγκο και σταθερή πίεση, καθώς και ο νόμος των ιδανικών αερίων:

$$\boxed{h = u + \frac{P}{\rho}} \quad \{\text{Σχέση 11.4}\},$$

$$\boxed{u = \int_{T_a}^T c_v dT = c_v (T - T_a)} \quad \{\text{Σχέση 11.5}\},$$

$$\boxed{h = \int_{T_a}^T c_p dT = c_p (T - T_a)} \quad \{\text{Σχέση 11.6}\},$$

$$\boxed{P = \rho RT} \quad \{\text{Σχέση 11.7}\},$$

Υπενθυμίζεται, ότι η εσωτερική ενέργεια αναφέρεται στην ενέργεια μετατόπισης, περιστροφής και δόνησης των μορίων, καθώς και στην χημική ενέργεια των δεσμών τους. Η ενθαλπία h , αντιπροσωπεύει το άθροισμα της εσωτερικής ενέργειας με το έργο λόγω πίεσης. Τα ειδικά μεγέθη, αναφέρονται στα μεγέθη ανά μονάδα μάζας και συμβολίζονται με τα αντίστοιχα μικρά γράμματα (u, h κτλ.) Η ειδική θερμοχωρητικότητα αντιπροσωπεύει την ενέργεια που απαιτείται για να ανεβεί η θερμοκρασία μια μονάδας μάζας μιας ουσίας κατά 1 βαθμό. Επίσης, η τιμή της σταθεράς των αερίων R , είναι 287 J/(kg K) για τον αέρα. Για τις Σχέσεις 11.5 και 11.6, υπάρχει η παραδοχή ότι η ειδική θερμοχωρητικότητα παραμένει σταθερή για τις θερμοκρασίες που ενδιαφέρουν. Μια παραδοχή, η οποία γίνεται συχνά για τον αέρα στις εφαρμογές πυροπροστασίας.

Ο νόμος διατήρησης της ενέργειας ταυτίζεται με τον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής, όταν χρησιμοποιείται για προβλήματα όπου συμπεριλαμβάνονται η μεταφορά θερμότητας και οι αλλαγές στην εσωτερική ενέργεια. Για ένα όγκο ελέγχου, ο οποίος βρίσκεται μέσα στη ροή ενός ρευστού, πρέπει να συνυπολογίζεται η ενέργεια που μεταφέρει το ρευστό. Οπότε, ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής για ένα όγκο ελέγχου (Σχέση 11.3, χωρίς την κινητική και δυναμική ενέργεια), εκφράζει ότι ο ρυθμός αύξησης της εσωτερικής ενέργειας συν το συνολικό ρυθμό της ενέργειας που εξέρχεται μαζί με το ρευστό πρέπει να ισούται με το συνολικό ρυθμό θερμότητας που εισέρχεται μείον το ρυθμό του έργου που καταβάλλει το ρευστό του όγκου ελέγχου, δηλαδή:

$$\frac{d}{dt} \iiint_{CV} \rho \cdot u \cdot dV + \iint_{CS} \rho \cdot u \cdot v_n dS = \dot{Q} - \dot{W} \quad \{\text{Σχέση 11.8}\}$$

Η ενέργεια που εμπλέκεται με τον όγκο ελέγχου μπορεί να έχει τρεις μορφές: έργο, θερμότητας και ενέργειας της μάζας που εισέρχεται και εξέρχεται. Το έργο που παίζει ρόλο στα προβλήματα που εξετάζονται εδώ, είναι αυτό που γίνεται από την πίεση του ρευστού στην επιφάνεια του όγκου ελέγχου. Έργο μετάδοσης κίνησης σε κάποιο μηχανισμό δεν υπάρχει και το έργο που σχετίζεται με τις διατμητικές τάσεις μπορεί να μηδενιστεί αν ο όγκος ελέγχου επιλεγεί έτσι, ώστε η επιφάνειά του να είναι κάθετη στη ροή. Οπότε το συνολικό έργο που καταβάλλεται από το ρευστό του όγκου δίνεται, βάσει των γνωστών $W = F \cdot x$ και $F = P \cdot dS$, από την έκφραση:

$$\dot{W}_p = \iint_{CS} P v_n dS \quad \{\text{Σχέση 11.9}\}$$

Η θερμότητα στην συγκεκριμένη περίπτωση προέρχεται από την χημική ενέργεια που εκλύεται στις αντιδράσεις και την μεταφορά θερμότητας στον όγκο ελέγχου (Q_{ch}), μειωμένες κατά τις απώλειες στα όρια του όγκου ελέγχου (q_{loss}):

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{ch} - \dot{q}_{loss} \quad \{\text{Σχέση 11.10}\}$$

Έτσι, λοιπόν, από την Σχέση 11.8, με αντικατάσταση της Σχέσης 11.9, η σχέση διατήρησης της ενέργειας για ένα όγκο ελέγχου γίνεται:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \iiint_{CV} \rho \cdot u \cdot dV + \iint_{CS} \rho \cdot u \cdot v_n dS &= \dot{Q} - \iint_{CS} P v_n dS \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{d}{dt} \iiint_{CV} \rho \cdot u \cdot dV + \iint_{CS} \rho \cdot \left(u + \frac{P}{\rho} \right) \cdot v_n dS &= \dot{Q} \Rightarrow [\text{σχ.43}] \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \frac{d}{dt} \iiint_{CV} \rho \cdot u \cdot dV + \iint_{CS} \rho \cdot h \cdot v_n dS = \dot{Q} \quad \{\text{Σχέση 11.11}\},$$

όπου, ο πρώτος όρος αντιπροσωπεύει τον ρυθμό μεταβολής της εσωτερικής ενέργειας μέσα στον όγκο ελέγχου, ο δεύτερος όρος το συνολικό ρυθμό εκροής ενθαλπίας από την επιφάνεια και ο τρίτος όρος την θερμότητα που εισέρχεται. Οι κύριες παραδοχές που έχουν γίνει, είναι η παράβλεψη των αλλαγών κινητικής και δυναμικής ενέργειας και το ότι οι όγκοι ελέγχου μπορεί να είναι τέτοιοι, ώστε να μην υπάρχει έργο που να σχετίζεται με τις διατμητικές δυνάμεις.

11.2 Πλήρωση με καπνό σε ερμητικά κλειστό χώρο.

Εξετάζοντας πρώτα την περίπτωση ενός δωματίου το οποίο είναι ερμητικά κλειστό, γίνονται οι υποθέσεις: ότι αυτό έχει όγκο V , με αρχικές τιμές T_a , ρ_a και P_a , ότι η εστία φωτιάς είναι ένα σημείο με σταθερή έκλυση Q και ότι δεν υπάρχουν απώλειες θερμότητας προς τον εξωτερικό χώρο. Επίσης, γίνεται η υπόθεση ότι η πηγή παράγει μόνο θερμότητα και αγνοείται η απελευθέρωση μάζας καυσίμου. Έτσι, ο δεύτερος όρος της Σχέσης 11.2 γίνεται μηδέν και η συνολική μάζα $\iiint_{CV} \rho_a dV$ είναι σταθερή. Επίσης,

από τη στιγμή που δεν υπάρχει εισροή ή εκροή ρευστού στον όγκο ελέγχου, ο δεύτερος όρος της Σχέσης 11.11 μηδενίζεται. Κάνοντας την παραδοχή, ότι η ειδική θερμοχωρητικότητα παραμένει σταθερή (Σχέση 44), προκύπτει ότι ισχύει:

$$\Rightarrow \frac{d}{dt} \iiint_{CV} \rho_a c_v (T - T_a) dV = \frac{d}{dt} [V \rho_a c_v (T - T_a)] = \dot{Q} \Rightarrow \int_0^t \frac{d}{dt} [V \rho_a c_v (T - T_a)] = \int_0^t \dot{Q} \Rightarrow$$

$$\boxed{V \rho_a c_v (T - T_a) = \dot{Q} t} \quad \{\text{Σχέση 11.12}\}$$

Στην περιοχή της θερμοκρασίας από 300 μέχρι 1000 K, η ειδική θερμοχωρητικότητα κυμαίνεται ως εξής: $c_p = 1-1,14$ kJ/(kg K) και $c_v = 0,71-0,85$ kJ/(kg K), οπότε η παραδοχή είναι λογική. Επίσης, ο νόμος των ιδανικών αερίων για σταθερό όγκο μπορεί να εκφραστεί και ως $\Delta P/P_a = \Delta T/T_a$. Αντικαθιστώντας στη Σχέση 11.12, προκύπτει μια σχέση, η οποία επιτρέπει τον υπολογισμό της αύξησης της πίεσης λόγω της διαστολής των αερίων, σε ένα ερμητικά κλειστό χώρο:

$$\boxed{\frac{P - P_a}{P_a} = \frac{\dot{Q} t}{V \rho_a c_v T_a}} \quad \{\text{Σχέση 11.13}\}$$

Εκτός από τις παραδοχές που έγιναν για την παραγωγή της Σχέσης 11.11, υπάρχουν οι εξής επιπλέον:

- Ο ρυθμός έκλυσης ενέργειας είναι σταθερός.
- Ο ρυθμός απώλειας μάζας αμελείται.
- Η ειδική θερμοχωρητικότητα παραμένει σταθερή.
- Η υδροστατική πίεση θεωρείται αμελητέα σε σχέση με την δυναμική πίεση.

Εφαρμόζοντας την παραπάνω εξίσωση σε ένα απλό παράδειγμα, στο οποίο υπάρχει φωτιά θερμικής ισχύος 100 kW σε ένα κλειστό μηχανοστάσιο πλοίου, όγκου 60 m³, και ζητείται η αύξηση της πίεσης μετά από 10 sec, βρίσκει κανείς ότι η πίεση αυξάνεται κατά 6,8 kPa από την ατμοσφαιρική. Μια τέτοια διαφορά πίεσης, είναι ικανή να σπάσει ένα παράθυρο. Για παράδειγμα, σε ένα παράθυρο 0,6 m², ασκείται δύναμη 4100 N. Με άλλα λόγια, μπορεί η αύξηση της πίεσης να είναι πολύ γρήγορη, αλλά σε μια ρεαλιστική κατάσταση οδηγεί επίσης γρήγορα στη δημιουργία διαρροών, με συνέπεια την σταθεροποίηση της πίεσης σε μία μέγιστη τιμή.

11.3 Πλήρωση με καπνό σε χώρο με μικρή διαρροή.

Για ένα δωμάτιο, το οποίο έχει μια μικρή διαρροή, από ένα άνοιγμα εμβαδού A , στο ύψος του δαπέδου, ο πρώτος όρος της εξίσωσης διατήρησης της ενέργειας (Σχέση 11.11), με αντικατάσταση των Σχέσεων 11.5 και 11.7, γίνεται:

$$\frac{d}{dt} \iiint_{CV} \rho u dV = \frac{d}{dt} \iiint_{CV} P \frac{c_v}{R} dV = \frac{dP}{dt} \frac{V c_v}{R},$$

θέτοντας το T_a στη Σχέση 11.5 ίσο με μηδέν, καθώς ενδιαφέρον έχουν μόνο οι συνολικές ποσότητες ειδικής ενθαλπίας και εσωτερικής ενέργειας. Για την ακριβή περιγραφή μιας ροής σε ένα άνοιγμα αερισμού, απαιτείται η επίλυση των εξισώσεων Navier-Stokes.

Εναλλακτικά, από την εξίσωση Bernoulli, $\frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{v^2}{2} + \frac{P}{\rho} + gh \right) = 0$, προκύπτει η σχέση

υδραυλικής $\dot{m} = C_d (\rho v A)$. Σε αυτή τη σχέση, έχει γίνει μια διόρθωση για τις συνέπειες της τριβής, μέσω της πειραματικά εκτιμώμενης σταθεράς εκροής (C_d). Για τις συγκεκριμένες εφαρμογές η σταθερά εκροής είναι μεταξύ 0,6 και 0,7. Συνεχίζοντας, ο δεύτερος όρος της εξίσωσης ενέργειας, με χρήση της σχέσης ροής μάζας και της Σχέσης 11.6, γίνεται:

$$\iint_{CS} \rho h v_n dS = \iint_A \rho v c_p T dA = \rho_e v_e A_e c_p T_e = \dot{m} c_p T_e,$$

όπου το e συμβολίζει την έξοδο. Οπότε, η Σχέση 11.11 για ένα δωμάτιο με ένα μικρό άνοιγμα διαρροής στο δάπεδο, γίνεται:

$$\boxed{\frac{c_v V}{R} \frac{dP}{dt} + \dot{m} c_p T_e = \dot{Q}} \text{ και τελικά } \boxed{\dot{m} c_p T_e = \dot{Q}} \quad \{\text{Σχέση 11.14}\},$$

καθώς από το προηγούμενο παράδειγμα, προκύπτει ότι η πίεση αυξάνεται ραγδαία και φθάνει γρήγορα σε ένα μέγιστο, όπου και σταθεροποιείται. Συνεπώς ο πρώτος όρος μηδενίζεται. Στη Σχέση 11.14 εκφράζεται το ότι η εκροή της ενθαλπίας, λόγω της εκροής της μάζας αερίων από το κλειστό χώρο, ισούται με το ρυθμό παραγωγής (εισροής) θερμότητας στο χώρο. Επίσης, η Σχέση 11.14 δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού της εκροής μάζας, μέσω της μέτρησης της θερμοκρασίας εξόδου και της γνώσης της έκλυσης ενέργειας. Η εξίσωση μπορεί να εκφραστεί σε όρους πίεσης,

χρησιμοποιώντας την εξίσωση της δυναμικής πίεσης $\Delta P = \rho v^2/2$, αντικαθιστώντας για την ταχύτητα εξόδου και λύνοντας για την μεταβολή πίεσης:

$$\Delta P = \frac{1}{2\rho_e} \left(\frac{\dot{Q}}{c_p T_e A_e C_d} \right)^2 \quad \{\text{Σχέση 11.15}\}$$

Με τις προσεγγιστικές Σχέσεις 11.14 και 11.15, μπορεί κανείς να υπολογίσει την εκροή της μάζας και την διαφορά πίεσης σε ένα μικρό άνοιγμα διαρροής. Οι παραδοχές που έχουν γίνει είναι ότι:

- Ο ρυθμός έκλυσης ενέργειας είναι σταθερός.
- Ο ρυθμός απώλειας μάζας αμελείται.
- Η ειδική θερμοχωρητικότητα παραμένει σταθερή.
- Η υδροστατική πίεση θεωρείται αμελητέα, σε σχέση με την δυναμική πίεση.
- Η πίεση θεωρείται σταθερή, αμελώντας την απότομη αρχική άνοδό της.
- Το άνοιγμα δεν πρέπει να είναι κάθετο, καθώς οι ιδιότητες των αερίων που εξέρχονται πρέπει να είναι ομοιόμορφες σε όλο το άνοιγμα.
- Το άνοιγμα πρέπει να θεωρηθεί ότι είναι στο ύψος του δαπέδου, έτσι ώστε $T_e \approx T_a$. Αν το άνοιγμα είναι στο ύψος της οροφής, τότε πρέπει να είναι γνωστή η θερμοκρασία των θερμών αερίων και να θεωρηθεί ότι παραμένει σταθερή.
- Το εμβαδόν της διαρροής θεωρείται γνωστό, κάτι που είναι πολλές φορές δύσκολο να εκτιμηθεί σε πραγματικά κτήρια.

Είναι φανερό, λοιπόν, πως λόγω αυτών των παραδοχών, οι εξισώσεις μπορεί να αποδώσουν μια καλή αίσθηση της τάξης μεγέθους και όχι να εξασφαλίσουν ακριβή αποτελέσματα. Οι παραπάνω εξισώσεις εφαρμόζονται εδώ, σε ένα απλό παράδειγμα με τα παρακάτω δεδομένα. Υπάρχει μια πυρκαγιά φορτίου 100 kW σε ένα κλειστό χώρο (6 x 4 x 3 m), ο οποίος έχει μια πόρτα πλάτους 1m. Η πόρτα διαθέτει το μοναδικό άνοιγμα, μια χαραμάδα 1 cm. Η θερμοκρασία εξόδου στο άνοιγμα θεωρείται 300 K. Οι σχετικές παράμετροι είναι $c_p = 1 \text{ kJ/(kg K)}$, $C_d = 0,7$ και $\rho_e \approx 353/T_e$ από την Σχέση 11.17, θεωρώντας την πίεση ίση με την ατμοσφαιρική. Από αυτά, προκύπτει: από τη Σχέση 11.15 μια διαφορά πίεσης ίση με 960 Pa, μια ταχύτητα εξόδου 40 m/s (τιμή πάνω από τα λογικά όρια), και από τη Σχέση 11.15 μια ροή 0,33 kg/s. Αν το άνοιγμα είναι 10 cm, η διαφορά πίεσης είναι 9,6 Pa, η ταχύτητα 4 m/s και η ροή παραμένει η ίδια.

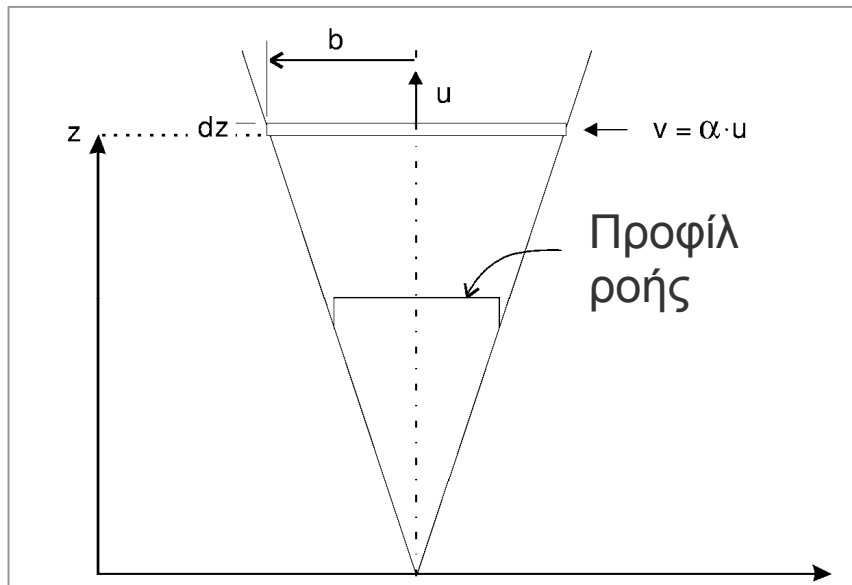
11.4 Η ιδανική στήλη της φωτιάς.

Σε αυτό τη σημείο, εξετάζεται ένα μοντέλο για την ιδανική στήλη της φωτιάς. Από αυτό, προκύπτει μια έκφραση για τη ροή μάζας στη στήλη, η οποία είναι απαραίτητη για την ανάλυση της πλήρωσης χώρου με καπνό με διζωνικά μοντέλα (Σχήμα 11.1). Για την ιδανική στήλη γίνονται οι παρακάτω παραδοχές:

- η εστία είναι ένα σημείο σε ύψος $z=0$. Ολόκληρη η εκλυόμενη ενέργεια παραμένει μέσα στη στήλη, χωρίς η σημειακή εστία να εκπέμπει θερμική ακτινοβολία. Σε μια πραγματική φωτιά, η ακτινοβολούμενη θερμότητα είναι από 20 έως 40% της συνολικής ενέργειας.
- η κινητήρια δύναμη του συστήματος, είναι αποκλειστικά η διαφορά πυκνότητας, μεταξύ του αέρα πάνω από την πηγή θερμότητας (ρ) και του ψυχρού περιβάλλοντα αέρα (ρ_a). Παρόλα αυτά, οι διαφορές πυκνότητας καθ' ύψος, στη στήλη, αμελούνται. Η θεωρία αυτή, ονομάζεται και η θεωρία της ασθενούς στήλης, όπου η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της στήλης και του περιβάλλοντα αέρα είναι μικρή, λόγω καλής ανάμιξης από την παράσυρση. Η μόνη περίπτωση, στην οποία η παραδοχή $\rho \approx \rho_a$ δεν γίνεται, είναι όταν εξετάζονται οι δυνάμεις της άνωσης. Αυτή, είναι η λεγόμενη προσέγγιση Boussinesq. Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι η εξίσωση δεν ισχύει για ύψη τα οποία, βρίσκονται κοντά στην πηγή, αλλά είναι καλή για μεγαλύτερα ύψη.
- το προφίλ της ταχύτητας u , θεωρείται ότι είναι αυτό που φαίνεται στο Σχήμα 11.1, δηλαδή σταθερό κατά πλάτος της στήλης σχήματος ανάποδου κώνου, και μηδενικό έξω από αυτή. Επίσης σταθερές κατά πλάτος, ανεξαρτήτως του ύψους, είναι οι δυνάμεις και η θερμοκρασία.
- η σχέση μεταξύ της ταχύτητας της στήλης u , και της ταχύτητας παράσυρσης v , του αέρα μέσα στη στήλη, είναι $v = \alpha \cdot u$. Το α είναι μια σταθερά παράσυρσης ίση με περίπου 0,15. Αυτό σημαίνει πώς η οριζόντια ταχύτητα παράσυρσης, είναι ίση με το 15% της ταχύτητας ανόδου στη στήλη, τιμή η οποία προέκυψε από πειραματικά αποτελέσματα.

Το πρώτο βήμα είναι οι ανεύρεση των σχέσεων της θερμοκρασίας, της ακτίνας, της ταχύτητας και της ροής της στήλης σε συνάρτηση με το ύψος. Όμως, απαιτούνται πρώτα κάποιες βοηθητικές εξισώσεις. Εφαρμόζοντας βασικές αρχές της φυσικής, η σχέση της ροής της μάζας σε ύψος της στήλης z , μέσα από την επιφάνεια πb^2 είναι:

$$\dot{m}_p = \pi b^2 \rho u \quad \{\text{Σχέση 11.16}\}$$



Σχήμα 11.1. Η ιδανική στήλη φωτιάς.

Η διαφορική έκφραση της δύναμης της άνωσης για το ύψος dz , δίνεται από:

$$\boxed{dF = (\rho_a - \rho)\pi b^2 \cdot g \cdot dz} \quad \{\text{Σχέση 11.17}\}$$

Ο ρυθμός της ορμής σε ύψος της στήλης z , δίνεται από:

$$\boxed{\dot{m}_p u = \pi b^2 \rho u^2} \quad \{\text{Σχέση 11.18}\}$$

Σε συνδυασμό με το αποτέλεσμα της έκφρασης του νόμου των ιδανικών αερίων ως

$T\rho = T_a\rho_a \Rightarrow \Delta T = \frac{\Delta\rho}{\rho} T_a$, ο ρυθμός έκλυσης ενέργειας σε ύψος z , δίνεται από:

$$\dot{Q} = \dot{m}_p c_p \Delta T = \pi b^2 \rho u c_p \Delta T = \pi b^2 \rho u c_p \frac{\Delta\rho}{\rho} T_a \Rightarrow$$

$$\boxed{\Rightarrow \Delta\rho b^2 = \frac{\dot{Q}}{\pi u c_p T_a}} \quad \{\text{Σχέση 11.19}\}$$

Η εξίσωση συνέχειας για τη μάζα, εκφράζει το ότι η αύξηση της μάζας η οποία ρέει ανοδικά κατά το ύψος dz , πρέπει να είναι ίση με την εισροή του αέρα, λόγω παράσυρσης, στις πλευρές του dz , οι οποίες έχουν εμβαδό $2\pi b dz$:

$$\frac{d\dot{m}_p}{dz} = \frac{d(\pi b^2 \rho u)}{dz} = \frac{(2\pi b dz) \nu \rho_a}{dz} = \frac{(2\pi b dz) a u \rho}{dz} \Rightarrow$$

$$\boxed{\frac{d}{dz}(b^2 u) = 2 a u b} \quad \{\text{Σχέση 11.20}\}$$

Ο ρυθμός μεταβολής της ορμής πρέπει να ισούται με τις δυνάμεις της άνωσης ανά μονάδα ύψους, δηλαδή από τις Σχέσεις 11.17, 11.18 και 11.19:

$$\boxed{\frac{d}{dz}(\dot{m}_p u) = \frac{dF}{dz} \Rightarrow \frac{d}{dz}(b^2 u^2) = \frac{\dot{Q}g}{\pi c_p T_a \rho_a (\rho = \rho_a)}} \quad \{\text{Σχέση 11.21}\}$$

Για την επίλυση των δύο παραπάνω διαφορικών εξισώσεων, γίνεται η υπόθεση ότι η ακτίνα και η ταχύτητα μεταβάλλονται ως προς μια δύναμη του ύψους, m και n αντίστοιχα:

$$b = C_1 \cdot z^m \quad \text{και} \quad u = C_2 \cdot z^n,$$

οπότε οι Σχέσεις 11.19 και 11.20 γίνονται:

$$\frac{d}{dz}(C_1^2 z^{2m} C_2 z^n) = 2 a C_1 z^m C_2 z^n$$

$$\Rightarrow C_1^2 C_2 (2m + n) z^{2m+n-1} = 2 a C_1 C_2 z^{m+n}$$

και

$$\frac{d}{dz}(C_1^2 z^{2m} C_2^2 z^{2n}) = \frac{\dot{Q}g}{\pi c_p T_a \rho_a C_2 z^n}$$

$$\Rightarrow C_1^2 C_2^2 (2m + 2n) z^{2m+2n-1} = \frac{\dot{Q}g}{\pi c_p T_a \rho_a C_2} z^{-n},$$

από τις οποίες προκύπτουν οι σταθερές m, n, C_1 και C_2 .

Αντικαθιστώντας στη Σχέση 11.16:

$$b = \frac{6}{5}az \quad \text{και} \quad u = 1,94 \left(\frac{g}{c_p T_a \rho_a} \right)^{1/3} \dot{Q}^{1/3} z^{-1/3}$$

$$\dot{m}_p = 0,2 \left(\frac{\rho_a^2 g}{c_p T_a} \right)^{1/3} \dot{Q}^{1/3} z^{5/3} \quad \{\text{Σχέση 11.22}\},$$

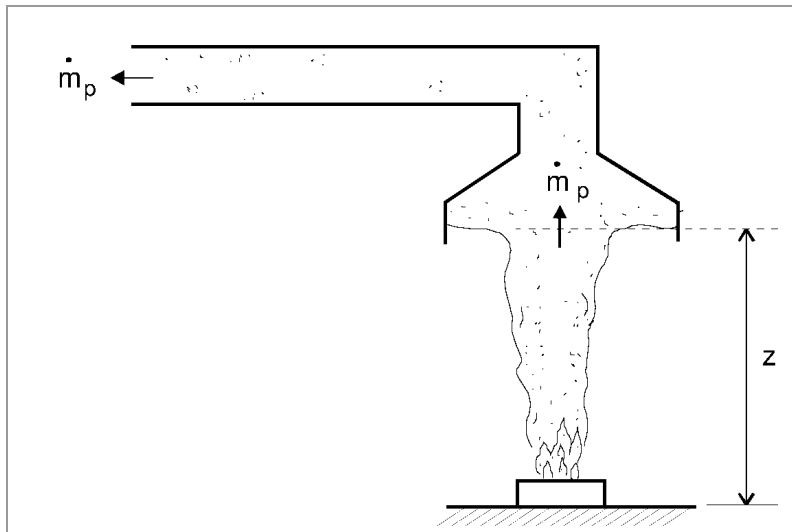
Υπενθυμίζεται, ότι σε όλη τη διαδικασία χρησιμοποιούνται οι αρχικές παραδοχές.

Επίσης, από τη σχέση έκλυσης ενέργειας, προκύπτει ότι:

$$\dot{Q} = \dot{m}_p c_p \Delta T \Rightarrow \Delta T = 5 \left(\frac{T_a}{g c_p^2 \rho_a} \right)^{1/3} \dot{Q}^{2/3} z^{-5/3} \quad \{\text{Σχέση 11.23}\},$$

Είναι ενδιαφέρον ότι η ροή της μάζας στη στήλη αυξάνεται με την ισχύ της φωτιάς στη δύναμη του $1/3$, και με το ύψος στη δύναμη των $5/3$. Η θερμοκρασία αυξάνεται με την ισχύ, στη δύναμη των $2/3$, και μειώνεται με το ύψος, στη δύναμη των $-5/3$. Μπορεί κανείς να εφαρμόσει τις παραπάνω εξισώσεις σε ένα απλό παράδειγμα, στο οποίο ζητείται η ροή και η θερμοκρασία σε ύψος 2 και 4 m, πάνω από μια φωτιά 100 kW. Με θερμοκρασία αέρα 293 K, πυκνότητα αέρα $1,2 \text{ kg/m}^3$, ειδική θερμοχωρητικότητα 1 kJ/(kg K) και την παραδοχή ότι 30% της ισχύος εκπέμπεται ως ακτινοβολία, βρίσκει κανείς από τις Σχέσεις 11.22 και 11.23, ότι η ροή είναι 0,95 kg/s σε ύψος 2 m και 3 kg/s σε ύψος 4 m, ενώ η θερμοκρασία είναι 366 και 316 K για τα αντίστοιχα ύψη. Δηλαδή, σε διπλάσιο ύψος τριπλασιάστηκε η ροή και έπεσε κατά 50 βαθμούς η θερμοκρασία.

Ο Zukoski²¹ εξέτασε την Εξίσωση 11.22 με μία διάταξη, στην οποία ρύθμιζε την εκροή των αερίων της στήλης, και μπόρεσε να κάνει πολλούς συσχετισμούς μεταξύ της ροής, του ύψους και του ρυθμού έκλυσης ενέργειας (Σχήμα 11.2). Λόγω των αποτελεσμάτων από τα πειράματά του, κατέληξε στο να αλλάξει την Σχέση 60 κατά ένα μόνο παράγοντα· το 0,2 έγινε 0,21. Ολόκληρο το παραπάνω μοντέλο, ονομάζεται η στήλη της φωτιάς Zukoski, και η Σχέση 11.22 με αυτή την μικρή αλλαγή, ονομάζεται σχέση Zukoski.



Σχήμα 11.2. Διάγραμμα της διάταξης του Zukoski.

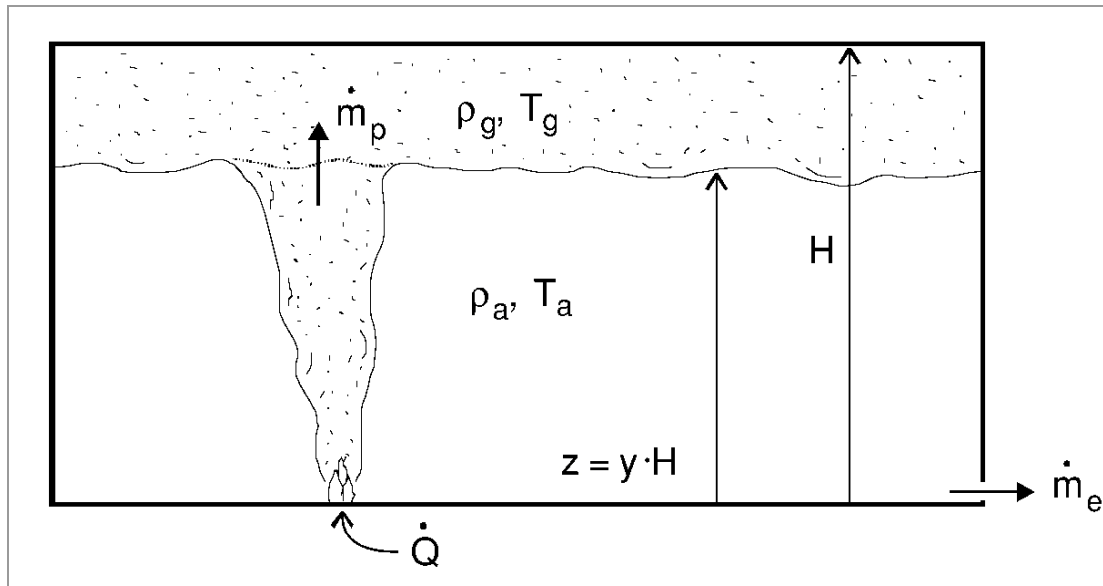
11.5 Διζωνικά μοντέλα πλήρωσης χώρου με καπνό.

11.5.1 Διαρροή στο ύψος του δαπέδου.

Χρησιμοποιώντας τις ίδιες αρχές, τα μοντέλα αυτά μπορεί να επεκταθούν σε απλά μοντέλα ζωνών, δηλαδή μοντέλα που διαχωρίζουν το χώρο σε μια θερμή ζώνη αερίων, με ομοιόμορφη θερμοκρασία T_g , και μια ψυχρή ζώνη, με θερμοκρασία T_a . Το πρώτο παράδειγμα, αφορά σε ένα φλεγόμενο δωμάτιο ύψους H , με μία διαρροή που βρίσκεται στο ύψος του δαπέδου. Το ύψος του ψυχρού κάτω στρώματος είναι z , και η ροή της μάζας των αερίων της στήλης προς τα επάνω είναι \dot{m}_p (Σχήμα 11.3). Ο όγκος της στήλης της φωτιάς αμελείται. Για το μοντέλο, η στήλη απλά μεταφέρει μάζα, από το κάτω στο άνω στρώμα. Ένας από τους τρόπους εφαρμογής των εξισώσεων διατήρησης της μάζας και της ενέργειας σε αυτό το πρόβλημα, είναι η επίλυση της πρώτης για το κατώτερο στρώμα και η χρησιμοποίηση της δεύτερης για την παραγωγή μιας διαφορικής εξίσωσης.

Ως όγκος ελέγχου, επιλέγεται το κατώτερο στρώμα. Στην εξίσωση της διατήρησης της μάζας (Σχέση 11.2), ο όγκος στον πρώτο όρο είναι ίσος με $S \cdot z$, όπου S είναι το εμβαδόν του δαπέδου. Ο δεύτερος όρος αντιπροσωπεύει τη εκροή της μάζας από το στρώμα. Οπότε, η σχέση γίνεται:

$$\frac{d}{dt}(\rho_e S \cdot z) + (\dot{m}_e + \dot{m}_p) = 0$$



Σχήμα 11.3. Διζωνικό μοντέλο πυρκαγιάς σε δωμάτιο με διαρροή στο ύψος του δαπέδου.

Σε αυτό το σημείο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση Zukoski για την περιγραφή τη ροής της μάζας στη στήλη. Με αντικατάσταση της σχέσης Zukoski και της Σχέσης 11.14, και την παραδοχή ότι στην έξοδο ισχύει $T_e = T_a$, η σχέση της διατήρησης της μάζας γίνεται:

$$\frac{dz}{dt}(\rho_a S) + \frac{\dot{Q}}{c_p T_a} + 0,21 \left(\frac{\rho_a g}{c_p T_a} \right)^{1/3} \dot{Q}^{1/3} z^{5/3} = 0 \quad \{\text{Σχέση 11.24}\},$$

Αν υποθεθεί ότι η ισχύς της φωτιάς είναι σταθερή, η παραπάνω εξίσωση λύνεται εύκολα με αριθμητικές μεθόδους. Όμως, μπορεί να γίνει πολύ πιο χρήσιμη, αν πρώτα μετατραπεί σε μια αδιάστατη μορφή. Έτσι, οι λύσεις μπορούν να παρουσιαστούν σε γραφικές παραστάσεις με αδιάστατες παραμέτρους και να είναι χρήσιμες για μια σειρά περιπτώσεων. Τα αδιάστατα μεγέθη για το ύψος, το ρυθμό έκλυσης ενέργεια και το χρόνο είναι:

$$y = \frac{z}{H}, \quad \dot{Q}^* = \frac{\dot{Q}}{\rho_a c_p T_a \sqrt{g H^{5/2}}} = \frac{\dot{Q}}{1100 H^{5/2}} \quad \text{και} \quad \tau = t \sqrt{\frac{g}{H}} \frac{H^2}{S}$$

Το αδιάστατο ύψος y , κυμαίνεται από 0 έως 1 και αντιπροσωπεύει το ποσοστό του συνολικού ύψους, το οποίο βρίσκεται κάτω από το στρώμα του καπνού. Η αδιάστατη μορφή του ρυθμού έκλυσης ενέργειας εκφράστηκε πρώτα από τον Zukoski και έχει ευρεία χρήση στην ΜΠ. Η δεύτερη έκφραση του, παραπάνω, ισχύει για κανονικές συνθήκες ($\rho_a = 1,2 \text{ kg/m}^3$, $T_a = 293 \text{ K}$, $c_p = 1 \text{ kJ/(kg K)}$) και κατά τη χρήση της απαιτείται οι μονάδες της ισχύος να εκφράζονται σε kW. Τελικά, η Σχέση 11.24 μετατρέπεται σε:

$$\boxed{\frac{dy}{d\tau} + \dot{Q}^* + 0,21(\dot{Q}^*)^{1/3} y^{5/3} = 0} \quad \{\text{Σχέση 11.25}\}$$

Η σχέση αυτή μπορεί να λυθεί με αριθμητικές μεθόδους και οι λύσεις να παρουσιαστούν γραφικώς με διάφορους χρήσιμους τρόπους (Σχήμα 11.4). Με δεδομένες τις διαστάσεις του δωματίου και την ισχύ της φωτιάς, για να βρει κανείς το χρόνο που χρειάζεται για να φτάσει ο καπνός σε ένα ύψος χρησιμοποιώντας το διάγραμμα, πρέπει πρώτα να υπολογίσει την αδιάστατη ισχύ της φωτιάς και το αδιάστατο ύψος. Για το δεδομένο y , και την καμπύλη για το κατάλληλο \dot{Q}^* , βρίσκεται η αντίστοιχη τιμή στον οριζόντιο άξονα ($\tau \dot{Q}^{*1/3}$), και λύνεται ως προς τ . Η παραπάνω μεθοδολογία εφαρμόζεται εδώ, σε ένα απλό παράδειγμα με τα παρακάτω δεδομένα. Υπάρχει μια φωτιά 186 kW σε ένα δωμάτιο ύψους 5,95 m και εμβαδού 5,62 x 5,62 m. Το δωμάτιο έχει μια μικρή διαρροή στο ύψος του δαπέδου. Οπότε, η τιμή της αδιάστατης παραμέτρου ισχύος υπολογίζεται ότι είναι περίπου 0,002. Ας υποθεθεί, ότι αναζητείται ο χρόνος που χρειάζεται ο καπνός, για να φτάσει στη μέση του δωματίου, δηλαδή για $y=0,5$. Από το παρακάτω διάγραμμα, βρίσκει κανείς ότι για $y=0,5$ και $\dot{Q}^*=0,002$, το $\tau(\dot{Q}^*)^{1/3} \approx 4$. Οπότε, η χρονική παράμετρος τ , προκύπτει ότι είναι 31,7. Ο πραγματικός χρόνος υπολογίζεται ίσος με 22 sec. Δηλαδή, το μισό δωμάτιο γεμίζει με καπνό σε λιγότερο από μισό λεπτό. Η σύγκριση με πειραματικά αποτελέσματα²¹ υπό τις ίδιες συνθήκες (με άνοιγμα 0,25 x 0,35 m), έχει δείξει ότι η Σχέση 11.25 υπερεκτιμά λίγο τον ρυθμό πλήρωσης του δωματίου με καπνό. Αυτό συμβαίνει, διότι υπό εργαστηριακές συνθήκες, ο ρυθμός έκλυσης ενέργειας της φωτιάς καθυστερεί λίγο να φτάσει σε μία μόνιμη κατάσταση και ο καπνός καθυστερεί λίγο να φτάσει στην οροφή και να εξαπλωθεί. Επίσης, στο μοντέλο έχουν αμεληθεί οι απώλειες θερμότητας. Όμως, αυτό, είναι κάτι το οποίο μπορεί να ρυθμιστεί με κάποια σταθερά διόρθωσης, στον όρο της ροής ενθαλπίας.

11.5.2 Υπολογισμός θερμοκρασίας.

Παρακάτω περιγράφεται ένας απλός τρόπος εκτίμησης της θερμοκρασίας των αερίων για την περίπτωση που το άνοιγμα βρίσκεται στο ύψος του δαπέδου και πριν

ξεκινήσει η έξοδος του καπνού από το δωμάτιο, υποθέτοντας πάντα ότι το κάθε ένα από τα δύο στρώματα έχει ομοιόμορφη θερμοκρασία και πυκνότητα (T_a, ρ_a, T_g, ρ_g). Ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής για αυτή την περίπτωση, μπορεί να εκφραστεί ως: $Q - W = m\Delta h$. Το έργο θεωρείται μηδενικό, καθώς εδώ ως W αναφέρεται μόνο το μηχανικό έργο. Το έργο ογκομεταβολής συνεχίζει να υπάρχει μέσα στον όρο της ενθαλπίας, ο οποίος εδώ χρησιμοποιείται, αντί του όρου της εσωτερικής ενέργειας. Η συνολική θερμότητα, την οποία απορροφά το πάνω στρώμα, μπορεί να περιγραφεί ως $\int_0^t \dot{Q} dt = \dot{Q}t$.

Η μάζα του άνω στρώματος, είναι $m = \rho_g V = \rho_g S(H - z) = \rho_g SH(1 - y)$.

Η μεταβολή της ενθαλπίας δίνεται από τη σχέση $\Delta h = c_p(T_g - T_a)$.

Επίσης, από το νόμο των αερίων δίνεται ότι $T_g \rho_g = T_a \rho_a \Rightarrow T_g - T_a = \frac{T_a}{\rho_g}(\rho_a - \rho_g)$.

Από τους ορισμούς των αδιάστατων παραμέτρων για το χρόνο και την ισχύ, προκύπτει ότι $\dot{Q}t = \dot{Q}^* \tau \rho_a c_p T_a HS$.

Με αντικατάσταση των παραπάνω, στον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής, προκύπτει:

$$\boxed{\dot{Q}t = SH(1 - y)c_p T_a (\rho_a - \rho_g)} \quad \{\text{Σχέση 11.26}\}$$

$$\text{και αδιάστατα } \boxed{\dot{Q}^* \tau = (1 - y) \left(1 - \frac{\rho_g}{\rho_a} \right)} \quad \{\text{Σχέση 11.27}\}$$

Για το ίδιο παράδειγμα, πρώτα υπολογίζεται από τη Σχέση 11.27, η πυκνότητα των αερίων του άνω στρώματος ρ_g . Έπειτα, από τη Σχέση 11.26 προκύπτει ότι η θερμοκρασία του άνω στρώματος μετά από 22 sec είναι 337 K. Η σύγκριση των προβλέψεων των παραπάνω σχέσεων με τα αποτελέσματα πειραμάτων έχει δείξει ότι υπερεκτιμούν κατά πολύ τη θερμοκρασία. Ένας από τους λόγους είναι ότι η σχέση αναπτύχθηκε με την παραδοχή αδιαβατικών συνθηκών, όπου όλη η ενέργεια απορροφάται από το άνω στρώμα. Τέτοιες εξισώσεις, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο σχεδιασμό, αλλά μόνο για αδρές εκτιμήσεις.

11.5.3 Διαρροή στο ύψος της οροφής.

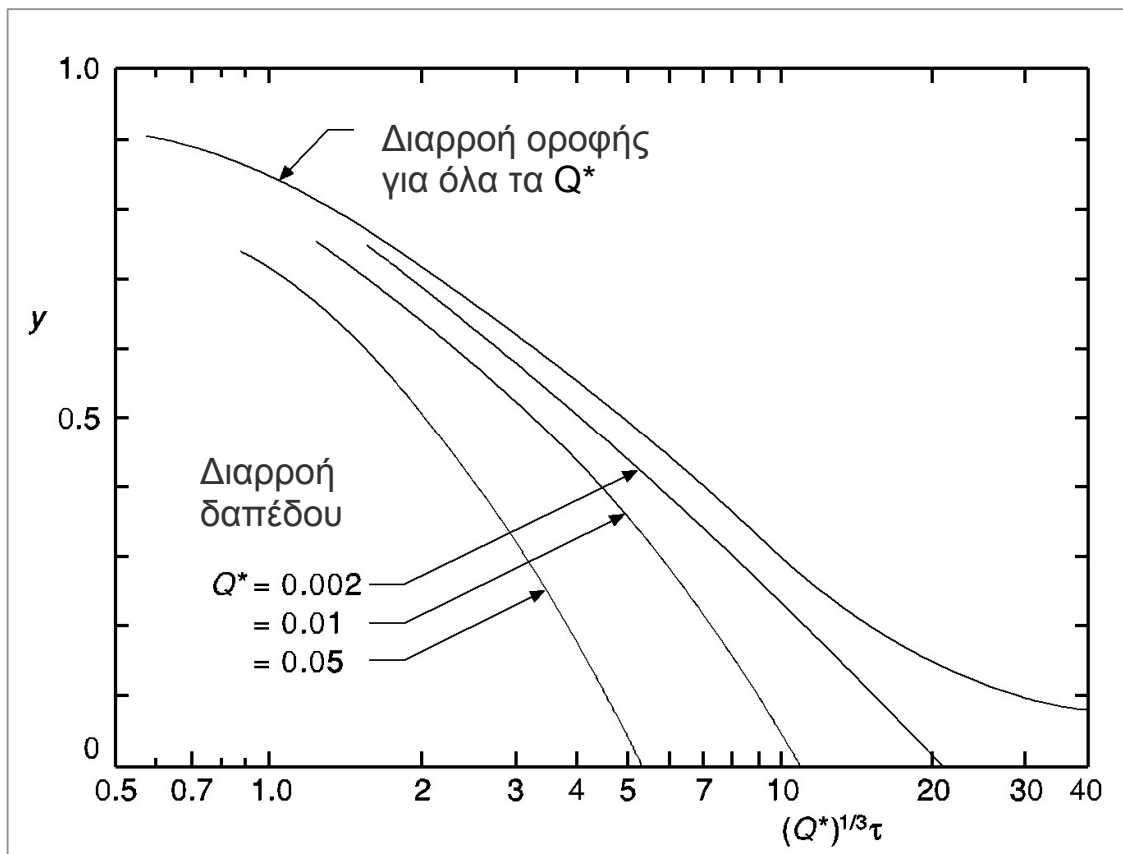
Στην περίπτωση που η διαρροή βρίσκεται στο ύψος της οροφής, το πρόβλημα γίνεται ακόμα πιο απλό. Από τη στιγμή που ο όγκος ελέγχου έχει επιλεγεί να είναι το

κάτω στρώμα, η ροή εξόδου στη σχέση της διατήρησης της μάζας αμελείται. Ως αποτέλεσμα, η αδιάστατη εξίσωση πλήρωσης δωματίου με καπνό και η λύση της, γίνονται ως εξής:

$$\frac{dy}{d\tau} + 0,21(\dot{Q}^*)^{1/3} y^{5/3} = 0 \Rightarrow \quad \{\text{Σχέση 11.28}\}$$

$$\Rightarrow y = [1 + 0,14(\dot{Q}^*)^{1/3} \tau]^{-3/2} \quad \{\text{Σχέση 11.29}\}$$

Στο Σχήμα 11.4, παρουσιάζεται η λύση και για αυτήν την περίπτωση. Για το ίδιο παράδειγμα, αλλά με το άνοιγμα στο ύψος της οροφής, ο χρόνος πλήρωσης του μισού δωματίου είναι 23 sec.



Σχήμα 11.4. Γραφική αναπαράσταση των λύσεων των αδιάστατων εξισώσεων για την πλήρωση δωματίου με καπνό. Για άνοιγμα στο ύψος του δαπέδου παρουσιάζονται καμπύλες για τρία διαφορετικά Q*.

11.5.4 Περιορισμοί των μοντέλων.

Μέχρι τώρα, οι μέθοδοι που εξετάστηκαν εμπεριείχαν τις παρακάτω παραδοχές και περιορισμούς και όχι μόνο:

- Η φωτιά θεωρείται ως μια σημειακή πηγή θερμότητας.
- Ο ρυθμός απώλειας μάζας του καυσίμου αγνοείται.
- Ο όγκος της στήλης φωτιάς αμελείται. Η στήλη, θεωρείται ότι εξυπηρετεί μόνο τη μεταφορά μάζας στο άνω στρώμα.
- Η εξίσωση Zukoski αφορά μόνο τις ασθενείς στήλες φωτιάς.
- Αμελείται η μεταφορά θερμότητας στην τοιχοποιία.
- Η μεταβολή της πίεσης αμελείται.
- Η πίεση θεωρείται ομοιόμορφη καθ' ύψος.

Όσον αφορά στον περιορισμό της ασθενούς στήλης της φωτιάς, μπορεί κανείς να πει ότι οι μέθοδοι χάνουν την εγκυρότητά τους, στην περίπτωση που οι φλόγες φθάνουν μέχρι την οροφή. Από τη Σχέση 7.5 για το ύψος της φλόγας, θεωρώντας τη διάμετρο ως μηδενική, το ύψος της φλόγας ως H και κάνοντας την μετατροπή σε αδιάστατες παραμέτρους, προκύπτει ότι πρέπει να ισχύει $\dot{Q}^* < 0,036$, για να ικανοποιείται ο περιορισμός και να παράγουν λογικά αποτελέσματα οι εξισώσεις. Όπως είναι φανερό, οι παραπάνω αναλύσεις είναι απλές και σχεδιασμένες για γρήγορη ανάλυση με το χέρι για εκπαιδευτικούς σκοπούς, και για αδρούς υπολογισμούς εκτίμησης καταστάσεων. Με τη χρήση προχωρημένων μαθηματικών τεχνικών και με την υπολογιστική δύναμη των σύγχρονων υπολογιστών, πολλοί από τους περιορισμούς αφαιρούνται, και τα μοντέλα γίνονται πολύ περισσότερο ακριβή. Ο σκοπός αυτής της παρουσίασης, είναι να αναδείξει το ότι από τις βασικές επιστημονικές αρχές και από πειραματικές διαδικασίες, μπορούν να προκύψουν λύσεις για πρακτικά προβλήματα πυροπροστασίας και το ότι ο σχεδιαστής πρέπει να γνωρίζει πολύ καλά την μεθοδολογία ανάπτυξης των μοντέλων που χρησιμοποιεί ή αναπτύσσει και τους περιορισμούς που εμπεριέχουν, ώστε να τα εφαρμόζει σωστά.

11.6 Μοντέλα για την πλήρωση με καπνό χώρου με μεγάλα ανοίγματα.

Σε ένα διαμέρισμα όπου τα ανοίγματα είναι μεγάλα, δεν συσσωρεύεται μεγάλη πίεση από τη διαστολή των αερίων. Οι ροές των αερίων καθορίζονται από τις υδροστατικές διαφορές της πίεσης, μεταξύ των δύο πλευρών των ανοιγμάτων. Συνήθως, οι εξισώσεις της διατήρησης της μάζας και της ενέργειας λύνονται ταυτόχρονα σε

υπολογιστή. Όμως, με κάποιες παραδοχές, όπως το ότι η θερμοκρασία παραμένει σε μια μέση τιμή καθ' όλη τη διαδικασία της πλήρωσης, οι εξισώσεις μπορούν να λυθούν ξεχωριστά. Εναλλακτικά, μπορεί κανείς να προσεγγίσει το πρόβλημα της πλήρωσης μέσω του ελέγχου του καπνού, δηλαδή ελέγχοντας τη συσσώρευση του καπνού μέσω κάποιου ανοίγματος στην οροφή. Αυτό, επιτρέπει την εξέταση του προβλήματος σε μεγάλα χρονικά διαστήματα και μόνιμες καταστάσεις, όπου οι εξισώσεις διατήρησης μπορούν να λυθούν με επαναληπτικές μεθόδους.

11.6.1 Χωρίς έλεγχο του καπνού.

Πρώτα, εξετάζεται η περίπτωση όπου δεν υπάρχει μέθοδος ελέγχου του καπνού στο δωμάτιο. Η διαφορά με την προηγούμενη ανάλυση είναι ότι θεωρείται ότι η ροή καθορίζεται από την υδροστατική διαφορά πίεσης. Επίσης, γίνεται η παραδοχή ότι η πυκνότητα των αερίων του άνω στρώματος, διατηρεί μια μέση τιμή καθ' όλη τη διαδικασία πλήρωσης. Ως εκ τούτου, η μέθοδος ισχύει μόνο αν η αύξηση της θερμοκρασίας στο άνω στρώμα είναι σχετικά μικρή. Ως συνέπεια αυτής της παραδοχής, επιτρέπεται στην παραμέτρου της ισχύος της φωτιάς να μεταβάλλεται.

Επιλέγοντας ως όγκο ελέγχου το άνω στρώμα των αερίων, η εξίσωση της διατήρησης της μάζας γίνεται:

$$\frac{d}{dt}(\rho_g V_g) - \dot{m}_p = 0 \quad \{\text{Σχέση 11.30}\}$$

Θεωρώντας την πυκνότητα σταθερή, τη ροή ως ροή Zukoski, με βάση ότι ο όγκος ισούται με $S z'$, όπου z' είναι το πάχος του άνω στρώματος, και ότι τα ύψη των δύο στρωμάτων αλληλοεξαρτώνται ως $\frac{dz'}{dt} = -\frac{dz}{dt}$, προκύπτει ότι:

$$\frac{dz}{dt} \rho_g S + 0,21 \left(\frac{\rho_a^2 g}{c_p T_a} \right)^{1/3} \dot{Q}^{1/3} z^{5/3} = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{dz}{z^{5/3}} = -\frac{k}{S} \dot{Q}^{1/3} dt, \text{ όπου } k = \frac{0,21}{\rho_g} \left(\frac{\rho_a^2 g}{c_p T_a} \right)^{1/3} \quad \{\text{Σχέση 11.31}\}$$

Αν θεωρηθεί ότι η ισχύς μεταβάλλεται με το χρόνο ως:

$$\dot{Q} = at^n \quad \{\text{Σχέση 11.32}\},$$

όπου το a είναι ένας συντελεστής ρυθμού ανάπτυξης της φωτιάς σε ένα αντικείμενο [kW/s^2] και n ένας εκθέτης. Αν το n είναι μηδέν, η ισχύς είναι σταθερή και ισούται με a , ενώ αν το n είναι ίσο με δύο, τότε ισχύει η Σχέση 6.3. Αντικαθιστώντας την Σχέση 11.32 στην Σχέση 11.31 και ολοκληρώνοντας και στις δύο πλευρές της εξίσωσης, προκύπτει:

$$z = \left(k \frac{a^{1/3}}{S} \frac{2t^{(1+n/3)}}{n+3} + \frac{1}{H^{2/3}} \right)^{-3/2} \quad \{\text{Σχέση 11.33}\}$$

Από την εξίσωση της διατήρησης της ενέργειας, Σχέση 11.11, μπορεί κανείς να αναπτύξει μια σχέση, για την πυκνότητα των αερίων του άνω στρώματος. Ο πρώτος όρος μπορεί να αμεληθεί, αγνοώντας πάλι την μεταβολή της πίεσης. Από τη στιγμή που έχει επιλεγεί το άνω στρώμα ως ο όγκος ελέγχου, ο δεύτερος όρος εκφράζει την ενθαλπία, η οποία μεταφέρεται από τη στήλη στο άνω στρώμα. Από τη Σχέση 11.30, προκύπτει ότι η ροή της μάζας από τη στήλη προς το άνω στρώμα εκφράζεται και ως $\dot{m}_p = \frac{d}{dt}(\rho_g V_g) = -\frac{dz}{dt} \rho_g S$, ενώ η μεταβολή στην ενθαλπία είναι $c_p(T_g - T_a)$.

Επίσης, για τον όρο της ισχύος της φωτιάς, χρησιμοποιείται η Σχέση 11.32. Με αντικατάσταση των παραπάνω στη Σχέση 11.11 και μετά από ολοκλήρωση, για το ύψος από το H στο z και για το χρόνο από το 0 στο t , προκύπτει η σχέση:

$$(H - z) \rho_g S c_p (T_g - T_a) = \frac{at^{n+1}}{n+1} \quad \{\text{Σχέση 11.34}\}$$

Αντικαθιστώντας $T_g = 353 / \rho_g$, το οποίο προκύπτει από το νόμο των ιδανικών αερίων για τον αέρα υπό κανονικές συνθήκες, δημιουργείται η επιθυμητή έκφραση:

$$\rho_g = \rho_a \left(1 - \frac{at^{n+1}}{353(n+1)(H-z)Sc_p} \right) \quad \{\text{Σχέση 11.35}\}$$

Στην παραπάνω εξίσωση, δεν συμπεριλαμβάνονται οι θερμικές απώλειες. Η θερμοκρασία και η πυκνότητα υπολογίζονται, θεωρώντας ότι όλη η ενέργεια να

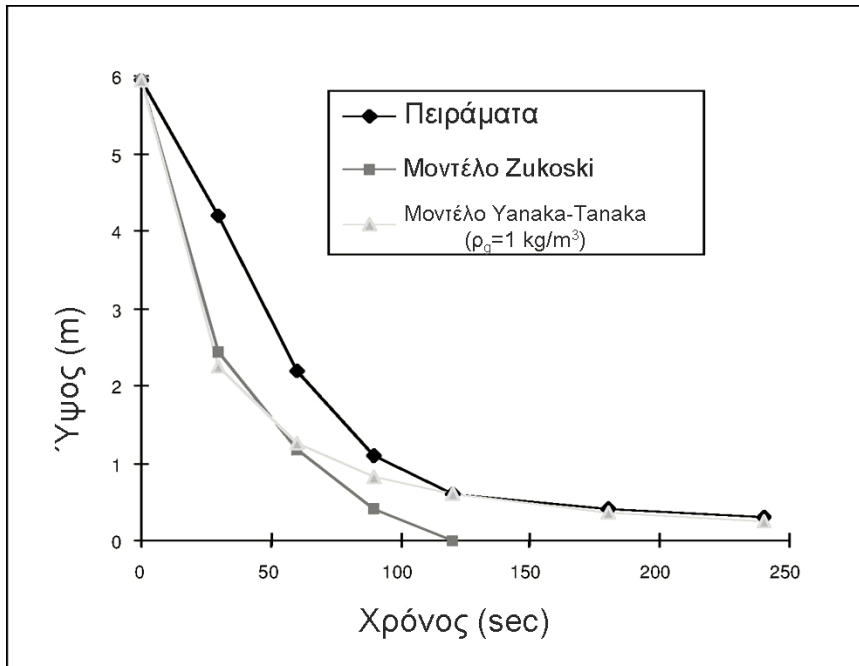
καταλήγει στο άνω στρώμα. Επομένως, είναι μια εκτίμηση ενός κατώτατου πιθανού ορίου για την πυκνότητα. Οι συγκρίσεις με πειραματικά αποτελέσματα έχουν όντως δείξει ότι, και εδώ οι θερμοκρασίες υπερεκτιμώνται, ιδιαίτερα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Η σχέση αυτή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποδώσει μια οριακή εκτίμηση του τι συμβαίνει στο άνω στρώμα, και μόνο για μικρά χρονικά διαστήματα από την έναυση. Επιπλέον, η παραδοχή της σταθερής πυκνότητας, θέτει τον περιορισμό ότι η αλλαγές στη θερμοκρασία δεν πρέπει να είναι μεγάλες στο άνω στρώμα και συνεπώς οι εφαρμογές αφορούν μεγάλους χώρους.

Η διαδικασία υπολογισμού έχει ως εξής:

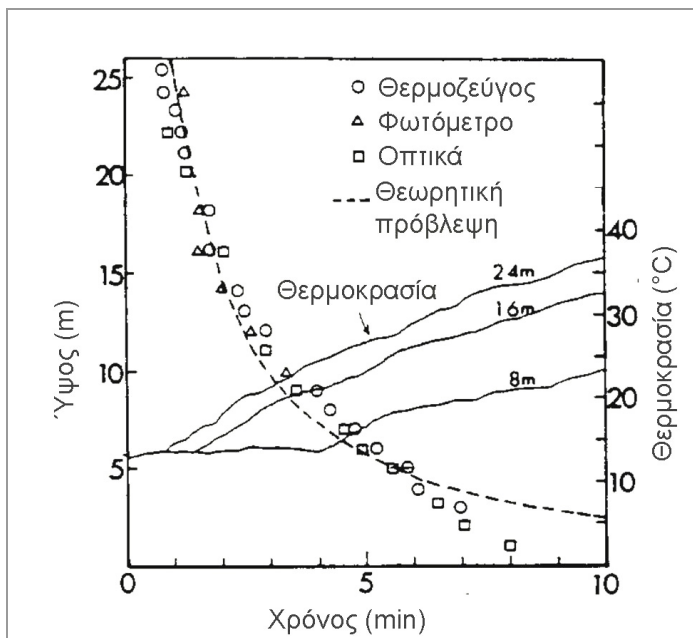
- 1) επιλογή μια τιμής για την πυκνότητα των αερίων του καπνού (κοντά στο 1 kg/m^3).
- 2) υπολογισμός του k από τη Σχέση 11.31.
- 3) υπολογισμός του z για ένα χρόνο t από τη Σχέση 11.33.
- 4) έλεγχος με την Σχέση 11.35, για την εγκυρότητα της επιλογής στο πρώτο βήμα.

Εφαρμόζοντας τα παραπάνω στο ίδιο πρόβλημα, βρίσκει κανείς ότι επιλέγοντας $\rho_g = 1 \text{ kg/m}^3$ και $n=0$, προκύπτει ότι το k ισούται με 0,0764. Για χρόνο 60 sec, το ύψος του κάτω στρώματος υπολογίζεται σε 1,26 m. Για τα ίδια δεδομένα, η Σχέση 73, δίνει το κατώτατο όριο της πυκνότητας ως $0,94 \text{ kg/m}^3$. Επομένως, η αρχική επιλογή της τιμής της πυκνότητας των αερίων στο άνω στρώμα κρίνεται λογική και τα αποτελέσματα ορθά. Να σημειωθεί, ότι το παρών μοντέλο που εκφράζεται από τη Σχέση 11.33, ονομάζεται μοντέλο Yamana-Tanaka^{22,23}. Στο Σχήμα 11.5, τα αποτελέσματα των δύο μοντέλων συγκρίνονται με πειραματικά αποτελέσματα.

Οι Yanaka και Tanaka έκαναν, επίσης, πειράματα σε ένα μεγάλο κλειστό χώρο ύψους 26,3 m, με εμβαδό 720 m^2 . Σε ένα από τα πειράματα, η ισχύς της φωτιάς ήταν 1300 kW και δεν υπήρχε διέξοδος για τα θερμά αέρια. Από αυτά, εξήχθη η πρότυπη καμπύλη πλήρωσης Yamana-Tanaka (Σχήμα 11.6). Σε αυτήν, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μετρήσεων του ύψους του κάτω στρώματος με θερμοζεύγος, φωτομετρία και οπτική παρατήρηση. Επίσης, παρουσιάζονται οι προβλέψεις του μοντέλου Yamana-Tanaka, για $\rho_g=1 \text{ kg/m}^3$. Επιπλέον, η ανάπτυξη της θερμοκρασίας μετρήθηκε σε διάφορα ύψη και αποδείχθηκε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας στο άνω στρώμα (24 m) είναι σχετικά μικρή. Συνεπώς, η παραδοχή της σταθερής πυκνότητας για το άνω στρώμα είναι λογική, σε αυτή την περίπτωση. Εδώ, πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα μετατοπίστηκαν χρονικά κατά ένα λεπτό, χρόνος που θεωρήθηκε απαραίτητος για να ανέλθει ο καπνός στην οροφή.



Σχήμα 11.5. Η σύγκριση των μοντέλων Zukoski²¹ και Yamana-Tanaka²² με πειραματικά αποτελέσματα, από πυρκαγιά μέγιστης ισχύος 186 kW σε ένα χώρο 5,62 x 5,62 x 5,95 m.



Σχήμα 11.6. Η πρότυπη καμπύλη πλήρωσης ενός μεγάλου δωματίου (720 m² x 26,3 m) με καπνό, από πειραματικές μετρήσεις και θεωρητικές προβλέψεις των Yamana-Tanaka²³.

11.6.2 Με έλεγχο του καπνού.

Η ακριβής λύση του προβλήματος απαιτεί την ταυτόχρονη επίλυση των εξισώσεων διατήρησης, καθώς και οι δύο εμπεριέχουν τον όρο $d(\rho_g V_g)/dt$. Στο προηγούμενο μοντέλο, έγινε η παραδοχή ότι η πυκνότητα του άνω στρώματος παραμένει σταθερή κατά την εξέλιξη της πυρκαγιάς, ώστε να λυθούν ξεχωριστά και αναλυτικά οι εξισώσεις της διατήρησης. Μια άλλη τεχνική, είναι να γίνει η παραδοχή ότι υπάρχει κάποια μέθοδος ελέγχου του καπνού, δηλαδή ελέγχου της ροής εξόδου του καπνού με κάποιο άνοιγμα στην οροφή ή κάποιο μηχανικό εξαιρισμό. Σε αυτή την περίπτωση, το πρόβλημα μπορεί να λυθεί κάνοντας χρήση επαναληπτικών μεθόδων. Αυτό ισχύει, αν αναλυθεί το πρόβλημα στη μόνιμη κατάσταση, όπου η ροή εξόδου ισούται με τη ροή της μετακίνησης της μάζας, από τη στήλη στο άνω στρώμα. Οι παρακάτω προσεγγίσεις είναι, επίσης, έργο των Tanaka-Yamana²³.

Αν υποθέσει κανείς ότι ένα δωμάτιο έχει ένα άνοιγμα εισόδου αέρα, με εμβαδό A_d και ροή μόνιμης κατάστασης \dot{m}_d , στο ύψος του δαπέδου, και έχει επίσης ένα άνοιγμα εξόδου (A_e, \dot{m}_e) σε κάποιο ύψος H_e , πάνω από το ουδέτερο επίπεδο, τότε η εξίσωση της διατήρησης της μάζας για το άνω στρώμα είναι:

$$\frac{d}{dt}(\rho_g V_g) - \dot{m}_p + \dot{m}_e = 0 \quad \{\text{Σχέση 11.36}\}$$

Στη μόνιμη κατάσταση, μπορεί να γίνει η παραδοχή ότι το ύψος του στρώματος, αλλά και η θερμοκρασία, παραμένουν σταθερά. Συνεπώς, ο όγκος και η πυκνότητα δεν μεταβάλλονται πλέον με το χρόνο. Ο πρώτος όρος της εξίσωσης, λοιπόν, γίνεται μηδέν. Το ίδιο συμβαίνει και για την εξίσωση της διατήρησης της μάζας στο κάτω στρώμα, και από το συνδυασμό των δύο προκύπτει ότι:

$$\dot{m}_p = \dot{m}_e = \dot{m}_d = \dot{m} \quad \{\text{Σχέση 11.37}\}$$

Καθώς έχει γίνει η παραδοχή ότι στη μόνιμη κατάσταση η θερμοκρασία του άνω στρώματος παραμένει σταθερή, η ενέργεια που εισέρχεται στο άνω στρώμα πρέπει να ισούται με τις θερμικές απώλειες, συν την εξερχόμενη με τη μάζα θερμική ενέργεια:

$$\dot{Q} = q_{loss} + \dot{m}_e c_p (T_g - T_a) \quad \{\text{Σχέση 11.38}\}$$

Οι θερμικές απώλειες στην τοιχοποιία (εμβαδού A_w), μπορούν να υπολογιστούν εύκολα, αν θεωρηθεί ότι οι επιφάνειες των τοίχων, με τους οποίους έρχεται σε επαφή το θερμό άνω στρώμα, έχουν την ίδια θερμοκρασία με το στρώμα (οριακή συνθήκη $T(0,t)=T_g$). Από την παρακάτω λύση της γενικής εξίσωσης για τη μεταφορά θερμότητας μέσω αγωγής για ημι-άπειρους τοίχους, προκύπτει η ροή απωλειών:

$$\text{η γενική σχέση } \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2},$$

$$\text{με συνθήκες } T(0,t) = T_g, T(\infty,t) = T_a, T(x,0) = T_a$$

$$\text{μετατρέπεται σε } \frac{d^2\theta}{d\eta^2} + 2\eta \frac{d\theta}{d\eta} = 0,$$

$$\text{με συνθήκες } \theta(0,t) = 1, \theta(\infty,t) = 0,$$

$$\text{όπου } \theta(\eta) = \frac{T - T_a}{T_g - T_a} \text{ και } \eta = \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}},$$

$$\text{της οποίας η λύση είναι } \theta = 1 - \text{erf}(\eta),$$

$$\text{δηλαδή } \frac{T - T_a}{T_g - T_a} = \text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right),$$

$$\text{από την οποία προκύπτει: } \Rightarrow T = T_g - (T_a - T_g) \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{x/2\sqrt{\alpha t}} e^{-\eta^2} d\eta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{T_a - T_g}{\sqrt{\pi \alpha t}} e^{-x^2/4\alpha t}$$

Με αντικατάσταση της παραπάνω σχέσης στο νόμο του Fourier (Σχέση 3.1) για $x=0$, προκύπτει η εξής θερμική ροή ανά μονάδα επιφάνειας:

$$\dot{q}'' = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{k\rho c}{t}} (T_g - T_a) = h(T_g - T_a) \quad \{\text{Σχέση 11.39}\}$$

Από τη στιγμή που η λύση αφορά μόνο στα ελάχιστα λεπτά της πλήρωσης, η παραδοχή του ημι-άπειρου πάχους είναι αρκετά λογική ώστε η Σχέση 11.39 να αντιπροσωπεύει τις θερμικές απώλειες. Το h ονομάζεται ισοδύναμη θερμική αγωγιμότητα, καθώς οι εξισώσεις αφορούν σε μεταφορά θερμότητας με αγωγή. Για πολύ λεπτή τοιχοποιία, στην λύση αλλάζει μόνο το ότι το h γίνεται ίσο με k/δ , όπου δ είναι το πάχος. Με αντικατάσταση της Σχέσης 11.39 στη Σχέση 11.38, προκύπτει μια σχέση για τη θερμοκρασία του θερμού στρώματος:

$$T_g = T_a + \frac{\dot{Q}}{c_p \dot{m}_e + hA_w} \quad \{\text{Σχέση 11.40}\}$$

11.6.3. Έλεγχος καπνού με φυσική ροή.

Η πρώτη περίπτωση που εξετάζεται είναι αυτή όπου το δωμάτιο έχει απλά ένα άνοιγμα, το οποίο βρίσκεται πάνω από την ουδέτερη ζώνη και σε ύψος H_e (Σχήμα 11.7). Το πρώτο βήμα στη μεθοδολογία, είναι να μαντέψει κανείς ένα ύψος για το επίπεδο διαχωρισμού των δύο στρωμάτων. Μετά, πρέπει να λυθούν οι εξισώσεις διατήρησης ξεχωριστά και να γίνουν οι κατάλληλες επαναλήψεις, μέχρι να βρεθεί η ακριβής τιμή του ύψους στη μόνιμη κατάσταση. Από τη σχέση Bernoulli $\Delta P_1 = \frac{1}{2} \rho_a v_d^2$, και τη σχέση της υδραυλικής για τη ροή σε ανοίγματα $\dot{m}_e = C_d \rho_a v_d A_d$, προκύπτει ότι η διαφορά πίεσης στο άνοιγμα που βρίσκεται στο ύψος του δαπέδου, δίνεται από την εξίσωση:

$$\Delta P_1 = \frac{\dot{m}^2}{2 \rho_a (C_d A_d)^2} \quad \{\text{Σχέση 11.41}\}$$

Στο άνω άνοιγμα, η πίεση είναι η παρακάτω υδροστατική πίεση:

$$\Delta P_u = (\rho_a - \rho_g)g(H_e - H_n) = (\rho_a - \rho_g)g(H_e - z) - \Delta P_1 \quad \{\text{Σχέση 11.42}\}$$

Η ροή εξόδου από το άνω άνοιγμα, υπολογίζεται από τις παραπάνω σχέσεις ως:

$$\dot{m}_e = C_d \rho_g v_e A_e = C_d \rho_g \sqrt{\frac{2 \Delta P_u}{\rho_g}} A_e \Rightarrow$$

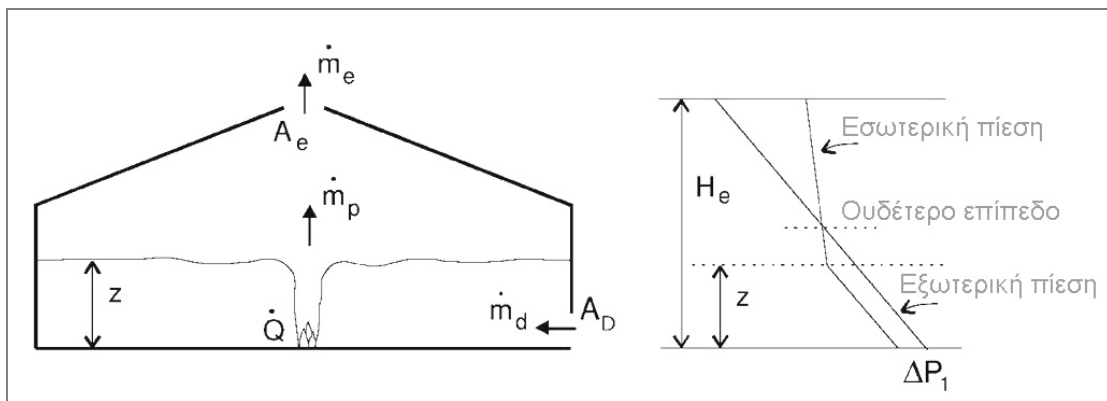
$$\dot{m}_e = C_d A_e \sqrt{2 \rho_g (-\Delta P_1 + (\rho_a - \rho_g)g(H_e - z))} \quad \{\text{Σχέση 11.43}\}$$

Η σειρά των βημάτων της μεθόδου υπολογισμού έχει ως εξής:

- 1) επιλογή μιας τιμής για το ύψος z .

- 2) υπολογισμός της ροής της μάζας από την σχέση Zukoski, η οποία για κανονικές συνθήκες εκφράζεται και ως $\dot{m}_p = 0,21 \left(\frac{\rho_g^2 g}{c_p T_a} \right)^{1/3} \dot{Q}^{1/3} z^{5/3} = 0,076 \dot{Q}^{1/3} z^{5/3}$. Εδώ, ισχύει ότι $\dot{m} = \dot{m}_p$.
- 3) υπολογισμός της πίεσης στο κάτω άνοιγμα από τη Σχέση 11.41.
- 4) υπολογισμός της θερμοκρασίας των αερίων του άνω στρώματος από τη Σχέση 11.40.
- 5) υπολογισμός της πυκνότητας των αερίων του άνω στρώματος από το νόμο των αερίων για κανονικές συνθήκες ($\rho_g = 353/T_g$).
- 6) υπολογισμός της ροής εξόδου από τη Σχέση 11.43.
- 7) έλεγχος του αν ισχύει ότι $\dot{m} \approx \dot{m}_e$. Αν δεν ισχύει, επιστροφή στο 1^ο βήμα.

Αν το άνοιγμα στο ύψος του δαπέδου είναι μεγάλο, τότε μπορεί να γίνει η παραδοχή ότι η διαφορά πίεσης, μεταξύ των δύο πλευρών του, είναι μηδέν, οπότε απλουστεύονται ακόμα περισσότερο οι λύσεις. Αν το κάτω άνοιγμα είναι πολύ μικρό, η έκφραση μέσα στη ρίζα της Σχέσης 11.43 ενδέχεται να προκύψει αρνητική, οπότε και πρέπει να επιλεγεί νέο z . Για τον υπολογισμό της ισοδύναμης θερμικής αγωγιμότητας h , επιλέγεται ένας λογικός χρόνος στον οποίο επιτυγχάνεται η μόνιμη κατάσταση, ο οποίος είναι συνήθως τα δέκα λεπτά. Οπότε, για σκυρόδεμα η τιμή μπορεί να είναι $33 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($kr_c = 2 \cdot 10^6 \text{ W}^2\text{s/m}^4\text{K}^2$), ενώ για μία μονωτική πλάκα με ίνες, να είναι δέκα φορές μικρότερη. Οι υπόλοιπες σταθερές υπολογίζονται από τις ιδιότητες των υλικών.



Σχήμα 11.7. Το διάγραμμα του δωματίου του μοντέλου με φυσικό έλεγχο καπνού, από ένα άνοιγμα πάνω από το ουδέτερο επίπεδο, και η διαφορά πιέσεων από τον εξωτερικό χώρο.

Μπορεί κανείς να εφαρμόσει τα παραπάνω σε ένα παράδειγμα υπολογισμού του απαιτούμενου ανοίγματος για ένα χώρο 30 x 40 m, με ύψος 10 m, και μία πόρτα 4 m², ώστε για μια φωτιά ισχύος 1000 kW το στρώμα του καπνού να μην πέσει κάτω από τα 6 m. Επιλέγεται, λοιπόν, ύψος ίσο με 6 μέτρα. Η ροή της μάζας υπολογίζεται από τη σχέση Zukoski ίση με 15,14 kg/sec, για θερμοκρασία 293 K. Από τη Σχέση 11.41, η διαφορά πίεσης στο κάτω άνοιγμα υπολογίζεται ίση με 16,6 Pa. Η ισοδύναμη θερμική αγωγιμότητα λαμβάνεται ως 0,033 kW/m²K (σκυρόδεμα μετά από δέκα λεπτά έκθεσης). Η επιφάνεια της τοιχοποιίας σε επαφή με τον καπνό υπολογίζεται ότι είναι 1760 m². Η θερμοκρασία των θερμών αερίων υπολογίζεται ότι είναι 307 K, από τη Σχέση 11.40. Η πυκνότητά των αερίων, προκύπτει ίση με 1,15 kg/m³. Λύνοντας τη Σχέση 11.43 για το εμβαδό του ανοίγματος οροφής, βρίσκει κανείς πως η έκφραση μέσα στη ρίζα είναι αρνητική. Αυτό σημαίνει, ότι η πίεση στο κάτω άνοιγμα είναι πολύ μεγάλη. Για την επίλυση του προβλήματος, πρέπει είτε να επιτραπεί η κάθοδος του καπνού σε χαμηλότερο επίπεδο, είτε να μεγαλώσει το άνοιγμα της πόρτας. Υπάρχει μια αλληλεξάρτηση μεταξύ των δύο ανοιγμάτων, για το επιθυμητό ελάχιστο ύψος καπνού. Αυτή η σχέση, μπορεί να βρεθεί με αντικατάσταση της Σχέσης 11.41 στην Σχέση 11.43,

$$\text{υπό τη μορφή: } \frac{1}{A_e} = C_1 \frac{1}{A_d^2} - C_2, \text{ όπου } C_1 = \frac{\rho_a (\rho_a - \rho_g) g (H_e - 6)}{\rho_g \dot{m}^2}, C_2 = 2\rho_a C_d^2.$$

Έτσι, προκύπτει ότι για το μέγιστο δυνατό κάτω άνοιγμα, το άνω άνοιγμα πρέπει να είναι, το ελάχιστο 11 m² για να ικανοποιείται ο βασικός σχεδιαστικός στόχος. Ένας καλός συμβιβασμός, μπορεί να επιτευχθεί με ίσα ανοίγματα 16 m², όπου η διαφορά πίεσης στην πόρτα γίνεται 1,04 Pa. Είναι φανερό, λοιπόν, η σπουδαιότητα των εμβαδών και των δύο ανοιγμάτων για τον έλεγχο του καπνού. Στην πράξη, τα ανοίγματα εξαερισμού οροφής πρέπει να μοιράζονται σε πολλά μικρότερα ανοίγματα, έτσι ώστε να αποφεύγεται ο κίνδυνος να εξάγεται αέρας από το ψυχρό κάτω στρώμα. Ένας πρακτικός κανόνας είναι, ότι κάθε άνοιγμα πρέπει να είναι μικρότερο από $2(H_e - z)^2$, κάτι που στο προηγούμενο παράδειγμα ισχύει. Τέλος, οι προβλέψεις αυτής της μεθόδου έχουν αποδειχθεί αρκετά ακριβείς σε σχέση με πειραματικά αποτελέσματα²³. Για μια φωτιά 1300 kW σε χώρο ύψους 26,3 m και εμβαδού 720 m², με μια πόρτα 3,23 m² και ένα άνοιγμα οροφής 4,46 m², τα αποτελέσματα για το τελικό ύψος του στρώματος καπνού βρέθηκαν πολύ κοντά στην πρόβλεψη των 3,4 m.

11.6.4 Έλεγχος καπνού με μηχανικό εξαερισμό.

Στην περίπτωση που στο άνω άνοιγμα υπάρχει μηχανικός εξαερισμός, τότε η ροή εξαερισμού δίνεται ως συνάρτηση της ογκομετρικής ροής, η οποία είναι ένα από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του κάθε ανεμιστήρα:

$$\dot{m}_e = \dot{V}_e \rho_g \quad \{\text{Σχέση 11.44}\}$$

Η μέθοδος υπολογισμού για αυτή την περίπτωση είναι παρόμοια με την προηγούμενη, με τη διαφορά ότι το τρίτο βήμα παραλείπεται και ότι η ροή εξόδου δίνεται από τη σχέση 11.44. Εφαρμόζοντας αυτές τις αλλαγές στο προηγούμενο παράδειγμα, βρίσκει κανείς ότι απαιτείται εξαερισμός με ικανότητα 48.000 m³/h, η οποία είναι πολύ μεγάλη και θα πρέπει να μοιραστεί σε πολλούς μικρότερους ανεμιστήρες. Τέλος, έχει δειχθεί πειραματικά, ότι για φωτιά ισχύος 1300 kW, σε χώρο ύψους 26,3 m και εμβαδού 720 m² με ανεμιστήρα εκροής 6 m³/s, το ύψος του στρώματος καπνού σταθεροποιείται πολύ κοντά στην τιμή 3,6 m, την οποία προβλέπει το παραπάνω μοντέλο.

11.6.5 Έλεγχος καπνού μέσω δημιουργίας θετικής πίεσης στο εσωτερικό του χώρου.

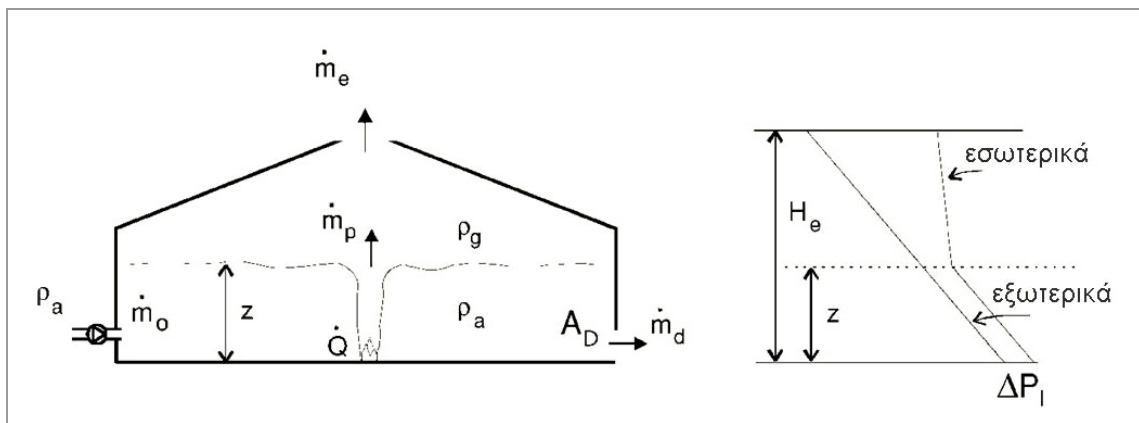
Η τελευταία περίπτωση ελέγχου καπνού που εξετάζεται εδώ, αφορά στην χρήση μηχανικού αερισμού, εισροής μάζας \dot{m}_o (στο κάτω στρώμα), για την δημιουργία θετικής πίεσης στο δωμάτιο. Στόχος είναι, ο καπνός να εξέρχεται από το άνω άνοιγμα με μεγαλύτερη πίεση από τη φυσική, και να μην εισέρχεται καπνός από τον εξωτερικό χώρο.

Η ισορροπία των ροών μάζας για το ψυχρό και για το θερμό στρώμα είναι $\dot{m}_o = \dot{m}_p + \dot{m}_d$ και $\dot{m}_p = \dot{m}_e = \dot{m}$, και σε συνδυασμό με τις σχέσεις $\dot{m}_d = C_d \rho_a v_d A_d$ και $\Delta P_1 = \frac{1}{2} \rho_a v_d^2$, προκύπτει ότι:

$$\Delta P_1 = \frac{(\dot{m}_o - \dot{m}_p)^2}{2 \rho_a (C_d A_d)^2} \quad \{\text{Σχέση 11.45}\},$$

$$\text{και} \quad \dot{m}_e = C_d A_e \sqrt{2 \rho_g (\Delta P_1 + (\rho_a - \rho_g) g (H_e - z))} \quad \{\text{Σχέση 11.46}\}$$

Για να επιτευχθεί η θετική πίεση, πρέπει η εισροή από τον ανεμιστήρα να είναι μεγαλύτερη από την ροή της στήλης. Η διαδικασία επίλυσης είναι παρόμοια με την περίπτωση του φυσικού εξαερισμού οροφής, με τη διαφορά ότι χρησιμοποιούνται οι Σχέσεις 11.45 και 11.46, αντί των 11.41 και 11.43. Συνεχίζοντας το ίδιο παράδειγμα, μπορεί κανείς να σχεδιάσει ένα σύστημα δημιουργίας θετικής πίεσης, ώστε να μην πέσει το στρώμα καπνού κάτω από τα έξι μέτρα. Ορίζεται ένα άνοιγμα οροφής 6 m^2 και μια πόρτα 4 m^2 . Από τη στιγμή που αναζητείται η εισροή μάζας, πρέπει να λυθεί η Σχέση 84 ως προς την διαφορά πίεσης, η οποία είναι $5,4 \text{ Pa}$. Έπειτα, υπολογίζεται η εισροή \dot{m}_o από της Σχέση 11.45 ως $23,8 \text{ kg/s}$. Για την κάλυψη αυτή θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τέσσερις ανεμιστήρες των $5 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\approx 6 \text{ kg/s}$). Εναλλακτικά, θα μπορούσε να μικρύνει το κάτω άνοιγμα και να μεγαλώσει το άνω. Τέλος, οι προβλέψεις και για αυτήν την περίπτωση έχουν επαληθευθεί πειραματικώς υπό τις προαναφερθείσες συνθήκες²³.



Σχήμα 11.8. Το διάγραμμα του δωματίου του μοντέλου με έλεγχο καπνού μέσω ρύθμισης της εσωτερικής πίεσης από μηχανικό αερισμό στο ύψος του ψυχρού στρώματος, και η διαφορά πιέσεων από τον εξωτερικό χώρο.

11.7 Επίλογος.

Ο στόχος της παρουσίασης σε αυτό το δεύτερο μέρος είναι να αναδείξει το γεγονός ότι από τις βασικές επιστημονικές αρχές, μέσω κάποιων λογικών και στοχευμένων παραδοχών, οι οποίες συνηθίζονται στην εφαρμογή της μηχανικής, σε συνδυασμό με κάποιες απλές μαθηματικές μεθόδους και την επαλήθευση από πειράματα, μπορούν να προκύψουν λύσεις για πρακτικά προβλήματα σχεδιασμού. Όταν δε, γίνεται χρήση υπολογιστών, οι παραδοχές μειώνονται και τα μοντέλα βελτιώνονται. Όμως, χωρίς την κατανόηση των φαινομένων που σχετίζονται με τη φωτιά και των μεθόδων της επίλυσης των σχετικών προβλημάτων, ακόμα και τα πιο ισχυρά μοντέλα μπορεί να

χρησιμοποιηθούν με λάθος τρόπο ή σε λάθος εφαρμογή. Χρειάζεται, λοιπόν, η κατάλληλη εκπαίδευση ΜΠ, ώστε να αναπτύσσονται και να εφαρμόζονται σωστά, ολοένα και περισσότερο, οι επιστημονικά βάσιμες προσεγγίσεις στα προβλήματα της πυροπροστασίας.

12. Βιβλιογραφία (Κεφάλαιο Δεύτερο):

- 1) DiNenno PJ, Drysdale D et al. (editors). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2002.
- 2) Quintiere JG. *Principles of Fire Behavior*. Delmar Cengage Learning, Albany, NY, 1998.
- 3) Quintiere JG. *Fundamentals of Fire Phenomena*. John Wiley & Sons, West Sussex, U.K., 2006.
- 4) Karlsson B, Quintiere JG. *Enclosure Fire Dynamics*. CRC Press LLC, Boca Raton, FL, 2000.
- 5) Smyth K, et al. Soot Inception in a Methane/Air Diffusion Flame as characterized by detailed Species Profiles. *Combustion and Flame*, 1985; 62.
- 6) Smyth K, et al. Greatly Enhanced Soot Scattering in Flickering CH₄/Air Diffusion Flames. *Combustion and Flame*, 1993; 95.
- 7) ASTM 1321. Standard Test Method for Determining Material Ignition and Flame Spread Properties. *1996 Annual Book of ASTM Standards*. American Society for Testing and Materials, West Conshohochen, PA, 1996.
- 8) Thomas PH. Some Aspects of the Growth and Spread of Fire in the Open. *Forestry*, 1967; 20.
- 9) Thomas PH. Rates of Spread of Some Wind-Driven Fires. *Forestry*, 1971;44.
- 10) ASTM E 84: Standard Test Method for Burning Characteristics of Building Materials. *1996 Annual Book of ASTM Standards*. American Society for Testing and Materials, West Conshohochen, PA, 1996.
- 11) ASTM E 162: Standard Test Method for Surface Flammability of Materials Using a Radiant Heat Source. *1996 Annual Book of ASTM Standards*. American Society for Testing and Materials, West Conshohochen, PA, 1996.
- 12) ASTM E 648: Standard Test Method for Critical Radiant Flux of Floor-Covering Systems Using a Radiant Heat Source. *1996 Annual Book of ASTM Standards*. American Society for Testing and Materials, West Conshohochen, PA, 1996.
- 13) Corlett RC, Fu TM. Some Recent Experiments with Pool Fires. *Pyrodynamics*, 1996; 4.
- 14) Kung PH, Stavrianidis P. Buoyant Plumes of Large-Scale Pool Fires. *Nineteenth International Symposium on Combustion*. The Combustion Institute, Pittsburgh, PA, 1982.

- 15) NFPA 72 B: Installation, Maintenance and use of Auxiliary Protective Signaling System for Fire Alarm Service. National Fire Protection Association, Quincy, MA, 1996.
- 16) NFPA 92 B: Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Spaces. National Fire Protection Association, Quincy, MA, 1996.
- 17) Purser DA. Toxicity Assessment of Combustion Products. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. National Fire Protection Association, Quincy, MA, 1995.
- 18) Cote AE, Linville JL (editors). *Fire Protection Handbook*. National Fire Protection Association, Quincy, MA, 1991.
- 19) Gann RG, Bryner NP. Combustion Products and their Effects on Life Safety. *Fire Protection Handbook*. National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2003.
- 20) Quintiere JG, Steckler K, Corley D. An Assessment of fire Induced Flows in Compartments. *Fire Science and Technology*, 1984;4.
- 21) Zukoski, EE. Development of a Stratified Ceiling Layer in the Early Stages of a Closed Room Fire. *Fire and Materials*, 1978; v.2:2.
- 22) Yamana T, Tanaka, T. Smoke Control in Large Scale Spaces, Part 1: Analytical Theories for Simple Smoke Control Problems. *Fire Science and Technology*, 1985; v.5: 1.
- 23) Yamana T, Tanaka T. Smoke Control in Large Scale Spaces, Part 2: Smoke Control Experiments in a Large Scale Space. *Fire Science and Technology*, 1985; v.5:1.
- 24) Alpert RL. Calculation of response time of ceiling-mounted fire detectors. *Fire Technology*, 1972; v.8.
- 25) You HZ, Faeth GM. *An Investigation on Fire Impingement on a Horizontal Ceiling*, NBSGCR-81-304, National Bureau of Standards, CFR, Gaithersburg, MD, 1981.
- 26) Heskestad G. Fire Plumes. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. National Fire Protection Association, Quincy, MA, 1995.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ:

Σύγχρονα Προγράμματα Σπουδών Μηχανικών Πυροπροστασίας.

1. Στόχος και σημειώσεις.

Οι στόχοι του τρίτου κεφαλαίου είναι: α) να παρουσιάσει το γενικό πλαίσιο της εκπαίδευσης των ΜΠ στα αναγνωρισμένα και εξειδικευμένα προπτυχιακά και μεταπτυχιακά προγράμματα των πολυτεχνικών σχολών πανεπιστημίων των ΗΠΑ, και β) να θέσει το ζήτημα της ανάγκης για δημιουργία εκπαίδευσης αναλόγου επιπέδου στην Ελλάδα και για παράλληλη ανάπτυξη του τομέα σε όλα τα επίπεδα.

Το τρίτο κεφάλαιο χωρίζεται σε τρία μέρη. Στο πρώτο μέρος (εν. 2), παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των διαβουλεύσεων μιας ομάδας διακεκριμένων καθηγητών¹ ΜΠ. Οι ειδικοί αυτοί, σχημάτισαν ένα διεθνές συμβούλιο, με σκοπό το σχεδιασμό ενός θεωρητικού πρότυπου προγράμματος σπουδών, το οποίο να καλύπτει επαρκώς το αντικείμενο. Ως αποτέλεσμα, προσδιόρισαν το γνωστικό πλαίσιο της ειδικότητας, με κύριο στόχο την οριοθέτηση του αντικειμένου, την γενική αναθεώρηση της κατάστασης του τομέα μέχρι τότε και την προτροπή για τη δημιουργία νέων και τη βελτίωση των υπάρχοντων προγραμμάτων σπουδών. Παρόλο του ότι ο τομέας έχει αναπτυχθεί αρκετά έκτοτε, η περιγραφή της ύλης παραμένει περιεκτική, έγκυρη και ουσιώδης. Στο δεύτερο μέρος (εν. 3-4), παρουσιάζονται τα προπτυχιακά και μεταπτυχιακά προγράμματα σπουδών ΜΠ των UMD και WPI²⁻⁵. Για τους σκοπούς αυτής της εργασίας, η έμφαση δίνεται στην περιγραφή των μαθημάτων ειδικότητας ΜΠ. Όπως είναι φυσιολογικό, τα μαθήματα ειδικότητας στα προπτυχιακά προγράμματα είναι μονάχα ένα μέρος του συνόλου των μαθημάτων. Το περιεχόμενο της ύλης των μαθημάτων των μαθηματικών, της φυσικής, της χημείας και κάποιων βασικών μαθημάτων για μηχανικούς (σχέδιο, ανάλυση, προγραμματισμός), θεωρείται αυτονόητο. Όσον αφορά στις πολυτεχνικές σχολές, η ύλη των μαθημάτων αυτών είναι κοινή σε παγκόσμιο επίπεδο. Το μόνο που αλλάζει, είναι ο τρόπος με τον οποίο κατανέμεται σε μαθήματα. Οι πληροφορίες για το περιεχόμενο των μαθημάτων προέρχονται από τους οδηγούς σπουδών, καθώς και από την επικοινωνία με φοιτητές και καθηγητές των δύο σχολών. Είναι αλήθεια, ότι υπάρχει μια ανομοιομορφία μεταξύ των μαθημάτων, όσον αφορά στην έκταση της περιγραφής. Όπου αυτό κατέσται δυνατό, παρουσιάζονται οι εκτενείς περιλήψεις της ύλης, οι οποίες μοιράζονται από το διδάσκοντα στις πρώτες διαλέξεις. Εκτός από τον προσδιορισμό της ύλης, αυτές μεταφέρουν και κάποιες επιπλέον πληροφορίες για τον τρόπο εκπαίδευσης. Από το σύνολο των περιγραφών των μαθημάτων του τρίτου κεφαλαίου, μπορεί κανείς να σχηματίσει μια ολοκληρωμένη εικόνα για το περιεχόμενο του γνωστικού αντικειμένου, το οποίο οφείλει να καλύπτει μια εκπαίδευση ΜΠ.

2. Πρότυπο πρόγραμμα σπουδών μηχανικών πυροπροστασίας.

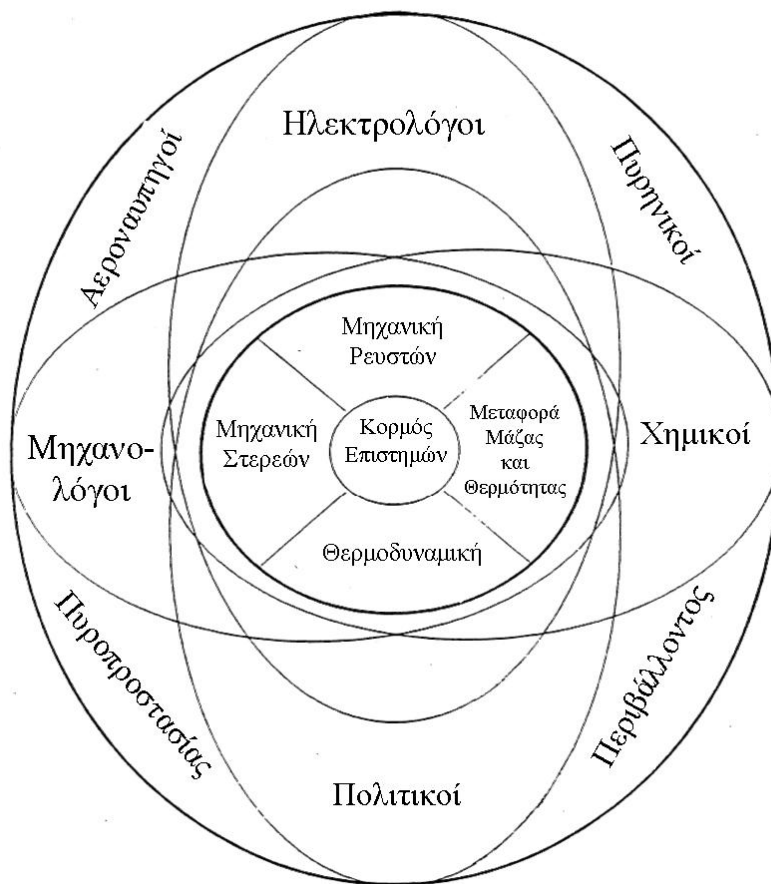
2.1 Ιστορική ανασκόπηση.

Το Διεθνές Συμβούλιο Εργασίας (ΔΣΕ) για θέματα Προγραμμάτων Σπουδών (ΠΣ) μηχανικών πυροπροστασίας, σχηματίστηκε στο Δεύτερο Διεθνές Συμπόσιο με θέμα την Ανωτάτη Τεχνική Εκπαίδευση, το οποίο διεξήχθη στο Εδιμβούργο στις 19-21 Ιουνίου του 1989. Ο καθηγητής Sven-Erik Magnusson του Τμήματος Μηχανικών Πυρασφάλειας του Lund University της Σουηδίας, ορίστηκε ως επικεφαλής του Διεθνούς Συμβουλίου Εργασίας. Το ΔΣΕ απαρτίζονταν από καθηγητές από τα: Lund University, University of California at Berkeley, University of Edinburgh, University of Maryland, University of New Brunswick, και Worcester Polytechnic Institute. Επίσης, στις διαβουλεύσεις του ΔΣΕ συμμετείχαν και αντιπρόσωποι από άλλους οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένου και του SFPE. Η δημιουργία ενός νέου ΠΣ για ΜΠ θεωρήθηκε, από όλους τους συμμετέχοντες του συνεδρίου, ως μια σημαντική αποστολή. Επίσης, το ΔΣΕ αποφάσισε ότι εξίσου σημαντικό έργο, θα ήταν να ορίσει το πλαίσιο του γνωστικού αντικειμένου του ΜΠ, έτσι ώστε να προσδιορίσει τα θέματα που είναι κοινά με άλλους κλάδους μηχανικών, αλλά και εκείνα που έχουν ξεχωριστό ενδιαφέρον για τον κλάδο. Ως συνέπεια αυτών των συζητήσεων, δύο βασικοί στόχοι τέθηκαν για το ΔΣΕ: α) Ο ορισμός του πλαισίου του γνωστικού αντικειμένου για ΜΠ και β) Το σχέδιο ενός πρότυπου ΠΣ για ΜΠ.

Ο σχεδιασμός ενός ΠΣ-μοντέλου, θεωρήθηκε ως ο κεντρικός σκοπός του ΔΣΕ. Ένα τέτοιο μοντέλο, κρίθηκε ότι θα βοηθούσε στον προσδιορισμό του κλάδου των ΜΠ και στην διάκριση του, από τους άλλους κλάδους μηχανικής. Επίσης, κρίθηκε ότι θα μπορούσε να αποτελέσει τη βάση για την δημιουργία νέων προγραμμάτων και να βοηθήσει στην κριτική εξέταση και αξιολόγηση υπαρχόντων προγραμμάτων. Από επαγγελματικής απόψεως, κρίθηκε ότι ένα τέτοιο ΠΣ, θα μπορούσε να βοηθήσει στον καθορισμό του γνωστικού αντικειμένου, το οποίο ένας εργοδότης να μπορεί να θεωρεί ότι ένας ΜΠ κατέχει. Μια σειρά συνεδριάσεων στις ΗΠΑ και στη Σουηδία ακολούθησε την αρχική συνεδρίαση του Εδιμβούργου. Συνάντηση έγινε επίσης στο Τρίτο Διεθνές Συμπόσιο για τις Επιστήμες Πυροπροστασίας που έγινε στο Εδιμβούργο το 1991, στο οποίο έγινε ανοικτή συζήτηση πάνω στο θέμα της εκπαίδευσης των ΜΠ κατά τη λήξη του συνεδρίου. Μια αρχική έκδοση του σχεδίου συζητήθηκε στο Τέταρτο Διεθνές Συμπόσιο, στην Οτάβα το 1994. Επίσης, τα μέλη του ΔΣΕ είχαν μεταξύ τους συνεχή επικοινωνία καθ' όλο το ενδιάμεσο διάστημα. Έτσι, αυτό το σχέδιο είναι το αποτέλεσμα των κόπων αρκετών χρόνων.

2.1.2 Το πλαίσιο του γνωστικού αντικειμένου.

Ένα γενικό πλαίσιο ορισμού του γνωστικού αντικειμένου, απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα. Σε αυτό, αναδεικνύεται το γεγονός ότι ο κλάδος του ΜΠ περιλαμβάνει αντικείμενα κοινού ενδιαφέροντος με άλλους κλάδους *μηχανικής*, όπως επίσης και θέματα που ενδιαφέρουν αποκλειστικά τους ΜΠ. Άλλωστε, αυτό είναι κοινό χαρακτηριστικό για όλους τους κλάδους των μηχανικών.



Σχήμα 2.1. Ένα γενικό διάγραμμα των πλαισίων των γνωστικών αντικειμένων διαφόρων κλάδων *μηχανικής*, σύμφωνα με το ΔΣΕ.

Το έργο του ορισμού του γνωστικού αντικειμένου ξεκίνησε με την ανάπτυξη κλάδων σχετικών με τους ΜΠ. Αρχικά, αναγνωρίστηκε η ανάγκη της ενσωμάτωσης κάποιων “εργαλείων”, τα οποία που χρησιμοποιούνται στην πρακτική του επαγγέλματος. Ένας στόχος του ΔΣΕ ήταν να σχεδιαστεί η ύλη των μαθημάτων έτσι, ώστε ο απόφοιτος να έχει αποκτήσει τις δεξιότητες, οι οποίες είναι απαραίτητες για να κατανοεί και να μπορεί να χρησιμοποιεί αυτά τα “εργαλεία”. Το σημείο αφετηρίας για την δημιουργία μιας

δομής για αυτό το πλαίσιο, υπήρξε το περίγραμμα που αναπτύχθηκε από τον Rasbash. Σε αυτό, ορίστηκαν 12 ενότητες σχετικές με το αντικείμενο του ΜΠ. Το ΔΣΕ αποφάσισε ότι οι πρώτες 5 ενότητες αντιπροσωπεύουν το κορμό ειδικότητας του πρότυπου ΠΣ ΜΠ. Αυτές είναι:

- Βασικές Αρχές της Φωτιάς.
- Δυναμική της Φωτιάς σε Κλειστό Χώρο.
- Ενεργητική Πυροπροστασία.
- Παθητική Πυροπροστασία.
- Ανθρώπινη Συμπεριφορά και Φωτιά.

Επίσης, καθορίστηκαν οι ενότητες για τις βασικές επιστήμες σχετικές με το αντικείμενο του ΜΠ, πάνω στις οποίες θα αναπτυχθούν οι ενότητες του κορμού της ειδικότητας. Αυτές οι ενότητες είναι οι εξής:

- Μηχανική Ρευστών.
- Θερμοδυναμική.
- Μεταφορά Μάζας και Θερμότητας.
- Μηχανική Στερεών.

Δύο επιπλέον ενότητες κρίθηκαν απαραίτητες:

- Διαχείριση Κρίσεων.
- Πυροπροστασία Βιομηχανικών Εγκαταστάσεων.

Οι παραπάνω 11 ενότητες, σχηματίζουν το πλαίσιο περιγραφής του αντικειμένου του ΜΠ. Αρχικώς, ο σχεδιασμός για την ύλη και τις διδακτικές ώρες κάθε ενότητας έγινε για τέσσερεις ξεχωριστές περιπτώσεις: α) U, για προπτυχιακά μαθήματα προγράμματος που οδηγεί σε τίτλο ΜΠ (π.χ. University of Maryland, Lund University), β) U2, για προπτυχιακά μαθήματα προγράμματος άλλου κλάδου *μηχανικής* τα οποία διαθέτουν ροή ΜΠ (π.χ. University of Edinburgh), γ) G, για μεταπτυχιακά μαθήματα σε πρόγραμμα ΜΠ (π.χ. Worcester Polytechnic Institute, University of Maryland), δ) D, για μαθήματα σπουδών διδακτορικού επιπέδου (π.χ. University of California at Berkeley). Τελικώς, διατηρήθηκαν μόνο οι κατηγορίες U και G. Η περιγραφή της κάθε ενότητας περιέχει τα εξής: θέματα, υποθέματα, περιεχόμενα, δεξιότητες, βιβλιογραφία, εργασίες και αριθμό ωρών. Αυτές οι ενότητες αντιπροσωπεύουν την προσπάθεια του ΔΣΕ να προσδιορίσει και να τεκμηριώσει το σώμα των γνώσεων των σπουδών *μηχανικής* που ορίζουν τον κλάδο των ΜΠ. Το αντικείμενο είναι πολύ ευρύ και αλλάζει συνεχώς και έτσι μια εκτενής περιγραφή είναι αδύνατη. Παρόλα αυτά, τα παρακάτω αποτελούν μια λογική αρχή.

2.1.3 Μερικές σημαντικές σημειώσεις.

Είναι σημαντικό να κατανοήσει κανείς, ότι το προτεινόμενο ΠΣ αποτελεί ένα μοντέλο για την πανεπιστημιακή εκπαίδευση ΜΠ και ότι άλλα μοντέλα, εξίσου αντιπροσωπευτικά και έγκυρα, θα μπορούσαν να είχαν σχεδιαστεί. Ένα πραγματικό ΠΣ, είναι δύσκολο να στηριχθεί εξολοκλήρου πάνω σε αυτό το μοντέλο. Αυτή η πρόταση, πρέπει να ληφθεί περισσότερο ως ένα γενικό πλαίσιο του γνωστικού αντικειμένου. Από εκεί και πέρα, τα πρακτικά ζητήματα και οι τοπικές συνθήκες θα καθορίσουν το επίπεδο εναρμόνισης. Σε γενικές γραμμές, η ύλη του αντικειμένου και το πλαίσιο του ΠΣ τονίζουν την αναγκαιότητα για την εκπαίδευση μελλοντικών ΜΠ.

Το ΠΣ τείνει να καταγράψει μια λογική σειρά μαθημάτων, αλλά σίγουρα δεν είναι πλήρες στην κάλυψή του, ούτε χωρίς στοιχεία αλληλοεπικάλυψης ύλης. Ως παράδειγμα θεμάτων που λείπουν, ένα μάθημα που να διδάσκει τη σχέση μεταξύ περιβαλλοντικής μηχανικής και της ανάλυσης των συνεπειών βιομηχανικών κινδύνων, θα είναι πιθανότατα ένα βασικό μάθημα σε μελλοντικά ΠΣ ΜΠ. Ως ένα παράδειγμα αλληλοεπικάλυψης, οι ροές σε ανοίγματα και οι ταχείες ροές οροφής μπορεί να εμφανίζονται σε περισσότερες από μία ενότητες. Επίσης, η οργάνωση του υλικού είναι ανοικτή προς συζήτηση. Για παράδειγμα, το θέμα Ε στην ενότητα Βιομηχανικής Πυροπροστασίας και Προστασίας από Εκρήξεις, θα μπορούσε εύκολα να είχε συμπεριφερθεί στην ενότητα Βασικές Αρχές της Φωτιάς. Ιδανικά, σε μια εκπαίδευση πανεπιστημιακού επιπέδου, αναφορές σε ένα πρότυπο, θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται μόνο για κριτική αξιολόγηση και συζήτηση του συγκεκριμένου εγγράφου. Όμως, κάτι τέτοιο δεν τηρήθηκε αυστηρά σε αυτό το σχέδιο. Επιπλέον, τα περισσότερα πρότυπα που αναφέρονται, είναι από οργανισμούς βασισμένους στις ΗΠΑ. Εδώ πρέπει να τονιστεί, ότι τα πρότυπα δεν πρέπει ποτέ να εισάγονται χωρίς αξιολόγηση του επιστημονικού και μηχανολογικού τους υπόβαθρου και ότι τα πρότυπα άλλων χωρών θα ήταν εξίσου εφαρμόσιμα.

Βιβλιογραφία ενότητας:

- Rasbash DJ. A Modular Approach to the Subject of Fire Safety Engineering. *Fire Safety Journal*, 1980/81; 3.

2.2 Γενικός σκοπός της εκπαίδευσης μηχανικών.

2.2.1 Στόχοι της εκπαίδευσης μηχανικών.

Ο βασικός στόχος μιας ανώτατης πανεπιστημιακής εκπαίδευσης για μηχανικούς είναι να παράγει απόφοιτους ικανούς να λύνουν βιομηχανικά προβλήματα. Αυτό προϋποθέτει, μια εκπαίδευση στοχευμένη προς ένα οριοθετημένο επάγγελμα με υψηλό βαθμό εξειδίκευσης. Συγχρόνως, η εκπαίδευση του μηχανικού πρέπει να του προσφέρει το υπόβαθρο για ερευνητική εκπαίδευση σε μεταπτυχιακό επίπεδο και γενικώς για κάθε είδους έρευνα και ανάπτυξη. Επίσης, η εκπαίδευση ενός μηχανικού στοχεύει στο να αποκτήσει τις δεξιότητες για τη χρήση τεχνολογικά προηγμένων μεθόδων. Αυτό σημαίνει, ότι ο απόφοιτος, μετά από μερικά χρόνια επαγγελματικής εμπειρίας, θα έχει τη ικανότητα να δημιουργήσει νέα σχέδια, νέες διεργασίες και νέα προϊόντα. Θα πρέπει επίσης, να έχει την ικανότητα να συλλέγει νέες πληροφορίες από τη διεθνή επιστημονική και τεχνική βιβλιογραφία στον επαγγελματικό χώρο του και να μετατρέπει αυτές τις γνώσεις σε τεχνικές εφαρμογές. Η παιδεία του μηχανικού πρέπει να συμπεριλαμβάνει γνώσεις σε βασικά αντικείμενα των φυσικών επιστημών και των τεχνολογικών τομέων. Αυτές οι συμπαγείς βασικές γνώσεις, πρέπει να είναι ο κορμός της εκπαίδευσης του. Η κατανόηση των περισσότερο εφαρμοσμένων μαθημάτων, προαπαιτεί την συνεχή άντληση γνώσεων από τον κορμό. Επίσης, είναι τεράστιας σημασίας οι διάφοροι παράγοντες και τα διάφορα στοιχεία να ενοποιούνται και η εκπαίδευση να οδηγεί στην ανάλυση συστημάτων.

Η ισορροπία μεταξύ βασικών και εφαρμοσμένων γνώσεων είναι πολλή δύσκολη. Αν γύρει περισσότερο προς τις βασικές επιστήμες, υπάρχει ο ορατός κίνδυνος να χαθούν οι μαθητές με τεχνολογικές τάσεις και να παραχθούν απόφοιτοι με δεξιότητες άσχετες με τη βιομηχανία. Από την άλλη, είναι απαραίτητο η εκπαίδευση να έχει αρκετό εύρος, να έχει εγγενώς μεγάλη διάρκεια ζωής μετά την αποφοίτηση και να αποτελεί την κατάλληλη βάση για διαρκή συμπληρωματική εκπαίδευση στην επαγγελματική σταδιοδρομία.

2.2.2 Αλλαγές στο ρόλο του μηχανικού.

Η γενική τάση στην εκπαίδευση μηχανικών μπορεί να συνοψισθεί ως εξής: Οι τεχνολογικές εξελίξεις και οι δομικές αλλαγές στην κοινωνία επηρεάζουν το ρόλο του μηχανικού. Ένας μηχανικός δεν μπορεί πλέον να βασίζεται στο ότι θα δουλεύει σε ένα συγκεκριμένο τομέα σε όλη του την επαγγελματική σταδιοδρομία. Μια ειδικότητα μπορεί είτε να παύει να είναι χρήσιμη, είτε να αλλάζει τόσο γρήγορα και ριζικά που στην

πραγματικότητα μετατρέπεται σε νέα ειδικότητα. Συγχρόνως, η συνολική βάση των γνώσεων, διευρύνεται και εκβαθύνεται περισσότερο. Ως συνέπεια, η ειδικές γνώσεις που παρέχει ένας τίτλος, είναι πιθανόν επαρκής μόνο για τα πρώτα βήματα ενός μηχανικού στο επάγγελμα. Μετά από ένα μικρό χρονικό διάστημα, γίνεται απαραίτητη η συνεχής συμπληρωματική εκπαίδευση στον τομέα της ειδικότητας, καθώς και σε νέους τομείς. Οι πρωταρχικοί σκοποί ενός προπτυχιακού τίτλου πρέπει να είναι: α) να δώσει στο φοιτητή τα προσόντα για να συγκεντρώνει και να αφομοιώνει νέες γνώσεις σε όλη του την επαγγελματική σταδιοδρομία, και β) μια ενδεδειγμένη προετοιμασία της μεθοδολογίας ώστε ο φοιτητής να διατυπώνει και να επιλύει ειδικά τεχνικά προβλήματα. Ο ρόλος του μηχανικού επηρεάζεται από τις αυξανόμενες κοινωνικές απαιτήσεις για μια παγκόσμια προοπτική, στις τεχνικές και βιομηχανικές δραστηριότητες. Ο μηχανικός έχει την ευθύνη για τις συνέπειες των τεχνολογικών εξελίξεων στον άνθρωπο και την κοινωνία, όπως για παράδειγμα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Συνεπώς, η κοινωνική και ηθική πλευρά πρέπει να ενσωματώνεται στην εκπαίδευση μηχανικού.

2.3 Γενικές τάσεις.

Οι τάσεις στον τομέα έχουν διαμορφωθεί από τις εξελίξεις στην έρευνα, πάνω στο αντικείμενο των πυρκαγιών. Αυτές έχουν επηρεάσει τη πορεία της επίσημης εκπαίδευσης ΜΠ και έχουν προωθήσει περισσότερο τον επιστημονικό σχεδιασμό στην πρακτική της εφαρμογής των κανονισμών. Παρακάτω, αναλύονται οι επιδράσεις της έρευνας στο τομέα της φωτιάς. Περιγράφεται η σύγχρονη αντίληψη γύρω από το επάγγελμα και τις πρακτικές του, πρωτίστως όσον αφορά στις ΗΠΑ. Επίσης, αναλύεται μια άποψη για τη σχετική ανωριμότητα του κλάδου των ΜΠ σε σχέση με άλλους κλάδους μηχανικών, καθώς και οι παράγοντες, οι οποίοι κρίνονται απαραίτητοι για τη συνεχή επιστημονική ανάπτυξη του κλάδου.

2.3.1 Συνέπειες της εξέλιξης της έρευνας.

Η έρευνα τα τελευταία χρόνια, έχει προσφέρει μια βελτιωμένη βάση για την αξιολόγηση των κινδύνων λόγω φωτιάς και έχει δώσει στο μηχανικό νέα εργαλεία για να κάνει τη δουλειά του. Ως αποτέλεσμα, η SFPE εξέδωσε, για πρώτη φορά το 1988, ένα εγχειρίδιο (*SFPE Handbook in Fire Protection Engineering*⁶), συγκρίσιμο σε επιστημονικό επίπεδο με αυτά άλλων κλάδων μηχανικής. Ταυτόχρονα, εγκαινιάστηκε το *Journal of Fire Protection Engineering*, έτσι ώστε να μεταφέρονται νέες επιστημονικές έρευνες και μέθοδοι στο επάγγελμα. Κατά τη διάρκεια αυτής της πορείας στην έρευνα, έγινε αντιληπτή η ανάγκη για μια πιο προχωρημένη εκπαίδευση στη ΜΠ. Το 1956,

ιδρύθηκε το προπτυχιακό πρόγραμμα *MPI* στο UMD. Το 1973, το University of Edinburgh ξεκίνησε ένα μεταπτυχιακό πρόγραμμα *MPI*. Το 1979, το WPI ξεκίνησε ένα παρόμοιο πρόγραμμα, το οποίο ακολούθησαν με αντίστοιχα προγράμματα, το UMD, το 1990, και το Victoria University της Αυστραλίας, το 1992. Επίσης, τα University of British Columbia, University of Ulster, University of Canterbury (Νέα Ζηλανδία), Lund University (Σουηδία) και Hong Kong Polytechnic έχουν ξεκινήσει προσπάθειες να εισαγάγουν ανώτατη εκπαίδευση *MPI*. Στην Ιαπωνία, όπου η εκπαίδευση των *MPI* έχει ενσωματωθεί στους παραδοσιακούς κλάδους *μηχανικής*, μια αναθεωρημένη έκδοση του εγχειριδίου εκδόθηκε στις αρχές της δεκαετίας των 80, αναδεικνύοντας έτσι την παγκόσμια διάχυση της γνώσης, από την έρευνα στον τομέα της πυρκαγιάς. Επιπλέον, το 1985 ιδρύθηκε η International Association for Fire Safety Science (IAFSS) με σκοπό την ενίσχυση της μεταφοράς της έρευνας, μεταξύ των επιστημόνων και των μηχανικών του τομέα. Η IAFSS διεξάγει συμπόσια κάθε τρία χρόνια και δημοσιεύει πρακτικά, τα οποία περιέχουν αξιολογημένες μελέτες, οι οποίες καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα αντικειμένων. Έκτοτε, η International Standards Organization, θεσμοθέτησε μια επιτροπή, την ISO TC92/SC4 "Fire Safety Engineering", για την προώθηση της χρήσης νέων υπολογιστικών μεθόδων, οι οποίες προκύπτουν από την έρευνα.

Η πρόοδος και η διάχυση της έρευνας *MPI*, έχει επιτρέψει την χρήσιμη εφαρμογή της σε πολλά προβλήματα. Αυτό, έχει οδηγήσει στη δημιουργία ανώτατων εκπαιδευτικών προγραμμάτων *MPI*, με σκοπό την μετάδοση της γνώσης στους φοιτητές, μέσα σε ένα μελετημένο και οργανωμένο πλαίσιο. Επιπλέον, έχει παρακινήσει σχεδιαστές και νομοθέτες να εξετάσουν εναλλακτικές μεθόδους εφαρμογής των κανονισμών, μέσω επιστημονικών ποσοτικών αναλύσεων. Τέλος, η εφαρμογή της μοντελοποίησης της φωτιάς, καθώς και άλλων αναλυτικών τεχνικών, για την αναπαράσταση πραγματικών πυρκαγιών με σκοπό την διευθέτηση νομικών ζητημάτων, έχουν αυξηθεί κατακόρυφα. Πλέον, οι πραγματογνώμονες εκτιμούν την αξία των επιστημονικών μεθόδων για την ανάλυση των περιπτώσεων πυρκαγιάς. Παρόλο που η εκπαίδευση *MPI* βρίσκεται σε ανοδική πορεία σε όλα τα επίπεδα, τα ανώτατα ΠΣ εξελίσσονται ακόμα και υπάρχει έλλειψη εκπαιδευτικών συγγραμμάτων. Όσον αφορά στο θέμα των προτύπων και των κανονισμών, είναι φανερό ότι και εκεί έχουν παρεισφρήσει περισσότερες επιστημονικές πρακτικές και έχει δημιουργηθεί η αίσθηση ότι ένας πραγματικός κώδικας βάσει απόδοσης για θέματα πυρασφάλειας, πλήρως βασισμένος σε επιστημονικές μεθόδους, είναι ήδη στο αρχικό του στάδιο. Στο *Conference on Firesafety in the 21st Century*, το οποίο οργανώθηκε από τον David Lucht του WPI, τέθηκε ως εφικτός σκοπός: "Μέχρι το 2000, να είναι διαθέσιμη σε μηχανικούς, αρχιτέκτονες και αρμόδιους φορείς, η πρώτη γενιά μιας εντελώς νέας αντίληψης για ένα κώδικα κανονισμών πυρασφάλειας κτηρίων

βάσει απόδοσης". Στις μεγάλες δικαστικές διαμάχες, αποτέλεσμα μεγάλων απωλειών και πολλών θανάτων, οι εμπλεκόμενοι καταφεύγουν πολλές φορές σε μαθηματικά μοντέλα πυρκαγιών για να απαλλαγούν από τις ευθύνες. Τέτοιες μηνύσεις είναι πάρα πολλές, γεγονός το οποίο από μόνο του έχει αποτελέσει σημαντικό κίνητρο για την εφαρμογή μαθηματικών μοντέλων πυρκαγιάς και για την τεκμηρίωση της εγκυρότητάς τους.

2.3.2 Σύγχρονη πρακτική.

Οι τάσεις στον εργασιακό τομέα διαφέρουν από χώρα σε χώρα. Ο συμβουλευτικός τομέας παρουσιάζει τάσεις ανόδου στην προσφορά εργασίας για ΜΠ. Σήμερα, το 70% των ΜΠ στις ΗΠΑ απασχολούνται στον συμβουλευτικό τομέα, από το αντίστοιχο 25% το 1995. Σε πανεπιστήμια εκτός των ΗΠΑ, υπάρχουν επίσης προπτυχιακά και μεταπτυχιακά προγράμματα σχεδιασμένα για απασχόληση στο πυροσβεστική υπηρεσία. Για παράδειγμα, περίπου το 85% των αποφοίτων από το Lund University, απασχολούνται από την εθνική διασωστική υπηρεσία της Σουηδίας.

Η νομική βάση της πυρασφάλειας και η τεχνική πολυπλοκότητα της πυρκαγιάς, είναι οι δύο παράγοντες, οι οποίοι έχουν περιορίσει τη λειτουργία του τομέα. Το επάγγελμα είχε να αντιμετωπίσει ένα ευρύ φάσμα δύσκολων προβλημάτων, λόγω της εφαρμογής αυστηρών προσδιοριστικών κανονισμών και κρίσεων, περισσότερο τεχνικών παρά επιστημονικών. Μέχρι πρόσφατα, υπήρχε λίγος χώρος για την ελαστικότητα που προσφέρει η χρήση αναλυτικών μεθόδων και σχεδιασμού. Τα χαρακτηριστικά των σημερινών πρακτικών στον επάγγελμα είναι:

- *Οι εφαρμογές και οι μέθοδοι γίνονται βάσει προτύπων και κανονισμών.*

Ο μηχανικός πρέπει να έχει έμπρακτη γνώση των τοπικών κανονισμών και των βιομηχανικών προτύπων ασφαλείας, για να διασφαλίζεται η συμμόρφωση με τη νομοθεσία, όσον αφορά στο κατασκευαστικό και στο λειτουργικό τομέα. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, η μεθοδολογία δεν προέρχεται από επιστημονικές αρχές, αλλά από μια συναινετική διαδικασία της κοινότητας του τομέα, βασισμένη στην τεχνική κρίση και εμπειρία.

- *Η διαθέσιμη τεχνολογία χρησιμοποιείται στην επίλυση προβλημάτων πυροπροστασίας.*

Τα αυτόματα συστήματα καταιονισμού και οι ανιχνευτές καπνού, είναι δύο παραδείγματα από τεχνολογικές εξελίξεις, οι οποίες έχουν προστεθεί στην εφαρμογή του επαγγέλματος. Αυτές, αντιπροσωπεύουν προϊόντα της έρευνας που μεταφέρθηκαν στην

πρακτική. Η ανάπτυξη των συστημάτων καταιονισμού, έγινε με την παρακίνηση των ασφαλιστικών εταιρειών και οι ανιχνευτές καπνού αναπτύχθηκαν με κίνητρο την ασφάλεια των ανθρώπων, στις κατοικίες τους. Ανησυχίες για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης Halon και η πιθανή απαγόρευσή του, πιθανότατα θα αλλάξει τις στρατηγικές καταστολής πυρκαγιάς για τους ΜΠ.

- *Το επάγγελμα βασίζεται σε εμπειρικά δεδομένα από δοκιμασίες, οι οποίες δεν μπορούν να γενικευτούν.*

Σχεδόν όλες οι τυποποιημένες δοκιμασίες στον τομέα της πυροπροστασίας, παράγουν σχετικούς δείκτες απόδοσης, με βάση τις συνθήκες της διαδικασίας. Τα αποτελέσματα, δεν παρέχουν δεδομένα για γενική ανάλυση σε άλλες εφαρμογές. Επίσης, πολλές διαφορετικές δοκιμασίες σχεδιασμένες για το ίδιο σκοπό, όπως για παράδειγμα αυτό της αναφλεξιμότητας υλικών, δεν δίνουν σύμφωνα αποτελέσματα.

- *Γίνεται χρήση μεθόδων, οι οποίες προέρχονται από άλλους κλάδους μηχανικής.*

Παρόλο που μπορεί κανείς να συσχετίσει συγκεκριμένα τεχνολογικά αντικείμενα με τη συμπεριφορά της φωτιάς και την πυροπροστασία, στην σύγχρονη πρακτική δεν υπάρχει ευκρινής κατηγοριοποίηση των προβλημάτων και των αντίστοιχων μεθοδολογιών επίλυσης. Για παράδειγμα, ο σχεδιασμός της παροχής νερού για ένα σύστημα ψεκασμού, ο οποίος είναι μια διαδεδομένη πρακτική, πηγάζει από την καθιερωμένη πρακτική άλλων κλάδων μηχανικής. Όμως, η αντίδραση του συστήματος καταιονισμού σε περίπτωση φωτιάς και η απόδοσή του στην καταστολή είναι δύο τελείως ξεχωριστά προβλήματα, τα οποία απαιτούν εφαρμογή επιστημονικών μεθόδων επίλυσης. Αν και η έρευνα έχει προσφέρει πολλές μεθόδους υπολογισμού της αντίδρασης του συστήματος καταιονισμού, ο πρακτικός σχεδιασμός βασίζεται ακόμα στην επιλογή από μια σειρά τυποποιημένων αποστάσεων μεταξύ των καταιονητήρων.

- *Η πυροπροστασία προσαρμόζεται, μόνο όταν προκύπτουν προβλήματα.*

Εξαιτίας των περιορισμένων αναλυτικών εργαλείων, η πυρασφάλεια αλλάζει ως αντίδραση σε καταστροφές, ή σε περιπτώσεις που η εισαγωγή νέων προϊόντων στην αγορά δημιουργεί απροσδόκητα προβλήματα. Για παράδειγμα, η εισαγωγή των αφρωδών πλαστικών κατά την δεκαετία του '70, παρά την καλή τους επίδοση στις πρότυπες δοκιμασίες, προξένησε αύξηση στα συμβάντα πυρκαγιών. Παρόλο που έχει γίνει αρκετή έρευνα για την επίλυση αυτών των ανωμαλιών, το πρόβλημα παραμένει. Οι πρότυπες

δοκιμασίες παραμένουν οι ίδιες και απλά η χρήση των υλικών έχει περιοριστεί. Ως συνέπεια, ακόμα δεν υπάρχει η δυνατότητα ανάλυσης και πρόβλεψης των πιθανών κινδύνων από τη χρήση αυτών των υλικών.

2.3.3 Η σχέση με τους άλλους κλάδους μηχανικών.

Η φωτιά είναι ένα πολύπλοκο σύστημα, το οποίο είναι περισσότερο δαιδαλώδες και λιγότερο επιστημονικά ανεπτυγμένο από τα προβλήματα των άλλων κλάδων μηχανικής. Ο Michael Faraday, σπουδαίος επιστήμονας του 19^{ου} αιώνα, φέρεται να έχει πει ότι οι διεργασίες, οι οποίες λαμβάνουν χώρα στη φλόγα ενός κεριού, αντιπροσωπεύουν το σύνολο της φυσικής του σύμπαντος. Όμως, μονάχα πρόσφατα έγινε κάποια εφικτή προσπάθεια, για να προσομοιωθούν μαθηματικά αυτές οι διεργασίες. Σημαντικές πρόοδοι στο τομέα της καύση σε ελεγχόμενα συστήματα, έχουν επιτευχθεί μόνο τα τελευταία 70 χρόνια. Σύγχρονα εκπαιδευτικά βιβλία στο θέμα της θεωρίας της καύσης, που να συμπεριλαμβάνουν κάποια εφαρμογή στις πυρκαγιές έχουν εμφανιστεί μόνο τα τελευταία 40 χρόνια, για παράδειγμα τα ακόλουθα:

- Frank-Kamenetskii DA. *Diffusion and Heat Transfer in Chemical Kinetics*, 1969.
- Glassman I. *Combustion*, 1977.
- Kanury M. *Introduction to Combustion Phenomena*, 1975.
- Kuo KK. *Principles of Combustion*, 1986.
- Williams FA. *Combustion Theory*, 1965.

Είναι γεγονός, πως είναι πολύ λίγες οι πολυτεχνικές σχολές, οι οποίες διδάσκουν την θεωρία της καύσης, ξεχωριστά από την προσέγγιση στη χημική θερμοδυναμική. Όταν αυτό γίνεται, είναι σε μεταπτυχιακό επίπεδο. Είναι απίθανο να βρει κανείς ΜΠ, ο οποίος να ισχυρίζεται ότι είναι ειδικός στην καύση. Είναι επίσης σπάνιο, να βρει κάποιος ένα μηχανικό ή επιστήμονα ειδικό στην καύση, ο οποίος να ισχυρίζεται ότι γνωρίζει αρκετά πράγματα, γύρω από τα προβλήματα πυροπροστασίας. Αυτό είναι μεγάλο μειονέκτημα για τον ΜΠ, καθώς είναι ελάχιστες οι περιπτώσεις που το αντικείμενο της συμπεριφοράς της φωτιάς έχει εμπλακεί στην συμβατικές αναλύσεις των μηχανικών. Ακόμα και η επιστήμη του τομέα της καύσης, για τη λύση βασικών προβλημάτων στηρίχθηκε στις εδραιωμένες προσεγγίσεις των αντικειμένων της μηχανικής των ρευστών και της μεταφοράς θερμότητας. Δεν είναι, λοιπόν, παράλογο που η μελέτη της φωτιάς, δηλαδή της μη ελεγχόμενης καύσης, να βρίσκεται πίσω σε σχέση με άλλους επιστημονικούς τομείς. Συνεπώς, η πολύπλοκη φύση του φαινομένου της φωτιάς και η περιορισμένη

πρόοδος στην θεωρία της καύσης, έχουν συμβάλει στην κατάσταση ανωριμότητας, στην οποία βρίσκεται ακόμα η πυροπροστασία. Άλλοι κλάδοι μηχανικών είναι τεχνικά πιο ώριμοι, καθώς επενδύθηκε περισσότερος χρόνος και κόπος για την ανάπτυξή τους. Αυτή η ανάπτυξη προωθήθηκε από τις τεχνολογικές και οικονομικές εξελίξεις της αγοράς. Αντίθετα, η πρόοδος στον τομέα πυροπροστασίας επαφίεται στα κίνητρα για την προστασία της περιουσίας, των ανθρώπων και τον φόβο των νομικών ευθυνών. Οι απώλειες λόγω πυρκαγιάς σε μια κοινωνία, αποτελούν τροχοπέδη για την οικονομία και δεν συμβάλλουν στην ανάπτυξη του ΑΕΠ. Όμως, η αγορά επενδύει κυρίως σε αντικείμενα, τα οποία σχετίζονται άμεσα με την ανάπτυξη. Οι άλλοι κλάδοι των μηχανικών στηρίζονται σε διαφορετικές οικονομικές και κοινωνικές δυνάμεις, ως κίνητρο ανάπτυξης τους, σε σχέση με τη ΜΠ.

Οι ώριμοι κλάδοι των μηχανικών έχουν διακριτό επιστημονικό αντικείμενο, το οποίο σχετίζεται άμεσα με τον τομέα τους και για το οποίο υπάρχουν μέθοδοι ανάλυσης και μέτρησης. Για παράδειγμα, ο νόμος του Ohm, το αναλυτικό μέσο που διέπει τη ροή ρεύματος σε κυκλώματα, αποτελεί βασικό στοιχείο των ηλεκτρολόγων μηχανικών, ο νόμος της ψύξης του Newton, ο οποίος διέπει τη μεταφορά θερμότητας με συναγωγή, είναι θεμελιώδης για τους μηχανολόγους μηχανικούς και η σήραγγα αεροδυναμικών δοκιμασιών επιτρέπει στους μηχανικούς αεροναυπηγικής να υπολογίζουν την αντίσταση και την άνωση σε αεροτομές. Αυτά τα αντικείμενα, αποτελούν τα επιστημονικά συστατικά στοιχεία, τα οποία απαρτίζουν τον αντίστοιχο κλάδο *μηχανικής* και αποτελούν την υποδομή για την επέκταση της γνώσης πάνω στον τομέα. Η επιστημονική πρόοδος έχει προσφέρει στον μηχανικό, το σύνολο των αρχών για την πρακτική λύση πολύπλοκων προβλημάτων.

Στη *μηχανική*, τα πολύπλοκα προβλήματα παραδοσιακά αντιμετωπίζονται με μαθηματικές σχέσεις που προσδίδουν ποσοτικά αποτελέσματα, τα οποία είναι χρήσιμα στην ανάλυση και το σχεδιασμό. Για παράδειγμα, από τη σχέση του συντελεστή αντίστασης υπολογίζεται η πτώση στην πίεση για ένα πολύπλοκο σύστημα ροής σε σωλήνα, και ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας επιτρέπει τον υπολογισμό της μεταφοράς θερμότητας στις επιφάνειες σε μια ροή. Για κάθε ένα από αυτά τα φαινόμενα, ένας τεράστιος όγκος έρευνας απέφερε τα δεδομένα και τις ευφυείς μαθηματικές λύσεις για τον προσδιορισμό αυτών των παραμέτρων. Έχει πλέον θεσμοθετηθεί μια υποδομή, η οποία μετατρέπει τα αποτελέσματα της έρευνας σε απλές μεθοδολογίες, τις οποίες μπορεί ο μέσος μηχανικός να χρησιμοποιήσει. Η βάση για μια τέτοια επιστημονική υποδομή στον τομέα των ΜΠ, μόλις έχει αρχίσει να διαφαίνεται.

2.3.4 Η μελλοντική εξέλιξη.

Τα απαραίτητα στοιχεία, τα οποία θα επιτρέψουν την εξέλιξη της ΜΠ σε ένα ώριμο κλάδο μηχανικής είναι τα παρακάτω:

- *Πρέπει να επιστρατεύονται ποσοτικές μέθοδοι, για τον προσδιορισμό της απόδοσης των συστημάτων πυροπροστασίας.*

Ο προσανατολισμός στην πρακτική, πρέπει να περάσει από την κανονιστική νοοτροπία των κανονισμών βάσει οδηγιών, στην έμφαση στην απόδοση. Αυτές οι δύο προσεγγίσεις μοιάζουν να είναι αντίθετες, αλλά οι υπάρχουσες πρακτικές θα μπορούσαν να αξιολογούνται από τις μεθόδους με βάση την απόδοση. Με αυτό τον τρόπο θα μπορούσαν να αλλάζουν οι κανονισμοί, όπου κρίνεται απαραίτητο. Παρόλο που πιθανόν να μην επαρκούν οι υπάρχουσες γνώσεις για να σχηματιστεί ένας ολόκληρος εθνικός κώδικας κανονισμών βάσει απόδοσης, υπάρχει μια μικρή τάση προς αυτή την κατεύθυνση. Μερικά παραδείγματα της τάσης αυτής: η Σουηδία επιτρέπει σχεδιαστικές μεθόδους για τον προσδιορισμό της αντοχής των δομικών στοιχείων σε πυρκαγιά ως εναλλακτικό των δοκιμασιών σε κάμινο, το Ηνωμένο Βασίλειο έχει επιτρέψει εναλλακτικές ισοδύναμες μεθόδους, εφόσον παρέχουν το ίδιο επίπεδο ασφάλειας με τους υπάρχοντες κανονισμούς πυροπροστασίας και οι κατασκευαστές ουρανοξυστών στην Ιαπωνία χρησιμοποιούν υπολογιστικά μοντέλα για να τηρήσουν τα κριτήρια πυροπροστασίας στα κτήρια τους.

- *Πρέπει να υιοθετηθεί ένα πρόγραμμα σπουδών, βασισμένο σε επιστημονικές αρχές και να υποστηριχθεί με συγγράμματα για τα ειδικά αντικείμενα.*

Τα βιβλία των Drysdale και Quintiere, είναι μια καλή αρχή προς αυτή την κατεύθυνση αλλά δεν καλύπτουν όλο το αντικείμενο. Επίσης, ίσως να είναι απαραίτητη η προσθήκη εξειδικευμένων μαθημάτων σε ένα ΠΣ ΜΠ: για παράδειγμα, ένα μάθημα μηχανικής ρευστών με έμφαση σε εφαρμογές πυρκαγιάς, επιπλέον των καθιερωμένων μαθημάτων. Το αντικείμενο της πυροπροστασίας, πρέπει να γίνει περισσότερο επιστημονικά δομημένο και με αυτή τη δομή να παρουσιάζεται στα συγγράμματα.

- *Το σύνολο των γνώσεων, οι οποίες προκύπτουν από την έρευνα, πρέπει να είναι οργανωμένο σε χρήσιμες μορφές.*

Αυτό έχει ήδη γίνει με την έκδοση του *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* και με τα υπολογιστικά εργαλεία όπως το FDS και το CFAST, προγράμματα του NIST για την εκτίμηση των κινδύνων από πυρκαγιά. Αυτού του είδους τα δωρεάν εργαλεία, πρέπει να υποστηρίζονται από αντικειμενικούς οργανισμούς και πρέπει να είναι ευρέως αποδεκτά από την επιστημονική κοινότητα.

- *Πρέπει συνεχιστεί και να υποστηριχθεί η έρευνα πάνω στα σημαντικά φαινόμενα του αντικειμένου, όπως είναι οι ταχείες ροές οροφής, η στήλη της φωτιάς, η ανάφλεξη και άλλα.*

Τα προβλήματα που σχετίζονται με τη φωτιά είναι πολύπλοκά και εμπλέκουν πολλούς επιστημονικούς τομείς. Ως αποτέλεσμα, απαιτείται πολύς χρόνος για να παραχθούν σημαντικά αποτελέσματα και να αποδειχθούν αξιόπιστα. Υπάρχουν πολλά κενά που πρέπει να καλυφθούν μέχρι να φτάσει ο τομέας ΜΠ να έχει ένα ολοκληρωμένο σύνολο αναλυτικών εργαλείων.

2.3.5 Συμπεράσματα.

Οι σύγχρονες τάσεις στον χώρο των ΜΠ, υποκινούνται από την πρόοδο της έρευνας γύρω από τη φωτιά και από την εφαρμογή της στην πράξη. Αυτό έχει αναδείξει την ανάγκη για μια επίσημη ανώτατη εκπαίδευση ΜΠ και την αντίληψη ότι κανονισμοί βασισμένοι περισσότερο στην επιστήμη, είναι και εφικτοί και εφαρμόσιμοι. Το σύνολο των εμπειριών μέχρι σήμερα, οδηγεί στην αναγνώριση της ανάγκης για μια στενή σχέση μεταξύ έρευνας, εκπαίδευσης και επαγγελματικής πρακτικής. Αυτό προσδίδει στον κλάδο την δυνατότητα να συγκριθεί ως επιστημονικά ισότιμος με τους παραδοσιακούς κλάδους της *μηχανικής*. Όπως επίσης, θέτει ευθύνες και απαιτήσεις σε τρεις θεσμούς. Η εκπαίδευση, πρέπει να προσφέρει τις νέες επιστημονικές πληροφορίες, να διατηρεί στενή επαφή με το αντικείμενο και να παράγει συγγράμματα και νέα μαθήματα. Η ερευνητική κοινότητα, πρέπει να συνεχίσει να παρέχει την επιστημονική υποδομή και να εξετάζει τα προβλήματα που απασχολούν τον πραγματικό κόσμο. Οι επαγγελματίες ΜΠ, πρέπει να διατυπώνουν με σαφήνεια τα προβλήματά τους, ώστε αυτά να αντιμετωπίζονται με την έρευνα, και πρέπει να αναπτύξουν τις δεξιότητες που θα τους επιτρέπουν την υιοθέτηση μεθόδων που βασίζονται στην απόδοση των συστημάτων πυροπροστασίας.

2.4 Ειδικά προβλήματα στην εκπαίδευση ΜΠ.

Ο κλάδος ΜΠ είναι πλέον αναγνωρισμένος και διακριτός στο γενικό χώρο της μηχανικής. Η καθυστερημένη ανάδειξή του, μπορεί να αποδοθεί στο ότι η κοινωνία πάντα αντιμετώπιζε *post hoc* τα θέματα πυρασφάλειας, εισάγοντας κανόνες και διατάξεις “κατόπιν εορτής” με σκοπό την αποφυγή της επανάληψης των ίδιων καταστροφών. Οι συνέπειες της Μεγάλης Πυρκαγιάς του Λονδίνου, είναι ένα πρώτης τάξεως παράδειγμα αυτής της προσέγγισης. Είναι γεγονός, ότι αυτή η νοοτροπία στα θέματα πυρασφάλειας, είναι ακόμα η επικρατούσα και αυτό είναι κατακριτέο. Το γεγονός παραμένει, ότι οι πυρκαγιές με τεράστιες απώλειες, συνεχίζουν να επαναλαμβάνονται με απελπιστική κανονικότητα. Με την εισαγωγή νέων συνθετικών υλικών στην αγορά, οι κίνδυνοι επεκτάθηκαν σε πολύ μεγαλύτερο εύρος και η απειλή για τη ζωή και την περιουσία είναι πλέον μεγαλύτερη. Επιπρόσθετα, το μέγεθος και η πολυπλοκότητα των κτιρίων που ανεγείρονται σήμερα για να εξυπηρετήσουν όλους τους τομείς της κοινωνίας διαρκώς αυξάνεται (ουρανοξύστες, εμπορικά κέντρα, αεροδρόμια κτλ.). Το κοινό, είναι ολοένα και περισσότερο ενήμερο για τα προβλήματα και τους κινδύνους. Γίνεται πλέον αντιληπτή η ανάγκη να αντιμετωπίζονται *ad hoc* τα προβλήματα, με ένα πιο οργανωμένο τρόπο, στον οποίο οι λύσεις των μηχανικών να εισάγονται στο στάδιο του κτηριακού σχεδιασμού. Ο σκοπός είναι, είτε να προλαμβάνεται το ξέσπασμα της φωτιάς, είτε να ελαχιστοποιούνται τις απώλειες. Ένα μεγάλο πρόβλημα, σχετικά με την καθιέρωση ενός συμπαγούς σώματος από επαγγελματίες πυροπροστασίας, είναι η ανάγκη να απεγκλωβιστεί το επάγγελμα από τις πρακτικές του παρελθόντος και, γενικότερα, να πείσει την κοινωνία, καθώς και τον νέο που φιλοδοξεί να γίνει μηχανικός, ότι ο κλάδος όντως υπάρχει, ότι υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις στα δύσκολα προβλήματα της πυροπροστασίας και ότι υπάρχουν εξαιρετικά ενδιαφέρουσες προοπτικές καριέρας στο χώρο αυτό. Οι ΗΠΑ και η Σουηδία, είναι οι δύο κύριες χώρες, στις οποίες ο κλάδος ΜΠ είναι δραστήριος και εκτός της παραδοσιακής πυροσβεστικής υπηρεσίας. Το μήνυμα κερδίζει έδαφος και αλλού, όμως σε κάθε χώρα αντιμετωπίζει και διαφορετικά προβλήματα. Οι επικρατούσες συνθήκες σε κάθε τόπο παίζουν σπουδαίο ρόλο, σχετικά με την προσέγγιση, η οποία πρέπει να υιοθετηθεί για να εδραιωθεί ο τομέας ως αναγνωρισμένος κλάδος μηχανικών. Μερικά από τα ζητήματα που πρέπει να απαντηθούν είναι:

- Θα προσλαμβάνονται οι απόφοιτοι ΜΠ από την πυροσβεστική υπηρεσία, την βιομηχανία, ή τις συμβουλευτικές εταιρίες;
- Σε ποια βαθμίδα θα εργάζονται;
- Θα αξιοποιούνται επαρκώς οι δεξιότητες των ΜΠ, μέσα στο εργασιακό περιβάλλον;

Οι απαντήσεις σε αυτά τα ζητήματα θα καθορίσουν σε μεγάλο βαθμό, το αν οι ΜΠ πρέπει να αποκτήσουν μια σφαιρική προπτυχιακή παιδεία στο αντικείμενο, ή πρέπει να χτίσουν πάνω σε ένα παραδοσιακό τομέα (πολιτικών, μηχανολόγων, ηλεκτρολόγων ή χημικών μηχανικών) με ένα μεταπτυχιακό πρόγραμμα ΜΠ. Το πρώτο, ταιριάζει περισσότερο σε κάποιον που θα θελήσει να ξεκινήσει στην πυροσβεστική υπηρεσία από χαμηλή βαθμίδα, ή να εργαστεί ως ΜΠ στον κλάδο των ασφαλειών, όπου η συνεργασία και η επικοινωνία με άλλους επαγγελματίες μηχανικούς είναι το κλειδί για την επιτυχία. Το δεύτερο ταιριάζει περισσότερο σε κάποιον που θα εργαστεί σε μια συμβουλευτική εταιρεία μηχανικών, όπου οι υπάρχουσες δεξιότητες, για παράδειγμα ως πολιτικός μηχανικός, μπορεί να είναι θεμελιώδεις για κάποιο έργο, ή σε κάποιον που έχει ένα προπτυχιακό τίτλο, ας πούμε χημικού μηχανικού και επιθυμεί να εμπλουτίσει το βιογραφικό του, ώστε να βελτιώσει τις πιθανότητες πρόσληψης στην πετροχημική βιομηχανία.

Στο σχεδιασμό της εκπαίδευσης ΜΠ, το πλήρες φάσμα του προβλήματος πρέπει αναλυθεί και να αντιμετωπιστεί. Ο κλάδος των ΜΠ έχει πολλά κοινά γνωστικά αντικείμενα με όλους τους κλάδους των παραδοσιακών μηχανικών, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1. Είναι φανερό, ότι ο φοιτητής πρέπει να είναι εξοικειωμένος με τα βασικά αντικείμενα της φυσικής και της χημείας. Για το παρακάτω πρότυπο ΠΣ, πρώτα καθορίστηκε μια σειρά βασικών μαθημάτων, τα οποία είναι απαραίτητα για την λεπτομερή κατανόηση του φαινομένου της φωτιάς και μετά ορίστηκαν οι πέντε θεμελιώδεις ενότητες ειδικότητας, οι οποίες χτίζονται πάνω στα προαπαιτούμενα βασικά μαθήματα. Αυτή η ύλη, αποτελεί μια σημαντική πρόκληση για κάθε φοιτητή που θέλει να εισέλθει στο χώρο. Είναι σημαντικό να σημειωθεί, ότι η περιγραφή της ύλης προσφέρει απλά ένα προσανατολισμό. Δεν αποτελεί συνταγή. Αν ήταν τέτοια, θα ακύρωνε μια από τις βασικές αρχές της φιλοσοφίας του αντικειμένου, δηλαδή τη στόχευση για μεγαλύτερη ελαστικότητα στους τρόπους επίλυσης προβλημάτων.

Παρόλα αυτά, για να διδάξει κανείς στον τομέα ΜΠ, με τρόπο που θα ωφελήσει το φοιτητή στην καριέρα του, όλα τα επί μέρους αντικείμενα πρέπει να καλυφθούν σε ικανοποιητικό βαθμό. Γίνεται μια προσπάθεια σε αυτό το σχέδιο, να οριστούν οι ώρες, οι οποίες πρέπει να επενδυθούν στις διαλέξεις για κάθε θέμα. Αυτή απλά βασίζεται, στις απόψεις ανθρώπων, οι οποίοι δίδαξαν σε ιδρύματα όπου ο τομέας έχει εξελιχθεί και η ισορροπία μεταξύ των αντικειμένων αντικατοπτρίζει την δική τους εμπειρία. Αυτή η ισορροπία, θα πρέπει να προσαρμόζεται ανάλογα με το υπόβαθρο και τις ικανότητες των φοιτητών, τις δυνατότητες και τους πόρους του ιδρύματος και σημαντικότερα το επιθυμητό αποτέλεσμα της όλης διαδικασίας.

2.5 Ορισμός του τελικού αποτελέσματος.

2.5.1 Περιγραφή του ρόλου στην εργασία και σύνολο δεξιοτήτων.

Ο ρόλος του ΜΠ στο σύγχρονο κόσμο της βιομηχανίας και του εμπορίου πρέπει να οριστεί με σαφήνεια. Με δεδομένο το ευρύ φάσμα των τρόπων, μέσω των οποίων μπορεί να συμβάλει στην ολοκληρωμένη πυροπροστασία, ένας ΜΠ πρέπει να έχει ανάμιξη σε όλα τα στάδια μιας μελέτης, από την σύλληψη της ιδέας μέχρι την παράδοση ενός έργου, ακόμα και μετά από αυτή. Για να επιτευχθεί ο γενικός στόχος του τομέα, ο ΜΠ θα πρέπει να έχει την ευκαιρία να εφαρμόσει τις ικανότητές του από το πρώτο στάδιο του κτηριακού σχεδιασμού. Μάλιστα, θα πρέπει να τον συμβουλευόμαστε από το στάδιο της σύλληψης, πριν ακόμα ξεκινήσει η διαδικασία του σχεδιασμού.

Ο ΜΠ πρέπει να είναι ικανός να συνεργάζεται σε όλα τα στάδια ενός έργου με επαγγελματίες από ένα εύρη φάσμα τομέων. Τα στάδια του σχεδιασμού, είναι τα εξής:

- *Σύλληψη ιδέας.*
- *Σχεδιασμός/Μελέτη.*
- *Κατασκευή.*
- *Παράδοση/Εναρξη λειτουργίας.*
- *Λειτουργία.*
- *Αλλαγές/Μετατροπές.*
- *Τερματισμός λειτουργίας/Κατεδάφιση.*

Καθώς ένα έργο περνά από αυτά τα στάδια, ο ΜΠ συνεργάζεται με διαφορετικούς επαγγελματίες. Λίστες όπως η παρακάτω, θα μπορούσαν να δημιουργηθούν για μια σειρά από διαφορετικά έργα. Για παράδειγμα, στη μελέτη, κατασκευή και λειτουργία ενός εργοστασίου πετροχημικής επεξεργασίας, υπάρχει διαρκής συνεργασία με άλλους μηχανικούς, σε ένα περιβάλλον όπου η ασφάλεια είναι η πρώτη προτεραιότητα, λόγω της φύσης των υλικών και των διεργασιών. Εκεί, για παράδειγμα, καλείται ένας ΜΠ να εφαρμόσει ποσοτικές μεθόδους υπολογισμού του κινδύνου. Ακολουθεί μια λίστα με το είδος των επαγγελματιών που θα συναντήσει ένας ΜΠ, για κάθε στάδιο ενός έργου:

Σύλληψη: πελάτης, αρχιτέκτονας, υπεύθυνος ελέγχου κτηρίων, τοπικές αρχές σχετικές με το σχεδιασμό, εθνικές αρχές σχετικές με το σχεδιασμό, υπεύθυνος προστασίας περιβάλλοντος.

- Μελέτη:* αρχιτέκτονας, πολιτικός μηχανικός, τεχνικός κτηρίου, ηλεκτρολόγος μηχανικός, διακοσμητής, υπεύθυνος ελέγχου κτηρίων, πυροσβεστική υπηρεσία, ιδιοκτήτης, λοιπές υπηρεσίες.
- Κατασκευή:* αρχιτέκτονας, επικεφαλής διαχείρισης των έργων, τοπικός υπεύθυνος διαχείρισης των έργων, εργολάβος.
- Έναρξη:* πελάτης, αρχιτέκτονας, τεχνικός κτηρίου, υπεύθυνος ελέγχου κτηρίων, πυροσβεστική υπηρεσία, υπηρεσία περιβαλλοντικής προστασίας, υγειονομική υπηρεσία, υπηρεσία ασφάλειας.
- Λειτουργία:* διευθυντής, διαχειριστής κτηρίου, διαχειριστής εργασιών, εκπαιδευτής προσωπικού, ασφάλεια κτηρίου, τμήμα συντήρησης.
- Τερματισμός:* αρχιτέκτονας, υπεύθυνος ελέγχου κτηρίων, πυροσβεστική υπηρεσία, ασφάλεια κτηρίου, εργολάβος.

Ο ΜΠ πρέπει να μπορεί να σχολιάζει και να συμβουλεύει σχετικά με τις συνέπειες που θα έχει το προτεινόμενο σχέδιο, ή οι αλλαγές του σχεδίου, στην πυροπροστασία. Σήμερα, συγκεκριμένες λύσεις πυροπροστασίας, οι οποίες είναι βασισμένες σε μεθόδους ποσοτικής ανάλυσης του κινδύνου, κρίνονται απαραίτητες στην βιομηχανία των πυρηνικών και των πετροχημικών, αλλά κάτι ανάλογο είναι μάλλον απίθανο να γίνει ευρέως υποχρεωτικό σύντομα.

Ο κάθε ΜΠ μπορεί να έχει τη δική του εξειδίκευση, όπως για παράδειγμα το σχεδιασμό συστημάτων πυρανίχνευσης. Όμως, πρέπει επίσης να διατηρεί αρκετή επαφή με το υπόλοιπο αντικείμενο, ώστε να μπορεί να προτείνει μια συνολική στρατηγική πυροπροστασίας, θέτοντας τα κριτήρια απόδοσης για τα υπόλοιπα μέρη του συστήματος (π.χ. αυτόματη κατάσβεση, συναγερμοί, προτεινόμενος εξοπλισμός, οδεύσεις διαφυγής). Οι δεξιότητες, τις οποίες πρέπει να έχει είναι ευρείες και πρέπει να συμπεριλαμβάνουν την ικανότητα να επικοινωνεί με όλο το φάσμα των επαγγελματιών, με τους οποίους θα συνεργαστεί. Αυτές οι δεξιότητες μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες:

- Προσδιορισμός κινδύνων πυρκαγιάς.
- Προσδιορισμός κατάλληλων στρατηγικών πυροπροστασίας.
- Εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων ανάλυσης κινδύνων, προς εύρεση της πιο οικονομικής λύσης, η οποία τηρεί το επιθυμητό επίπεδο πυροπροστασίας.

Αυτές οι κατηγορίες, κρύβουν πληθώρα λεπτομερειών, οι οποίες πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στα μαθήματα. Κρύβουν το γεγονός, ότι ο ΜΠ πρέπει όχι μόνο να έχει γνώσεις από τη χημεία και τη δυναμική της φωτιάς, αλλά πρέπει επίσης να κατανοεί

την μελέτη και την κατασκευή των κτηρίων, να έχει επίγνωση των κινδύνων που σχετίζονται με τα υλικά και τη γεωμετρία του κτηρίου, ακόμα και της συμπεριφοράς των ανθρώπων κατά την πυρκαγιά. Επιπροσθέτως, πρέπει να γνωρίζει όλες τις τεχνικές πυρανίχνευσης και πυρόσβεσης, καθώς και να κατανοεί τη διαδικασία επικοινωνίας με το πυροσβεστικό σώμα. Τέλος, πρέπει να γνωρίζει τις μεθόδους ανάλυσης κινδύνων και τον τρόπο με τον οποίο αυτές εφαρμόζονται, ανάλογα με τον τύπο και τον πληθυσμό ενός κτηρίου. Στη παρακάτω λίστα συνοψίζονται μερικές από αυτές τις γνώσεις ανά κατηγορία.

Προσδιορισμός κινδύνων πυρκαγιάς: μεταφορά θερμότητας, ιδιότητες υλικών, χημεία της φωτιάς, δυναμική της φωτιάς, δυναμική της φωτιάς σε διαμερίσματα, κατασκευή κτηρίων, ανθρώπινη συμπεριφορά και φωτιά.

Προσδιορισμός στρατηγικών πυροπροστασίας: πρόληψη πυρκαγιάς, πυρανίχνευση, επικοινωνία πυροσβεστικής, σχεδιασμός οδεύσεων διαφυγής, πυροκαταστολή, έλεγχος φωτιάς, πυραντίσταση.

Προσδιορισμός οικονομικών λύσεων: μοντελοποίηση της φωτιάς, ποσοτική ανάλυση κινδύνων, οικονομοτεχνική ανάλυση, ικανότητες παρουσίασης.

2.6. Περιγραφή της ύλης των βασικών μαθημάτων.

2.6.1 Ενότητα πρώτη: Μηχανική ρευστών.

i. Σκοπός.

Ο στόχος αυτού του μαθήματος, είναι να αποφέρει μια βασική κατανόηση της μηχανικής των ρευστών, η οποία είναι σχετική με την ανάλυση για το σχεδιασμό συστημάτων πυροκαταστολής και την ανάλυση της φωτιάς σε κλειστό χώρο.

ii. Προαπαιτούμενα μαθήματα.

α. Μαθηματικός Λογισμός. β. Στατική και Δυναμική Μηχανική.

iii. Ύλη της ενότητας.

I. Βασικές αρχές της μηχανικής των ρευστών.

Θέμα Α Ιδιότητες των ρευστών.

(U: 3 ώρες, G: 1 ώρα)

Ύλη: Ο ορισμός ενός ρευστού. Πυκνότητα. Ειδικό βάρος. Ειδικός όγκος. Ειδική βαρύτητα. Συμπιεστότητα. Ιδανικό ρευστό. Ιξώδες. Επιφανειακή τάση. Τριχοειδής ιδιότητα.

Βιβλιογραφία: Οποιοδήποτε από τα καθιερωμένα προπτυχιακά συγγράμματα μηχανικής ρευστών (αυτό ισχύει για όλα τα θέματα των υποενοτήτων I και II).

Θέμα Β Υδροστατική.

(U: 4 ώρες, G: 2 ώρες)

Ύλη: Ορισμός της πίεσης. Πίεση σε σημείο. Η πίεση ως μονοδιάστατο μέγεθος. Μεταβολή της πίεσης. Ύψος πίεσης. Απόλυτη και σχετική πίεση. Μέτρηση πίεσης. Μανόμετρα. Υδροστατική δύναμη σε επίπεδη επιφάνεια. Κέντρο πίεσης. Υδροστατική δύναμη σε καμπύλη επιφάνεια. Άνωση. Μεταβολή της πίεσης σε ρευστό, με κίνηση στερεού σώματος.

- Θέμα Γ Κινηματική ρευστού.**
(U: 2 ώρες, G: 2 ώρες)
Ύλη: Είδη ροών. Στρωτή και τυρβώδης ροή. Μόνιμη ροή και ομοιόμορφη ροή. Ροϊκές γραμμές. Γραμμές εκπομπής και τροχιές. Ρυθμός ροής και μέση ταχύτητα. Εξίσωση συνέχειας. Ροή σε μία, δύο και τρεις διαστάσεις. Δίκτυο ροής. Ταχύτητα και επιτάχυνση σε ροή μόνιμης και μεταβατικής κατάστασης.
- Θέμα Δ Ανάλυση ροής για συστήματα και όγκους ελέγχου.**
(U: 6 ώρες, G: 6 ώρες)
Ύλη: Διατήρηση της μάζας. Ο δεύτερος νόμος του Newton. Η εξίσωση Euler. Η αρχή ώσης-ορμής. Ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής. Εξίσωση Bernoulli. Το θεώρημα μεταφοράς του Reynolds. Η θεωρία των όγκων ελέγχου. Οι εξισώσεις διατήρησης για όγκους ελέγχου.
- Θέμα Ε Βασικές αρχές υδροδυναμικής.**
(U: 3 ώρες, G: 3 ώρες)
Ύλη: Διαφορική εξίσωση συνέχειας. Στρόβιλη και αστρόβιλη ροή. Κυκλοφορία και στροβιλότητα. Ροϊκή συνάρτηση. Βασικά πεδία ροής. Δυναμική ταχύτητας.
- Θέμα Ζ Έννοιες γύρω από τα οριακά στρώματα.**
(U: 4 ώρες, G: 4 ώρες)
Ύλη: Διαφορικές εξισώσεις ορμής. Η μέθοδος επίλυσης ολοκληρώματος Von Karman Pohlhausen. Η μέθοδος επίλυσης Blasius. Συντελεστής τριβής και διατμητική τάση στο όριο. Στρωτή και τυρβώδης ροή.
- Θέμα Η Ομοιότητα και διαστατική ανάλυση.**
(U: 5 ώρες, G: 5 ώρες)
Ύλη: Ορισμός της ομοιότητας. Γεωμετρική ομοιότητα. Κινηματική ομοιότητα. Δυναμική ομοιότητα. Ο αριθμός Reynolds. Ο αριθμός Froude. Αναλογίες κλιμάκων. Διαστατική ανάλυση. Η μέθοδος Rayleigh. Το θεώρημα Buckingham π. Αδιάστατες διαφορικές εξισώσεις με άνωση. Εφαρμογή σε πυρκαγιές: ροή φωτιάς σε οροφή, στήλη φωτιάς, μεταβατικές ροές, μοντελοποίηση αλμυρού ύδατος.

II. Εφαρμογές σε συστήματα πυροκαταστολής.

Θέμα Α Μελέτη της ενέργειας στη ροή μόνιμης κατάστασης.

(U: 3 ώρες, G: 3 ώρες)

Ύλη: Κινητική ενέργεια ρέοντος ρευστού. Δυναμική ενέργεια. Εσωτερική ενέργεια. Γενική εξίσωση ροής μόνιμης κατάστασης. Εξίσωση Bernoulli. Μελέτη ισχύος στη ροή μόνιμης κατάστασης. Γραμμή ενέργειας. Πιεζομετρική γραμμή.

Θέμα Β Ασυμπίεστη ροή μόνιμης κατάστασης σε αγωγούς με πίεση.

(U: 9 ώρες, G: 6 ώρες)

Ύλη: Στρωτή και τυρβώδης ροή. Ο κρίσιμος αριθμός Reynolds. Η γενική εξίσωση της τριβής για κυλινδρικούς σωλήνες. Η εξίσωση Darcy-Weisbach. Η στρωτή ροή σε κυλινδρικούς σωλήνες. Τυρβώδης ροή σε αγωγούς με πίεση. Τραχύτητα αγωγών, παράγοντες τριβής. Η εξίσωση Colebrook. Το διάγραμμα Moody. Εμπειρικές εξισώσεις για ροή σε σωλήνα. Η εξίσωση Hazen-Williams. Μικρές απώλειες και ισοδύναμα μήκη. Δίκτυα σωληνώσεων. Η μέθοδος Hardy Cross.

Θέμα Γ Ροή από στόμιο και άλλες μετρήσεις για ρευστά.

(U: 3 ώρες, G: 3 ώρες)

Ύλη: Μέτρηση στατικής πίεσης. Μέτρηση ταχύτητας με σωλήνες Pitó. Ανεμόμετρα. Όργανα μέτρησης παροχής μάζας. Μέτρηση εκροής. Στόμια, ακροφύσια ψεκασμού και σωληνάρια. Ταχύτητα και πίεση αναβλύζουσας ροής. Ο συντελεστής συστολής. Ο συντελεστής της ταχύτητας. Ο συντελεστής εκροής. Οι σωλήνες Venturi. Ακροφύσια ψεκασμού. Μετρητής στομίου. Υδροφράκτες.

Θέμα Δ Φυγοκεντρικές αντλίες.

(U: 6 ώρες, G: 3 ώρες)

Ύλη: Ορισμοί. Κατηγορίες. Μέγεθος και κλάσεις αντλιών. Αποδιδόμενη πίεση. Ειδική ταχύτητα. Χαρακτηριστικά αντλιών. Βαθμός απόδοσης. Σηλαιώση. Συσχετιστικοί νόμοι αντλιών (πίεσης, όγκου και ισχύος).

Θέμα Ε Ροή με συμπίεση.

(U: 6 ώρες, G: 6 ώρες)

Ύλη: Ταχύτητα του ήχου. Ισεντροπική ροή σε ακροφύσιο ψεκασμού. Ο αριθμός Mach. Κρουστικά κύματα. Εύφλεκτες αναμίξεις και εκρήξεις. Ταχεία ανάφλεξη με ταχύτητα μετάδοσης μικρότερη ή μεγαλύτερη της ταχύτητας του ήχου. Χρόνος ανάφλεξης.

III. Εφαρμογές σε διαμερίσματα.

Θέμα Α Στήλη της φωτιάς.

(U: 6 ώρες, G: 6 ώρες)

Ύλη: Στήλη της φωτιάς με αξονική συμμετρία από σημειακή πηγή. Στήλη της φωτιάς από γραμμική πηγή. Θερμική διαστρωμάτωση στην ατμόσφαιρα. Παράσυρση αέρα μέσα στη στήλη και στις φλόγες.

Βιβλιογραφία: Heskestad (1988). McCaffrey (1988). Delichatsios (1988).

Θέμα Β Αναβλύζουσα φλόγα οροφής.

(U: 5 ώρες, G: 5 ώρες)

Ύλη: Διαφορική εξίσωση για αναβλύζουσα φλόγα οροφής με αξονική συμμετρία. Συσχετισμοί ταχύτητας και θερμοκρασίας για μόνιμη και μεταβατική κατάσταση. Πλήρωση κλειστού χώρου με καπνό.

Βιβλιογραφία: Evans (1988).

Θέμα Γ Ροές στα ανοίγματα.

(U: 4 ώρες, G: 4 ώρες)

Ύλη: Ανοίγματα τοίχων. Ανοίγματα οροφής. Έλεγχος καπνού. Κρίσιμη πίεση (αριθμός Froude).

Βιβλιογραφία: Emmons (1988).

iv. Βιβλιογραφία:

- Delichatsios MA. Air Entrainment Into Buoyant Jet Flames and Pool Fires. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- Emmons DD. Ceiling Jet Flows, *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- Evans DD. Ceiling jet flows, *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.

- Heskestad, G., Fire Plumes, *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- McCaffrey, B.J., Flame Height, *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.

2.6.2 Ενότητα δεύτερη: Μεταφορά μάζας και θερμότητας κατά την πυρκαγιά.

i. Εισαγωγή.

Πρόκειται για ένα βασικό μάθημα μεταφοράς θερμότητας, προσαρμοσμένο στη ΜΠ. Είναι σχεδιασμένο όπως το καθιερωμένο αντίστοιχο προπτυχιακό μάθημα, με τη διαφορά ότι δίνεται έμφαση στις εφαρμογές και τα θέματα σχετικά με την επιστήμη της φωτιάς. Η ενότητα είναι σχεδιασμένη για προπτυχιακούς φοιτητές, αλλά έχει και κάποια θέματα, κατάλληλα για μεταπτυχιακό ΠΣ. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε από τα καθιερωμένα προπτυχιακά συγγράμματα πάνω στο αντικείμενο. Το συγκεκριμένο που χρησιμοποιήθηκε για την οργάνωση αυτής της ενότητας είναι το:

- Holman JP. *Heat Transfer*. McGraw-Hill, 1990.

Επιπλέον ειδική βιβλιογραφία, αναφέρεται στις υποενότητες, όπου αυτό χρειάζεται. Για μεταπτυχιακό επίπεδο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα συγγράμματα. Όσον αφορά στο κομμάτι της μεταφοράς μάζας, ένα κατάλληλο βιβλίο είναι το:

- Welly JR, Wilson RE, Wicks CE, *Fundamentals of Momentum, Mass and Heat Transfer*.

ii. Προαπαιτούμενα.

- α. Προτείνεται οι μαθητές να έχουν ήδη ολοκληρώσει μαθήματα θερμοδυναμικής και μηχανικής ρευστών.
- β. Θεωρείται ότι οι φοιτητές έχουν ήδη το απαιτούμενο υπόβαθρο μαθηματικών και βασικών γνώσεων για μηχανικούς.
- γ. Για την επίλυση κάποιων προβλημάτων με αριθμητική ανάλυση, χρειάζεται να υπάρχει η σχετική οικειότητα με ανώτερες γλώσσες προγραμματισμού και κάποια υπολογιστικά εργαλεία.

iii. Ύλη της ενότητας.

I. Αγωγή.

Θέμα Α Εισαγωγή και τρόποι μεταφοράς θερμότητας.

(U: 2 ώρες)

Ύλη: Εισαγωγή στο φαινόμενο της μεταφοράς θερμότητας. Αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία. Η σημασία της μεταφοράς θερμότητας για τα προβλήματα, τα οποία είναι σχετικά με το θέμα της φωτιάς, μέσω της χρήσης συγκεκριμένων ενδεικτικών παραδειγμάτων.

Θέμα Β Αγωγή στη μόνιμη κατάσταση.

Θέμα Β1 Αγωγή μόνιμης κατάστασης σε μία διάσταση

(U: 8 ώρες)

Ύλη: Εισαγωγή στη μονοδιάστατη αγωγή μόνιμης κατάστασης και εφαρμογή σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, όπως ο επίπεδος τοίχος, η μόνωση και το κρίσιμο πάχος της μόνωσης. Αγωγή σε μια διάσταση με μία πηγή θερμότητας και θερμική αντίσταση επαφής. Ακτινικά συστήματα (κύλινδροι). Κύλινδροι με πηγές θερμότητας. Οριακές συνθήκες συναγωγής που οδηγούν σε σύστημα αγωγής-συναγωγής, όπως συμβαίνει σε πετρέλαιο. Η έννοια του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας.

Θέμα Β2 Πολυδιάστατη αγωγή μόνιμης κατάστασης.

(U: 5 ώρες, G: 3 ώρες)

Ύλη: Εισαγωγή στην πολυδιάστατη αγωγή. Χρήση μαθηματικής και γραφικής ανάλυσης δυσδιάστατης μεταφοράς θερμότητας. Λύση της δυσδιάστατης μερικής διαφορικής εξίσωσης της αγωγής, με την τεχνική του διαχωρισμού των μεταβλητών. Αριθμητική μέθοδος ανάλυσης Gauss-Seidel με επαναλήψεις, και άλλες τεχνικές. Εφαρμογή διαφορετικών οριακών συνθηκών, όπως όριο με συναγωγή, μονωμένο όριο κτλ. Αριθμητική ακρίβεια, αριθμητική σύγκλιση και ορθώς τιθέμενες συνοριακές συνθήκες. Χρήση ισοδύναμων ηλεκτρικών κυκλωμάτων.

Θέμα Γ Αγωγή μεταβατικής κατάστασης.

Θέμα Γ1 Μονοδιάστατα συστήματα.

(U: 5 ώρες, G: 3 ώρες.)

Ύλη: Εισαγωγή στη μεταβατική κατάσταση. Συγκεντρωτικά συστήματα μάζας. Ο αριθμός Biot. Χαρακτηριστικός χρόνος και έννοιες κλίμακας μήκους. Μεταβατική ροή θερμότητας σε ημιάπειρα στερεά. Αναλυτικές λύσεις για περιπτώσεις σταθερής επιφανειακής ροής θερμότητας και σταθερής επιφανειακής θερμοκρασίας, καθώς και για οριακές συνθήκες συναγωγής. Διαγράμματα Heisler και αναλυτικές λύσεις για απείρου μήκους επίπεδα, κυλίνδρους κτλ. Ορισμός και σημασία του αριθμού Fourier.

Σημείωση: Η εφαρμογή μεθόδων συγκεντρωτικών συστημάτων για ένα ανιχνευτή θερμότητας, όπως αυτόν ενός πυροσβεστικού καταιονητήρα οροφής, είναι ένα καλό παράδειγμα. Έννοιες όπως "θερμικώς λεπτό" και "θερμικώς παχύ" υλικό μπορούν να ενσωματωθούν, ως χρήσιμα παραδείγματα σχετικά με την ΜΠ.

Θέμα Γ2 Πολυδιάστατα Συστήματα.

(U: 2 ώρες, G: 4 ώρες)

Ύλη: Επισκόπηση πολυδιάστατης μεταφοράς θερμότητας μεταβατικής κατάστασης, με έμφαση στην επίλυση προβλημάτων με αριθμητικές μεθόδους, στις αριθμητικές αστάθειες και στα διαθέσιμα λογισμικά πακέτα.

Σημείωση: Προτείνεται η επίλυση ενός προβλήματος μεταβατικής κατάστασης σε δύο διαστάσεις, για κάποια εφαρμογή ΜΠ, με χρήση αριθμητικών μεθόδων.

Θέμα Γ3 Πυραντίσταση κατασκευών.

(U:1 ώρα, G:4 ώρα)

Ύλη: Υπολογιστικές μέθοδοι (πεπερασμένων διαφορών, πεπερασμένων στοιχείων). Πρότυπες καμπύλες χρόνου-θερμοκρασίας της φωτιάς. Συνθήκες επιφανειακής ροής θερμότητας στη φωτιά. Φαινόμενα τάσης-τροπής.

Βιβλιογραφία: Οποιοδήποτε βιβλίο πάνω στο θέμα των υπολογιστικών μεθόδων. Lie (1988). Milke (1988). Jaluria (1988). White (1988).

II *Μεταφορά θερμότητας με συναγωγή.*

Θέμα Α **Εισαγωγή και υπόβαθρο.**

(U: 5 ώρες)

Ύλη: Εισαγωγή στη μεταφορά θερμότητας με συναγωγή και επισκόπηση βασικών αρχών της μηχανικής των ρευστών, όπως ιξώδης και ιδεατή ροή, εσωτερική και εξωτερική ροή, ροή οριακού στρώματος, στρωτό υπόστρωμα και ανάπτυξη της εξίσωσης της ενέργειας. Ορισμοί και σχέσεις για το πάχος του οριακού στρώματος, όσον αφορά στην ορμή και στη θερμότητα. Συζήτηση για το τυρβώδες οριακό στρώμα, με έμφαση στο πάχος του στρώματος, στις έννοιες της διάχυσης και της συνεκτικότητας των στροβιλισμών.

Θέμα Β **Μεταφορά θερμότητας με εξαναγκασμένη ροή.**

(U: 5 ώρες, G: 3 ώρες)

Ύλη: Εξωτερικές ροές. Θερμοκρασία συνόλου μάζας ρευστού και εκτίμηση ιδιοτήτων ρευστού. Τυρβώδης μεταφορά θερμότητας στο οριακό στρώμα και πάχος οριακού στρώματος. Μεταφορά θερμότητα σε σωλήνα με στρωτή ροή. Τυρβώδης ροή σε σωλήνα. Ροή σε κυλίνδρους και σφαίρες.

Σημείωση: Το θέμα της ροής πάνω σε ένα επίπεδο, πρέπει να έχει ως εφαρμογή το πρόβλημα της μεταφοράς θερμότητας σε οροφή. Η μοντελοποίηση ανιχνευτών θερμότητας και συστημάτων καταιονισμού οροφής, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως παραδείγματα για τη μεταφορά θερμότητας με συναγωγή για κυλίνδρους και σφαίρες.

Θέμα Γ **Μεταφορά θερμότητας με φυσική ροή.**

Θέμα Γ1 **Ροή σε επίπεδα, κυλίνδρους και σφαίρες.**

(U: 4 ώρες, G: 3 ώρες)

Ύλη: Εισαγωγή στα συστήματα συναγωγής με φυσική ροή. Αδιάστατες Παράμετροι. Οι αριθμοί Grashoff, Prandtl και Nusselt. Μεταφορά θερμότητας με ελεύθερη συναγωγή σε κάθετη πλάκα χωρίς πάχος. Εμπειρικές σχέσεις για την συναγωγή με ελεύθερη ροή. Ελεύθερη συναγωγή από κάθετα επίπεδα, κυλίνδρους και σφαίρες. Ελεύθερη συναγωγή από οριζόντιες πλάκες και από επιφάνειες με κλίση.

Θέμα Γ2 Συναγωγή με ελεύθερη ροή σε κλειστό χώρο.

(U: 1 ώρα, G: 2 ώρες)

Ύλη: Μια γενική ποιοτική συζήτηση για την μεταφορά θερμότητας από και προς τις επιφάνειες διαμερίσματος και για την πρόκληση ρευμάτων συναγωγής.

Βιβλιογραφία: Holman, Jaluria (1980).

Θέμα Δ Μεταφορά θερμότητας με συναγωγή λόγω πυρκαγιάς.

Θέμα Δ1 Μεταφορά θερμότητας σε οροφές.

(U: 1 ώρα, G:3 ώρες)

Ύλη: Μεταφορά θερμότητας σε οροφές από τη στήλη της φωτιάς. Αναλυτικά και πειραματικά αποτελέσματα.

Βιβλιογραφία: Cooper και Woodhouse (1986).

Θέμα Δ2 Μεταφορά θερμότητας σε τοίχους.

(G: 2 ώρες)

Ύλη: Μεταφορά θερμότητας για τα αιωρήματα λόγω φωτιάς και άνωσης. Φαινόμενα στις γωνίες.

Βιβλιογραφία: Jaluria (1988), ερευνητικές δημοσιεύσεις.

III Μεταφορά θερμότητας μέσω ακτινοβολίας.

Θέμα Α Εισαγωγή στην μεταφορά θερμότητας μέσω ακτινοβολίας.

(U: 2 ώρες)

Ύλη: Φυσικός μηχανισμός. Θερμική ακτινοβολία. Ο νόμος Stefan-Boltzmann. Η σταθερά Planck. Ιδιότητες ακτινοβολίας. Συντελεστής εκπομπής. Ακτινοβολία μέλανος και γκρίζου σώματος. Ο νόμος μετατόπισης του Wien.

Θέμα Β Ακτινοβολία μέλανος σώματος.

Θέμα Β1 Παράμετροι σχήματος.

(U: 2 ώρες)

Ύλη: Παράμετροι σχήματος και όψεως. Μαθηματικές σχέσεις για την εξαγωγή των παραμέτρων σχήματος. Χρήση διαγραμμάτων. Άλγεβρα παραμέτρων σχήματος.

- Θέμα Γ Ακτινοβολία μη μέλανος σώματος.**
- Θέμα Γ1 Εναλλαγή ακτινοβολίας σε κλειστό χώρο.**
(U: 3 ώρες, G: 1 ώρες)
Ύλη: Ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ των επιφανειών κλειστού χώρου. Συνολική ακτινοβολία από και προς επιφάνεια. Ροή προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Χρήση ισοδύναμων ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Εφαρμογές σε παράλληλα επίπεδα άπειρου μήκους και σε ασπίδες προστασίας από την ακτινοβολία.
- Θέμα Γ2 Ακτινοβολία αερίων.**
(U: 2 ώρες, G: 2 ώρες)
Ύλη: Απορρόφηση και εκπομπή ακτινοβολίας από αέρια. Ο νόμος Lambert-Beer. Μέσο μήκος ακτίνας. Ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ ενός αερίου όγκου και των επιφανειών κλειστού χώρου.
- Θέμα Γ3 Συνολικά προβλήματα ακτινοβολίας σε κλειστό χώρο.**
(U: 2 ώρες, G: 3 ώρες)
Ύλη: Ανταλλαγή ακτινοβολίας μεταξύ κατοπτρικών επιφανειών. Ανταλλαγή ακτινοβολίας με μέσο που εκπέμπει, αντανακλά ή απορροφά. Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με ακτινοβολία και εφαρμογή αριθμητικών μεθόδων σε πιο πολύπλοκα προβλήματα.
- Θέμα Γ4 Μοντέλο ζωνών για ανταλλαγή ακτινοβολίας σε κλειστό χώρο.**
(G: 2 ώρες)
Ύλη: Διατύπωση των σχέσεων ανταλλαγής ακτινοβολίας, για φωτιά που δημιουργεί δύο στρώματα αερίων.
- Θέμα Γ5 Ακτινοβολία της φλόγας.**
(U: 1 ώρα, G: 3 ώρες)
Ύλη: Καύση και αιθάλη. Σχήμα της φλόγας. Φαινόμενα λόγω ανομοιογένειας και ανταλλαγή ακτινοβολίας.

IV Μεταφορά μάζας.

Θέμα Α Ισόθερμη μεταφορά μάζας.

(U: 2 ώρες, G: 2 ώρες)

Ύλη: Ο νόμος του Fick. Συντελεστής διάχυσης. Ο νόμος του Stefan για τη μεταφορά μάζας και την εξάτμιση σταγονιδίων.

Θέμα Β Ταυτόχρονη μεταφορά μάζας και θερμότητας.

(U: 1 ώρες, G: 6 ώρες)

Ύλη: Διατύπωση θεμελιωδών σχέσεων. Θερμοδιάχυση. Εξάτμιση σταγονιδίων. Ο αριθμός Lewis. Διαμόρφωση στάσιμου οριακού στρώματος. Ο αριθμός B. Θερμοκρασία υγρού θερμόμετρου.

Θέμα Γ Η σχετικότητα με τα εύφλεκτα υγρά.

(G: 2 ώρες)

Ύλη: Όρια αναφλεξιμότητας. Εφαρμογές στην εξάτμιση εύφλεκτων υγρών.

Θέμα Γ1 Μεταφορά μάζας.

(U: 2 ώρες)

Ύλη: Ο νόμος διάχυσης του Fick. Διάχυση αερίων. Ο συντελεστής μεταφοράς μάζας. Αδιάστατες παράμετροι. Οι αριθμοί Schmidt και Lewis.

iv. Βιβλιογραφία:

- Cooper LY, Woodhouse A. *J. of Heat Trans.*, 1986; v. 108.
- Fleischmann C. Analytical Methods for Determining Fire Resistance of Concrete Members, *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- Holman JP. *Heat Transfer*. McGraw-Hill, 1990.
- Jaluria Y. Natural Convection Wall Flows. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- Jaluria Y. *Natural Convection, Heat and Mass Transfer*. Pergamon Press, 1980.
- Lie TT. Fire Temperature-Time Relations. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- Milke J. Analytical Methods for Determining Fire Resistance of Steel Members. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- White RH. Analytical Methods for Determining Fire Resistance of Timber Members. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.

2.6.3 Ενότητα τρίτη: Κλασσική θερμοδυναμική.

i. Εισαγωγή.

Πρόκειται για ένα βασικό μάθημα θερμοδυναμικής, το οποίο έχει σκοπό να προσφέρει το υπόβαθρο για τα υπόλοιπα μαθήματα στο ΠΣ ΜΠ. Είναι σχεδιασμένο όπως ένα αντίστοιχο τυπικό προπτυχιακό μάθημα θερμοδυναμικής για μηχανικούς, με τη διαφορά ότι η έμφαση δίνεται σε εφαρμογές και θέματα που σχετίζονται με τη φωτιά και την καύση. Η ενότητα αυτή, είναι σχεδιασμένη μόνο για προπτυχιακούς φοιτητές και όχι για ένα μεταπτυχιακό πρόγραμμα. Οποιοδήποτε από τα καθιερωμένα βιβλία πάνω στο αντικείμενο μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Το συγκεκριμένο βιβλίο που χρησιμοποιήθηκε για την οργάνωση της παρακάτω ύλης είναι το:

- Van Wylen GJ, Sonntag RE, *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, John Wiley and Sons, Inc., 1985.

ii. Προαπαιτούμενα.

Θεωρείται ότι οι φοιτητές έχουν ήδη το απαιτούμενο υπόβαθρο μαθηματικών και βασικών γνώσεων για μηχανικούς.

iii. Ύλη της ενότητας.

I. Εισαγωγικό υλικό και έννοιες.

Θέμα Α Εισαγωγή.

Θέμα Α1 Ορισμοί και έννοιες.

(U: 2 ώρες)

Ύλη: Εισαγωγή στη θερμοδυναμική. Παραγωγή ισχύος. Θερμοδυναμικά συστήματα και όγκος ελέγχου. Θερμοδυναμικές ιδιότητες. Διαφορές μικροσκοπικής και μακροσκοπικής προσέγγισης. Θερμοδυναμικές ιδιότητες και κατάσταση μιας ουσίας. Διεργασία και κύκλος διεργασιών.

Θέμα Α2 **Ιδιότητες της καθαρής ουσίας.**

(U: 3 ώρες)

Ύλη: Ορισμός της καθαρής ουσίας. Ισορροπία φάσεων για μια καθαρή ουσία. Ανεξάρτητες θερμοδυναμικές ιδιότητες. Καταστατική εξίσωση και ο νόμος των ιδανικών αερίων. Συμπιεστότητα. Πίνακες θερμοδυναμικών ιδιοτήτων.

II. **Διατήρηση της μάζας και της ενέργειας.**

Θέμα Α **Έργο και θερμότητα.**

(U: 2 ώρες)

Ύλη: Εισαγωγή στο θερμοδυναμικό ορισμό του έργου και της θερμότητας. Έργο σε μια διεργασία με ημι-ισορροπία. Αλληλεπίδραση έργου και θερμότητας. Το διάγραμμα πίεσης-όγκου και η εφαρμογή του για τον υπολογισμό του έργου σε απλά συμπιεστά συστήματα.

Θέμα Β **Ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής.**

(U: 3 ώρες)

Ύλη: Ανάπτυξη του πρώτου νόμου της θερμοδυναμικής για κυκλική διεργασία. Ανάλυση για τυχόν μεταβολές στην θερμοδυναμική κατάσταση του συστήματος. Ορισμός της εσωτερικής ενέργειας και της ενθαλπίας και η σχέση μεταξύ τους. Ορισμός της ειδικής θερμοχωρητικότητας με έμφαση στα ιδανικά αέρια.

Θέμα Γ **Διατήρηση της μάζας και της ενέργειας.**

(U: 6 ώρες)

Ύλη: Ανάπτυξη της διατήρησης της μάζας για ένα σύστημα και για ένα όγκο ελέγχου. Διατήρηση της ενέργειας για όγκο ελέγχου. Εφαρμογή της εξίσωσης της ενέργειας στις ειδικές περιπτώσεις των διεργασιών σταθερής ροής μόνιμης κατάστασης, και ομοιόμορφης-ροής ομοιόμορφης-κατάστασης.

III. **Θερμοδυναμικοί κύκλοι.**

Θέμα Α **Ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής.**

(U: 2 ώρες)

Ύλη: Ορισμοί και περιγραφές θερμοδυναμικών κύκλων θερμικών και ψυκτικών μηχανών. Αντιστρεπτές και μη αντιστρεπτές διεργασίες. Ο κύκλος Carnot και η απόδοση Carnot.

Θέμα Β Εντροπία.

Θέμα Β1 Εντροπία συστήματος.

(U: 3 ώρες)

Ύλη: Ορισμός της εντροπίας. Η ανισότητα Clausius. Εντροπία σε ένα σύστημα και υπολογισμοί για ένα κύκλο. Μεταβολή εντροπίας σε μια αντιστρεπτή διεργασία. Μεταβολή εντροπίας για ιδανικό αέριο. Η αρχή της αύξησης της εντροπίας.

Θέμα Β2 Πολυτροπικές διεργασίες.

(U: 2 ώρες)

Ύλη: Αντιστρεπτές πολυτροπικές διεργασίες για ιδανικό αέριο και υπολογισμοί για ένα κύκλο. Μεταβολή εντροπίας για ιδανικό αέριο.

Θέμα Β3 Εφαρμογή του δεύτερου νόμου σε ένα όγκο ελέγχου.

(U: 3 ώρες)

Ύλη: Ανάπτυξη της εξίσωσης του δεύτερου νόμου της θερμοδυναμικής για ένα όγκο ελέγχου, με χρήση της διατήρησης της μάζας. Ειδικές περιπτώσεις εφαρμογής του δεύτερου νόμου για σταθερή ροή μόνιμης κατάστασης και για μεταβατικές διεργασίες. Υπολογισμοί απόδοσης.

Θέμα Γ Μη αντιστρεπτότητα και διαθεσιμότητα.

(U: 2 ώρες)

Ύλη: Γενικές έννοιες. Εφαρμογή του αντιστρεπτού έργου και της μη αντιστρεπτότητας σε διεργασίες και κύκλους. Ιδιαίτερη έμφαση σε διεργασίες χημικών αντιδράσεων.

IV. Θερμοδυναμικές σχέσεις, μίγματα και χημικές αντιδράσεις.

Θέμα Α Θερμοδυναμικές σχέσεις.

(U: 2 ώρες)

Ύλη: Ορισμοί και εισαγωγή στις σχέσεις Maxwell. Εξίσωση Clapeyron. Εφαρμογές των σχέσεων εσωτερική ενέργεια, ενθαλπία και εντροπία, με έμφαση στις συνθήκες ιδανικών αερίων.

Θέμα Β Μίγματα ιδανικών αερίων.

(U: 3 ώρες)

Ύλη: Ορισμός γραμμομορίου και κλασμάτων μάζας. Εφαρμογή του νόμου των ιδανικών αερίων για μίγματα αερίων. Τα μοντέλα Dalton και Amagat. Εφαρμογή του πρώτου νόμου σε μίγμα αερίου-ατμού. Θερμοκρασίες υγρού και ξηρού θερμομέτρου. Ιδιότητες γραμμομορίου κατά βάρος. Ο ψυχομετρικός χάρτης.

Θέμα Γ Χημικές αντιδράσεις.

(U: 4 ώρες)

Ύλη: Καύσιμα και η χημική δομή τους. Η απλή διαδικασία της καύσης και στοιχειομετρικές αντιδράσεις. Ενθαλπία δημιουργίας. Ανάλυση, βάσει του πρώτου νόμου, ενός συστήματος με καύση. Η αδιαβατική θερμοκρασία της φλόγας. Θερμότητα καύσης.

2.6.4 Ενότητα τέταρτη: Μηχανική στερεών.

i. Εισαγωγή.

Η μηχανική στερεών είναι μέρος της βασικής εκπαίδευσης ενός μηχανικού. Περιλαμβάνει τα αντικείμενα της στατικής (ανάλυση ακίνητων σωμάτων), της δυναμικής (ανάλυση σωμάτων σε κίνηση) και της αντοχής υλικών (ανάλυση της εσωτερικής αντίστασης υλικών στις εξωτερικές δυνάμεις). Οι έννοιες της στατικής, λειτουργούν ως υπόβαθρο για τη δυναμική και την αντοχή υλικών. Στα περισσότερα ΠΣ μηχανικών, αυτά τα αντικείμενα παρουσιάζονται σε τρία ξεχωριστά μαθήματα. Η ύλη, η οποία περιγράφεται παρακάτω έχει ως σκοπό να σκιαγραφήσει τις γνώσεις από τα τρία αντικείμενα, οι οποίες είναι χρήσιμες ως υπόβαθρο για εφαρμογές στη ΜΠ. Η δυναμική, ενώ είναι ένα χρήσιμο προαπαιτούμενο αντικείμενο για τη μηχανική των ρευστών, δεν συμπεριλήφθηκε σε αυτή την ενότητα γιατί δεν είναι απαραίτητη για την ανάλυση της παθητικής πυροπροστασίας. Αυτή η ενότητα είναι μόνο για προπτυχιακούς φοιτητές και όχι για ένα ΠΣ μεταπτυχιακού επιπέδου. Σε πολλές περιπτώσεις, παρουσιάζονται και εφαρμογές σε θέματα ΜΠ, ώστε να υπάρχει μια σύνδεση με το όλο αντικείμενο και μια καλύτερη κατανόηση. Υπάρχουν πολλά βιβλία, τα οποία θα μπορούσαν να

χρησιμοποιηθούν για αυτή την ενότητα. Τα συγκεκριμένα που χρησιμοποιήθηκαν για την οργάνωση της συγκεκριμένης ενότητας, είναι τα:

- Beer, Johnston. *Engineering Mechanics: Statics*. McGraw-Hill Publishing Company.
- Beer, Johnston. *Mechanics of Materials*. McGraw-Hill Publishing Company.
- Fitzgerald RW. *Mechanics of Materials*. Addison-Wesley Publishing Company.

ii. Προαπαιτούμενα.

Θεωρείται δεδομένο ότι υπάρχουν οι απαραίτητες γνώσεις μαθηματικών, όπως οι διαφορικές εξισώσεις και ο ολοκληρωτικός λογισμός.

iii. Ύλη της ενότητας.

I. Στατική

Θέμα Α Βασικά συστήματα δυνάμεων.

(U: 4 ώρες)

Ύλη: Δυνάμεις. Διανύσματα. Συνισταμένες. Συνιστώσες. Ροπές. Ζεύγη.

Θέμα Β Κατάσταση Ισορροπίας.

(U: 16 ώρες)

Ύλη: Ανάλυση συστημάτων με ταυτόχρονες και με ετερόχρονες δυνάμεις. Ανάλυση ισοστατικών δοκών, σκελετών και πολύπλοκων μηχανών για διάσπαρτες και συγκεντρωμένες δυνάμεις.

Θέμα Γ Εσωτερικές δυνάμεις.

(U: 8 ώρες)

Ύλη: Ανάλυση της εσωτερικής διάτμησης, της ροπής και των καθέτων δυνάμεων σε ισοστατικές δοκούς, σκελετούς και πολύπλοκες μηχανές για διάσπαρτες και συγκεντρωμένες δυνάμεις. Διαγράμματα ροπών, διατμητικών και κάθετων δυνάμεων.

Θέμα Δ Υδροστατική.

(U: 3 ώρες)

Ύλη: Ανάλυση εξωτερικών και εσωτερικών δυνάμεων σε δομές που δέχονται υδροστατικές δυνάμεις.

II	Αντοχή υλικών.
Θέμα Α	Αξονική και διατμητική τάση και τροπή. (U: 10 ώρες)
Ύλη:	Αξονική και διατμητική τάση και τροπή. Παραμορφώσεις. Διαγράμματα τάσης-τροπής και δοκιμασίες αντοχής. Ελαστική και πλαστική συμπεριφορά. Υπερστατικά προβλήματα. Μεταβολές θερμοκρασίας. Συγκέντρωση τάσεως. Μετατροπές τάσεως.
Θέμα Β	Στρέψη. (U: 4 ώρες)
Ύλη:	Στροφική τάση και τροπή. Αξονικά και στροφικά φορτία και μετατροπή της τάσης. Ποιοτική συμπεριφορά μη κυκλικών φορέων.
Θέμα Γ	Κάμψη. (U: 4 ώρες)
Ύλη:	Ανάλυση και σχεδιασμός ισοστατικών δοκών για φορτία διάτμησης και κάμψης.
Θέμα Δ	Απόκλιση δοκών. (U: 4 ώρες)
Ύλη:	Τεχνικές για τον υπολογισμό της απόκλισης ισοστατικών δοκών με συγκεντρωμένα και με διάσπαρτα φορτία.
Θέμα Ε	Ισοστατικές δοκοί. (U: 4 ώρες)
Ύλη:	Ανάλυση ισοστατικών δοκών με υπέρθεση, χρησιμοποιώντας τις μεθόδους υπολογισμού απόκλισης και στρέψης του θέματος Δ. Διαγράμματα διάτμησης και ροπής.
Θέμα Ζ	Ανελαστική συμπεριφορά. (U: 6 ώρες)
Ύλη:	Αξονική, στροφική και καμπτική συμπεριφορά στο φάσμα της ανελαστικότητας. Πλαστισιμότητα. Παράμετρος σχήματος. Υπερστατικές δομές. Ανακατανομή δυνάμεων και ροπών.

Σημείωση: Αυτά τα θέματα συνήθως δεν συμπεριλαμβάνονται σε ένα προπτυχιακό μάθημα μηχανικής στερεών. Όμως, είναι πολύ χρήσιμο να υπάρχει μια αίσθηση των υποστατικών δομών για την πυροπροστασία. Εδώ, μπορεί να συμπεριληφθεί μια ενημέρωση για τη συμπεριφορά αυτών των δομών στην πυρκαγιά.

Θέμα Η Συμπεριφορά υποστυλώματος.

(U: 3 ώρες)

Ύλη: Έννοιες ελαστικής ευστάθειας. Αστοχία σε μεσαίου και μεγάλου μήκους υποστυλώματα. Ανάπτυξη σχεδιασμού.

Σημείωση: Στο αντικείμενο της συμπεριφοράς υποστυλώματος στην πυρκαγιά, μπορεί να συζητηθεί το πώς επηρεάζουν τους συνδέσμους οι υψηλές θερμοκρασίες.

2.7. Περιγραφή της ύλης των μαθημάτων ειδικότητας ΜΠ.

2.7.1 Ενότητα πρώτη: Βασικές αρχές της φωτιάς.

i. Εισαγωγή.

Ο σκοπός αυτής της ενότητας, είναι να δώσει στο φοιτητή τα απαραίτητα εφόδια από τον τομέα της χημείας και της φυσικής για την κατανόηση του φαινομένου της φωτιάς. Επιπλέον, στόχος είναι να συγκεντρώσει γνώσεις και από άλλους βασικούς τομείς, όπως η μεταφορά θερμότητας και μάζας, ώστε να συνθέσει μια σφαιρική γνώση για τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε μια φωτιά. Παρακάτω, είναι τα κύρια θέματα που εισάγονται:

- α) πολυμερή: δομή, ιδιότητες και θερμική συμπεριφορά.
- β) χημική κινητική, συμπεριλαμβανομένων των αντιδράσεων ελευθέρων ριζών, διακλαδώσεων μοριακών αλυσίδων και αναστολή.
- γ) φλόγες προανάμιξης και φλόγες διάχυσης, τα προϊόντα της πλήρους και της ατελούς καύσεως.
- δ) η καύση υγρών και στερεών, οι έννοιες της ανάφλεξης, του σημείου ανάφλεξης και του σημείου καύσης.
- ε) αυτοθέρμανση και αυτανάφλεξη.

Όταν ολοκληρωθεί η ενότητα, οι φοιτητές θα πρέπει να:

- α) μπορούν να κατατάξουν τα εύφλεκτα υλικά σε κατηγορίες, με βάση τους δομή ως πολυμερή.
- β) μπορούν να εκτιμήσουν την πιθανή φυσική και χημική συμπεριφορά διαφορετικών εύφλεκτων υλικών, όταν αυτά εκτίθενται σε συνθήκες φωτιάς.
- γ) κατανοούν τους κύριους μηχανισμούς, μέσω των οποίων δρουν τα κατασταλτικά φλόγας (βραδυφλεγείς ουσίες) και να μπορούν να εκτιμήσουν την πιθανή αποδοτικότητα συγκεκριμένων κατασταλτικών ουσιών, στην μείωση των κινδύνων της πυρκαγιάς.
- δ) κατανοούν τα διαγράμματα αναφλεξιμότητας και να μπορούν να τα εφαρμόσουν για την πρόληψη και τον μετριασμό των εκρήξεων αερίων/ατμών.
- ε) να μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις έννοιες των ορίων αναφλεξιμότητας, για να εξηγήσουν την ανάφλεξη υγρών και στερεών.
- ζ) να μπορούν να συσχετίσουν τους ρυθμούς καύσεως, με τις βασικές ιδιότητες υγρών και στερεών καυσίμων.
- ε) να μπορούν συσχετίσουν τον ρυθμό καύσεως, με το ύψος της φλόγας.

ii. Προαπαιτούμενα.

- α. Χημεία.
- β. Μεταφορά μάζας και θερμότητας.
- γ. Θερμοδυναμική και θερμοχημεία.

iii. Ύλη της ενότητας.

I. Τα βασικά στοιχεία της φωτιάς.

Θέμα Α Πολυμερή και αποσύνθεση πολυμερών.

(U: 6 ώρες, G: 3 ώρες)

Ύλη: Φυσικά και συνθετικά πολυμερή. Η δομή και η σύνθεσή τους. Η σχέση μεταξύ χημικών/φυσικών ιδιοτήτων και της δομής (βαθμός πολυμερισμού, διακλαδώσεις, διασύνδεση κτλ.). Παραγωγή βραδυφλεγών μετατροπών. Ο ρόλος της θερμοκρασίας στα πολυμερή. Οι διαφορές θερμοπλαστικών και θερμοσκληραινόμενων πολυμερών. Τρόποι αποσύνθεσης – αποκόλληση μοριακών αλυσίδων, σε αντίθεση με τα τυχαία σχίσματα και η σχέση τους με τη σύνθεση του προϊόντος. Ρυθμοί αποσύνθεσης και η μέτρησή τους. Οι συνέπειες των βραδυφλεγών ουσιών στην αποσύνθεση.

Βιβλιογραφία: Askeland (1990). Cullis, Hirschler (1981). Beyler (1985). Beyler (1988). Lyons (1970).

Θέμα Β Χημικές διεργασίες.

Θέμα Β1 Χημικές αντιδράσεις.

(U: 2 ώρες, G: 1 ώρα)

Ύλη: Στοιχειομετρία. Συνολικές και στοιχειώδεις αντιδράσεις. Ρυθμοί αντιδράσεων: μοριακότητα και τάξη. Μηχανισμοί αντίδρασης. Ομογενείς (αερίων) και ετερογενείς (αερίων/στερεών) αντιδράσεις.

Βιβλιογραφία: Atkins (1978). Moore (1972). Benson (1960).

Θέμα Β2 Η χημεία της φλόγας.

(U: 7 ώρες; G: 4 ώρες)

Ύλη: Αντιδράσεις ελευθέρων ριζών, αλυσιδωτές αντιδράσεις- γραμμικές και με διακλαδώσεις. Αυτοανάφλεξη και η μέτρησή της. Κατάλυση και αναστολή. Κινητική καύσης, με χρήση του παραδείγματος της αντίδρασης H_2/O_2 .

Βιβλιογραφία: Moore (1972). Benson (1960). Barnard, Bradley (1985). Atkins (1978).

II. Σύνθεση.

Θέμα Α Φλόγες και στήλη της φωτιάς.

Θέμα Α1 Φλόγες προανάμιξης.

(U: 12 ώρες; G: 8 ώρες)

Ύλη: Ανάλυση της δομής της ζώνης αντίδρασης. Θερμοκρασία φλόγας. Όρια αναφλεξιμότητας. Διαγράμματα αναφλεξιμότητας: μέτρηση και ερμηνεία. Θερμική θεωρεία των ορίων. Αναφλεξιμότητα. Εκρήξεις. Ανάφλεξη με ταχύτητα μετάδοσης μικρότερη ή μεγαλύτερη της ταχύτητας του ήχου. Καταστολή φλόγας προανάμιξης – φυσικές και χημικές διεργασίες. Πλέγματα συγκράτησης φλογών (φλογοφράκτες) και αντιεκρηκτικός ηλεκτρολογικός εξοπλισμός.

Βιβλιογραφία: Barnard, Bradley (1985). Kanury (1975). Lewis, von Elbe (1987). Drysdale (1985). Glassman, (1977). Beyler (1988).

Θέμα Α2 Φλόγες διάχυσης.

(U: 8 ώρες, G: 4 ώρες)

Ύλη: Το μοντέλο Burke-Schumann. Δομή της ζώνης αντίδρασης (στρωτή φλόγα) : σχέση με την παραγωγή CO και αιθάλης. Ταχείες φλόγες λόγω ορμής – στρωτές και τυρβώδεις. Σχέση του ύψους της φλόγας με την παροχή καυσίμου. Η εξίσωση Hottell και Hawthorne. Φλόγες διάχυσης λόγω άνωσης. Μορφή της στήλης της φωτιάς. Σχέσεις θερμοκρασίας και ταχύτητας με το ύψος και την παραγόμενη θερμότητα (σχέσεις McCaffrey). Ύψος της φλόγας. Συσχετισμός του υψους της φλόγας με το ρυθμό έκλυσης ενέργειας.

Βιβλιογραφία: Barnard, Bradley (1985). Kanury (1975). Lewis, von Elbe (1987). Hottel, Hawthorne (1949). McCaffrey (1979).

Σημείωση: Πρέπει να αναφερθεί η σημασία της στήλης της φωτιάς, όσον αφορά στην λειτουργία και στην απόδοση των ανιχνευτών και των καταιονητήρων.

Θέμα A3 Καύση υγρών και στερεών.

(U: 10 ώρες, G: 5 ώρες)

Ύλη: Εφαρμογή του αριθμού B στην εξάτμιση και στην καύση σταγονιδίων καυσίμων. Οριακό στρώμα, με και χωρίς καύση. Σημασία του λόγου H/Lv . Σχέση με την καύση λιμναζόντων υγρών. Τα αποτελέσματα των Blinov και Khudiakov και η ερμηνεία του Hottel. Απλό θερμικό μοντέλο για την καύση υγρών και στερεών, στη μόνιμη κατάσταση. Θερμότητες αεριοποίησης. Μέτρηση του ρυθμού έκλυσης ενέργειας με χρήση θερμοδομετρίας εξάντλησης οξυγόνου. Απόδοση καύσης.

References: Spalding (1955). Kanury (1975). Tewarson (1988). Babrauskas (1988). McCaffrey (1988).

Θέμα A4 Ανάφλεξη υγρών και στερεών.

(U: 8 ώρες, G: 4 ώρες)

Ύλη: Κατηγορίες υγρών. Σημείο ανάφλεξης και η σχέση του με τα όρια αναφλεξιμότητας. Το φαινόμενο του φυτιλιού και η σχέση του με την ανάφλεξη λιμναζόντων υγρών, υψηλού σημείου ανάφλεξης. Εφαρμογή των εννοιών σημείου ανάφλεξης και σημείου καύσης στην ανάφλεξη στερεών. Η εξίσωση σημείου καύσης Rasbash και η χρήση του αριθμού B . Ο ρόλος του τύπου του πολυμερούς καυσίμου (χημική σύσταση, ρυθμός αποσύνθεσης κτλ.) με τον τρόπο αποσύνθεσής του. Ο ρόλος της

φυσικής κατάστασης του καυσίμου στην αναφλεξιμότητα και στην εξάπλωση της φλόγας.

Βιβλιογραφία: Drysdale (1985). Tewarson (1988). Kanury (1975). Cullis and Hirschler (1981). Beyler (1995).

Θέμα Β Ατελείς διεργασίες καύσης.

Θέμα Β1 Καύση αέριας φάσης.

(U: 6 ώρες; G: 3 ώρες)

Ύλη: Ορισμός του βαθμού απόδοσης της καύσης. Δημιουργία αιθάλης και καπνού. Η συνέπεια της μειωμένης συγκέντρωσης οξυγόνου. Διεργασίες πυρόλυσης στην αέρια φάση. Σενάρια ατελούς καύσης. Παραγωγή προϊόντων ατελούς καύσης: σχέσεις ισορροπίας.

Βιβλιογραφία: Tewarson (1988). Beyler (1985). Friedman (1988).

Θέμα Β2 Βραδεία καύση (υποβόσκουσα φωτιά) και αυτοανάφλεξη.

(U: 6 ώρες; G: 3 ώρες)

Ύλη: Η βραδεία καύση ως ετερογενής διεργασία οξειδωσης. Χαρακτηρισμός υλικών που είναι ευάλωτα στη βραδεία καύση (πορώδη, υλικά που δημιουργούν κάρβουνο). Προϊόντα καύσης. Ρυθμός εξάπλωσης και μετάβαση σε κατάσταση φλογισμού. Έναυση με σπίθα-οδηγό ή από αυτανάφλεξη. Το μοντέλο αυτανάφλεξης του Frank-Kamenetskii. Μέθοδοι εκτίμησης των κινδύνων αυτανάφλεξης.

Βιβλιογραφία: Drysdale (1985). Ohlemiller (1988). Beaver (1988). Bowes (1984).

iv. Εργαστηριακά πειράματα.

1. Μέτρηση σημείου ανάφλεξης και σημείου καύσης για καθαρά και αναμειγμένα υγρά. Χρήση της διάταξης Pensky-Martens κλειστού κυπέλλου και της διάταξης ανοικτού κυπέλλου Cleveland.
2. Ανάφλεξη εύφλεκτων στερεών μέσω ακτινοβολίας (π.χ. από θερμαντήρα κώνου). Μέτρηση χρόνου ανάφλεξης, ως συνάρτηση της επιφανειακής ροής θερμότητας. Υπολογισμός της κρίσιμης επιφανειακής ροής θερμότητας. Η σχέση του χρόνου ανάφλεξης T_{ig} με τη θερμική αδράνεια $k\rho c$. Παρατήρηση της συμπεριφοράς του στερεού κατά τη διάρκεια της φάσης προανάφλεξης (καρβουνιάζει, λειώνει,

δημιουργούνται φουσκάλες κτλ.;). Το πείραμα μπορεί να γίνει με το δοκίμιο κάθετο ή οριζόντιο.

3. Μέτρηση της θεμελιακής ταχύτητας καύσης αναμίξεων αερίων/αέρα με χρήση της μεθόδου γωνίας κώνου. Καύση προαναμίξεων με λύχνο Bunsen. Απευθείας μέτρηση της γωνίας κώνου της φλόγας προανάμιξης. Γραμμική σχέση της ροής του μίγματος που εξέρχεται, με το λόγο καυσίμου/αέρα. Μεγέθη που προκύπτουν από τη γωνία κώνου. Χρήση προπανίου, μεθανίου και αιθανίου. Παρατήρηση σταθεροποίησης φλόγας και αναλαμπή. Αυτό το πείραμα είναι πολύ εύκολο και οικονομικό στη διεξαγωγή του και μπορεί να βοηθήσει στην ανάδειξη των διαφορών των φλογών διάχυσης με τις φλόγες προανάμιξης.
4. Ρυθμοί καύσης λιμναζόντων υγρών. Καθαρά υγρά (π.χ. εξάνιο, κηροζίνη και μεθανόλη) μπορούν να καούν σε πυρέξ τριβλεία Petri διαφόρων διαμέτρων (από 5 cm μέχρι 15 cm, και πάνω). Μέτρηση μείωσης βάρους. Μέτρηση ύψους φλόγας και συσχέτιση με το ρυθμό έκλυσης ενέργειας, ο οποίος υπολογίζεται από το ρυθμό απώλειας μάζας και την ωφέλιμη θερμότητα καύσης. Τα αποτελέσματα μπορούν να συγκριθούν με τους συσχετισμούς των Blinov και Khudiakov's και με τους πρότυπους συσχετισμούς μεταξύ ύψους φλόγας και ρυθμού έκλυσης ενέργειας. Υπάρχει περιθώριο για πιο εξειδικευμένες μετρήσεις σε αυτό το πείραμα, ιδιαίτερα αν χρησιμοποιηθεί καυστήρας με επίπεδο πλέγμα και τα προϊόντα της καύσης μετρηθούν σε ειδικό θάλαμο με αγωγό εξόδου αερίων.
5. Μέτρηση καπνού και τοξικών αερίων, από καύση εύφλεκτων υλικών. Είτε με χρήση καθιερωμένου εξοπλισμού, όπως τον θάλαμο καπνού NBS ή το θερμιδόμετρο κώνου, είτε κάποια άλλη διάταξη, π.χ. την καύση υλικών σε ένα μεγάλο κουτί καπνού (π.χ. 14m³) και την μέτρηση της οπτικής πυκνότητας του συγκεντρωμένου καπνού. Είναι χρήσιμη η σύγκριση μεταξύ διάφορων υγρών καυσίμων και εύφλεκτων στερεών, όπως το PMMA.

v. Βιβλιογραφία:

- Askeland DR. *The Science and Engineering of Materials*. Chapman and Hall, London, 1990.
- Atkins PW. *Physical Chemistry*. Oxford University Press, 1978.
- Babrauskas V. *Burning Rates. SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.

- Barnard JA, Bradley JN. *Flame and Combustion Phenomena*. Chapman and Hall, London, 1985.
- Beever PF. Self-Heating and Spontaneous Combustion. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- Benson S. *Chemical Kinetics*. Academic Press, New York, 1960.
- Beyler CL. *1st International Symposium on Fire Safety Science*. Hemisphere Publishing Corporation, New York, NY, 1985.
- Beyler CL. Thermal Decomposition of Polymers. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- Beyler CL. *Fire Chemistry*. John Wiley and Sons, New York, NY, 1995.
- Bowes PC. *Self-Heating: Evaluating and Controlling the Hazards*. HMSO, London, 1984.
- Cullis CF, Hirschler MM. *The Combustion of Organic Polymers*. Oxford University Press, Oxford, 1981.
- Drysdale D. *An Introduction to Fire Dynamics*. John Wiley and Sons, Chichester, 1985.
- Friedman R. Chemical Equilibrium. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- Glassman I. *Combustion*. Academic Press, New York, 1977.
- Hottel HC, Hawthorne WR. *3rd Symposium (International) on Combustion*. Williams and Wilkins, Baltimore, MD, 1949.
- Kanury AM. *Introduction to Combustion Phenomena*. Gordon and Breach, 1975.
- Lewis B, von Elbe G. *Combustion, Flames and Explosions of Gases*. Van Nostrand, New York, NY, 1987.
- Lyons JW. *The Chemistry and Uses of Fire Retardants*. John Wiley and Sons, New York, NY, 1970.
- McCaffrey BJ. *Purely Buoyant Diffusion Flames: Some Experimental Results NBSIR 79-1910*. National Bureau of Standards, Washington DC, 1970.
- McCaffrey BJ. Flame Height. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- Madorsky SL. *Thermal Decomposition of Organic Polymers*. John Wiley and Sons, New York, NY, 1964.
- Moore WJ. *Physical Chemistry*. Longman, London, 1972.
- Ohlemiller TJ. Smoldering Combustion. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- Spalding DB. *Some Fundamentals of Combustion*. Butterworths, London, 1955.

- Tewarson A. Generation of Heat and Chemical Compounds in Fires. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.

2.7.2 Ενότητα δεύτερη: Δυναμική της φωτιάς σε κλειστό χώρο (διαμέρισμα).

i. Εισαγωγή.

Ο στόχος αυτού του μαθήματος είναι να κατανοήσει ο φοιτητής τους μηχανισμούς ανάπτυξης και εξάπλωσης της φωτιάς σε διαμέρισμα και την επίδραση, την οποία έχουν οι σχετικές χημικές και φυσικές διεργασίες. Τα παρακάτω, αποτελούν τα κύρια αντικείμενα που παρουσιάζονται:

- βασικές έννοιες για φωτιά σε διαμέρισμα και η έννοια της έκλαμψης.
- χαρακτηριστικά αναφλεξιμότητας επενδύσεων τοίχων και εύφλεκτων περιεχομένων.
- ρυθμοί καύσης κοινών διατάξεων και δοχείων καυσίμων.
- χημεία της φωτιάς σε κλειστό χώρο και η πιθανότητα ανάφλεξης στο άνω στρώμα.
- δυναμική των ρευστών για ροές σε ανοίγματα και ο υπολογισμός των υδροστατικών διαφορών πίεσης.
- ροή θερμότητας σε κλειστό χώρο.
- η πυρκαγιά μετά την έκλαμψη.
- η διζωνική φωτιά διαμερίσματος με ροή ημιμόνιμης κατάστασης.
- η φάση της πλήρωσης.

Ολοκληρώνοντας αυτή την ενότητα, ο μαθητής θα πρέπει να:

- μπορεί να υπολογίσει τις πιέσεις που δημιουργούνται από μια φωτιά σε διαμέρισμα.
- κατανοεί τις διάφορες κατηγορίες και φάσεις για πυρκαγιά σε διαμέρισμα, οι οποίες μπορεί να προκύψουν υπό διαφορετικές συνθήκες αερισμού και καύσης.
- να μπορεί να υπολογίσει, με απλές μεθόδους με το χέρι, της ροές θερμότητας και μάζας, οι οποίες δημιουργούνται από μια φωτιά σε διαμέρισμα.
- κατανοεί τα όρια και τις δυνατότητες που είναι εγγενή στα υπολογιστικά μοντέλα ζωνών, όπως το CFAST.
- να μπορεί να αναλάβει το έργο της επιστημονικής εκτίμησης κινδύνων, για συγκεκριμένο σενάριο πυρκαγιάς σε κλειστό χώρο.

ii. Προαπαιτούμενα.

- α. Μεταφοράς μάζας και θερμότητας,
- β. Θερμοδυναμική.
- γ. Μηχανική ρευστών.
- δ. Βασικές αρχές της φωτιάς.

iii. Ύλη της Ενότητας.

I. Στοιχεία πυρκαγιάς δωματίου.

Θέμα Α Χαρακτηριστικά αναφλεξιμότητας υλικών. (U: 8 ώρες, G: 6 ώρες)

Θέμα A1 Αναφλεξιμότητα, στερεά υλικά.

Ύλη: Κατανόηση της έννοιας της θερμικής ανάφλεξης μέσω θερμότητας από συναγωγή και από ακτινοβολία. Η έννοια της κρίσιμης επιφανειακής θερμοκρασίας. Η σχέση με τη θεωρία σημείου πυρκαγιάς. Εξισώσεις θερμότητας μέσω ακτινοβολίας, είτε αγνοώντας είτε γραμμικοποιώντας την ψύξη και σύγκριση λύσεων για ημίαιρα λεπτά στερεά. Υπολογισμός παραμέτρων αναφλεξιμότητας υλικών, όπως η θερμική αδράνεια kr_c και η ελάχιστη απαιτούμενη θερμική ροή για ανάφλεξη. Σύνοψη πρότυπων δοκιμασιών.

Βιβλιογραφία: Drysdale (1985). ISO (1994).

Σημείωση: Συσχέτιση με τη θεωρία του σημείου πυρκαγιάς, της ενότητας βασικές αρχές της φωτιάς. Είναι απαραίτητο να γίνει εργαστηριακό πείραμα.

Θέμα A2 Εξάπλωση φλόγας.

Ύλη: Οι διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν την εξάπλωση της φλόγας. Διάφοροι τρόποι εξάπλωσης. Γενικευμένη εξίσωση για την εξάπλωση. Λύση για την ταχεία, και επιβηθούμενη από την ροή αέρα, εξάπλωση. Λύσεις για την εγκάρσια εξάπλωση. Σύνοψη πρότυπων δοκιμασιών.

Βιβλιογραφία: Drysdale (1985). Quintiere (1988). ISO (1990).

Σημείωση: Απαραίτητα εργαστήριο. Η θεωρητική ανάπτυξη να μην βασιστεί σε μετατροπές Laplace.

Θέμα A3 Ρυθμοί καύσης.

Ύλη: Ανάπτυξη της φωτιάς και ρυθμοί καύσης διαφόρων διατάξεων και δοχείων με καύσιμα. Παράγοντες που επηρεάζουν την καύση και οδηγίες για την εκτίμηση ή την μέτρηση του ρυθμού καύσης.

Βιβλιογραφία: Babrauskas (1988).

Σημείωση: Το θέμα είναι σημαντικό για την περιγραφή σεναρίων φωτιάς και σχεδιασμένων καύσεων. Απαραίτητη η προβολή βίντεο με πειράματα. Η θερμιδομετρία κώνου και τα αποτελέσματα της, έχουν συζητηθεί σε προηγούμενη ενότητα.

Θέμα Β Χημεία της καύσης σε δωμάτιο.

(U: 8 ώρες, G: 6 ώρες)

Ύλη: Επανάληψη των βασικών από το αντικείμενο της θερμικής αποσύνθεσης πολυμερών: της δημιουργίας θερμότητας και των χημικών ουσιών, της εύρεσης της σύνθεσης, είτε σε συνθήκες ισορροπίας είτε όχι, των προϊόντων που συζητήθηκαν στην πρώτη ενότητα. Βαθμός απόδοσης της καύσης, μέσω στοιχειομετρίας. Περιοχές πλούσιες και φτωχές σε καύσιμα. Ο λόγος ισοδυναμίας. Σύνθεση των αερίων του άνω στρώματος σε ένα δωμάτιο χωρίς άνοιγμα, ως συνάρτηση της απόδοσης της καύσης. Αδιαβατική θερμοκρασία φλόγας στο άνω στρώμα. Δυνατότητα ανάφλεξης του στρώματος. Για φωτιές σε δωμάτιο με άνοιγμα: έκλαμψη και η έννοια του κρίσιμου λόγου ισοδυναμίας και της κρίσιμης ενεργειακής πυκνότητας.

Βιβλιογραφία: Williamson (1988).

Σημείωση: Απλοί υπολογισμοί με χρήση τυποποιημένων πινάκων. Συσχέτιση με τα αντίστοιχα θέματα της πρώτης ενότητας. Η σύνθεση προϊόντων της καύσης και των τοξικών κινδύνων θα συζητηθεί στην ενότητα της ανθρώπινης συμπεριφοράς στη φωτιά.

Θέμα Γ Ροές ανοιγμάτων.

(U: 6 ώρες, G: 4 ώρες)

Θέμα Γ1 Γενικές εξισώσεις για ροές σε ανοίγματα.

Ύλη: Μέθοδοι υπολογισμού ροών ανοιγμάτων. Συντελεστές ροών.

Βιβλιογραφία: Οποιοδήποτε βιβλίο μηχανικής ρευστών.

Θέμα Γ2 Υδροστατική διαφορά πίεσης.

Ύλη: Διαφορά πίεσης για ιδανικά μονο- και διζωνικά δωμάτια. Η έννοια του ουδέτερου στρώματος και οι εξισώσεις διατήρησης της μάζας. Η διαφορά πίεσης για γενικές κατανομές θερμοκρασίας σε δωμάτιο.

Βιβλιογραφία: Emmons (1988). Walton, Thomas (1988).

Σημείωση: Ανάλυση μοντέλου ροής Kawagoe-Prahl/Emmons-Rockett.

Θέμα Γ3 Αναλυτικός υπολογισμός της ροής της μάζας.

Ύλη: Ανάπτυξη της εξίσωσης $dm/dt \approx 0.5A H$.

Βιβλιογραφία: Drysdale (1985).

Θέμα Δ Υπολογισμός της ροής θερμότητας.

(U: 4 ώρες, G: 3 ώρες)

Ύλη: Υπολογισμοί ροής θερμότητας. Από το άνω στρώμα αερίων, σε τοίχους και οροφή. Από το άνω στρώμα αερίων, στο πάτωμα και στο κάτω μέρος των τοίχων. Ακτινοβολία από φλόγες.

Βιβλιογραφία: Walton, Thomas (1988). Tien *et al.* (1988).

Σημείωση: Επανάληψη της έννοιας του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας (συναγωγής, ακτινοβολίας, συνολικό). Ο συντελεστής h_k για ημίαιρα στερεά, αγνοώντας την επιφανειακή αντίσταση. Θεώρηση της φλόγας ως σημείο και ως επιφάνεια.

Θέμα Ε Φλόγες οροφής και αναβλύζουσες φλόγες οροφής.

(U: 6 ώρες, G: 4 ώρες)

Ύλη: Γεωμετρία και μήκος φλογών οροφής. Αδιάστατες σχέσεις. Χαρακτηριστικά ταχέων ροών οροφής. Φωτιά μόνιμης κατάστασης. Φωτιές μεταβατικής κατάστασης (t^2).

Βιβλιογραφία: Drysdale (1985). Evans (1988).

Σημείωση: Η κάθετη φλόγα και τα χαρακτηριστικά της στήλης της φωτιάς έχουν καλυφθεί στην πρώτη ενότητα. Σημαντική είναι η κατανόηση της κανονικοποίησης του χρόνου και των αδιάστατων παραμέτρων στις φωτιές μεταβατικής κατάστασης. Η φλόγα σε οροφή πρέπει να παρουσιαστεί με πείραμα σε μοντέλο μικρότερης κλίμακας, βασισμένο στην εικόνα 4.21 του Drysdale (1985), πείραμα 1. Στην περίπτωση που οι αναβλύζουσες φλόγες σε οροφή και οι ροές σε ανοίγματα έχουν διδαχθεί εκτενώς στην ενότητα της μηχανικής των ρευστών, χρειάζεται μόνο μια μικρή επανάληψη.

II. Τα στάδια της φωτιάς σε δωμάτιο.

Θέμα Α Βασικές έννοιες.

(U: 4 ώρες, G: 3 ώρες)

Ύλη: Ποιοτική περιγραφή της ανάπτυξης της φωτιάς σε δωμάτιο και της εξάπλωσης, για απλοποιημένα σενάρια. Παράγοντες που προετοιμάζουν το έδαφος για μια φωτιά. Το φαινόμενο της έκλαμψης. Τα τέσσερα στάδια της φωτιάς δωματίου και τα χαρακτηριστικά την πίεσης. Πλήρωση δωματίου με καπνό (χωρίς άνοιγμα). Μεταβατική προ εκλάμψεως ροή. Ημιμόνιμη, προ εκλάμψεως ροή. Το στάδιο μετά την έκλαμψη.

Βιβλιογραφία: Drysdale (1985). Κατάλληλες ερευνητικές δημοσιεύσεις (Thomas, Quintiere).

Θέμα Β Φωτιά μετά την έκλαμψη.

(U: 6 ώρες, G: 4 ώρες)

Ύλη: Εξισώσεις διατήρησης της ενέργειας και της μάζας. Έλεγχος στρώματος καυσίμων σε αντίθεση με τον έλεγχο εξαερισμού. Ποσοτικοί υπολογισμοί διατήρησης της ενέργειας και της μάζας. Υπολογισμοί κατά προσέγγιση, της μεταβολής της θερμοκρασίας αερίων σε συνάρτηση με το χρόνο.

Η σημασία του λόγου $\frac{A\sqrt{H}}{At}$.

Βιβλιογραφία: Drysdale (1985). Walton, Thomas (1988).

Θέμα Γ Η φάση της πλήρωσης με καπνό.

(U: 8 ώρες, G: 6 ώρες)

Ύλη: Ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής για πεπερασμένο όγκο ελέγχου, με εφαρμογή σε δωμάτιο με μικρό η κανένα άνοιγμα. Υπολογισμοί με το χέρι: της πίεσης, του πάχους των στρωμάτων των αερίων και της θερμοκρασίας για αδιαβατικό δωμάτιο (χρήση του πρώτου νόμου). Εναλλακτικές μέθοδοι για την παραγωγή εξισώσεων, οι οποίες να περιγράφουν την πίεση, το πάχος στρώματος και την θερμοκρασία. Αναφλεξιμότητα του άνω στρώματος.

Βιβλιογραφία: Zukoski (1978). Walton και Thomas (1988). Tanaka-Yamana (1985).

Σημείωση: Είναι σημαντικό να εξηγηθούν οι διαφορετικές προσεγγίσεις και χρήσεις των εξισώσεων διατήρησης και των όγκων ελέγχου.

Θέμα Δ Διζωνική ροή ημιμόνιμης κατάστασης σε φωτιά δωματίου.

(U: 6 ώρες, G: 6 ώρες)

Ύλη: Η αλληλεπίδραση της μεταφοράς μάζας με τη μεταφορά θερμότητας. Διάφορες μέθοδοι διαχωρισμού σε ζώνες. Εξισώσεις για, κατά προσέγγιση, υπολογισμό την θερμοκρασίας των αερίων T_g για φωτιές φυσικής και εξαναγκασμένης ροής. Κριτήρια έκλαμψης. Θερμική ανάλυση και χημική ανάλυση. Κρίσιμος λόγος ισοδυναμίας αναφλεξιμότητας. Κρίσιμη πυκνότητα ενέργειας του άνω στρώματος αερίων.

Βιβλιογραφία: Walton, Thomas (1988). Εγχειρίδιο για ένα λογισμικό όπως το CFAST.

Σημείωση: Θα ήταν χρήσιμο να γίνουν πειράματα με φωτιά σε διαμέρισμα, σε μικρότερη κλίμακα, και να συγκριθούν οι μετρήσεις με τις προβλέψεις.

Θέμα Ε Εξαερισμός καπνού και θερμότητας.

(U: 6 ώρες, G: 4 ώρες)

Ύλη: Εξαερισμός καπνού και θερμότητας. Χαρακτηριστικά πίεσης. Εξισώσεις ροής. Επιλογή μοντέλου για τη φωτιά και για τη στήλη της φωτιάς. Η πρακτική σκοπιά.

Βιβλιογραφία: Tanaka, Yamana (1985). Hinkley (1988).

Σημείωση: Εναλλακτική βιβλιογραφία για το Hinkley, είναι το πρότυπο NFPA 204 M. Πειράματα με μοντέλα, σε μικρότερη κλίμακα, είναι απαραίτητα.

Θέμα Ζ Ανακεφαλαίωση της ενότητας.

(U: 6 ώρες, G: 6 ώρες)

Ύλη: Ανακεφαλαίωση της ύλης υπό μορφή υπολογιστικών μοντέλων, όπως τα CFAST, ASK-FRS, FPE-TOOL, ASET, DSLAYV.

Βιβλιογραφία: Τα τεχνικά εγχειρίδια για τα προγράμματα της επιλογής. Η δημοσίευση της έρευνας του Duong (επαλήθευση προβλέψεων).

Σημείωση: Είναι σημαντικό το να εξασκηθεί ο φοιτητής με όσο περισσότερα υπολογιστικά μοντέλα γίνεται. Το πιο σημαντικό μοντέλο είναι πιθανότατα το CFAST.

Επίλογος.

Όπως είναι προφανές, η ύλη για αυτή την ενότητα προέρχεται από μεγάλο αριθμό πηγών, οι περισσότερες εκ των οποίων δεν είναι οι πλέον κατάλληλες για διδασκαλία. Εκτός των άλλων, η ορολογία και η βασική προσέγγιση διαφέρει από τη μια πηγή στην

άλλη. Συνεπώς, μεγάλο μέρος της ύλης πρέπει να ξαναγραφτεί από τον διδάσκοντα πριν μοιραστεί στους φοιτητές.

iv. Εργαστηριακά πειράματα.

1. Έκταση της φλόγας κάτω από την οροφή: Απόκλιση της φλόγας καυστήρα αερίου, κάτω από ένα μοντέλο οροφής διαδρόμου. Υπολογισμός μήκους φλόγας κάτω από οροφή, για διάφορες θέσεις του καυστήρα (σε γωνία, σε τοίχο, ελεύθερος στο χώρο) και διάφορες αποστάσεις. Εντοπισμός της αλλαγής από τυρβώδη φλόγα σε φλόγα οροφής.
2. Αναφλεξιμότητα και ρυθμός έκλυσης ενέργειας: Χρήση θερμιδόμετρου κώνου για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων ινοσανίδων και νοβοπάν στη φωτιά: ρυθμός έκλυσης ενέργειας, χρόνος ανάφλεξης, θερμοκρασία.
3. Εξάπλωση φλόγας σε επιφάνεια: Η μέθοδος επιφανειακής εξάπλωσης της φλόγας. Κατάδειξη της διαφοράς της οριζόντιας από την κάθετη εξάπλωση, σύμφωνα με τα πρότυπα IMO, res.A516. Υπολογισμός συντελεστή εξάπλωσης φλόγας.
4. Φωτιά διαμερίσματος: Φωτιά σε επίπεδα υλικά σε μοντέλα κλίμακας 1/3 με ινοσανίδες ή νοβοπάν στους τοίχους και την οροφή. Υπολογισμός ρυθμού έκλυσης ενέργειας, θερμοκρασίας και χρόνου μέχρι την έκλαμψη. Σύγκριση με το εργαστήριο 2.
5. CFAST: Ασκήσεις υπολογισμού με το πρόγραμμα CFAST.

v. Βιβλιογραφία:

- Babrauskas V. Burning Rates. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- Drysdale D. *An Introduction to Fire Dynamics*. John Wiley and Sons, Chichester, 1985.
- Duong. The Accuracy of Computer Fire Models: Some Comparisons With Experimental Data from Australia, *Fire Safety Journal*, v.16, n.6.
- Emmons DD. Ceiling Jet Flows *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.

- Evans DD. Ceiling Jet Flows. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- Hinkley PL. Smoke and Heat Venting. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- ISO WD5658, *Fire Tests - Reaction to Fire - Surface Spread of Flame of Building Products*, part 2, 1990.
- ISO/TC92/SC1/WG1 TR11696, *Fire Tests - Reaction to Fire - Application of Test Results to Predict Fire Performance of Building Products*, 1994.
- Quintiere JG. Surface Flame Spread. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- Tanaka T, Yamana, T. Smoke Control in Large Scale Spaces. part 1 and part 2, *Fire Science and Technology*, 1985; v.5.
- Tien CL *et al.* Radiation Heat Transfer. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- Walton WD, Thomas PH. Estimating Temperatures in Compartment Fires. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- Zukoski EE. Development of a Stratified Ceiling Layer in the Early Stages of a Closed Room Fire. *Fire and Materials*, 1978; v. 2.

2.7.3. Ενότητα τρίτη: Ενεργητική πυροπροστασία.

i. Εισαγωγή.

Ο στόχος αυτής της ενότητας είναι η κατανόηση της ανάλυσης και του σχεδιασμού των συστημάτων ενεργητικής πυροπροστασίας, τα οποία είναι εκείνα που ανταποκρίνονται κατά την εμφάνιση μιας φωτιάς. Στα συστήματα ενεργητικής πυροπροστασίας συμπεριλαμβάνονται:

- Συστήματα πυρανίχνευσης.
- Συστήματα σήμανσης.
- Αυτόματα συστήματα καταστολής πυρκαγιάς.
- Χειροκίνητα συστήματα καταστολής πυρκαγιάς.
- Συστήματα διαχείρισης καπνού.

Με την ολοκλήρωση αυτής της ενότητας, ο φοιτητής θα πρέπει να έχει την ικανότητα να:

- Αναλύει την χρησιμότητα κάθε διαφορετικού συστήματος ενεργητικής πυροπροστασίας.
- Αναλύει της καταλληλότητα των ενεργών συστημάτων για συγκεκριμένους κινδύνους.
- Θέτει κατάλληλους σχεδιαστικούς στόχους για τα ενεργά συστήματα.
- Αναλύει την απόδοση των ενεργών συστημάτων.
- Σχεδιάζει και να προσδιορίζει συστήματα ενεργής πυροπροστασίας, τα οποία να συμβαδίζουν με τα αναγνωρισμένα πρότυπα.
- Σχεδιάζει και να προσδιορίζει συστήματα ενεργής πυροπροστασίας, έτσι ώστε να επιτυγχάνονται συγκεκριμένοι σχεδιαστικοί στόχοι.

ii. Προαπαιτούμενα.

- α. Μηχανική ρευστών.
- β. Μεταφοράς μάζας και θερμότητας.
- γ. Δυναμικής της φωτιάς σε κλειστούς χώρους.
- δ. Βασικές αρχές της φωτιάς.

Σημείωση: Κάποια μέρη αυτής της ενότητας, μπορούν να διδαχθούν χωρίς την εκτενή κάλυψη της προαπαιτούμενης ύλης.

iii. Ύλη.

I. Συστήματα πυρανίχνευσης.

Θέμα Α Ανιχνεύσιμα χαρακτηριστικά πυρκαγιάς.

(U: 3 ώρες, G: 3 ώρες)

Ύλη: Χημικές και φυσικές διεργασίες της φωτιάς. Μεταβολή ενέργειας και μάζας σε φωτιά. Τύποι ανιχνεύσιμων χαρακτηριστικών της φωτιάς: αεροζόλ, αέρια, ενέργεια. Μεταφορά των ανιχνεύσιμων χαρακτηριστικών της φωτιάς – συναγωγή και ακτινοβολία. Οι συνέπειες αυτών των προϊόντων στον άνθρωπο, στις δομικές κατασκευές και στις συσκευές πυρανίχνευσης.

Βιβλιογραφία: *Fire Alarm Signaling Systems Handbook*, Ch.1. *Fire Suppression and Detection Systems*. Bryan (1986).

Θέμα Β Δυναμική πυρκαγιάς σε κλειστό χώρο.

(U: 3 ώρες, G: 3 ώρες)

Ύλη: Θέματα δυναμικής της φωτιάς σε κλειστούς χώρους, σχετικά με την πυρανίχνευση. Εξήγηση του γιατί τοποθετούνται οι ανιχνευτές στην οροφή. Ρυθμός έκλυσης ενέργειας/ρυθμός παραγωγής καπνού/ σύνθεση. Στήλη της φωτιάς- παράσυρση, συσχετισμοί θερμοκρασίας και ταχύτητας. Ταχείες ροές οροφής- συσχετισμοί θερμοκρασίας και ταχύτητας. Θερμό στρώμα αερίων- επίδραση στους συσχετισμούς της στήλης της φωτιάς και των ροών οροφής. Εμπόδια/ροή σε κανάλι.

Βιβλιογραφία: Beyler, Heskestad (1988). Evans (1988).

Θέμα Γ Συσκευές πυρανίχνευσης.

(U: 3 ώρες, G: 3 ώρες)

Ύλη: Τύποι συσκευών πυρανίχνευσης και αρχές λειτουργίας. Χαρακτηριστικά και ιδιότητες συσκευών πυρανίχνευσης. Δοκιμασίες και έγκριση συσκευών πυρανίχνευσης.

Βιβλιογραφία: *Fire Alarm Signaling Systems Handbook*, Ch. 3,11. *Fire Suppression and Detection Systems*, Ch. 10-14. Moore (1991).

Θέμα Δ Σχεδιασμός συστήματος πυρανίχνευσης.

(U: 6 ώρες, G: 6 ώρες)

Ύλη: Σχεδιαστικοί στόχοι και κριτήρια. Σχεδιαστικές παράμετροι και πρότυπα. Τοποθεσία, επιλογή αποστάσεων στη διάταξη και εγκατάσταση συσκευών πυρανίχνευσης. Αποδοχή και περιοδικός έλεγχος. Έγγραφα περί συσκευών πυρανίχνευσης.

Βιβλιογραφία: *Fire Alarm Signaling Systems Handbook*, Ch. 9, 10, 12. *Fire Suppression and Detection Systems*, Ch.. 10-14. NFPA 72E.

Θέμα Ε Ανάλυση συστημάτων πυρανίχνευσης.

(U: 6 ώρες, G: 6 ώρες)

Ύλη: Χρονική καθυστέρηση μέχρι την ανίχνευση. Χαρακτηριστικά απόδοσης συσκευών πυρανίχνευσης. Συσχετισμοί θερμοκρασίας και ταχύτητας για την στήλη της φωτιάς και τις αναβλύζουσες φλόγες οροφής. Τα μοντέλα DETACT. Η αναλογία θερμοκρασίας με την πυκνότητα καπνού. Περιορισμοί σύγχρονων τεχνικών ανάλυσης.

Βιβλιογραφία: Mowrer (1990). NFPA 72E. Schifiliti (1988).

Θέμα Ζ Συστήματα σήμανσης πυροπροστασίας.

(U: 3 ώρες, G: 3 ώρες)

Ύλη: Βασικά στοιχεία ενός συστήματος συναγερμού πυρκαγιάς. Τοπικά συστήματα, μέρη και χαρακτηριστικά. Βοηθητικά συστήματα, μέρη και χαρακτηριστικά. Συστήματα απόμακρων σταθμών, μέρη και χαρακτηριστικά. Συστήματα κεντρικών σταθμών, μέρη και χαρακτηριστικά. Ιδιωτικά συστήματα, μέρη και χαρακτηριστικά. Συστήματα επικοινωνίας έκτακτης ανάγκης (φωνής/συναγερμού). Συστήματα επικοινωνίας της πυροσβεστικής υπηρεσίας.

Βιβλιογραφία: *Fire Alarm Signaling Systems Handbook*, Ch. 2, 14. NFPA 71, 72, 72H. Wilson (1991).

II. Συστήματα αυτόματης καταστολής πυρκαγιάς.

Θέμα Α Ουσίες καταστολής και μηχανισμοί πυρόσβεσης.

(U: 3 ώρες, G: 3 ώρες)

Ύλη: Ο κύκλος ζωής της φωτιάς. Το τρίγωνο της φωτιάς. Το τετράεδρο της φωτιάς. Θεωρίες καταστολής και πυρόσβεσης. Ουσίες καταστολής και ιδιότητες.

Βιβλιογραφία: *Fire Suppression and Detection Systems*, Ch. 1-2. Friedman (1991).

Θέμα Β Συστήματα καταστολής με νερό.

(U: 18 ώρες, G: 18 ώρες)

Ύλη: Βασικά στοιχεία υδροφόρων συστημάτων πυροκαταστολής. Τύποι συστημάτων, μέρη και εφαρμογές. Χαρακτηριστικά μερών των συστημάτων. Κατηγορίες κινδύνων και κριτήρια σχεδιασμού συστημάτων. Αποστάσεις, διάταξη και τοποθέτηση των συσκευών εκροής. Μέθοδοι για διαστασιολόγηση και διάταξη σωλήνων. Υπολογισμοί υδραυλικής.

Βιβλιογραφία: *Automatic Sprinkler Systems Handbook, Automatic Sprinkler and Standpipe Systems*. Solomon (1991). Fleming (1991). Solomon (1991). Fleming (1991). Cote, Fleming (1991). Hodnett (1991). Fleming (1988).

Θέμα Γ Συστήματα καταστολής με αφρό.

(U: 3 ώρες, G: 3 ώρες)

Ύλη: Βασικά στοιχεία συστημάτων καταστολής με αφρό. Τύποι, μέρη και εφαρμογές συστημάτων. Χαρακτηριστικά των μερών των συστημάτων. Κριτήρια σχεδιασμού συστήματος. Αποστάσεις, διάταξη και τοποθέτηση των συσκευών εκροής. Μέθοδοι για διαστασιολόγηση και διάταξη σωλήνων. Υπολογισμοί υδραυλικής.

Βιβλιογραφία: *Fire Suppression and Detection Systems*, Ch. 3-4. Meldrum (1991). Hickley (1988).

Θέμα Δ Συστήματα καταστολής με διοξείδιο του άνθρακα.

(U: 3 ώρες, G: 3 ώρες)

Ύλη: Βασικά στοιχεία συστημάτων καταστολής με διοξείδιο του άνθρακα. Τύποι, μέρη και εφαρμογές συστημάτων. Χαρακτηριστικά των μερών των συστημάτων. Κριτήρια σχεδιασμού συστήματος. Αποστάσεις, διάταξη και τοποθέτηση των συσκευών εκροής. Μέθοδοι για διαστασιολόγηση και διάταξη σωλήνων. Θέματα εφοδιασμού. Θέματα ασφάλειας.

Βιβλιογραφία: *Fire Suppression and Detection Systems*, Ch. 6. NFPA 12. Wysocki (1991).

Θέμα Ε Συστήματα καταστολής με Halon.

(U: 3 ώρες, G: 3 ώρες)

Ύλη: Βασικά στοιχεία συστημάτων καταστολής με Halon. Τύποι, μέρη και εφαρμογές συστημάτων. Χαρακτηριστικά των μερών των συστημάτων. Κατηγορίες κινδύνων. Κριτήρια σχεδιασμού συστήματος. Αποστάσεις, διάταξη και τοποθέτηση των συσκευών εκροής. Μέθοδοι για διαστασιολόγηση και διάταξη σωλήνων. Θέματα εφοδιασμού.

Βιβλιογραφία: *Fire Suppression and Detection Systems*, Ch. 7. NFPA 12A, 12B. Taylor (1991). Grant (1988).

Θέμα Ζ Συστήματα καταστολής με χημικά (κόνεως ή διαλύματος).

(U: 3 ώρες, G: 3 ώρες)

Ύλη: Βασικά στοιχεία συστημάτων καταστολής με χημικά. Τύποι, μέρη και εφαρμογές συστημάτων. Χαρακτηριστικά των μερών των συστημάτων. Κριτήρια σχεδιασμού συστήματος. Αποστάσεις, διάταξη και τοποθέτηση των συσκευών εκροής.

Βιβλιογραφία: *Fire Suppression and Detection Systems*, Ch. 6. NFPA 17. Haessler (1991).

III. Χειροκίνητα συστήματα καταστολής πυρκαγιάς.

Θέμα Α Φορητοί πυροσβεστήρες.

(U: 3 ώρες, G: 3 ώρες)

Ύλη: Κατηγορίες φορητών πυροσβεστήρων. Δοκιμασίες φορητών πυροσβεστήρων. Αποστάσεις, διάταξη και τοποθεσία των συσκευών εκροής.

Βιβλιογραφία: *Fire Suppression and Detection Systems*, Ch. 2. NFPA 10. Demers (1991).

Θέμα Β Μόνιμο υδροδοτικό δίκτυο και πυροσβεστικοί σωλήνες.

(U: 3 ώρες, G: 3 ώρες)

Ύλη: Βασικά στοιχεία κατακόρυφων υδροδοτικών αγωγών και πυροσβεστικών σωλήνων. Τύποι, μέρη και εφαρμογές συστημάτων. συστημάτων. Χαρακτηριστικά των μερών των συστημάτων. Κριτήρια σχεδιασμού συστήματος. Αποστάσεις, διάταξη και τοποθέτηση των συσκευών εκροής. Μέθοδοι για διαστασιολόγηση και διάταξη σωλήνων.

Βιβλιογραφία: *Automatic Sprinkler and Standpipe Systems*, Ch. 1. NFPA 14. Shapiro (1991).

Θέμα Γ Λειτουργία της πυροσβεστικής υπηρεσίας.

(U: 3 ώρες, G: 3 ώρες)

IV. Συστήματα διαχείρισης καπνού.

Θέμα Α Παραγωγή καπνού σε πυρκαγιές.

(U: 3 ώρες, G: 3 ώρες)

Ύλη: Μέτρηση καπνού. Βαθμός παραγωγής μάζας και κλάσματα μάζας. Μοριακός βαθμός παραγωγής και μοριακά κλάσματα. Ρυθμός παραγωγής καπνού και ρυθμός έκλυσης ενέργειας. Παράσυρση. Οπτικά χαρακτηριστικά και οπτική πυκνότητα. Ο νόμος Bouguer. Οπτική πυκνότητα μάζας και ειδική οπτική πυκνότητα. Ορατότητα. Η επίδραση του αερισμού στην παραγωγή καπνού.

Βιβλιογραφία: Babrauskas. Benjamin. Heskestad.

- Θέμα Β Βασικές αρχές της κίνησης του καπνού.**
(U: 3 ώρες, G: 3 ώρες)
Ύλη: Βασικές αρχές ροής του αέρα. Διαστολή αερίων. Άνωση. Φαινόμενο καμινάδας. Τοπική θέρμανση. Συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού. Άνεμος.
Βιβλιογραφία: NISTIR 4551. Klote and Nelson (1991). Klote (1988). Marchant (1984).
- Θέμα Γ Βασικές αρχές ελέγχου του καπνού.**
(U: 3 ώρες, G: 3 ώρες)
Ύλη: Στόχοι του ελέγχου του καπνού. Μέθοδοι ελέγχου καπνού. Παθητικές μέθοδοι ελέγχου καπνού. Ενεργητικές και μηχανικά υποβοηθούμενες μέθοδοι ελέγχου καπνού. Αντίθετη ροή αέρα. Αύξηση πίεσης στο κλιμακοστάσιο. Έλεγχος καπνού σε ζώνες. Απαγωγή καπνού.
Βιβλιογραφία: NFPA 92A. Heskestad (1991).
- Θέμα Δ Συστήματα αύξησης πίεσης σε κλιμακοστάσιο.**
(U: 3 ώρες, G: 3 ώρες)
Ύλη: Συστήματα μιας δόσης. Συστήματα πολλαπλών δόσεων. Διαμερισματοποίηση κλιμακοστασίου. Διαχωριστικοί θάλαμοι. Μέθοδοι ενεργοποίησης.
- Θέμα Ε Συστήματα ελέγχου καπνού σε ζώνες.**
(U: 3 hours, G: 3 hours)
Ύλη: Τύποι λειτουργίας. Απαιτήσεις εξαερισμού. Μέθοδοι ανάλυσης. Μέθοδοι ενεργοποίησης.
- Θέμα Ζ Διαχείριση καπνού για μεγάλους χώρους.**
(U: 3 ώρες, G: 3 ώρες)
Ύλη: Απαιτήσεις εξαερισμού. Φυσικός εξαερισμός από ανοίγματα οροφής και τοίχων. Μηχανικά συστήματα απαγωγής καπνού. Διαστρωμάτωση. Μέθοδοι ενεργοποίησης.
Βιβλιογραφία: NFPA 92B.
- Θέμα Η Δοκιμασίες συστημάτων ελέγχου καπνού.**
(U: 3 ώρες, G: 3 ώρες)
Ύλη: Δοκιμασίες ευρείας κλίμακας. Μέθοδοι προσομοίωσης. Εξοπλισμός μετρήσεων και διατάξεις έλεγχου.

Βιβλιογραφία: NBSIR 87-3660.

iv. Βιβλιογραφία:

- *Automatic Sprinkler and Standpipe Systems.*
- *Automatic Sprinkler Systems Handbook.*
- Babrauskas. *Applications of Predictive Smoke Measurements.*
- Benjamin. *The Challenge of Smoke.*
- Beyler. Fire Plumes and Ceiling Jets, *Fire Safety Journal.*
- Bryan. Damageability of Buildings, *Fire Safety Journal*, 1986; 11.
- Cote AE, Fleming RP. Fast Response Sprinkler Technology. *Fire Protection Handbook.* NFPA, 1991.
- Demers DP. Selection, Operation, Distribution and Maintenance of Fire Extinguishers. *Fire Protection Handbook.* NFPA, 1991.
- Evans DD. Ceiling jet flows. *SFPE Handbook.* Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- *Fire Alarm Signaling Systems Handbook.*
- *Fire Suppression and Detection Systems.*
- Fleming RP. Automatic Sprinkler Systems Calculations. *SFPE Handbook.* Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- Fleming RP. Automatic Sprinklers. *Fire Protection Handbook.* NFPA, 1991.
- Fleming RP. Theory of Automatic Sprinkler Performance. *Fire Protection Handbook.* NFPA, 1991.
- Friedman R. Theory of Fire Extinguishment. *Fire Protection Handbook.* NFPA, 1991.
- Grant C. Halon Design Calculations. *SFPE Handbook.* Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- Haessler WM. Dry Chemical Agents and Application Systems. *Fire Protection Handbook.* NFPA, 1991.
- Heskestad G. *Engineering Relations for Fire Plumes.*
- Heskestad G. Fire Plumes. *SFPE Handbook.* Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- Heskestad G. Venting Practices. *Fire Protection Handbook.* NFPA, 1991.
- Hickley HE. Foam System Calculations. *SFPE Handbook.* Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.

- Hodnett R. Care and Maintenance of Water-Based Extinguishing Systems. *Fire Protection Handbook*. NFPA, 1991.
- Klote JH. Smoke Control. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- Marchant. Effect of Wind, *Fire Safety Journal*, 1984;7.
- Meldrum DN. Foam Extinguishing Agents and Systems. *Fire Protection Handbook*. NFPA, 1991.
- Moore W. Automatic Fire Detectors, *Fire Protection Handbook*. NFPA, 1991.
- Mowrer. Lag Times Associated. *Fire Technology*, 1990.
- NBSIR 87-3660. NFPA 10, 12,12A, 12B,14,17,71, 72, 72H, 1221, 72E, 92A,92B. NISTIR 4551.
- Klote JH, Nelson HE. Smoke Movement in Buildings. *Fire Protection Handbook*. NFPA, 1991.
- Schifiliti RP. Design of Detection Systems. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- Shapiro J. Standpipe and Hose Systems. *Fire Protection Handbook*. NFPA, 1991.
- Solomon R. Automatic Sprinkler Systems. *Fire Protection Handbook*. NFPA, 1991.
- Solomon R. Water Supplies for Sprinkler Systems. *Fire Protection Handbook*. NFPA, 1991.
- Taylor G. Halogenated Agents and Systems. *Fire Protection Handbook*. NFPA, 1991.
- Wilson D. Protective Signaling Systems. *Fire Protection Handbook*. NFPA, 1991.
- Wilson D. Waterflow Alarms and Sprinkler System Supervision. *Fire Protection Handbook*. NFPA, 1991.
- Wysocki TJ. Carbon Dioxide and Application Systems. *Fire Protection Handbook*. NFPA, 1991.

2.7.4. Ενότητα τέταρτη: Παθητική πυροπροστασία.

i. Εισαγωγή.

Ο πρωταρχικός σκοπός αυτής της ενότητας είναι η κατανόηση της παραδοσιακής προσέγγισης στο σχεδιασμό, με πρακτικές από τον καθιερωμένο κώδικα κανονισμών, όσον αφορά στα θέματα δομικής πυροπροστασίας για κτηριακές κατασκευές. Ένας δεύτερος στόχος, είναι να αναπτυχθεί η κατανόηση των εννοιών που σχετίζονται με την ορθολογική σχεδίαση των δομικών στοιχείων ενός κτηρίου, με βάση την θερμική και

ενεργειακή απόκριση σε πυρκαγιά πλήρους ανάπτυξης. Στην ενότητα αυτή, καλύπτονται τα παρακάτω αντικείμενα:

- Η ανατομία μιας κτηριακής εγκατάστασης.
- Χαρακτηριστικά της κτηριακής εγκατάστασης, τα οποία επηρεάζουν την απόδοση, σε μια πυρκαγιά.
- Βασικοί κανόνες ανάγνωσης σχεδίων και προδιαγραφών.
- Η παραδοσιακή προσέγγιση της πυροπροστασίας με τον κώδικα κανονισμών βάσει οδηγιών.
- Έννοιες της ορθολογικής σχεδίασης πυροπροστασίας για δομικά στοιχεία.

Με την ολοκλήρωση αυτής της ενότητας, ο φοιτητής θα πρέπει να μπορεί να:

- Περιγράφει τα βασικά μέρη ενός κτηρίου και το πώς χτίζονται.
- Αναγνωρίζει τους τομείς ενός κτηρίου, στους οποίους παρουσιάζονται προβλήματα σχετικά με την διάδοση μιας πυρκαγιάς.
- Διαβάζει τα σχέδια και τις προδιαγραφές ενός κτηρίου.
- Περιγράφει τις καθιερωμένες μεθόδους δοκιμασιών πυρκαγιάς, να παρουσιάζει τα αποτελέσματά τους και να αναγνωρίζει τα πλεονεκτήματα, αλλά και τους περιορισμούς των πρότυπων δοκιμασιών.
- Διαλέγει τις απαιτούμενες προδιαγραφές πυροπροστασίας, για ένα σχεδιασμό κτηρίου με βάση τους κανονισμούς.
- Περιγράφει τις βασικές έννοιες της ορθολογικής σχεδίασης πυροπροστασίας για τα βασικά δομικά στοιχεία.

ii. Προαπαιτούμενα.

α. Στατική μηχανική.

β. Αντοχή υλικών.

γ. Για την κατανόηση των βασικών εννοιών της ορθολογικής σχεδίασης πυροπροστασίας κτηρίων, ο φοιτητής πρέπει να έχει ολοκληρώσει το αντικείμενο της ανάπτυξης της πυρκαγιάς σε κλειστό χώρο μετά την έκλαμψη.

iii. Ύλη της ενότητας.

I. Βασικές αρχές της κατασκευής κτηρίων.

Θέμα Α Η ανατομία των κτηρίων.

(U: 8 ώρες, G: 6 ώρες)

Ύλη: Η διαδικασία σχεδίασης και κατασκευής. Αρχιτεκτονική σχεδίαση. Συστήματα δομικών σκελετών. Εσωτερικά χωρίσματα και αλεξίπτρα φράγματα. Εξωτερικοί τοίχοι. Μηχανικά και ηλεκτρικά συστήματα. Συστήματα μετακίνησης ανθρώπων. Συστήματα πυροπροστασίας.

Βιβλιογραφία: Για άτομα, τα οποία δεν είναι ειδικοί στην *μηχανική* των κατασκευών, δεν υπάρχουν κάπου συγκεντρωμένα τα πολυάριθμα άρθρα, τα οποία είναι απαραίτητα για την κάλυψη του θέματος. Μέχρι να συγγραφεί ένα τέτοιο βιβλίο για ΜΠ, ο καθηγητής θα πρέπει να επιλέξει αποσπάσματα από διάφορα βιβλία για κάθε θέμα. Ως εισαγωγή, μπορεί κάποιος να ξεκινήσει από το: Gewain, Jeans (1991).

Θέμα Β Ανάγνωση σχεδίων και προδιαγραφών.

(U: 3 ώρες, G: 3 ώρες)

Ύλη: Η οργάνωση ενός ολοκληρωμένου συνόλου κατασκευαστικών σχεδίων. Ανάγνωση των σχεδίων και αποκόμιση των ειδικών πληροφοριών που χρειάζονται για την πυρασφάλεια. Η οργάνωση των προδιαγραφών και ο ρόλος τους στην κατασκευαστική διαδικασία. Η χρήση των προδιαγραφών για τον προσδιορισμό κατασκευαστικών λεπτομερειών σχετικών με την πυρασφάλεια.

II. Παραδοσιακές μέθοδοι με χρήση του κώδικα κανονισμών.

Θέμα Α Κτηριακοί κανονισμοί.

(U: 2.5 ώρες, G: 1.5 ώρα)

Ύλη: Μορφή και δομή των κτηριακών κανονισμών. Διοικητικά και εκτελεστικά θέματα σχετικά με τους κανονισμούς. Χρήση και πληθυσμός. Τύποι κατασκευής, ύψος και εμβαδόν. Μετατροπές. Το σκεπτικό των απαιτήσεων του κώδικα κανονισμών.

Βιβλιογραφία: Κώδικας κανονισμών ανάλογα με την χώρα. Το σκεπτικό των κανονισμών είναι δύσκολο να βρεθεί σε βιβλίο, αλλά το Babrauskas, Williamson (1978), είναι μια καλή αρχή. Τα άρθρα των Ingberg, Culver και Issen προσφέρουν επιπρόσθετες πληροφορίες. Cote (1991). Gewain, Jeans (1991). American Iron and Steel Institute.

Θέμα Β Δοκιμασίες πυρκαγιάς για δομικά στοιχεία.

(U: 2 ώρες, G: 1 ώρα)

Ύλη: Πρότυπες δοκιμασίες πυρκαγιάς για δομικά στοιχεία, πόρτες και παράθυρα. Επισήμανση των πλεονεκτημάτων αλλά και των περιορισμών των δοκιμασιών, σε σχέση με την συμπεριφορά της απόδοσης.

Βιβλιογραφία: Οι αντίστοιχες δοκιμασίες στοιχείων ISO ή άλλων αρμόδιων αρχών. Fitzgerald (1991).

Θέμα Γ Ορθολογική σχεδίαση πυροπροστασίας βάσει απόδοσης.

Θέμα Γ1 Ανασκόπηση δομικής συμπεριφοράς.

(G: 8 ώρες)

Ύλη: Κριτήρια θραύσης. Ελαστική συμπεριφορά δοκών. Στύλοι και πλαίσια. Ανελαστική συμπεριφορά. Δομικές ιδιότητες σε υψηλές θερμοκρασίες.

Βιβλιογραφία: Οποιοδήποτε από τα καθιερωμένα συγγράμματα μεταλλικού δομικού σχεδιασμού. Οποιοδήποτε από τα καθιερωμένα συγγράμματα ανελαστικού σχεδιασμού.

Θέμα Γ2 Μεταλλικές δοκοί χωρίς μόνωση.

(G: 7 ώρες)

Ύλη: Ανασκόπηση πυρκαγιών σε κλειστό χώρο μετά την έκλαμψη. Διατήρηση της θερμότητας. Γεωμετρία. Συντελεστής εκπομπής. Θερμοκρασία χάλυβα. Κριτήρια θραύσης. Κρίσιμο φορτίο βάσει τύπου φορτίου και χαρακτηριστικών υποστήριξης. Η επίδραση της θερμικής κατατομής, του σχήματος και των αξονικών και εγκάρσιων περιορισμών στα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς. Παραδοχές και περιορισμοί.

Βιβλιογραφία: Pettersson *et al.* (1976).

Θέμα Γ3 Μονωμένες μεταλλικές δοκοί.

(G: 1.5 ώρες)

Ύλη: Διατήρηση θερμότητας. Θερμικές ιδιότητες μόνωσης. Γεωμετρία. Θερμοκρασία χάλυβα. Κρίσιμο φορτίο. Συμπεριφορά, παραδοχές και περιορισμοί.

Βιβλιογραφία: Pettersson *et al.* (1976).

Θέμα Γ4 Μεταλλικές δοκοί και προστασία οροφής με μεμβράνη.

(G: 1.5 ώρα)

Ύλη: Συμπεριφορά οροφής. Διατήρηση θερμότητας. Θερμοκρασία χάλυβα. Κρίσιμο φορτίο. Συμπεριφορά, παραδοχές και περιορισμοί.

Βιβλιογραφία: Pettersson *et al.* (1976).

Θέμα Γ5 Μεταλλικοί στύλοι.

(G: 6 ώρες)

Ύλη: Συμπεριφορά στύλων υπό φυσιολογικές θερμοκρασίες. Περιγραφή συμπεριφοράς στύλων υπό υψηλές θερμοκρασίες. Αναλυτικό φορτίο λυγισμού σε υψηλές θερμοκρασίες (ελεύθερη διαστολή). Μεταβολές για το διαμήκη περιορισμό των στύλων. Κρίσιμο φορτίο λυγισμού για, μονωμένους και μη, στύλους. Συμπεριφορά, παραδοχές και περιορισμοί.

Θέμα Γ6 Δομική συμπεριφορά οπλισμένου σκυροδέματος.

(G: 3 ώρες)

Ύλη: Κριτήρια θραύσης. Σχεδιαστικές έννοιες για απλό σχέδιο. Σχέδιο οριακής κατάστασης. Ανακατανομή ροπών. Ιδιότητες υλικών σε υψηλές θερμοκρασίες. Θερμικές ιδιότητες.

Θέμα Γ7 Δοκοί οπλισμένου σκυροδέματος.

(G: 3 ώρες)

Ύλη: Ισοθερμικά διαγράμματα. Συνθήκες υποστήριξης. Θερμικοί περιορισμοί. Συμπεριφορά, παραδοχές και περιορισμοί.

Θέμα Γ8 Μονο- και διέρειστες πλάκες.

(G: 2 ώρες)

Ύλη: Κατανομή θερμοκρασίας. Συνθήκες υποστήριξης. Θερμικοί περιορισμοί. Ποιοτική περιγραφή της συμπεριφοράς υπό υψηλές θερμοκρασίες. Συμπεριφορά, παραδοχές και περιορισμοί.

- Θέμα Γ9 Στύλοι.**
(G: 2 ώρες)
Ύλη: Συμπεριφορά στύλων υπό φυσιολογικές συνθήκες. Ποιοτική περιγραφή συμπεριφοράς σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Θέμα Γ10 Κατασκευή από ξύλο.**
(G: 6 ώρες)
Ύλη: Καρβούνιασμα. Θερμικές και δομικές ιδιότητες σε υψηλές θερμοκρασίες. Υπολογισμοί μείωσης επιφάνειας για διαδοκίδες, δοκούς και στύλους. Ειδικά προβλήματα κατασκευής με ξύλο (π.χ. δικτύωμα, σύνδεσμοι, σύνθετη ξυλεία από συγκολλημένα πλανίδια ξύλου κτλ.).
- Θέμα Γ11 «Ισοδύναμη», με τις παραδοσιακές προδιαγραφές, αντοχή στη φωτιά.**
(G: 5 ώρες)
Ύλη: Η ιστορία των «ισοδυναμιών». Ευρωπαϊκή «ισοδυναμία». Μέθοδοι αναλυτικού υπολογισμού, για την εξαγωγή του ίδιου αποτελέσματος αντοχής, με αυτό των πρότυπων δοκιμασιών.

iv. Βιβλιογραφία:

- American Iron and Steel Institute, *Fire Protection Through Modern Building Codes*.
- Babrauskas, Williamson. The Historical Basis of Fire Resistance Testing, Parts I and II. *Fire Technology*, 1978.
- Cote AE. Building and Fire Codes and Standards. *Fire Protection Handbook*. NFPA, 1991.
- Fitzgerald RW. Structural Integrity During Fire. *Fire Protection Handbook*, NFPA, 1991.
- Gewain R, Jeans D. Building Construction. *Fire Protection Handbook*. NFPA, 1991.
- Gewain R, Jeans D. Classification of Building Construction. *Fire Protection Handbook*, NFPA, 1991.
- Pettersson O, Magnusson SE, Thor J. *Fire Engineering Design of Structures*, Swedish Institute of Steel Construction, 1976.

2.7.5. Ενότητα πέμπτη: Ανθρώπινη συμπεριφορά και πυρκαγιά.

i. Εισαγωγή.

Υπάρχουν πολλά ζητήματα, όσον αφορά στη σχέση του ανθρώπου με τη φωτιά. Οι άνθρωποι προξενούν φωτιές, είτε κατά λάθος, είτε από πρόθεση. Επίσης, οι άνθρωποι γίνονται θύματα της φωτιάς, όταν δεν μπορούν να διαφύγουν την θερμότητά και τον καπνό της. Η μετακίνηση των ανθρώπων, είναι ένα από τα κύρια θέματα μελέτης για τους ΜΠ. Επίσης, η διευκόλυνση του έργου των πυροσβεστών, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, σε ένα σχεδιασμό πυροπροστασίας. Είναι σημαντικό το να μπορούν να εισέλθουν σε φλεγόμενα κτήρια για να διατελέσουν το έργο της καταστολής και του εντοπισμού των ανθρώπων. Αρκετά θέματα στη διδασκαλία του ανθρώπινου παράγοντα, για ένα ΠΣ ΜΠ, μπορούν να συνοψισθούν, μέσω των παρακάτω ερωτήσεων, τις οποίες ο φοιτητής θα πρέπει να μπορεί να απαντήσει:

1. Πως αντιδρούν οι άνθρωποι στην έναυση της φωτιάς;
2. Πως αποδρούν οι άνθρωποι από μια φωτιά;
4. Πως καταπολεμούν οι άνθρωποι μια φωτιά;
5. Πως γίνονται οι άνθρωποι θύματα μιας φωτιάς;

Σε αυτή την ενότητα, γίνεται μια προσπάθεια να συγκεντρωθούν, όλα τα επί μέρους θέματα που συγκροτούν το κυρίως θέμα. Περιγράφεται το ποιές γνώσεις θα πρέπει να έχουν οι φοιτητές όταν ξεκινάν μια μελέτη στον τομέα ΜΠ. Επίσης, καλύπτονται τα ειδικά θέματα, όσον αφορά στο θέμα ανθρώπινη συμπεριφορά και φωτιά.

i. Προαπαιτούμενα.

Οι περισσότεροι φοιτητές *μηχανικής* ή άλλων επιστημών, δεν είναι απαραίτητο να έχουν ολοκληρώσει κάποιο μάθημα ψυχολογίας. Αυτή η ενότητα αναμένεται ότι θα είναι η πρώτη επαφή των φοιτητών με το αντικείμενο.

ii. Ύλη της ενότητας.

I. Στοιχεία.

Θέμα Α Ανθρώπινη συμπεριφορά σε πυρκαγιές και άλλες καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης.

Θέμα Α1 Συμπεριφορική αντίδραση των ανθρώπων.

(U: 5 ώρες, G: 3 ώρες)

Ύλη: Συναίσθηση των σημάτων. Συμπεριφορά των ενοίκων. Μελέτες συμπεριφορικών αποκρίσεων σε πραγματικές πυρκαγιές. Προσαρμοστική και μη προσαρμοστική συμπεριφορά. Μετακίνηση ανθρώπων μέσα σε καπνό. Ανάπηροι ή ανήμποροι ένοικοι.

Βιβλιογραφία: Pauls (1988). Canter (1980).

Θέμα Α2 Επίδραση επικίνδυνων ουσιών, οι οποίες αποτρέπουν την διαφυγή και προκαλούν τραυματισμό ή θάνατο.

(U: 6 ώρες, G: 4 ώρες)

Ύλη: Δύο βασικές απόψεις για το γιατί η τοξικότητα του καπνού φαίνεται να μεγαλώνει ως πρόβλημα όσο περνάει ο καιρός: η προσέγγιση με βάση τα υλικά και η προσέγγιση με βάση τα προϊόντα της καύσης. Η τοξικότητα ως μέρος του συνόλου των κινδύνων της πυρκαγιάς. Σχέσεις δόσης-απόκρισης και εκτίμηση δόσης για τον υπολογισμό της τοξικότητας. Προϊόντα της φωτιάς που προκαλούν ερεθισμό. Έκθεση θυμάτων στη θερμότητα της φωτιάς. Σενάρια πυρκαγιάς και αδρανοποίησης θυμάτων. Δοκιμασίες τοξικότητας.

Βιβλιογραφία: Jin (1989). Levin (1984). Bryan (1977).

Θέμα Β: Ανθρώπινη δραστηριότητα και πυρκαγιά.

(U: 3 ώρες, G: 2 ώρες)

Ύλη: Η σχέση των ανθρώπων με την έναυση πυρκαγιάς. Τυχαία και εσκεμμένη πρόκληση φωτιάς. Συμπεριφορά έναυσης πυρκαγιάς.

Βιβλιογραφία: Vreeland (1978). Scott (1974).

II. Σύνθεση.

Θέμα Α Διαφυγή.

Θέμα Α1 Θέματα ψυχολογίας και φυσιολογίας σχετικά με τη διαφυγή, συμπεριλαμβανομένης και της μετακίνησης των ανθρώπων σε κτήρια υπό φυσιολογικές συνθήκες και υπό συνθήκες εκτάκτου ανάγκης.

(U: 8 ώρες, G: 6 ώρες)

Ύλη: Η γνώση αυτού του αντικειμένου είναι πολλή σημαντική για την κατανόηση του τρόπου ανάλυσης των κινδύνων για τους ανθρώπους σε μια φωτιά. Η λίστα των επί μέρους θεμάτων είναι η ακόλουθη:

- α) Συμπεριφορά και διαχείριση πλήθους.
- β) Ασφάλεια στην μετακίνηση και σχεδιασμός διαδρομών κυκλοφορίας.
- γ) Διαδικασία εκκένωσης για ψηλά κτήρια.
- δ) Χρονικά κριτήρια εκκένωσης.
- ε) Μέθοδοι υπολογισμού χρόνου εκκένωσης.
- ζ) Μοντέλα υπολογιστικών προσομοιώσεων για την μετακίνηση ανθρώπων.

Αυτά τα θέματα αποτελούν τη βάση για το ορθολογικό σχεδιασμό ενός κώδικα κανονισμών βάσει απόδοσης για την έξοδο και την διαφυγή.

Θέμα Α2 Συστήματα επικοινωνίας και σήματα έκτακτης ανάγκης.

(U: 3 ώρες, G: 1 ώρα)

Ύλη: Η ανάγκη για σχεδιασμό πληροφοριακών συστημάτων επικοινωνίας για καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης και ο τρόπος σχεδιασμού τους, συμπεριλαμβανομένου του βαθμού ακουστικότητας και του βαθμού καθαρότητας των οδηγιών έκτακτης ανάγκης και των πινακίδων. Προειδοποιήσεις για εύφλεκτα υλικά ή προϊόντα και το πώς εξασφαλίζεται η ασφαλής χρήση τους.

Βιβλιογραφία: Collins (1990).

Θέμα Α3 Σχεδίαση οδεύσεων διαφυγής.

(U: 4 ώρες, G: 2 ώρες)

Ύλη: Αλληλεπίδραση και σχετική σημασία των στοιχείων, τα οποία συνθέτουν τον σχεδιασμό οδεύσεων διαφυγής. Η ύλη αυτού του θέματος, είναι πολύ σχετική με τα προηγούμενα αντικείμενα. Συμπεριλαμβάνοντας και το θέμα της κίνησης και του έλεγχου του καπνού, η ύλη σχετίζεται επίσης με τη δυναμική της φωτιάς, την ενεργητική και την παθητική πυροπροστασία και τις βασικές αρχές της φωτιάς.

Βιβλιογραφία: Kendik (1986). Kendik (1988). Kendik (1983).

Θέμα Α4 Η επίδραση της εκπαίδευσης πυρασφάλειας.

(U: 3 ώρες, G: 1 ώρα)

Ύλη: Στόχοι και ύλη προγραμμάτων εκπαίδευσης σε θέματα πυρασφάλειας.

Θέμα Β Ανάλυση σεναρίων φωτιάς στα οποία εμπλέκονται άνθρωποι.

(U: 16 ώρες, G: 12 ώρες) [Εργαστήρια]

Ύλη: Η χρήση των σεναρίων πυρκαγιάς για την ανάλυση της πυροπροστασίας, γίνεται ολοένα και πιο ευρέως αποδεκτή. Ένα σενάριο πυρκαγιάς είναι μια γενικευμένη περιγραφή μιας φωτιάς που συμπεριλαμβάνει τις συνθήκες προ της φωτιάς, την ίδια την φωτιά και την επακόλουθη συμπεριφορά των ανθρώπων και των συστημάτων πυροπροστασίας. Σύμφωνα με τον Williamson, μπορεί να βασίζονται είτε σε πραγματικές είτε σε θεωρητικές πυρκαγιές. Τα σενάρια πυρκαγιάς, έχουν πλέον αναδειχθεί σε σημαντικότατο εργαλείο για την ανάλυση κινδύνων πυρκαγιάς όσον αφορά στον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία κτηρίων, αεροπλάνων και άλλων εγκαταστάσεων. Η ανάλυση των σεναρίων πυρκαγιάς είναι ανάλογη με τη χρήση της μεθόδου των "υποθέσεων" στις νομικές ή εμπορικές σχολές, καθώς επιτρέπει την εστίαση σε γενικές ή ειδικές, καλά προσδιορισμένες καταστάσεις (αν και μερικές φορές υποθετικές). Για τη διδασκαλία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξέλιξη μιας σειράς σεναρίων καθ' όλη τη διάρκεια των επί μέρους θεμάτων. Είναι επίσης εφικτό, να ζητείται από τους φοιτητές να συμμετέχουν σε διάφορες φάσεις της ανάπτυξης σεναρίων. Για παράδειγμα, μπορούν να συμμετέχουν στις συνεντεύξεις των εμπλεκόμενων ανθρώπων και μαρτύρων και στην καταγραφή της χρονικής συνέχειας γεγονότων. Αυτός είναι ένας από τους πιο σημαντικούς τρόπους, για τους φοιτητές της *MPI*, να μελετήσουν τα πολύπλοκα θέματα που ανακύπτουν στη συμπεριφορά των ανθρώπων κατά την πυρκαγιά. Μπορούν επίσης να γίνουν οι απαραίτητες συνδέσεις με θέματα των βασικών αρχών της φωτιάς, της δυναμικής της φωτιάς και της ενεργητικής και παθητικής πυροπροστασίας.

Βιβλιογραφία: National Materials Advisory Board (1980). Williamson (1993).

iv. Βιβλιογραφία:

- Bryan JL. *Smoke As a Determinant of Human Behavior in Fire Situations: Project People*. National Bureau of Standards, Washington, 1977.
- Canter D. *Fires and Human Behavior*. Wiley, London, 1980.
- Collins BL, Dahir,MS, Madrzykowski, D. *Evaluation of Exit Sign in Clear and Smoke Conditions*. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1990.

- Jin T, Yamada T. Experimental Study of Human Behavior in Smoke Filled Corridors. *Fire Safety Science Proceedings of the Second International Symposium*. Hemisphere Publishing Corp., New York, NY, 1989.
- Kendik E. Determination of the Evacuation Time Pertinent to the Projected Area Factor in the Event of Total Evacuation of High-rise Office Buildings Via Staircases. *Fire Safety Journal*, 1983; v. 5.
- Kendik E. Methods of Design for Means of Egress: Towards a Quantitative Comparison of National Code Requirements. *Fire Safety Science Proceedings of the 1st International Symposium*. Hemisphere Publishing Corp., New York, NY 1986.
- Kendik E. Means of Escape - 1988. How Close Are We to Modeling Egress from Buildings in Fire? *Fire and Materials*, 1988; v. 13.
- Levin BM. Human Behavior in Fire: What We Know Now. *SFPE Technology Report* 1984; 84.
- National Materials Advisory Board. *Fire Safety Aspects of Polymeric Materials - Fire Dynamics and Scenarios*. National Academy of Sciences, Washington, 1980.
- Pauls J. Movement of People. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- Scott D. *The Psychology of Fire*. Scribner's, New York, NY, 1974.
- Vreeland RB, Waller MB. *The Psychology of Firesetting; a Review and Appraisal*. National Bureau of Standards, Washington, 1978.
- Williamson RB, Dembsey NA. Advances in Assessment Methods for Fire Safety. *Fire Safety Journal*, 1993; v. 20.

2.8. Περιγραφή της ύλης των εφαρμοσμένων ενότητων.

2.8.1 Ενότητα πρώτη: Ανάλυση και διαχείριση κινδύνων για πυρκαγιές και εκρήξεις. Σχεδιασμός βάσει απόδοσης.

i) Εισαγωγή.

Ο στόχος αυτής της ενότητας είναι να μεταδώσει την γνώση της διαχείρισης κινδύνων, η οποία αποτελείται από την εκτίμηση κινδύνων, την ανάλυση για τη λήψη αποφάσεων και τα οικονομικά, τα οποία σχετίζονται με τη λήψη αποφάσεως. Παρόλο που η έμφαση είναι οι πυρκαγιές και οι εκρήξεις, οι ίδιες τεχνικές έχουν εφαρμογή σε πολλούς άλλους τομείς της ανάλυσης και διαχείρισης κινδύνου. Το πλαίσιο της ενότητας είναι αρκετά μεγάλο, έτσι ώστε να περιλαμβάνει, εκτός από τον τεχνικό τομέα της

εκτίμησης κινδύνων, και εφαρμογές σχετικές με τη λήψη αποφάσεων για κοινωνικά, οικονομικά και επιχειρηματικά θέματα. Το τελευταίο θέμα, είναι οι κανονισμοί πυροπροστασίας με βάση την απόδοση.

ii. Προαπαιτούμενα.

Είναι σημαντική η γνώση στατιστικής και πιθανοτήτων. Γνώσεις σε κάποιο τομέα σχεδιασμού για μηχανικούς και η γνώση της δομής μιας επιχείρησης είναι επιθυμητά, αλλά όχι απαραίτητα.

iii. Ύλη της ενότητας.

Θέμα Α Έννοιες διαχείρισης κινδύνων.

(U: 9 ώρες, G: 6 ώρες)

Ύλη: Η διαφορά μεταξύ των κινδύνων και του βαθμού επικινδυνότητας. Οργάνωση επιχειρήσεων και λήψη αποφάσεων. Ο ρόλος της ανάλυσης κινδύνου. Ο ρόλος της διαχείρισης κινδύνου. Οικονομικά θέματα. Θέματα χρονικών περιορισμών. Συνέπειες, αβεβαιότητα και αποστροφή κινδύνου. Προσδιορισμός των εναλλακτικών δράσεων. Αποδοχή κινδύνου, μεταφορά κινδύνου και μείωση κινδύνου. Η σχετική τους αναλογία. Εισαγωγή στην ανάλυση λήψεων αποφάσεων. Τα οικονομικά που σχετίζονται με την πληροφορία.

Βιβλιογραφία: Head, Horn, Ch. 1-6. Samson, Ch. 1. Henley, Kumamoto Ch. 1.

Θέμα Β Εκτίμηση κινδύνων.

Θέμα Β1 Προσδιορισμός κινδύνων.

(U: 3 ώρες, G: 2 ώρες)

Ύλη: Τομείς πιθανής απώλειας. Προκαταρτική ανάλυση κινδύνων. Προσδιορισμός χρονικής διαδοχής γεγονότων στα ατυχήματα. Κατάσταση αστοχίας και ανάλυση παραγόντων. Ανάλυση αιτίας και επίπτωσης. Ανάλυση κρισιμότητας.

Βιβλιογραφία: American Institute of Chemical Engineers, Ch. 1,2. Henley, Kumamoto Ch. 1.

Θέμα Β2 Εκτίμηση βαθμού επικινδυνότητας.

(U: 3 ώρες, G: 3 ώρες)

Ύλη: Δέντρο γεγονότων. Δέντρο αστοχίας. Δέντρο επιτυχίας. Εναλλακτικές μέθοδοι δικτύων.

Βιβλιογραφία: American Institute of Chemical Engineers, Ch. 3, Appendix D. Henley, Kumamoto Ch.2.

Θέμα Β3 Ποσοτικοποίηση.

(U: 6 ώρες, G: 4 ώρες)

Ύλη: Ανασκόπηση μαθηματικών τεχνικών για την ανάλυση πιθανοτήτων. Αντικειμενικές τεχνικές πιθανοτήτων. Υποκειμενικές τεχνικές πιθανοτήτων. Στατιστικές βάσεις δεδομένων. Επιλογή κριτηρίων μέτρησης βαθμού επικινδυνότητας. Υπολογισμός βαθμού επικινδυνότητας. Αποδεκτά όρια. Ευαισθησία. Αξιοπιστία.

Βιβλιογραφία: American Institute of Chemical Engineers, Ch. 4, 5, App. E, F, G, H. Henley, Kumamoto, Ch. 4 - 9.

Θέμα Β4 Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων.

(U: 9 ώρες, G: 6 ώρες)

Ύλη: Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων. Τεχνικές προσομοίωσης. Ειδικά συστήματα. Τεχνητή νοημοσύνη.

Βιβλιογραφία: Samson, Ch. 14.

Θέμα Β5 Ανάλυση αποφάσεων.

(U: 4 ώρες, G: 3 ώρες)

Ύλη: Δομή του προβλήματος. Οι ανάγκες του υπευθύνου αποφάσεων. Μεροληψία και ωφέλεια. Πολυπαραγοντικές συναρτήσεις. Πολυδιάστατες συναρτήσεις. Η αξία της πληροφορίας.

Βιβλιογραφία: Samson, Ch. 2, 3, 5, 6, 7, 10, 11. Ramachandran (1988).

Θέμα Β6 Διαχείριση κινδύνου.

(U: 3 ώρες, G: 2 ώρες)

Ύλη: Διαχείριση έργων. Προσδιορισμός των στόχων, των αναγκών του χρήστη και του αποδεκτού ορίου επικινδυνότητας. Ανάπτυξη προγραμμάτων διαχείρισης κινδύνου.

Βιβλιογραφία: Head, Horn.

Θέμα Γ: Σχεδιασμός βάσει απόδοσης.

(U: 8 ώρες, G: 6 ώρες)

Ύλη: Η γενική ιδέα του σχεδιασμού με βάση την απόδοση, όσον αφορά στην πυροπροστασία κτηρίων. Ιστορικές εξελίξεις. Στοιχεία ενός συστήματος πυροπροστασίας. Στόχοι και κριτήρια. Ποιοτική ανασκόπηση του σχεδιασμού. Χαρακτηρισμός κτηρίου και πληθυσμού. Προσδιοριστικές μέθοδοι σχεδιασμού. Πιθανολογικές μέθοδοι σχεδιασμού. Μέθοδοι με υποσυστήματα.

Βιβλιογραφία: BSI Draft Code (1994).

iv. Βιβλιογραφία:

- American Institute of Chemical Engineers. *Chemical Process Quantitative Risk Analysis*.
- Head, Horn. *Essentials of the Risk Management Process*, v. I-II. Insurance Institute of America.
- Henley, Kumamoto. *Reliability Engineering and Risk Assessment*. Prentice Hall.
- Ramachandran G. Utility Theory. *SFPE Handbook*, 1988.
- Samson. *Managerial Decision Analysis*. Irwin Press.
- BSI Draft. *Standard Code of Practice for the Application of Fire Safety Engineering Principles to Fire Safety in Buildings*, London, 1994.

2.8.2 Ενότητα δεύτερη: Προστασία από πυρκαγιά και εκρήξεις για βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

i. Εισαγωγή.

Ο στόχος αυτής της ενότητας είναι να ορίσει, από την σκοπιά ενός μηχανικού, ένα πλαίσιο για την αποτίμηση των κινδύνων φωτιάς και έκρηξης στη βιομηχανία και να εφαρμόσει αρχές *μηχανικής* για την επιλογή κατάλληλων μέτρων προστασίας. Στην ενότητα αυτή, καλύπτονται τα παρακάτω κύρια αντικείμενα:

- Ανάλυση κινδύνων για εύφλεκτα υγρά και αέρια.
- Ανάλυση κινδύνων για έκρηξη αερίων και σκόνης.
- Ανάλυση κινδύνων για διεργασίες σε αποθήκες και βιομηχανία.
- Ανάλυση με μεθόδους *μηχανικής*. Επιλογή προστασίας από φωτιά και εκρήξεις.

Με την ολοκλήρωση αυτής της ενότητας, ο φοιτητής θα πρέπει να μπορεί να:

- Αξιολογεί τις αποστάσεις ασφαλείας για τα δομικά μέρη ή τα κτήρια, τα οποία είναι εκτεθειμένα σε πιθανές πηγές κινδύνων πυρκαγιάς και έκρηξης.
- Αναλύει και να σχεδιάζει συστήματα εξαερισμού και ελέγχου του καπνού για βιομηχανικές εγκαταστάσεις.
- Αναλύει την αποδοτικότητα και την καταλληλότητα των συστημάτων προστασίας, καθώς και να σχεδιάζει συστήματα καταιονισμού για αποθήκες και βιομηχανικές εγκαταστάσεις.
- Αναλύει την αποδοτικότητα και να σχεδιάσει συστήματα καταστολής πυρκαγιάς για εύφλεκτα υγρά και υδροποιημένα αέρια.
- Υπολογίζει τους χρόνους και τις πιέσεις αμείωτης εκρήξεως και να γνωρίζει τις πιθανές συνέπειες για δομές και ανθρώπους.
- Αναλύει και να σχεδιάζει τον κατάλληλο εξαερισμό για εκρήξεις αερίων και σκόνης.
- Κατανοεί το σχεδιασμό και τις εφαρμογές της καταστολής εκρήξεων και τις μεθόδους αδρανοποίησης και καταστολής.
- Κατανοεί τη θεωρία του εκρηκτικού κύματος και την εφαρμογή της στις εκρήξεις νεφών.

ii. Προαπαιτούμενα.

- α. Βασικές αρχές της φωτιάς.
- β. Δυναμική της φωτιάς σε κλειστό χώρο.
- γ. Ενεργητική πυροπροστασία.
- δ. Παθητική πυροπροστασία.
- ε. Πιθανότητες και στατιστική.

iii. Ύλη της ενότητας.

Θέμα Α Το πλαίσιο της ανάλυσης.

(G: 5 ώρες)

Ύλη: Στατιστική και ιστορική ανασκόπηση βιομηχανικών πυρκαγιών και εκρήξεων. Αναγνώριση σεναρίων. Ανάλυση συνεπειών. Επισκόπηση προστασίας. Σχέδια του εργοστασίου. Εντοπισμός και απομόνωση

επικίνδυνων τοποθεσιών. Πλαίσιο εναλλακτικών μεθόδων εντοπισμού κινδύνων και επιλογής προστασίας.

Βιβλιογραφία: Zalosh (1991), Ch. 1-2, App. A-C. NFPA Handbook, Sec. 4-6. NFPA Journal Large Loss Surveys.

Topic B Απομόνωση φωτιάς και καπνού.

(G: 5 ώρες)

Ύλη: Αλεξίπυρες κατασκευές. Φράκτες και πόρτες πυρκαγιάς. Κατασκευή στεγών. Απομόνωση καπνού και εξαερισμός. Διαχωρισμός κινδύνων.

Βιβλιογραφία: Zalosh (1991), Ch.3-4. Milke (1988). Fleischmann (1988). Hinkley (1988). Klote (1988).

Θέμα Γ Προστασία αποθήκευσης και αποθηκών.

(G: 4 ώρες)

Ύλη: Κατηγορίες και δοκιμασίες αναφλεξιμότητας για εμπορεύματα αποθήκης. Ο ρόλος της διαρρύθμισης της αποθήκης στις απαιτήσεις της προστασίας με καταιονισμό. Ρυθμοί έκλυσης ενέργειας σε αποθήκες λόγω πυρκαγιάς. Προστασία με καταιονητήρες στην οροφή και στα ράφια. Εμπορεύματα ιδιαίτερου κινδύνου.

Βιβλιογραφία: Zalosh (1991) Ch. 5, 6. NFPA Standards 231, 231C. Beaver (1988). NFPA Handbook, Sec. 8, Ch. 4 - 8.

Θέμα Δ Εύφλεκτα υγρά.

(G: 15 ώρες)

Ύλη: Αναφλεξιμότητα εύφλεκτων υγρών. Τύποι πυρκαγιών από εύφλεκτα υγρά. Αποθήκευση και χρήση εύφλεκτων υγρών. Κατάσβεση με συστήματα νερού και άλλες ουσίες καταστολής. Προστασία όσον αφορά στις δεξαμενές, στα βαρέλια και στα μικρά δοχεία αποθήκευσης εύφλεκτων υγρών.

Βιβλιογραφία: Zalosh (1991), Ch. 7-8. Beaver (1988). NFPA Standard 30, 58, 59. NFPA Handbook Sections, 2-3, 8.

Θέμα Ε Εκρήξεις.

(G: 15 ώρες)

Ύλη: Ταχεία ανάφλεξη αερίων-αέρα σε δοχείο, με ταχύτητα μετάδοσης κύματος μικρότερη του ήχου. Θερμοχημικοί υπολογισμοί σε κατάσταση ισορροπίας. Εκρήξεις σκόνης. Η πίεσης από την ταχεία ανάφλεξη ως

συνάρτηση του χρόνου. Χρόνος ανάφλεξης και ταχύτητα καύσης. Η θεωρία εκρήξεων Charman-Jouguet. Η μετάβαση από την ταχεία ανάφλεξη στην έκρηξη.

Βιβλιογραφία: Drysdale (1988). Friedman (1988). Zalosh (1988). CET89 Code Users Manual. Strehlow (1984), Ch. 2-4,8-9. Eckhoff (1991).

Θέμα Ζ Προστασία από εκρήξεις.

(G: 15 ώρες)

Ύλη: Εκρήξεις αερίων, με εξαερισμό. Εκρήξεις σκόνης, με εξαερισμό. Σχεδιασμός εξαερισμού εκρήξεων. Συστήματα καταστολής και απομόνωσης εκρήξεων. Κριτήρια αδρανοποίησης και εφαρμογές. Θεωρία κυμάτων εκρήξεως και συσχετισμοί. Εκρήξεις νεφών.

Βιβλιογραφία: Zalosh (1988). Eckhoff (1991), Ch. 6. Bartknecht (1989), Ch. 5. NFPA 68 *Guide for Venting Deflagrations*, Ch. 4-6. NFPA 69 *Explosion Prevention Systems*. Chas *et al.*

Θέμα Η Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός.

(G: 4 ώρες)

Ύλη: Αναφλεξιμότητα ηλεκτρικών καλωδίων. Προστασία στοιβαγμένων καλωδίων και καναλιών. Σχέση συσκευών ηλεκτρικής προστασίας με την πυροπροστασία. Φωτιές και εκρήξεις μετασχηματιστών. Συστήματα καταστολής για χώρους με πίνακες ισχύος. Ηλεκτρικός εξοπλισμός σε περιοχές υψηλού κινδύνου.

Βιβλιογραφία: Holdado (1985). Earley *et al.* (1990). Διάφορες μελέτες από Factory Mutual Research Corporation, NIST, Underwriters Laboratories και δημοσιεύσεις από Hirschler, Tewarsen κ.α. National Electrical Manufacturers Association. Electric Power Research Institute: *Reports on Transformer Explosions*.

iv. Βιβλιογραφία:

- Bartknecht W. *Dust Explosions Course, Prevention, Protection*. Springer-Verlag, 1989.
- Beaver PF. Self-Heating and Spontaneous Combustion, *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- NASA-Lewis. Thermochemical Code CET89 Users Manual.

- Chas, Zalosh, Brown, Advent. *An Expert System for Explosion Vent Design*.
- Drysdale DD. Thermochemistry. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- Earley M *et al*. *National Electrical Code Handbook*. NFPA, 1990.
- Eckhoff R. *Dust Explosions*. Elsevier, 1991.
- Fleischmann C. Analytical Methods for Determining Fire Resistance of Concrete Members. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988..
- Friedman R. Chemical Equilibrium. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- Hinkley PL. Smoke and Heat Venting. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- Holdado C. *Flamability of Electrical and Electronic Materials*. Technomic, 1985.
- Klote JH. Smoke Control. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- Milke J. Analytical Methods for Determining Fire Resistance of Steel Members. *SFPE Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.

3. ΜΠ στο University of Maryland.

3.1 Εισαγωγή.

3.1.1 Προγράμματα σπουδών μηχανικών πυροπροστασίας του Department of Fire Protection Engineering, A. James Clark School of Engineering, University of Maryland, College Park, MD.

Το Τμήμα Μηχανικών Πυροπροστασίας του Πολυτεχνείου του UMD ιδρύθηκε το 1956, ξεκινώντας μια μεγάλη παράδοση. Μέχρι σήμερα, προσφέρει το μόνο πλήρως αναγνωρισμένο, από τους αρμόδιους οργανισμούς, προπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών στις ΗΠΑ, στον τομέα της ΜΠ. Επίσης, προσφέρει ένα, από τα δύο σε ολόκληρη τη χώρα, μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών ΜΠ. Σήμερα, περισσότεροι από 1.100 απόφοιτοι από το τμήμα εργάζονται στη βιομηχανία, σε ασφαλιστικές εταιρείες, στον ομοσπονδιακό, τον πολιτειακό και τον τοπικό δημόσιο τομέα, στις ένοπλες δυνάμεις και την πυροσβεστική υπηρεσία. Οι εγγεγραμμένοι φοιτητές είναι περίπου 125 προπτυχιακοί, 25 μεταπτυχιακοί και 10 διδακτορικοί. Περίπου 30 φοιτητές αποφοιτούν κάθε χρόνο. Το διδακτικό προσωπικό είναι ευρέως γνωστό και διακεκριμένο στο χώρο της ΜΠ. Μάλιστα, τέσσερις καθηγητές είναι επίτιμα μέλη των διεθνούς κύρους επαγγελματικών συλλόγων μηχανικών των ΗΠΑ. Ο J. Quintiere ήταν επικεφαλής στο International Association of Fire Safety Science και διδάσκει με τον τίτλο αναγνώρισης J.Bryan Professor. Ο F. Mowrer ήταν πρόεδρος του SFPE και ο J. Milke είναι σήμερα αντιπρόεδρος του SFPE. Αυτή τη στιγμή, επτά μόνιμοι καθηγητές εργάζονται στο τμήμα και είναι όλοι ενεργοί στον τομέα της έρευνας και σε προγράμματα παροχής υπηρεσιών στην κοινωνία. Επίσης, το τμήμα συνεργάζεται με τέσσερις ομότιμους καθηγητές και ένα καθηγητή, ως εξωτερικό συνεργάτη.

3.1.2 Η έμφαση στην έρευνα.

Η ραγδαία εξέλιξη των επιστημών και της τεχνολογίας δημιουργεί νέες ανάγκες και νέες ευκαιρίες. Σήμερα, υπάρχει η ανάγκη για μηχανικούς εξειδικευμένους στην πυροπροστασία. Έτσι, το UMD έχει θέσει ως προτεραιότητα του, τη συνεχή εξέλιξη και ανάπτυξη των προγραμμάτων σπουδών ΜΠ, μέσω της αυξημένης παροχής σε φοιτητές της ευκαιρίας για διεξαγωγή έρευνας. Συγκεκριμένα, οι έρευνες εστιάζουν στις πρόσφατες εξελίξεις στην πρακτική των δοκιμασιών υλικών, της πυρανίχνευσης, του σχεδιασμού βάσει απόδοσης και σε τεχνικές μοντελοποίησης για την πρόβλεψη της εξάπλωσης της φωτιάς, της κίνησης του καπνού και της απόκρισης κτηριακών συστημάτων, όσον αφορά στη φάση του σχεδιασμού και στις πραγματογνωμοσύνες

πυρκαγιών. Οι εργαστηριακές εγκαταστάσεις του τμήματος (1.000 m²), προσφέρουν στον φοιτητή πρακτική εμπειρία μέσω των πρότυπων δοκιμασιών ASTM και επιτρέπουν την διερεύνηση των αρχών της δυναμικής της φωτιάς. Οι μεταπτυχιακοί αλλά και οι προπτυχιακοί φοιτητές, οι οποίοι εκπονούν τις πτυχιακές τους εργασίες, καθώς και εργασίες για άλλα μαθήματα, έχουν πρόσβαση και κάνουν εκτεταμένη χρήση των εργαστηρίων.

Ο μέσος ετήσιος όρος δημοσιεύσεων ανά καθηγητή είναι περίπου τρεις και ο αντίστοιχος μέσος όρος των ερευνητικών κονδυλίων είναι περίπου \$1 εκ. Μερικά από τα ερευνητικά θέματα, τα οποία απασχολούν το διδακτικό προσωπικό είναι: φαινόμενα μεταφοράς κατά την αλλαγή φάσης, πυροκαταστολή με νερό, θερμική υδραυλική για την ασφάλεια πυρηνικών αντιδραστήρων, χαρακτηρισμός τυρβωδών φαινομένων μεταφοράς στις φλόγες κάνοντας χρήση διαγνωστικών μεθόδων με λέιζερ, απεικόνιση υπέρυθρης ακτινοβολίας, προχωρημένα πολυφασικά υπολογιστικά μοντέλα δυναμικής ρευστών, έλεγχος του καπνού, ανάλυση των συνεπειών της φωτιάς σε υλικά και αντικείμενα, η συμπεριφορά της φωτιάς σε διαμέρισμα, οι ροές των αερίων που προκαλούνται από πυρκαγιά, η ανάπτυξη της φωτιάς σε υλικά, μελέτες σε μοντέλα μικρότερης κλίμακας, αναφλεξιμότητα υλικών, μηχανισμοί πυρόλυσης, μοντελοποίηση της ανάπτυξης της πυρκαγιάς, ασφάλεια υδρογόνου, σχηματισμός αιθάλης, έκλυση θερμότητας και αερίων από πυρκαγιά, μετρήσεις καύσης, καύση σε μηδενική βαρύτητα, στρωτές φλόγες, προγραμματισμός και μοντελοποίηση πυρκαγιών και εκρήξεων, πειραματικές και θεωρητικές μελέτες της ανάφλεξης, της εξάπλωσης και της καύσης πολυμερών, βραδυφλεγή υλικά, καύση για πρόωση, σωλήνες εκτόνωσης, ασφάλεια προϊόντων, νομοθεσία και νέες τεχνολογίες.

3.1.3 Οι στόχοι.

Ο κλάδος της *MPI*, είναι αφιερωμένος στην εφαρμογή επιστημονικών και τεχνολογικών αρχών για την πρόληψη και την καταστολή της φωτιάς. Αυτό συμπεριλαμβάνει και τα θέματα της επίδρασης της φωτιάς στους ανθρώπους, στις κατασκευές, στα αγαθά και στην εργασία. Ο εντοπισμός των πηγών κινδύνων πυρκαγιάς και η εκτίμηση της επικινδυνότητάς τους, σε σχέση με το κόστος της προστασίας, είναι μια επίσης σημαντική πλευρά του σχεδιασμού πυρασφάλειας. Ο φοιτητής *MPI* εκπαιδεύεται στα αντικείμενα των μαθηματικών, της φυσικής και της χημείας. Επίσης, το πρόγραμμα περιλαμβάνει βασικά μαθήματα μηχανικών, όπως αντικείμενα σχετικά με τα υλικά, μηχανική των ρευστών, θερμοδυναμική και μεταφορά θερμότητας, με έμφαση και εφαρμογές στο αντικείμενο της πυροπροστασίας. Η μηχανική των ρευστών, περιλαμβάνει εφαρμογές σχετικές με το σχεδιασμό συστημάτων καταιονισμού,

συστημάτων πυροκαταστολής και συστημάτων ελέγχου του καπνού. Η μεταφορά θερμότητας, εισάγει τις έννοιες και τις αρχές της εξάτμισης υγρών καυσίμων. Στο αντικείμενο της καύσης, παρουσιάζονται οι φλόγες διάχυσης και προανάμιξης, η ανάφλεξη και η εξάπλωση φλόγας και οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την καύση. Οι φοιτητές αποκτούν εργαστηριακή εμπειρία, μέσω της συμμετοχής τους σε πρότυπες δοκιμασίες και μετρήσεις. Επίσης, δίνεται μεγάλη έμφαση στην διαδικασία του σχεδιασμού συστημάτων, τα οποία σχετίζονται με την πυροκαταστολή, την πυρανίχνευση, την προειδοποίηση, και την ασφάλεια κτηρίων. Επιπλέον, εξετάζεται το υπόβαθρο και η εφαρμογή των κανονισμών και των προτύπων, έτσι ώστε να είναι ο φοιτητής προετοιμασμένος για την άσκηση του επαγγέλματος. Συνολικά στο πρόγραμμα *MΠ*, παρουσιάζονται πολλές μέθοδοι ανάλυσης των συστημάτων πυροπροστασίας. Τέλος, απαιτείται από τους τεταρτοετείς μαθητές να ολοκληρώσουν μια πτυχιακή εργασία σχεδιασμού ή έρευνας, γεγονός που τους δίνει τη δυνατότητα διερεύνησης θεμάτων, τα οποία ξεπερνούν τα όρια της καθιερωμένης διδακτικής ύλης.

Ο απώτατος στόχος του τμήματος είναι «...να συμβάλλει στη μείωση των ανθρώπινων απωλειών και των απωλειών περιουσίας, παρέχοντας υψηλής ποιότητας εκπαίδευση και έρευνα, βασισμένες στις επιστήμες, καθώς και να προσφέρει βοήθεια στην κοινωνία σε θέματα πυροπροστασίας, υγείας και περιβάλλοντος.» Το διδακτικό προσωπικό, με την έγκριση των σχετικών αρμόδιων φορέων, έχει θέσει κάποιους εκπαιδευτικούς στόχους. Οι στόχοι του ΠΣ *MΠ*, είναι να παράγει απόφοιτους, οι οποίοι να:

- Έχουν τις τεχνικές γνώσεις και τις δεξιότητες, οι οποίες χρειάζονται για την άσκηση του επαγγέλματος του ΜΠ σε τοπικό, εθνικό και διεθνές επίπεδο, μέσα σε ένα σύγχρονο επαγγελματικό περιβάλλον.
- Έχουν τις επαρκείς γνώσεις, οι οποίες χρειάζονται για να προχωρήσουν σε μεταπτυχιακές σπουδές στο τομέα *MΠ* ή σε σχετικούς τομείς.
- Έχουν την ικανότητα να κατανοούν και να επικοινωνούν την επίδραση των αποφάσεων των μηχανικών, σε θέματα κοινωνικά, περιβαλλοντολογικά, οικονομικά και ασφαλείας, μέσα στις τοπικές και παγκόσμιες κοινότητες.
- Είναι προετοιμασμένοι να αποκτήσουν επαγγελματική πιστοποίηση.
- Εκτιμούν την ανάγκη του διαρκούς εμπλουτισμού των επαγγελματικών γνώσεων και της ηθικής άσκησης του επαγγέλματος.

Η άσκηση του επαγγέλματος *MΠ*, έχει αναπτυχθεί από την εφαρμογή και την ερμηνεία κανονισμών και προτύπων πυροπροστασίας. Αυτοί οι κώδικες κανονισμών

ασφαλείας, περιέχουν τεχνικές πληροφορίες και πρωτόκολλα, τα οποία έχουν αντληθεί από την εμπειρία και την έρευνα. Όμως, η έρευνα έχει επιφέρει και ποσοτικές μεθόδους για την εκτίμηση καταστάσεων πυρκαγιάς και για τον σχεδιασμό της πυροπροστασίας. Έτσι, ο ΜΠ πρέπει να γνωρίζει τις σύγχρονες τεχνικές απαιτήσεις πυρασφάλειας και τις επιστημονικές αρχές που διέπουν το φαινόμενο της φωτιάς.

3.1.4 Σύνοψη των ΠΣ.

i. Κύρια σημεία του προπτυχιακού ΠΣ.

Τα κύρια σημεία των αντικειμένων, τα οποία καλύπτονται από τα μαθήματα του προπτυχιακού ΠΣ προγράμματος είναι:

- Ο βασικός κορμός, όπως συμβαίνει σε όλα τα προγράμματα σπουδών μηχανικών, αποτελείται από μαθήματα μαθηματικών, φυσικής, χημείας, καθώς και κάποια ανθρωπιστικά μαθήματα και μαθήματα επιλογής.
- Εισαγωγή στον τομέα *MPI*: Οι κοινωνικές, οικονομικές, περιβαλλοντικές και νομικές διαστάσεις του προβλήματος της φωτιάς. Εισαγωγή στις βασικές αρχές της φωτιάς. Αστική πυροπροστασία.
- Μετρήσεις και εργαστήριο: Εισαγωγή στην πειραματική αξιολόγηση του φαινομένου της φωτιάς και στις διάφορες μεθόδους δοκιμασιών.
- Δομική πυροπροστασία: Η επίδραση της θερμοκρασίας στα δομικά υλικά. Η αντοχή στην πυρκαγιά, διαφόρων μερών των κτηριακών κατασκευών.
- Συναγερμοί, ιδιαίτεροι κίνδυνοι και σχεδιασμός: Συστήματα καταστολής πυρκαγιάς. Κριτήρια βάσει του κώδικα κανονισμών. Η θεωρία των ρευστών στην διαδικασία του σχεδιασμού. Σχεδιασμός συστημάτων πυρανίχνευσης.
- Μηχανική των ρευστών στην πυροπροστασία: Βασικές αρχές της ροής, σχετικές με την πυροπροστασία και τα σενάρια πυρκαγιάς.
- Σχεδιασμός υδροφόρων συστημάτων πυροπροστασίας: Συστήματα πυροκαταστολής. Κριτήρια βάσει του κώδικα κανονισμών. Θεωρία της υδραυλικής με εφαρμογή στο σχεδιασμό.
- Μεταφορά θερμότητας και μάζας: Βασικές αρχές μεταφοράς θερμότητας και μάζας, με εφαρμογή σε προβλήματα τα οποία σχετίζονται με πυρκαγιάς.
- Εκτίμηση επικινδυνότητας: Ανάλυση συστήματος. Θεωρία πιθανοτήτων. Γνώσεις οικονομικών για μηχανικούς. Βαθμός επικινδυνότητας.

- Δυναμική της φωτιάς: Φλόγες. Ανάφλεξη. Εξάπλωση φλόγας και ρυθμός καύσης. Στήλη της φωτιάς.
- Σύνθεση προβλημάτων και σχεδιασμός: Πτυχιακή εργασία, με έρευνα σε συγκεκριμένους τομείς.
- Ασφάλεια και ανάλυση βαθμού επικινδυνότητας: Μέρη ενός κτηρίου. Παράγοντες σχετικοί με τη φυσιολογία και την ψυχολογία.
- Μοντελοποίηση της φωτιάς: Σύγχρονες τεχνικές μοντελοποίησης.
- Ασφάλεια κτηρίων και η νομοθεσία: Κανονισμοί σχετικοί με την ασφάλεια. Ασφάλεια προϊόντων και κόστος. Η ηθική στην άσκηση του επαγγέλματος του μηχανικού.
- Σεμινάρια επαγγελματικής ανάπτυξης: Μάθημα με σεμινάρια από καλεσμένους ομιλητές, με σκοπό την επαγγελματική ανάπτυξη των φοιτητών.

ii. Απαιτήσεις του προπτυχιακού ΠΣ.

Τα μαθήματα του προπτυχιακού ΠΣ χωρίζονται σε έξι κατηγορίες: α) μαθηματικά και βασικές επιστήμες, β) βασικά μαθήματα για μηχανικούς, γ) μαθήματα ειδικότητας ΜΠ (υποχρεωτικά και επιλογής), δ) μαθήματα επιλογής (μαθηματικών, επιστημών, και μηχανικής), με έγκριση από τον τομέα, ε) συγγραφή τεχνικών εκθέσεων και ζ) μαθήματα γενικής παιδείας.

α) Μαθηματικά κα βασικές επιστήμες.

Αυτά τα μαθήματα δίνουν έμφαση στις μαθηματικές τεχνικές και τις επιστημονικές αρχές, πάνω στις οποίες είναι δομημένος ο κλάδος της μηχανικής. Τα απαιτούμενα μαθήματα είναι:

- Λογισμός I.
- Λογισμός II.
- Λογισμός III.
- Διαφορικές εξισώσεις.
- Γραμμική άλγεβρα.
- Στατιστική και πιθανότητες.
- Μαθήματα μαθηματικών επιλογής.
- Φυσική: Μηχανική και δυναμική σωματιδίων.
- Φυσική: Ηλεκτρομαγνητισμός, κύματα, ταλαντώσεις, θερμότητα.

- Φυσική: Ηλεκτροδυναμική, φώς, σχετικότητα και μοντέρνα φυσική.
- Χημεία.

β) Βασικά μαθήματα για μηχανικούς.

- Σχέδιο.
- Στατική στερεών.
- Δυναμική στερεών.
- Αντοχή υλικών.
- Προγραμματισμός.

γ) Υποχρεωτικά μαθήματα από τον τομέα ΜΠ.

Τα παρακάτω μαθήματα είναι θεμελιώδη, για το ΠΣ που οδηγεί σε πτυχίο ΜΠ. Οι μαθητές πρέπει να παρακολουθήσουν μαθήματα με αντικείμενα: τη συμπεριφορά της φωτιάς, τα συστήματα πυροπροστασίας, τις πειραματικές μεθόδους και τη μοντελοποίηση. Αυτά τα μαθήματα καλύπτουν τις βασικές αρχές του τομέα ΜΠ και παρέχουν τις εργαστηριακές δεξιότητες, οι οποίες χρησιμοποιούνται από κάθε επαγγελματία που εργάζεται στο χώρο.

- Ανάλυση ασφάλειας.
- Σχεδιασμός συστημάτων ιδιαιτέρων κινδύνων και προειδοποίησης.
- Μηχανική των ρευστών.
- Σχεδιασμός υδροφόρων συστημάτων πυροπροστασίας.
- Μεταφορά μάζας και θερμότητας.
- Μέθοδοι μετρήσεων παραγόντων της φωτιάς και εργαστήριο.
- Σεμινάριο επαγγελματικής ανάπτυξης.
- Δομική πυροπροστασία.
- Ανάλυση βαθμού επικινδυνότητας στην πυροπροστασία.
- Δυναμική της φωτιάς.
- Σχεδιασμός και σύνθεση προβλημάτων. Πτυχιακή εργασία.
- Εγκεκριμένα μαθήματα επιλογής (προ- και μεταπτυχιακά), ειδικότητας ΜΠ.

δ) Εγκεκριμένα μαθήματα επιλογής θετικής κατεύθυνσης.

Τα εγκεκριμένα, από το τμήμα, μαθήματα επιλογής θετικής κατεύθυνσης, πρέπει να είναι τεταρτοετούς επιπέδου, από τους τομείς των μαθηματικών, των επιστημών, της μηχανικής και της ΜΠ.

ε) *Συγγραφή τεχνικών εκθέσεων.*

Όλοι οι φοιτητές του Πολυτεχνείου του UMD, πρέπει να παρακολουθήσουν ένα μάθημα συγγραφής τεχνικών εκθέσεων, τρίτοετούς επιπέδου.

ζ) *Μαθήματα επιλογής, γενικής παιδείας.*

Η εκπαίδευση ενός μηχανικού, δεν μπορεί να είναι μονάχα τεχνική. Το UMD παρέχει στους φοιτητές μια προοδευτική σφαιρική εκπαίδευση, με σκοπό την προετοιμασία τους για να αποκτήσουν την πνευματική συνοχή, η οποία χρειάζεται για να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις της ζωής στον προσωπικό, κοινωνικό, πολιτικό και επαγγελματικό τομέα. Οι φοιτητές καλούνται να παρακολουθήσουν μια σειρά από μαθήματα επιλογής (ανθρωπιστικά και κοινωνικών επιστημών). Εκτός από αυτά, οι φοιτητές μπορούν να παρακολουθήσουν, οποιοδήποτε από τα μαθήματα, από οποιαδήποτε σχολή του UMD.

3.2. Περιεχόμενο μαθημάτων ειδικότητας ΜΠ.

3.2.1 Επίκαιρα θέματα ΜΠ.

i. Περιγραφή/Στόχοι:

Γίνεται συζήτηση γύρω από επίκαιρα θέματα στον τομέα των ΜΠ. Η συζήτηση επικεντρώνεται σε θέματα, όπως οι εξελίξεις στη βασική επιστήμη της φωτιάς, η μοντελοποίηση της φωτιάς με χρήση υπολογιστών, η ανθρώπινη συμπεριφορά σε σχέση με τη φωτιά, τα συστήματα πυρασφάλειας, η τοξικότητα της φωτιάς, η ανάλυση βαθμού επικινδυνότητας, οι κανονισμοί πυροπροστασίας βάσει απόδοσης, και η πραγματογνωμοσύνη για περιπτώσεις πυρκαγιών. Επίσης, γίνεται μια γενική επισκόπηση του επαγγέλματος του ΜΠ, μέσω μιας σειράς διαλέξεων από τους καθηγητές της σχολής και από αντιπροσώπους από τον τομέα της βιομηχανίας.

ii. Αντικείμενο:

Τα καίρια ζητήματα του τομέα. Βασικές αρχές της ανάπτυξης της πυρκαγιάς. Εξάπλωση της φωτιάς σε δωμάτιο. Καύση σε συνθήκες μικροβαρύτητας. Μοντελοποίηση της φωτιάς και πειράματα που σχετίζονται με την

εγκληματολογική πραγματογνωμοσύνη. Ανθρώπινη συμπεριφορά και φωτιά. Αντίληψη, επεξεργασία πληροφοριών, λύση προβλημάτων και λήψη αποφάσεων σε μια πυρκαγιά. Συμπεριφορές έννοιες (πανικός, δέσμευση, ρόλος). Απόκριση σε συναγερμό και σε σημάδια πυρκαγιάς. Χρόνος εκκίνησης της εκκένωσης. Μετακίνηση ανθρώπων και υπολογισμοί. Έρευνα πυροπροστασίας. Πραγματογνωμοσύνη πυρκαγιάς. Πειράματα και μοντελοποίηση για σχεδιαστικές εφαρμογές. Εργαστήρια με υπολογιστές. Ανίχνευση καπνού.

3.2.2 Ανάλυση ασφάλειας.

i. Περιγραφή:

Εισαγωγή στη ΜΠ, στους κτηριακούς κανονισμούς, στα συστήματα ασφάλειας κτηρίων και στο σχεδιασμό συστημάτων ασφαλούς εξόδου. Δυναμική των πυρκαγιών σε κλειστό χώρο και οι στρατηγικές μετριασμού των συνεπειών. Μοντελοποίηση εκκένωσης κτηρίων. Ανθρώπινη συμπεριφορά σε περίπτωση πυρκαγιάς. Ανάλυση της ικανότητας για διαφυγή: ανάλυση των ορίων της ανθρώπινης διαύγειας και της σωματικής ικανότητας των ενοίκων για ασφαλή διαφυγή και του πώς αυτά επηρεάζονται από την πυρκαγιά.

ii. Στόχοι:

- Η κατανόηση του κλάδου των ΜΠ, καθώς και των ρόλων και σχέσεων όλων των εμπλεκόμενων.
- Η κατανόηση του φαινομένου της φωτιάς, της ανάφλεξης, της ανάπτυξης και της εξάπλωσης της φωτιάς και των φαινομένων σε κλειστούς χώρους.
- Η κατανόηση των ρόλων, των χαρακτηριστικών και των επί μέρους στοιχείων των συστημάτων, τα οποία χρησιμοποιούνται για την καταστολή της φωτιάς σε κτήρια.
- Η ικανότητα διεκπεραίωσης αναλύσεων ασφάλειας.
- Τα κριτήρια ABET, τα οποία καλύπτονται από το μάθημα είναι:
 - Η κατανόηση των επαγγελματικών και ηθικών ευθυνών, οι οποίες σχετίζονται με την άσκηση του επαγγέλματος του ΜΠ.
 - Η κατανόηση των επίκαιρων θεμάτων, τα οποία σχετίζονται με το επάγγελμα του ΜΠ και η γενική γνώση των συνεπειών που μπορεί να έχουν οι λύσεις των προβλημάτων, στην κοινωνία.

iii. Αντικείμενο:

- Εισαγωγή: Περιγραφή της *μηχανικής πυροπροστασίας*. Οργανισμοί που σχετίζονται με τον τομέα. Το πρόβλημα της φωτιάς. Μεγάλες φωτιές στην ιστορία. Ο κώδικας κανονισμών για κτήρια. Πρότυπα και νομοθετικές ρυθμίσεις. Συστήματα και έννοιες ασφάλειας κτηρίων.
- Ασφάλεια ζωής: Επισκόπηση του κώδικα κανονισμών για την ασφάλεια ζωής. Πληθυσμιακή χωρητικότητα και κατηγορίες κινδύνων. Η προσέγγιση βάσει οδηγίων και η προσέγγιση με βάση την απόδοση.
- Μέθοδοι εξόδου/διαφυγής: Τα στοιχεία μιας μεθόδου διαφυγής. Πληθυσμός και χωρητικότητα συστήματος διαφυγής. Εργονομία και αξιοπιστία της μεθόδου διαφυγής. Φωτισμός της διαφυγής. Απαιτήσεις για το σύστημα συναγερμού. Ειδικές απαιτήσεις για τα σημεία συγκέντρωσης.
- Μετακίνηση ανθρώπων: Βασικές αρχές της μετακίνησης των ανθρώπων. Ανθρώπινη συμπεριφορά σε περίπτωση πυρκαγιάς. Ανάλυση εκκένωσης βάσει απόδοσης. Μοντέλα εκκένωσης βάσει απόδοσης.
- Ορθολογική ανάλυση: Πλήρωση δωματίου με καπνό. Ορατότητα μέσα σε καπνό. Συγκέντρωση καπνού. Κλασματικά ισοδύναμες δόσεις.
- Εξαμηνιαία εργασία: πλήρης ανάλυση ασφαλείας μιας πρόσφατης ή ιστορικά σημαντικής πυρκαγιάς, όπως αυτές των γεγονότων της 11^{ης} Σεπτεμβρίου του 2001.

iv. Σημειώσεις διδάσκοντα και αξιολόγηση:

Η βαθμολογία του μαθήματος προκύπτει από τις τρεις εξετάσεις (25% η κάθε μία), την εξαμηνιαία εργασία (15%) και τις εβδομαδιαίες ασκήσεις (10%). Η βάση είναι το 60%. Καθυστερημένες εργασίες και ασκήσεις δεν γίνονται δεκτές. Η παρουσία και η συμμετοχή θεωρούνται απαραίτητες και μπορούν να επηρεάσουν τη βαθμολογία.

v. Βιβλιογραφία:

- NFPA 101: *Life Safety Code Handbook*, 2009.
- *NFPA Fire Protection Handbook*, 2008.
- *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 2008.

3.2.3 Σχεδιασμός συστημάτων ιδιαιτέρων κινδύνων και προειδοποίησης πυρκαγιών.

i. Περιγραφή:

Η μελέτη των συστημάτων για την ανίχνευση, την προειδοποίηση και την καταστολή της πυρκαγιάς με αέριες και με στερεές χημικές ουσίες. Ανάλυση και αξιολόγηση των κριτηρίων του κώδικα κανονισμών, των προδιαγραφών απόδοσης και της σχετικής έρευνας. Εφαρμογή της θεωρίας των ρευστών στον τρόπο σχεδιασμού. Μέθοδοι υπολογισμού για συστήματα καταστολής πυρκαγιάς. Εξαμηνιαία εργασία σχεδιασμού ενός ολοκληρωμένου συστήματος πυροπροστασίας. Ανάλυση λειτουργικότητας και σχεδιασμός συστημάτων πυρανίχνευσης. Οι φοιτητές μαθαίνουν τις βασικές αρχές του σχεδιασμού για ιδιαίτερους κινδύνους και εφαρμόζουν αυτή τη γνώση, δουλεύοντας σε ομάδες, σχεδιάζοντας συστήματα ανίχνευσης και καταστολής, κάνοντας χρήση υπολογιστικών εργαλείων.

ii. Στόχοι:

- Η γνώση των βασικών αρχών, των κριτηρίων σχεδιασμού και των απαιτήσεων κατά την εγκατάσταση των συστημάτων καταστολής, ανίχνευσης και συναγερμού.
- Η γνώση των χαρακτηριστικών των συστημάτων πυρόσβεσης, των καθαρών ουσιών, των ουσιών ανθρακο-halon και των αδρανών αερίων, του halon, του διοξειδίου του άνθρακα, των ουσιών καταστολής χημικών κόνεως και αφρού, της άμεσης εφαρμογής και της καταστολής εκρήξεων.
- Η κατανόηση των σύγχρονων μεθόδων σχεδιασμού και των κριτηρίων των ανωτέρω συστημάτων, σύμφωνα με τα πρότυπα του NFPA και τις προδιαγραφές των κατασκευαστών.
- Η εφαρμογή σχεδιασμού με χρήση λογισμικών (CAD, φύλλα εργασίας κτλ.)
- Στο μάθημα καλύπτονται τα εξής κριτήρια ABET:
 - Αναπτύσσεται η ικανότητα για το σχεδιασμό ενός στοιχείου, συστήματος ή διεργασίας για την κάλυψη μια συγκεκριμένης ανάγκης.
 - Αναπτύσσεται η ικανότητα συνεργασίας μέσα σε πολυσύνθετες ομάδες, οι οποίες διεκπεραιώνουν πολυσύνθετες εργασίες.

iii. Αντικείμενο:

- Ηθική στην άσκηση του επαγγέλματος του μηχανικού. Ύλη: Gagnon Ch. 15.
- Μηχανισμοί πυρόσβεσης. Αξιολόγηση ουσιών πυρόσβεσης. Εφαρμογές συστημάτων πυρόσβεσης. Φορητοί πυροσβεστήρες. Ύλη: Gagnon Ch. 3. NFPA 10.
- Ανάλυση ουσιών πυρόσβεσης, τύποι συστημάτων και εφαρμογές. Η μεθοδολογία του σχεδιασμού. Κριτήρια σχεδιασμού. Υπολογισμοί. Ασκήσεις σχεδιασμού: Συστήματα αφρού με χαμηλή διαστολή, συστήματα αφρού με υψηλή διαστολή, συστήματα Halon, συστήματα καθαρών ουσιών, συστήματα με ψεκαζόμενο νερό, συστήματα με διοξείδιο του άνθρακα, συστήματα με ξηρές/υγρές χημικές ουσίες. Ύλη: Gagnon Ch. 4-5, 8-10. NFPA 11, 12, 16, 17, 17A, 2001.
- Συστήματα καταστολής εκρήξεων: Ταχεία ανάφλεξη με ταχύτητα μετάδοσης μικρότερη ή μεγαλύτερη της ταχύτητας του ήχου. Ουσίες καταστολής, λειτουργία συστημάτων και εφαρμογές. Ύλη: Gagnon Ch. 7. NFPA 15, 68, 69.
- Πυρανίχνευση και συστήματα συναγερμού: Ανιχνεύσιμα χαρακτηριστικά της φωτιάς. Έννοιες και αρχές ανίχνευσης. Συσκευές έναρξης συναγερμού και τα μέρη τους. Κατηγορίες συστημάτων συναγερμού, μέρη, κριτήρια για τη διάταξη τους, πυρανίχνευση και αξιολόγηση συστημάτων συναγερμού. Σχεδίαση κυκλωμάτων συστημάτων συναγερμού. Ύλη: Gagnon Ch. 11-15. NFPA 72.
- Εξαμηνιαία εργασία σχεδιασμού συστήματος καταστολής και συναγερμού πυρκαγιάς για ιδιαίτερος κινδύνους, για ένα πραγματικό κτήριο.

iv. Σημειώσεις διδάσκοντα και αξιολόγηση:

Η βαθμολογία του μαθήματος προκύπτει από τις δύο εξετάσεις (25% για την πρόοδο και 30% για την τελική), τις εβδομαδιαίες ασκήσεις (20%), την παρακολούθηση σεμιναρίων (5%) και την εξαμηνιαία εργασία (20%). Η εξαμηνιαία εργασία γίνεται κατά ομάδες και κάθε ομάδα επιβλέπεται από ένα ΜΠ, ειδικό στο θέμα της εργασίας. Κατά τη διάρκεια του εξαμήνου απαιτείται η παράδοση επί μέρους αναφορών, για την πρόοδο της εργασίας. Στο τέλος του εξαμήνου, γίνεται η συνολική παρουσίαση της εργασίας, γραπτώς και

προφορικός. Η παρουσία και η συμμετοχή σε κάθε διάλεξη κρίνεται απαραίτητη και μπορεί να επηρεάσει τη βαθμολογία.

v. **Βιβλιογραφία:**

- Gagnon RM. *Design of Special Hazard and Fire Alarm Systems*. Thompson Delmar Learning, Clifton Park, NY, 2008.
- *National Fire Alarm Code*. NFPA, Quincy, MA, 2002.
- Δεδομένα και οδηγίες σχεδιασμού από κατασκευαστές (παρέχονται στο μάθημα).
- Bryan JL. *Fire Suppression and Detection Systems*. MacMillan Publishing, New York, NY, 1993.
- Bukowski RW, Moore WD. *Fire Alarm and Signaling Systems*. NFPA, Quincy, MA, 2003.
- DiNenno PJ (Editor). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. NFPA, Quincy, MA, 2002.
- Cote AE. (Editor). *Fire Protection Handbook*. NFPA, Quincy, MA, 2008.
- National Fire Codes. *2008 Annual Revision Cycle Edition*. NFPA, Quincy, MA.

3.2.4 **Μηχανική ρευστών για ΜΠ.**

i. **Προαπαιτούμενα:**

- Διαφορικές εξισώσεις.
- Φυσική ΙΙ.

ii. **Περιγραφή:**

Οι βασικές αρχές της ροής. Οι ιδιότητες των ρευστών. Το πεδίο της ταχύτητας. Διάφορες μορφές ροής. Κατανομή της πίεσης σε ένα υγρό. Υδροστατικά και υδροδυναμικά προβλήματα. Ολοκληρωτικές σχέσεις για όγκους έλεγχου. Διαφορικές εξισώσεις, διαστατική ανάλυση και ομοιότητα. Εσωτερικά και εξωτερικά προβλήματα ροής, τα οποία σχετίζονται με συστήματα πυροπροστασίας και σενάρια πυρκαγιάς.

iii. Στόχοι:

- Η πρακτική κατανόηση της μηχανικής των ρευστών, με έμφαση στα προβλήματα που είναι σημαντικά για τον τομέα των ΜΠ.
- Η δημιουργία μιας ορθολογικής και έγκυρης μεθοδολογίας, η οποία να επιτρέπει την διατύπωση και επίλυση μιας ευρείας κλίμακας, σχετικών μεταξύ τους, προβλημάτων μηχανικής.
- Στο μάθημα καλύπτονται τα εξής κριτήρια ABET:
 - Αναπτύσσεται η ικανότητα της εφαρμογής των επιστημών και των μαθηματικών στον τομέα της μηχανικής.
 - Αναπτύσσεται η ικανότητα για σχεδιασμό ενός στοιχείου, συστήματος ή διεργασίας, για την κάλυψη μια συγκεκριμένης ανάγκης.
 - Αναπτύσσεται η ικανότητα προσδιορισμού, διατύπωσης και επίλυσης προβλημάτων μηχανικής.

iv. Αντικείμενο:

- Εισαγωγή: Οι ιδιότητες των ρευστών. Οι μονάδες μέτρησης και ο νόμος των ιδανικών αερίων. Στατική και δυναμική.
- Υδροστατική: Πίεση σε σημείο. Η εξίσωση της υδροστατικής. Η άνωση και η μέτρηση πιέσεων.
- Η εξίσωση Bernoulli: Στατική και δυναμική πίεση. Εφαρμογές της εξίσωσης Bernoulli.
- Κινηματική ρευστών: Διανυσματική ανάλυση. Σωματιδιακή παράγωγος. Διαστατική και διαφορική ανάλυση. Θεωρία όγκων ελέγχου.
- Ολοκληρωτικές εξισώσεις διατήρησης: Διατήρηση μάζας και ορμής.
- Σημειακές εξισώσεις διατήρησης: Διατήρηση μάζας και ορμής.
- Ροή σε σωλήνα: Στρωτή ροή. Τυρβώδης ροή. Το διάγραμμα Moody.
- Εξωτερική ροή: Οριακά στρώματα. Αντίσταση τριβής. Αντίσταση πίεσης. Δύναμη άνωσης.
- Σχεδιασμός συστημάτων καταιονισμού. Αντλίες.

v. Αξιολόγηση:

Η βαθμολογία του μαθήματος προκύπτει από τις δύο εξετάσεις (20% η κάθε μία), την εξαμηνιαία εργασία (20%) και τις εβδομαδιαίες μικρές εξετάσεις.

vi. Βιβλιογραφία:

- Munson BR, Young DF, Okiishi TH. *Fundamentals of Fluid Mechanics*, Wiley.

3.2.5 Σχεδιασμός υδροφόρων συστημάτων πυροπροστασίας.

i. Συν- και προαπαιτούμενα:

- Μηχανική ρευστών.
- Μεταφορά μάζας και θερμότητας.

ii. Περιγραφή:

Απαιτείται από τους φοιτητές να ολοκληρώσουν ατομικά, το σχεδιασμό ενός αυτόματου συστήματος με καταιονισμού, για κτήριο με συγκεκριμένη κατασκευή και χρήση. Απαιτείται από τους φοιτητές: α) η κατηγοριοποίηση των κινδύνων που σχετίζονται με τη χρήση του κτηρίου, β) ο εντοπισμός των κατάλληλων σχεδιαστικών κριτηρίων, σύμφωνα με τα αναγνωρισμένα πρότυπα της χώρας, γ) ο προσδιορισμός των τύπων, των τοποθεσιών και των ακριβών θέσεων των καταιονητήρων σε όλο το κτήριο, δ) ο προσδιορισμός των τύπων των σωλήνων, των διαστάσεων και της διάταξης τους και ε) η αξιολόγηση της επάρκειας της δεδομένης παροχής νερού για να λειτουργήσει το σύστημα. Αν η παροχή δεν είναι επαρκής, οι φοιτητές καλούνται να προτείνουν εναλλακτικές μεθόδους για να λειτουργήσει το σύστημα (π.χ. αύξηση της παροχής ή μείωση της ζήτησης).

iii. Στόχοι:

- Η δημιουργία μιας ορθολογικής και έγκυρης μεθοδολογίας, η οποία να επιτρέπει την διατύπωση και επίλυση μιας ευρείας κλίμακας, σχετικών μεταξύ τους, προβλημάτων μηχανικής.

iv. Αντικείμενο:

- Εισαγωγή: Ο μηχανισμός πυρόσβεσης με μέσο το νερό. Τύποι υδροφόρων συστημάτων καταστολής. Στόχοι απόδοσης. Προδιαγραφές που προκύπτουν από τους κανονισμούς. Το πλαίσιο του σχεδιασμού.

- Τύποι συστημάτων: Μόνιμο υδροδοτικό δίκτυο: αγωγοί παροχής και πυροσβεστικοί σωλήνες (NFPA 14). Αυτόματα συστήματα καταιονισμού (NFPA 13). Οικιακά συστήματα καταιονισμού (NFPA 13, 13D, 13R). Συστήματα ψεκασμού (NFPA 15, 750).
- Στοιχεία συστημάτων: Συστήματα εκροής. Συστήματα διανομής. Σύστημα παροχής. Επιβοηθητικά συστήματα.
- Έγγραφα σχετικά με το σχέδιο: Έγγραφα συμβολαίου (σχέδια και προδιαγραφές). Αρχιτεκτονικά σχέδια. Σύμβολα. Διαγράμματα Riser.
- Παροχή νερού. Δοκιμασίες και πληροφορίες σχετικά με την παροχή νερού. Δημόσια συστήματα. Ιδιωτικά συστήματα.
- Σχεδιασμός αυτόματων συστημάτων καταιονισμού: Βασικές προδιαγραφές και περιορισμοί για την περιοχή προστασίας. Κατηγοριοποίηση με βάση τον πληθυσμό του κτηρίου. Ανάλυση κινδύνων. Σχεδιαστικά κριτήρια. Αποστάσεις και θέσεις καταιονητήρων. Σωλήνες, διαγράμματα και εξαρτήματα. Απαιτήσεις παροχής. Μέθοδοι υπολογισμών υδραυλικής. Πίνακες υπολογισμών και σχέδια λειτουργίας.
- Ιδιαίτεροι κίνδυνοι και εφαρμογές: Ουρανοξύστες. Αποθήκες. Εύφλεκτα υγρά. Αποθήκευση με ράφια και αποθήκευση κατά ύψος. Καταιονητήρες ESFR (ταχείας απόκρισης) και καταιονητήρες μεγάλης εκροής. Ψυχόμενες αποθήκες και άλλες ψυχόμενες εγκαταστάσεις. Υπόστεγα αεροσκαφών.
- Οικιακά συστήματα: Οι προδιαγραφές NFPA 13D και 13R.
- Συστήματα ψεκασμού νερού: Προστασία μετασχηματιστή. Προστασία δοχείων αποθήκευσης εύφλεκτων υγρών.
- Συστήματα εκνέφωσης: Εφαρμογές. Τεχνολογία. Θέματα σχεδιασμού.
- Μόνιμο υδροδοτικό δίκτυο: Κατακόρυφοι αγωγοί παροχής και πυροσβεστικοί σωλήνες. Τύποι συστημάτων. Θέματα σχεδιασμού.
- Μοντελοποίηση καταστολής της πυρκαγιάς με υδροφόρα συστήματα: Ενεργοποίηση καταιονητήρων. Μέγεθος των σταγονιδίων και η κατανομή της τροχιάς τους. Εξάτμιση σταγονιδίων.

v. **Βιβλιογραφία:**

- Διανέμονται τα πρότυπα σχεδιασμού του NFPA.

3.2.6 Μεταφορά μάζας και θερμότητας.

i. Προαπαιτούμενα:

- Θερμοδυναμική.
- Μηχανική των ρευστών.

ii. Περιγραφή:

Βασικές αρχές της μεταφοράς μάζας και θερμότητας. Αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία. Διάχυση και φαινόμενα εξάτμισης. Τεχνικές λύσης προβλημάτων, με εφαρμογή σε προβλήματα πυρκαγιάς.

ii. Στόχοι:

- Η πρακτική κατανόηση της μεταφοράς θερμότητας μέσω αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας, της μεταφοράς θερμότητας στην αλλαγή φάσης και των φαινομένων μεταφοράς μάζας.
- Η δημιουργία μιας ορθολογικής και έγκυρης μεθοδολογίας, η οποία να επιτρέπει την διατύπωση και επίλυση μιας ευρείας κλίμακας, σχετικών μεταξύ τους, προβλημάτων *μηχανικής*.

iii. Αντικείμενο:

- Εισαγωγή: Τρόποι μεταφοράς θερμότητας. Διατήρηση της ενέργειας και εξισώσεις. Μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων. Μονάδες και διαστάσεις.
- Αγωγή: Θερμικές ιδιότητες. Η εξίσωση της διάχυσης. Μόνιμη κατάσταση σε μία διάσταση. Αγωγή μεταβατικής κατάστασης σε ημίπειρο στερεό. Συνολική αγωγή συστήματος μεταβατικής κατάστασης με τη μέθοδο των ομοιόμορφων ιδιοτήτων.
- Συναγωγή: Έννοιες οριακών στρωμάτων. Διαστατική ανάλυση. Η σχέση μεταξύ μεταφοράς μάζας και θερμότητας. Ψύξη μέσω εξάτμισης. Συναγωγή εξωτερικής ροής. Κύλινδροι με διασταυρούμενη ροή. Ταχείες ροές. Ροή σε σωλήνα.
- Ελεύθερη συναγωγή: Εξωτερική ροή με ελεύθερη συναγωγή. Ελεύθερη συναγωγή σε κανάλια. Ελεύθερη συναγωγή σε κλειστούς χώρους. Ανάμεικτη συναγωγή. Μεταφορά μάζας με συναγωγή.

- Βρασμός και υγροποίηση: Τύποι βρασμού. Βρασμός για λιμνάζοντα υγρά. Βρασμός εν ροή. Υγροποίηση ως λεπτό στρώμα. Υγροποίηση ανά σταγόνα.
- Ακτινοβολία: Ένταση ακτινοβολίας. Ακτινοβολία μέλανος σώματος. Συντελεστής εκπομπής. Απορρόφηση. Ανάκλαση. Μετάδοση. Ο νόμος του Kirchhoff. Γκρι επιφάνειες. Παράγοντας ακτινοβολίας. Ανταλλαγή ακτινοβολίας μέλανος σώματος. Ανταλλαγή ακτινοβολίας μεταξύ επιφανειών. Λοιπά φαινόμενα.
- Μεταφορά μάζας: Ο νόμος του Fick. Διάχυση μάζας. Ισομοριακή αντίστροφη διάχυση. Εξάτμιση.

iv. Βιβλιογραφία:

- Incropera FP, DeWitt DP. *Fundamentals of heat and mass transfer*. Wiley, 2002.

3.2.7 Μετρήσεις και εργαστήριο.

i. Περιγραφή:

Πειραματική αξιολόγηση της ανάφλεξης, της εξάπλωσης της φλόγας, του ρυθμού έκλυσης ενέργειας και της παραγωγής καπνού, από την καύση επίπλων και διαφόρων υλικών εσωτερικών τελειωμάτων.

ii. Στόχοι:

- Η κατανόηση της ορολογίας και των θεμάτων, τα οποία έχουν να κάνουν με τους κινδύνους της πυρκαγιάς και τις μεθόδους εκτίμησης της αναφλεξιμότητας, με σκοπό τη σωστή χρήση τους στην άσκηση του επαγγέλματος και στην έρευνα.
- Η ικανότητα εντοπισμού και χαρακτηρισμού διαφόρων τύπων εύφλεκτων υλικών σε κτήρια.
- Η κατανόηση της σχέσης μεταξύ της απόδοσης των συστημάτων σε μια πυρκαγιά και των σχετικών κτηριακών σχεδιαστικών θεμάτων, για διάφορα προϊόντα.
- Η επιλογή των κατάλληλων μεθόδων δοκιμασίας αγαθών και υλικών, για την εκτίμηση των σχετικών κινδύνων πυρκαγιάς.

- Η ικανότητα εφαρμογής βασικών υπολογισμών για την εκτίμηση της απόδοσης σε φωτιά.
- Η σύνταξη εργαστηριακών αναφορών με τρόπο σαφή και συνοπτικό.

iii. Αντικείμενο:

- Εισαγωγή: Σύνοψη του μαθήματος. Εισαγωγή στον εργαστηριακό χώρο. Επισκόπηση του κτηρίου του World Trade Center. Φωτιές εύφλεκτων υγρών. Φωτιές επιφανειακών επενδύσεων. Αλλαγή κλίμακας.
- Χαρακτηριστικά της φωτιάς και μετρήσεις: Η κατασκευή του WTC. Δοκιμασίες τοξικότητας. Δοκιμασίες για την ορατότητα, υπό συνθήκες παρουσίας καπνού. Η ζημιά από τα αεροσκάφη. Η διασπορά των καυσίμων. Δοκιμασίες πλαστικών. Ξυλεία. Βραδύκαυστα υλικά. Προστατευτικά υλικά. Ο σχεδιασμός με βάση τον πληθυσμό των γραφείων.
- Δοκιμασίες καπνού: Επενδύσεις. Ορατότητα, υπό συνθήκες παρουσίας καπνού. Πλαστικά. Καλύμματα δαπέδου. Αντοχή στη φωτιά. Τοξικότητα.
- Θερμικές μετρήσεις: Καλύμματα δαπέδου. Ροή θερμότητας (επιφανειακή). Αντοχή στη φωτιά. Θερμοκρασία. Δοκιμασίες και υπολογισμοί πυραντίστασης.
- Καπνός και ρυθμός καύσης: Δοκιμασία σημείου ανάφλεξης υγρών. Μέτρηση απώλειας μάζας. Μέτρηση καπνού. Ρυθμός καύσης επενδύσεων.
- Θερμιδομετρία κώνου: Δοκιμασία.
- Κατασκευή του WTC, δοκιμασίες, αξιολόγηση και εξήγηση αποτελεσμάτων.

3.2.8 Σεμινάρια επαγγελματικής ανάπτυξης.

i. Περιγραφή:

Ένα ολοκληρωμένο, κατάλληλου επιπέδου μάθημα, το οποίο αποτελείται από μια σειρά σεμιναρίων που καλύπτουν θέματα όπως: η ηθική στον τομέα της μηχανικής, η επαγγελματική πιστοποίηση, τα πρότυπα και οι κώδικες κανονισμών, τα πνευματικά δικαιώματα, η επιλογή καριέρας και διάφορα επίκαιρα θέματα στον τομέα της ΜΠ.

ii. Στόχοι:

- Η ενημέρωση του μαθητή για το επάγγελμα της πυροπροστασίας.

- Δίνεται η ευκαιρία στον φοιτητή να συνδιαλλαγεί με επαγγελματίες του χώρου.

iii. Αντικείμενο:

- Ιστορία του Τμήματος Μηχανικών Πυροπροστασίας του UMD.
- Πραγματογνωμοσύνες πυρκαγιών, σχεδιασμός, κανονισμοί — Ηθική και δεοντολογία.
- SFPE – η επαγγελματική κοινότητα των ΜΠ.
- Maryland Fire and Rescue Institute.
- Τεχνολογία και εκπαίδευση πυροσβεστών.
- Η έρευνα στον τομέα της καύσης και των καυσίμων όσον αφορά τις πραγματογνωμοσύνες ατυχημάτων: Η περίπτωση της πτήσης TWA 800.
- Η άσκηση του επαγγέλματος στις ΗΠΑ και σε άλλες χώρες: τεχνικά, πολιτισμικά και οικονομικά θέματα.
- Η τρέχουσα κατάσταση στο τμήμα.
- Ο ρόλος της έρευνας στην μείωση των κινδύνων.
- Η σημασία της σωστής επικοινωνίας ιδεών και πληροφοριών.
- Μελλοντική αυτόματη πυροπροστασία στο ναυτικό των ΗΠΑ.
- Εγκληματολογική επιστήμη από το επίσημο εργαστήριο του αρμόδιου υπουργείου των ΗΠΑ.

3.2.9 Δομική πυροπροστασία.

i. Προαπαιτούμενα:

- Μηχανική στερεών.

ii. Περιγραφή:

Η δομική ακεραιότητα και η διαμερισματοποίηση, είναι θεμελιώδη θέματα όσον αφορά στην πυροπροστασία κτηρίων. Σε αυτό το μάθημα, παρουσιάζονται οι επιδράσεις της φωτιάς στα υλικά, τα οποία χρησιμοποιούνται στις δομικές κατασκευές. Εξετάζονται τα χαρακτηριστικά και οι περιορισμοί των καθιερωμένων δοκιμασιών, καθώς και οι εμπειρικοί συσχετισμοί που έχουν προκύψει. Εφαρμόζονται αναλύσεις *μηχανικής* και μεταφοράς θερμότητας, για την εύρεση της πυραντίστασης υλικών. Παρουσιάζονται επίσης: η επίδραση των

υψηλών θερμοκρασιών στα δομικά υλικά, όπως ο χάλυβας, το σκυρόδεμα, το ξύλο, ο γύψος, το γυαλί και τα ενισχυμένα πλαστικά, οι εκθετικοί υπολογισμοί της αντίστασης στη φωτιά, διαφόρων κτηριακών δομών, και οι αναλυτικές μέθοδοι υπολογισμού την πυραντίστασης.

iii. Στόχοι:

- Η παρουσίαση των επιπτώσεων που έχει στις δομικές κατασκευές, η έκθεση στη φωτιά.
- Η απόκτηση της ικανότητας συσχετισμού του ρόλου και της σημασίας των βασικών χαρακτηριστικών των δομικών κατασκευών, με την αντίστασή τους στη φωτιά.
- Η γενική κατανόηση του αντικειμένου, μέσω της εξέτασης των αποτελεσμάτων παλαιών ερευνητικών προγραμμάτων, της εφαρμογής βασικών αρχών της μεταφοράς θερμότητας και της μηχανικής και της διεξαγωγής πειραμάτων.

iv. Αντικείμενο:

- Προδιαγραφές αντοχής στη φωτιά για δομικές κατασκευές: Κατηγοριοποίηση. Προδιαγραφές απόδοσης.
- Δοκιμασίες αντοχής στην πυρκαγιά: Δομικές κατασκευές. Προστασία ανοιγμάτων τοιχοποιίας. Πρότυπες δοκιμασίες. Κριτήρια απόδοσης. Εναλλακτικές μέθοδοι αξιολόγησης.
- Επανάληψη μηχανικής στερεών: Φορτία. Συνδυασμοί φορτίων. Ανάλυση δοκού. Ανάλυση ευστάθειας και λυγισμού.
- Υπολογισμός της πυραντίστασης των ξύλινων δομικών στοιχείων: Ιδιότητες υλικού. Επίδραση της έκθεσης σε φωτιά. Σύνθετη ξυλεία από συγκολλημένα πλανίδια ξύλου. Κρίσιμο βάθος (καρβούνιασμα).
- Υπολογισμός πυραντίστασης χαλύβδινων δομικών στοιχείων: Ιδιότητες υλικού. Εμπειρικοί συσχετισμοί για στύλους, δοκούς και δικτυώματα. Θερμική απόκριση. Η προσέγγιση της μηχανικής. Η απόκριση των δομικών πλαισίων.
- Υπολογισμός της πυραντίστασης τοιχοποιίας και κατασκευών από σκυρόδεμα: Ιδιότητες υλικών. Εμπειρικοί συσχετισμοί. Θερμική ανάλυση μέσω γραφικών παραστάσεων και πινάκων. Ανάλυση φέρουσας ικανότητας.
- Τοιχοποιία κατασκευής ελαφρού πλαισίου.

v. **Αξιολόγηση:**

Η βαθμολογία του μαθήματος προκύπτει από τις δύο εξετάσεις (40% η κάθε μία) και από τις εβδομαδιαίες ασκήσεις.

vi. **Βιβλιογραφία:**

- Buchanan A. *Structural Design for Fire Safety*. John Wiley, New York, NY, 2001.
- DiNunno PJ (ed). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. NFPA, Quincy, MA, 2002; sec 1.8-1.10, 4.8-4.11.
- ASCE/SFPE 29. *Standard Calculation Methods for Structural Fire Protection*. Reston, VA, ASCE, 2005.
- Underwriters Laboratories, *Fire Resistance Directory*, Northbrook, IL, 2009.

3.2.10 Ανάλυση βαθμού επικινδυνότητας πυρκαγιάς.

i. **Προαπαιτούμενα:**

- Ανάλυση ασφάλειας.
- Σχεδιασμός συστημάτων ιδιαίτερων κινδύνων και προειδοποίησης πυρκαγιών.

ii. **Περιγραφή:**

Αξιολόγηση και μέτρηση της πυροπροστασίας. Εφαρμογή της ανάλυσης συστημάτων, της θεωρίας των πιθανοτήτων και των οικονομικών επιστημών στο τομέα της *μηχανικής* και της διαχείρισης κινδύνων, για τον προσδιορισμό και για τη σύνθεση στοιχείων, τα οποία συγκροτούν τον τομέα της *MPI*. Μέθοδοι επιλογής κριτηρίων για το σχεδιασμό, την αξιολόγηση και την εκτίμηση της πυρασφάλειας ή των κινδύνων διαφόρων στοιχείων.

iii. **Στόχοι:**

- Η κατανόηση της ορολογίας και των θεμάτων, τα οποία σχετίζονται με την εκτίμηση και την διαχείριση των κινδύνων πυρκαγιάς.
- Η ανάλυση της χρήσεως και των περιορισμών διαφόρων μεθόδων και μέσων εκτίμησης του βαθμού επικινδυνότητας.

- Η εφαρμογή αναλυτικών μέσων για τον υπολογισμό του βαθμού επικινδυνότητας, σε μια σειρά προβλημάτων πυρασφάλειας.
- Η κατανόηση της σύγχρονης τάσης παγκοσμίως, όσον αφορά στον σχεδιασμό και στην ανάλυση της πυροπροστασίας με βάση την απόδοση.

iv. Αντικείμενο:

- Εισαγωγή: Έννοιες και ορολογία.
- Μέθοδος: Βασική μέθοδος ανάλυσης του βαθμού επικινδυνότητας πυρκαγιάς. Ποιοτική ανάλυση βαθμού επικινδυνότητας. Σενάρια πυρκαγιάς.
- Εντοπισμός κινδύνων και δείκτες επικινδυνότητας: Τεχνικές εντοπισμού κινδύνων. Δείκτες επικινδυνότητας, θεωρία και έννοιες. Εφαρμογή και αξιολόγηση δεικτών επικινδυνότητας.
- Πιθανότητες: Μαθηματικά και αβεβαιότητα. Θεωρία συνόλων και θεωρία πιθανοτήτων. Τυχαίες μεταβλητές. Κατανομές πιθανοτήτων και μοντέλα.
- Στατιστική: Περιγραφική και διαλογισμική στατιστική. Στατιστικά μοντέλα. Πηγές δεδομένων.
- Μοντέλα δικτύων: Κόμβοι και οδεύσεις. Διαγράμματα επιρροής. Δέντρα πυρασφάλειας. Μέθοδοι δέντρων σφαλμάτων και γεγονότων.
- Αξιοπιστία: Αξιοπιστία στοιχείων. Ρυθμοί αστοχίας και κινδύνου. Σειριακό και παράλληλο σύστημα αξιοπιστίας. Ρόλος της αξιοπιστίας στην ανάλυση επικινδυνότητας και στον σχεδιασμό πυροπροστασίας.
- Οικονομικά: Ανάλυση συνεπειών.
- Εφαρμογές: Κίνδυνοι διεργασιών και διαχείριση κρίσεων.
- Σύνθεση προβλημάτων: Παρουσιάσεις, γραπτές αναφορές και μελέτες ανάλυσης επικινδυνότητας.

v. Βιβλιογραφία:

- *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering.*

3.2.11 Δυναμική της φωτιάς.

i. Προαπαιτούμενα:

- Μηχανική των ρευστών.
- Θερμοδυναμική.
- Μεταφορά μάζας και θερμότητας.

ii. Περιγραφή:

- Εισαγωγή στις φλόγες προανάμιξης και της φλόγες διάχυσης. Ανάφλεξη. Εξάπλωση φλόγας. Ρυθμός καύσης. Στήλη της φωτιάς. Ακτινοβολία πυρκαγιάς.

ii. Στόχοι:

- Η ικανότητα της ποσοτικής ανάλυσης της συμπεριφοράς της φωτιάς και των φαινομένων της καύσης.
- Η ανάπτυξη, μέσω βασικών θεωρητικών αρχών, χρήσιμων εξισώσεων και μεθόδων επίλυσης προβλημάτων.

iii. Αντικείμενο:

- Εισαγωγή.
- Θερμοχημεία: Αντιδράσεις καύσεως. Στοιχειομετρία. Λόγος ισοδυναμίας. Μίγματα αερίων. Ιδανικά αέρια. Πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής. Καύση σταθερής πίεσης. Θερμότητα σύνθεσης. Θερμότητα καύσης. Αδιαβατική θερμοκρασία φλόγας. Παραδείγματα.
- Νόμοι διατήρησης για όγκους ελέγχου: Μάζα. Ορμή. Ενέργεια.
- Φλόγες προανάμιξης: Ρυθμός αντίδρασης. Ανάφλεξη. Όρια αναφλεξιμότητας. Διαγράμματα αναφλεξιμότητας. Κρίσιμη αδιαβατική θερμοκρασία. Χρόνος ανάφλεξης. Διάμετρος σβέσης.
- Αυτοανάφλεξη: Η θεωρία του Frank-Kamenetskii. Ο κρίσιμος αριθμός Damkohler. Ο χρόνος αυτανάφλεξης. Βραδεία καύση.
- Ανάφλεξη υγρών: Σημείο ανάφλεξης. Θερμοκρασία αυτοανάφλεξης. Θερμοκρασία ανάφλεξης με σπίθα-οδηγό (πηγή φωτιάς υπό βραδεία καύση). Εξάτμιση. Clausius-Clapeyron.
- Ανάφλεξη στερεών: Χρόνος ανάφλεξης. Θερμοκρασία ανάφλεξης. Θερμικώς λεπτό και παχύ στερεό. Εξάπλωση σε δωμάτιο. Δοκιμασίες και μοντέλα.
- Εξάπλωση φλόγας σε στερεά: Η θεωρία της εξάπλωσης για τη μόνιμη κατάσταση. Θερμικώς λεπτό και παχύ στερεό.
- Ρυθμός καύσης: Θερμότητα αεριοποίησης. Καύση υγρών με διάχυση. Καύση με συναγωγή. Ο αριθμός B. Γενικευμένος ρυθμός καύσης. Το θερμοδόμετρο κώνου και άλλες διατάξεις.

- Στήλη της φωτιάς: Στήλη της φωτιάς και άνωση. Παράσυρση. Θερμοκρασία και ταχύτητα. Στήλη με καιόμενα αιωρήματα. Μήκος φλόγας.
- Πυρκαγιές σε διαμερίσματα: Η έννοια του μοντέλου ζωνών. Ροές εξαερισμού/ανοιγμάτων. Ροές οροφής. Ροές ανοιγμάτων. Ενέργεια και θερμοκρασία στρωμάτων. Πλήρωση δωματίου με καπνό. Έλεγχος του καπνού. Φωτιές που εξαρτώνται από τον αερισμό. Φαινόμενα πριν και μετά την έκλαμψη.

iv. Βιβλιογραφία:

- Quintiere J. *Fundamentals of Fire Phenomena*. New York, John Wiley, 2006.

3.2.12 Μοντελοποίηση της φωτιάς.

i. Περιγραφή:

Μια εισαγωγή στο αντικείμενο της φωτιάς σε κλειστό χώρο, μέσω της δημιουργίας αλγόριθμων μοντελοποίησης και της εφαρμογής υπολογιστικών τεχνικών. Αριθμητικές τεχνικές, όπως η προσαρμογή καμπύλης, η εύρεση ριζών, η ολοκλήρωση και η λύση διαφορικών εξισώσεων, αναπτύσσονται στο πλαίσιο εφαρμογών μοντελοποίησης της πυρκαγιάς σε κλειστό χώρο. Λογισμικά πακέτα μαθηματικών χρησιμοποιούνται για την επίλυση διαφόρων προβλημάτων του τομέα.

ii. Στόχοι:

- Η κατανόηση των τεχνικών μοντελοποίησης των πυρκαγιών σε κλειστούς χώρους, μέσω της δημιουργίας και εφαρμογής υπολογιστικών αλγορίθμων.
- Η ικανότητα της εφαρμογής σύγχρονων υπολογιστών μοντέλων για την επίλυση πρακτικών προβλημάτων, από τον επαγγελματικό τομέα των ΜΠ.

iii. Αντικείμενο:

- Εισαγωγή: Τα στάδια μιας φωτιάς σε κλειστό χώρο. Στοιχεία πυρκαγιών σε κλειστό χώρο. Τύποι μοντέλων. Ιστορία της μοντελοποίησης της φωτιάς.
- Εξισώσεις: Σχέσεις όγκων ελέγχου, για μοντέλα ζωνών και πεδίου.

- Η πηγή της φωτιάς: Βασικές αρχές της φωτιάς. Στοιχειομετρία. Θερμοχημεία. Προϊόντα της καύσης. Ανάπτυξη της φωτιάς. Πηγές πληροφοριών, για δεδομένα ρυθμών έκλυσης ενέργειας.
- Στήλη της φωτιάς και αναβλύζουσες φωτιές οροφής: Είδη. Η στήλη από μια ιδανική σημειακή πηγή. Συσχετισμοί θερμοκρασίας και ταχύτητας για αιωρήματα με αξονική συμμετρία. Συσχετισμοί θερμοκρασίας και ταχύτητας για περιορισμένες και μη αναβλύζουσες φλόγες οροφής.
- Πλήρωση με καπνό ενός κλειστού χώρου: Ρυθμός καθόδου του στρώματος καπνού. Το μοντέλο Διαθέσιμου Χρόνου Ασφαλούς Διαφυγής. Συνθήκες φωτιάς και καθοδικό στρώμα καπνού.
- Εξαερισμός: Κατανομή της πίεσης σε φωτιές δωματίου. Σχέσεις για ανοίγματα δαπέδου, τοίχων και οροφής. Η επίδραση του μηχανικού αερισμού στις συνθήκες της πυρκαγιάς.
- Φωτιές κλειστού χώρου με άνοιγμα πριν και μετά την έκλαμψη: Συνθήκες θερμοκρασίας και καπνού για πυρκαγιές σε κλειστό χώρο με αερισμό.
- Μεταφορά θερμότητας σε πυρκαγιές κλειστών χώρων: Μοντέλα μεταφοράς θερμότητας. Απώλειες θερμότητας και θέρμανση οριακών στρωμάτων. Στοχευμένη θέρμανση. Ανάφλεξη και εξάπλωση πυρκαγιάς σε στερεά υλικά.
- Πυρανίχνευση και πυρόσβεση: Απόκριση ανιχνευτών σε συνθήκες πυρκαγιάς. Ενεργοποίηση ανιχνευτών. Μοντελοποίηση της καταστολής της πυρκαγιάς.
- Επαλήθευση μοντέλων, εφαρμογές και πραγματικά περιστατικά.

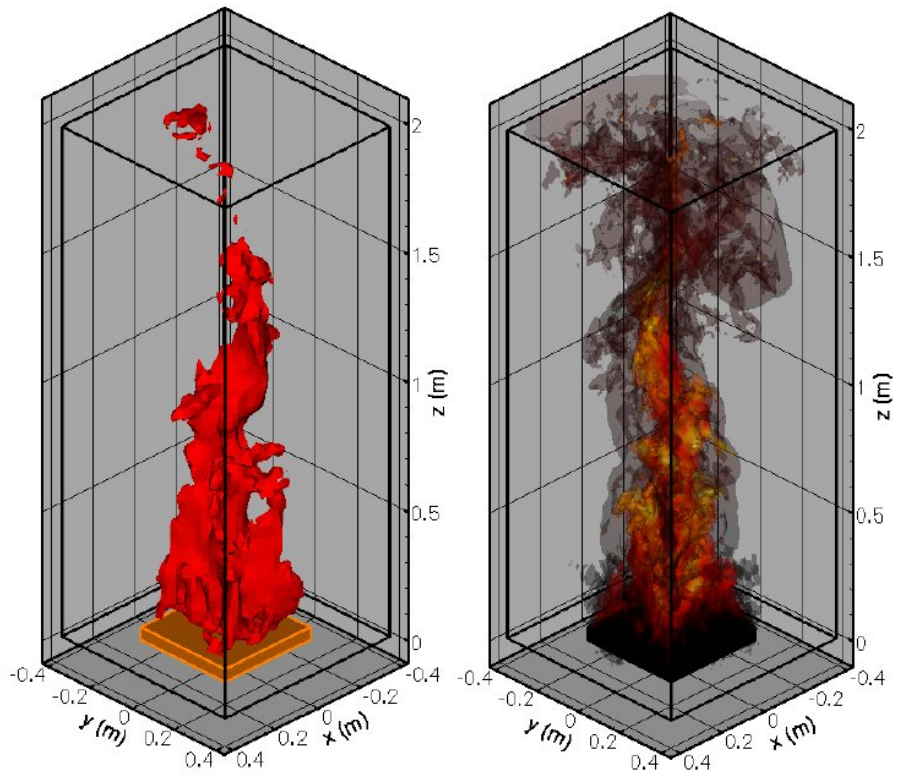
iv. Βιβλιογραφία:

- Karlsson B, Quintiere JG. *Enclosure Fire Dynamics*. CRC Press LLC, Boca Raton, FL, 2000.
- Επίσης, διανέμονται στους φοιτητές εκτενείς σημειώσεις.

3.2.13 Σχεδιασμός και σύνθεση για την επίλυση προβλημάτων. Πτυχιακή εργασία.

i. Περιγραφή:

Εκπόνηση πτυχιακής εργασίας σε συγκεκριμένους τομείς. Παράλληλα, διδάσκονται τεχνικές και μέθοδοι σχεδιασμού λύσεων για προβλήματα, κάνοντας χρήση ορθολογικών και ποσοτικών μεθόδων.



Σχήμα 3.1. Παράδειγμα προσομοίωσης μιας φωτιάς και της στήλης της, με τα μοντέλα δυναμικής ρευστών του προγράμματος S3DLES, το οποίο λύνει τις γενικές εξισώσεις ροής Navier-Stokes, με αριθμητικές μεθόδους πεπερασμένων διαφορών.

ii. Στόχοι:

- Η ικανότητα της ενοποίησης και της εφαρμογής της γνώσης, από διάφορα μαθήματα του τομέα *MPI*, σε υψηλό επίπεδο.
- Η ανάπτυξη του επαγγελματικού τρόπου σκέψης στην προσέγγιση ενός προβλήματος.
- Η επαγγελματικής ποιότητας προφορική και γραπτή παρουσίαση, της ανεξάρτητης ανάλυσης ενός προβλήματος.

iii. Αντικείμενο παράλληλων διαλέξεων:

- Οι διαφορές της επιστημονικής ανάλυσης με την ανάλυση των μηχανικών.
- Η συγγραφή και παρουσίαση τεχνικών εκθέσεων.
- Επαγγελματικό καθήκον.
- Σχεδιασμός πειραμάτων.
- Η δημιουργία αναφοράς για πελάτες μη μηχανικούς.

- Θέματα συζήτησης: Μικροβιολογική διάβρωση σωλήνων συστήματος καταιονισμού. Επικύρωση της μεθοδολογίας δοκιμασιών για νέα προϊόντα. Αναπαραγωγή της ανάπτυξης μιας πυρκαγιάς. Φυσική μοντελοποίηση της κίνησης του καπνού. Ο ρόλος της τοξικότητας στην συμπεριφορά διαφυγής. Η σχέση μεταξύ του δομικού σχεδιασμού και της λειτουργίας της πυροσβεστικής στη δράση. Η κοινή γνώμη, όσον αφορά στην πυρασφάλεια και η σχέση της με το σχεδιασμό των μηχανικών.

3.2.14 Ασφάλεια κτηρίων και νομοθεσία.

i. Περιγραφή:

Η ανταπόκριση στους φυσικούς και τεχνητούς κινδύνους για ένα κτήριο, απαιτεί ένα πολύπλοκο νομικό πλαίσιο. Τα κύρια αντικείμενα του μαθήματος είναι: η χρήση των πρότυπων κανονισμών, οι διοικητικές ρυθμίσεις, οι αναδρομικοί κανονισμοί, οι τοπικοί και οι εθνικοί κανονισμοί, ο εμπρησμός, οι κανονισμοί με βάση την απόδοση, οι ρυθμίσεις με βάση τον βαθμό επικινδυνότητας, η παράβαση της επαγγελματικής δεοντολογίας για μηχανικούς, η αστική ευθύνη προϊόντων και η πραγματογνωμοσύνη σε καταστροφές.

ii. Στόχοι:

- Η κατανόηση της αλληλεπίδρασης της νομοθεσίας με την ασφάλεια ενός κτηρίου.
- Η επίγνωση των τεχνικών, κοινωνικών και πολιτισμικών παραγόντων, οι οποίοι σχετίζονται με τις νομικές αποφάσεις που αφορούν τις ρυθμίσεις για την ασφάλεια των κτηρίων.

ii. Αντικείμενο:

- Το νομικό πλαίσιο: Η φύση του νομικού συστήματος. Δημόσια ασφάλεια.
- Ανάλυση αποδοτικότητας ρυθμίσεων: Η μετατροπή μιας δημόσιας πολιτικής σε ένα ρυθμιστικό σύστημα. Νομικές δομές μιας πολιτικής. Τεχνικά μέσα. Οι διαφορές της νομοθετικής με την διοικητική προσέγγιση. Βελτιστοποίηση του λόγου απόκρισης/ επικινδυνότητας.
- Η νομική δομή της ασφάλειας των κτηρίων: Η ανάπτυξη ρυθμιστικών συστημάτων για κτήρια. Η σχέση μεταξύ των διάφορων κανονισμών. Οι

διαφορές στην φιλοσοφία και άλλες διαφορές μεταξύ διαφορετικών δομών. Πρόληψη και ευθύνη. Άδειες και επιθεωρήσεις. Αρμόδιες αρχές.

- Η διοικητική υιοθέτηση των κανονισμών και των προτύπων.
- Η δημιουργία κωδικών. Η τεχνική δομή τους: Τα τεχνικά μέσα που χρησιμοποιούνται στους κανονισμούς. Τα πρότυπα και οι πρότυπες δοκιμασίες. Η αποδοχή νέων τεχνολογιών στο νομοθετικό περιβάλλον. Στατικά και δυναμικά συστήματα πυροπροστασίας. Η συστημική προσέγγιση της πυρασφάλειας. Ο ρόλος του κτηρίου, των ενοίκων και του προσωπικού έκτακτης ανάγκης.
- Ο μηχανικός ως εμπειρογνώμονας: Δίκες και ηθική. Η έννοια της εμπειρογνωμοσύνης για ένα δικαστήριο. Επαγγελματισμός. Η φύση της γνώσης ενός εμπειρογνώμονα. Μαρτυρία. Ευθύνη προς τον πελάτη και ευθύνη προς το κοινό. Θέματα ηθικής. Σχεδιασμός με βάση το πρόβλημα και σχεδιασμός με βάση τους κανονισμούς.
- Εθνική και τοπική νομοθεσία και αντιφάσεις.
- Εφαρμογή των κανονισμών και συμμόρφωση.
- Αναδρομικοί κανονισμοί: Η εφαρμογή νέων κανονισμών σε παλαιά κτήρια. Αλλαγές στην τεχνολογική γνώση. Αλλαγές στην δημόσια πολιτική και τον ρυθμιστικό έλεγχο και συνταγματικές αλλαγές.
- Νέες προσεγγίσεις στις ρυθμίσεις για την ασφάλεια: Μαθηματική μοντελοποίηση. Ανάλυση επικινδυνότητας. Κανονισμοί με βάση την απόδοση. Σενάρια πυρκαγιάς.
- Πολιτικές λήψεις αποφάσεων και τεχνικές λήψεις αποφάσεων.
- Νομικές συνέπειες μιας καταστροφής (εγκληματολογικές και ρυθμιστικές): Αιτία και προέλευση της καταστροφής. Ανάλυση πρωταρχικής αιτίας. Ανοικοδόμηση μετά την καταστροφή και κανονισμοί.
- Ευθύνη: Αστική ευθύνη. Αμέλεια. Ευθύνη προϊόντων.
- Διάφορες πλευρές της νομοθεσίας, οι οποίες έχουν επιπτώσεις στην ασφάλεια κτηρίων: Οι αντικοινοπρακτικοί νόμοι και η επίδρασή τους στους κανονισμούς (περίπτωση αφρωδών πλαστικών). Δικαιώματα και υποχρεώσεις του κατασκευαστή, του ιδιοκτήτη και των ενοίκων. Αρχιτεκτονικά φράγματα και κόντρα πλακέ με επιβραδυντικές ιδιότητες για τη φωτιά. Νομοθεσία ΑμεΑ. Το υπουργείο υπεύθυνο για την ασφάλεια κτηρίων.

3.2.15 Τεχνολογία και νομοθεσία.

i. Περιγραφή:

Τα κύρια αντικείμενα του μαθήματος είναι: η βιοτεχνολογία, οι κανονισμοί για την ασφάλεια, η αστική ευθύνη προϊόντων, η επαγγελματική αμέλεια, οι αντικοινοπρακτικοί νόμοι, το προσωπικό απόρρητο και η τεχνολογία της πληροφορίας, τα μοντέλα επικινδυνότητας, η προστασία του περιβάλλοντος, η ευρεσιτεχνία, τα πνευματικά δικαιώματα, τα εμπορικά μυστικά, η αντίστροφη ανάλυση προϊόντος, τα επιστημονικά και τεχνολογικά τεκμήρια, το διεθνές εμπόριο και η ηθική στο χώρο των μηχανικών. Δίνονται παραδείγματα όπως η συντριβή αεροσκαφών, η προστασία της ευρεσιτεχνίας για ολοκληρωμένα κυκλώματα υπολογιστών, οι διασυνδεδεμένες διατάξεις ανθρώπου και μηχανής, τα πυρηνικά εργοστάσια, η λογοκρισία στο διαδίκτυο, ο έλεγχος πλημμύρων, οι σεισμοί και η βιοιατρική τεχνολογία.

ii. Στόχοι:

- Η κατανόηση της σχέσης μεταξύ του νομικού συστήματος και της τεχνολογικής ανάπτυξης.
- Η κατανόηση της σχέσης μεταξύ του σχεδιασμού από πλευράς μηχανικών και του συστήματος κανονισμών και ευθυνών.
- Η οικειοποίηση του φοιτητή με τους νομικούς και ηθικούς περιορισμούς κατά τη σχεδιαστική διαδικασία, μέσω της μελέτης μιας σειράς περιπτώσεων σχεδιασμού και την σχετική νομοθεσία ή τους δικαστικούς αγώνες.

iii. Αντικείμενο:

- Εισαγωγή στον νομικό έλεγχο της τεχνολογίας: Άσκηση δημόσιας πολιτικής μέσω της νομοθεσίας. Δημόσιες και προσωπικές επιλογές. Βλάβη συστήματος. Η περίπτωση H.M.S. Titanic.
- Ανάλυση αποδοτικότητας ρυθμίσεων: Ο τρόπος λειτουργίας των τεχνολογικών ρυθμίσεων. Η περίπτωση του Ford Explorer και των ελαστικών Firestone. Ηθική.
- Η ρυθμιστική διαδικασία: Ανάλυση Lancastrian. Η περίπτωση της ζώνης ασφαλείας.
- Τεχνικές και ρυθμιστικές λήψεις αποφάσεων: Γραφειοκράτες και διαχειριστές. Η περίπτωση των εύφλεκτων περιεχομένων.

- Καινοτομίες: Ο ρόλος της συμμόρφωσης με τα πρότυπα στο χώρο της καινοτομίας. Τεχνολογικό πλαίσιο και ρυθμιστικό μοντέλο.
- Κρατικές ρυθμιστικές αρχές.
- Προσωπική βλάβη, ευθύνη προϊόντων, εγγύηση και σχεδιασμός προϊόντων.
- Τεχνολογικός πολιτισμός: Ασφάλεια προϊόντων στην Ε.Ε. Σύγκριση ρυθμίσεων ανά τον κόσμο.
- Προσωπικά δεδομένα και υπολογιστές: Λογοκρισία.
- Το μέλλον: Τηλεϊατρική. Διαδικτυακό εμπόριο.
- Επιστημονικά και ψευδο-επιστημονικά τεκμήρια σε δίκες.

3.2.16 *Λυτικός πολιτισμός και φωτιά.*

Η σχέση του ανθρώπου με τη φωτιά, από την αρχαιότητα έως σήμερα, έχει διττό ρόλο: ως παραγωγική αλλά και ως καταστροφική δύναμη. Το μάθημα καλύπτει θέματα της φωτιάς όσον αφορά: στον πόλεμο, στην αγροτική ζωή, στη θρησκεία, στις τέχνες, στη βιομηχανία, στη φιλοσοφία, στις επιστήμες, στην αστική ανάπτυξη, στην εγκληματολογική νομοθεσία και στη νομοθεσία για μηχανικούς, όπως στην περίπτωση εμπρησμών και στην προστασία του περιβάλλοντος.

3.2.17 *Ανεξάρτητη μελέτη.*

Για φοιτητές, οι οποίοι έχουν συγκεκριμένα σχέδια για τη μελέτη εγκεκριμένων προβλημάτων ή για τη μελέτη ενός προχωρημένου θέματος, μετά από συνεννόηση με το διδακτικό προσωπικό.

3.2.18 *Ειδικά θέματα.*

Επίλεκτα επίκαιρα και σημαντικά θέματα *ΜΠ*.

3.3. *Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών ΜΠ.*

Το Τμήμα *ΜΠ* του UMD προσφέρει ένα πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών, το οποίο οδηγεί στην απόκτηση του τίτλου Master of Science ή του τίτλου Master of Engineering. Οι σπουδές για τον τίτλο M.S., έχουν μια περισσότερο ακαδημαϊκή κατεύθυνση, ενώ για τον τίτλο M.E., μια περισσότερο επαγγελματική. Το πρόγραμμα των σπουδών σχεδιάζεται σε ατομική βάση, ανάλογα με τα ενδιαφέροντα και το υπόβαθρο του κάθε φοιτητή. Υπάρχουν πολλοί ειδικοί τομείς για μελέτη σε

μεταπτυχιακό επίπεδο. Ένας τέτοιος τομέας επικεντρώνεται στις αρχές της *μηχανικής*, όσον αφορά στην μοντελοποίηση της φωτιάς και στην συμπεριφορά της καύσης. Για παράδειγμα: οι επιστημονικές αρχές που διέπουν την καύση των φλογών διάχυσης, η μηχανισμοί της διάδοσης της φωτιάς και οι μέθοδοι προσομοιώσεων με ζώνες για την πρόβλεψη της εξέλιξης μιας φωτιάς και της κίνησης του καπνού. Άλλο παράδειγμα ενός τομέα μελέτης είναι η εφαρμογή των τεχνικών ανάλυσης επικινδυνότητας, με τις οποίες γίνεται ποσοτικός υπολογισμός του μεγέθους των κινδύνων πυρκαγιάς και της πιθανότητας να προκληθεί πυρκαγιά. Σχετικοί και επιπρόσθετοι τομείς περιλαμβάνουν την «έξυπνη» πυρανίχνευση, την δομική πυροπροστασία, την αναφλεξιμότητα επίπλων και άλλων υλικών, την τοξικότητα που προκύπτει από μια φωτιά, την ανάλυση της αποτελεσματικότητας των νομοθετικών ρυθμίσεων και τους κανονισμούς με βάση την απόδοση. Αυτά και άλλα θέματα διατίθενται προς ατομική μελέτη και έρευνα.

Διδακτορικά προγράμματα δεν προσφέρονται απ' ευθείας από το τμήμα, αλλά μέσω άλλων τμημάτων του πανεπιστημίου. Όπως σε όλα τα διδακτορικά προγράμματα στην χώρα, τα μαθήματα είναι κοινά με αυτά των μεταπτυχιακών προγραμμάτων. Οι διαφορές με το μεταπτυχιακό πρόγραμμα είναι ότι: ο αριθμός των μαθημάτων είναι μεγαλύτερος, απαιτούνται εξετάσεις προαγωγής σε διδακτορικό επίπεδο, οι διδακτορικοί φοιτητές εργάζονται με πλήρη απασχόληση στο εργαστήριο, στο οποίο διεξάγουν την έρευνά τους, και εργάζονται παράλληλα ως βοηθοί διδασκαλίας.

Το τμήμα παρέχει τις κατάλληλες εργαστηριακές εγκαταστάσεις για την έρευνα των μεταπτυχιακών και διδακτορικών φοιτητών. Τα εργαστήρια διαθέτουν πληθώρα από διατάξεις για τη διεξαγωγή πρότυπων δοκιμασιών, όπως είναι το θερμιδόμετρο κώνου και η διάταξη εγκάρσιας ανάφλεξης και μεταφοράς φλόγας LIFT, η διάταξη μέτρησης καπνού και συσκώτισης σωματιδίων, το δοχείο μοντελοποίησης της φωτιάς με αλατόνερο, καθώς και τα προηγμένα συστήματα καταγραφής δεδομένων. Επιπρόσθετες εγκαταστάσεις διατίθενται μέσω της συνεργασίας με τους οργανισμούς Maryland Fire and Rescue Institute και National Institute of Standards and Technology. Το εργαστήριο υπολογιστών του τμήματος διαθέτει μια εκτενή βιβλιοθήκη από λογισμικά πακέτα μοντελοποίησης της φωτιάς για ερευνητικούς σκοπούς. Τα υπολογιστικά εργαλεία σχεδιασμού CAD, διατίθενται μέσω των κεντρικών εργαστηρίων του Clark School of Engineering. Οι βιβλιοθήκες του τμήματος και του πανεπιστημίου έχουν μια από τις πιο εκτενείς συλλογές στη χώρα, στον τομέα της *MPI*.

3.3.1 Σύντομη περιγραφή μαθημάτων μεταπτυχιακού ΠΣ.

- **Σεμινάριο επαγγελματικής ανάπτυξης:** Ενότητα 3.2.8
- **Δομική πυροπροστασία:** Ενότητα 3.2.9
- **Εκτίμηση βαθμού επικινδυνότητας:** Ενότητα 3.2.10
- **Δυναμική της φωτιάς:** Ενότητα 3.2.11
- **Μοντελοποίηση της φωτιάς:** Ενότητα 3.2.12
- **Ασφάλεια κτηρίων και νομοθεσία:** Ενότητα 3.2.14
- **Νομοθεσία και τεχνολογία:** Ενότητα 3.2.15

- **Ροές και φωτιά.**

Προαπαιτούμενο είναι το μάθημα της δυναμικής της φωτιάς. Παρουσιάζεται η θεωρητική βάση για τις ροές άνωσης που προκαλούνται από μια φωτιά. Στήλη της φωτιάς. Ταχείες ροές οροφής. Ροές αεραγωγών. Ροές διαμερισμάτων. Διαστατική ανάλυση και εφαρμογές σε μοντέλα μικρότερης κλίμακας. Κίνηση του καπνού και προϊόντα της καύσης.

- **Ανθρώπινη συμπεριφορά και πυρκαγιά.**

Μέθοδοι κλασματικής δραστικής δόσης για την πρόβλεψη του χρόνου αδρανοποίησης και θανάτου. Τοξικολογία των στοιχείων που απορρέουν από μια φωτιά. Χημεία της αποσύνθεσης κοινών υλικών. Πρότυπες πειραματικές μέθοδοι. Μοντέλα πρόβλεψης του ρυθμού παραγωγής ουσιών. Χαρακτηριστικά της ανθρώπινης μετακίνησης, όσον αφορά στην εκκένωση κτηρίων. Διαμόρφωση και εφαρμογή μοντέλων εκκένωσης. Παράγοντες της ανθρώπινης συμπεριφοράς, οι οποίοι σχετίζονται με την αντίδραση των ανθρώπων σε περιπτώσεις πυρκαγιάς.

- **Εργαστήριο δυναμικής της φωτιάς.**

i. Περιγραφή:

Πειράματα καύσης, με φλόγα διάχυσης. Ρυθμός έκλυσης ενέργειας. Τεχνικές μετρήσεων και εποπτείας της ανάφλεξης, της διάδοσης, της θερμοκρασίας και της ροής θερμότητας. Μεταβλητές μοντέλων.

ii. Αντικείμενα:

Εξάπλωση της φλόγας και μετρήσεις. Φλόγα διάχυσης ενός κεριού και μετρήσεις. Μετρήσεις με θερμοζεύγος. Ανάφλεξη στερεών και υγρών και μετρήσεις. Ο ρυθμός καύσης μιας «λίμνης» υγρών και η σχέση του με τη διάμετρο. Στήλη της φωτιάς και ύψος της φλόγας. Φωτιές διαμερισμάτων.

iii. Βιβλιογραφία:

- Cote AE (Editor). *Fire Protection Handbook*. NFPA, Quincy, MA, 2003.
- DiNenno PJ (Editor). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. NFPA, Quincy, MA, 2002.
- Quintiere JG. *Fundamentals of Fire Phenomena*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, England, 2006.
- ***Αναλυτικές μέθοδοι δομικής πυροπροστασίας.***

Προαπαιτούμενο μάθημα, είναι η δομική πυροπροστασία. Αναλυτικές μέθοδοι για δομικά στοιχεία από ξύλο, χάλυβα, σκυρόδεμα και σύνθετα υλικά. Δομικές αλλαγές και περιορισμοί, υπό συνθήκες έκθεσης σε φωτιά. Υπολογισμοί και μοντέλα για την πρόβλεψη της αντίστασης δομικών στοιχείων σε πυρκαγιά.
- ***Ανάλυση βαθμού επικινδυνότητας για ΜΠ.***

Ορισμός. Υπολογισμός του βαθμού επικινδυνότητας για μια διεργασία, κατασκευή ή περιοχή. Πρόληψη, επέμβαση, έλεγχος και στρατηγικές καταστολής. Καταμερισμός μέσων, θεωρία ουρών αναμονής, προτεραιότητα αποφάσεων, ανάλυση κόστους.
- ***Προχωρημένη μοντελοποίηση της φωτιάς.***

Εγκυρότητα, χρησιμότητα και αξιοπιστία των σύγχρονων μοντέλων. Εφαρμογές μοντέλων στην ανάλυση επικινδυνότητας, στις ασφαλιστικές συμβάσεις και στον υπολογισμό ζημιών. Δημιουργία και επαλήθευση συγκεκριμένων μοντέλων.

- **Συστήματα ανίχνευσης και ελέγχου του καπνού.**

Εφαρμογή βασικών αρχών της μηχανικής στο σχεδιασμό και την ανάλυση συστημάτων ελέγχου του καπνού. Εκτίμηση κινδύνων λόγω καπνού. Δυνάμεις που επηρεάζουν την κίνηση του καπνού. Ανάλυση ροής αέρα σε κτήρια. Ανασκόπηση χαρακτηριστικών απόδοσης συστημάτων διαχείρισης καπνού.

- **Ειδικά θέματα.**

Σύγχρονη έρευνα στο χώρο της ΜΠ. Μελλοντικές τάσεις και σημαντικές αλλαγές στην έρευνα και στον επαγγελματικό χώρο. Επαγγελματικά πρότυπα.

- **Φλόγες διάχυσης και θεωρία ρυθμού καύσης.**

i. Προαπαιτούμενα:

Θερμοδυναμική, μηχανική των ρευστών, μεταφορά θερμότητας, μερικές διαφορικές εξισώσεις.

ii. Περιγραφή:

Βασικές αρχές των φλογών διάχυσης για αέρια, υγρά και στερεά καύσιμα. Καύση σταγονιδίων. Ο αριθμός B . Καύση αναβλύζουσας φλόγας. Καύση οριακού στρώματος. Γενικευμένες μέθοδοι.

iii. Αξιολόγηση:

Η βαθμολογία διαμορφώνεται από τις δύο εξετάσεις (30% η πρόοδος και 40% η τελική) και από τις εβδομαδιαίες ασκήσεις (30%).

iv. Βιβλιογραφία:

- Turns SR. *An Introduction to Combustion*. McGraw Hill, New York, NY.

- **Αξιοπιστία και ανάλυση επικινδυνότητας στη ΜΠ.**

Προαπαιτούμενο μάθημα είναι η ανάλυση βαθμού επικινδυνότητας πυρκαγιάς. Τεχνικές ανάλυσης αξιοπιστίας για προβλήματα *MPI*. Υπολογιστικά μοντέλα. Θεωρία κατανομών πιθανότητας και μέθοδοι Monte Carlo.

- ***Εκτίμηση και ανάλυση τοξικότητας.***

Φυσικές και αναλυτικές τεχνικές για τη μέτρηση των τοξικών ουσιών του καπνού και των αερίων που προέρχονται από θερμικές διεργασίες. Χαρακτηριστικά ανθρώπινης διαύγειας. Επιδράσεις ουσιών και δόσεων έκθεσης στην ανθρώπινη φυσιολογία. Μοντέλα πρόβλεψης των ρυθμών παραγωγής προϊόντων της καύσης. Μεταβλητές αποσύνθεσης. Μεταβλητές και θέματα οργάνων μέτρησης. Τεχνικές ανάλυσης αερίων καύσης.

- ***Ειδικά προβλήματα.***

Προχωρημένα σύγχρονα θέματα *MPI*, επιλεγμένα από τους καθηγητές έτσι, ώστε να καλύπτουν ατομικά, τις ειδικά ενδιαφέροντα των φοιτητών.

- ***Σεμινάριο μεταπτυχιακών φοιτητών.***
- ***Μεταπτυχιακή ερευνητική εργασία.***

4. ΜΠ στο Worcester Polytechnic Institute.

4.1 Προγράμματα σπουδών ΜΠ του Department of Fire Protection Engineering, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA.

Το μεταπτυχιακό πρόγραμμα ΜΠ του WPI ιδρύθηκε το 1979. Το πρόγραμμα αυτό, λειτουργεί ως πόλος έλξης, προσελκύνοντας ταλέντα από πολλές περιοχές γνώσεων, όπως αυτές των μηχανολόγων, των χημικών και των ηλεκτρολόγων μηχανικών, της επιστήμης των υπολογιστών, της φυσικής, των οικονομικών επιστημών και των μαθηματικών, για την αντιμετώπιση των θεμάτων της πυρκαγιάς και της ασφάλειας. Ο στόχος του προγράμματος είναι να προετοιμάσει τους φοιτητές με μια ποιοτική και εξειδικευμένη εκπαίδευση, ώστε να ακολουθήσουν καριέρα στο τομέα της ΜΠ, είτε εξασκώντας το επάγγελμα στο πεδίο της αγοράς, είτε της έρευνας και της διδασκαλίας. Μέρος της φιλοσοφίας του τμήματος, είναι ότι για την επιτυχία ενός μηχανικού στον επαγγελματικό χώρο, δεν αρκούν μόνο οι τεχνικές γνώσεις. Ο μηχανικός πρέπει να μπορεί να αντιμετωπίζει ακανόνιστα προβλήματα, να διαθέτει επαγγελματισμό και να είναι αποδοτικός στον τομέα της επικοινωνίας. Πάνω σε αυτές τις βάσεις, κινείται ολόκληρη η προσέγγιση του τμήματος. Τα συγκεκριμένα μαθήματα, τα οποία πρέπει να παρακολουθήσει επιτυχώς ένας φοιτητής, καθορίζονται σε ατομική βάση, αναλόγως με το υπόβαθρο των γνώσεων, την επαγγελματική εμπειρία και τους επαγγελματικούς στόχους του φοιτητή.

Το WPI προσφέρει επίσης ένα πρόγραμμα σπουδών, στο οποίο συνδυάζονται οι προπτυχιακές σπουδές σε ένα τα παραδοσιακά αντικείμενα *μηχανικής*, με το μεταπτυχιακό πρόγραμμα ΜΠ. Τα μαθήματα και οι απαιτήσεις, είναι ακριβώς τα ίδια με το μεταπτυχιακό πρόγραμμα. Εκτός από το ότι αποκτά δύο τίτλους, ένα από τα πλεονεκτήματα για το φοιτητή είναι ότι εξοικονομεί χρόνο σπουδών, καθώς τα μαθήματα ειδικότητας ΜΠ αντικαθιστούν πολλά από τα προπτυχιακά μαθήματα επιλογής. Το πρόγραμμα αυτό, είναι αναγνωρισμένο από το ABET, μέσω των προγραμμάτων των ηλεκτρολόγων, των μηχανολόγων, των χημικών και των πολιτικών μηχανικών. Η σχετική πιστοποίηση αφορά, σχεδόν αποκλειστικά, στα προπτυχιακά προγράμματα. Τέλος, από το 1991, το WPI προσφέρει το μοναδικό διδακτορικό πρόγραμμα ειδικότητας ΜΠ στη χώρα. Στο πρόγραμμα αυτό, τα μαθήματα ειδικότητας, είναι κοινά με το μεταπτυχιακό πρόγραμμα. Επιπλέον των μεταπτυχιακών μαθημάτων και της έρευνας, ο διδακτορικός φοιτητής καλείται, μέσα στα πρώτα δύο χρόνια φοίτησης, να περάσει από γραπτές και προφορικές διήμερες προβιβαστικές εξετάσεις. Στις εξετάσεις αυτές,

καλύπτεται όλο το φάσμα των γνώσεων *μηχανικής*, στις οποίες έχει εκτεθεί ο φοιτητής στην ακαδημαϊκή του πορεία, καθώς και όλες οι γνώσεις της ειδικότητας. Τέλος, ο διδακτορικός φοιτητής καλείται δύο φορές να υποστηρίξει τη διδακτορική του διατριβή ενώπιων του τμήματος· μια ως πρόταση και μία ως ολοκληρωμένη επιστημονική τοποθέτηση.

4.1.1 Διδακτικό προσωπικό και έρευνα.

Το διδακτικό προσωπικό του τμήματος αποτελείται από έξι μόνιμους καθηγητές, εννέα καθηγητές από τη βιομηχανία και το ΜΙΤ, οι οποίοι συνεργάζονται με το τμήμα ως εξωτερικοί συνεργάτες, και τρεις ομότιμους καθηγητές. Το τμήμα διαθέτει τρία ερευνητικά κέντρα: επιστημών της φωτιάς, επιστημών της καύσης και μοντελοποίησης της φωτιάς. Οι έρευνες διεξάγονται σε ένα διεπιστημονικό περιβάλλον, καθώς εκτός από τους φοιτητές και τους καθηγητές του τμήματος, με τα κέντρα αυτά συνεργάζονται πολιτικοί μηχανικοί, μηχανολόγοι μηχανικοί και ειδικοί από αρκετούς άλλους τομείς. Τα κύρια ερευνητικά ενδιαφέροντα είναι: οι μέθοδοι αξιολόγησης της πυροπροστασίας για κτηριακές εγκαταστάσεις και πλοία, το φαινόμενο της έκρηξης, η μοντελοποίηση της απόδοσης των κτηρίων σε πυρκαγιές, η πυρανίχνευση και πυροκαταστολή και οι τεχνικές διαχείρισης κινδύνων. Τα ερευνητικά ενδιαφέροντα των μόνιμων καθηγητών είναι: ιδιότητες των υλικών στην πυρκαγιά και δοκιμασίες για πυροπροστατευτικό ρουχισμό, δυναμική της φωτιάς σε κλειστούς χώρους με πειράματα μεγάλης κλίμακας, αξιολόγηση, ανάπτυξη και επαλήθευση μοντέλων πυρκαγιάς σε κλειστούς χώρους, κανονισμοί βάσει απόδοσης, απόδοση δομικών στοιχείων σε υψηλές θερμοκρασίες, δομικός σχεδιασμός για συνθήκες πυρκαγιάς, σχέση δομικού σχεδιασμού με την ασφάλεια των πυροσβεστών, διαχείριση κινδύνων πυρκαγιάς, σχεδιασμός βάσει απόδοσης και νομοθεσία, λήψη αποφάσεων στον σχεδιασμό πυροπροστασίας, στρατηγικές σχεδιασμού της εκκένωσης, πυρανίχνευση και σήμανση, πυροκαταστολή, εκρήξεις νεφών σκόνης, ροές αερίων λόγω πυρκαγιάς και εξάπλωση της φλόγας σε υγρά και στερεά.

4.2. Περιγραφή μαθημάτων ειδικότητας ΜΠ.

4.2.1 Υπόβαθρο και ελάχιστες απαιτήσεις.

Οι φοιτητές του μεταπτυχιακού προγράμματος πρέπει να έχουν καλύψει την ύλη των παρακάτω μαθημάτων στις προπτυχιακές τους σπουδές: λογισμός I-IV, διαφορικές εξισώσεις, γραμμική άλγεβρα, χημεία I-II, μηχανική, ηλεκτρομαγνητισμός, στατική, δυναμική, θερμοδυναμική, μεταφορά θερμότητας,

μηχανική ρευστών, σχέδιο, και προγραμματισμός. Η βαθμολογία σε αυτά τα μαθήματα, πρέπει να είναι τουλάχιστον 3,00/4,00.

4.2.2 Βασικές αρχές της ανάλυσης πυροπροστασίας.

i. Προαπαιτούμενα:

Μαθηματικά μέχρι και την ύλη των μερικών διαφορικών εξισώσεων (μέθοδοι ανάλυσης για μηχανικούς). Μηχανική των ρευστών.

ii. Περιγραφή:

Σε αυτό το μάθημα, παρουσιάζεται σε φοιτητές προερχόμενους από διαφορετικούς τεχνικούς τομείς, μια εισαγωγή στις αναλυτικές μεθόδους για την αντιμετώπιση προβλημάτων που προκύπτουν από πυρκαγιές, εκρήξεις και άλλα επικίνδυνα συμβάντα. Η έμφαση δίνεται στην κατανόηση των φυσικών εννοιών του προβλήματος και την μεταξύ τους αλληλεπίδρασή. Εφαρμόζονται τεχνικές ποσοτικοποίησης των καθιερωμένων θεωρητικών και εμπειρικών μεθόδων που επικρατούν στον χώρο της ΜΠ. Επίσης, γίνονται εφαρμογές με χρήση διάφορων λογισμικών.

4.2.3 Δυναμική της φωτιάς.

i. Προαπαιτούμενα:

Για αυτό το μάθημα, θεωρούνται δεδομένες κάποιες βασικές υπολογιστικές ικανότητες. Οι αριθμητικές μέθοδοι, οι οποίες χρησιμοποιούνται μπορούν να αφομοιωθούν με ανεξάρτητη μελέτη, παράλληλα με τη διδασκαλία του μαθήματος. Προαπαιτούμενα μαθήματα είναι η χημεία, η θερμοδυναμική, η μηχανική των ρευστών και η μεταφορά θερμότητας. Επίσης απαραίτητο, είναι να έχει ο φοιτητής πρόσφατες τις γνώσεις, από τα μαθήματα του λογισμού, της γραμμικής άλγεβρας, των διαφορικών εξισώσεων και των μερικών διαφορικών εξισώσεων. Χωρίς αυτά, το μάθημα γίνεται πολύ δύσκολο.

ii. Περιγραφή:

Αυτό το μάθημα, παρουσιάζει στους φοιτητές τις βασικές αρχές των φαινομένων της φωτιάς και της καύσης. Ο στόχος του μαθήματος είναι να αποτελέσει την πρώτη έκθεση του φοιτητή στα φαινόμενα της δυναμικής της φωτιάς. Περιλαμβάνει βασικά θέματα όπως: η θερμοδυναμική της καύσης, η χημεία της φωτιάς, οι φλόγες διάχυσης και προανάμιξης, η καύση στερεών, η ανάφλεξη, η στήλη της φωτιάς, οι συναρτήσεις και τα διαγράμματα του ρυθμού έκλυσης ενέργειας και η εξάπλωση της φωτιάς. Αυτά τα θέματα, χρησιμοποιούνται ως η βάση για την εισαγωγή της συμπεριφοράς της φωτιάς σε κλειστό χώρο, τις συνθήκες πριν και μετά την έκλαμψη και τα μοντέλα ζωνών.

iii. Στόχοι:

Η χρήση των βασικών αρχών της θερμοδυναμικής, της μηχανικής των ρευστών, της μεταφοράς θερμότητας και της θεωρίας της καύσης για τη δημιουργία εξισώσεων, χρήσιμων για την ανάλυση της ανεπιθύμητης ανάπτυξης και εξάπλωσης της φωτιάς. Για αυτό το μάθημα, οι εξισώσεις είναι κυρίως βασισμένες στη φυσική και η εφαρμογή τους γίνεται σε συνήθεις δομικές κατασκευές.

iv. Αντικείμενα:

- Επιστήμη της φωτιάς και χημεία (Drysdale, Ch. 1). Θερμοχημεία (Quintiere, Ch. 1-2).
- Μεταφορά θερμότητας (Drysdale, Ch. 2). Εξισώσεις διατήρησης για όγκους ελέγχου (Quintiere, Ch. 3).
- Όρια αναφλεξιμότητας και φλόγες προανάμιξης (Drysdale, Ch. 3. Quintiere, Ch. 4).
- Ανάφλεξη (Drysdale, Ch. 6. Quintiere, Ch. 7)
- Ρυθμός καύσης (Drysdale, Ch. 5. Quintiere, Ch. 9).
- Φλόγες διάχυσης και στήλη της φωτιάς (Drysdale, Ch. 4. Quintiere, Ch. 10).
- Εξάπλωση της φωτιάς (Drysdale, Ch. 7. Quintiere, Ch. 8).
- Φωτιές σε διαμερίσματα (Drysdale, Ch. 9-10. Quintiere, Ch. 11).
- Μοντέλα ζωνών και εφαρμογές (Σημειώσεις. Quintiere, Ch. 3).

iv. Σημειώσεις διδάσκοντα και αξιολόγηση:

Στις διαλέξεις, εκτός των άλλων, συζητούνται θέματα που έχουν να κάνουν με την πρόσφατη ύλη και τις τυχόν απορίες. Στις επιπρόσθετες φροντιστηριακές ώρες, γίνεται συζήτηση για τις ασκήσεις της εβδομάδας. Επιπρόσθετα, ο καθηγητής διαθέτει συγκεκριμένες ώρες κάθε εβδομάδα, στις οποίες δέχεται φοιτητές στο γραφείο του, για τυχόν απορίες. Κάθε μάθημα, βιντεοσκοπείται και καταχωρείται στον διαδικτυακό τόπο του μαθήματος. Στο τέλος του εξαμήνου γίνεται αξιολόγηση του μαθήματος από τους φοιτητές.

Η τελική βαθμολογία διαμορφώνεται κατά 35%, από κάθε μία από τις δύο εξετάσεις, κατά 30% από τις ασκήσεις και τα εμβόλιμα κουίζ και με ένα έξτρα 10% για τη συμμετοχή στο μάθημα. Οι ασκήσεις είναι εβδομαδιαίες και δεν γίνονται αποδεκτές με καθυστέρηση. Όλα τα γραπτά προς βαθμολόγηση, επιστρέφονται διορθωμένα σε εύλογο χρονικό διάστημα. Τέλος, τονίζεται ότι η ακαδημαϊκή ηθική ακεραιότητα και ειλικρίνεια είναι άκρως σημαντική και υπάρχει μηδενική ανοχή σε παραβιάσεις της.

v. Απαραίτητη βιβλιογραφία:

- Drysdale DD. *An Introduction to Fire Dynamics*, Wiley, 1999.
- Quintiere JG. *Fundamentals of Fire Phenomena*, Wiley, 2006.

4.2.4 Μοντελοποίηση της φωτιάς.

i. Προαπαιτούμενα:

Για το μάθημα, θεωρούνται δεδομένες κάποιες βασικές υπολογιστικές ικανότητες. Οι αριθμητικές μέθοδοι, οι οποίες χρησιμοποιούνται μπορούν να αφομοιωθούν με ανεξάρτητη μελέτη, παράλληλα με τη διδασκαλία του μαθήματος. Προαπαιτούμενο μάθημα, είναι η δυναμική της φωτιάς.

ii. Περιγραφή:

Μελετάται η συμπεριφορά της φωτιάς σε κλειστό χώρο, μέσω της εφαρμογής δύο ειδών μοντέλων: ζωνών και πεδίου. Το μοντέλο ζωνών που μελετάται είναι το CFAST. Το μοντέλο πεδίου είναι το FDS. Το μάθημα επικεντρώνεται στην εις βάθος κατανόηση των δύο μοντέλων σε θέματα όπως τα δεδομένα εισόδου, οι

εξισώσεις και οι μέθοδοι με τις οποίες επιλύονται, η ερμηνεία των αποτελεσμάτων και οι περιορισμοί των μοντέλων. Επιπλέον κατανόηση των μοντέλων, επιτυγχάνεται μέσω της δημιουργίας τέτοιων, από τους ίδιους τους φοιτητές. Για την ολοκλήρωση του μαθήματος απαιτείται από τους φοιτητές η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου και λειτουργικού μοντέλου.

iii. ***Αξιολόγηση:***

Η εξαμηνιαία εργασία αναλογεί στο 40% του τελικού βαθμού, ενώ οι εβδομαδιαίες αναφορές στο 30%. Η εξαμηνιαία εργασία αφορά στην μοντελοποίηση και την πλήρη ανάλυση (αριθμητική, φυσική και χημική) κάποιων σεναρίων πυρκαγιάς.

4.2.5 Συστήματα Πυροπροστασίας.

i. ***Προαπαιτούμενα:***

Προαπαιτούμενα μαθήματα είναι η χημεία, η μηχανική των ρευστών και η θερμοδυναμική.

ii. ***Περιγραφή:***

Αυτό το μάθημα, είναι μια εισαγωγή στα αυτόματα συστήματα καταστολής πυρκαγιάς και πυρανίχνευσης. Στο μάθημα παρουσιάζεται: μια γενική επισκόπηση των σχετικών φυσικών και χημικών φαινομένων, τα μέρη ενός αυτόματου συστήματος καταιονισμού, οι αέριες ουσίες πυρόσβεσης και τα συστήματα με αφρώδεις και ξηρές χημικές ουσίες. Διδάσκονται οι αρχές των ενεργών συστημάτων πυροπροστασίας, κυρίως για τα αυτόματα συστήματα καταιονισμού. Επίσης, συζητούνται τα συστήματα των μόνιμων υδροδοτικών δικτύων, με τους κατακόρυφους αγωγούς παροχής και τους πυροσβεστικούς σωλήνες. Περιγράφονται τα φυσικά φαινόμενα, καθώς και η λειτουργικότητα και ο σκοπός αυτών των συστημάτων. Όσον αφορά στο σχεδιασμό και την εγκατάσταση, παρουσιάζονται θέματα εξοπλισμού, κανονισμών εγκατάστασης, αξιολόγησης της έγκρισης προϊόντων, καθώς και μέθοδοι χρήσιμων υπολογισμών.

iii. Στόχοι:

- Η κατανόηση του ρόλου, τον οποίο εξυπηρετούν τα συστήματα, αυτόματου καταιονισμού και παροχής νερού από μόνιμα δίκτυα, στην πυροπροστασία.
- Η επανάληψη των φαινομένων της δυναμικής της εξάπλωσης της φωτιάς σε διαμέρισμα, τα οποία σχετίζονται με τα συστήματα πυροπροστασίας.
- Η εισαγωγή του αντικειμένου της πυρανίχνευσης και των μηχανισμών πυρόσβεσης.
- Η εκμάθηση των βασικών αρχών της λειτουργίας των συστημάτων πυροπροστασίας.
- Η κατανόηση των χαρακτηριστικών και των λειτουργιών, διαφόρων τύπων αυτόματων συστημάτων καταιονισμού.
- Η ικανότητα αναγνώρισης και η κατανόηση του ρόλου και των χαρακτηριστικών των διαφόρων στοιχείων που απαρτίζουν το σύστημα, όπως οι καταιονητήρες, οι βαλβίδες, οι σωλήνες και άλλα.
- Ο υπολογισμός και η πρόβλεψη του τρόπου ενεργοποίησης του συστήματος και της απόδοσης του.
- Η κατανόηση των αρχών που σχετίζονται με τη ροή στο σύστημα.
- Η εφαρμογή των κατάλληλων υπολογισμών για το σχεδιασμό και την αξιολόγηση συστημάτων καταιονισμού.
- Ο σχεδιασμός κατάλληλων συστημάτων, με βάση τους στόχους πυροπροστασίας, τις συγκεκριμένες μεθόδους προσέγγισης και τις ιδιαιτερότητες που μπορεί να προκύψουν.
- Η οικειοποίηση με τα στάδια στη διαδικασία ενός σχεδιασμού και τα σχετικά έγγραφα, τα οποία είναι απαραίτητα για την υλοποίηση του σχεδιασμού.
- Η αξιολόγηση της αξιοπιστίας της απόδοσης ενός συστήματος καταιονισμού.

iv. Αντικείμενα:

- Εισαγωγή. Γενική επισκόπηση του μαθήματος. Εισαγωγή στη δυναμική της εξάπλωση της φωτιάς σε κλειστό χώρο. Μηχανισμοί πυρόσβεσης. Ο σκοπός των συστημάτων καταιονισμού.
- Ο ρόλος των κανονισμών και των προτύπων. Η ανατομία των προτύπων NFPA. Κατηγορίες κινδύνων, οι οποίες σχετίζονται με αποθηκευμένα αγαθά και με τον πληθυσμό του κτηρίου. Είδη και λειτουργίες συστημάτων καταιονισμού.

- Στοιχεία που απαρτίζουν ένα σύστημα καταιονισμού. Χαρακτηριστικά των καταιονητήρων διαφόρων τύπων. Βαλβίδες. Υπόγειες και επίγειες σωλήνες και εξαρτήματα. Σύνδεσμοι. Συσκευές συναγερμού. Αξιολόγηση προϊόντων και δοκιμασίες.
- Κατασκευή κτηρίων. Σχέδια του συστήματος πυροπροστασίας. Αποστάσεις, διάταξη και τοποθέτηση καταιονητήρων. Είδη εκροής. Εμπόδια.
- Εφαρμογές για αποθήκες. Διατάξεις και οργάνωση αποθήκευσης. Δυναμική της εξάπλωσης της πυρκαγιάς για κάθε διάταξη αποθήκευσης.
- Υδραυλική.
- Παροχή νερού και αντλίες πυρόσβεσης.
- Μέθοδοι υπολογισμού. Λογισμικά για την υδραυλική συστημάτων καταιονισμού. Τεχνικές μοντελοποίησης και εφαρμογές.
- Θέματα που αφορούν στην στήριξη και τον περιορισμό των σωληνώσεων.
- Σχεδιαστικά έγγραφα. Σχέδια καταιονητήρων. Πρότυπα, προδιαγραφές και συμβόλαια.
- Αξιοπιστία συστήματος. Δοκιμασίες αποδοχής. Συντήρηση και δοκιμασίες ρουτίνας. Διάβρωση λόγω μικροβιολογικών παραγόντων. Στατιστική.

v. Σημειώσεις διδάσκοντα και αξιολόγηση:

Πέραν του διδάσκοντα καθηγητή υπάρχει και ο βοηθός διδασκαλίας, ο οποίος παρέχει βοήθεια για τις ασκήσεις, την εξαμηνιαία εργασία και τις ερωτήσεις κατά τη διάρκεια των επιπρόσθετων εβδομαδιαίων φροντιστηριακών μαθημάτων, καθώς και μέσω του διαδικτύου. Επίσης, ο καθηγητής διαθέτει συγκεκριμένες ώρες κάθε εβδομάδα, στις οποίες δέχεται φοιτητές στο γραφείο του για τυχόν απορίες. Είναι πιθανόν να υπάρχουν και καλεσμένοι ομιλητές για συγκεκριμένα αντικείμενα. Οι βασικές αρχές θα παρουσιάζονται στις διαλέξεις και οι φοιτητές απαιτείται να συνεχίζουν την εκμάθηση μέσω της μελέτης της διδακτέας ύλης, της επίλυσης των ασκήσεων και της ολοκλήρωσης της εξαμηνιαίας εργασίας. Κάθε μάθημα βιντεοσκοπείται και καταχωρείται στον διαδικτυακό τόπο του μαθήματος. Στο τέλος του εξαμήνου γίνεται αξιολόγηση του μαθήματος από τους φοιτητές.

Η αξιολόγηση της γνώσης του αντικειμένου από τους φοιτητές γίνεται μέσω των ασκήσεων, της εργασίας, των έκτακτων μικρών διαγωνισμών, της συμμετοχής και των δύο εξετάσεων. Οι ασκήσεις πρέπει να γίνονται ατομικά, παρόλο που η συζήτηση μεταξύ φοιτητών είναι θεμιτή. Η εξαμηνιαία εργασία

γίνεται και παρουσιάζεται κατά ομάδες. Στην εργασία, ζητείται ο σχεδιασμός ενός αυτόματου συστήματος καταιονισμού για συγκεκριμένη εφαρμογή.

Η βαθμολογία των φοιτητών προκύπτει από: τους βαθμούς των εξετάσεων (25% η κάθε μία), της εργασίας (25%), των ασκήσεων και της συμμετοχής (ερωτήσεις, απαντήσεις, μικρά τεστ) στο μάθημα (25%). Η βάση είναι το εξήντα στα εκατό. Όλα τα έγγραφα προς βαθμολόγηση επιστρέφονται διορθωμένα στους φοιτητές, σε εύλογο χρονικό διάστημα. Επίσης, γίνεται συζήτηση στην τάξη για τις λύσεις όλων των προβλημάτων.

Οι εξετάσεις, είναι πιθανόν να περιλαμβάνουν και θέματα για υποκειμενική ανάλυση. Η βαθμολόγηση γίνεται με βάση την επίδειξη της ικανότητας επίλυσης προβλημάτων, την καταλληλότητα και την αρτιότητα της ανάλυσης και την αρτιότητα των λύσεων. Η σαφήνεια και η συντομία των λύσεων και των απαντήσεων θεωρείται πλεονέκτημα για τον εξεταζόμενο.

Η εξαμηνιαία εργασία γίνεται και βαθμολογείται κατά ομάδες. Απαιτείται γραπτή αναφορά και προφορική παρουσίαση. Η γραπτή αναφορά και ανάλυση βαθμολογείται για το περιεχόμενό της (την κατανόηση του προβλήματος, την επάρκεια της έρευνας, την ανάλυση, τις λύσεις, τα αποτελέσματα, τα συμπεράσματα και τις προτάσεις), αλλά και για την παρουσίασή της (την εμφάνιση, την γραμματική, τις σωστές παραθέσεις και τον τρόπο παρουσίασης των εννοιών). Δεν υπάρχει προκαθορισμένο όριο, για το πόσο μεγάλη πρέπει να είναι, αλλά τονίζεται ότι η έμφαση πρέπει να δίνεται στο περιεχόμενο και όχι στο μέγεθος. Η παρουσίασεις βαθμολογούνται για το περιεχόμενο και για την ικανότητα της μεταφοράς σημαντικών πληροφοριών στο δεδομένο χρόνο. Ξανά, θεωρείται πλεονέκτημα η σαφήνεια και συντομία.

Ασκήσεις ανατίθενται εβδομαδιαίως, για να μπορούν οι φοιτητές να εφαρμόζουν τις πληροφορίες και τις έννοιες, οι οποίες παρουσιάζονται στις διαλέξεις και στην ύλη προς ανάγνωση. Για την κατανόηση της ύλης, οι ασκήσεις που έχουν παραδοθεί, συζητούνται με τον βοηθό κάθε εβδομάδα στις έξτρα διδακτικές ώρες. Η βαθμολόγηση γίνεται με βάση την ολοκλήρωση των λύσεων, την έγκαιρη παράδοση και την προσπάθεια. Η συμμετοχή στο μάθημα αξιολογείται με βάση τις ερωτήσεις, τις απαντήσεις (π.χ. κουίζ) και την ενεργή συμμετοχή των φοιτητών κατά το μάθημα. Τέλος, τονίζεται ότι η ακαδημαϊκή

ηθική ακεραιότητα και ειλικρίνεια είναι άκρως σημαντική και υπάρχει μηδενική ανοχή σε παραβιάσεις της.

vi. Απαιτούμενη βιβλιογραφία:

- *Fire Protection Handbook*, NFPA. Quincy, MA, 2008.
- Dubay C. *Automatic Sprinkler Systems Handbook*, NFPA. Quincy, MA, 2007.
- Gagnon RM. *Designers Guide to Automatic Sprinkler Systems*. NFPA, Quincy, MA, 2005.
- Isman KE, Puchovsky MT. *Pumps for Fire Protection Systems*. NFPA, Quincy, MA, 2002.
- Επιπρόσθετη ύλη ανακοινώνεται στο μάθημα.

vii. Προτεινόμενη βιβλιογραφία:

- *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. NFPA, Quincy, MA, 2002.
- Hague D. *Water-Based Fire Protection Systems Handbook*. NFPA, Quincy, MA, 2008.
- Dubay C. *Automatic Sprinkler Systems for Residential Occupancies Handbook*. NFPA, Quincy, MA, 2007.
- Hague D. *Handbook for Stationary Fire Pumps*. NFPA, Quincy, MA, 2007.

viii. Κανονισμοί και πρότυπα:

- NFPA 13: *Standard for the Installation of Sprinkler Systems*, 2007.
- NFPA 13D: *Standard for the Installation of Sprinkler Systems in One- and Two-Family Dwellings and Manufactured Homes*, 2007.
- NFPA 13R: *Standard for the Installation of Sprinkler Systems in Residential Occupancies up to and Including Four Stories in Height*, 2007.
- NFPA 14: *Standard for the Installation of Standpipe and Hose Systems*, 2007.
- NFPA 20: *Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection*, 2007.
- NFPA 24: *Standard for the Installation of Private Fire Service Mains and Their Appurtenances*, 2007.
- NFPA 25: *Standard for the Inspection, Testing and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems*, 2008.
- NFPA 550: *Guide to the Fire Safety Concepts Tree*, 2007.

4.2.6 Προχωρημένα θέματα πυροκαταστολής.

i. Προαπαιτούμενα:

Συστήματα πυροπροστασίας.

ii. Περιγραφή:

Στο μάθημα αυτό, συζητούνται προχωρημένα θέματα ανάλυσης και σχεδιασμού συστημάτων καταστολής της πυρκαγιάς, με έμφαση στην κατανόηση του σχεδιασμού βάσει απόδοσης. Στο θέμα των αυτόματων συστημάτων καταιονισμού, καλύπτεται η πρόβλεψη χρόνου ενεργοποίησης, οι αριθμητικές μέθοδοι για την ανάλυση των δικτύων ροής του νερού και τα φαινόμενα κατά την πυρόσβεση με ψεκασμό νερού. Στα ειδικά συστήματα καταστολής, καλύπτεται η διφασική μη νευτώνεια ροή σε σωλήνα και οι προσομοιώσεις της εκροής και της ανάμιξης ουσιών καταστολής σε ένα κλειστό χώρο.

4.2.7 Πυρανίχνευση, συναγερμοί και έλεγχος καπνού.

i. Προαπαιτούμενα:

Συστήματα πυροπροστασίας και δυναμική της φωτιάς. Τα μαθήματα αυτά, μπορούν να παρακολουθηθούν παράλληλα.

ii. Περιγραφή:

Παρουσιάζονται οι βασικές αρχές της πυρανίχνευσης και η τεχνολογία ανίχνευσης φλόγας, θερμότητας και καπνού. Παρουσιάζεται η τεχνολογία πυρανίχνευσης, η ηλεκτρολογική της διασύνδεση, ο σύγχρονος εξοπλισμός, καθώς και τα σύγχρονα σχετικά πρότυπα. Στο θέμα των συστημάτων ελέγχου καπνού με βάση την άνωση και των αρχών του κλιματισμού και του εξαερισμού, καλύπτεται ο έλεγχος καπνού σε κτήριο, ο οποίος έχει σκοπό την εξασφάλιση της επιβίωσης των ενοίκων σε περίπτωση πυρκαγιάς και την ασφαλή τους διαφυγή.

4.2.8 Κτηριακή πυροπροστασία.

i. Περιγραφή:

Αυτό το μάθημα επικεντρώνεται στην παρουσίαση ποιοτικών και ποσοτικών μεθόδων ανάλυσης της πυροπροστασίας κτηρίων. Παρουσιάζονται μέθοδοι δοκιμασιών πυρκαγιάς, κανονισμοί κτηρίων και πυρασφάλειας και κοινές πρακτικές, με εφαρμογές σε πραγματικές και θεωρητικές κτηριακές κατασκευές.

ii. Στόχοι:

Ο κύριος στόχος, είναι οι φοιτητές που ολοκληρώνουν το μάθημα να έχουν αποκτήσει την πρακτική τεχνική κατανόηση και εκτίμηση της διαδικασίας του σχεδιασμού κτηριακής πυροπροστασίας, κυρίως μέσω της εφαρμογής των σχετικών κανονισμών. Θα πρέπει, λοιπόν, οι φοιτητές να αφομοιώσουν τα εξής:

- Τη γενική διαδικασία σχεδιασμού για νέα κτήρια και για την αποκατάσταση παλαιών.
- Όλους τους εμπλεκόμενους και ενδιαφερόμενους στη διαδικασία: μηχανικούς, αρχιτέκτονες, εργολάβους, εμπλεκόμενους φορείς κτλ.
- Τον ρόλο, την εφαρμογή και την δημιουργία των κανονισμών κτηριακής πυροπροστασίας και των γενικών κτηριακών κανονισμών.
- Το ρόλο των ανεξάρτητων οργανισμών πιστοποίησης.
- Τις κατηγορίες με βάση τον πληθυσμό και τη χρήση ενός κτηρίου.
- Επιτρεπόμενα ύψη και εμβαδά κτηρίων.
- Τύποι κτηριακών κατασκευών.
- Μέσα εκκένωσης κτηρίων.
- Αναχαίτιση πυρκαγιάς.
- Υλικά που χρησιμοποιούνται στα εσωτερικά τελειώματα.
- Συστήματα ενεργής πυροπροστασίας.
- Πρωτόκολλα πρότυπων δοκιμασιών πυρκαγιάς.
- Μεθοδολογίες υπολογισμών και υπολογιστικές προσομοιώσεις φωτιάς.

iii. Αντικείμενα:

- Εισαγωγή. Κανονισμοί κτηρίων και πυρκαγιά.

- Τύποι κτηριακών κανονισμών. Διαδικασία σχεδιασμού κτηρίων και αποκατάστασης κτηρίων. Οι ενδιαφερόμενοι και εμπλεκόμενοι στη διαδικασία. Κατηγορίες κτηρίων με βάση τη χρήση και τον πληθυσμό τους.
- Εισαγωγή στα υπολογιστικά μοντέλα φωτιάς και τις εφαρμογές τους.
- Τύποι κτηριακών κατασκευών. Ύψη και εμβαδά κτηρίων.
- Μέσα και τρόποι εκκένωσης κτηρίων.
- Συστήματα παθητικής πυροπροστασίας. Δομική αντίσταση στην πυρκαγιά.
- Προστασία ανοιγμάτων. Διείσδυση. Πόρτες πυρασφάλειας.
- Συστήματα ενεργής πυροπροστασίας.
- Υλικά εσωτερικών τελειωμάτων. Περιεχόμενα κτηρίου.
- Η οπτική γωνία της πυροσβεστικής υπηρεσίας. Εργαστήρια δοκιμασιών. Πρότυπες δοκιμασίες.
- Ο ρόλος των υπηρεσιών υπεύθυνων για κτηριακές κατασκευές. Θέματα σχεδίων. Προσβασιμότητα. Θέματα κανονισμών. Ο ρόλος του αρχιτέκτονα.

iv. Σημειώσεις διδάσκοντα και αξιολόγηση:

Πέραν του διδάσκοντα καθηγητή υπάρχει και ο βοηθός διδασκαλίας, ο οποίος παρέχει βοήθεια για τις ασκήσεις και τις ερωτήσεις κατά τη διάρκεια των επιπρόσθετων εβδομαδιαίων φροντιστηριακών μαθημάτων, καθώς και μέσω του διαδικτύου. Επίσης, ο καθηγητής διαθέτει συγκεκριμένες ώρες κάθε εβδομάδα στις οποίες δέχεται φοιτητές στο γραφείο του για τυχόν απορίες. Είναι πιθανόν να υπάρχουν και καλεσμένοι ομιλητές για συγκεκριμένα αντικείμενα. Κάθε μάθημα βιντεοσκοπείται και καταχωρείται στο διαδικτυακό τόπο του μαθήματος. Στο τέλος του εξαμήνου γίνεται αξιολόγηση του μαθήματος από τους φοιτητές. Το μάθημα είναι μεταπτυχιακού επιπέδου και ως εκ τούτου απαιτείται καλή διαχείριση χρόνου και πολλή προσωπική δουλειά. Οι βασικές αρχές θα παρουσιάζονται στις διαλέξεις και οι φοιτητές απαιτείται να συνεχίζουν την εκμάθηση μέσω της μελέτης της διδακτέας ύλης και της επίλυσης των ασκήσεων. Οι φοιτητές καλούνται να επιδείξουν τις γνώσεις και την κατανόηση της ύλης μέσω της ολοκλήρωσης των εξετάσεων και των ασκήσεων.

Η επίλυση εβδομαδιαίων ασκήσεων είναι πολλή σημαντική για την κατανόηση και την επίδειξη της κατανόησης της ύλης. Παρόλο που η συζήτηση μεταξύ φοιτητών είναι αναμενόμενη, οι λύσεις των ασκήσεων πρέπει να είναι ατομικές και να αναφέρονται τα ονόματα των φοιτητών που βοήθησαν σε αυτές. Οι ασκήσεις θα συζητούνται στις φροντιστηριακές ώρες ώστε να εμπεδωθεί η

ύλη καλύτερα. Οι ασκήσεις βαθμολογούνται με βάση την ολοκλήρωσή τους, την έγκαιρη προσκόμισή τους και την επίδειξη προσπάθειας. Η ύλη προς μελέτη έχει σκοπό να προσδώσει βάθος και εύρος στα αντικείμενα, τα οποία καλύπτονται στο μάθημα. Επίσης, είναι πολλή σημαντική για την κατανόηση των αντικειμένων, για την επίλυση ασκήσεων, για την συζήτηση στα μαθήματα και για την επιτυχία στις εξετάσεις. Απαιτείται, και εξετάζεται στις ασκήσεις και στα κουίζ, η μελέτη της διδακτέας ύλης που αναθέτεται εβδομαδιαίως. Τέλος, η συμμετοχή στις συζητήσεις, στις διαλέξεις του μαθήματός, αλλά και στο διαδικτυακό φόρουμ, ενθαρρύνεται, θεωρείται πολλή σημαντική και ως εκ τούτου βαθμολογείται.

Στο μάθημα υπάρχουν δύο εξετάσεις. Η βαθμολόγηση γίνεται με βάση την επίδειξη της ικανότητας επίλυσης προβλημάτων, την καταλληλότητα και την αρτιότητα της ανάλυσης και την αρτιότητα των λύσεων. Η σαφήνεια και η συντομία των λύσεων και των απαντήσεων, θεωρείται πλεονέκτημα για τον εξεταζόμενο. Όλα τα έγγραφα προς βαθμολόγηση επιστρέφονται διορθωμένα στους φοιτητές σε εύλογο χρονικό διάστημα. Επίσης, γίνεται συζήτηση στην τάξη για τις λύσεις όλων των προβλημάτων. Η τελική βαθμολογία διαμορφώνεται από τις ασκήσεις, τα κουίζ, τη συμμετοχή και τις εξετάσεις. Η κάθε μια εξέταση αποτελεί το 35% του βαθμού και το 30% διαμορφώνεται από τα υπόλοιπα. Η βάση είναι το εβδομήντα στα εκατό. Τέλος, τονίζεται ότι η ακαδημαϊκή ηθική ακεραιότητα και ειλικρίνεια είναι άκρως σημαντική και υπάρχει μηδενική ανοχή σε παραβιάσεις της.

v. *Απαιτούμενη βιβλιογραφία:*

- *Fire Protection Handbook*. NFPA, Quincy, MA, 2008.
- *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. NFPA, Quincy, MA, 2002.
- Επιπρόσθετη ύλη, ανακοινώνεται στο μάθημα.

vi. *Προτεινόμενη βιβλιογραφία:*

- *International Building Code*, 2009.
- NFPA 5000, *Building Construction , Safety Code*, 2009.
- NFPA 101, *Life Safety Code*, 2009.
- Τα πρότυπα και οι κανονισμοί παρέχονται στο μάθημα.

4.2.9 Σχεδιασμός πυροπροστασίας βάσει απόδοσης.

i. Προαπαιτούμενα:

Συστήματα πυροπροστασίας. Δυναμική της φωτιάς. Κτηριακή πυρασφάλεια.

ii. Περιγραφή:

Αυτό το μάθημα καλύπτει τις πρακτικές εφαρμογές των βασικών αρχών της ΜΠ στον κτηριακό σχεδιασμό, με κριτήρια την ασφάλεια ζωής, την προστασία της περιουσίας, την αδιάκοπη λειτουργία, την διαχείριση και το κόστος. Γίνεται χρήση σύγχρονων αναλυτικών μέσων, καθώς και παραδοσιακών κανονισμών, σε σχεδιαστικές εφαρμογές. Η ανάπτυξη της ικανότητας επικοινωνίας με αρχιτέκτονες και άλλους αρμόδιους επαγγελματίες γίνεται μέσω εργασιών σχεδιασμού σε σχεδιαστικό εργαστήριο.

iii. Στόχοι:

- Η κατανόηση της διαδικασίας της ανάλυσης και του σχεδιασμού πυροπροστασίας με βάση την απόδοση, του πότε είναι χρήσιμη και των διαφόρων επιπέδων, στα οποία μπορεί να εφαρμοστεί.
- Η κατανόηση της έννοιας της ισοδυναμίας στους κώδικες κανονισμών βάσει οδηγιών και στους κανονισμούς βάσει απόδοσης, και της χρήσης της ανάλυσης βάσει απόδοσης και για τα δύο είδη κανονισμών.
- Η κατανόηση των στόχων και των κριτηρίων πυρασφάλειας και η ικανότητα άρτιας περιγραφής, υποστήριξης και εφαρμογής των στόχων και των κριτηρίων στην ανάλυση βάσει απόδοσης.
- Η κατανόηση των κινδύνων πυρκαγιάς και της εκτίμησης του βαθμού επικινδυνότητας και η εφαρμογή αυτών των εννοιών στην ανάλυση με βάση την απόδοση.
- Η κατανόηση των σεναρίων πυρκαγιάς και των πυρκαγιών σχεδιασμού: τι είναι, πως προσδιορίζονται και πως χρησιμοποιούνται στην ανάλυση με βάση την απόδοση.
- Η ικανότητα προσδιορισμού, περιγραφής, ποσοτικοποίησης και αιτιολόγησης των σεναρίων πυρκαγιάς στο πλαίσιο της ανάλυσης βάσει απόδοσης.
- Η κατανόηση των διαφόρων προσεγγίσεων, συστημάτων και στρατηγικών μετριασμού των επιπτώσεων της πυρκαγιάς. Η ικανότητα προσδιορισμού,

επιλογής, εφαρμογής και αιτιολόγησης των διαφόρων προσεγγίσεων, οι οποίες είναι απαραίτητες για την επίτευξη των στόχων πυροπροστασίας.

- Η κατανόηση και η χρήση των μεθόδων αξιολόγησης των επιλογών ενός σχεδιασμού πυροπροστασίας βάσει κριτηρίων απόδοσης (προσδιοριστικά και πιθανολογικά, απόλυτα και συγκριτικά, υπολογισμοί με το χέρι, πίνακες υπολογισμών, μοντέλα με υπολογιστές).
- Η κατανόηση της αβεβαιότητας, της μεταβλητότητας και της ευαισθησίας των παραμέτρων. Η ικανότητα του προσδιορισμού και της αντιμετώπισης της αβεβαιότητας και της ευαισθησίας και η εφαρμογή της ανάλυσης ευαισθησίας στο αντικείμενο της ανάλυσης βάσει απόδοσης.
- Η κατανόηση και η αντιμετώπιση των θεμάτων, τα οποία σχετίζονται με τη λειτουργική διαχείρισης και τους κύκλους ζωής.
- Η κατανόηση της ανάλυσης ωφέλειας-κόστους και των σχέσεων του κόστους με τους στόχους της πυροπροστασίας, της ασφάλειας ζωής και της αδιάκοπης λειτουργίας.
- Η ικανότητα δημιουργίας ενός καλά δομημένου και άρτιου σχεδιασμού με βάση την απόδοση και η ικανότητα της σωστής προφορικής και γραπτής παρουσίασης του.

iv. Αντικείμενα:

- Εισαγωγή, γενική επισκόπηση του μαθήματος και απαιτήσεις. Το δέντρο των εννοιών πυρασφάλειας. Συζήτηση αρχιτεκτονικών εννοιών και στόχων, και πιθανών αντιφάσεων με τους κτηριακούς κανονισμούς. Γενική επισκόπηση της σχεδιαστικής και κατασκευαστικής διαδικασίας, με έμφαση στο ρόλο του ΜΠ. Εισαγωγή στις έννοιες της ανάλυσης και του σχεδιασμού με βάση την απόδοση.

Ύλη προς ανάγνωση και μελέτη (απαιτούμενη):

- Συγκεκριμένες περιπτώσεις (παρέχονται στο μάθημα).
- SFPE Guide (2007), Ch. 1-4.
- NFPA 550 (2009).
- Tubbs, Meacham (2007), Introduction, Ch. 2.

Προαιρετική ύλη:

- BSI PD 7974 (2002).
- Custer, Meacham (1997), Ch. 1-3.
- NFPA Handbook (2008), Ch. 1.9, 3.10, 3.11.

- ICCPC (2006), App. D.
 - IFEG (2005), Part 0 – Ch. 1, 3-5.
 - ISO TR 13387 (1999).
 - Rasbash, *et al.* (2004), Ch. 1-3, 16.
- Εισαγωγή στον σχεδιασμό βάσει απόδοσης. Ο ορισμός του προβλήματος. Προσδιορισμός των επιπέδων απόδοσης και των συνθηκών, κάτω από τις οποίες ισχύουν. Θέματα των εμπλεκομένων. Η σχέση των ευθυνών και των συμφωνιών με τους στόχους. Στόχοι. Κριτήρια. Γεγονότα που σχετίζονται με το σχεδιασμό. Απαιτήσεις απόδοσης. Χαρακτηρισμός κτηρίων. Ολιστική απόδοση.
 Ύλη προς ανάγνωση και μελέτη (απαιτούμενη):
 - SFPE Guide (2007), Appendices B , C.
 - Meacham BJ (2005). Άρθρα που παρέχονται στο μάθημα.
 - Meacham BJ (2007).
 Προαιρετική ύλη:
 - BSI PD 7974 (2002).
 - Custer RLP, Meacham BJ(1997).
 - Meacham BJ (2004), Ch. 4.
 - IFEG (2005), Ch. 1.1-1.3.
 - ISO TR 13387 (1999).
 - Rasbash, *et al.* (2004), Ch. 5, 8 , 9.
 - SFPE Handbook (2002), Sec. 2 Ch. 6.
 - Tubbs JS, Meacham BJ (2007), Ch. 7.
 - Σενάρια φωτιάς και φωτιές σχεδιαστικής βάσης. Προσδιορισμός σεναρίων. Πηγές δεδομένων για ανάλυση σεναρίων. Χαρακτηρισμός σεναρίων φωτιάς. Ποσοτικοποίηση πυρκαγιών σχεδιασμού.
 Ύλη προς ανάγνωση και μελέτη (απαιτούμενη):
 - Συγκεκριμένες περιπτώσεις (παρέχονται στο μάθημα).
 - Code Official's Guide (2006), Ch. 8.
 - SFPE Guide (2007), Ch. 8, 9, Appendices C–E, G.
 - SFPE Handbook (2008), Sec. 5, Ch. 11.
 - SFPE Guide to Predicting Room of Origin Fire Hazards (2007).
 Προαιρετική ύλη:
 - BSI PD 7974 (2003). Part 7 – Probabilistic Risk Assessment.
 - Custer, R.L.P. , Meacham, B.J. (1997), Ch. 5 , 6

- NFPA Handbook (2008), Ch. 3.3, 3.4, 3.7, 3.8.
 - ICCPC (2006); Ch. 3 , 17.
 - IFEG (2005), Ch. 2.1-2.5, Part 3.
 - ISO TR 13387 (1999).
 - ISO PDTS 16732 (2004). Guidance on Fire Risk Assessment.
 - Rasbash, et al. (2004), Ch. 7, 8, 16 , 17.
 - SFPE Engineering Guide on Fire Risk Assessment (2006).
- Επανάληψη των απαιτήσεων εκκένωσης κτηρίου με βάση τους κανονισμούς. Θέματα εκκένωσης. Μελέτη περίπτωσης, η οποία σχετίζεται με την αντιμετώπιση θεμάτων πυρασφάλειας σε χώρους συγκεντρώσεων. Συζήτηση των δημογραφικών και άλλων χαρακτηριστικών των ενοίκων. Σενάρια εκκένωσης. Διαθέσιμος χρόνος ασφαλούς εκκένωσης και απαιτούμενος χρόνος ασφαλούς εκκένωσης. Όρια κινδύνου για την ανθρώπινη ζωή. Αβεβαιότητα και μεταβλητότητα. Μοντέλα εκκένωσης και σχετικά θέματα. Συστήματα ενεργητικής πυροπροστασίας.
 Ύλη προς ανάγνωση και μελέτη (απαιτούμενη):
 - Συγκεκριμένες περιπτώσεις (παρέχονται στο μάθημα).
 - NFPA 101, Ch. 6 , 7.
 - Tubbs, Meacham (2007), Ch. 3, 4, 5 , 7.
 - Proulx (2005), Cook County Office Building.
- Προαιρετική ύλη:
- NFPA Handbook (2008), Ch. 1.7 , 1.9.
 - Rasbash, *et al.* (2004), Ch. 8.
 - SFPE Handbook (2008), Sec. 3, Ch. 11-13.
- Εναλλακτικές μέθοδοι και ο σχεδιασμός βάσει απόδοσης. Ο προσδιορισμός των στόχων. Θέματα εμπλεκόμενων. Ευθύνες και συμφωνίες. Έννοιες ισοδυναμίας στους κανονισμούς βάσει οδηγιών.
 Ύλη προς ανάγνωση και μελέτη (απαιτούμενη):
 - Συγκεκριμένες περιπτώσεις (παρέχονται στο μάθημα).
 - Code Official's Guide (2006), Ch. 1-7.
 - IBC (2009).
 - NFPA 101 (2009), Ch. 1, 4-6.
 - SFPE Guide, (2007), Ch. 5-7, 11, Appendices B , C.
 - SFPE Handbook (2008), Sec. 3, Ch. 16.
 - Tubbs, Meacham (2007), Ch. 1 , 6.

Προαιρετική ύλη:

- Custer RLP, Meacham BJ (1997), Ch. 4.
- ICCPC (2006), Ch. 1-4, 16-21, Appendices A, B, Ch. 3.
- IFEG (2005), Part 0 – Ch. 2, Ch. 1.1-1.3.
- Meacham BJ, (2008).
- NFPA 101, Ch. 1, 4, 5.
- Rasbash, *et al.* (2004), Ch. 4, 5, 8, 9

- Σχεδιασμός δομικής πυροπροστασίας με βάση την απόδοση. Θέματα σχεδιασμού δομικής πυροπροστασίας. Φωτιές σχεδιαστικής βάσης και δομικά στοιχεία (διαμερισματοποίηση, πλαίσια, προστασία ανοιγμάτων κ.α.). Μελέτη περιπτώσεων.

Ύλη προς ανάγνωση και μελέτη (απαιτούμενη):

- Συγκεκριμένες περιπτώσεις (παρέχονται στο μάθημα).
- Πραγματογνωμοσύνες του NIST για τα κτήρια του World Trade Center.

Προαιρετική ύλη:

- Buchanan AH (2001), Ch. 2, 5-7.
- SFPE Guide to Fire Exposures to Structural Elements (2004).
- SFPE Handbook, Sec. 4, Ch. 9–13.

- Χρήση, εφαρμογή και περιορισμοί υπολογιστικών μοντέλων στο σχεδιασμό με βάση την απόδοση. Η επιλογή των κατάλληλων μεθόδων για κάθε πρόβλημα. Απαιτούμενα επίπεδα ανάλυσης. Αβεβαιότητα, μεταβλητότητα και ευαισθησία.

Ύλη προς ανάγνωση και μελέτη (απαιτούμενη):

- Official's Guide (2006), Ch. 11, App. A.
- SFPE Guide to Predicting Room of Origin Fire Hazards (2007).
- SFPE Guide (2006), App. F.
- SFPE Handbook (2008), Sec. 3, Ch. 17.
- Tubbs, Meacham (2007), Ch. 7, App..

Προαιρετική ύλη:

- NFPA Handbook (2008), Ch. 3.5, 3.6, 3.9, 4.2.
- SFPE Handbook (2008), Sec. 3, Ch. 5-9.
- Rasbash, *et al.* (2004), Ch. 11, 12.
- JFPE, Fire Technology, Fire Safety Journal, IAFSS Proceedings.

- Kuligowski ED, Peacock RD (2005), Review of Building Evacuation Models.
- Αξιολόγηση των επιλογών σχεδιασμού. Στρατηγική αξιολόγησης. Ο ρόλος των ασφαλιστικών. Ανάλυση αβεβαιότητας και ευαισθησίας. Γενική επισκόπηση της ανάλυσης ωφελειών-κόστους και άλλες οικονομικές αναλύσεις. Μελέτη περιπτώσεων.
 Ύλη προς ανάγνωση και μελέτη (απαιτούμενη):
 - Συγκεκριμένες περιπτώσεις (παρέχονται στο μάθημα)
 - Code Official's Guide (2006), Ch. 10.
 - NUREG 1824, Verification , Validation of Selected Fire Models for NPP Applications, Main Report, Ch. 2-3.
 (<http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr1824/>).
 - SFPE Handbook, Sec. 5, Ch. 3, 4 , 7.
 - NIST GCR 06-886.
 (<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire05/PDF/f05156.pdf>)
 Προαιρετική ύλη:
 - NUREG 1824, Verification , Validation of Selected Fire Models for NPP Applications, all reports.
 - Rasbash, et al. (2004), Ch. 17.
 - SFPE Guide - Evaluation of Computer Fire Model DETACT-QS (2002).
- Μελέτες περιπτώσεων εφαρμογής σχεδιασμού βάσει απόδοσης. Συζήτηση για την εργασία.
 Ύλη προς ανάγνωση και μελέτη (απαιτούμενη):
 - Συγκεκριμένες περιπτώσεις (παρέχονται στο μάθημα).
 Προαιρετική ύλη:
 - Συγκεκριμένες περιπτώσεις (παρέχονται στο μάθημα).
- Η συνεργασία με την ομάδα αρχιτεκτόνων και σχεδιασμού. Αναφορά. Ο ρόλος του ΜΠ στην ομάδα σχεδιασμού. Η συνεργασία με τον αρχιτέκτονα για την γενική ιδέα του σχεδίου και για την αντιμετώπιση των σχεδιαστικών περιορισμών. Η προετοιμασία της τεχνικής έκθεσης του ΜΠ.
 Ύλη προς ανάγνωση και μελέτη (απαιτούμενη):
 - Συγκεκριμένες περιπτώσεις (παρέχονται στο μάθημα)

- Code Official's Guide (2006), Ch. 12.
- SFPE Guide (2007), Ch. 11, App. H.

Προαιρετική ύλη:

- ICCPC (2006), Ch. 1.
- IFEG (2005), Ch. 1.2.

- Αξιοπιστία και ευρωστία. Υποσυστήματα πυροπροστασίας. Επιλογές πειραματικού σχεδιασμού. Συστήματα ενεργητικής πυροπροστασίας. Κριτήρια και μέθοδοι ανάλυσης πυρκαγιών σχεδιαστικής βάσης. Διαθέσιμος χρόνος ασφαλούς εκκένωσης και απαιτούμενος χρόνος ασφαλούς εκκένωσης.

Ύλη προς ανάγνωση και μελέτη (απαιτούμενη):

- Συγκεκριμένες περιπτώσεις (παρέχονται στο μάθημα).
- Code Official's Guide (2006), Ch. 9.
- SFPE Guide, Ch. 9 , 10, App. G.
- Tubbs, Meacham (2007), Ch. 5.

Προαιρετική ύλη:

- Custer RLP, Meacham BJ (1997), Ch. 9.
- ICCPC (2006), Ch. 16 – 22.
- IFEG (2005), Ch. 1.3 – 1.10.
- NFPA Handbook (2008), Ch. 1.7 , 1.9.
- Rasbash, *et al.* (2004), Ch. 10.
- SFPE Handbook (2008), Sec. 4, Ch. 1, 3 , 15; Sec. 5, Ch. 3.

- Διατήρηση της απόδοσης κατά τη λειτουργία. Εγχειρίδια κατασκευαστή. Διατήρηση διαχείρισης πυρασφάλειας με βάση τα όρια του σχεδιασμού. Εκπαίδευση. Αλλαγές και ανακαινίσεις. Αποτελεσματικός προγραμματισμός της επιχειρησιακής συνοχής.

Ύλη προς ανάγνωση και μελέτη (απαιτούμενη):

- Συγκεκριμένες περιπτώσεις (παρέχονται στο μάθημα).
- Code Official's Guide (2006), Ch. 13-16.
- SFPE Guide (2007), Ch. 13.

Προαιρετική ύλη:

- Συγκεκριμένες περιπτώσεις (παρέχονται στο μάθημα).

- Επίκαιρα θέματα στον τομέα του σχεδιασμού πυροπροστασίας με βάση την απόδοση. Οι δυσκολίες που προκύπτουν στα πολύ ψηλά κτήρια: δομή, καπνός, αξιοπιστία συστημάτων, ανθρώπινη προστασία, αντίδραση και

τρόπος λειτουργίας της πυροσβεστικής υπηρεσίας και ανελκυστήρες κατά την εκκένωση.

Ύλη προς ανάγνωση και μελέτη (απαιτούμενη):

- Συγκεκριμένες περιπτώσεις (παρέχονται στο μάθημα).
- Code Officials' Guide (2006), Ch. 13-16.
- SFPE Guide (2007), Ch. 13.
- Tubbs, Meacham, Ch. 9 .
- Tubbs, Moore, Meacham (2009).

Προαιρετική ύλη:

Συγκεκριμένες περιπτώσεις (παρέχονται στο μάθημα).

- Παρουσιάσεις εργασιών και αξιολόγηση μαθήματος. Επανάληψη. Οι παρουσιάσεις γίνονται μπροστά σε «συμβούλιο ενστάσεων» το οποίο αποτελείται από τουλάχιστον ένα ΜΠ και ένα υπεύθυνο κρατικό λειτουργό (π.χ. αξιωματούχο πυροσβεστικής).

v. Σημειώσεις διδάσκοντα και αξιολόγηση:

Πέραν του διδάσκοντα καθηγητή υπάρχουν και δύο βοηθοί διδασκαλίας, οι οποίοι παρέχουν βοήθεια για τις ασκήσεις, τις εργασίες και τις ερωτήσεις κατά τη διάρκεια των επιπρόσθετων εβδομαδιαίων φροντιστηριακών μαθημάτων, καθώς και μέσω του διαδικτύου. Επίσης, ο καθηγητής διαθέτει συγκεκριμένες ώρες κάθε εβδομάδα στις οποίες δέχεται φοιτητές στο γραφείο του, για τυχόν απορίες. Κάθε μάθημα βιντεοσκοπείται και καταχωρείται στο διαδικτυακό τόπο του μαθήματος. Στο τέλος του εξαμήνου γίνεται αξιολόγηση του μαθήματος από τους φοιτητές.

Το μάθημα είναι ένας συνδυασμός διαλέξεων, ύλης προς μελέτη, ασκήσεων, ανάλυσης και συζήτησης συγκεκριμένων περιπτώσεων και εργασιών, του τύπου ολοκληρωμένης μελέτης. Οι βασικές αρχές παρουσιάζονται στις διαλέξεις και οι φοιτητές απαιτείται να συνεχίζουν την εκμάθηση μέσω της μελέτης της διδακτέας ύλης και της επίλυσης των ασκήσεων. Οι μελέτες συγκεκριμένων περιπτώσεων, περιλαμβάνουν τον υπολογισμό της απόδοσης πραγματικών κτηρίων, τα οποία έχουν υποστεί πυρκαγιά στο παρελθόν, καθώς και τη μελέτη αντιπροσωπευτικών σχεδιασμών πυροπροστασίας βάσει απόδοσης. Στις εργασίες, τύπου μελέτης, οι φοιτητές καλούνται να εφαρμόσουν τις έννοιες και τις μεθόδους της ανάλυσης και του σχεδιασμού με βάση την απόδοση, για

συγκεκριμένες εγκαταστάσεις. Επίσης στις μελέτες αυτές, γίνεται χρήση της ανάλυσης με βάση τους κανονισμούς κτηρίων, των υπολογιστικών φύλλων και των μοντέλων εκκένωσης και υπολογισμού συνεπειών της πυρκαγιάς. Οι δέκα με δώδεκα ώρες ενασχόλησης με τις ασκήσεις και τις εργασίες ανά εβδομάδα θεωρούνται απαραίτητες. Οι φοιτητές καλούνται να επιδείξουν τις γνώσεις και την κατανόηση της ύλης μέσω της ολοκλήρωσης των εξετάσεων και των ασκήσεων.

vi. Απαιτούμενη βιβλιογραφία:

- *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. NFPA, 2008.
- *SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection*. NFPA, 2007.
- *SFPE Engineering Guide to Predicting Room of Origin Fire Hazards*. SFPE, 2007.
- *SFPE Code Official's Guide to Performance-Based Design Review*, ICC/SFPE. 2006.
- Tubbs JS, Meacham BJ. *Egress Design Solutions: A Guide to Evacuation , Crowd Management Planning*. John Wiley, Sons, NY, 2007.
- Οι κανονισμοί και τα πρότυπα που συζητούνται στο μάθημα παρέχονται δωρεάν στους φοιτητές από τη βιβλιοθήκη.

vii. Επιπλέον βιβλιογραφία:

- BSI PD 7974. *Application of Fire Safety Engineering Principles to the Design of Buildings*. British Standards Institute, London, 2002.
- *International Fire Engineering Guidelines (IFEG)*. ABCB/DBH/ICC/NRCC, 2005.
- ISO TR 13387. *The Application of Fire Performance Concepts to Design Objectives*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1999.
- *SFPE Engineering Guide, Evaluation of the Computer Fire Model DETACT-QS*. SFPE, 2002.
- *SFPE Engineering Guide, Fire Risk Assessment*. SFPE, 2006.
- Buchanan AH. *Structural Design for Fire Safety*. John Wiley & Sons, 2001.

- Custer RLP, Meacham BJ. *Introduction to Performance-Based Fire Safety*. NFPA, Quincy, MA, 1997
- *Fire Protection Handbook*. NFPA, Quincy, MA, 2008
- Cote R, Harrington GE. *Life Safety Code Handbook*. NFPA, Quincy, MA.
- Rasbash DJ, Ramachandran G, Kandola B, Watts JM, Law M. *Evaluation of Fire Safety*, John Wiley & Sons, 2004.
- *Proceedings of the SFPE International Conference on Performance-Based Codes , Fire Safety Design Methods*. SFPE, Bethesda, MD.

viii. Πηγές δεδομένων για μοντέλα:

- NFPA – Research Reports, Statistics.
(<http://www.nfpa.org/categoryList.asp?categoryID=15&URL=Research>)
- NIST – Fire on the Web (<http://www.fire.nist.gov/>).
- NIST/BFRL publications (<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/>), related software (<http://www.bfrl.nist.gov/info/software.html>)
- *Fire Dynamics Tools (FDTs) Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program* (NUREG-1805, Final Report) –
<http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr1805/final-report>
- Excel Templates- templates for Fire Dynamics Calculations , Fire Risk Event Tree Models (<http://www.fireriskforum.com/RiskTOOLS/exceltemplates.htm>)
- Evacnet4 (<http://www.ise.ufl.edu/kisko/files/evacnet/>).

4.2.10 Ανάλυση σφαλμάτων.

i. Προαπαιτούμενα:

Συστήματα πυροπροστασίας. Δυναμική της φωτιάς. Κτηριακή πυροπροστασία.

ii. Περιγραφή:

Σε αυτό το μάθημα αναπτύσσονται τα αντικείμενα της πραγματογνωμοσύνης και της αναπαράστασης, ως βάση για την αξιολόγηση και βελτίωση του συνολικού σχεδιασμού πυροπροστασίας. Παρουσιάζονται τεχνικές από τη θεωρία πραγματογνωμοσύνης ατυχημάτων και από την ανάλυση σφαλμάτων,

όπως τα δέντρα σφαλμάτων και οι αλληλουχίες γεγονότων. Εφαρμόζονται γνώσεις δυναμικής της φωτιάς και υπολογιστικών μοντέλων για τον προσδιορισμό πιθανών σεναρίων πυρκαγιάς και της αποδοτικότητας των μέτρων πυροπροστασίας. Επίσης, παρουσιάζεται η πλευρά της ανάλυσης σφαλμάτων που σχετίζεται με την ευθύνη προϊόντων. Στα θέματα περιλαμβάνονται: η νομοθεσία περί ευθύνης, η χρήση πρότυπων δοκιμασιών, οι προειδοποιήσεις και ο ασφαλής σχεδιασμός προϊόντων. Η εφαρμογή της ύλης γίνεται μέσω εργασιών πάνω σε πραγματικά περιστατικά.

4.2.11 Βιομηχανική Πυροπροστασία.

i. Προαπαιτούμενα:

Συστήματα πυροπροστασίας. Δυναμική της φωτιάς.

ii. Περιγραφή:

Οι αρχές της δυναμικής της φωτιάς και της μεταφοράς θερμότητας, συνδυάζονται με την γενική γνώση των αυτόματων συστημάτων ανίχνευσης και καταστολής, με σκοπό την ανάλυση των απαιτήσεων πυροπροστασίας για τους συνήθεις κινδύνους πυρκαγιάς στη βιομηχανία. Μερικά από τα αντικείμενα που καλύπτονται είναι: οι αποστάσεις ασφαλείας, τα σχέδια των εγκαταστάσεων, η απομόνωση των κινδύνων, ο έλεγχος του καπνού, οι αποθήκες και η διαχείριση και αποθήκευση εύφλεκτων υγρών. Επίσης, παρουσιάζονται οι ιστορικές πυρκαγιές, οι οποίες επηρέασαν σημαντικά την πρακτική στο χώρο της πυροπροστασίας.

iii. Βιβλιογραφία:

- Zalosh RG. *Industrial Fire Protection Engineering*. Wiley, 2003.
- *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*.
- *FM data sheets*. (www.fmglobalsdatasheets.com).
- *Lees Loss Prevention Handbook*.
(www.wpi.edu/Academics/Library/Collections/Databases/).
- *NIST BFRL Library* (<http://www.fire.nist.gov/>).
- *CSB website (case studies)*. (<http://www.chemsafety.gov>).

4.2.12 Προστασία από εκρήξεις.

Διδάσκονται οι βασικές αρχές των εκρήξεων της καύσης, καθώς και οι σχετικές εφαρμογές για την προστασία από κινδύνους εκρήξεων. Τα θέματα περιλαμβάνουν: τα όρια συγκέντρωσης αναφλεξιμότητας για εύφλεκτα αέρια και σκόνες, τους θερμοχημικούς υπολογισμούς κατάστασης ισορροπίας, για την πίεση η οποία προκύπτει από ταχεία ανάφλεξη σε αδιαβατικό δοχείο, τις πιέσεις και ταχύτητες εκρήξεως, την ανάπτυξη της πίεσης σε συνάρτηση με το χρόνο, για κλειστά δοχεία και κλειστούς χώρους με εξαερισμό, την επικρατούσα κατάσταση στο χώρο της τεχνολογίας καταστολής εκρήξεων και τους κινδύνους εκρήξεων νεφών (υδρατμών).

4.2.13 Ειδικά προβλήματα.

Ατομικές ή ομαδικές μελέτες σε θέματα πυροπροστασίας, εγκεκριμένα από τους διδάσκοντες.

4.2.14 Σεμινάρια.

Παρουσιάσεις και συζητήσεις για τις εξελίξεις σε διάφορους τομείς της *MPI*.

4.2.15 Εργαστήριο της επιστήμης της φωτιάς.

i. Προαπαιτούμενα:

Δυναμική της Φωτιάς.

ii. Περιγραφή:

Σε αυτό το μάθημα, παρέχεται η διδασκαλία και η πρακτική εμπειρία σε θέματα τεχνικών πειραματικών μετρήσεων στο χώρο της επιστήμης της φωτιάς. Ο στόχος είναι να εκτεθούν οι φοιτητές σε πειράματα πυρκαγιάς εργαστηριακής κλίμακας, πρότυπες δοκιμασίες πυρκαγιάς και τεχνικές μετρήσεων προηγμένης τεχνολογίας. Μεταξύ άλλων, χρησιμοποιούνται η διάταξη εγκάρσιας ανάφλεξης και μεταφοράς φλόγας LIFT, προηγμένα συστήματα ανίχνευσης καπνού, δοκιμασίες σημείου ανάφλεξης κλειστού κυπέλλου και μηχανήματα ανάλυσης αερίων. Επίσης, χρησιμοποιούνται τεχνικές μέτρησης παραμέτρων σχετικών με τη φωτιά, όπως η θερμοκρασία, η πίεση, η ροή και η ταχύτητα, η θερμική ροή, τα

είδη των αερίων και τεχνικές όπως η υπέρυθρη θερμομετρία, η μέτρηση ταχύτητας με λέιζερ Doppler και οι μέθοδοι που κάνουν χρήση φθορισμού.

4.2.16 Διαχείριση Κινδύνων.

Προαπαιτούμενο, είναι κάποιο μάθημα στατιστικής. Το αντικείμενο της διαχείρισης κινδύνων, έχει να κάνει με τη λήψη αποφάσεων, κάτω από ένα καθεστώς αβεβαιότητας. Το αντικείμενο είναι διεπιστημονικό, αντλώντας γνώσεις από τους τομείς της διοίκησης, της λήψης αποφάσεων, της διαπραγμάτευσης και της γνωσιακής ψυχολογίας. Στο μάθημα, εφαρμόζονται οι κλασσικές μέθοδοι λήψης αποφάσεων σε αντικείμενα όπως: τον έλεγχο ποιότητας, τις αλυσίδες παραγωγής, την ασφάλεια πληροφοριών, την πυροπροστασία, την περιβαλλοντική διαχείριση και το σχεδιασμό νέων προϊόντων. Απαιτείται μια εξαμηνιαία εργασία μοντελοποίησης και εκτίμησης βαθμού επικινδυνότητας, σε αντικείμενο επιλογής του φοιτητή, με σκοπό να αναπτυχθεί η ικανότητα του, στο να ενοποιεί αντικειμενικές και υποκειμενικές πληροφορίες για την ανάλυση της επικινδυνότητας.

4.2.17 Μεταπτυχιακή ερευνητική εργασία.

4.2.18 Διδακτορική διατριβή.

5. Επίλογος.

5.1 Οι κοινές αρμοδιότητες άλλων κλάδων με τη ΜΠ.

Μέχρι εδώ, εξετάστηκαν οι γνώσεις, τις οποίες πρέπει να έχει ένας ΜΠ, ώστε να μπορεί να σχεδιάσει σωστά, ολοκληρωμένα συστήματα πυροπροστασίας. Όμως, κατά το σχεδιασμό της πυροπροστασίας ενός κτηρίου, όλοι οι εμπλεκόμενοι σχεδιαστές πρέπει να έχουν γνώσεις σχετικές με την πυροπροστασία. Υπάρχουν θέματα για τα οποία θα πρέπει είτε να συνεργαστούν με τον αρμόδιο μηχανικό, σχεδιαστή της πυροπροστασίας, είτε να τα σχεδιάσουν οι ίδιοι. Παρακάτω, παρουσιάζονται τα σχεδιαστικά ζητήματα, τα οποία απασχολούν εξίσου τους ΜΠ και τους μηχανικούς ή επιστήμονες άλλων ειδικοτήτων. Οι παρακάτω λίστες παρουσιάζουν, κατά κύριο λόγο, τα αντικείμενα για τα οποία υπάρχουν κανονισμοί στις ΗΠΑ⁸, και ως εκ τούτου δεν είναι πλήρεις.

5.1.1 Οι αρχιτέκτονες.

Ένας αρχιτέκτονας, πρέπει να εξασφαλίζει το κατάλληλο επίπεδο ασφάλειας ενός κτηρίου σε όλα τα επίπεδα. Τα κοινά ζητήματα που απασχολούν τους ΜΠ και τους αρχιτέκτονες, μπορεί να είναι:

- *Η τοποθεσία του κτηρίου:* Η ικανότητα πρόσβασης για την πυροσβεστική υπηρεσία. Η απόσταση από πυροσβεστικές αντλίες και πυροσβεστικούς σταθμούς. Η πιθανότητα πλημμύρας, σεισμού και ισχυρών ανέμων.
- *Η έκθεση σε κινδύνους:* Η απόσταση από επικίνδυνα κτήρια, αποθήκες, αγροδασικές εκτάσεις και υποσταθμούς.
- *Το μέγεθος των κτηρίων:* Ο κίνδυνος των μεγάλων κτηρίων για ένα μεγάλο καταστροφικό συμβάν. Τα οφέλη ενός μεγάλου κτηρίου.
- *Το μέγεθος των επικίνδυνων για πυρκαγιά περιοχών:* Τα ίδια ζητήματα με αυτά των μεγάλων κτηρίων. Η ανάγκη για πυρίμαχους διαχωρισμούς χώρων, με βάση τους κανονισμούς.
- *Η διαρρύθμιση του κτηρίου:* Η συμμόρφωση με τους κανονισμούς, οι οποίοι σχετίζονται με την ασφαλή εκκένωση του κτηρίου. Η απομόνωση και ο χαρακτηρισμός επικίνδυνων χώρων. Η θέση των πυροσβεστήρων και των εσωτερικών μόνιμων παροχών νερού για πυρόσβεση. Τα μεγέθη των διαμερισμάτων και η θέση των πυρίμαχων διαχωρισμών.
- *Η ευφλεκτότητα των υλικών των εσωτερικών τελειωμάτων και της μόνωσης.*

- *Ζητήματα ασφάλειας*: Οδεύσεις διαφυγής. Η προσβασιμότητα για την πυροσβεστική.

5.1.2 Οι πολιτικοί μηχανικοί.

Ένας πολιτικός μηχανικός πρέπει να γνωρίζει το κατά πόσο η δομή του κτηρίου θα επηρεάσει μια πυρκαγιά, όπως το κατά πόσο τα υλικά της θα επηρεάσουν το θερμικό φορτίο. Επίσης, πρέπει να γνωρίζει την θερμική αντοχή των δομικών στοιχείων. Όπως πρέπει να γνωρίζει και το μέχρι που μπορεί να επεκταθεί μια συγκεκριμένη πυρκαγιά μέσα στο κτήριο. Τα κοινά ζητήματα που απασχολούν τους ΜΠ και τους πολιτικούς μηχανικούς μπορεί να είναι:

- *Η αναφλεξιμότητα και η αντοχή στην πυρκαγιά των δομικών στοιχείων*: Η επιλογή των κατάλληλων υλικών με βάση τους κανονισμούς, αλλά και όλους τους σχεδιαστικούς στόχους, καθώς κάθε υλικό έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του, σε σχέση με τους σχεδιαστικούς στόχους.
- *Η επικάλυψη των δομικών στοιχείων με πυρίμαχα υλικά (πυροστεγανοποίηση)*: Σε περίπτωση που τα υλικά δεν καλύπτουν τους στόχους πυροπροστασίας, μπορεί να γίνει χρήση πυροστεγανοποίησης, η οποία απαιτεί ειδικές γνώσεις για την κατάλληλη επιλογή του υλικού, βάσει των κινδύνων.
- *Ο βαθμός πυραντίστασης των πυροφραγμών*: Η προστασία των οδεύσεων διαφυγής. Ο διαχωρισμός των χώρων, αναλόγως της λειτουργίας και του πληθυσμού. Η απομόνωση επικίνδυνων, ευαίσθητων και σημαντικών περιοχών.
- *Η προστασία των ανοιγμάτων*: Πυρίμαχες πόρτες. Πυρίμαχο γυαλί. Πυρίμαχα υλικά για την προστασία των ανοιγμάτων, τα οποία σχετίζονται με σωλήνες και καλώδια.
- *Η προστασία από εκρήξεις μέσω ειδικού συστήματος εξαερισμού*: Συστήματα εξαερισμού, τα οποία λειτουργούν ως το σχεδιασμένο αδύνατο σημείο μιας εγκατάστασης, ανοίγοντας με την ξαφνική αύξηση της πίεσης και αποτρέποντας τις ζημιές στον υπόλοιπο χώρο.
- *Ο σχεδιασμός για προστασία από πλημμύρες, σεισμούς, χιόνια και ανέμους*: Ο σχεδιασμός για την προστασία από καταστροφές που είτε προκαλούν κινδύνους πυρκαγιάς είτε βλάπτουν την πυροπροστασία. Προστασία της ηλεκτροδότησης. Προστασία των δοχείων νερού και εύφλεκτων υγρών. Σεισμική αντοχή σωλήνων νερού και αερίων. Θέματα προσβασιμότητας.

5.1.3 Οι χημικοί μηχανικοί.

Ένας χημικός μηχανικός πρέπει να γνωρίζει τους κινδύνους πυρκαγιάς των χημικών ουσιών και των χημικών διεργασιών ενός κτηρίου. Τα κοινά ζητήματα, τα οποία απασχολούν τους ΜΠ και τους χημικούς μηχανικούς μπορεί να είναι:

- *Οι κίνδυνοι των υλικών:* Οι ιδιότητες καύσης των υλικών, ανάλογα με τη φυσική και τη χημική τους κατάσταση. Το μέγεθος της επιφάνειας, η διάταξη του υλικού, ο τρόπος συσκευασίας του, το αν είναι αέριο, στερεό ή υγρό, το συνολικό θερμικό φορτίο του, ο ρυθμός έκλυσης ενέργειας όταν καίγεται, το πόσο εύκολα αντιδρά, τα όρια ανάφλεξης κ.α. Οι κίνδυνοι από το ξύλο, το χαρτί, τα μέταλλα, τα οξειδωτικά, τα εκρηκτικά, τα εύφλεκτα υγρά και αέρια, και η τοξικότητα των προϊόντων της καύσης υλικών.
- *Η αποθήκευση των υλικών:* Η επιρροή της διάταξης των υλικών στην πυρκαγιά. Η συσκευασία, ο τρόπος διάταξης, οι αποστάσεις μεταξύ των διατάξεων, οι διαστάσεις των βάσεων, η παρεμπόδιση των συστημάτων καταιονισμού, το ύψος των αποθηκευμένων υλικών, ο αριθμός και το μέγεθος των υλικών, ο τύπος των δοχείων και ο χώρος αποθήκευσης εύφλεκτων υγρών, οι χώροι που είναι εκτεθειμένοι στους χώρους αποθήκευσης.
- *Η αξιολόγηση των κινδύνων σε μία διεργασία:* Η απρόβλεπτη δημιουργία πίεσης ή θερμότητας από τις αντιδράσεις και η διάρρηξη σωληνώσεων και δοχείων. Οι κίνδυνοι των εμπλεκόμενων ουσιών, από την αρχή μέχρι το τέλος της διεργασίας. Οι κίνδυνοι από την αλληλεπίδραση υλικών. Τα ασφαλή όρια θερμοκρασιών. Τα ασφαλή όρια πιέσεων και ο σχεδιασμός ειδικού εξαιρισμού εκτάκτου ανάγκης. Η ροή και τα επίπεδα των υγρών. Ο έλεγχος των διαρροών με αποχετευτικούς αγωγούς και δοχεία. Τα συστήματα ψύξης και η εφεδρεία τους. Η απαιτούμενη ανακίνηση των αντιδράσεων. Ο εξαιρισμός ασφαλείας. Οι αισθητήρες και τα συστήματα ενδοασφάλειας (διακοπή λειτουργιών). Οι αποστάσεις από τις επικίνδυνες διεργασίες. Ειδικά μέτρα προστασίας από πηγές κινδύνων. Τα προγράμματα διαχείρισης κινδύνων (έλεγχος λειτουργίας, διαδικασίες αντιμετώπισης καταστάσεων εκτάκτου ανάγκης, εκπαίδευση προσωπικού, επιθεώρηση, συντήρηση, διαχείριση μετατροπών).
- *Ιδιαιτερότητες των διεργασιών:* Ο σχεδιασμός του ελέγχου και της προστασίας από τους κινδύνους που προκύπτουν από τα βοηθητικά συστήματα. Ο τύπος των καυσίμων που χρησιμοποιείται για τον εξοπλισμό. Τα υλικά που παρέχονται σε ποσότητες (υγρό οξυγόνο, υγρό άζωτο, αδρανή αέρια, αέρια ημιαγωγών). Η

διαχείριση του ατμού, του λαδιού ως μέσο μεταφοράς θερμότητας, και άλλων πεπεσμένων ουσιών που μπορεί να χρησιμοποιούνται. Οι κίνδυνοι των συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων.

5.1.4 Οι ηλεκτρολόγοι-μηχανολόγοι.

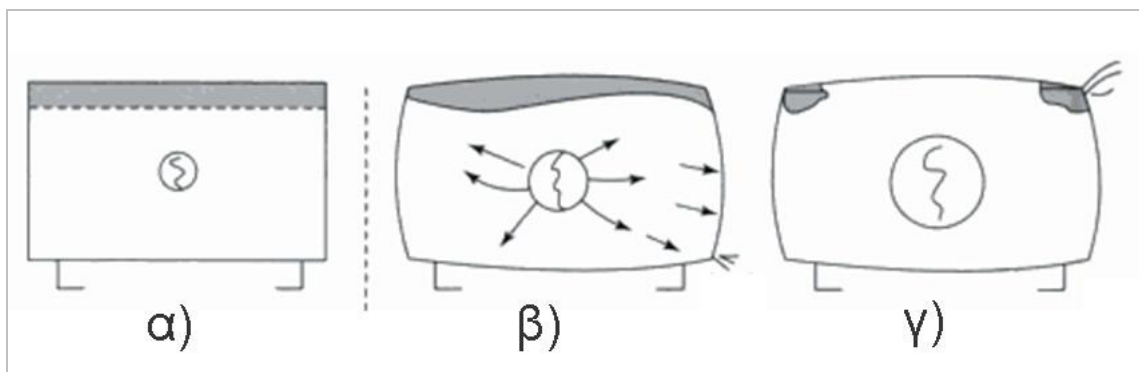
Ένας ηλεκτρολόγος-μηχανολόγος πρέπει να γνωρίζει πώς να συμπεριλαμβάνει στο σχεδιασμό μιας εγκατάστασης τα συστήματα ελέγχου του συναγερμού, της ασφάλειας και της πυροπροστασίας. Τα κοινά ζητήματα που απασχολούν τους ΜΠ και τους ηλεκτρολόγους-μηχανολόγους μηχανικούς μπορεί να είναι:

- *Ο έλεγχος των κτηριακών συστημάτων:* Ο έλεγχος των συστημάτων θέρμανσης, κλιματισμού και αερισμού. Ο έλεγχος των συστημάτων διαχείρισης του καπνού. Ο έλεγχος των ανελκυστήρων και των ανυψωτικών συστημάτων.
- *Τα συστήματα πυρανίχνευσης και σήμανσης συναγερμού:* Η επιλογή των κατάλληλων ανιχνευτών. Η θέση και οι αποστάσεις μεταξύ των ανιχνευτών. Η ηλεκτροδότηση και η συνδεσμολογία των κυκλωμάτων των ανιχνευτών και των συστημάτων ελέγχου τους. Οι απαιτήσεις εφεδρικής ηλεκτροδότησης. Η διάταξη και η ηλεκτροδότηση των ηχητικών και φωτεινών συστημάτων συναγερμού. Η θέση των χειροκίνητων συσκευών.
- *Ο έλεγχος των συστημάτων πυρόσβεσης:* Ο έλεγχος των συστημάτων πυροκαταστολής διοξειδίου του άνθρακα, στερεών χημικών, αφρών, αφρού-νερού, νερού, και υγρών χημικών. Ο έλεγχος του μηχανισμού διάχυσης του κατασταλτικού μέσου. Οι ειδικές διατάξεις των ανιχνευτών στο χώρο (επαλήθευση ανίχνευσης από δύο ανιχνευτές). Η ακύρωση και διακοπή λειτουργίας για συντήρηση. Τα συστήματα ενδοασφάλειας (αυτόματο κλείσιμο πορτών ή πυρίμαχων χωρισμών, αυτόματη διακοπή ηλεκτροδότησης, αυτόματη διακοπή λειτουργίας συστήματος κλιματισμού). Η επιτήρηση από το κεντρικό πίνακα ελέγχου συναγερμών.
- *Οι ηλεκτρικές πυροσβεστικές αντλίες:* Οι ειδικές απαιτήσεις ηλεκτροδότησης, συνδεσμολογίας, ελέγχου και προστασίας τους από την πυρκαγιά. Η ξεχωριστή ηλεκτροδότηση, ώστε αν χρειαστεί να επιβληθεί η ολική διακοπή του ρεύματος, η αντλία να συνεχίσει να λειτουργεί. Η επιλογή των κατάλληλων αυτομάτων διακοπών.
- *Ο φωτισμός εκτάκτου ανάγκης:* Η λειτουργία σε περίπτωση διακοπής της ηλεκτροδότησης.

- *Η εφεδρική ηλεκτροδότηση:* Η εφεδρική ηλεκτροδότηση κτηρίων ιδιαίτερων λειτουργιών, όπως τα νοσοκομεία. Η εφεδρική ηλεκτροδότηση του κάθε συστήματος πυροπροστασίας ξεχωριστά.
- *Ο ηλεκτρικός εξοπλισμός προς χρήση σε επικίνδυνες περιοχές:* Ο ειδικός ηλεκτρικός εξοπλισμός, προς χρήση σε περιοχές με εύφλεκτες αναθυμιάσεις, σκόνες και ίνες.
- *Τα ηλεκτρολογικά συστήματα προστασίας:* Οι γειώσεις, η προστασία από υπερτάσεις και η προστασία από κεραυνούς.
- *Τα συστήματα πυροπροστασίας με σωληνώσεις:* Ο σχεδιασμός συστημάτων πυροπροστασίας με νερό, διοξείδιο του άνθρακα, Halon, χημικά, και καθαρές ουσίες.
- *Η παροχή νερού στα συστήματα πυροπροστασίας:* Οι δεξαμενές νερού, οι αντλίες, το μόνιμο δίκτυο για τα συστήματα πυροπροστασίας, οι πυροσβεστικοί κρουνοί, και οι παροχές για τα συστήματα καταιονισμού.
- *Τα συστήματα πεπιεσμένου αέρα:* Η χρήση πνευματικών αντί ηλεκτρικών συστημάτων για διάφορες λειτουργίες, σε περιοχές υψηλού κινδύνου.
- *Τα συστήματα θέρμανσης, κλιματισμού και αερισμού:* Η ενσωμάτωση χαρακτηριστικών της πυροπροστασίας στο σχεδιασμό των συστημάτων κλιματισμού. Η καταλληλότητα του συστήματος για χώρους υψηλού κινδύνου. Η απομόνωση από το υπόλοιπο σύστημα και τους υπόλοιπους χώρους. Η δημιουργία θετικής πίεσης σε χώρους. Η διακοπή της λειτουργίας για την αποφυγή της εξάπλωσης του καπνού. Η προστασία του λέβητα. Η προσαρμογή των συστημάτων του κλιματισμού, ώστε να εξυπηρετούν και λειτουργίες ελέγχου του καπνού.
- *Ο έλεγχος του καπνού:* Η χρήση φραγμών, ροών αέρα και διαφορών πίεσης για τον έλεγχο του καπνού. Οι ειδικοί αγωγοί και τα ειδικά συστήματα ελέγχου των συστημάτων διαχείρισης του καπνού. Ο σχεδιασμός για μεγάλα κτήρια και εμπορικά κέντρα. Η καθοδήγηση του καπνού μακριά από τις οδούς διαφυγής.
- *Ο εξαερισμός:* Ο μηχανικός εξαερισμός για την πυροπροστασία χώρων με υψηλή επικινδυνότητα, η προστασία από εκρήξεις και η προστασία από τοξικά αέρια.

Τα παραπάνω είναι μόνο ένα κομμάτι των συνολικών ζητημάτων πυροπροστασίας, τα οποία απασχολούν εξίσου τους ΜΠ και τους μηχανικούς των άλλων κλάδων. Για παράδειγμα, στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάστηκε το πόσο συχνές και επικίνδυνες είναι οι πυρκαγιές, των οποίων τα αίτια πρόκλησης σχετίζονται με τον ηλεκτρισμό. Η εγκατάσταση και οι συσκευές, σχετίζονται με περίπου το 20% των αστικών

περιστατικών πυρκαγιών. Επίσης, αναφέρθηκε το γεγονός, ότι οι πυρκαγιές λόγω ηλεκτρισμού συμβαίνουν συχνότερα στις κατοικίες, έχουν μεγάλη πιθανότητα να εξαπλωθούν, ξεκινούν από βραδεία καύση και είναι δύσκολο να γίνουν αντιληπτές και είναι δύο φορές πιο θανατηφόρες από τις υπόλοιπες. Συνεπώς, ένας ηλεκτρολόγος πρέπει να γνωρίζει τα θέματα πυροπροστασίας που αφορούν στην ηλεκτρολογική εγκατάσταση. Για παράδειγμα, τέτοια ζητήματα είναι: οι δοκιμασίες αναφλεξιμότητας των καλωδίων και η ανάλογη κατηγοριοποίηση, τα τοξικά αέρια τα οποία είναι πιθανό να απελευθερωθούν από τα καλώδια σε περίπτωση πυρκαγιάς, η παρουσία πυρίμαχων υλικών στα καλώδια ως μέτρο παθητικής πυρασφάλειας, η αντοχή της εγκατάστασης στο χρόνο, οι κατάλληλοι τρόποι πυρόσβεσης για πυρκαγιά λόγω ηλεκτρισμού και η προστασία της εγκατάστασης από υπερτάσεις και ηλεκτρικά τόξα. Σε ότι αφορά τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις⁹, στα θέματα αυτά προστίθενται: η ανάλυση παλαιότερων περιστατικών πυρκαγιών, οι δοκιμασίες, η κατηγοριοποίηση και η προστασία των σχαρών των καλωδίων και των ντουλαπών με ηλεκτρονικό εξοπλισμό, οι δοκιμασίες αποδοτικότητας των διαφόρων συστημάτων πυροκαταστολής σε πυρκαγιές λόγω ηλεκτρισμού, και οι πιθανοί μηχανισμοί έναυσης (Σχήμα 5.1), οι σχετικές δοκιμασίες, οι πιθανοί κίνδυνοι και η πυροπροστασία των μετασχηματιστών. Τέλος, η προστασία από τις πυρκαγιές λόγω κεραυνών, οι οποίες είναι οι πλέον επιζήμιες, είναι ακόμα ένα κοινό αντικείμενο μελέτης για τους ΜΠ και τους ηλεκτρολόγους μηχανικούς.



Σχήμα 5.1. Ένας από τους μηχανισμούς έναυσης για μετασχηματιστές λαδιού¹⁰. Η διαδικασία ξεκινά από βλάβη στη μόνωση των τυλιγμάτων στην πλευρά της υψηλής τάσης. Εξαιτίας της, ξεκινά ένα σφάλμα υψηλής σύνθετης αντίστασης και χαμηλού ρεύματος. Στην περίπτωση που δεν λειτουργήσει έγκαιρα η προστασία σφάλματος και δεν απομονωθεί ο μετασχηματιστής, το σφάλμα αναπτύσσεται από τύλιγμα σε τύλιγμα και γίνεται χαμηλής σύνθετης αντίστασης και μεγαλύτερου ρεύματος, προκαλώντας ηλεκτρικά τόξα. Τα τόξα αποσυνθέτουν το διηλεκτρικό υγρό και δημιουργούν μια φυσαλίδα (α), η οποία καθώς αναπτύσσεται δημιουργεί πιέσεις ικανές να προκαλέσουν διαρροές (β,γ). Η ανάφλεξη των υγρών μπορεί να συμβεί, από καυτά θραύσματα μερών του μετασχηματιστή.

Σε όλους τους παραπάνω τομείς, υπάρχουν πολλά ζητήματα, τα οποία χρίζουν περαιτέρω επιστημονικής έρευνας, κάτι που αφορά και τους δύο κλάδους. Για παράδειγμα δεν υπάρχει μεγάλη πρόοδος στον τομέα των δοκιμασιών αναφλεξιμότητας και πυραντίστασης για ενεργά ρευματοφόρα καλώδια⁹, καθώς οι καθιερωμένες δοκιμασίες γίνονται κατά κανόνα με χρήση εξωτερικών πηγών θερμότητας. Ένα παράδειγμα μιας άλλης ενδιαφέρουσας έρευνας, η οποία αφορά και τους δύο τομείς, είναι τα πειράματα που έγιναν για την μέτρηση του κινδύνου ηλεκτροπληξίας, κατά τη διάρκεια ψεκασμού με νερό, ως μέτρο πυροκαταστολής, μετασχηματιστών εν λειτουργία¹¹. Για τα πειράματα, χρησιμοποιήθηκε ένας τριφασικός μετασχηματιστής ξηρού τύπου, ονομαστικής ισχύος 225 kVA, υπό τάση 210/375 V, σε ένα δωμάτιο 28 m², με δύο καταιονητήρες οροφής. Τρεις αντιστάσεις 475 Ω, οι οποίες αντιπροσώπευαν την αντίσταση του βρεγμένου ανθρώπινου σώματος, τοποθετήθηκαν σε διαφορετικά σημεία του χώρου. Έπειτα, προκλήθηκαν κατά σειρά διάφορα τεχνικά σφάλματα στο μετασχηματιστή, κάθε ένα από τα οποία αντιμετωπίζονταν με παροχή 120 λίτρων νερού ανά λεπτό, από κάθε καταιονητήρα. Σε οκτώ από τις εννέα δοκιμές, τα ρεύματα στις αντιστάσεις προέκυψαν μικρότερα από το όριο των 10 mA, το οποίο θεώρησαν οι ερευνητές ως το όριο πέρα από το οποίο ο άνθρωπος χάνει την ικανότητα να απεγκλωβίζεται από μια κατάσταση ηλεκτροπληξίας. Στην τελευταία δοκιμή, δύο από τις αντιστάσεις ξεπέρασαν το όριο (10 mA και 100 mA). Οι ερευνητές κατέληξαν στο ότι «...μια τυχαία ενεργοποίηση του συστήματος καταιονισμού σε συνδυασμό με διάφορα ηλεκτρικά σφάλματα στον εξοπλισμό, έχει ελάχιστη δυνατότητα για την πρόκληση ηλεκτροπληξίας στο προσωπικό που βρίσκεται στο χώρο. Όμως, ένα σφάλμα φάσης προς γη στον μετασχηματιστή, δημιουργεί από μόνο του μεγάλα ρεύματα, τα οποία ασχέτως του καταιονισμού, είναι πολύ επικίνδυνα.»

5.2 Η ανάγκη για εκπαίδευση ΜΠ στην Ελλάδα.

Είναι φανερό, λοιπόν, ότι το αντικείμενο της ΜΠ αφορά όλους τους παραδοσιακούς κλάδους των μηχανικών. Συνεπώς, η εκπαίδευση των μηχανικών, πρέπει σε κάποιο επίπεδο να προετοιμάζει τους μελλοντικούς σχεδιαστές για τα προβλήματα στο χώρο της πυροπροστασίας. Ιδιαίτερα στην Ελλάδα, όπου δεν υπάρχει εξειδικευμένο τμήμα ΜΠ, το βάρος του τομέα της πυροπροστασίας πρέπει να το επωμιστούν οι υπόλοιποι κλάδοι. Βεβαίως, το ιδανικό θα είναι η δημιουργία ενός ξεχωριστού τμήματος ΜΠ, το οποίο να προσφέρει τις κατάλληλες γνώσεις μέσα από ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα σπουδών. Διότι, με την καθιέρωση του τομέα ως ξεχωριστού κλάδου *μηχανικής* στη συνείδηση της κοινωνίας, της πολιτείας και της αγοράς, θα καταστεί δυνατή η ανάπτυξη του κλάδου σε όλα τα επίπεδα: στην έρευνα και στην εκπαίδευση, στην βελτίωση του ρυθμιστικού

πλαίσιου, στην καινοτομία και την παραγωγή νέων τεχνολογιών και προϊόντων, και στην συνολική βελτίωση του επιπέδου πυροπροστασίας στη χώρα. Υπό τις παρούσες συνθήκες, κάτι τέτοιο ίσως να μην είναι άμεσα εφικτό. Όμως, εκείνο που είναι εφικτό, είναι η αναβάθμιση των προγραμμάτων σπουδών των σχολών, οι οποίες παραδοσιακά ασχολούνται με τον τομέα των εγκαταστάσεων και την έρευνα στο χώρο της πυρκαγιάς, ώστε να συμπεριλαμβάνονται κάποια μαθήματα αφιερωμένα στο αντικείμενο. Μια σχολή κατάλληλη για να αναπτυχθεί το πεδίο σε υψηλό επίπεδο, είναι αυτή των ΗΜΜΥ του ΕΜΠ. Μάλιστα, στη σχολή προσφέρονται ήδη γνώσεις εφαρμοσμένης πυροπροστασίας, στο πλαίσιο των μαθημάτων με αντικείμενο τις βιομηχανικές και τις ειδικές εγκαταστάσεις. Το επόμενο βήμα θα μπορούσε να είναι ένα ξεχωριστό μάθημα, στο οποίο να παρουσιάζονται οι βασικές αρχές του φαινομένου της φωτιάς, με έμφαση στις πρακτικές εφαρμογές και τους ισχύοντες κανονισμούς. Ένα τέτοιο μάθημα θα μπορούσε να αποτελέσει πολύτιμο μέρος μιας ροής με μαθήματα αφιερωμένα στις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις.

Αν η παρούσα αναφορά έχει πετύχει στο ελάχιστο το σκοπό της, πρέπει να έχει γίνει ήδη φανερό πως το αντικείμενο της πυροπροστασίας είναι τόσο μεγάλο, που δεν μπορεί να καλυφθεί από ένα μόνο μάθημα. Τα αντικείμενα ειδικότητας, τα οποία προτείνει το ΔΣΕ (εν. 2), δηλαδή οι βασικές αρχές της φωτιάς, η δυναμική της φωτιάς σε κλειστούς χώρους, η ενεργητική πυροπροστασία, η παθητική πυροπροστασία, η ανθρώπινη συμπεριφορά στη φωτιά, η διαχείριση κινδύνων και η βιομηχανική πυροπροστασία, είναι τα ελάχιστα, τα οποία πρέπει να κατέχει ένας σχεδιαστής συστημάτων πυροπροστασίας. Με την προσθήκη ενός ή παραπάνω μαθημάτων, στα οποία να καλύπτονται οι βασικές ελλείψεις προαπαιτούμενων γνώσεων θερμοδυναμικής, μηχανικής των ρευστών και μεταφοράς θερμότητας και μάζας, θα μπορούσε να δημιουργηθεί μια ξεχωριστή ροή. Ένα επιπρόσθετο αντικείμενο, το οποίο επιβάλλεται να μελετάται σε μια μελλοντική ροή ΜΠ στην Ελλάδα, είναι οι αγροδοασικές πυρκαγιές και η αγροδοασική πυροπροστασία. Σε αυτό, θα μπορούσαν να διδαχθούν: τα ζητήματα σχετικά με την ανάλυση και την πρόβλεψη της συμπεριφοράς της φωτιάς σε ανοικτούς χώρους, οι ιδιότητες της καύσιμης ύλης των αγροδοασικών περιοχών, η επιρροή του καιρού, η διαχείριση των δασικών πυρκαγιών, η μείωση, μετατροπή, και απομόνωση των καύσιμων υλικών, η προστασία του δικτύου μεταφοράς ενέργειας, ο σχεδιασμός ζωνών, οι σχεδιασμένες μικρές φωτιές ως μέτρο πυροπροστασίας κ.α. Φυσικά, παράλληλα με τα μαθήματα θα πρέπει να διεξάγονται και οι αντίστοιχες εργαστηριακές ασκήσεις, καθώς δεν νοείται εκπαίδευση μηχανικών, χωρίς την ενεργή ενασχόληση των φοιτητών με πειράματα και πρακτικό σχεδιασμό. Άλλωστε, για να θεμελιωθεί και να αναπτυχθεί σωστά ένας ακαδημαϊκός τομέας, πρέπει να συνοδεύεται με πρόοδο στην έρευνα. Ένα τέτοιο πρόγραμμα, θα

πρέπει να έχει ως κινητήριο δύναμη, ένα ολοκληρωμένο διεπιστημονικό εργαστηριακό κέντρο για τη μελέτη της πυρκαγιάς. Εναλλακτικά μιας προπτυχιακής ροής, θα μπορούσαν να προσφέρονται σε μεταπτυχιακό επίπεδο μαθήματα με το ίδιο αντικείμενο, ως μέρος ενός ολοκληρωμένου προγράμματος σπουδών *ΜΠ*. Είτε ως ροή, είτε ως μεταπτυχιακό πρόγραμμα, αυτά τα μαθήματα θα έδιναν τα εφόδια στον απόφοιτο, ώστε να μπορεί να αντιμετωπίσει οποιοδήποτε πρόβλημα σχετίζεται με την πυροπροστασία, αλλά και να συμβάλει ενεργά στην αναβάθμιση του τομέα. Η ανάπτυξη ενός προγράμματος *ΜΠ*, θα μπορούσε να αποτελέσει το θεμέλιο λίθο για την μελλοντική ανάπτυξη της πυροπροστασίας στη χώρα.

5.3 Επίλογος.

Ανέκαθεν, το πολύπλοκο φαινόμενο της φωτιάς προκαλούσε το δέος και το ενδιαφέρον του ανθρώπου. Η χρήση της φωτιάς, υπήρξε και συνεχίζει να είναι θεμελιώδους σημασίας για την ανάπτυξη των επιστημών και των πολιτισμών. Παρόλα αυτά, οι ανεξέλεγκτες φωτιές συνεχίζουν ακόμα να προκαλούν μεγάλες απώλειες και καταστροφές. Σε σχέση με τις υπόλοιπες επιστήμες, η επιστήμη της φωτιάς καθυστέρησε πολύ να αναπτυχθεί. Οι λόγοι για αυτό, είναι ότι ιστορικά το πρόβλημα της φωτιάς αντιμετωπιζόνταν σποραδικά, μετά από μεγάλες καταστροφές, και όχι συστηματικά και μεθοδικά. Επιπλέον, η αγορά πάντοτε είχε ως προτεραιότητα την ασχολία με τομείς, οι οποίοι προσφέρουν άμεση οικονομική ανάπτυξη, και οι κυβερνώντες είχαν πάντοτε την τάση να αποφεύγουν τις κοινωνικές παροχές. Δεν είναι τυχαίο, ότι οι πρώτες σημαντικές εξελίξεις στον τομέα, έγιναν υπό την αιγίδα ασφαλιστικών εταιριών, με σκοπό την προστασία των ασφαλισμένων τους βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Αλλά, οι σημαντικότερες επιστημονικές εξελίξεις συνέβησαν μόλις τα τελευταία πενήντα χρόνια. Ρόλο σε αυτό, έπαιξε η πίεση που ασκήθηκε στις κυβερνήσεις ανεπτυγμένων χωρών από την ενήμερη και ανήσυχη κοινωνία. Ως συνέπεια, ακολούθησαν σημαντικές κρατικές χρηματοδοτήσεις για έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα της πυροπροστασίας, στο πλαίσιο της κοινωνικής πολιτικής.

Το αποτέλεσμα αυτής της καθυστέρησης, είναι ότι στην πρακτική του σχεδιασμού πυροπροστασίας κυριάρχησαν εμπειρικές μέθοδοι και προτυποποιήθηκαν ανάλογες δοκιμασίες. Η ανομοιομορφία των αποτελεσμάτων μεταξύ δοκιμασιών της ίδιας κατηγορίας, η αδυναμία γενίκευσης των αποτελεσμάτων των πειραμάτων τα οποία διεξήχθησαν υπό ειδικές συνθήκες, καθώς και η παραγωγή δεδομένων σε μορφές ασύμβατες με την επιστημονική πρακτική, έχουν θέσει υπό αμφισβήτηση την αξιοπιστία αρκετών παραδοσιακών μεθόδων. Από την πλευρά της, η έρευνα στον τομέα της φωτιάς,

με τη δική της επιστημονική προσέγγιση ανέδειξε νέες γνώσεις, νέες μεθόδους σχεδιασμού και νέες τεχνολογίες. Το αποκορύφωμα των προσπαθειών αυτών, υπήρξε η εισαγωγή της έννοιας και των τεχνικών του σχεδιασμού και της ανάλυσης πυροπροστασίας βάσει απόδοσης. Σε αυτήν την προσέγγιση, ο σχεδιασμός κρίνεται από την απόδοση των συστημάτων ενεργητικής και παθητικής πυροπροστασίας, στην επαρκή προστασία των ενοίκων, των περιουσιών και της ίδιας της κτηριακής εγκατάστασης, υπό διάφορα ρεαλιστικά σενάρια πυρκαγιάς. Τον γενικό σχεδιαστικό στόχο, όπως για παράδειγμα την ασφαλή εκκένωση των ενοίκων, έχουν το ρόλο να ορίσουν οι νέοι κανονισμοί βάσει απόδοσης. Από εκεί και πέρα, ο σχεδιαστής καλείται να επιλέξει υπεύθυνα τα κατάλληλα κριτήρια, τα κατάλληλα φορτία, τα κατάλληλα σενάρια, τους κατάλληλους σχεδιαστικούς στόχους με βάση τους περιορισμούς, τις κατάλληλες μεθοδολογίες και τα κατάλληλα μέσα, και να τα εφαρμόσει σωστά καταλήγοντας στη βέλτιστη σχεδιαστική λύση. Κάτι τέτοιο, απαιτεί πολλές ειδικές γνώσεις και ικανότητες. Σημαντικότερα, απαιτεί την μεθοδική, επινοητική, πρακτική και επιστημονική προσέγγιση, η οποία χαρακτηρίζει το επάγγελμα του μηχανικού.

Ο τομέας της πυροπροστασίας σήμερα, βρίσκεται σε μια μεταβατική φάση. Οι πρακτικές του, οδεύουν από το στάδιο της πρακτικής εμπειρίας προς το στάδιο της εφαρμοσμένης επιστήμης. Αυτό, δεν συνεπάγεται την εγκατάλειψη των γνώσεων χρόνων. Απεναντίας, στο επόμενο στάδιο οι γνώσεις και οι πρακτικές του παρελθόντος θα πρέπει να αξιοποιούνται στο έπακρο από τις νέες τεχνικές. Αυτό που πρέπει να συμβεί σε μια ομαλή μετάβαση, είναι η αξιολόγηση και η εναρμόνιση τους με τα επιστημονικά δεδομένα. Δεν υπάρχει κανένας λόγος να εγκαταλειφθούν έγκυρες και αποτελεσματικές πρακτικές, οι οποίες είναι πιθανόν να προσφέρουν σε πολλές εφαρμογές μεγαλύτερη ευκολία, ταχύτητα και οικονομία. Επιπλέον, τα δεδομένα τόσων χρόνων θα πρέπει να μετατραπούν και να αξιοποιηθούν κατάλληλα από τις νέες μεθόδους. Από την πλευρά των αναλύσεων βάσει απόδοσης, η όλη προσπάθεια θα πρέπει να αναπτυχθεί περισσότερο μέσω της έρευνας, της ανάπτυξης νέων τεχνολογιών και της εκπαίδευσης νέων μηχανικών. Επίσης, οφείλει να ομογενοποιηθεί κάτω από ένα νέο κώδικα κανονισμών, ο οποίος θα επιτρέπει και θα ορίζει το πλαίσιο των νέων εφαρμογών. Στο μέλλον, η ανάλυση και ο σχεδιασμός της πυροπροστασίας θα πρέπει να γίνεται, εστιάζοντας στην κάθε περίπτωση ξεχωριστά. Η βέλτιστη προσέγγιση και επίλυση, θα πρέπει να επιλέγεται με γνώμονα τους συγκεκριμένους στόχους και περιορισμούς του κάθε προβλήματος. Ο μηχανικός πυροπροστασίας, είναι ο πλέον αρμόδιος για την επιτυχημένη αναβάθμιση του τομέα. Είναι εκείνος, ο οποίος καλείται να γνωρίζει εις βάθος τα φαινόμενα που σχετίζονται με την πυρκαγιά και τις ειδικές τεχνικές γνώσεις που σχετίζονται με την πυροπροστασία. Είναι εκείνος, ο οποίος έχει την ικανότητα να

εφαρμόσει μαθηματικές και επιστημονικές αρχές, σε συνδυασμό με την επινοητική και πρακτική προσέγγιση ενός μηχανικού, ώστε να προσφέρει τις καταλληλότερες λύσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος της πυρκαγιάς. Χωρίς την αντίστοιχη ολοκληρωμένη εκπαίδευση υψηλού επιπέδου, δεν είναι δυνατόν να υπάρξει ουσιαστική εξέλιξη στην αντιμετώπιση του προβλήματος της πυρκαγιάς.

6. Βιβλιογραφία (Κεφάλαιο Τρίτο):

- 1) Department of Fire Protection Engineering, University of Maryland, College Park, MD: <http://www.enfp.umd.edu/>
- 2) UMD Undergraduate Catalog 2010-11: <http://www.umd.edu/catalog/>
- 3) UMD Graduate Catalog 2009-10: <http://www.gradschool.umd.edu/catalog/>
- 4) Department of Fire Protection Engineering, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA: <http://www.wpi.edu/academics/Depts/Fire/>
- 5) WPI Course Catalogs: <http://www.wpi.edu/academics/catalogs.html>
- 6) DiNunno PJ, Drysdale D et al. (editors). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2002.
- 7) Drysdale D. *An Introduction to Fire Dynamics*. John Wiley and Sons, Chichester, 1999.
- 8) Lataille JI. *Fire Protection Engineering in Building Design*. Butterworth-Heinemann, 2002.
- 9) Zalosh RG. *Industrial Fire Protection Engineering*. John Wiley & Sons, Chichester, England, 2003.
- 10) NEMA Fluid-Filled Transformer Flammability Study Committee. *A Report on the Fire Safety Test Methods and Performance Criteria for Transformers Containing PCB Replacement Fluids*. National Electrical Manufacturers Association Report for the National Bureau of Standards and the Department of Energy, 1980.
- 11) Fustich C. *Transformer Room Fire Tests*. General Services Administration Technical Report under project No. PB 79-08, 1980.

Παράρτημα Α:

Προσομοιώσεις Πυρκαγιάς.

1. Προσομοιώσεις πυρκαγιάς.

1.1 Προσομοιώσεις με διζωνικό μοντέλο (CFAST).

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, διεξήχθησαν μερικές προσομοιώσεις σεναρίων πυρκαγιάς με λογισμικά πακέτα μοντέλων ζωνών και μοντέλων δυναμικής ρευστού, με σκοπό να αναδειχθεί ένα μικρό μέρος από τις δυνατότητες αυτών των εργαλείων για τη μελέτη της πυρκαγιάς. Η πρώτη προσομοίωση, έγινε με το πρόγραμμα CFAST του NIST. Ο κορμός αυτού του προγράμματος στηρίζεται σε ένα διζωνικό μοντέλο¹. Ο χώρος είναι πάντοτε χωρισμένος σε δύο στρώματα: το υψηλό και θερμό στρώμα του καπνού και το χαμηλό στρώμα του αέρα. Για αυτούς τους δύο όγκους ελέγχου, λύνονται οι γενικές εξισώσεις της διατήρησης της μάζας και της ενέργειας. Η εξίσωση της ορμής χρησιμοποιείται μόνο εμμέσως, για τον υπολογισμό των ροών στα ανοίγματα. Από αυτές τις λύσεις, προκύπτει ένα σύνολο διαφορικών εξισώσεων για την πίεση, τον όγκο και τη θερμοκρασία σε κάθε στρώμα:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\gamma - 1}{V} (\dot{h}_L + \dot{h}_U)$$

$$\frac{dV_U}{dt} = \frac{1}{P\gamma} \left((\gamma - 1)\dot{h}_i - V_U \frac{dP}{dt} \right)$$

$$\frac{dT_U}{dt} = \frac{1}{c_p \rho_i V_U} \left((\dot{h}_U - c_p \dot{m}_U T_U) + V_U \frac{dP}{dt} \right)$$

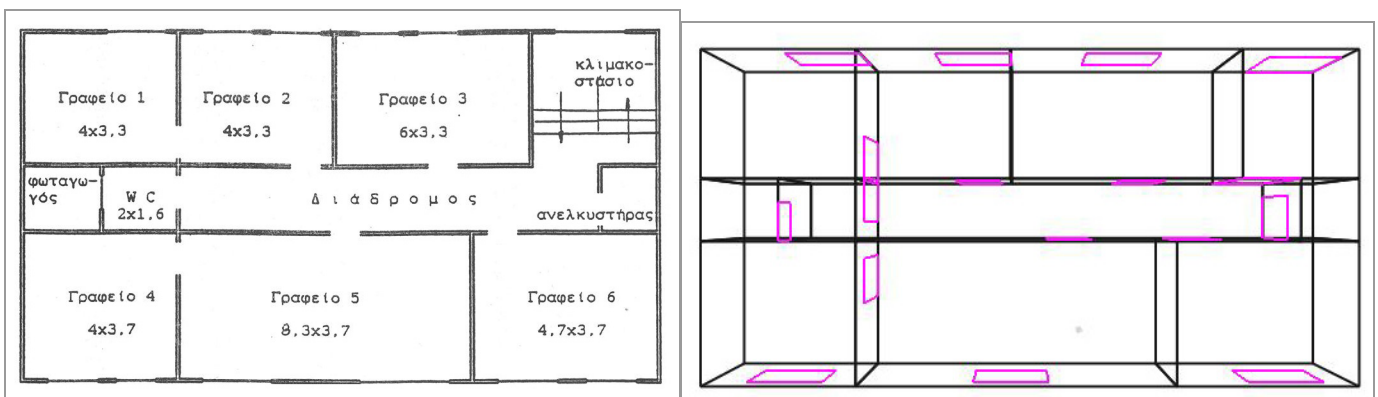
$$\frac{dT_L}{dt} = \frac{1}{c_p \rho_i V_L} \left((\dot{h}_L - c_p \dot{m}_L T_L) + V_L \frac{dP}{dt} \right)$$

Το U αντιπροσωπεύει το άνω στρώμα και το L το κάτω στρώμα, ενώ το γ είναι ο λόγος c_p/c_v . Τα δεδομένα του κτηρίου και της φωτιάς, αποτελούν τις αρχικές συνθήκες για αυτές τις εξισώσεις. Η βασική παραδοχή η οποία γίνεται, είναι ότι ο χώρος μπορεί να χωριστεί σε δύο ζώνες με ομοιόμορφες ιδιότητες. Για τους επί μέρους υπολογισμούς, χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα μοντέλα (μεταφορά θερμότητας (ακτινοβολία, αγωγή, συναγωγή), ροές οροφής, ενεργοποίηση ανιχνευτών, παραγωγή και μεταφορά ουσιών κ.α.). Για παράδειγμα, το ύψος της φλόγας υπολογίζεται από το μοντέλο του Heskestad (Σχέση 7.5). Κάθε μοντέλο, καθώς και οι περιορισμοί του, περιγράφονται στο Technical

Reference Guide¹. Ο σκοπός του μοντέλου είναι η μελέτη πυρκαγιών σε χώρους με απλές γεωμετρίες, και έχει μια σειρά από περιορισμούς του οποίους πρέπει να γνωρίζει ο χρήστης, όπως για παράδειγμα στην αναλογία των διαστάσεων ενός χώρου ή στο γεγονός ότι δεν μοντελοποιεί άμεσα την εξάπλωση της φλόγας.

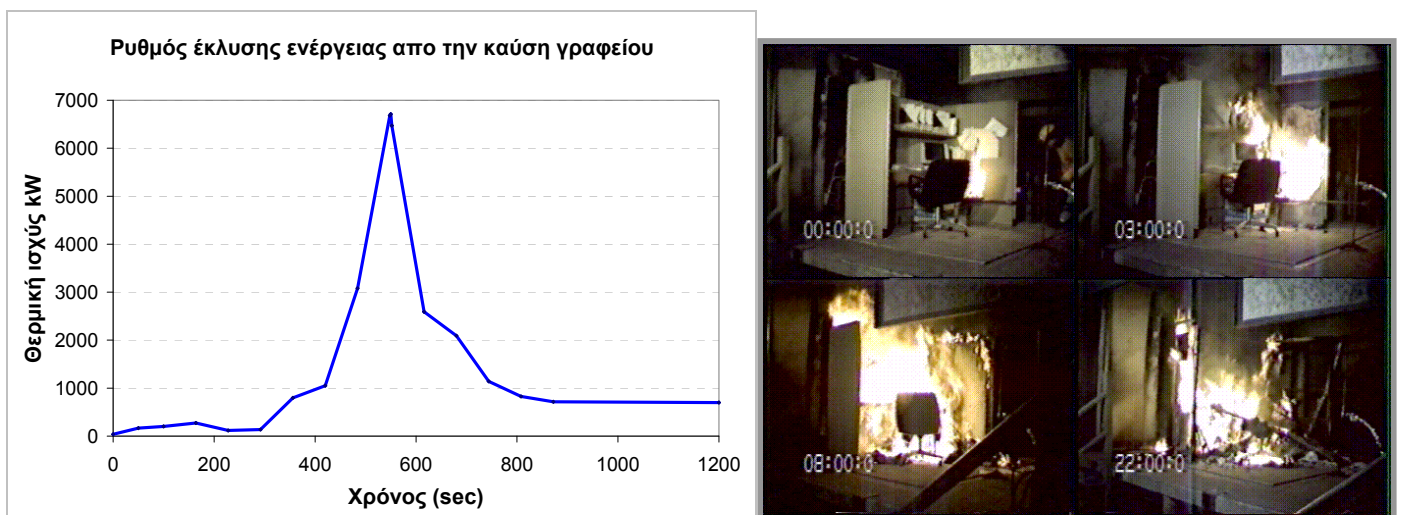
1.1.1 Πυρκαγιά σε ισόγειο χώρο γραφείων.

Για τους σκοπούς της προσομοίωσης, δημιουργήθηκε ένας απλός χώρος γραφείων μεικτού εμβαδού 185 m², με βάση την κάτοψη ενός ορόφου από το βιβλίο του μαθήματος των βιομηχανικών εγκαταστάσεων² (Σχήμα 1). Κάποιες από τις διαφορές από την αρχική κάτοψη είναι ότι: ο νέος χώρος πρόκειται για ισόγειο χωρίς δεύτερο όροφο, ο χώρος του κλιμακοστασίου είναι η κεντρική είσοδος, οι χώροι του φωταγωγού και του ανελκυστήρα είναι απλά βοηθητικοί και τα παράθυρα είναι ένα για κάθε γραφείο. Για ευκολία, διατηρούνται τα ονόματα των χώρων, ως έχουν. Όλες οι πόρτες έχουν ύψος 2 m και πλάτος 1,2 m, εκτός από αυτή της εισόδου (κλιμακοστασίου), η οποία έχει πλάτος 2 m. Όλα τα παράθυρα είναι 2 x 1,5 m, εκτός από αυτό του φωταγωγού, το οποίο είναι 1 x 1 m. Όλες οι πόρτες και τα παράθυρα θεωρούνται πλήρως ανοικτά, εκτός από το παράθυρο στο χώρο της φωτιάς, το οποίο είναι και παραμένει ανοικτό μόνο κατά το ένα δέκατο. Με βάση τα υλικά τα οποία ήταν διαθέσιμα από το πρόγραμμα, ολόκληρη η τοιχοποιία θεωρήθηκε ότι είναι από διπλό τούβλο πάχους 0,2 m (θερμική αγωγιμότητα: 0,72 W/m °C, ειδική θερμοχωρητικότητα: 0,835 kJ/kg °C, συντελεστής εκπομπής 0,9). Το πρόγραμμα δεν διαχωρίζει τους εσωτερικούς από τους εξωτερικούς τοίχους, οπότε το πάχος θεωρήθηκε ενιαίο. Το δάπεδο και η οροφή θεωρήθηκαν ότι είναι από σκυρόδεμα πάχους 0,25 m (θερμική αγωγιμότητα: 0,125 W/m °C, ειδική θερμοχωρητικότητα: 1,05 kJ/kg °C, συντελεστής εκπομπής 0,94).



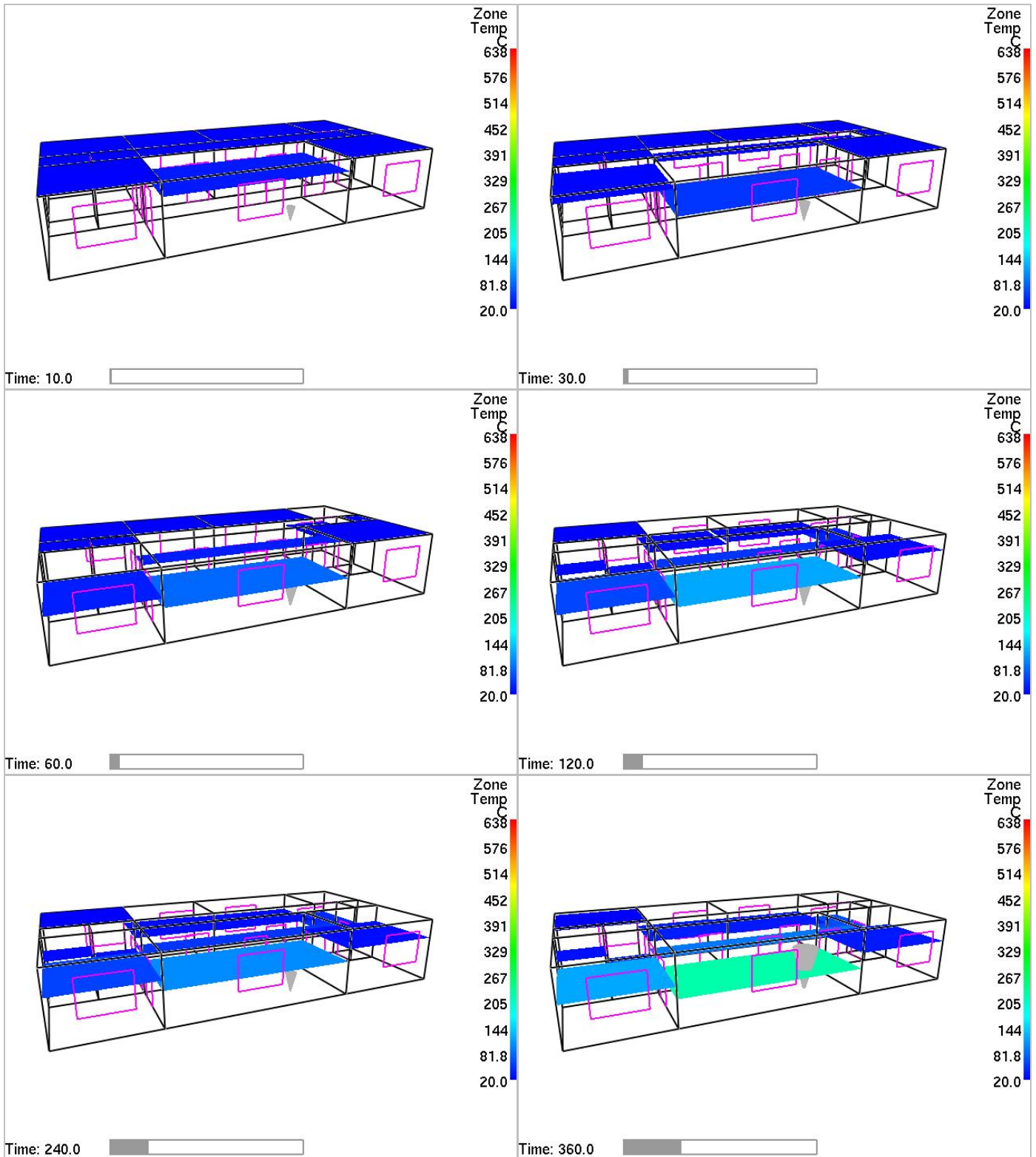
Σχήμα 1. Το κτήριο της προσομοίωσης (δεξιά), είναι βασισμένο σε γενικές γραμμές στην κάτοψη του ορόφου (αριστερά) από την άσκηση 1, σελ. 283 του βιβλίου των κτιριακών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

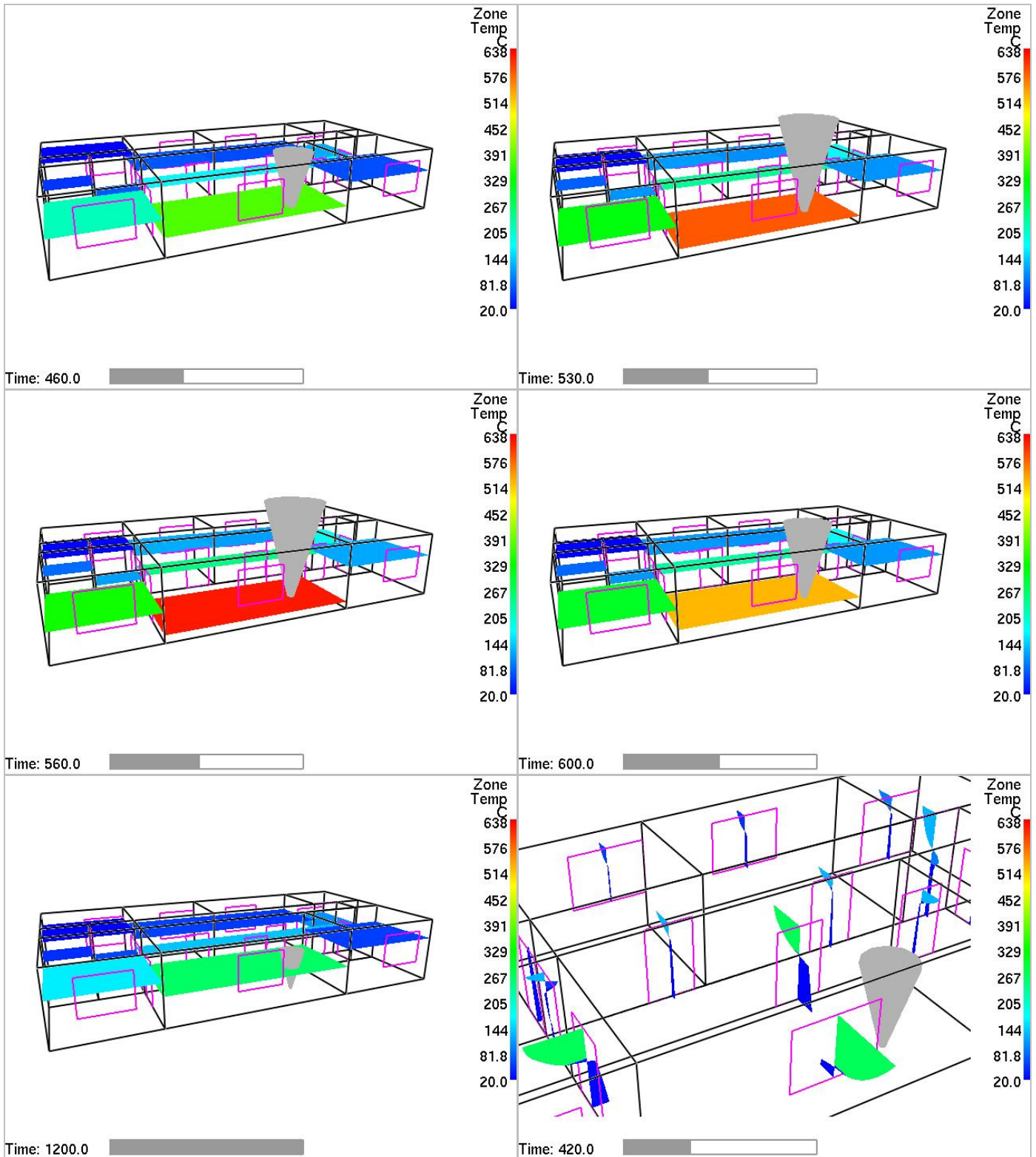
Στο συγκεκριμένο σενάριο πυρκαγιάς, καίγεται ένα πλήρως εξοπλισμένο γραφείο με τρίφυλλο κουβούκλιο, στο χώρο του γραφείου 5. Η χαρακτηριστική καμπύλη μεταβολής του ρυθμού έκλυσης ενέργειας της συγκεκριμένης καύσης, προέκυψε από πειράματα³ (Σχήμα 2). Σε αυτήν την καύση, παρατηρείται μια μεγάλη αύξηση του ρυθμού έκλυσης ενέργειας στο διάστημα μεταξύ του όγδοου και του δέκατου λεπτού από την έναυση. Οι ιδιότητες της καύσης των υλικών από τη συγκεκριμένη περίπτωση, υπάρχουν στα δεδομένα του προγράμματος. Για παράδειγμα: ο λόγος παραγωγής μονοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με το διοξείδιο είναι 0,00305, ο αντίστοιχος λόγος παραγωγής αιθάλης είναι 0,0118, και η θερμότητα καύσης είναι 18900 kJ/kg.



Σχήμα 2. Ο ρυθμός έκλυσης ενέργειας από την καύση ενός γραφείου (με διαχωριστικό τριών φύλλων). Δεξιά, παρουσιάζονται κάποιες φωτογραφίες από τα πειράματα.

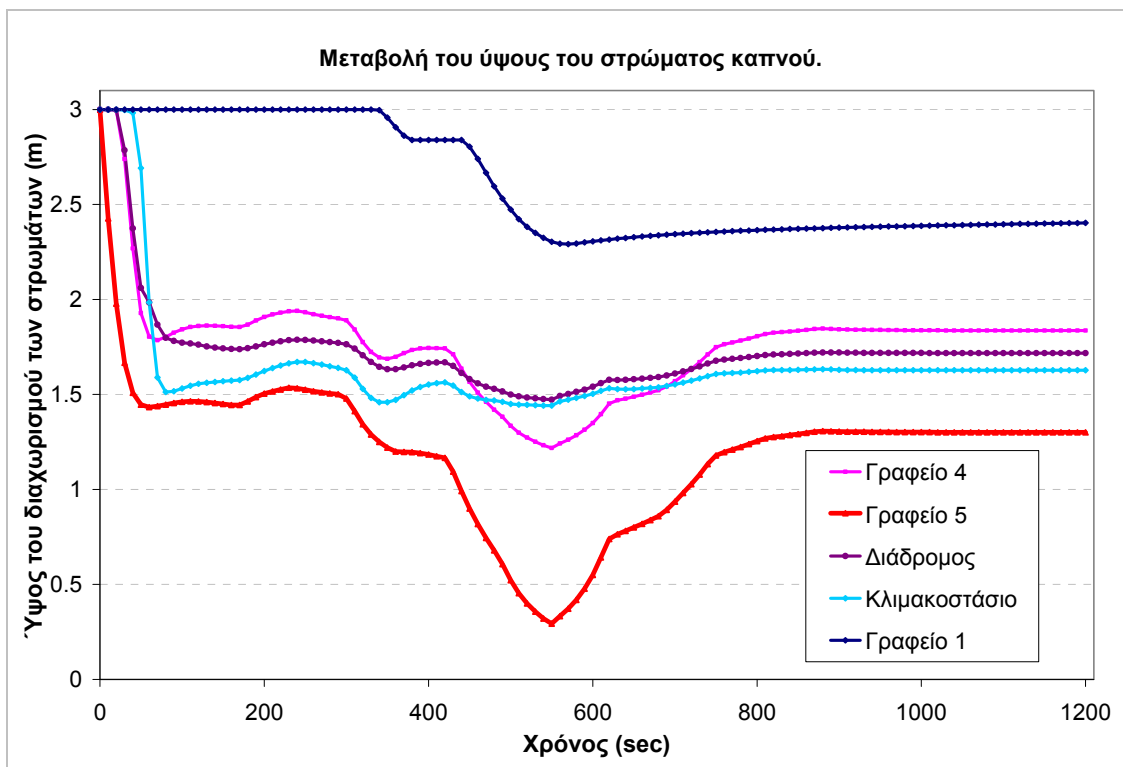
Ο χρόνος της προσομοίωσης ορίστηκε στα 20 λεπτά. Στο Σχήμα A3, παρουσιάζεται η εξέλιξη της πλήρωσης των δωματίων με καπνό, η οποία περιγράφεται από το ύψος του διαχωρισμού των δύο στρωμάτων (χρωματιστό επίπεδο), καθώς και η μεταβολή της θερμοκρασίας του άνω στρώματος (χρώμα του επιπέδου). Παρατηρείται, ότι στο γραφείο 5 ο καπνός φτάνει περίπου στο μισό ύψος του δωματίου (1,5 m), μέσα σε 30 sec. Στην πλήρωση με καπνό, ακολουθούν ο διάδρομος, το γραφείο 4 και το κλιμακοστάσιο (είσοδος). Το μεγαλύτερο ξέσπασμα της φωτιάς συμβαίνει μεταξύ 8 και 10 λεπτών (480 και 600 sec). Τότε, στο γραφείο 5 το στρώμα καπνού φτάνει σχεδόν μέχρι το δάπεδο. Έπειτα, η φωτιά υποχωρεί και το στρώμα καπνού ανεβαίνει.





Σχήμα 3. Η εξέλιξη της πλήρωσης (10-1200 sec) των δωματίων με καπνό και της μεταβολής της θερμοκρασίας του άνω στρώματος. Επίσης, παρουσιάζεται το προφίλ της ροής των αερίων στα ανοίγματα (κάτω δεξιά).

Οι εικόνες παρουσιάζουν επίσης το θεωρητικό ύψος της στήλης της φωτιάς. Αυτός είναι ένας ανεξάρτητος υπολογισμός και το γεγονός ότι η στήλη μπορεί να ξεπερνάει την οροφή, δεν επηρεάζει τους υπολογισμούς των υπολοίπων μοντέλων. Στο ίδιο σχήμα, απεικονίζεται επίσης το προφίλ των ροών των αερίων σε πόρτες και παράθυρα. Παρατηρείται ότι οι κύριες ροές του καπνού είναι από το γραφείο 5 προς το γραφείο 4, το διάδρομο και το κλιμακοστάσιο. Η ροή προς το τελευταίο, οφείλεται στο ότι το άνοιγμα προς το εξωτερικό του κτηρίου (είσοδος) είναι μεγάλο και στο ότι δεν υπάρχει σχεδόν καθόλου τοίχος στην επιφάνεια που συνδέει το διάδρομο με το κλιμακοστάσιο. Καθώς το ύψος του συγκεκριμένου ανοίγματος (2,8 m) είναι το μεγαλύτερο στο χώρο του διαδρόμου και υπάρχει μεγάλη διέξοδος, σημαντικό μέρος του καπνού οδηγείται εκεί.



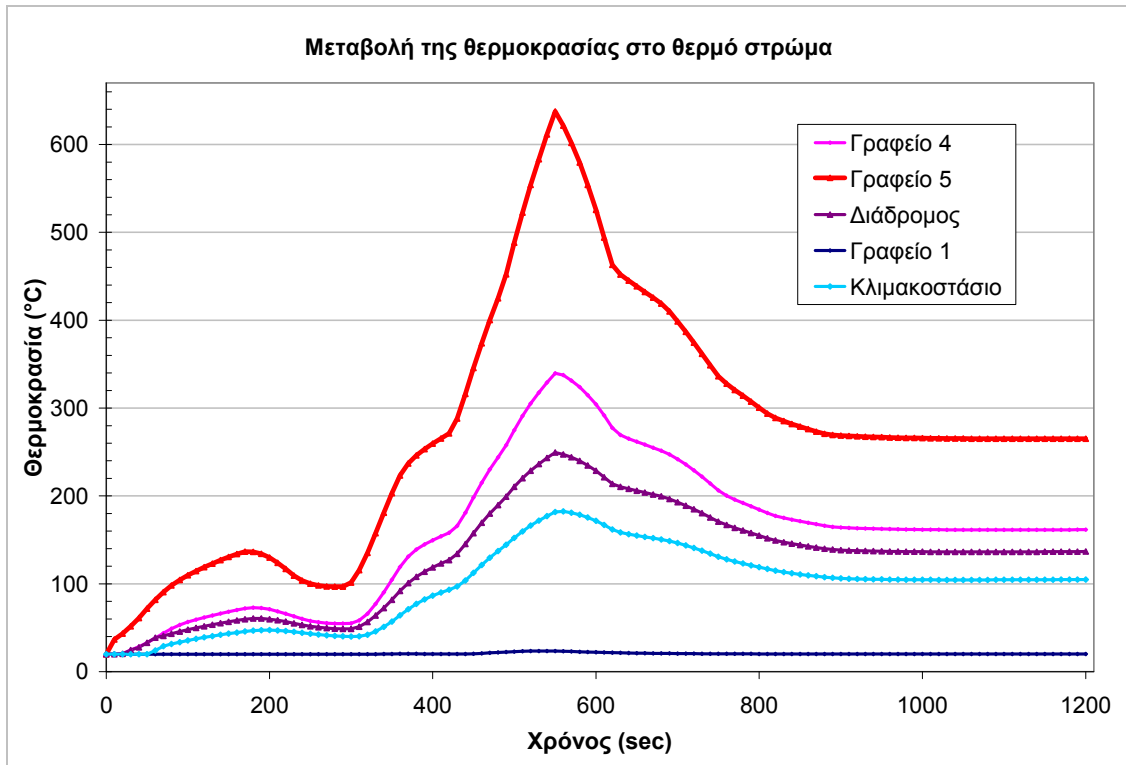
Σχήμα 4. Η μεταβολή του ύψους του στρώματος του καπνού για πέντε χώρους.

Το CFAST μπορεί να υπολογίσει μεταξύ άλλων: το ύψος του διαχωρισμού των στρωμάτων, την θερμοκρασία των δύο στρωμάτων, τα επίπεδα των αερίων (O_2 , CO_2 , CO , HCN , HCL , H_2O) σε κάθε στρώμα, του όγκους και τις πιέσεις των χώρων, τον ρυθμό απελευθέρωση προϊόντων της καύσης, την οπτική πυκνότητα η οποία σχετίζεται με την ορατότητα, τις ροές από και προς κάθε χώρο και κάθε άνοιγμα, τις ροές οροφής, το ποσοστό ανάμειξης των στρωμάτων στα ανοίγματα, και την μεταφορά θερμότητας

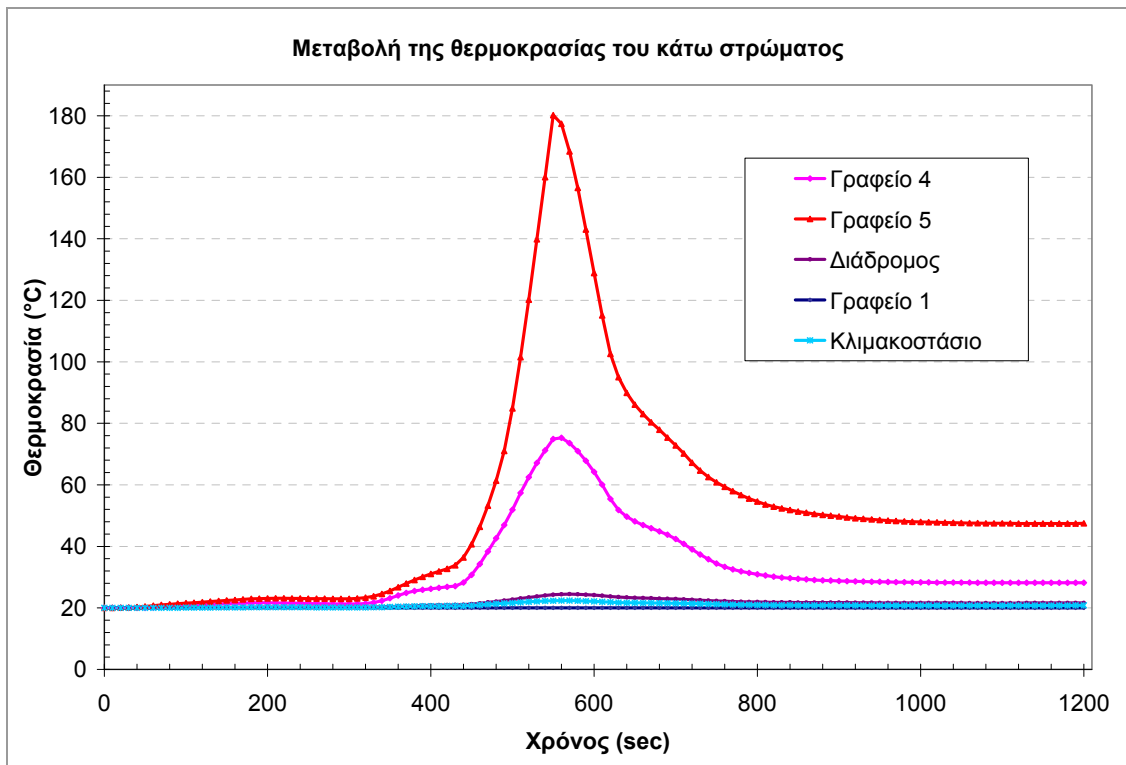
από και προς κάθε επιφάνεια (αγωγή, συναγωγή, ακτινοβολία (με κάποιους περιορισμούς)). Τα παρακάτω αποτελέσματα αφορούν πέντε αντιπροσωπευτικούς χώρους (γραφεία 1,4,5, διάδρομος και κλιμακοστάσιο). Στο Σχήμα 4, παρουσιάζεται η μεταβολή του ύψους του στρώματος του καπνού. Στο γραφείο 5, το στρώμα έχει φτάσει τα δύο μέτρα σε 20 s, και έχει φτάσει το 1,5 m σε 40 s, κάτω από το οποίο παραμένει καθ' όλη την υπόλοιπη διάρκεια της προσομοίωσης. Στα 550 s, το στρώμα πέφτει κάτω από τα 0,3 m. Στους υπόλοιπους χώρους, το επίπεδο πέφτει κάτω από τα δύο μέτρα σε περίπου 50 s. Με την εξαίρεση του γραφείου 1, το οποίο είναι σχετικά απομονωμένο και παρουσιάζεται απλά ως ένας χώρος ελέγχου.

Για το σχεδιασμό πυροπροστασίας βάσει απόδοσης, χρησιμοποιούνται διάφορα όρια ασφαλείας, αναλόγως των κανονισμών και των στόχων. Κάποια από τα γενικά όρια ασφαλείας είναι⁴⁻⁶: 65 °C, O₂ 12%, CO₂ 6%, CO 800 ppm, οπτική πυκνότητα 0,2 (~ορατότητα 5 m), επιφανειακή ροή θερμότητας 2,5 kW/m². Στα Σχήματα 4-10, παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις των αντίστοιχων παραμέτρων. Παραλείπονται οι γραφικές παραστάσεις από τα στρώματα στα οποία δεν πλησιάζονται καν τα όρια (π.χ. το οξυγόνο στο κάτω στρώμα), και εκείνα όπου τα όρια είναι αυτονόητο ότι υπερβαίνονται γρήγορα. Σε ότι αφορά τη θερμοκρασία, αν δεχθεί κανείς ότι πρέπει να εξετάζεται μόνο το τι συμβαίνει κάτω από το 1,5 m, στο γραφείο 5 ο διαθέσιμος χρόνος είναι μόλις 40 s. Για το γραφείο 4, ο διαθέσιμος χρόνος είναι 460 s, αλλά λόγω του ότι η μοναδική όδευση διαφυγής περνάει από το γραφείο 5, είναι και αυτός 40 s. Στο κλιμακοστάσιο και στο διάδρομο, στο διάστημα μεταξύ 300 και 600 sec, η κατάσταση είναι οριακή, καθώς το στρώμα του καπνού είναι στο όριο του 1,5 m και υπερβαίνει κατά πολύ το όριο θερμοκρασίας. Κάνοντας την παραδοχή, ότι σε αυτή την περιοχή το άνω στρώμα πρέπει να ορίζει τα όρια ασφαλείας, τότε προκύπτει διαθέσιμος χρόνος 330 s για το διάδρομο και 350 s για το κλιμακοστάσιο.

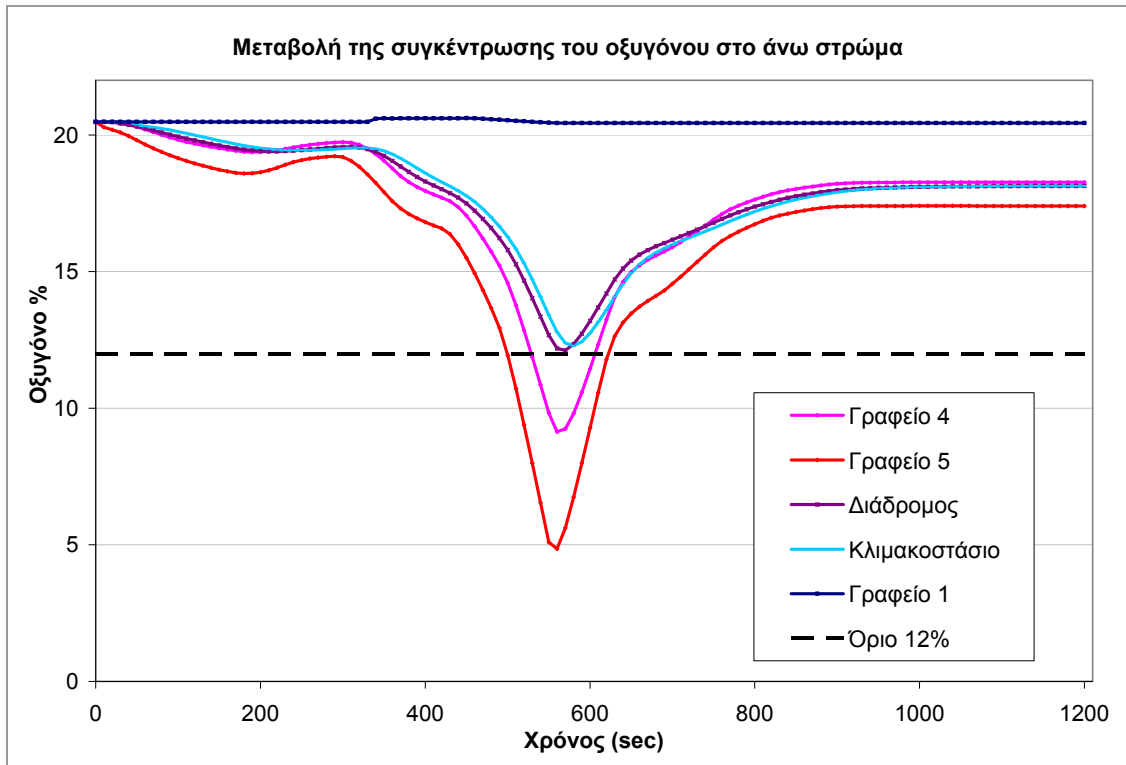
Στο Σχήμα 9, παρουσιάζεται η συνολική θερμική ροή σε αντικείμενο το οποίο βρίσκεται σε ύψος 1,5 m. Τα αντικείμενα αυτά, τοποθετήθηκαν στο κέντρο του κάθε δωματίου, και τους αποδόθηκαν οι θερμικές ιδιότητες του ανθρώπινου σώματος (θερμική αγωγιμότητα 0,3 W/m°C, ειδική θερμοχωρητικότητα 3,47 kJ/kg °C, και πυκνότητα 1010 kg/m³). Το όριο των 2500 W/m², υπερβαίνεται: α) στα 340 s για το γραφείο 5, β) στα 450 s για το γραφείο 4, γ) στα 510 s για το διάδρομο, και δ) οριακά στα 550 s για το κλιμακοστάσιο. Σημαντικότερα, η θερμική ροή σε ένα αντικείμενο από ξύλο, τοποθετημένο στο κέντρο του γραφείου 5, έφτασε τα 20 kW/m² σε 530 s. Αυτό είναι και το όριο έκλαμψης. Οπότε, πέρα από αυτό το όριο η προσομοίωση παύει να ισχύει ως έχει, καθώς το δωμάτιο τυλίγεται στις φλόγες. Αυτό είναι κάτι, το οποίο μπορεί να συμ-



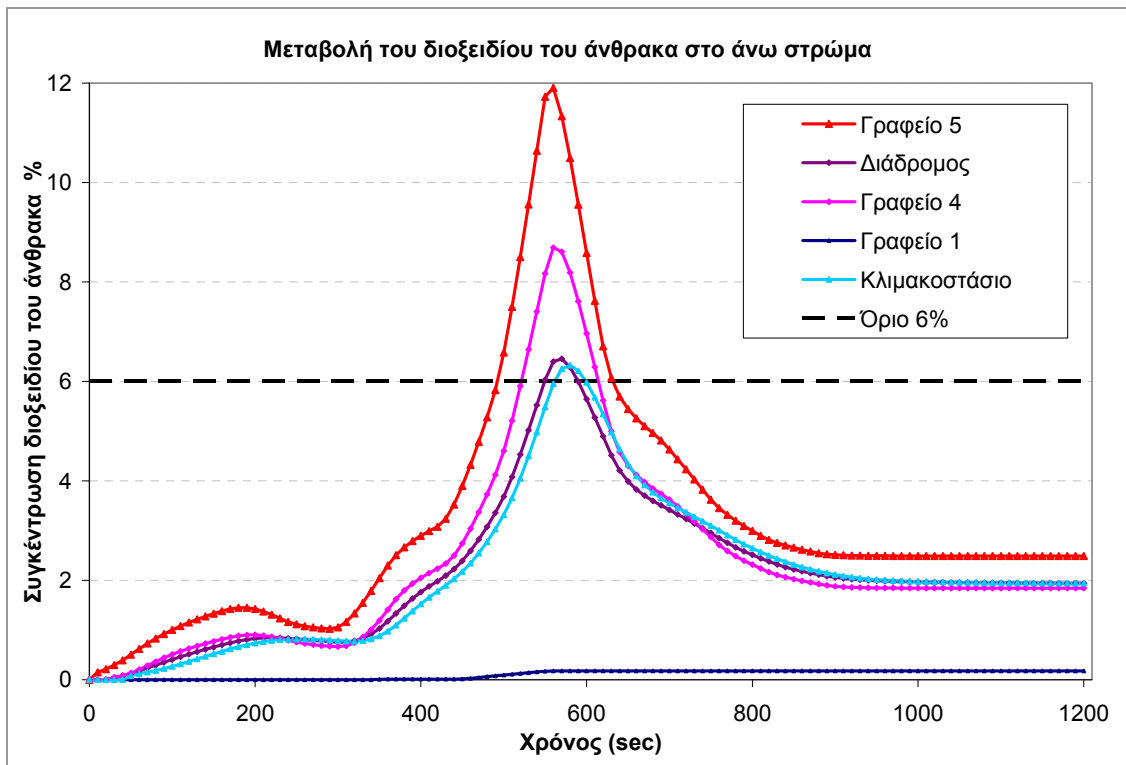
Σχήμα 4. Η μεταβολή της θερμοκρασίας στο άνω στρώμα.



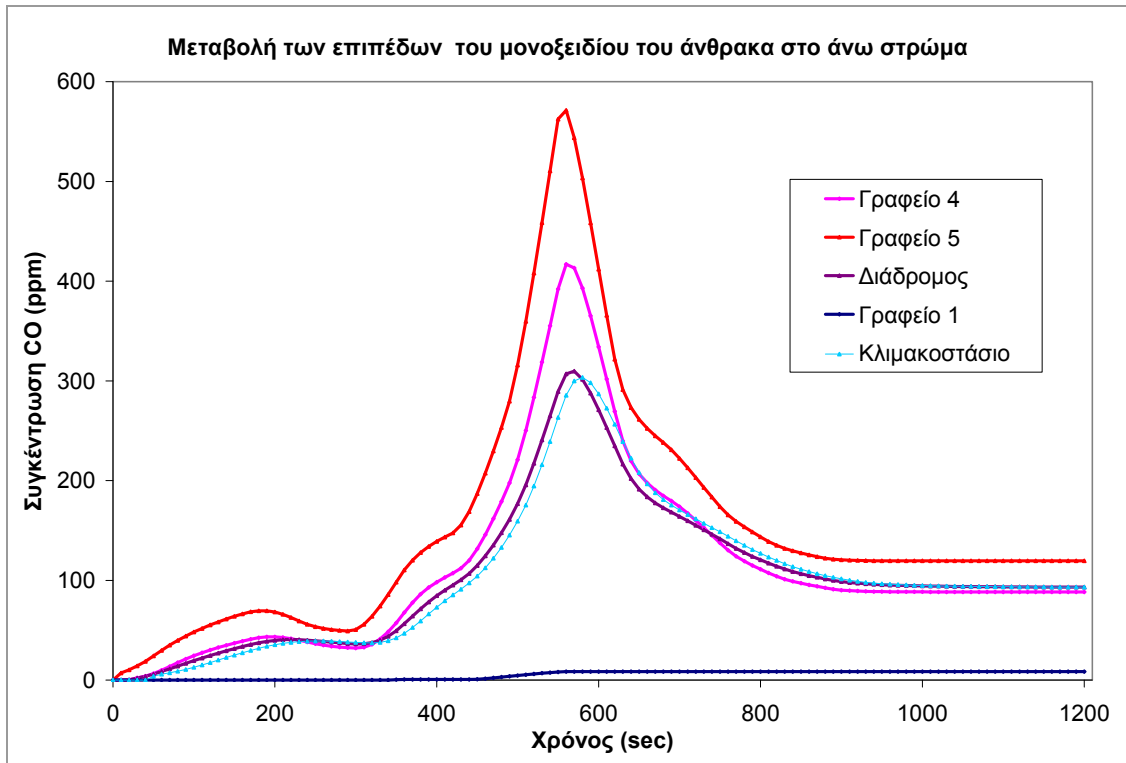
Σχήμα 5. Η μεταβολή της θερμοκρασίας στο κάτω στρώμα.



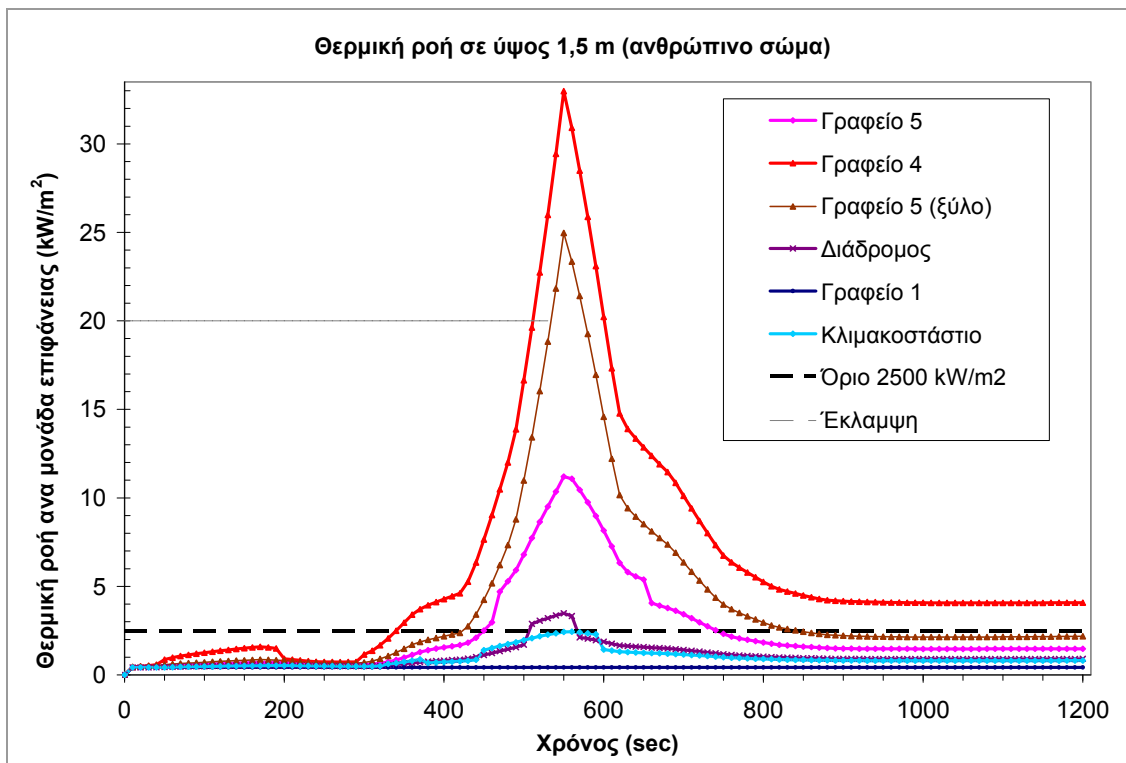
Σχήμα 6. Τα επίπεδα οξυγόνου στο άνω στρώμα.



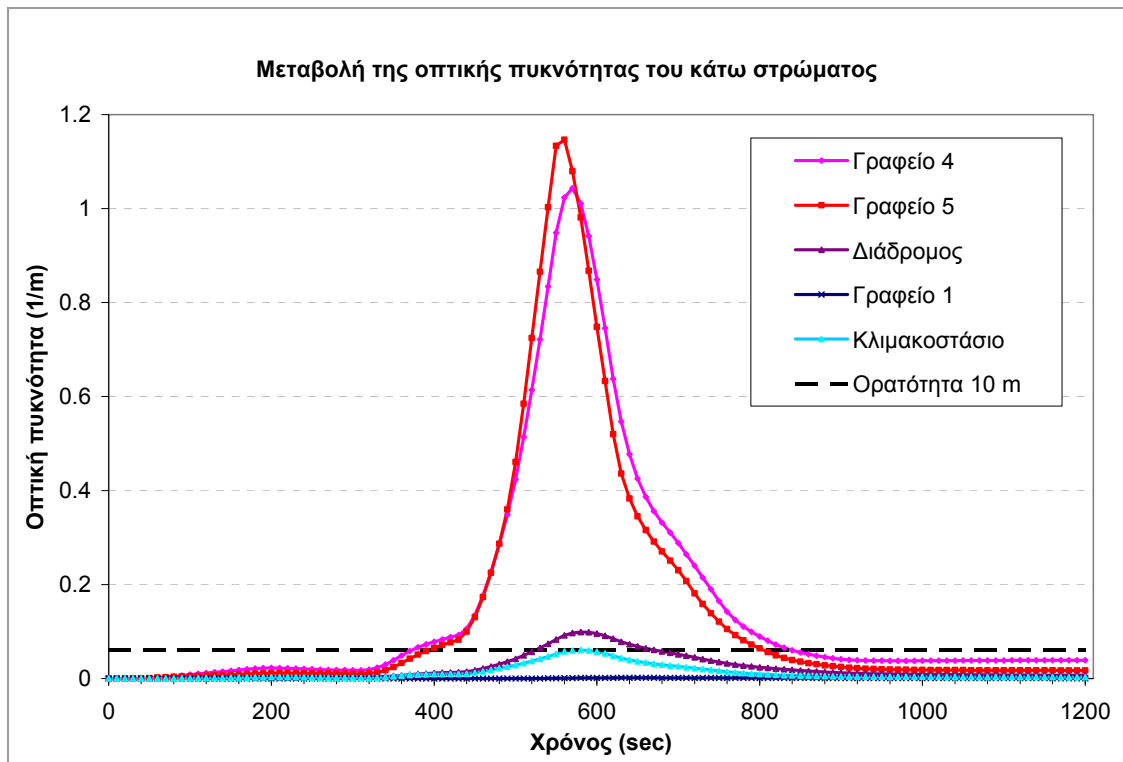
Σχήμα 7. Τα επίπεδα CO₂ στο άνω στρώμα.



Σχήμα 8. Τα επίπεδα του CO στο άνω στρώμα.



Σχήμα 9. Η ροή θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας σε ύψος 1,5 m (κέντρο του δωματίου).



Σχήμα 10. Η οπτική πυκνότητα στο κάτω στρώμα.

περιληφθεί εμμέσως στο CFAST, με πρόβλεψη για αντιδράσεις με χρονική καθυστέρηση.

Στα υπόλοιπα σχήματα, παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις των επιπέδων CO, CO₂, O₂, και της οπτικής πυκνότητας. Σε καμία από αυτές, δεν προκύπτει μικρότερος διαθέσιμος για διαφυγή χρόνος από τα προηγούμενα δεδομένα. Οπότε, για τα γραφεία 4 και 5, ο διαθέσιμος χρόνος διαφυγής είναι τα 40 s, ενώ για όλα τα υπόλοιπα είναι 330 s μέχρι το διάδρομο, και 350 μέχρι την έξοδο. Οι συνθήκες σε όλα τα υπόλοιπα δωμάτια, είναι καλύτερες από αυτές και τα συμπεράσματα, ισχύουν και για αυτά. Σημειώνεται, ότι για τον υποθετικό αυτό χώρο γραφείων, σύμφωνα με τον ισχύοντα κώδικα κανονισμών⁷, δεν απαιτείται κάποιο αυτόματο σύστημα ενεργητικής πυροπροστασίας και οι οδεύσεις τηρούν τις σωστές αποστάσεις.

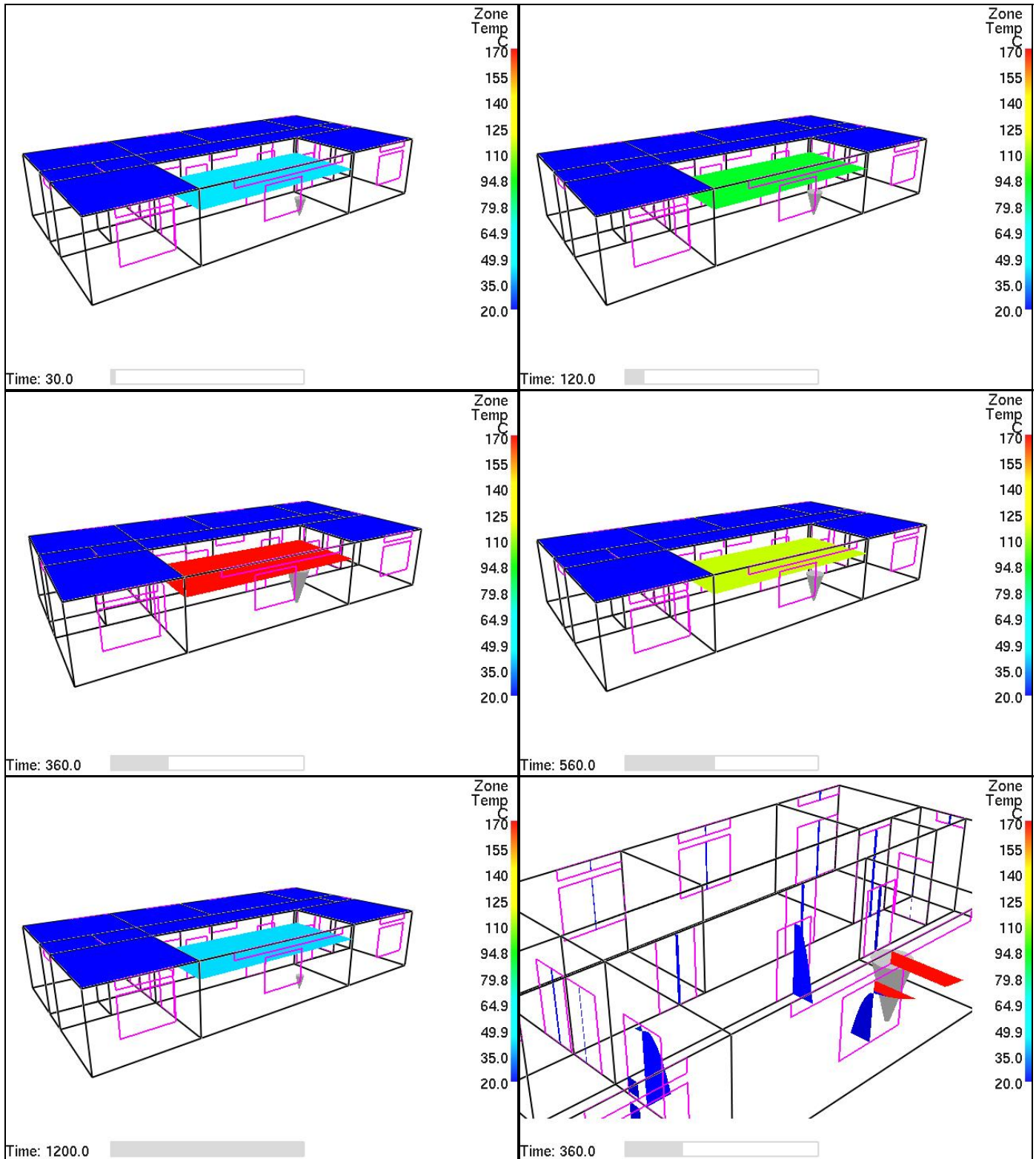
Ας υποθεθεί ότι ο στόχος πυροπροστασίας για το συγκεκριμένο πρόβλημα, είναι να μην υπερβαίνονται τα όρια σε καμία χρονική στιγμή και σε κανένα χώρο, ο οποίος να ανήκει σε μια όδευση διαφυγής. Θεωρητικά, θα μπορούσε κάποιος να θέσει ένα πιο ρεαλιστικό στόχο, ο οποίος θα διέφερε από τον παραπάνω στο ότι εξαιρείται το δωμάτιο της πυρκαγιάς. Όμως, η διαδρομή του γραφείου 4, περνάει από το 5. Αν ο χώρος, είναι

όπως έχει υποθεθεί για το παράδειγμα αυτό (ισόγειος όροφος), τότε μια εύκολη λύση θα ήταν η μετατροπή του χώρου του φωταγωγού (εδώ απλά βοηθητικός χώρος) ή του W.C., ώστε να συνδέονται τα γραφεία 1 και 4, ή η δημιουργία μια νέας εξόδου. Με λίγα επιπρόσθετα μέτρα, το συγκεκριμένο υποθετικό σενάριο θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί.

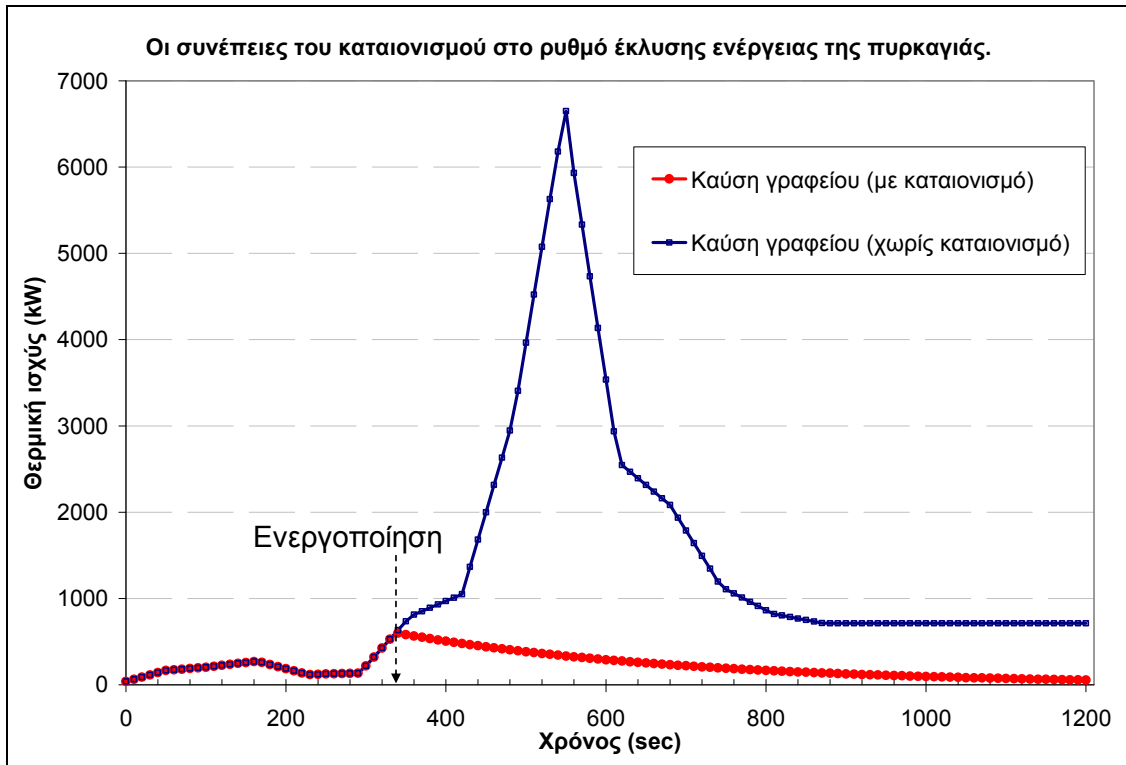
Υποθέτοντας, ότι η μετατροπή του χώρου δεν είναι δυνατή, ένας από τους συνδυασμούς μέτρων τα οποία είναι αποτελεσματικά για αυτήν την προσομοίωση είναι ο εξής: α) προσθήκη ανοιγμάτων τύπου φεγγίτη (0,3 cm), σε ύψος κοντά στην οροφή, σε κάθε χώρο, β) ένα σύστημα καταιονισμού (δείκτης χρόνου αντίδρασης $80 \text{ (m s)}^{1/2}$, ροή ψεκασμού ανά επιφάνεια 0,07 mm/s, και ενεργοποίηση 68 °C) με μέγιστες αποστάσεις των καταιονητήρων μεταξύ τους 4,5 m. Τα παραπάνω συμπεριλήφθησαν κατάλληλα στην προσομοίωση. Το σύστημα καταιονισμού ενεργοποιήθηκε στα 337 s. Στο CFAST ο καταιονισμός μοντελοποιείται, έτσι ώστε να έχει επίδραση μόνο στο ρυθμό έκλυσης ενέργειας (Σχήμα 12).

Στα Σχήματα A11-13, παρουσιάζεται συνοπτικά η εικόνα των αποτελεσμάτων. Οι συνθήκες σε όλους τους χώρους δεν ξεπέρασαν ή πλησίασαν κανένα από τα όρια ασφαλείας. Η μέγιστη θερμοκρασία του άνω στρώματος στο γραφείο 5, ήταν 170 °C, αλλά το στρώμα δεν κατέβηκε ποτέ κάτω από τα 2,7 m. Η μέγιστη θερμική ροή σε ύψος 1,5 m ήταν $1,25 \text{ kW/m}^2$ (ανθρώπινο σώμα), και γενικά τα μέγιστα μεγέθη των θερμικών ροών ήταν τουλάχιστον μια τάξη μεγέθους μικρότερα από το σημείο έκλαμψης. Η ελάχιστη συγκέντρωση οξυγόνου σημειώθηκε στο άνω στρώμα του γραφείου 5 και ήταν 18%. Η μέγιστη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα σημειώθηκε στο ίδιο στρώμα και ήταν 1%. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι μόνο του το κάθε ένα από τα δύο συστήματα, δεν καλύπτει τα σχεδιαστικά κριτήρια. Στο Σχήμα 13, φαίνεται καθαρά η επιρροή του φεγγίτη στο ύψος του στρώματος του καπνού, πολύ πριν ενεργοποιηθεί το σύστημα καταιονισμού. Τέλος, στην προσομοίωση συμπεριλήφθηκαν και ανιχνευτές καπνού, ένας στο κέντρο κάθε δωματίου, ο πρώτος εκ των οποίων ενεργοποιήθηκε στα 50 s (γραφείο 5).

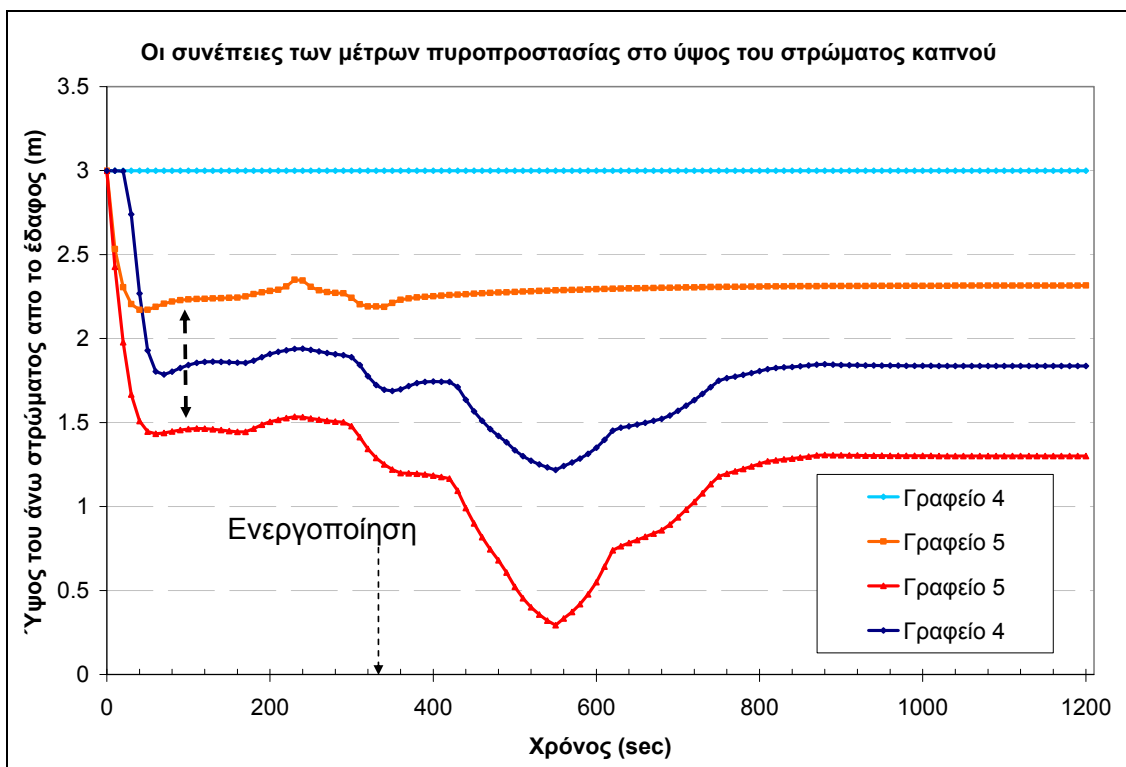
Φυσικά, τα παραπάνω είναι απλά μια λύση για ένα πολύ συγκεκριμένο πρόβλημα, στα πλαίσια μιας προσομοίωσης. Αν τα δεδομένα αλλάξουν, θα αλλάξουν και τα αποτελέσματα. Για το ίδιο πρόβλημα, εξετάστηκαν κάποιες μικρές παραλλαγές. Αν αφαιρεθεί τελείως το μεγάλο παράθυρο από το γραφείο 5 και αν υποθεθεί ότι οι φεγγίτες είναι ανοικτοί μόνο κατά ένα δέκατο και ανοίγουν πλήρως στα 50 s (συναγερμός), τα



Σχήμα 11. Η εξέλιξη της πλήρωσης των δωματίων με καπνό, στην περίπτωση κατά την οποία υπάρχει σύστημα καταιονισμού και φεγγίτες σε κάθε χώρο.

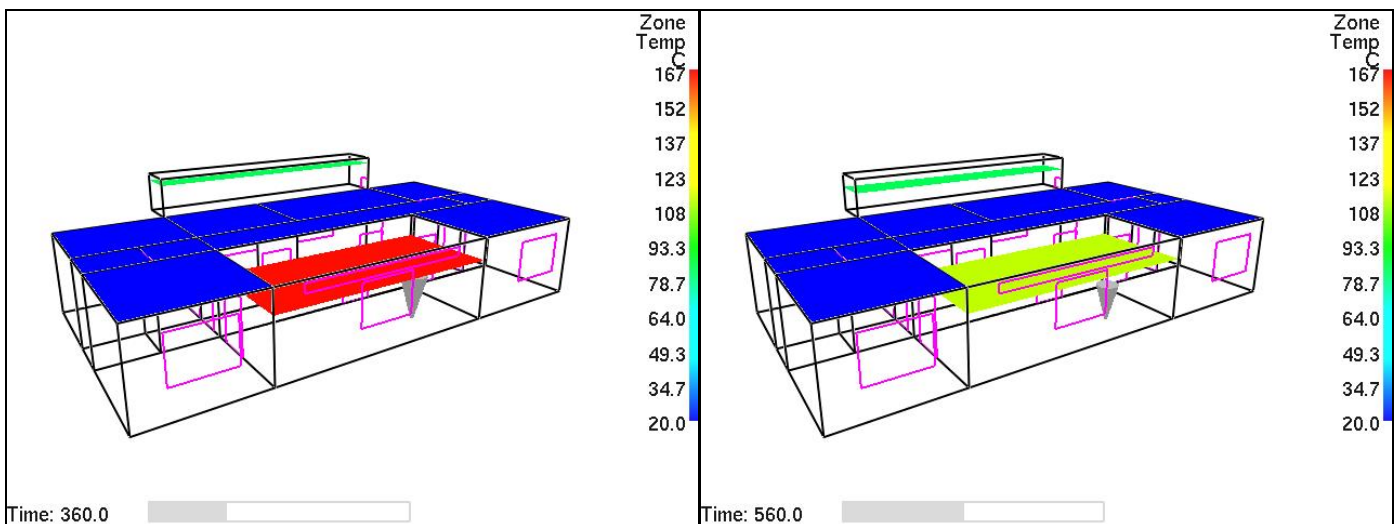


Σχήμα 12. Η επίδραση του συστήματος καταιονισμού στην θερμική ισχύ της φωτιάς.



Σχήμα 13. Η επίδραση του φεγγίτη στο ύψος του στρώματος καπνού.

αποτελέσματα δεν αλλάζουν σημαντικά. Το στρώμα καπνού στο γραφείο 5 φτάνει σταδιακά στα 1,52 m σε 50 s όπως και στην πρώτη περίπτωση, αλλά μόλις ανοίξουν πλήρως οι φεγγίτες επανέρχεται στα 1,90 m (60 s). Τα ίδια ισχύουν και σε περίπτωση που το κτήριο αυτό βρίσκεται σε υψόμετρο έως και 30 m. Επιπλέον, το ίδιο πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί με διάφορους τρόπους. Στην αναζήτηση τέτοιων, βρέθηκε ότι η χρήση ενός μηχανικού εξαερισμού στο γραφείο 5, με ικανότητα 10 εναλλαγών αέρα την ώρα δεν είχε μεγάλη επιπλέον συνεισφορά στη προηγούμενη λύση (Σχήμα 14). Μάλιστα, αν στην προσομοίωση προστεθεί το σύστημα ενός κεντρικού κλιματισμού και οι αγωγοί του, τα πράγματα περιπλέκονται ακόμα περισσότερο. Από τη μία, ο καπνός μπορεί να οδηγείται σε άλλους χώρους μέσω αυτών των αγωγών. Από την άλλη, με τους κατάλληλους αυτοματισμούς, το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εξαερισμό και έλεγχο του καπνού.

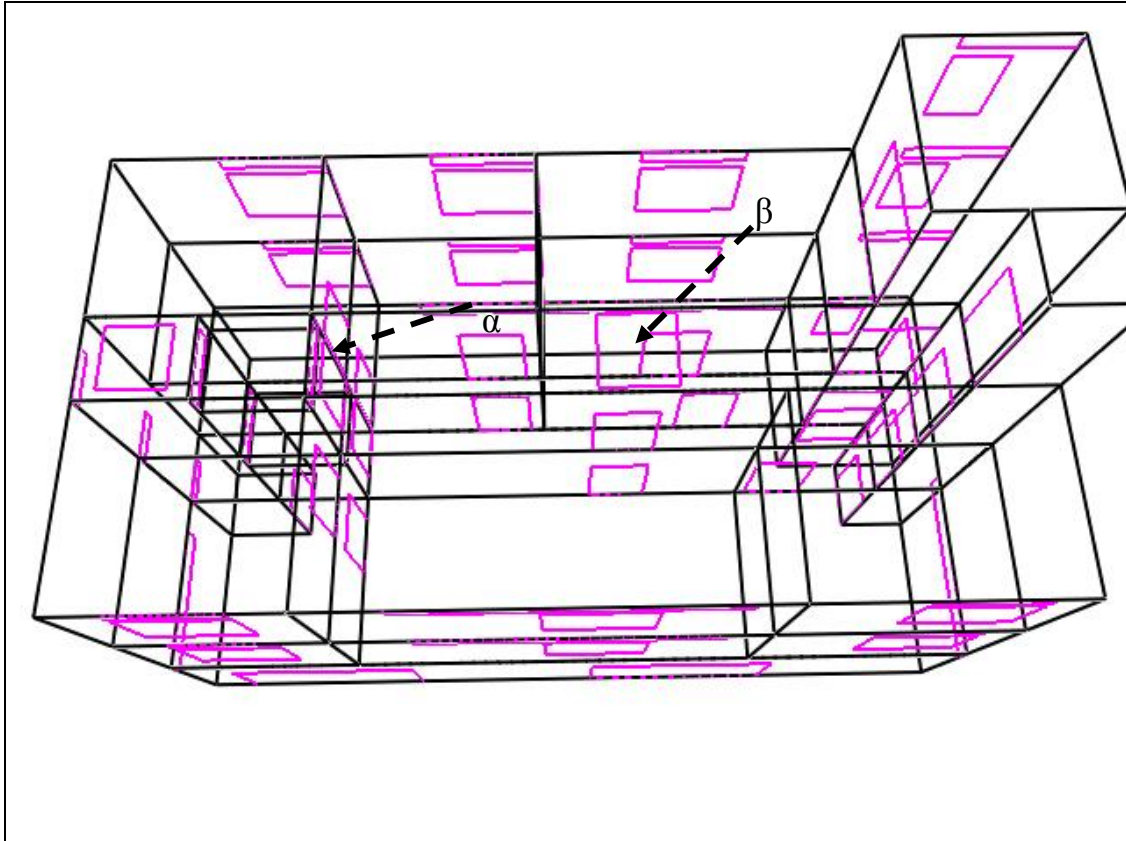


Σχήμα 14. Η εξέλιξη της πλήρωσης των δωματίων με καπνό, στην περίπτωση που υπάρχει σύστημα καταιονισμού, ανιχνευτής καπνού, φεγγίτες, και εξαερισμός. Το CFAST δεν απεικονίζει τον εξαερισμό, οπότε το παραπάνω είναι απλά μια έμμεση μέθοδος, μόνο για λόγους παρουσίασης.

1.1.2 Πυρκαγιά στον πρώτο όροφο τριώροφου κτηρίου.

Σύμφωνα με το CFAST, τα ίδια μέτρα είναι αποτελεσματικά και για την περίπτωση, όπου ο ίδιος χώρος γραφείων αποτελεί το δεύτερο όροφο ενός τριώροφου κτηρίου (Σχήμα 15). Σε αυτό το κτήριο, οι χώροι του κλιμακοστασίου, του ανελκυστήρα και του φωταγωγού διαπερνούν καθ' ύψος ολόκληρο το κτήριο. Οι δύο πρώτοι, καταλήγουν σε ένα δώμα, ενώ ο φωταγωγός καταλήγει σε ένα άνοιγμα στην οροφή. Επίσης, υπάρχει

έναν ενιαίο ισόγειο χώρο με δύο μεγάλες εισόδους (4x2 m) στην πρόσοψη και ένα φεγγίτη (πάχος 0,5 m) σε κάθε πλευρά. Το κλιμακοστάσιο έχει πόρτες στο ισόγειο και στο δώμα (1,2x2m και 2x2m αντίστοιχα). Ο ανελκυστήρας έχει επίσης πόρτες στο δώμα και στο ισόγειο (1,2x2m).



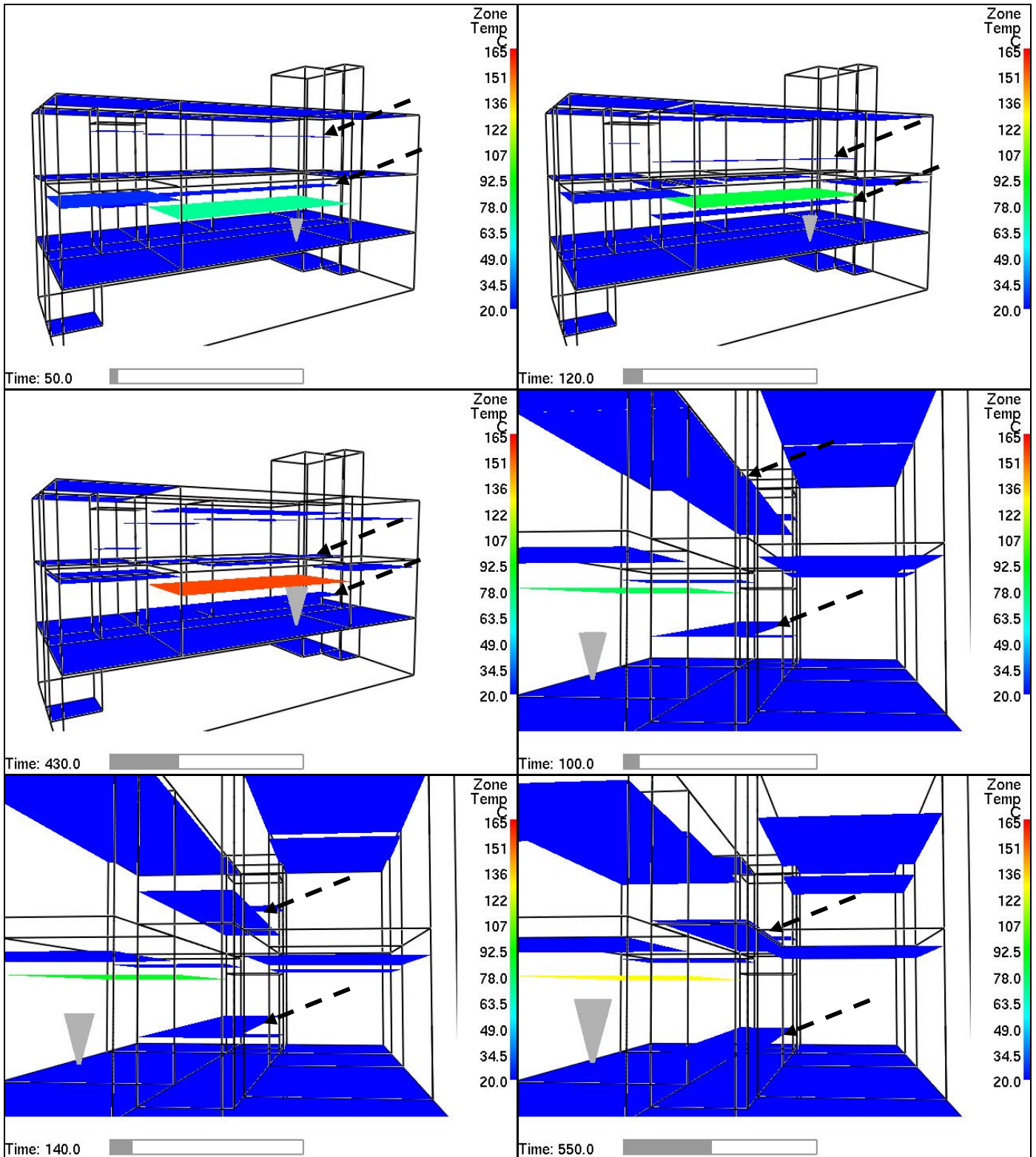
Σχήμα 15. Τριώροφο κτήριο με ισόγειο και δύο ορόφους γραφείων. Από αυτή την οπτική γωνία, διακρίνονται δύο από τα επιπρόσθετα μέτρα: α) ο χώρος που οδηγεί από το διάδρομο στο φωταγωγό, πάνω από τα WC, και β) το άνοιγμα οροφής στον άνω διάδρομο.

Σε αυτή την περίπτωση και χωρίς τα μέτρα, ο παράγοντας περιορισμού για το χρόνο διαφυγής είναι η ορατότητα στους διαδρόμους και όχι η θερμότητα στο γραφείο 5, όπως ήταν στην περίπτωση της μονοκατοικίας, ούτε η επικίνδυνη συγκέντρωση αερίων. Μάλιστα, ο διαθέσιμος χρόνος για διαφυγή λόγω θερμοκρασίας από το γραφείο 5 (συνεπώς και 4), είναι 330 s. Όμως, στον άνω διάδρομο η ορατότητα είναι μικρότερη από 5 m, μέσα σε 280 s. Τα προηγούμενα μέτρα, το αντιμετωπίζουν επιτυχώς αυτό το πρόβλημα. Σημειώνεται, ότι οι ανιχνευτές καπνού λειτούργησαν στα 41 s και το σύστημα καταιονισμού στα 276 s. Τα μέτρα παύουν να είναι αποτελεσματικά για το συγκεκριμένο πρόβλημα, αν κάποιος από του χώρους του φωταγωγού, του ανελκυστήρα

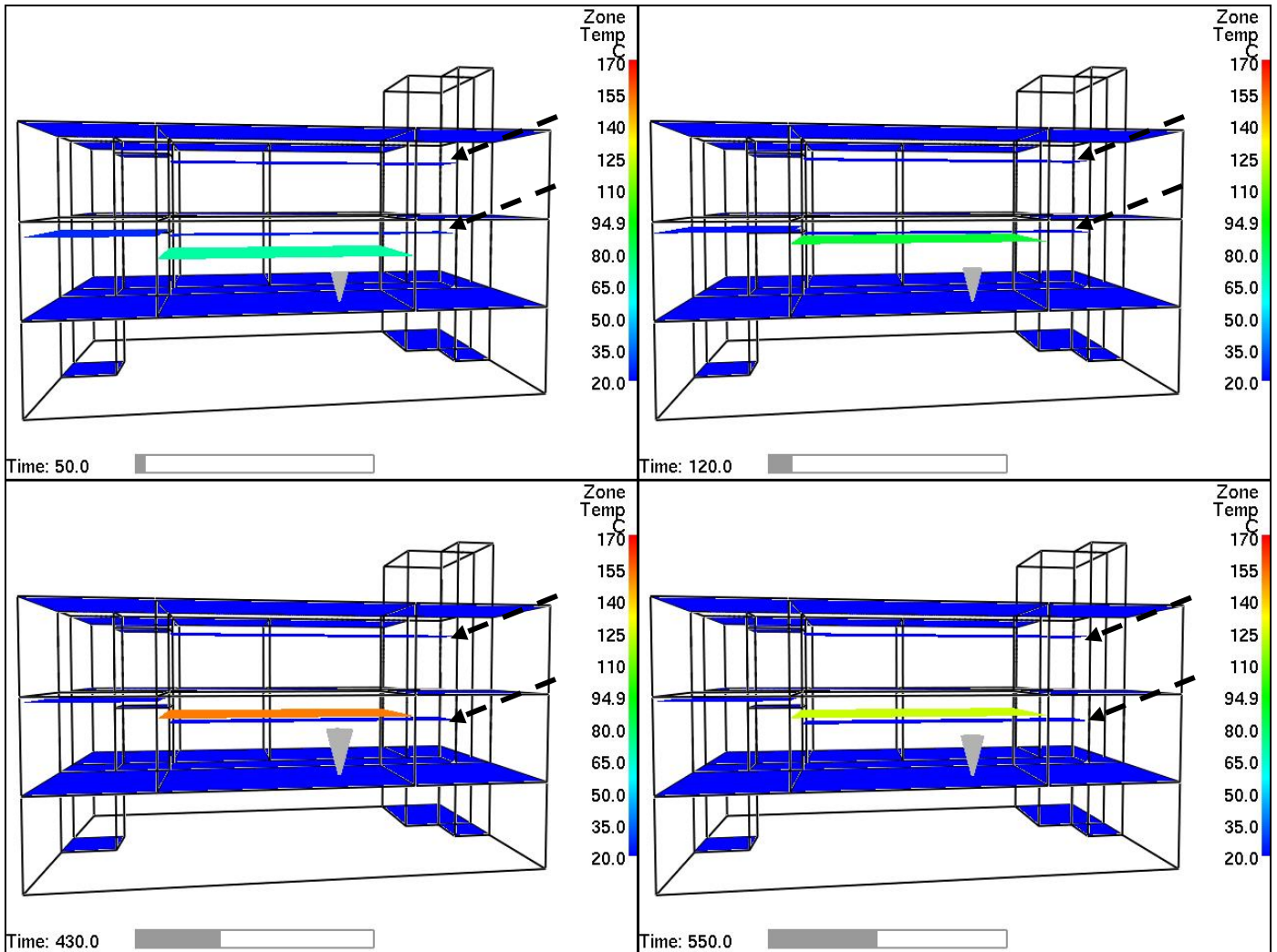
ή του κλιμακοστασίου αποκτήσει τη συμπεριφορά που έχει ένα ψηλό φρεάτιο στο πλαίσιο του λεγόμενου φαινομένου της καμινάδας. Σε αυτήν την συμπεριφορά, ένας ψηλός χώρος λειτουργεί ουσιαστικά σαν καμινάδα, μεταφέροντας γρήγορα τον καπνό από το επίπεδο της πηγής σε διαφορετικά επίπεδα (άνω ή κάτω του ουδετέρου επιπέδου), βάσει των πιέσεων στο εσωτερικό και στο εξωτερικό του κτηρίου.

Το CFAST παρέχει τη δυνατότητα μοντελοποίησης αυτών των χώρων, θεωρώντας ότι κάθε ένας έχει μία μονάχα ζώνη με μεγάλη ανάμιξη των αερίων. Αν, λοιπόν, προσομοιωθούν οι τρεις αυτοί χώροι ως έχοντες συμπεριφορά φρεατίου σε φαινόμενο καμινάδας, τότε προκύπτει ότι σε 90 s οι διαδρόμοι γεμίζουν κάτω από τη μέση με καπνό (Σχήμα 16). Αυτό το πρόβλημα λύθηκε ως εξής: α) χαμήλωμα των ανοιγμάτων του κλιμακοστασίου στα 2 m ώστε να μην οδηγείται αρχικά εκεί ο καπνός, β) σύνδεση των δύο διαδρόμων με το φωταγωγό, με άνοιγμα πάνω από τα W.C., ώστε να οδηγείται ο καπνός προς τον φωταγωγό, γ) άνοιγμα στην οροφή του άνω διαδρόμου ώστε να φεύγει ο καπνός, γ) κλείσιμο των ανοιγμάτων των W.C. προς το φωταγωγό και προσθήκη μηχανικού εξαερισμού με ικανότητα 10 εναλλαγές την ώρα, ώστε να μην καταλήγει ο καπνός εκεί, και δ) εξαερισμός των διαδρόμων ικανός για 10 εναλλαγές του αέρα την ώρα. Για την προσομοίωση (Σχήμα 17), η ενεργοποίηση των εξαερισμών ξεκινά μετά τα 50 s. Τα πρώτα δύο μέτρα από μόνα τους, ικανοποίησαν τα κριτήρια επιτυχώς, για οποιαδήποτε περίπτωση δεν αφορούσε φαινόμενα καμινάδας στο κλιμακοστάσιο. Όμως, όταν το κλιμακοστάσιο έχει τη συγκεκριμένη συμπεριφορά, τότε ο καπνός γεμίζει πολύ γρήγορα τους διαδρόμους. Ο καπνός στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν υπερβαίνει κανένα από τα όρια ασφάλειας και είναι στο χέρι του σχεδιαστή και του ιδιοκτήτη, το αν πρέπει να αντιμετωπιστεί.

Σε περίπτωση που η εξωτερική θερμοκρασία υπερβαίνει την εσωτερική (π.χ. 10 °C για καλοκαίρι, με κλιματισμό κτηρίου), τότε το φαινόμενο αντιστρέφεται και ο καπνός οδηγείται προς τα χαμηλά επίπεδα. Μια λύση για αυτήν την περίπτωση είναι ο επιπλέον μηχανικός εξαερισμός στο ισόγειο (σε ύψος κοντά στην οροφή). Το κόστος της κάθε λύσης δεν αναλύθηκε, καθώς δεν πρόκειται για ολοκληρωμένη μελέτη, αλλά απλά μια παρουσίαση των δυνατοτήτων των προσομοιώσεων. Κάτι τέτοιο θα απαιτούσε από ένα έμπειρο μελετητή να εξετάσει από κάθε πλευρά, πολλά ρεαλιστικά σενάρια με τα κατάλληλα για την περίπτωση εργαλεία ανάλυσης και να βρει τις κατάλληλες λύσεις, με βάση τους στόχους και τους περιορισμούς. Τέτοιες λύσεις μπορεί να συμπεριλαμβάνουν μέτρα παθητικής πυροπροστασίας (δομικές αλλαγές, πυροδιαχωρισμούς, πυρίμαχα υλικά, εναλλακτικές οδεύσεις διαφυγής), καθώς και ενεργητικής πυροπροστασίας (αυτοματισμοί ασφαλείας (πόρτες, παράθυρα, ανελκυστήρες), σύστημα καταιονισμού,



Σχήμα 16. Η περίπτωση όπου το κλιμακοστάσιο, ο φωταγωγός και ο ανεγκυστήρας παρουσιάζουν συμπεριφορά καμινάδας. Μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα, ο καπνός έχει καταλάβει τους δύο διαδρόμους. Η δεύτερη οπτική γωνία είναι από την πλευρά του κλιμακοστασίου.



Σχήμα 17. Η προσομοίωση μετά τις δομικές αλλαγές και την προσθήκη μηχανικού εξαερισμού. Ο καπνός στους διαδρόμους δεν πέφτει κάτω από τα 1,90 m και σταθεροποιείται πάνω από τα 2,5 m. Για τους τρεις χώρους με συμπεριφορά καμινάδας, οι οποίοι μοντελοποιούνται ως μία ζώνη, απεικονίζεται μόνο η θερμοκρασία και όχι το επίπεδο του καπνού.

σύστημα ελέγχου του καπνού (δημιουργία θετικής πίεσης στο κλιμακοστάσιο) κ.α.) Είναι φανερό, το πόσο μεγάλες δυνατότητες έχουν αυτά τα εργαλεία ανάλυσης και το πόσο μπορούν να βοηθήσουν ένα μηχανικό στη μελέτη της πυροπροστασίας, ασχέτως του είδους της σχεδιαστικής προσέγγισης.

1.1.3 Δεδομένα CFAST.

Αρχείο CFAST της πρώτης περίπτωσης μετά τα μέτρα (ένας ανεξάρτητος όροφος:)

```
VERSN,6,CFAST Simulation

!!
!!Environmental Keywords
!!
TIMES,1200,-50,0,10,10
EAMB,293.15,101300,0
TAMB,293.15,101300,0,50
CJET,WALLS
CHEMI,10,393.15
WIND,0,10,0.16
!!
!!Compartment keywords
!!
COMPΑ,Γραφείο 4,4,3,7,3,0,0,0,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
COMPΑ,Γραφείο 5,8,3,3,7,3,4,0,0,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
COMPΑ,Γραφείο 6,4,7,3,7,3,12,3,0,0,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
COMPΑ,Φωταγωγός,2,1,6,3,0,3,7,0,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
COMPΑ,WC,2,1,6,3,2,3,7,0,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
COMPΑ,Διάδρομος,11,5,1,6,3,4,3,7,0,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
COMPΑ,Γραφείο 1,4,3,3,3,0,5,3,0,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
COMPΑ,Γραφείο 2,4,3,3,3,4,5,3,0,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
COMPΑ,Γραφείο 3,6,3,3,3,8,5,3,0,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
COMPΑ,Ανελκυστήρας,1,5,1,6,3,15,5,3,7,0,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
COMPΑ,Κλιμακοστάσιο,3,3,3,3,14,5,3,0,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
HALL,6,-1,-1,-1
!!
!!vent keywords
!!
HVENT,6,11,1,1,5,2,8,0,1,10,0,3,1
HVENT,3,6,1,1,2,2,0,1,0,2,0,3,1
HVENT,10,6,1,1,2,2,0,1,0,0,2,1
HVENT,6,9,1,1,2,2,0,1,7,0,3,1
HVENT,8,6,1,1,2,2,0,1,2,5,0,3,1
HVENT,7,8,1,1,2,2,0,1,0,0,2,1
HVENT,5,6,1,1,2,2,0,1,0,5,0,2,2,1
HVENT,5,4,1,1,3,2,1,0,0,2,2,1
HVENT,3,12,1,2,2,5,1,1,2,2,1,1
HVENT,9,12,1,2,2,5,1,1,2,2,3,1
HVENT,8,12,1,2,2,5,1,1,2,2,3,1
HVENT,7,12,1,2,2,5,1,1,2,2,3,1
HVENT,11,12,1,2,2,0,1,1,0,3,1
HVENT,2,6,1,1,2,2,0,1,5,0,3,1
HVENT,1,2,1,1,2,2,0,1,2,2,2,1
HVENT,1,12,1,2,2,5,1,1,1,0,1,1
HVENT,2,12,1,2,2,5,1,1,3,0,1,0,1
HVENT,2,12,2,6,3,2,7,1,1,5,0,1,1
HVENT,1,12,2,3,2,7,1,1,0,1,1
HVENT,3,12,2,3,2,7,1,2,0,1,1
HVENT,7,12,2,3,2,7,1,2,0,3,1
HVENT,8,12,2,3,2,7,1,2,0,3,1
HVENT,9,12,2,3,2,7,1,2,0,3,1
HVENT,10,12,1,1,3,2,7,1,0,0,2,1
HVENT,11,12,2,3,2,7,1,1,0,3,1
HVENT,4,12,1,1,3,2,7,1,0,0,4,1
EVENT,H,2,12,2,50,1,1
EVENT,H,1,12,2,50,1,1
EVENT,H,3,12,2,50,1,1
EVENT,H,7,12,2,50,1,1
EVENT,H,8,12,2,50,1,1
EVENT,H,9,12,2,50,1,1
EVENT,H,10,12,1,50,1,1
EVENT,H,11,12,2,50,1,1
```

```

EVENT,H,4,12,1,50,1,1
!!
!!fire keywords
!!
OBJECT,3 panel workstation,2,6,1,0,1,1,0,0,0,1
!!
!!heat flow keywords
!!
HHEAT,1,1,2,1
HHEAT,1,1,4,1
HHEAT,1,1,5,1
HHEAT,2,1,3,1
HHEAT,3,1,6,1
HHEAT,3,1,10,1
HHEAT,11,1,10,1
HHEAT,11,1,6,1
HHEAT,11,1,9,1
HHEAT,9,1,6,1
HHEAT,6,1,8,1
HHEAT,6,1,5,1
HHEAT,8,1,7,1
HHEAT,4,1,7,1
HHEAT,5,1,7,1
HHEAT,5,1,7,1
HHEAT,2,1,6,1
!!
!!target and detector keywords
!!
DETECT,1,2,341.15,4,2,3,100,0,7E-05
DETECT,2,2,341.15,5.55,1.6,3,80,1,7E-05
TARGET,1,2,2,1.5,1,0,0,NM 47,EXPLICIT,PDE
TARGET,2,2,2,1.5,0,1,0,NM 47,EXPLICIT,PDE
TARGET,6,6,1,1.5,0,0,1,NM 47,EXPLICIT,PDE
TARGET,11,1,1,1.5,0,0,1,NM 47,EXPLICIT,PDE
TARGET,2,2,1,0,0,1,0,HARDBDHD,EXPLICIT,PDE

```

Αρχείο CFAST για το τριώροφο κτήριο και την λύση για την τελευταία περίπτωση (καλοκαίρι):

```

VERSN,6,CFAST Simulation
!!
!!Environmental Keywords
!!
TIMES,1200,-50,0,10,10
EAMB,307.15,101300,0
TAMB,297.15,101300,0,50
CJET,WALLS
CHEMI,10,393.15
WIND,0,10,0,16
!!
!!Compartment keywords
!!
COMPA,Γραφείο 4,4,3,7,3,0,0,3,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
COMPA,Γραφείο 5,8,3,3,7,3,4,0,3,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
COMPA,Γραφείο 6,4,7,3,7,3,12,3,0,3,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
COMPA,Φωταγωγός,2,1,6,9,0,3,7,0,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
COMPA,WC,2,1,6,2,4,2,3,7,3,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
COMPA,Διάδρομος,11,5,1,6,3,4,3,7,3,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
COMPA,Γραφείο 1,4,3,3,3,0,5,3,3,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
COMPA,Γραφείο 2,4,3,3,3,4,5,3,3,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
COMPA,Γραφείο 3,6,3,3,3,8,5,3,3,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
COMPA,Ανελκυστήρας,1,5,1,6,12,15,5,3,7,0,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
COMPA,Κλιμακοστάσιο,3,3,3,12,14,5,3,0,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
COMPA,isogeio,17,8,6,3,0,0,0,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
COMPA,3,6,3,3,3,8,5,3,6,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
COMPA,2,4,3,3,3,4,5,3,6,CONCLITE,CONCLITE,NM 46

```

COMPA,1,4,3,3,3,0,5,3,6,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
 COMPA,d,11,5,1,6,3,4,3,7,6,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
 COMPA,wc,2,1,6,2,4,2,3,7,6,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
 COMPA,6,4,7,3,7,3,12,3,0,6,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
 COMPA,5,8,3,3,7,3,4,0,6,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
 COMPA,4,4,3,7,3,0,0,6,CONCLITE,CONCLITE,NM 46
 COMPA,Compartment 21,2,1,6,0,6,2,3,7,5,4,ALUM1/8,ALUM1/8,ALUM1/8
 COMPA,Compartment 22,2,1,6,0,6,2,3,7,8,4,ALUM1/8,ALUM1/8,ALUM1/8
 HALL,6,-1,-1,-1
 HALL,16,-1,-1,-1
 ONEZ,4
 ONEZ,10
 ONEZ,11
 !!
 !!vent keywords
 !!
 HVENT,6,11,1,1,5,2,0,1,10,0,3,1
 HVENT,3,6,1,1,2,2,0,1,0,2,0,3,1
 HVENT,6,10,1,1,2,2,0,1,0,0,2,1
 HVENT,6,9,1,1,2,2,0,1,7,0,3,1
 HVENT,8,6,1,1,2,2,0,1,2,5,0,3,1
 HVENT,7,8,1,1,2,2,0,1,0,0,2,1
 HVENT,5,6,1,1,2,2,0,1,0,5,0,2,2,1
 HVENT,3,23,1,2,2,5,1,1,2,2,1,1
 HVENT,9,23,1,2,2,5,1,1,2,2,3,1
 HVENT,8,23,1,2,2,5,1,1,2,2,3,1
 HVENT,7,23,1,2,2,5,1,1,2,2,3,1
 HVENT,11,23,1,2,2,5,0,1,1,0,2,1
 HVENT,2,6,1,1,2,2,0,1,5,0,3,1
 HVENT,1,2,1,1,2,2,0,1,2,2,2,1
 HVENT,1,23,1,2,2,5,1,1,0,1,1
 HVENT,2,23,1,6,3,2,7,1,1,5,0,1,0,1
 HVENT,1,23,2,2,3,2,7,1,1,0,1,0,1
 HVENT,3,23,2,2,3,2,7,1,2,0,1,0,1
 HVENT,7,23,2,2,3,2,7,1,2,0,3,0,1
 HVENT,8,23,2,2,3,2,7,1,2,0,3,0,1
 HVENT,9,23,2,2,3,2,7,1,2,0,3,0,1
 HVENT,4,23,1,1,3,2,7,1,0,0,4,0,1
 HVENT,11,23,2,2,6,5,7,1,1,0,3,0,1
 HVENT,4,23,2,1,6,5,7,1,0,0,4,0,1
 HVENT,11,12,1,1,5,2,0,1,0,0,1,1
 HVENT,11,16,1,1,5,8,6,1,0,0,1,1
 HVENT,18,16,1,1,2,2,0,1,9,0,1,1
 HVENT,10,16,1,1,2,8,6,1,0,0,4,1
 HVENT,13,16,1,1,2,2,0,1,2,0,1,1
 HVENT,14,16,1,1,2,2,0,1,2,5,0,1,1
 HVENT,14,15,1,1,2,2,0,1,0,0,4,1
 HVENT,17,16,1,1,2,2,0,1,0,5,0,2,4,1
 HVENT,18,23,1,2,2,5,1,1,2,2,1,1
 HVENT,13,23,1,2,2,5,1,1,2,2,3,1
 HVENT,14,23,1,2,2,5,1,1,2,2,3,1
 HVENT,15,23,1,2,2,5,1,1,2,2,3,1
 HVENT,11,23,3,1,8,5,7,1,1,0,3,1
 HVENT,19,16,1,1,2,2,0,1,5,0,1,1
 HVENT,20,19,1,1,2,2,0,1,2,2,4,1
 HVENT,20,23,1,2,2,5,1,1,1,0,1,1
 HVENT,19,23,1,6,3,2,7,1,1,5,0,1,0,1
 HVENT,20,23,2,2,3,2,7,1,1,0,1,0,1
 HVENT,18,23,2,2,3,2,7,1,2,0,1,0,1
 HVENT,15,23,2,2,3,2,7,1,2,0,3,0,1
 HVENT,14,23,2,2,3,2,7,1,2,0,3,0,1
 HVENT,13,23,2,2,3,2,7,1,2,0,3,0,1
 HVENT,4,23,3,1,9,8,7,1,0,0,4,0,1
 HVENT,11,23,4,2,9,8,7,1,1,0,3,0,1
 HVENT,12,23,1,4,2,0,1,1,0,1,1
 HVENT,2,23,2,2,2,5,1,1,4,0,1,0,1
 HVENT,19,23,2,2,2,5,1,1,4,0,1,1
 HVENT,4,12,1,1,2,2,0,1,0,0,2,2,1
 HVENT,12,10,1,1,2,2,0,1,0,0,4,1
 HVENT,11,23,5,2,11,9,1,0,0,4,1

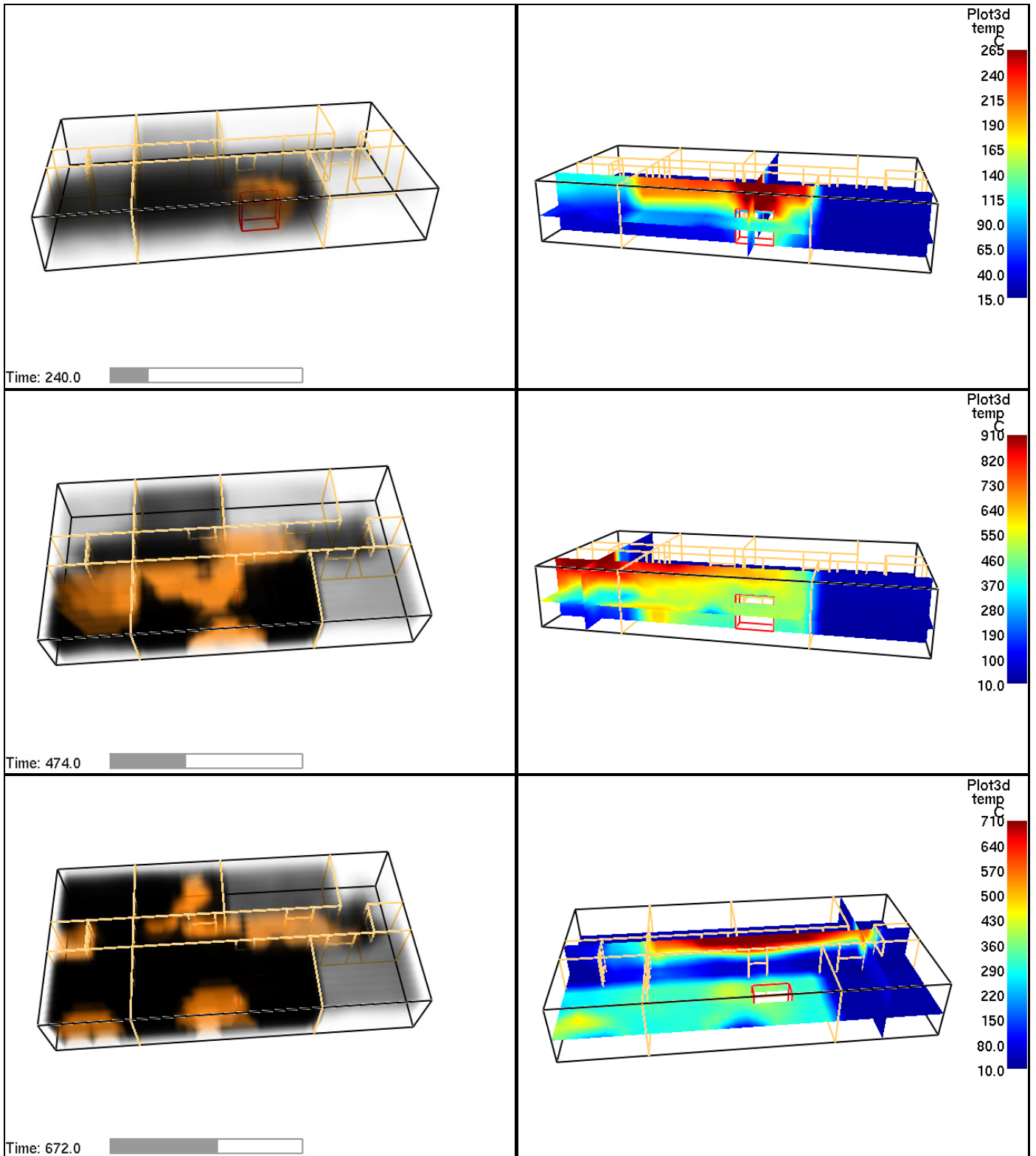
HVENT,12,23,2,4,2,0,1,9,0,1,1
 HVENT,12,23,3,9,3,2,5,1,5,0,3,1
 HVENT,11,23,6,2,3,2,7,1,1,0,3,0,1
 HVENT,11,23,7,2,12,11,7,1,1,0,3,1
 HVENT,11,23,8,1,2,5,1,1,1,0,3,1
 HVENT,11,23,9,1,11,5,10,1,1,0,3,1
 HVENT,10,23,1,1,2,11,9,1,0,0,4,1
 HVENT,6,21,1,1,6,3,2,4,1,0,0,4,1
 HVENT,16,22,1,1,6,2,9,2,5,1,0,0,4,1
 HVENT,4,21,1,1,5,5,9,5,5,1,0,0,2,1
 HVENT,4,22,1,1,4,8,9,8,5,1,0,0,2,1
 HVENT,12,23,4,4,3,2,5,1,0,0,2,1
 HVENT,12,23,5,3,3,2,5,1,0,0,4,1
 VVENT,23,4,1,5,1,1
 VVENT,23,16,2,2,0,1
 MVENT,6,23,1,H,6,0,5,H,10,0,5,0,15,5000,7000,0
 MVENT,16,23,2,H,9,0,5,H,10,0,5,0,15,5000,7000,0
 MVENT,5,23,3,H,6,0,25,H,10,0,25,0,02,200,300,0
 MVENT,17,23,4,H,6,0,25,H,10,0,25,0,02,200,300,0
 MVENT,12,23,5,H,3,1,H,10,1,1,2,5000,7000,0
 EVENT,H,2,23,1,50,1,1
 EVENT,H,1,23,2,50,1,1
 EVENT,H,3,23,2,50,1,1
 EVENT,H,7,23,2,50,1,1
 EVENT,H,8,23,2,50,1,1
 EVENT,H,9,23,2,50,1,1
 EVENT,H,4,23,1,50,1,1
 EVENT,H,11,23,2,50,1,1
 EVENT,H,4,23,2,50,1,1
 EVENT,H,19,23,1,50,1,1
 EVENT,H,20,23,2,50,1,1
 EVENT,H,18,23,2,50,1,1
 EVENT,H,15,23,2,50,1,1
 EVENT,H,14,23,2,50,1,1
 EVENT,H,13,23,2,50,1,1
 EVENT,H,4,23,3,50,1,1
 EVENT,H,11,23,4,50,1,1
 EVENT,H,11,23,6,50,1,1
 EVENT,H,11,23,7,50,1,1
 EVENT,V,23,16,1,50,1,1
 EVENT,M,6,23,1,50,1,1
 EVENT,M,16,23,2,50,1,1
 EVENT,M,5,23,3,50,1,1
 EVENT,M,17,23,4,50,1,1
 EVENT,M,12,23,5,50,1,1
 !!
 !!fire keywords
 !!
 OBJECT,3 panel workstation,2,6,1,0,1,1,0,0,0,1
 !!
 !!heat flow keywords
 !!
 HHEAT,1,1,2,1
 HHEAT,1,1,4,1
 HHEAT,1,1,5,1
 HHEAT,2,1,3,1
 HHEAT,3,1,6,1
 HHEAT,3,1,10,1
 HHEAT,11,1,10,1
 HHEAT,11,1,6,1
 HHEAT,11,1,9,1
 HHEAT,9,1,6,1
 HHEAT,6,1,8,1
 HHEAT,6,1,5,1
 HHEAT,8,1,7,1
 HHEAT,4,1,7,1
 HHEAT,5,1,7,1
 HHEAT,5,1,7,1
 HHEAT,2,1,6,1
 VHEAT,19,2

```
VHEAT,16,6
!!
!!target and detector keywords
!!
DETECT,1,2,341.15,4,2,3,100,0,7E-05
DETECT,2,2,341.15,5.55,1.6,3,80,1,7E-05
TARGET,1,2,2,1.5,1,0,0,NM 47,EXPLICIT,PDE
TARGET,2,2,2,1.5,0,1,0,NM 47,EXPLICIT,PDE
TARGET,6,6,1,1.5,0,0,1,NM 47,EXPLICIT,PDE
TARGET,11,1,1,1.5,0,0,1,NM 47,EXPLICIT,PDE
TARGET,2,2,1,0,0,1,0,HARDBDHD,EXPLICIT,PDE
```

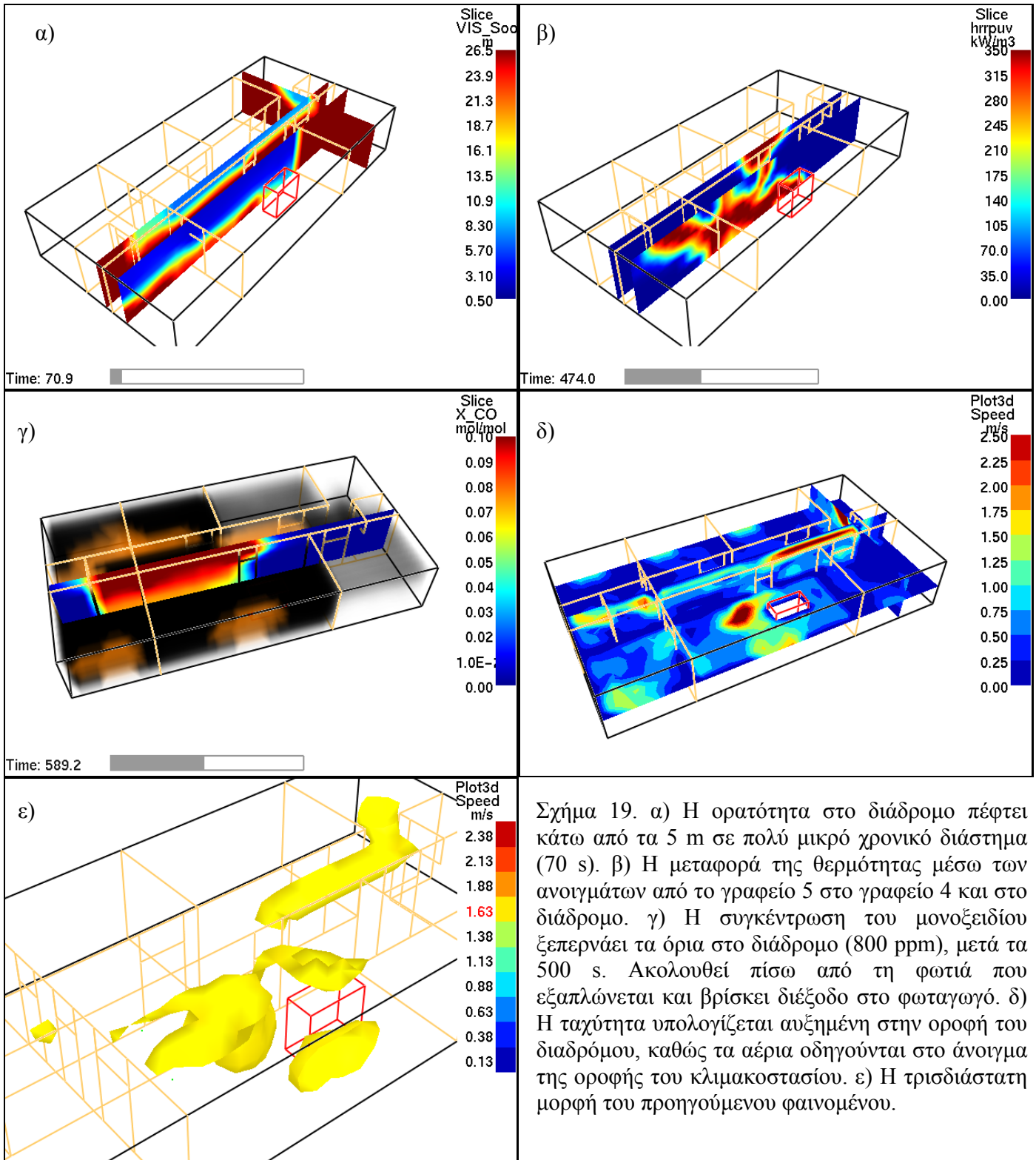
1.2 Προσομοίωση πυρκαγιάς με μοντέλο πεδίου (FDS).

Το CFAST είναι ένα πολύ χρήσιμο, γρήγορο και εύχρηστο εργαλείο για την εκτίμηση καταστάσεων σε ότι αφορά την πυροπροστασία. Όμως, υπάρχουν μοντέλα με πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες. Τέτοιο, είναι και το Fire Dynamics Simulator του NIST. Τα μοντέλα αυτά, βασίζονται στη λύση των εξισώσεων ροής Navier-Stokes, για μικρούς όγκους ελέγχου με μεθόδους πεπερασμένων διαφορών. Επειδή ακριβώς οι γενικές εξισώσεις λύνονται για κάθε τέτοιο μικρό όγκο ελέγχου, οι προβλέψεις για τις τιμές των παραμέτρων είναι πολύ λεπτομερείς για οποιοδήποτε σημείο στο χώρο. Φυσικά, όπως κάθε μοντέλο έχουν και αυτά τους περιορισμούς τους και πρέπει ο χρήστης να γνωρίζει πως εφαρμόζονται σωστά.

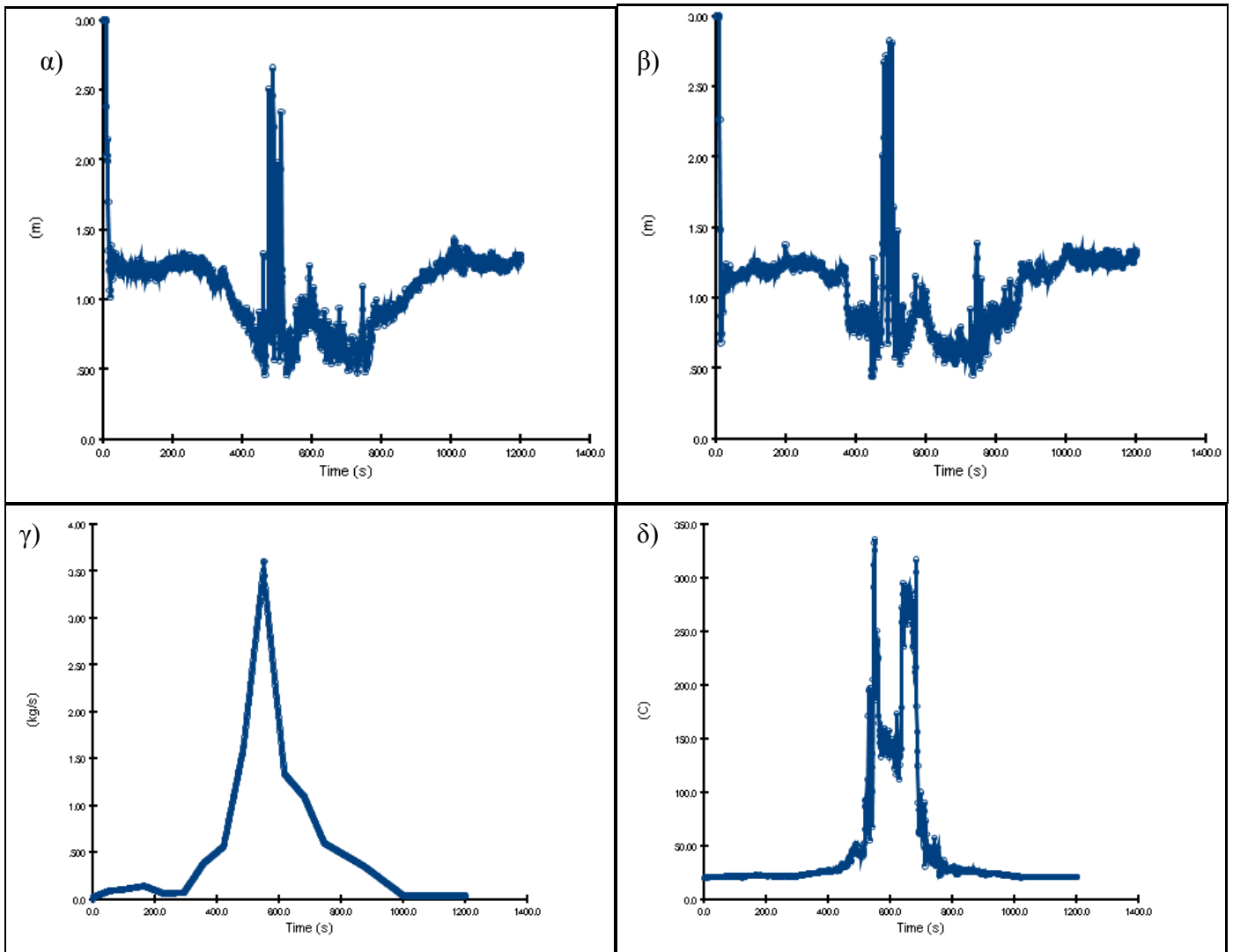
Για τους σκοπούς αυτής της εργασίας, παρουσιάζονται καταρχήν λίγα αποτελέσματα από μια προσομοίωση για τον ίδιο χώρο, ως μικρό δείγμα για τις δυνατότητες που υπάρχουν. Ο χώρος και η τοποθεσία της πυρκαγιάς διατηρήθηκαν όπως στην προσομοίωση του CFAST. Η πυρκαγιά είχε την ίδια σχεδόν χρονική χαρακτηριστική έκλυσης θερμότητας, αλλά διπλάσια ισχύ. Το κλιμακοστάσιο, ο ανελκυστήρας και ο φωταγωγός προσομοιώθηκαν διατηρώντας τα ανοίγματά τους σε οροφή και δάπεδο. Με άλλα λόγια, ο χώρος προσομοιώθηκε σαν να είναι μέρος μιας πολυκατοικίας. Μια από τις μεγάλες διαφορές με το μοντέλο ζωνών, είναι ότι εδώ προσομοιώνεται λεπτομερώς η εξάπλωση των φλογών μέσα από τα υλικά των επιφανειών αλλά και τα αέρια. Για παράδειγμα, στην συγκεκριμένη προσομοίωση τα υλικά που ορίστηκαν για τους τοίχους ήταν αδρανή. Παρόλα αυτά, η φωτιά φαίνεται να εξαπλώνεται σε πολλούς γειτονικούς χώρους, προφανώς λόγω των καύσιμων αερίων και σωματιδίων, που μεταφέρονται από το στερεό καύσιμο (ξύλο) λόγω της πυρκαγιάς σε ολόκληρο τον όροφο. Από τα παρακάτω αποτελέσματα (Σχήματα 18-20), γίνεται εύκολα αντιληπτό το πόσο χρήσιμο μπορεί να είναι ένα τέτοιο υπολογιστικό μέσο για την ανάλυση πυρκαγιών. Τέτοιες αναλύσεις, θα μπορούσαν να αποτελέσουν το θέμα πολλών μελλοντικών εργασιών στα πλαίσια της σχολής, αλλά κυρίως, υπάρχει η αισιοδοξία ότι στο σύντομο μέλλον, θα χρησιμοποιούνται για την βελτίωση του σχεδιασμού πυροπροστασίας και στην Ελλάδα.



Σχήμα 18. Αριστερά, παρουσιάζεται η εξάπλωση του καπνού και των φλογών στο γραφείο 4, το διάδρομο και το γραφείο 2. Δεξιά, παρουσιάζεται η αντίστοιχη διακύμανση της θερμοκρασίας σε συγκεκριμένες τομές στο χώρο.



Σχήμα 19. α) Η ορατότητα στο διάδρομο πέφτει κάτω από τα 5 m σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα (70 s). β) Η μεταφορά της θερμότητας μέσω των ανοιγμάτων από το γραφείο 5 στο γραφείο 4 και στο διάδρομο. γ) Η συγκέντρωση του μονοξειδίου ξεπερνάει τα όρια στο διάδρομο (800 ppm), μετά τα 500 s. Ακολουθεί πίσω από τη φωτιά που εξαπλώνεται και βρίσκει διέξοδο στο φωταγωγό. δ) Η ταχύτητα υπολογίζεται αυξημένη στην οροφή του διαδρόμου, καθώς τα αέρια οδηγούνται στο άνοιγμα της οροφής του κλιμακοστασίου. ε) Η τρισδιάστατη μορφή του προηγούμενου φαινομένου.

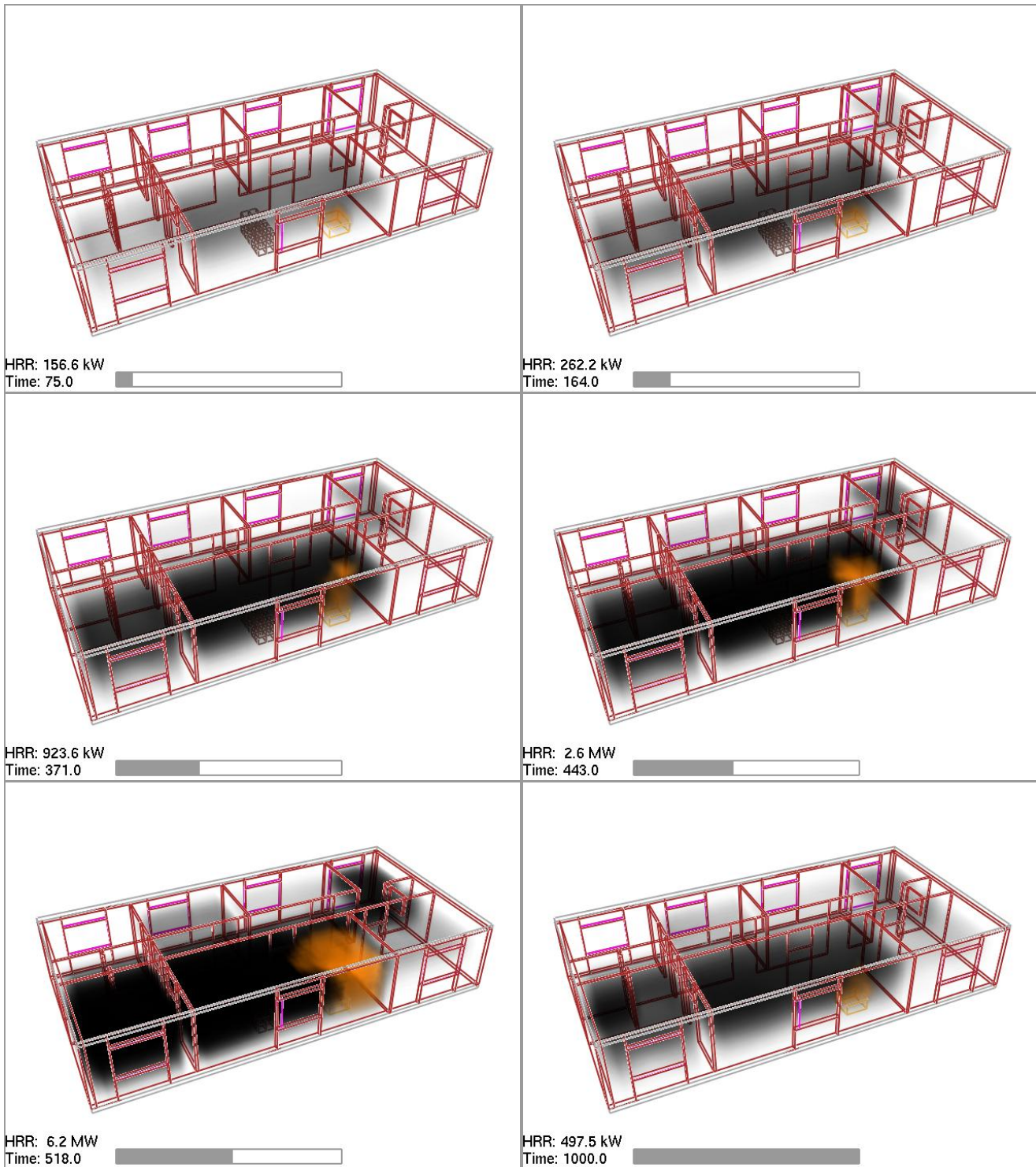


Σχήμα 20: α) Το ύψος του στρώματος καπνού στο διάδρομο. β) Το ύψος του στρώματος καπνού στο γραφείο 5. γ) Η μεταβολή του ρυθμού καύσης που ορίστηκε για την πυρκαγιά. δ) Η θερμοκρασία στο διάδρομο σε ύψος 1m.

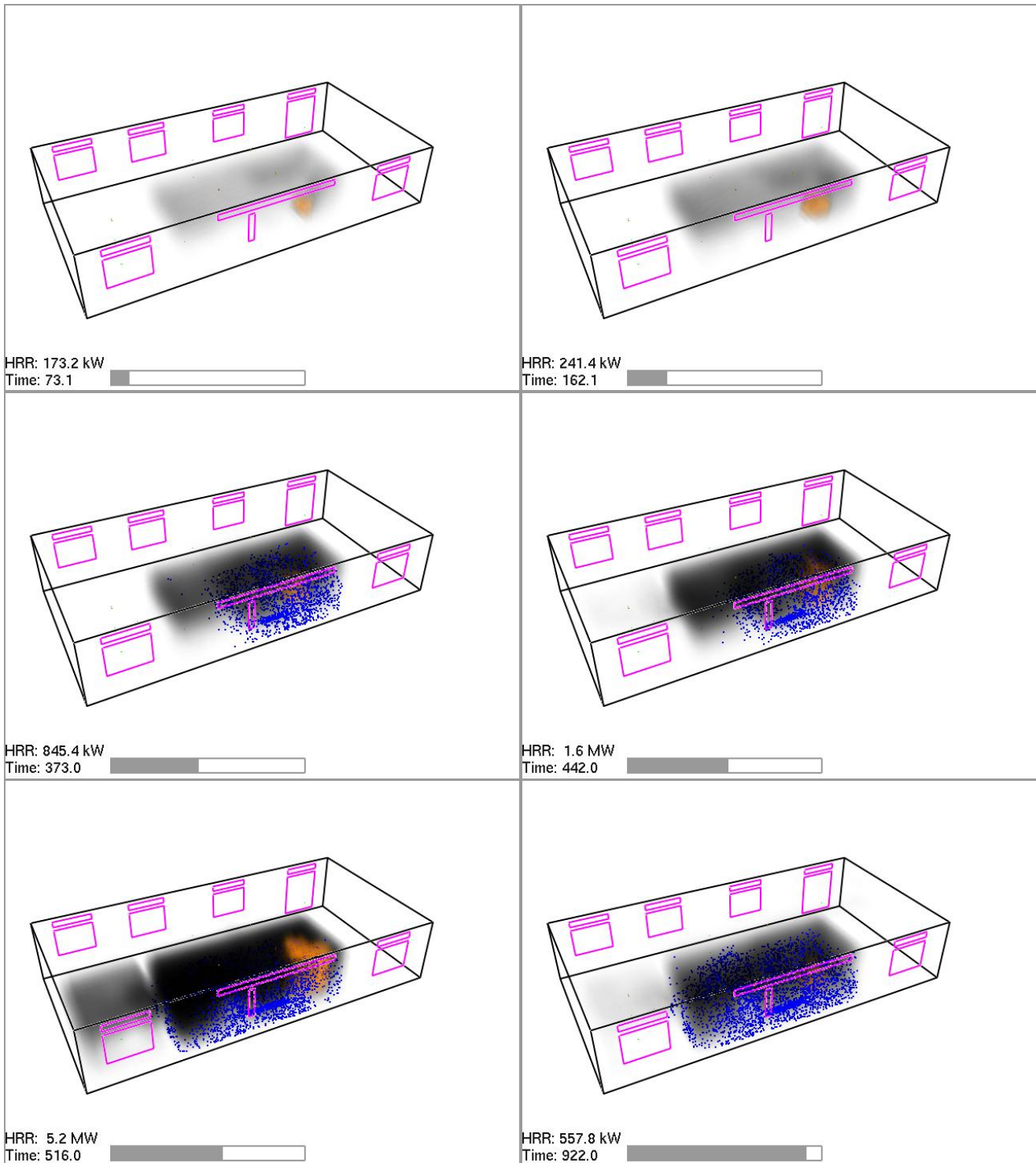
Όσον αφορά στο αρχικό σενάριο πυρκαγιάς το οποίο αναλύθηκε με το διζωνικό μοντέλο του CFAST στην ενότητα *1.1*, η ανάλυση με το μοντέλο πεδίου FDS επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα. Οι ίδιες ακριβώς συνθήκες και τα ίδια μέτρα αντιμετώπισης αναλύθηκαν με το FDS, επιλέγοντας πλέγματα 12,500 κυβικών όγκων ελέγχου για το τριώροφο κτήριο και 15,500 για την μονοκατοικία, σύμφωνα με τις οδηγίες βελτιστοποίησης πλέγματος του εγχειριδίου του προγράμματος⁸. Για το ανεξάρτητο μονώροφο κτήριο γραφείων, η διάχυση του καπνού από το γραφείο 5 προς τους χώρους του γραφείου 4, του διαδρόμου, και του κλιμακοστασίου, γίνεται φανερή στο Σχήμα 21. Στο Σχήμα 22, παρουσιάζεται η εξέλιξη του ίδιου σεναρίου πυρκαγιάς,

αυτή τη φορά με τα επιπρόσθετα μέτρα των φεγγιτών και του συστήματος καταιονισμού, ακριβώς όπως παρουσιάζονται στην ενότητα *1.1.1*. Γίνεται φανερό, ότι με αυτά τα μέτρα ο καπνός δεν διαχέεται σημαντικά στους υπόλοιπους χώρους. Σημαντικότερα, μετά από την ανάλυση των αποτελεσμάτων για τη θερμοκρασία, την ορατότητα, το ύψος του στρώματος καπνού, τη συγκέντρωση του οξυγόνου, του διοξειδίου και του μονοξειδίου του άνθρακα σε ύψος 1,7 m για κάθε χώρο, βρέθηκε ότι χωρίς τα μέτρα ο διαθέσιμος χρόνος για διαφυγή είναι 71 s για το γραφείο 5 (ορατότητα < 10 m, θερμοκρασία > 65 °C), 164 s για το διάδρομο (ορατότητα < 10 m), 322 s για το γραφείο 4 (ορατότητα < 10 m, θερμοκρασία > 65 °C), και 444 s για το κλιμακοστάσιο (ορατότητα < 10 m). Μάλιστα, αν αντί του ορίου των 65 °C, χρησιμοποιηθεί το εναλλακτικό κριτήριο ότι “η θερμοκρασία δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 49 °C όταν το στρώμα του καπνού είναι κάτω του 1,5 m και τους 93 °C όταν το στρώμα καπνού βρίσκεται πάνω από το 1,5 m”⁴, τότε ο διαθέσιμος χρόνος για το γραφείο 5 γίνεται 20 s και για το γραφείο 4 γίνεται 53 s. Όπως και στην προηγούμενη ενότητα, ένας συνολικός σχεδιαστικός στόχος θα μπορούσε να είναι η εξασφάλιση της ασφαλούς διαφυγής από οποιοδήποτε χώρο, εκτός του χώρου της εστίας της πυρκαγιάς. Όμως, λόγω του ότι η διαφυγή από το γραφείο 4 περνάει από το γραφείο 5, το καθολικό κρίσιμο κριτήριο γίνεται η περιοριστική συνθήκη του γραφείου 5 (κυρίως η θερμοκρασία).

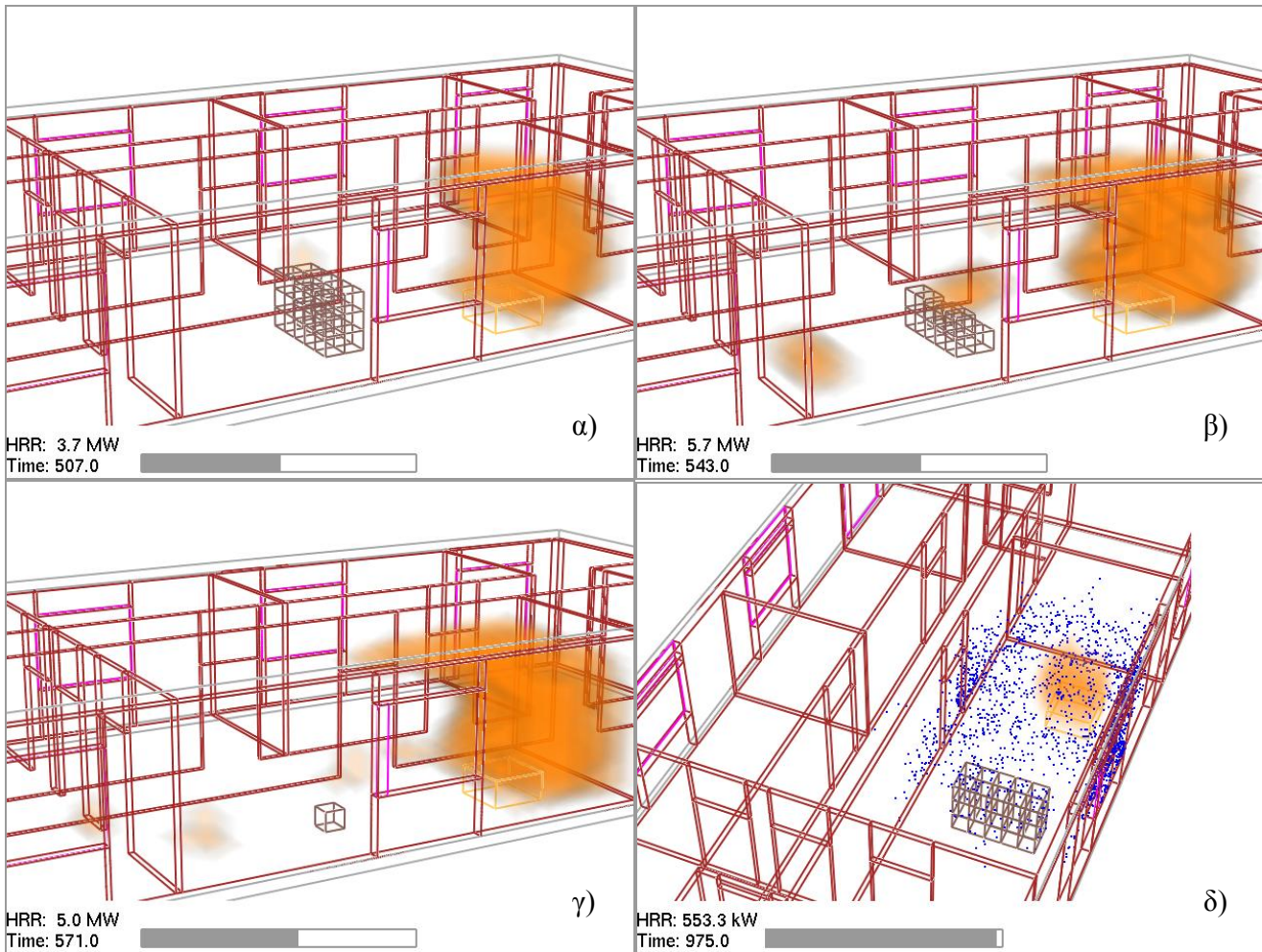
Μετά από την προσθήκη των μέτρων, ο χρόνος διαφυγής αυξάνεται στα 8 λεπτά για το γραφείο 5 (Σχήμα 24), ενώ σε κανένα άλλο χώρο δεν υπερβαίνονται τα όρια. Αυτό είναι κάτι που δεν κατέσται δυνατό να αποφευχθεί με επιπρόσθετα μέτρα, και οφείλεται στο ότι, αντίθετα με το CFAST, το FDS προσομοιώνει την επίδραση του καταιονισμού κυρίως με την μείωση της επίδρασης της φωτιάς στη θερμοκρασία, και όχι τόσο με την μείωση του ρυθμού έκλυσης ενέργειας της φωτιάς. Έτσι, ο ρυθμός έκλυσης ενέργειας της εστίας της φωτιάς παραμένει ουσιαστικά ο ίδιος (μέγιστη τιμή 6,1 MW) παρά τον καταιονισμό και όταν φθάνει στο αποκορύφωμά του (500-600 s), γίνεται δύσκολο να τηρηθούν στην προσομοίωση τα κριτήρια ασφαλείας στο άμεσο περιβάλλον της εστίας. Παρόλα αυτά, με το εναλλακτικό κριτήριο θερμοκρασίας βάσει ύψους του στρώματος καπνού, το όριο 93 °C υπερβαίνεται μόνο κατά το διάστημα 540-560 s και μάλιστα σποραδικά. Σε κάθε περίπτωση, τα 8 λεπτά είναι πολύ σημαντικότερος χρόνος από τα 71 s ή τα 20 s, τα οποία είναι διαθέσιμα χωρίς τα μέτρα. Με μια ξεχωριστή μελέτη με κάποιο από τα μοντέλα εκκένωσης κτηρίου θα μπορούσε να εκτιμηθεί ο μέγιστος χρόνος που απαιτείται για την διαφυγή των ενοίκων. Τέλος, στην παραπάνω προσομοίωση συμπεριλήφθηκε ένα ξύλινο έπιπλο σε απόσταση 2 μέτρων από την εστία, το οποίο χωρίς τα μέτρα κάηκε ολοσχερώς, ενώ με τα μέτρα παρέμεινε άθικτο (Σχήμα 23).



Σχήμα 21 : Η εξάπλωση του καπνού και η εξέλιξη της φλόγας από την φωτιά στο γραφείο 5, μέγιστου μεγέθους 6,8 MW, για την περίπτωση του ενός ορόφου. Με μωβ χρώμα αντιπροσωπεύονται τα πραγματικά εξωτερικά ανοίγματα (βλ. Σχήμα 22), με κόκκινο τα όρια της τοιχοποιίας και με γκριζο τα όρια του πλέγματος. Κάτω αριστερά αναγράφονται ο ρυθμός έκλυσης ενέργειας της εστίας (HRR) και ο χρόνος.

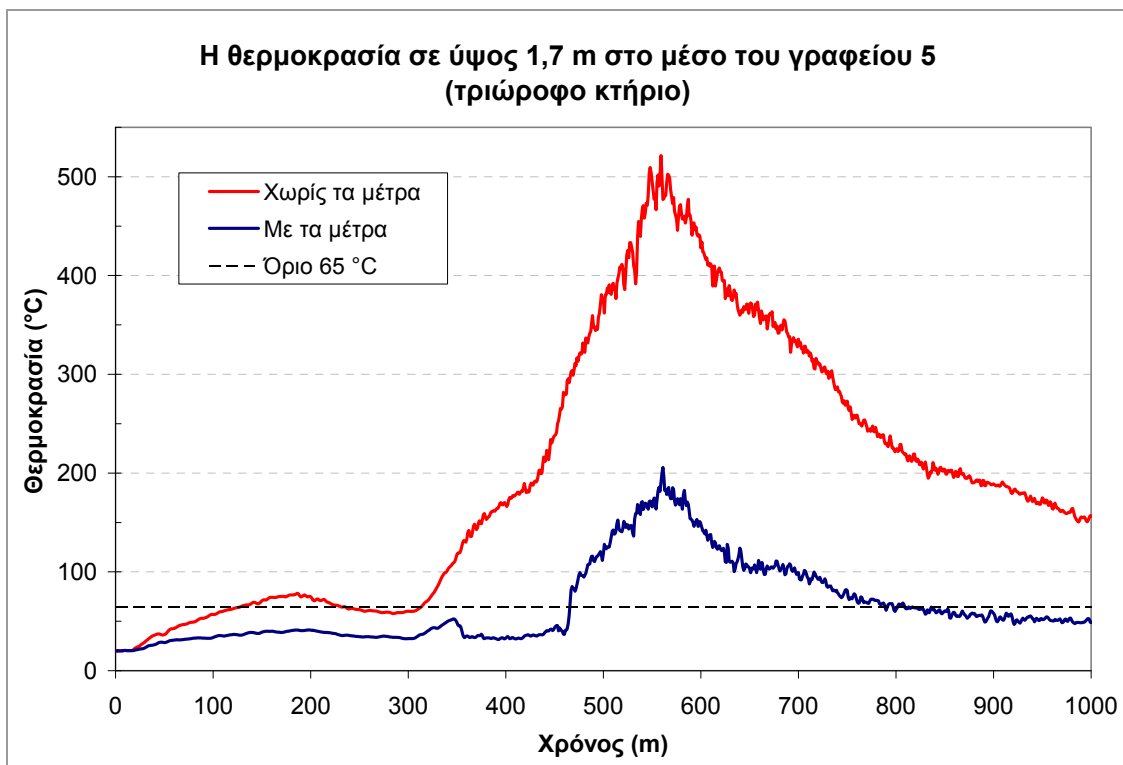
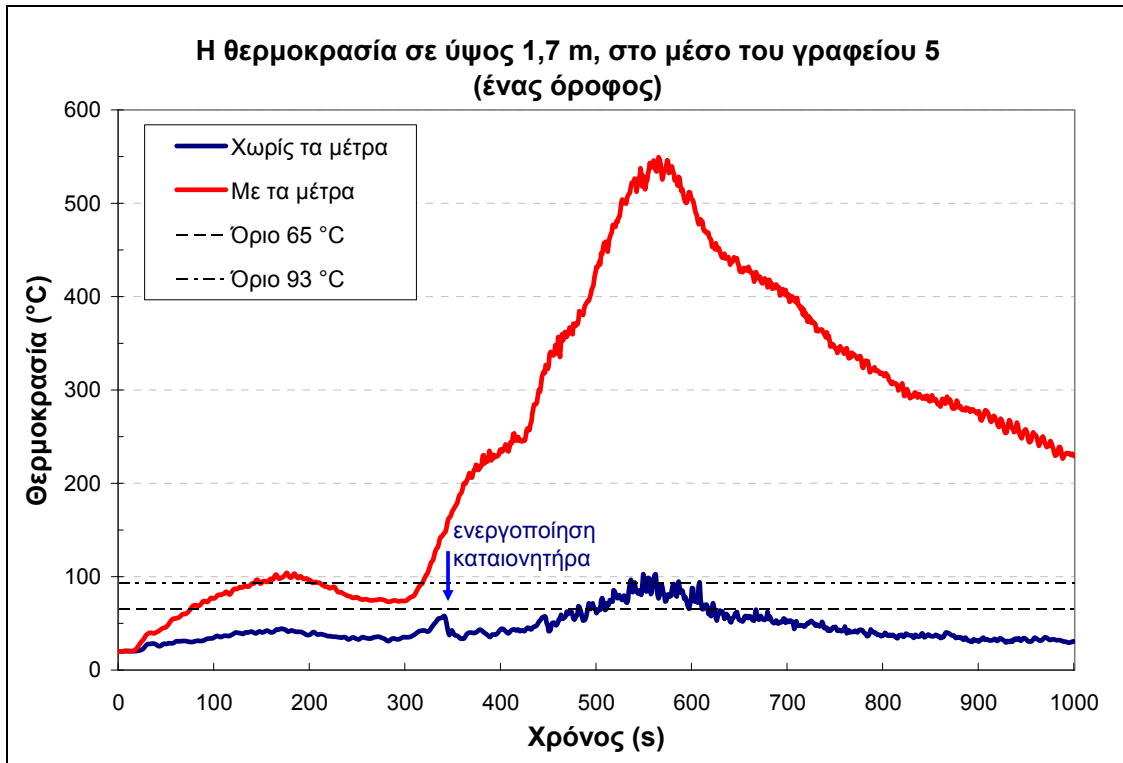


Σχήμα 22 : Η εξάπλωση του καπνού όταν υπάρχουν φεγγίτες και σύστημα καταιονισμού. Για να είναι ευδιάκριτα τα φαινόμενα, παραλείπονται από την παρουσίαση τα όρια της τοιχοποιίας και διατηρούνται μόνο τα εξωτερικά ανοίγματα (μωβ). Με μπλε, διακρίνονται οι σταγόνες του νερού από τους δύο καταιονητήρες οι οποίοι ενεργοποιούνται στο γραφείο 5 (340 s και 450 s κατά σειρά).

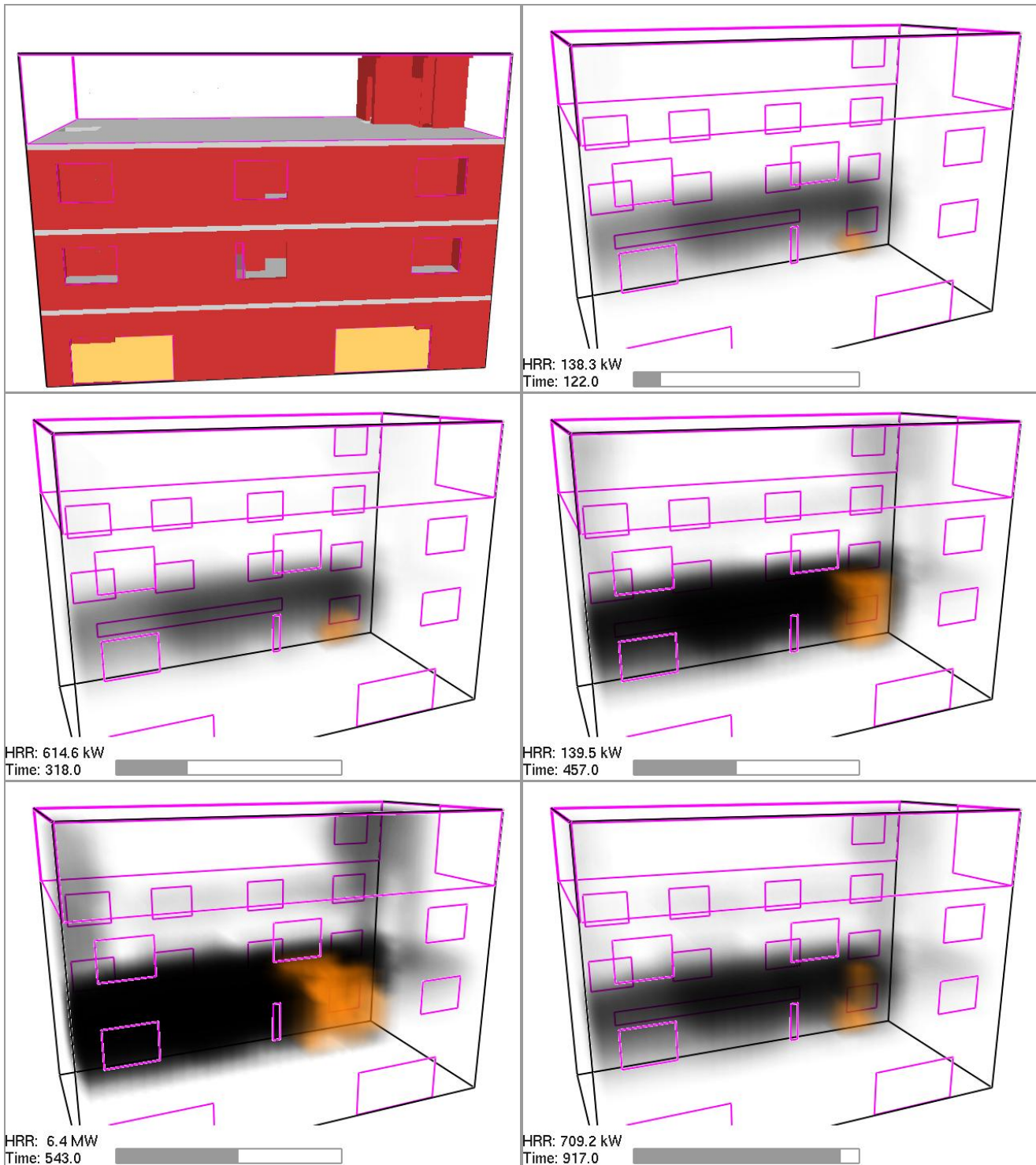


Σχήμα 23: Ένα έπιπλο από ξύλο (καφέ πλέγμα), με διαστάσεις 0,5 x 0,5 x 1 m, σε απόσταση 2 m από την εστία της φωτιάς, καίγεται ολοσχερώς στο διάστημα μεταξύ 500 και 600 s. Κάτω δεξιά (δ), το έπιπλο παραμένει άθικτο όταν λαμβάνονται τα μέτρα.

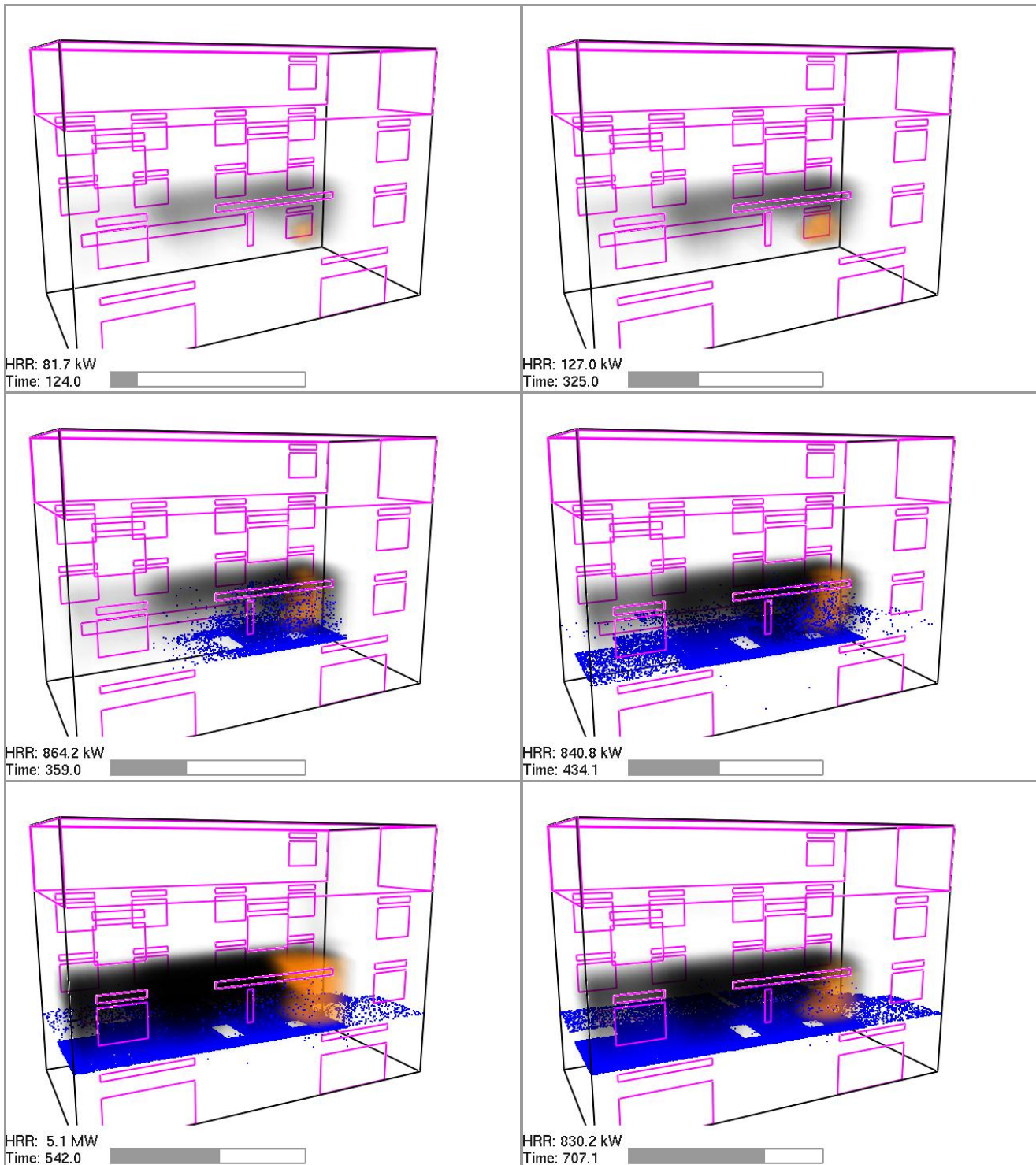
Για την περίπτωση όπου το κτήριο είναι τριώροφο, ο διαθέσιμος χρόνος διαφυγής είναι 108 s για το γραφείο 5 (ορατότητα < 10 m και θερμοκρασία > 65 °C), 327 s για το γραφείο 4 (θερμοκρασία > 65 °C), 386 s για το διάδρομο και 511 s για το κλιμακοστάσιο από τον τρίτο όροφο και επάνω (ορατότητα < 10 m). Με βάση το εναλλακτικό κριτήριο θερμοκρασίας, ο χρόνος διαφυγής από το γραφείο 5 γίνεται 74 s. Όπως και πριν, οι συνθήκες στο γραφείο 5 θέτουν τον γενικό κρίσιμο σχεδιαστικό περιορισμό. Μετά τη λήψη των μέτρων, ο διαθέσιμος χρόνος διαφυγής αυξάνεται στα 8 λεπτά (λόγω θερμοκρασίας στα γραφεία 4 και 5), κάτι το οποίο δεν κατέσται δυνατό να αποφευχθεί με επιπλέον μέτρα, για τους προαναφερθέντες λόγους. Για όλους τους υπόλοιπους χώρους, η έξοδος γίνεται ασφαλής καθ όλη τη διάρκεια της πυρκαγιάς με τα μέτρα αυτά, ενώ αντιμετωπίζεται και το φαινόμενο της καμινάδας στους χώρους του φωταγωγού, του ανελευστήρα και του κλιμακοστασίου (Σχήμα 25 και 26).



Σχήμα 24: Η τιμή της θερμοκρασίας στο γραφείο 5, δηλαδή του συνολικά κρισιμότερου στοιχείου, πριν και μετά τα μέτρα. Με τα μέτρα, ο διαθέσιμος χρόνος διαφυγής αυξάνεται από λίγα δευτερόλεπτα στα 8 λεπτά και για τις δύο περιπτώσεις (μονοκατοικία, τριώροφο κτήριο).



Σχήμα 25: Η διάχυση του καπνού και η ανάπτυξη της φλόγας για πυρκαγιά μεγέθους 6,8 MW, στο δεύτερο όροφο ενός τριώροφου κτηρίου. Από την παρουσίαση παραλείπονται όλα τα εσωτερικά χωρίσματα, για λόγους ευκρίνειας. Στα 540 s, γίνεται ορατό το φαινόμενο της καμινάδας στο χώρο του φωταγωγού, του ανεγκυστήρα και του κλιμακοστασίου. Στην ταράτσα, τα εξωτερικά ανοίγματα χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση ως ανοικτή επιφάνεια προς το περιβάλλον.



Σχήμα 25: Η διάχυση του καπνού και η ανάπτυξη της φλόγας για το ίδιο σενάριο, μετά τα μέτρα πυροπροστασίας (καταιονισμός και φεγγίτες). Με τα μέτρα, προστατεύονται οι περισσότεροι χώροι καθ' όλη τη διάρκεια της πυρκαγιάς, αντιμετωπίζεται το φαινόμενο της καμινάδας, ενώ ο χρόνος διαφυγής για τα γραφεία 4 και 5 γίνεται 8 λεπτά.

1.2.1 Δεδομένα FDS.

Το αρχείο fds για την περίπτωση του τριώροφου κτηρίου με τα μέτρα πυροπροστασίας:

```
&HEAD CHID='burner'/
&TIME T_END=1.000000E003, RESTRICT_TIME_STEP=.FALSE./
&DUMP RENDER_FILE='burner.ge1', DT_RESTART=300.00, PLOT3D_QUANTITY='VOLUME FRACTION','MASS FRACTION','VOLUME
FRACTION','TEMPERATURE','VISIBILITY', PLOT3D_SPEC_ID(1:3)='carbon dioxide','carbon monoxide','oxygen'/
&MISC CO_PRODUCTION=.TRUE., RESTART=.TRUE./

&MESH ID='MESH', IJK=36,18,24, XB=0.00,17.90,0.00,9.00,0.00,12.80/

&PART ID='Water02',
  WATER=.TRUE.,
  AGE=1.200000E003/
&PART ID='Water03',
  WATER=.TRUE.,
  AGE=1.200000E003/

&REAC ID='WOOD',
  C=3.40,
  H=6.20,
  O=2.50,
  N=0.00,
  IDEAL=.TRUE.,
  EPUMO2=1.102000E004,
  CO_YIELD=4.3565517E-003,
  MASS_EXTINCTION_COEFFICIENT=7.600000E003/

&MATL ID='BRICK_MATL',
  SPECIFIC_HEAT=0.84,
  CONDUCTIVITY=0.69,
  DENSITY=1.600000E003/
&MATL ID='CONCRETE_MATL',
  SPECIFIC_HEAT=0.88,
  CONDUCTIVITY=1.00,
  DENSITY=2.100000E003/
&MATL ID='UPHOLSTERY_MATL',
  SPECIFIC_HEAT=32.25,
  CONDUCTIVITY=0.1000,
  DENSITY=40.00,
  HEAT_OF_COMBUSTION=3.000000E004,
  N_REACTIONS=1,
  HEAT_OF_REACTION=1.500000E003,
  NU_FUEL=1.00,
  N_T=1.00,
  THRESHOLD_TEMPERATURE=280.00,
  N_S=1.00,
  REFERENCE_TEMPERATURE=100.00/

&SURF ID='BRICK',
  RGB=166,41,41,
  SURFACE_DENSITY=45.00,
  MATL_ID(1,1)='BRICK_MATL',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
  THICKNESS(1)=0.1000/
&SURF ID='CONCRETE',
  COLOR='GRAY 66',
  SURFACE_DENSITY=45.00,
  MATL_ID(1,1)='CONCRETE_MATL',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
  THICKNESS(1)=0.1000/
&SURF ID='CONCRETE02',
  COLOR='GRAY 66',
  SURFACE_DENSITY=45.00,
  MATL_ID(1,1)='CONCRETE_MATL',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
  THICKNESS(1)=0.1000/
&SURF ID='CONCRETE0202',
  COLOR='GRAY 66',
  SURFACE_DENSITY=45.00,
  MATL_ID(1,1)='CONCRETE_MATL',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
  THICKNESS(1)=0.1000/
&SURF ID='workstation',
  COLOR='GRAY 80',
  HRRPUA=6.700000E003,
  RAMP_Q='workstation_RAMP_Q'/
```

```

&RAMP ID='workstation_RAMP_Q', T=0.00, F=0.0100/
&RAMP ID='workstation_RAMP_Q', T=50.00, F=0.0200/
&RAMP ID='workstation_RAMP_Q', T=100.00, F=0.0300/
&RAMP ID='workstation_RAMP_Q', T=164.00, F=0.0400/
&RAMP ID='workstation_RAMP_Q', T=228.00, F=0.0200/
&RAMP ID='workstation_RAMP_Q', T=292.00, F=0.0200/
&RAMP ID='workstation_RAMP_Q', T=356.00, F=0.1200/
&RAMP ID='workstation_RAMP_Q', T=420.00, F=0.1600/
&RAMP ID='workstation_RAMP_Q', T=484.00, F=0.4600/
&RAMP ID='workstation_RAMP_Q', T=548.00, F=1.00/
&RAMP ID='workstation_RAMP_Q', T=550.00, F=1.00/
&RAMP ID='workstation_RAMP_Q', T=552.00, F=0.96/
&RAMP ID='workstation_RAMP_Q', T=616.00, F=0.3900/
&RAMP ID='workstation_RAMP_Q', T=680.00, F=0.3100/
&RAMP ID='workstation_RAMP_Q', T=744.00, F=0.1700/
&RAMP ID='workstation_RAMP_Q', T=808.00, F=0.1200/
&RAMP ID='workstation_RAMP_Q', T=872.00, F=0.1100/
&RAMP ID='workstation_RAMP_Q', T=1.2000000E003, F=0.00/
&SURF ID='UPHOLSTERY02',
  RGB=135,97,89,
  BURN_AWAY=.TRUE.,
  SURFACE_DENSITY=45.00,
  MATL_ID(1,1)='UPHOLSTERY_MATL',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
  THICKNESS(1)=1.0000000E-003/

&PROP ID='Default02_Water Spray02',
  QUANTITY='SPRINKLER LINK TEMPERATURE',
  ACTIVATION_TEMPERATURE=68.00,
  RTI=80.00,
  PART_ID='Water02',
  OFFSET=1.00,
  FLOW_RATE=108.00,
  DROPLET_VELOCITY=12.00/
&PROP ID='Default03_Water Spray03',
  QUANTITY='SPRINKLER LINK TEMPERATURE',
  ACTIVATION_TEMPERATURE=68.00,
  RTI=80.00,
  PART_ID='Water03',
  OFFSET=1.00,
  FLOW_RATE=108.00,
  DROPLET_VELOCITY=12.00/

&DEVC ID='GAS4', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', XYZ=2.00,2.00,4.90/
&DEVC ID='GAS402', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', XYZ=2.00,2.00,11.30/
&DEVC ID='GAS40202', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=2.00,2.00,11.30/
&DEVC ID='GAS40203', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen', XYZ=2.00,2.00,11.30/
&DEVC ID='GAS403', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=2.00,2.00,4.90/
&DEVC ID='GAS404', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen', XYZ=2.00,2.00,4.90/
&DEVC ID='GAS405', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon monoxide', XYZ=2.00,2.00,4.90/
&DEVC ID='GAS5', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', XYZ=6.00,2.00,4.90/
&DEVC ID='GAS502', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', XYZ=6.00,2.00,11.30/
&DEVC ID='GAS50202', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=6.00,2.00,11.30/
&DEVC ID='GAS50203', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen', XYZ=6.00,2.00,11.30/
&DEVC ID='GAS503', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=6.00,2.00,4.90/
&DEVC ID='GAS504', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen', XYZ=6.00,2.00,4.90/
&DEVC ID='GAS505', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon monoxide', XYZ=6.00,2.00,4.90/
&DEVC ID='GASdia', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', XYZ=7.00,5.00,4.90/
&DEVC ID='GASdia02', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', XYZ=7.00,5.00,11.30/
&DEVC ID='GASdia0202', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=7.00,5.00,11.30/
&DEVC ID='GASdia0203', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen', XYZ=7.00,5.00,11.30/
&DEVC ID='GASdia03', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=7.00,5.00,4.90/
&DEVC ID='GASdia04', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen', XYZ=7.00,5.00,4.90/
&DEVC ID='GASdia05', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon monoxide', XYZ=7.00,5.00,4.90/
&DEVC ID='GASKlim', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', XYZ=15.00,7.00,4.90/
&DEVC ID='GASKlim02', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', XYZ=15.00,7.00,11.30/
&DEVC ID='GASKlim0202', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=15.00,7.00,11.30/
&DEVC ID='GASKlim0203', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen', XYZ=15.00,7.00,11.30/
&DEVC ID='GASKlim03', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=15.00,7.00,4.90/
&DEVC ID='GASKlim04', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen', XYZ=15.00,7.00,4.90/
&DEVC ID='GASKlim05', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon monoxide', XYZ=15.00,7.00,4.90/
&DEVC ID='HRR', QUANTITY='HRR', XB=4.00,6.00,0.00,3.00,3.20,4.90/
&DEVC ID='HRR02', QUANTITY='HRR', XB=6.00,10.00,4.00,6.00,3.20,4.90/
&DEVC ID='HRR03', QUANTITY='HRR', XB=0.00,4.00,0.00,2.70,3.20,4.90/
&DEVC ID='LAYER05->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=6.00,6.00,2.00,2.00,3.20,6.20/
&DEVC ID='LAYER05->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE', XB=6.00,6.00,2.00,2.00,3.20,6.20/
&DEVC ID='LAYER05->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=6.00,6.00,2.00,2.00,3.20,6.20/
&DEVC ID='LAYER0502->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=6.00,6.00,2.00,2.00,6.40,9.40/
&DEVC ID='LAYER0502->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE', XB=6.00,6.00,2.00,2.00,6.40,9.40/
&DEVC ID='LAYER0502->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', XB=6.00,6.00,2.00,2.00,6.40,9.40/
&DEVC ID='LAYER0diad->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=6.00,6.00,5.00,5.00,3.20,6.20/

```


&VENT SURF_ID='OPEN', XB=5.00,7.00,9.00,9.00,7.40,8.90/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=15.00,17.00,9.00,9.00,7.40,8.90/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=10.00,12.00,9.00,9.00,7.40,8.90/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=14.50,16.50,0.00,0.00,7.40,8.90/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=1.00,3.00,0.00,0.00,7.40,8.90/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=1.00,3.00,0.00,0.00,9.10,9.40/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=7.50,9.50,0.00,0.00,9.10,9.40/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=14.50,16.50,0.00,0.00,9.10,9.40/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=15.00,17.00,9.00,9.00,9.10,9.40/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=10.00,12.00,9.00,9.00,9.10,9.40/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=5.00,7.00,9.00,9.00,9.10,9.40/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=1.00,3.00,9.00,9.00,9.10,9.40/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=15.00,17.00,9.00,9.00,10.60,12.10/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=15.00,17.00,9.00,9.00,12.30,12.60/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=11.50,15.50,0.00,0.00,0.00,2.00/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=2.00,12.00,9.00,9.00,2.30,3.00/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=1.00,5.00,0.00,0.00,0.00,2.00/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=1.00,5.00,0.00,0.00,2.70,3.00/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=11.50,15.50,0.00,0.00,2.70,3.00/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.00,17.90,0.00,9.00,12.80,12.80/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=17.90,17.90,0.00,4.00,9.60,12.80/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.00,0.00,0.00,9.00,9.60,12.80/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.00,17.90,0.00,0.00,9.60,12.80/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.00,17.90,9.00,9.00,9.60,12.80/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=15.00,17.00,9.00,9.00,1.00,2.50/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=1.00,3.00,0.00,0.00,5.90,6.20/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=6.00,12.00,0.00,0.00,5.90,6.20/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=14.50,16.50,0.00,0.00,5.90,6.20/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=15.00,17.00,9.00,9.00,5.90,6.20/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=10.00,12.00,9.00,9.00,5.90,6.20/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=5.00,7.00,9.00,9.00,5.90,6.20/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=1.00,3.00,9.00,9.00,5.90,6.20/ Vent
 &VENT SURF_ID='OPEN', XB=15.00,17.00,9.00,9.00,2.70,3.00/ Vent

 &BNDF QUANTITY='BURNING RATE'/
 &BNDF QUANTITY='NET HEAT FLUX'/
 &BNDF QUANTITY='INCIDENT HEAT FLUX'/
 &BNDF QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX'/
 &BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

 &ISOF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', VALUE=0.0600/
 &ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE=65.00/

 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', PBX=15.00/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon monoxide', PBX=15.00/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen', PBX=15.00/
 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', SPEC_ID='soot', PBX=15.00/
 &SLCF QUANTITY='HRRPUV', PBX=15.00/
 &SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBX=15.00/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=15.00/
 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=15.00/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', PBX=2.00/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon monoxide', PBX=2.00/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen', PBX=2.00/
 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', SPEC_ID='soot', PBX=2.00/
 &SLCF QUANTITY='HRRPUV', PBX=2.00/
 &SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBX=2.00/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=2.00/
 &SLCF QUANTITY='VELOCITY', PBX=2.00/
 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=2.00/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', PBX=8.00/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon monoxide', PBX=8.00/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen', PBX=8.00/
 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', SPEC_ID='soot', PBX=8.00/
 &SLCF QUANTITY='HRRPUV', PBX=8.00/
 &SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBX=8.00/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=8.00/
 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=8.00/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', PBY=2.00/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon monoxide', PBY=2.00/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen', PBY=2.00/
 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', SPEC_ID='soot', PBY=2.00/
 &SLCF QUANTITY='HRRPUV', PBY=2.00/
 &SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBY=2.00/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=2.00/
 &SLCF QUANTITY='VELOCITY', PBY=2.00/
 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBY=2.00/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', PBY=4.70/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon monoxide', PBY=4.70/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen', PBY=4.70/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', SPEC_ID='soot', PBZ=4.70/
 &SLCF QUANTITY='HRRPUV', PBZ=4.70/
 &SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBZ=4.70/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=4.70/
 &SLCF QUANTITY='VELOCITY', PBZ=4.70/
 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=4.70/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', PBZ=7.00/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon monoxide', PBZ=7.00/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen', PBZ=7.00/
 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', SPEC_ID='soot', PBZ=7.00/
 &SLCF QUANTITY='HRRPUV', PBZ=7.00/
 &SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBZ=7.00/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=7.00/
 &SLCF QUANTITY='VELOCITY', PBZ=7.00/
 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=7.00/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', PBZ=4.70/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon monoxide', PBZ=4.70/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen', PBZ=4.70/
 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', SPEC_ID='soot', PBZ=4.70/
 &SLCF QUANTITY='HRRPUV', PBZ=4.70/
 &SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBZ=4.70/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=4.70/
 &SLCF QUANTITY='VELOCITY', PBZ=4.70/
 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=4.70/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', PBZ=4.90/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon monoxide', PBZ=4.90/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen', PBZ=4.90/
 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', SPEC_ID='soot', PBZ=4.90/
 &SLCF QUANTITY='HRRPUV', PBZ=4.90/
 &SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBZ=4.90/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=4.90/
 &SLCF QUANTITY='VELOCITY', PBZ=4.90/
 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=4.90/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', PBZ=7.90/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon monoxide', PBZ=7.90/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen', PBZ=7.90/
 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', SPEC_ID='soot', PBZ=7.90/
 &SLCF QUANTITY='HRRPUV', PBZ=7.90/
 &SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBZ=7.90/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=7.90/
 &SLCF QUANTITY='VELOCITY', PBZ=7.90/
 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=7.90/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', PBZ=8.10/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon monoxide', PBZ=8.10/
 &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen', PBZ=8.10/
 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', SPEC_ID='soot', PBZ=8.10/
 &SLCF QUANTITY='HRRPUV', PBZ=8.10/
 &SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBZ=8.10/
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=8.10/
 &SLCF QUANTITY='VELOCITY', PBZ=8.10/
 &SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=8.10/

&DEVC ID='Temperature_MAX', QUANTITY='TEMPERATURE', STATISTICS='MAX', XB=0.00,4.00,0.00,3.00,0.00,3.00/
 &DEVC ID='Temperature_MEAN', QUANTITY='TEMPERATURE', STATISTICS='MEAN', XB=0.00,4.00,0.00,3.00,0.00,3.00/

&TAIL /

2. Βιβλιογραφία παραρτήματος:

- 1) Jones WW, Peacock RD, Forney GP, Reneke PA. *CFAST Consolidated Model for fire growth and smoke transfer. Technical Reference Guide*. NIST, 2009. Διαθέσιμο στο:
http://cfast.nist.gov/Documents/CFAST_Tech_Ref_61.pdf
- 2) Μπούρκας ΠΔ. *Εφαρμογές κτιριακών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων*. Ε.Μ.Π., Αθήνα 1998.
- 3) Building and Fire Research Laboratory. *Three Panel Workstation Fire*. General Services Administration (GSA), 1991. Διαθέσιμο στο:
<http://fire.nist.gov/fire/fires/work3/work3.html>
- 4) Milke JA, Hugue DE, Hoskins BL, Carroll JP. *Tenability Analyses in Performance-Based Design*. *Fire Protection Magazine*, 2005;4.
- 5) Purser DA. Toxicity assessment of Combustion Products. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2002.
- 6) Bowman, A. Performance-Based Analysis of an Historic Museum. *SFPE's Fire Protection Engineering*. 2000; 8.
Διαθέσιμο στο: http://www.fpemag.com/_pdf/archives/FPE_FALL_2000.pdf
- 7) Μαλαχίας Γ. *Πυροπροστασία Κτιρίων*. Εκδόσεις Ίων, Αθήνα, 2004.
- 8) McGrattan K, McDermott R, Hostikka S, Floyd J. *Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide*. NIST, Washington, DC, 2010.

Σημειώσεις.

Η κύριες πηγές για την παρούσα αναφορά, προέρχονται από το εξωτερικό, οπότε αναπόφευκτα έγιναν κάποιες αποδόσεις όρων. Κάποιες από αυτές, χρίζουν περαιτέρω εξήγησης. Καταρχήν, ο όρος μηχανική έχει συνδεθεί με τον τομέα της φυσικής, οπότε είναι λογικό να ξενίζει η χρήση του για την περιγραφή του κλάδου των μηχανικών. Παρόλα αυτά, ως απόδοση του engineering, επιλέχθηκε το *μηχανική* διότι κρίθηκε ότι είναι η καταλληλότερη. Η λέξη «μηχανικός» της αρχαίας ελληνικής, αποδίδεται ως εφευρετικός, ευφυής, επινοητικός, πολυμήχανος, ενώ η λέξη «μηχανή» έχει διττή σημασία: α) βοηθητικό μέσο, εργαλείο, μηχανήμα, και β) τέχνασμα, επινόημα, τρόπος. Η τέχνη του μηχανικού, δηλαδή η επινόηση των λύσεων, δεν θα μπορούσε να είναι άλλη από τη *μηχανική*. Άλλωστε, το ίδιο το engineering προέρχεται από το Λατινικό ingenium, το οποίο μεταφράζεται ως έμφυτη ευφυΐα, καθώς και το παράγωγο ingeniosus, που σημαίνει ευφυής και επιδέξιος. Επίσης, προτιμήθηκε ο όρος επικινδυνότητα, από τον όρο «ρίσκο», όσον αφορά στην απόδοση του «risk analysis», με την πεποίθηση ότι εκφράζει πιστότερα την έννοια της πιθανολογικής αποτίμησης του συνολικού κινδύνου. Σημειώνεται επίσης, ότι οι όροι πυρκαγιά και φωτιά, χρησιμοποιούνται ως ταυτόσημοι στην παρούσα εργασία. Βεβαίως, μια φωτιά μπορεί να είναι ελεγχόμενη από τον άνθρωπο και χρήσιμη, ενώ η πυρκαγιά είναι ανεξέλεγκτη και καταστροφική. Το αντικείμενο της εργασίας είναι η πυρκαγιά, όπως το αντικείμενο της επιστήμης της φωτιάς (fire science) είναι επίσης η πυρκαγιά, αλλά αναπόφευκτα οι δύο όροι εναλλάσσονται.

Επιπλέον βιβλιογραφία:

- 1) Μπούρκας ΠΔ. Σημειώσεις για την πυροπροστασία από το μάθημα Εφαρμογές εγκαταστάσεων σε νοσοκομεία.
- 2) Κώνστας ΑΠ. Εγχειρίδιο πυρασφάλειας. Αθήνα, 1988.
- 3) Κώνστας ΑΠ. Εφαρμοσμένη πυρασφάλεια. Αθήνα, 1988.
- 4) Σελούντος Β, Πέρδιος Σ, Παπαϊωάννου, Χουσιανάκος Κ. Εφαρμοσμένη πυρασφάλεια και στοιχεία πυρόσβεσης. Εκδόσεις Φοίβος, Αθήνα 1988.
- 5) Purkins JA. Fire Safety Engineering. Design of Structures. Butterworth-Heinemann, Elsevier, Burlington, MA, 2007
- 6) Schroll CR. Industrial fire protection handbook. CRC Press, New York, NY, 2002.
- 7) Drysdale D. *An introduction to fire dynamics*. Wiley and Sons, 1999.

