

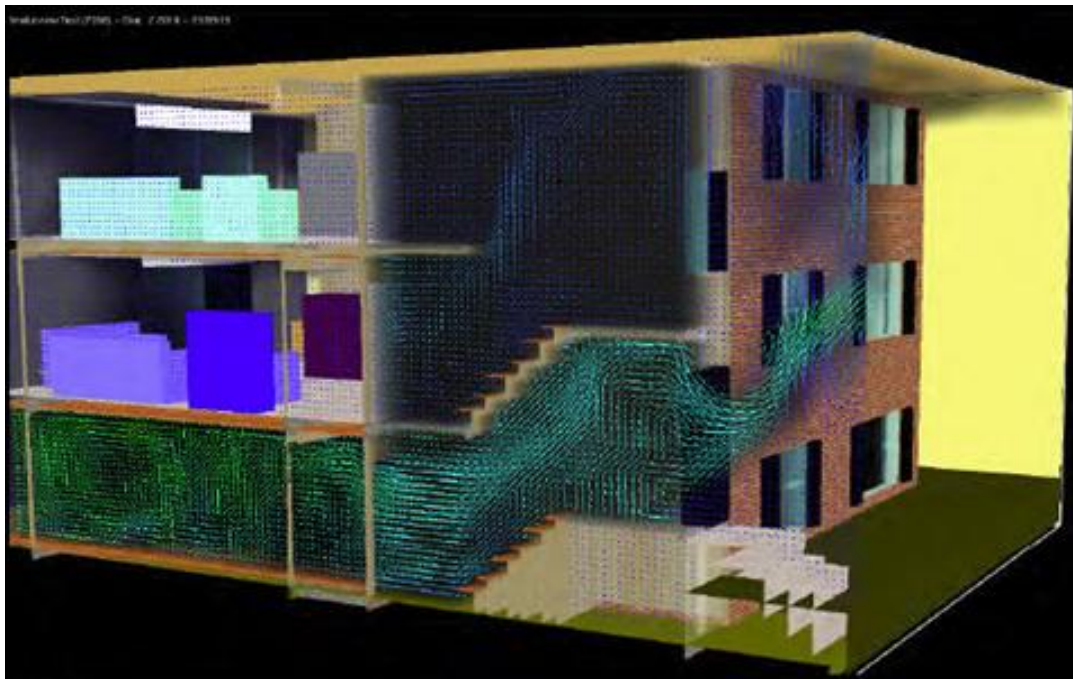
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ: ΣΤΕ

ΤΜΗΜΑ: ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΟ



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:** ΓΙΑΝΝΟΥΤΣΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ  
ΛΙΑΓΚΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:** Δρ. ΓΙΑΝΝΑΔΑΚΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2013

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε από τις φοιτήτριες Γιαννούτσου Βασιλική και Λιάγκη Κωνσταντίνα του τμήματος Μηχανολογίας στο Α.Τ.Ε.Ι. Πάτρας. Αρχικά θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα Καθηγητή της πτυχιακής μας εργασίας τον Δρ. Γιανναδάκη Αθανάσιο, τόσο για την συμπαράσταση του όσο και για όλα εκείνα που μας μετέδωσε, με τον δικό του πάντα τρόπο!

Στην συνέχεια θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους γονείς μας και τα αδέρφια μας για την συνεχή συμπαράσταση, την αγάπη και την κατανόηση που έδειξαν όλο αυτό τον καιρό. Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όσους βοήθησαν σε αυτή την πτυχιακή με οποιοδήποτε τρόπο μπορούσε ο καθένας.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η μελέτη των συνθηκών στον εσωτερικό χώρο των κτιρίων είναι ένα θέμα που απασχολεί όλο και περισσότερο τους επιστήμονες, αφού σύμφωνα με έρευνες οι άνθρωποι πλέον ξοδεύουν το 80-90% του χρόνου τους στο εσωτερικό περιβάλλον. Δεν αρκεί να μελετηθούν μόνο οι περιβαλλοντικές συνθήκες ενός χώρου, χρειάζεται να μελετηθεί και η αντιμετώπιση των φυσικών φαινομένων που εξελίσσονται μέσα σε αυτούς (πυρκαγιά, σεισμός κτλ.).

Την λύση των προβλημάτων έρχεται να δώσει η μέθοδος της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής, η οποία βασίζεται στην εφαρμογή αριθμητικών τεχνικών με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών και παρέχει πληροφορίες για την πίεση, την ταχύτητα του αέρα, την θερμοκρασία και άλλων σημαντικών παραμέτρων που μπορεί να επηρεάσουν ένα τέτοιο φαινόμενο.

Στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας γίνεται μελέτη του φυσικού φαινομένου της φωτιάς και της εξάπλωσης της σε εσωτερικούς χώρους, συγκεκριμένα σε τριώροφη κατοικία με την χρήση του υπολογιστικού προγράμματος Fire Dynamics Simulator (FDS), το οποίο στοχεύει στην επίλυση των εξισώσεων της ρευστομηχανικής κατάλληλα διαμορφωμένες για θερμικές ροές με σκοπό την ανάλυση της μεταφοράς θερμότητας και καπνού σε συνθήκες φωτιάς και βασίζεται στο μοντέλο προσομοίωσης μεγάλης δίνης.

Η μεγάλη προσομοίωση των δινών γίνεται όλο και πιο βιώσιμη για την καλύτερη κατανόηση των σύνθετων φαινομένων που ανήκουν στο βασίλειο της έρευνας της φωτιάς. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αναταράξεων, καύση και ακτινοβολίας λόγω θερμότητας είναι απαραίτητες για την λίστα των σκέψεων στη μοντελοποίηση της φωτιάς.

Με την χρήση αριθμητικών υπολογιστικών μοντέλων γίνεται η προσομοίωση του κτιρίου και η εισαγωγή των αποτελεσμάτων, έχει αποδειχτεί ότι η μέθοδος της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής, που έχει χρησιμοποιηθεί, αποτελεί ένα σημαντικό σχεδιαστικό εργαλείο και μια αξιόπιστη μέθοδο με ακριβή αποτελέσματα.

Γίνεται η πιστοποίηση του κώδικα FDS όσον αφορά την προσομοίωση της φωτιάς και την εξαγωγή των συμπερασμάτων σχετικά με το ποιοι παράγοντες επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την ακρίβεια των υπολογιστικών αποτελεσμάτων. Με την αξιολόγηση τους και την προσομοίωση μιας πυρκαγιάς σε εσωτερικό χώρο έχουμε την καλύτερη αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων αλλά και την πιθανή βελτίωση των υπολογιστικών προγραμμάτων.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα μελετηθεί η υπολογιστική προσομοίωση της εξάπλωσης πυρκαγιάς σε κτίριο τριών ορόφων, με την χρήση ενός κώδικα υπολογιστικής ρευστομηχανικής. Τα κύρια φαινόμενα που εξετάζονται είναι τα χαρακτηριστικά της φωτιάς και ο τρόπος εξάπλωσης της στο εσωτερικό του κτιρίου. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της φωτιάς ονομάζεται Fire Dynamics Simulator (FDS) και βασίζεται στο Μοντέλο Προσομοίωσης Μεγάλης Δίνης (Large Eddy Simulation – LES).

Στο Κεφάλαιο 1, αναφέρεται η γενική θεωρία για πυρασφάλεια, οι απαραίτητοι ορισμοί και γίνεται η κατάλληλη ταξινόμηση των κτιρίων σύμφωνα με την χρήση τους. Επίσης παρατίθεται η σχετική νομοθεσία δηλαδή ο κανονισμός πυροπροστασίας κτιρίων Π.Δ. 71/88 για κατοικίες.

Στο Κεφάλαιο 2, περιγράφονται τα χαρακτηριστικά της φωτιάς και οι συνθήκες που απαιτούνται για την ανάπτυξη της. Αναλύεται ο τρόπος εξάπλωσης της φωτιάς στον εσωτερικό χώρο καθώς επίσης οι λόγοι και οι παράγοντες που την επηρεάζουν. Τα προϊόντα της φωτιάς, όπως ο καπνός παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την διεξαγωγή του πειράματος μας.

Στο Κεφάλαιο 3, παρουσιάζεται ο κώδικας υπολογιστικής ρευστομηχανικής Fire Dynamics Simulator (FDS) και αναφέρονται, αναλυτικά, οι εξισώσεις που επιλύονται σε αυτόν, καθώς και τα διάφορα μοντέλα που χρησιμοποιούνται. Με την ανάλυση του κώδικα FDS έχουμε την περιγραφή της προσομοίωσης της φωτιάς και την εξαγωγή των συμπερασμάτων σχετικά με το ποιοι παράγοντες επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την ακρίβεια των υπολογιστικών μας αποτελεσμάτων.

Στο Κεφάλαιο 4, αναλύεται το υπολογιστικό πλέγμα από τι αποτελείται και δίνεται μια γενική περιγραφή. Επιπλέον μελετάται η μέθοδος Προσομοίωσης Μεγάλης Δίνης ( Large Eddy Simulator - LES) η οποία χρησιμοποιείται από τον κώδικα FDS για τον υπολογισμό πολύπλοκων γεωμετριών τυρβώδους ροής, οι οποίες θα μας δώσουν συμπεράσματα για την συμπεριφορά της φωτιάς.

Στο Κεφάλαιο 5, έχουμε την σταδιακή οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων του υπολογιστικού προγράμματος και την περιγραφή τριών σεναρίων για την εξάπλωση της φωτιάς και την πορεία του καπνού στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου. Επίσης έχουμε την απεικόνιση σχετικών διαγραμμάτων της χρονικής εξέλιξης της θερμοκρασίας σύμφωνα με τα αποτελέσματα μας.

Τέλος στο Κεφάλαιο 6, παρουσιάζονται όλα τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία, τα οποία αφορούν τον κώδικα υπολογιστικής ρευστομηχανικής FDS και την προσομοίωση της φωτιάς του κτιρίου.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>Κεφάλαιο 1</b>	Γενική θεωρία για πυρασφάλεια, νομοθεσία για κατοικίες και γενικοί όροι.....	<b>1</b>
1.1.	Πυρασφάλεια.....	<b>1</b>
1.2.	Γενικές διατάξεις.....	<b>2</b>
1.2.1.	Ορισμοί – Ταξινόμηση κτιρίων.....	<b>2</b>
1.3.	Ταξινόμηση κτιρίων σύμφωνα με τη χρήση τους.....	<b>4</b>
1.4.	Κατοικίες.....	<b>6</b>
1.4.1.	Γενικά.....	<b>6</b>
1.4.2.	Οδεύσεις διαφυγής.....	<b>6</b>
1.4.2.1.	Σχεδιασμός.....	<b>6</b>
1.4.2.2.	Πυροπροστασία.....	<b>8</b>
1.4.2.3.	Φωτισμός – σήμανση.....	<b>8</b>
1.4.3.	Δομική πυροπροστασία.....	<b>8</b>
1.5.	Κατοικίες (συμπληρωματική νομοθεσία).....	<b>10</b>
<b>Κεφάλαιο 2</b>	Περιγραφή φυσικού φαινομένου.....	<b>12</b>
2.1.	Φωτιά.....	<b>12</b>
2.2.	Τρίγωνο φωτιάς.....	<b>12</b>
2.3.	Στάδια φωτιάς.....	<b>13</b>
2.4.	Έκλαμψη.....	<b>14</b>
2.4.1.	Απαραίτητες συνθήκες για την εμφάνιση έκλαμψης.....	<b>15</b>
2.4.2.	Παράγοντες που επηρεάζουν το χρόνο εμφάνισης έκλαμψης.....	<b>15</b>
2.5.	Παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη φωτιάς.....	<b>15</b>
2.6.	Ρυθμός μετάδοσης φωτιάς.....	<b>16</b>
2.7.	Κατεύθυνση διάδοσης φωτιάς.....	<b>16</b>
2.8.	Πάχος καύσιμου υλικού.....	<b>17</b>
2.9.	Γεωμετρία αντικείμενου.....	<b>17</b>
2.10.	Πλήρως ανεπτυγμένη φωτιά.....	<b>18</b>
2.11.	Καπνός.....	<b>18</b>
2.12.	Περιβαλλοντικοί παράγοντες.....	<b>19</b>
<b>Κεφάλαιο 3</b>	Χαρακτηριστικά υπολογιστικού προγράμματος.....	<b>21</b>
3.1.	Γεωμετρία.....	<b>21</b>
3.2.	Εισαγωγή υπολογιστικού προγράμματος.....	<b>22</b>
3.2.1.	Κώδικας FDS.....	<b>22</b>
3.2.2.	Απεικόνιση αποτελεσμάτων FDS.....	<b>24</b>
3.2.3.	Υδροδυναμικό μοντέλο.....	<b>24</b>
3.2.4.	Μοντέλο καύσης.....	<b>26</b>
3.2.5.	Μοντέλο θερμικής ακτινοβολίας.....	<b>27</b>
3.2.6.	Γεωμετρία FDS.....	<b>28</b>
3.2.7.	Οριακές συνθήκες.....	<b>28</b>
3.2.8.	Πυρόλυση.....	<b>28</b>
3.2.8.1.	Μοντελοποίηση πυρόλυσης.....	<b>30</b>
3.2.8.2.	Ιδιότητες υλικών.....	<b>30</b>
3.2.9.	Ψεκαστές και ανιχνευτές.....	<b>32</b>
<b>Κεφάλαιο 4</b>	Υπολογιστικό πλέγμα.....	<b>33</b>
4.1.	Υπολογιστικό πλέγμα.....	<b>33</b>
4.1.1.	Κελιά.....	<b>34</b>

4.1.2.	Κατασκευή πλέγματος.....	35
4.2.	Μέθοδοι περιγραφής τυρβώδους καύσης.....	35
4.3.	Υπολογιστικό μοντέλο LES.....	36
4.3.1.	Φίλτρα LES.....	38
<b>Κεφάλαιο 5</b>	<b>Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....</b>	<b>39</b>
5.1.	Περιγραφή υπολογιστικών σεναρίων.....	39
5.2.	Παρουσίαση αποτελεσμάτων υπολογιστικής προσομοίωσης.....	39
5.2.1.	Παρουσίαση εξέλιξης Σεναρίου 1.....	39
5.2.2.	Παρουσίαση εξέλιξης Σεναρίου 2.....	43
5.2.3.	Παρουσίαση εξέλιξης Σεναρίου 3.....	47
5.3.	Συγκριτική παρουσίαση εξέλιξης Σεναρίου πυρκαγιάς.....	50
<b>Κεφάλαιο 6</b>	<b>Ανάλυση αποτελεσμάτων – Συμπεράσματα.....</b>	<b>55</b>
<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>.....</b>	<b>57</b>

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΓΕΝΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΓΙΑ ΠΥΡΑΣΦΑΛΕΙΑ ΝΟΜΟΘΕΣΕΙΑ ΓΙΑ ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΟΙ ΟΡΟΙ.**

## **1.1. ΠΥΡΑΣΦΑΛΕΙΑ.**

Όλα τα κτίρια, ανεξαρτήτως της χρήσης τους, χαρακτηρίζονται σε υφιστάμενα και νέα, από άποψη πυροπροστασίας. Για τη κατηγοριοποίηση τους χρησιμοποιείται ως γνώμονας η ημερομηνία έναρξης ισχύος του **Π.Δ. 71/1988** «Κανονισμός Πυροπροστασίας Κτιρίων». Συγκεκριμένα, ως Υφιστάμενα κτίρια θεωρούνται εκείνα όπου η υποβολή αίτησης για έκδοση οικοδομικής άδειας έγινε πριν την ημερομηνία έναρξης ισχύος του προαναφερόμενου Προεδρικού Διατάγματος, ενώ ως νέα θεωρούνται εκείνα τα κτίρια που η αίτηση για έκδοση οικοδομικής άδειας υποβλήθηκε μετά την έναρξη ισχύος του. Προκειμένου να διαπιστωθεί αν ένα κτίριο είναι νέο ή υφιστάμενο για να εφαρμοσθεί η αντίστοιχη νομοθεσία πυροπροστασίας, ο ενδιαφερόμενος πρέπει να προσκομίσει την οικοδομική άδεια του κτιρίου ή εναλλακτικά οποιοδήποτε έγγραφο στοιχείο (π.χ. βεβαίωση Δήμου ή Κοινότητας, άδεια Ε.Ο.Τ, μισθωτήριο συμβόλαιο, λογαριασμό Δ.Ε.Η. κ.λ.π.) που να αποδεικνύει αν το κτίριο είναι υφιστάμενο ή νέο.

Ο «Κανονισμός Πυροπροστασίας Κτιρίων» διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος του κτιρίου που θέλουμε να μελετήσουμε. Συνεπώς, υπάρχουν διαφορετικά άρθρα του Κανονισμού σε περίπτωση κατοικιών, ξενοδοχείων, εκπαιδευτηρίων, γραφείων, χώρων στάθμευσης, καταστημάτων, κτιρίων υγείας και κοινωνικής πρόνοιας, σφραγιστικών ιδρυμάτων, βιοτεχνιών και βιομηχανιών, χώρων συνάθροισης κοινού καθώς και πρατηρίων υγρών καυσίμων.

## **ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΤΙΡΙΩΝ (Π.Δ. 71/88)**

Από την Εφημερίδα της Κυβερνήσεως Αθήνα 17 Φεβρουαρίου 1988 Τεύχος πρώτο αριθμός φύλλου 32.

### **ΠΡΟΕΔΡΙΚΟ ΔΙΑΤΑΓΜΑ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 71 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΤΙΡΙΩΝ Ο ΠΡΟΕΔΡΟΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ.**

Έχοντας υπόψη:

1. Τις διατάξεις του άρθρου 90 παράγραφος 4 του Ν.Δ. 8/1973 Περί Γενικού Οικοδομικού Κανονισμού που διατηρήθηκαν σε ισχύ με το άρθρο 31 παράγραφος 1α του Ν. 1577/1985 (ΦΕΚ 210/Α), του οποίου παρατάθηκε η ισχύς με την υπ' αριθ. 296/68/1987 απόφαση (ΦΕΚ 31/Β/22.1.87).
2. Την υπ. αριθ. Υ. 1291/1987 απόφαση του Πρωθυπουργού Ύσταση θέσης αναπληρωτή Υπουργού στα Υπουργεία Εξωτερικών, Εθνικής Άμυνας, Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Μεταφορών και Επικοινωνιών και Υφυπουργού στο Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας (ΦΕΚ 526/Β).

3. Την υπ' αριθ. Υ. 1436/1987 απόφαση του Πρωθυπουργού Καθορισμός αρμοδιοτήτων του Αναπληρωτή Υπουργού Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων Μανόλη Παπαστεφανάκι (ΦΕΚ 549/Β).
4. Την υπ' αριθ. 65/1988 γνωμοδότηση του Συμβουλίου της Επικρατείας, με πρόταση του Υπουργού Δημόσιας Τάξης και του Αναπληρωτή Υπουργού Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, αποφασίζουν.

## **1.2. ΓΕΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ.**

Στο Άρθρο 1 παρατίθενται οι ορισμοί της πυρασφάλειας και η ταξινόμηση των κτιρίων όπως συμπληρώθηκε με τη Υ.Α. 81813/5428/1993 (ΦΕΚ 647 τ. Α'). Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα αναφερθούν οι ορισμοί που είναι χρήσιμοι για την κατανόηση του πειράματός μας.

### **1.2.1. ΟΡΙΣΜΟΙ - ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ.**

- Αδιέξοδο χαρακτηρίζεται μία κοινόχρηστη περιοχή του ορόφου από κάθε σημείο της οποίας η διαφυγή μπορεί να γίνει μόνο προς μία κατεύθυνση.
- Άκαυστο δομικό υλικό χαρακτηρίζεται εκείνο που πληροί τα κριτήρια της δοκιμασίας ακαυστότητας.
- Ακεραιότητα απέναντι στην φωτιά ενός δομικού στοιχείου είναι η ικανότητά του να εμποδίζει το πέρασμα των φλογών και των θερμών καυσαερίων στη μη εκτεθειμένη πλευρά του, στην περίπτωση προσβολής φωτιάς από την μία πλευρά.
- Άμεση απόσταση διαφυγής λέγεται το μήκος της ευθείας γραμμής από τυχόν σημείο ενός ορόφου, μετρούμενη μέσα στο περίγραμμα του κτιρίου, προς την πλησιέστερη έξοδο κινδύνου, αγνοώντας τα ενδιάμεσα χωρίσματα και τους τοίχους, εκτός από αυτούς του πυροπροστατευμένου κλιμακοστασίου.
- Ανιχνευτές πυρκαγιάς λέγονται τα όργανα ενός συστήματος αυτόματης ανίχνευσης πυρκαγιάς, τα οποία συνεχώς ή σε τακτά χρονικά διαστήματα παρακολουθούν την τυχόν εμφάνιση φυσικών ή και χημικών φαινομένων, επακόλουθων της φωτιάς, σε μια ορισμένη περιοχή του κτιρίου και μεταδίδουν τα αντίστοιχα σήματα συναγερμού ή ελέγχου.
- Αντίσταση στην δίοδο της θερμότητας ενός δομικού στοιχείου είναι η ικανότητά του να εμποδίζει τη μετάδοση δια μέσου της μάζας του ενός προκαθορισμένου ποσού θερμότητας.
- Απροστάτευτη όδευση διαφυγής λέγεται το πρώτο τμήμα μιας όδευσης διαφυγής, που περιβάλλεται από δομικά στοιχεία χωρίς ειδικές απαιτήσεις πυραντίστασης και καταλήγει σ' ένα χώρο σχετικά ή απόλυτα ασφαλή.



- Αυτοκλειόμενο κούφωμα λέγεται εκείνο που είναι εξοπλισμένο με κατάλληλο μηχανισμό επαναφοράς του στην κλειστή θέση.
- Αυτόματος καταιονητήρας λέγεται συσκευή συνδεδεμένη με το δίκτυο παροχής νερού, η οποία ενεργοποιείται αυτόματα σε μια προκαθορισμένη θερμοκρασία και εκτοξεύει νερό.
- Έξοδος κινδύνου είναι το άνοιγμα εισόδου σε πυροπροστατευμένη όδευση διαφυγής, ή κατευθείαν σε ασφαλή υπαίθριο χώρο.
- Εξωτερικό κλιμακοστάσιο λέγεται εκείνο που κατασκευάζεται έξω από το περίγραμμα του κτιρίου.
- Επικίνδυνος χώρος λέγεται κάθε χώρος ενός κτιρίου όπου, παράγονται ή και χρησιμοποιούνται ή και αποθηκεύονται ιδιαίτερα εύφλεκτα και εκρηκτικά υλικά, υγρά, εμπορεύματα κ.λπ.
- Επιφανειακή εξάπλωση φλόγας είναι εκείνη που γίνεται με ορισμένη ταχύτητα πάνω στην επιφάνεια ενός δομικού στοιχείου ή υλικού, αφού αυτό αναφλεγεί.
- Εσωτερικά τελειώματα λέγονται τα κατασκευαστικά στοιχεία με τα οποία γίνεται η τελική διαμόρφωση των εσωτερικών επιφανειών των κτιρίων, όπως επιχρίσματα, επενδύσεις, επιστρώσεις, χρωματισμοί, αρμολογήματα, μονώσεις κ.λπ.
- Ευστάθεια σε φωτιά ενός δομικού στοιχείου είναι η ικανότητά του να μην καταρρέει ή να μην ξεπερνά όρια παραμόρφωσης, όταν φορτισμένο με προκαθορισμένο φορτίο, εκτίθεται στην επίδραση της φωτιάς.
- Καυστό δομικό υλικό λέγεται οποιοδήποτε υλικό δεν πληροί τα κριτήρια της δοκιμασίας ακαυστότητας.
- Όδευση διαφυγής λέγεται μία συνεχής και χωρίς εμπόδια πορεία για τη διαφυγή από οποιοδήποτε σημείο ενός κτιρίου προς ένα ασφαλή, υπαίθριο συνήθως χώρο, σε περίπτωση πυρκαγιάς.
- Οικοδομικό διάκενο λέγεται το κενό που περικλείεται από δομικά στοιχεία (συμπεριλαμβανομένης και της ψευδοροφής) ή περιέχεται μέσα σ' ένα δομικό στοιχείο. Στα διάκενα δεν συμπεριλαμβάνονται οι αίθουσες, τα ντουλάπια, τα προστατευμένα φρεάτια, οι καπνοδόχοι και οι διάφοροι αγωγοί.
- Οριζόντια έξοδος λέγεται μία έξοδος δια της οποίας παρέχεται δυνατότητα διαφυγής από ένα πυροδιαμέρισμα προς άλλο πυροδιαμέρισμα που βρίσκεται στον ίδιο όροφο ή από έναν όροφο κτιρίου προς όροφο γειτονικού κτιρίου που βρίσκεται στην ίδια περίπου στάθμη.
- Οριζόντιες εξοδοί επιτρέπεται να υποκαθιστούν μέχρι και τις μισές από τις απαιτούμενες εξόδους κινδύνου.

- Όροφος εκκένωσης είναι ο όροφος του κτιρίου, από τον οποίο εξέρχονται προς ασφαλή χώρο οι οδεύσεις διαφυγής.
- Παροχή όδευσης διαφυγής είναι ο αριθμός των ατόμων που είναι δυνατό να διαφύγει έγκαιρα, σε περίπτωση πυρκαγιάς, χρησιμοποιώντας αυτή την όδευση.
- Πραγματική απόσταση απροστάτευτης όδευσης διαφυγής λέγεται το μήκος της πορείας που φυσιολογικά θα διανύσει ένα άτομο για να διαφύγει, σε περίπτωση πυρκαγιάς, από τυχόν σημείο ενός ορόφου μέχρι την πλησιέστερη έξοδο κινδύνου.
- Πυραντίσταση λέγεται η ικανότητα μιας κατασκευής ή ενός δομικού στοιχείου να αντιστέκεται για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα, που ονομάζεται δείκτης πυραντίστασης, στα θερμικά αποτελέσματα μιας φωτιάς, χωρίς απώλεια της ευστάθειας, της ακεραιότητας και της αντίστασης στη δίοδο της θερμότητας.
- Πυράντοχο κούφωμα λέγεται κάθε κούφωμα, που δοκιμαζόμενο μαζί με τις διατάξεις στήριξης του σε δοκιμασία πυραντίστασης, παρουσιάζει ένα καθορισμένο δείκτη πυραντίστασης.
- Πυροδιαμέρισμα: τμήμα κτιρίου ή και ολόκληρο κτίριο που περικλείεται ερμητικά από δομικά στοιχεία με προκαθοριζόμενο, κατά περίπτωση, δείκτη πυραντίστασης.
- Πυροθερμικό φορτίο: το ποσό της εκλυόμενης θερμότητας από την καύση όλων των υλικών μέσα σ' ένα χώρο κτιρίου.
- Πυροπροστατευμένη όδευση διαφυγής λέγεται εκείνο το τμήμα της όδευσης (κλιμακοστάσιο, διάδρομος, προθάλαμος κ.λπ.) που περικλείεται από πύρανα δομικά στοιχεία με προκαθορισμένο δείκτη πυραντίστασης.
- Ιχθυοφραγμός λέγεται κάθε κατασκευή που άκαυστα ή περιορισμένης ακουστότητας υλικά, που διακόπτει οικοδομικό διάκενο ή γεμίζει αρμούς και χάσματα οικοδομικών στοιχείων, ώστε να εμποδίζεται η διέλευση καπνού και φλογών μέσα απ' αυτά.
- Τελική έξοδος είναι η κατάληξη μιας όδευσης διαφυγής από ένα κτίριο, που οδηγεί σε μια οδό ή σ' έναν ανοικτό χώρο ασφαλή από τον κίνδυνο της φωτιάς ή και του καπνού.

### **1.3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥΣ.**

Λόγω της ύπαρξης πολλών ειδών κτιρίων έχουν διαμορφωθεί κάποιες κατηγορίες σύμφωνα με την χρήση τους. Στην περίπτωση του πειράματος μας έχουμε τριώροφη κατοικία, οπότε ταξινομείται στην Α κατηγορία του Πίνακα 1.

**1.3.1.** Για τους σκοπούς του παρόντος Κανονισμού τα κτίρια ταξινομούνται ανάλογα με τη χρήση τους σε 9 κατηγορίες, σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα 1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1**

	<b>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ</b>	<b>ΕΙΔΗ ΚΤΙΡΙΩΝ</b>
<b>A.</b>	<b>Κατοικίες</b>	<b>Κτίρια διαμερισμάτων, Ξεχωριστές κατοικίες, Οικοτροφεία.</b>
B.	Ξενοδοχεία	Ξενοδοχεία, Ξενώνες.
Γ.	Εκπαιδευτήρια	Σχολικά Κτίρια όλων των κατηγοριών και βαθμίδων εκπαίδευσης.
Δ.	Γραφεία	Κτίρια με δημόσια ή και ιδιωτικά γραφεία.
E.	Καταστήματα	Κτίρια για αποθήκευση, έκθεση και πώληση εμπορευμάτων.
ΣΤ	Χώροι συνάθροισης κοινού	Κτίρια που χρησιμοποιούνται για τη συνάθροιση ατόμων, για κοινωνικές, οικονομικές, πνευματικές, ψυχαγωγικές ή αθλητικές δραστηριότητες.
Z.	Βιομηχανίες - Αποθήκες	Κτίρια που στεγάζουν βιομηχανικές και βιοτεχνικές δραστηριότητες ή και χρησιμοποιούνται για αποθήκευση πρώτων υλών & βιομηχανικών προϊόντων.
H.	Νοσηλευτικές εγκαταστάσεις – φυλακές	Νοσοκομειακά κτίρια, Γηροκομεία, Παιδοβρεφονηπιακοί σταθμοί (με ύπνο), Κτίρια σωφρονισμού (φυλακές - αναμορφωτήρια).
Θ.	Χώροι στάθμευσης οχημάτων και πρατήρια υγρών καυσίμων	Υπαίθρια, υπόγεια και υπέργεια κτίρια στάθμευσης αυτοκινήτων και πρατήρια υγρών καυσίμων.

**1.3.2.** Λεπτομερέστερος προσδιορισμός των κτιρίων που ανήκουν σε κάθε κατηγορία δίνεται στις Ειδικές Διατάξεις του παρόντος Κανονισμού. Σε περίπτωση αμφιβολίας για τον προσδιορισμό της χρήσης ενός κτιρίου, αρμόδια για την κατάταξή του στη συγγενέστερη κατηγορία είναι η ελέγχουσα Δημόσια Αρχή.

Ο χαρακτηρισμός της κατηγορίας αναφέρεται σε ολόκληρο το κτίριο ή σ' ένα τμήμα του ή σ' ένα πυροδιαμέρισμα. Αφορά στην κυρία χρήση του κτιρίου. Τυχόν δευτερεύουσα άλλη χρήση που συνυπάρχει στο κτίριο εξετάζεται χωριστά, αν πρόκειται για κατοικία ή αν καταλαμβάνει επιφάνεια μεγαλύτερη του 1/4 της συνολικής επιφάνειας του κτιρίου.

**1.3.3.** Ανεξάρτητα από τη χρήση του, ένα κτίριο ή ένα τμήμα κτιρίου μπορεί να χαρακτηριστεί υψηλού βαθμού κινδύνου από τη φύση των περιεχομένων του. Συγκεκριμένα, όταν τα περιεχόμενα παρουσιάζουν μεγάλη αναφλεξιμότητα, ταχύτητα επιφανειακής εξάπλωσης της φλόγας και έκλυση θερμότητας ή παράγουν πολλά τοξικά καυσαέρια ή έχουν κίνδυνο έκρηξης.

Ο χαρακτηρισμός «υψηλού βαθμού κινδύνου» ισχύει και για την περίπτωση που η πυκνότητα του πυροθερμικού φορτίου του κτιρίου είναι μεγαλύτερη από 2.000 MJ/m<sup>2</sup> (περίπου 100 Kg/m<sup>2</sup> ισοδύναμο ξύλου). Στην περίπτωση μεμονωμένων επικίνδυνων χώρων (π.χ. λεβητοστάσια, δεξαμενές καυσίμων κ.λ.π.) ισχύουν τα μέτρα της παραγράφου 3.2.5 του κεφαλαίου της Δομικής Πυροπροστασίας.

Στην περίπτωση κτιρίου ή τμήματος κτιρίου, με υψηλό βαθμό κινδύνου, εκτός από τις απαιτήσεις της κύριας χρήσης ισχύουν και τα παρακάτω:

- Το επιτρεπόμενο μέγιστο μήκος της πραγματικής απόστασης απροστάτευτης όδευσης διαφυγής είναι 20 μέτρα.
- Η παροχή ανά μονάδα πλάτους καθορίζεται σε 30 άτομα για τις σκάλες και σε 50 άτομα για τα οριζόντια τμήματα της όδευσης διαφυγής.
- Επιβάλλεται η εγκατάσταση αυτομάτου συστήματος πυρόσβεσης.

Όπως προαναφέραμε στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετάται η περίπτωση πυρκαγιάς σε κατοικία τριών ορόφων που χρησιμοποιείται για στέγαση. Παρακάτω παραθέτουμε την νομοθετική διάταξη του **Άρθρου 5** όπως τροποποιήθηκε με την Υ.Α. 58185/2474/1991 (ΦΕΚ 360 τ. Α').

## **1.4. ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ.**

### **1.4.1. ΓΕΝΙΚΑ.**

«Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται όλα τα κτίρια που χρησιμοποιούνται για κατοικία, δηλαδή μονοκατοικίες, διπλοκατοικίες, πολυκατοικίες, ανεξάρτητα από τον τρόπο δόμησής τους και τη θέση του κτιρίου στο οικόπεδο ή τον αριθμό των ορόφων τους».

Όπου υπάρχουν και άλλες χρήσεις μέσα στο ίδιο το κτίριο ισχύουν τα αναφερόμενα στην παράγραφο 1.2.2. των Γενικών Διατάξεων.

### **1.4.2. ΟΔΕΥΣΕΙΣ ΔΙΑΦΥΓΗΣ.**

#### **1.4.2.1. Σχεδιασμός.**

**2.1.1.** Ο θεωρητικός πληθυσμός των κτιρίων με χρήση κατοικίας υπολογίζεται με την αναλογία 1 ατόμου / 18 τετρ. μέτρα μεικτού εμβαδού κάτοψης, όπου συμπεριλαμβάνονται και οι ανοικτοί εξώστες (πατάρια).

**2.1.2.** Η παροχή ανά μονάδα πλάτους (0,60 του μέτρου) καθορίζεται σε:  
α) 100 άτομα για οριζόντιες οδεύσεις (διάδρομοι - πόρτες).  
β) 75 άτομα για κατακόρυφες οδεύσεις (σκάλες - ράμπες).

Το ελάχιστο πλάτος των οδύσεων διαφυγής για αυτήν την κατηγορία κτιρίων ορίζεται σε 0,80 του μέτρου. Το ελάχιστο ελεύθερο πλάτος για τις πόρτες των οδύσεων διαφυγής μπορεί να είναι 0,70 του μέτρου (μόνο στο πρώτο απροστάτευτο στάδιο της όδευσης).

**2.1.3.** i) Επιβάλλεται γενικά ο σχεδιασμός δύο τουλάχιστον εναλλακτικών οδύσεων διαφυγής, που καταλήγουν σε αντίστοιχες εξόδους κινδύνου για:

α) Ορόφους με πληθυσμό μεγαλύτερο των 50 ατόμων

β) Πολυκατοικίες με περισσότερους από 6 ορόφους και πληθυσμό ορόφου μεγαλύτερο των 30 ατόμων.

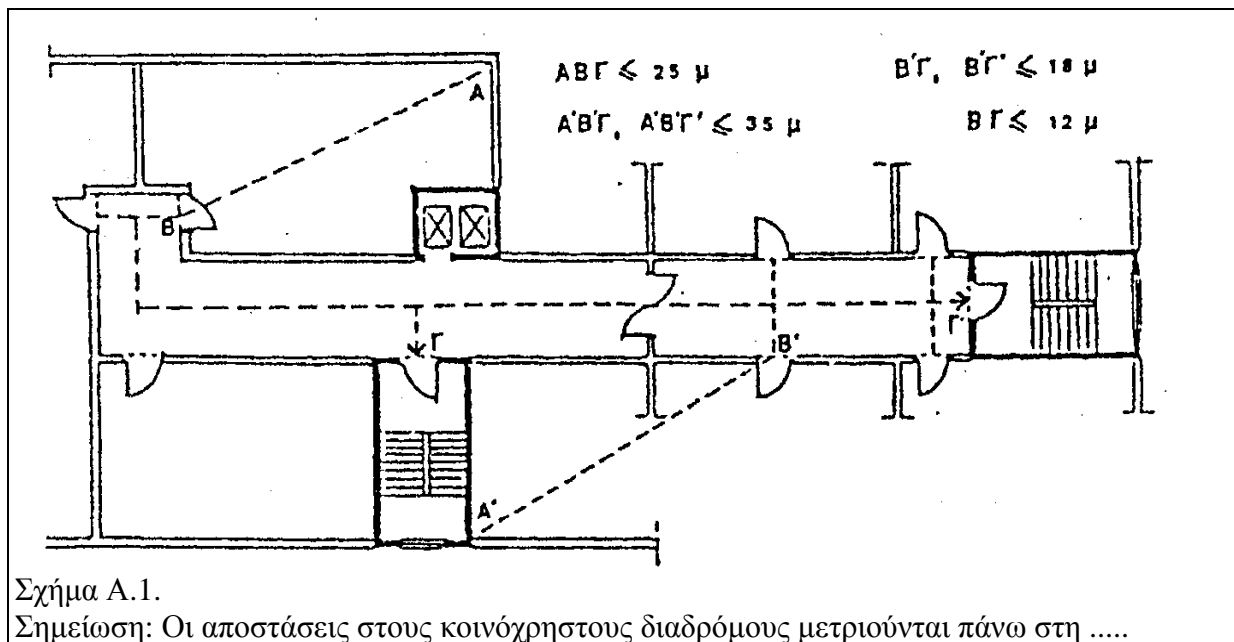
Η μία από τις απαιτούμενες εξόδους επιτρέπεται να οδηγεί και σε εξωτερικό κλιμακοστάσιο με πλήρεις προδιαγραφές ασφαλείας, σύμφωνα με την παράγραφο 2.3.3 των Γενικών Διατάξεων.

Η απόσταση από την εξώπορτα ενός διαμερίσματος μέχρι την έξοδο κινδύνου δεν πρέπει να ξεπερνά τα 18 μέτρα, ενώ η συνολική πραγματική απόσταση απροστάτευτης όδευσης από το πιο απομακρυσμένο σημείο δεν επιτρέπεται να ξεπερνά τα 35 μέτρα.

Στην περίπτωση που ο κοινόχρηστος διάδρομος περικλείεται από δομικά στοιχεία με δείκτη πυραντίστασης τουλάχιστον 30 λεπτών ή διαθέτει αυτόματο σύστημα πυρανίχνευσης ή πυρόσβεσης, το όριο των 18 μέτρων μπορεί να επεκταθεί σε 30 μέτρα και το όριο των 35 μέτρων σε 45 μέτρα. Δεν επιτρέπεται η όδευση διαφυγής να περνά από αδιέξοδα μεγαλύτερα των 12 μέτρων.

ii) Στην περίπτωση μίας μόνο εξόδου κινδύνου η απόσταση της εξώπορτας ενός διαμερίσματος από αυτήν δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 12 μέτρα, ενώ η μέγιστη πραγματική απόσταση απροστάτευτης όδευσης φθάνει τα 25 μέτρα.

Στην ανάλογη περίπτωση πυροπροστατευμένου διαδρόμου (30 λεπτών) ή με σύστημα πυρανίχνευσης ή πυρόσβεσης, τα αντίστοιχα όρια είναι 25 και 35 μέτρα.



**2.1.4.** Το πλάτος των ή της τελικής εξόδου δεν πρέπει να είναι μικρότερο από το μισό του αθροίσματος των απαιτούμενων μονάδων πλάτους των οδύσεων, για όλους τους ορόφους πάνω από τον όροφο εκκένωσης, σε κτίρια κατοικίας με περισσότερους από

3 ορόφους. Στα κτίρια μέχρι 3 ορόφους, το πλάτος της τελικής εξόδου υπολογίζεται από το άθροισμα των παροχών όλων των υπέργειων και υπόγειων ορόφων.

#### 1.4.2.2. Πυροπροστασία.

Τα δομικά στοιχεία του περιβλήματος πυροπροστατευμένης όδευσης διαφυγής (οριζόντιοι διάδρομοι - κλιμακοστάσια) πρέπει να έχουν ελάχιστο δείκτη πυραντίστασης σύμφωνα με τις απαιτήσεις του παρακάτω αναφερόμενου Πίνακα Α.1. Κατά τα άλλα, ισχύουν οι παράγραφοι 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3 των Γενικών Διατάξεων.

Δεν απαιτείται η δημιουργία ξεχωριστού πυροπροστατευμένου φρεατίου (3.2.9 Γενικών Διατάξεων) για κλιμακοστάσια κτιρίων μέχρι 4 ορόφους και με εμβαδόν ορόφου μικρότερο των 500 τ. μέτρων. Στην περίπτωση όμως αυτή, οι εξώπορτες των διαμερισμάτων πρέπει να είναι πυράντοχες, με δείκτη πυραντίστασης τουλάχιστον 30 λεπτών.

#### 1.4.2.3. Φωτισμός - Σήμανση.

**2.3.1.** Ο τεχνητός φωτισμός των οδεύσεων διαφυγής πρέπει να διαρκεί τουλάχιστον για χρονικό διάστημα ίσο με το γινόμενο: αριθμός ορόφων X 20 δευτερόλεπτα.

**2.3.2.** Φωτισμός ασφαλείας σύμφωνα με την παράγραφο 2.6.3. των Γεν. Διατάξεων απαιτείται για κτίρια με 5 ή περισσότερους ορόφους.

**2.3.3.** Σε κτίρια όπου υπάρχουν τουλάχιστον δύο εναλλακτικές οδεύσεις με τις αντίστοιχες τελικές εξόδους, επιβάλλεται σήμανση σύμφωνα με την παράγραφο 2.6 των Γ. Διατάξεων.

### 1.4.3. ΔΟΜΙΚΗ ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ.

**3.1.** Τα φέροντα δομικά στοιχεία, καθώς και τα στοιχεία του περιβλήματος των πυροδιαμερισμάτων (τοιχοί, πατώματα, πόρτες κ.λ.π.), δεν επιτρέπεται να έχουν δείκτη πυραντίστασης μικρότερο από τον αναφερόμενο στον πίνακα Α.1.

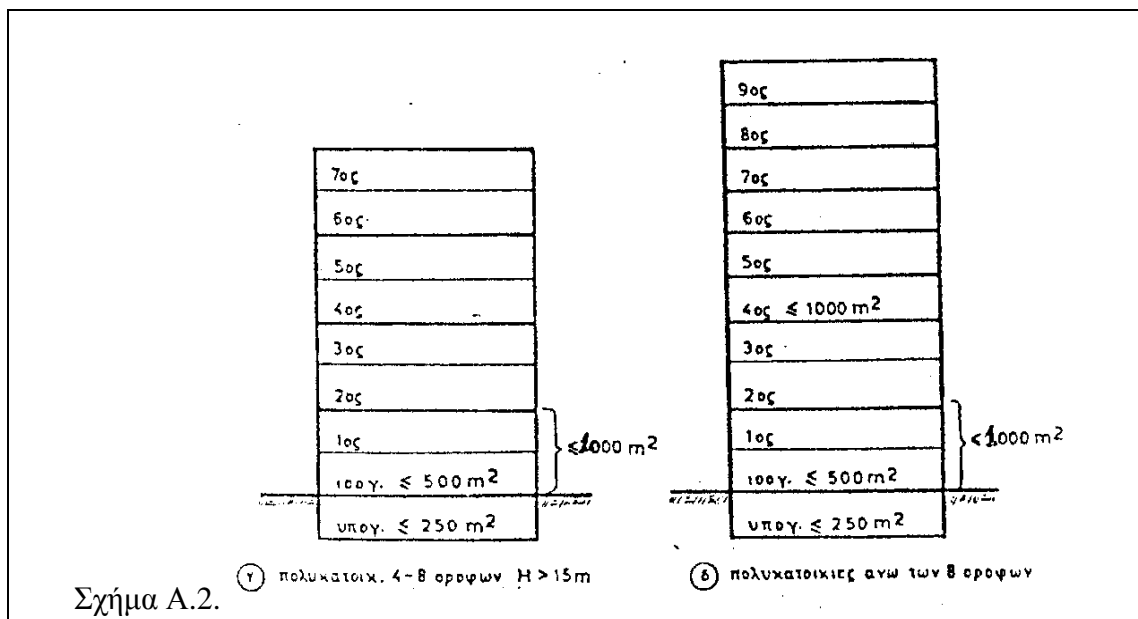
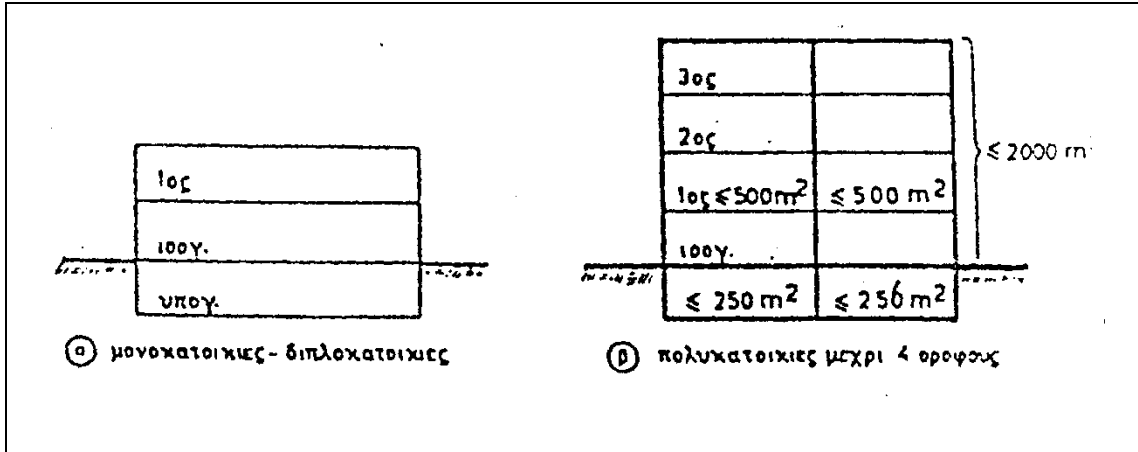
#### ΠΙΝΑΚΑΣ Α.1

ΕΛΑΧΙΣΤΟΙ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΥΡΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ		
Τύπος κτιρίου	Ισόγειο & Όροφοι	Υπόγειο*
Μονόροφα	30 λεπτά	60 λεπτά
<b>Από 2 - 4 ορόφους</b>	<b>30 λεπτά</b>	60 λεπτά
Από 5 - 8 ορόφους	60 λεπτά	90 λεπτά
άνω από 8 ορόφους	90 λεπτά	90 λεπτά

\* Μειώνεται κατά 30 λεπτά για υπόγειο με εμβαδό μικρότερο των 150 τ. μέτρων.

**3.2.** Κτίρια κατοικιών που δεν ξεπερνούν τους δύο υπέργειους ορόφους απαλλάσσονται από την απαίτηση δημιουργίας πυροδιαμερίσματος (εκτός από τους επικίνδυνους χώρους της παρακάτω παραγράφου 3.3).

Το μέγιστο επιτρεπόμενο εμβαδόν πυροδιαμερίσματος για κάθε όροφο πολυκατοικίας με περισσότερους από δύο και λιγότερους από εννέα ορόφους είναι 500 τ. μέτρα (σχ. Α.2). Το συνολικό εμβαδόν πυροδιαμερίσματος που εκτείνεται σε περισσότερους από έναν ορόφους δεν επιτρέπεται να ξεπερνά τα 2.000 τ. μέτρα (σχ. Α.2). Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις το ισόγειο υπολογίζεται ως όροφος.



Σχήμα Α.2.

3.3. Επικίνδυνοι χώροι σύμφωνα με την παράγραφο 3.2.5 των Γενικών Διατάξεων (λεβητοστάσια, αποθήκες καυσίμων, κ.λ.π.), πρέπει ν' αποτελούν ξεχωριστό πυροδιαμέρισμα ανεξάρτητα από το εμβαδόν τους, και να μην τοποθετούνται από κάτω ή σε άμεση γειτονία με τις εξόδους των κτιρίων.

3.4. Σε κάθε κτίριο κατοικίας μέχρι 4 ορόφους και με εμβαδόν ορόφου μεγαλύτερο από 500 τ. μέτρα, καθώς και σε όλα τα κτίρια με 5 ή περισσότερους ορόφους, τα λεβητοστάσια, οι αποθήκες καυσίμων και τα μηχανοστάσια πρέπει να είναι εξοπλισμένα με αυτόματο σύστημα πυρανίχνευσης, σύμφωνα με την παράγραφο 4.1 των Γενικών Διατάξεων και με φορητούς πυροσβεστήρες, σύμφωνα με την παράγραφο

4.1 των Γενικών Διατάξεων και με φορητούς πυροσβεστήρες, σύμφωνα με το Π. Δ/γμα 922/1977 (ΦΕΚ 315 τ. Α').

**3.5.** Σε όλα τα κτίρια με χρήση κατοικίας, σε χώρους ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, όπου υπάρχει πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς, πρέπει να τοποθετούνται τουλάχιστον δύο φορητοί πυροσβεστήρες.

Με βάση το υπ. Αρθ. 39112 Φ701.2/12-10-98 έγινε κωδικοποίηση ερμηνευτικών και διευκρινιστικών διαταγών επί της εφαρμογής του Π.Δ. 71/88. Παρακάτω παρατίθεται η συμπληρωματική νομοθετική διάταξη για κατοικίες.

## **1.5. ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ (ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ).**

**1.5.1.** Στην παράγραφο 3.1 και συγκεκριμένα στην στήλη του ΠΙΝΑΚΑ «Τύπος κτιρίου» γίνεται η ακόλουθη διάκριση :

- α) Μονόροφα Ισόγειο
- β) 2 - 4 ορόφους
- γ) 5 - 8 ορόφους
- δ) πάνω από 8 ορόφους
- ε) η πυλωτή υπολογίζεται όροφος.

**1.5.2.** Τα μέτρα και μέσα πυροπροστασίας για κτίρια κατοικιών που εμπίπτουν στις διατάξεις του Π.Δ/τος 71/88 καθορίζονται από το άρθρο 5 αυτού και εφαρμόζονται κατά την διαδικασία του άρθρου 15 όπως αυτό συμπληρώθηκε με το Π.Δ. 374/88 και ισχύει σήμερα.

**1.5.3.** Ο φωτισμός των οδύσεων διαφυγής σε κτίρια κατοικιών που αναφέρεται στην παραγρ. 2.3.1 του άρθρου 5 δεν έχει καμία σχέση με τον εφεδρικό ή το φωτισμό ασφαλείας, αλλά είναι ο τεχνητός φωτισμός με πηγή ενέργειας το ηλεκτρικό ρεύμα της Δ.Ε.Η όπως αυτό σαφέστερα περιγράφεται στις παραγράφους 2.6.1 και 2.6.2 των γενικών διατάξεων του κανονισμού.

**1.5.4.** Τα μέτρα και μέσα πυροπροστασίας σε υφιστάμενα κτίρια κατοικιών όταν τούτο ζητηθεί προτείνονται από τις Π.Υ. με την σύνταξη έκθεσης επιθεώρησης σύμφωνα με την 7600/700 Φ.51/1/6-7-1960 Εγκύκλιο Δ/γή Α.Π.Σ.

**1.5.5.** Σύμφωνα με το άρθρο 27 παράγρ. 2.4.3.4 του Κτιριοδομικού Κανονισμού (ΦΕΚ.59/Δ/3-2-89) απαγορεύεται η χρήση υγραερίων καυσίμων για κεντρικές θερμάνσεις, εκτός αν χρησιμοποιείται αέριο με συνεχή ροή από δίκτυο φωταερίου ή φυσικού αερίου πόλης.

**1.5.6.** Στις περιπτώσεις δεξαμενών πετρελαίου που βρίσκονται σε λεβητοστάσια και χρησιμοποιούνται για ανάγκες κεντρικής θέρμανσης κατοικιών (υφισταμένων-νέων) από άποψη πυροπροστασίας εφαρμόζονται οι διατάξεις του Π.Δ. 922/1977 (ΦΕΚ Α' 315) σε συνδυασμό του άρθρου 27 του Κτιριοδομικού Κανονισμού.



Επίσης σε χώρους λεβητοστασίων, δεξαμενών καυσίμων κ.λ.π., κτιρίων με χρήση κατοικίας, για τα οποία έχει εκδοθεί άδεια οικοδομής μετά την έναρξη ισχύος του Π.Δ. 71/88, επιπλέον των μέτρων του Π.Δ. 922/1977, έχουν εφαρμογή και οι διατάξεις των παραγρ. 3.3 και 4.2 του άρθρου 5 του Π.Δ 71/1988.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

### 2.1. ΦΩΤΙΑ.

Φωτιά ορίζεται η ταυτόχρονη παραγωγή θερμότητας και φωτός η οποία παρατηρείται κατά τη γρήγορη καύση εύφλεκτου υλικού που συνοδεύεται συνήθως από φλόγα. Με τον όρο «φωτιά σε κτίριο» εννοούμε την μη ελεγχόμενη καύση σε κλειστό χώρο ενός όγκου που δεν ξεπερνά 100 m<sup>3</sup>.

Φλόγα ορίζεται ο γεωμετρικός τόπος στον οποίο λαμβάνει χώρα το μεγαλύτερο ενεργειακό μέρος του καυσίμου σε θερμική ενέργεια, δηλαδή, είναι το μίγμα αντίδρασης αερίων και στερεών τα οποία εκπέμπουν ορατό, υπέρυθρο φως και μερικές φορές υπεριώδες.

Καύσιμο ονομάζεται το υλικό που αντιδρά κατά την καύση και με την ανάφλεξη του έχουμε την δημιουργία φωτιάς. Η δημιουργία και η εξάπλωση της φωτιάς εξαρτάται από την κατάλληλη θερμοκρασία, το εύφλεκτο καύσιμο υλικό, την παρουσία οξυγόνου ή κάποιου άλλου οξειδωτικού παράγοντα (Σεραφείμ, 2008).

### 2.2. ΤΡΙΓΩΝΟ ΦΩΤΙΑΣ.

Τα απαραίτητα στοιχεία που πρέπει να συνυπάρχουν για να διατηρηθεί η φωτιά είναι τρία, το καύσιμο, το οξυγόνο ή κάποιος άλλος έντονος οξειδωτικός παράγοντας και φλόγα ή άλλη πηγή θερμότητας. Αυτά τα τρία στοιχεία ορίζουν το «τρίγωνο της φωτιάς».

Αναλυτικά τα τρία στοιχεία της φωτιάς είναι:

- **Οξυγόνο:** Βρίσκεται ελεύθερο στην ατμόσφαιρα σε ποσοστό 21% του ατμοσφαιρικού αέρα. Το ποσοστό αυτό είναι αρκετό για να συντηρηθεί η καύση. Το οξυγόνο υφίσταται σε πολλές περιπτώσεις καταστροφών ή αλλοιώσεων όπως στην καύση, στο σκούριασμα ή και στο σάπισμα.
- **Καύσιμο:** Ότι υπάρχει πάνω στη Γη μπορεί να καεί, δηλαδή μέσω μιας χημικής διαδικασίας με το οξυγόνο να παραχθεί φλόγα και θερμική ενέργεια. Για να έχουμε όμως φλόγα πρέπει το καύσιμο να μετατραπεί σε εύφλεκτο αέριο, έτσι ώστε το αέριο να ενωθεί με το οξυγόνο. Αυτή η μετατροπή του υλικού από στερεό σε υγρό ή αέριο ονομάζεται πυρόλυση.
- **Θερμότητα:** Διευκολύνει την ένωση του καυσίμου με το οξυγόνο. Στην πραγματικότητα, ανεβάζει την θερμοκρασία του υλικού μέχρι το υλικό να εξαερωθεί και στο τέλος να αναφλεγεί. Ως «θερμοκρασία ανάφλεξης» χαρακτηρίζουμε την οριακή θερμοκρασία στην οποία αναφλέγεται και αρχίζει να καίγεται το υλικό (Πυροσβεστικά Μέσα Πλοίου, ΤΕΕ, Φούντη, 2008).

Η απουσία κάποιου στοιχείου από το τρίγωνο της φωτιάς ή σε περίπτωση που ένα από τα τρία δεν έρχεται σε επαφή επαρκώς, με τα άλλα δυο οδηγεί στην καταστολή της.



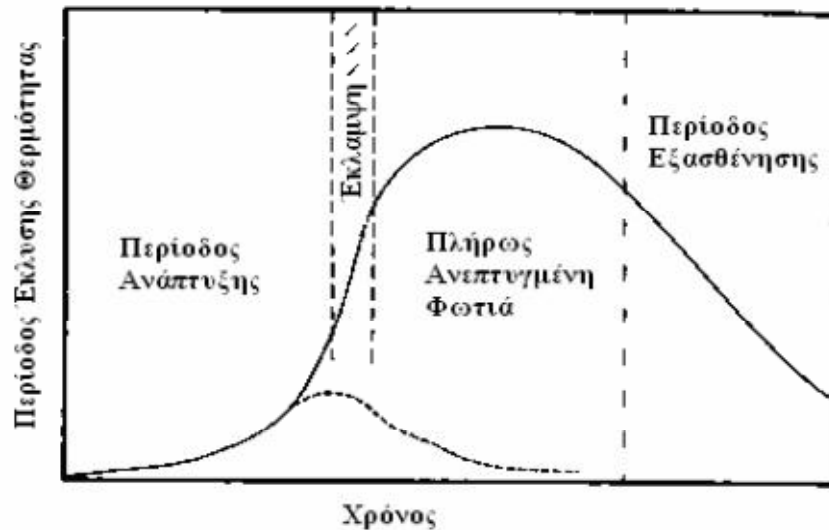
**Εικόνα 2.1.:** Στο σχήμα απεικονίζεται το τρίγωνο της φωτιάς και φαίνονται ξεκάθαρα τα τρία στοιχεία του.

Μια πιο σύγχρονη θεωρία υποστηρίζει ότι το τρίγωνο της φωτιάς είναι τετράγωνο, αφού προστίθεται η χημική αλυσιδωτή αντίδραση στα στοιχεία που απαιτούνται για την ύπαρξη φωτιάς. Λίγο πιο συγκεκριμένα, η αλυσιδωτή χημική αντίδραση είναι η τάση που αποκτά η καύσιμη ύλη να εξαερώνεται και να ατμοποιείται κλιμακωτά και αυτό γιατί στην ήδη υπάρχουσα θερμοκρασία του καυσίμου προστίθεται και η θερμοκρασία του ίδιου του καυσίμου από την καύση του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η φωτιά να μεγαλώνει όσο υπάρχει ακόμα καύσιμη ύλη (Πυροσβεστικά Μέσα Πλοίου, ΤΕΕ).

### 2.3. ΣΤΑΔΙΑ ΦΩΤΙΑΣ.

Εφόσον υπάρχει επαρκής αερισμός η φωτιά εξελίσσεται σε τρία βασικά στάδια:

- Το στάδιο της ανάπτυξης της φωτιάς (pre-flashover fire): κατά το οποίο η μέση θερμοκρασία του δωματίου είναι σχετικά χαμηλή και επικρατεί γύρω από την περιοχή που ξεκίνησε το φαινόμενο.
- Το στάδιο της πλήρως ανεπτυγμένης φωτιάς (post-flashover fire): στο οποίο παρατηρείται καύση των αναφλέξιμων αντικειμένων και εξάπλωση της φλόγας στο δεδομένο χώρο.
- Το στάδιο της εξασθένησης της φωτιάς: το οποίο υφίσταται εφόσον η τιμή της μέσης θερμοκρασίας έχει ως μέγιστη τιμή το 80% της μέγιστης θερμοκρασίας (Πατρώνης, 2009).



**Διάγραμμα 2.1.:** Στο παραπάνω σχήμα μπορούμε να παρατηρήσουμε την εξέλιξη μιας τυπικής φωτιάς σε κτίριο συναρτήσει του χρόνου.

Στο τρίτο στάδιο οι αναφλέξιμες επιφάνειες εξαντλούνται με αποτέλεσμα την εξασθένηση της φωτιάς και την μείωση του ρυθμού καύσης. Σε αυτήν την περίπτωση, υπάρχει η πιθανότητα τα αναφλέξιμα στερεά να συνεχίσουν να καίγονται διατηρώντας υψηλές θερμοκρασίες.

## 2.4. ΕΚΛΑΜΨΗ.

Μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου σταδίου υπάρχει ένα μεταβατικό σημείο, η αναφερόμενη έκλαμψη ή έναυση (flashover). Αφού πραγματοποιηθεί η έκλαμψη:

- Η φωτιά μπορεί να κάνει ολοσχερώς το αντικείμενο από το οποίο ξεκίνησε η φωτιά χωρίς να προχωρήσει σε όλα γειτονικά αντικείμενα και μετά από λίγο να σβήσει λόγω έλλειψης καύσιμης ύλης.
- Η φωτιά να σβήσει λόγω έλλειψης οξυγόνου ή να καίει σε πολύ μικρή έκταση και με πολύ αργούς ρυθμούς εφόσον το διαθέσιμο οξυγόνο δεν είναι αρκετό.
- Η φωτιά να αναπτυχθεί πλήρως λόγω της διαθέσιμης ποσότητας οξυγόνου και καυσίμου και να προχωρήσει σε όλα τα αντικείμενα του χώρου (Πατρώνης, 2009).

Παρόλο που η διάρκεια της έκλαμψης είναι αισθητά μικρότερη και από τα τρία στάδια που αναφέραμε, έχει μεγάλη σημασία γιατί μετά την έκλαμψη οι πιθανότητες επιβίωσης των ανθρώπων μέσα στο χώρο μειώνονται δραματικά. Κατά τη διάρκεια του σταδίου της πλήρως ανεπτυγμένης φωτιάς η έκλαμψη έχει τη μέγιστη τιμή της, πρακτικά σε εκείνο το χρονικό σημείο η φωτιά εξαπλώνεται και μεταδίδεται σε γειτονικούς χώρους μέσα από πόρτες ή παράθυρα. Αποτέλεσμα του συγκεκριμένου φαινομένου είναι μερική ή ολοκληρωτική κατάρρευση του κτιρίου (Παπαιωάννου, 2008).

#### **2.4.1. ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΕΚΚΛΑΜΨΗΣ.**

Όταν σε ένα χώρο υπάρχει φωτιά, έκτος από τις φλόγες έχουμε άλλες τρεις πηγές θερμικής ενέργειας λόγω ακτινοβολίας (Σεραφεΐμ Επαμεινώνδας ,2008):

- Τις θερμές επιφάνειες οι οποίες βρίσκονται στο ανώτερο μέρος του χώρου.
- Τις φλόγες κάτω από την οροφή.
- Τα θερμά προϊόντα καύσης που παγιδεύονται κάτω από την οροφή.

Όσο αναπτύσσεται η φωτιά, η επίδραση της κάθε πηγής μεταβάλλεται. Η φύση της καύσιμης ύλης και ο αερισμός του δωματίου είναι δυο παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την έκλαμψη.

#### **2.4.2. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΕΚΚΛΑΜΨΗΣ.**

Ο χρόνος που απαιτείται για την εμφάνιση έκλαμψης είναι και ο χρόνος που χρειάζονται οι φλόγες για να εξαπλωθούν σε όλες τις επιφάνειες του χώρου (Σεραφεΐμ, 2008). Οι παράγοντες που τον επηρεάζουν είναι:

- Η πηγή έναυσης: εάν η πηγή έναυσης βρίσκεται στο κέντρο του χώρου η φωτιά αναπτύσσεται ταχύτερα και συνεπώς, η έκλαμψη εμφανίζεται και αυτή πιο γρήγορα.
- Η μέση πυκνότητα: οι επιφάνειες ή τα αντικείμενα με μικρή πυκνότητα διαδίδουν την φωτιά γρηγορότερα, άρα και ο ρυθμός της φωτιάς αυξάνεται και παρατηρούμε το φαινόμενο της έκλαμψης πιο γρήγορα.
- Το υλικό επένδυσης: τα εύφλεκτα υλικά επένδυσης μειώνουν το χρόνο εμφάνισης έκλαμψης.

#### **2.5. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΦΩΤΙΑΣ.**

Σε περίπτωση που το φλεγόμενο υλικό δεν είναι σε θέση να παράγει την απαιτούμενη θερμότητα ώστε να περάσουμε από το στάδιο της φωτιάς στο φαινόμενο της έκλαμψης πρέπει να αναφλεγούν και άλλα καύσιμα αντικείμενα. Το αν θα αναφλεγεί κάποιο αντικείμενο εξαρτάται από την απόσταση του από το σημείο που ξεκίνησε η φωτιά.

Ανάφλεξη ενός αντικειμένου πραγματοποιείται όταν αυτό βρίσκεται κοντά στην πηγή έναυσης και έρχεται σε επαφή με τη φλόγα. Σε αντίθετη περίπτωση η φωτιά είναι δυνατόν να συνεχιστεί μόνο μέσω ακτινοβολούμενης θερμότητας (Σεραφεΐμ, 2008). Η ακτινοβολούμενη θερμότητα εξαρτάται από το ρυθμό καύσης.

Όλες οι επιφάνειες ενός χώρου μπορούν να οδηγήσουν στην γρήγορη ανάπτυξη της φλόγας σε δυο περιπτώσεις:

- Όταν μεγάλο ποσό θερμότητας εγκλωβίζεται στις εύφλεκτες επιφάνειες
- Όταν η δημιουργία δυναμικής ροής οδηγεί σε γρήγορους ρυθμούς μετάδοσης θερμότητας.

## **2.6. ΡΥΘΜΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ.**

Το πόσο γρήγορα αναπτύσσεται η φωτιά εξαρτάται από το ρυθμό με τον οποίο μεταδίδεται, από το σημείο ανάφλεξης στα υπόλοιπα καύσιμα υλικά του χώρου και από τις φυσικές ιδιότητες και τη χημική σύσταση του κάθε υλικού. Για να έχουμε πλήρως ανεπτυγμένη φωτιά απαιτούνται πολύ υψηλές θερμοκρασίες στην οροφή του δωματίου (συνήθως μεγαλύτερες από 600° C). Ο ρυθμός αύξησης του τοπικού ρυθμού καύσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την συνολική καιόμενη επιφάνεια αλλά και από το φαινόμενο μεταφοράς θερμότητας λόγω ακτινοβολίας (Πατρώνης, 2009).

## **2.7. ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ.**

Τα στερεά υλικά έχουν τη δυνατότητα να καούν σε οποιαδήποτε πλευρά τους σε αντίθεση με τα υγρά υλικά τα οποία καίγονται μόνο στην οριζόντια επιφάνεια τους. Ο ρυθμός μετάδοσης της φλόγας επηρεάζεται σημαντικά από τη γωνία κλίσης της καύσιμης επιφάνειας. Συγκεκριμένα, λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του όταν η επιφάνεια είναι κάθετη, και μειώνεται συναρτήσει της γωνίας κλίσης. Ο ρυθμός διάδοσης της φλόγας προς τα πάνω είναι πολύ πιο γρήγορος συγκριτικά με το ρυθμό μετάδοσης της φλόγας προς τα κάτω.

Υπάρχουν τρεις περιπτώσεις στις οποίες διαφοροποιείται ο ρυθμός μετάδοσης της φλόγας:

- Όταν η φλόγα διαδίδεται προς τα κάτω, η εξάπλωσή της εμποδίζεται από τη ροή του αέρα. Σε αυτήν την περίπτωση ο ρυθμός μετάδοσης της φλόγας είναι αργός αλλά σταθερός.
- Όταν η φλόγα εξαπλώνεται ανοδικά κατά μήκος της κάθετης επιφάνειας, η φλόγα και τα θερμά αέρια κινούνται με την ίδια φορά με αποτέλεσμα να έχουμε αυξανόμενο ρυθμό μεταφοράς της φλόγας.
- Όταν έχουμε οριζόντια διάδοση της φωτιάς σε μια οροφή στην οποία δεν υπάρχουν ανοίγματα (πόρτες, παράθυρα) επομένως δεν έχουμε εισαγωγή περισσότερου αέρα και έτσι δεν έχουμε γρήγορη εξάπλωση της φλόγας (Σεραφείμ Επαμεινώνδας, 2008).

## 2.8. ΠΑΧΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΥΛΙΚΟΥ.

Σε περίπτωση που το καύσιμο υλικό είναι πολύ λεπτό και σε όλα του τα σημεία επικρατεί η ίδια θερμοκρασία, τότε ο ρυθμός εξάπλωσης της φλόγας είναι αντιστρόφως ανάλογος του πάχους του δοκιμίου. Ερευνητές απέδειξαν ότι ο ρυθμός μετάδοσης της θερμότητας της φλόγας εξαρτάται όλο και λιγότερο από το πάχος, όταν αυτό ξεπεράσει τα 1,5 mm. Ο ρυθμός μετάδοσης παραμένει σταθερός για πάχη 5,0 - 7,5mm.

Σε περιπτώσεις που το καύσιμο αντικείμενο δεν έχει παντού το ίδιο πάχος έχει παρατηρηθεί ότι στο πιο λεπτό κομμάτι του αντικειμένου έχουμε μεταφορά θερμότητας λόγω αγωγής μέσω της αέριας φάσης ενώ στο πιο παχύ σημείο έχουμε αγωγή λόγω της στερεάς φάσης. Όλα αυτά αφορούν υλικά που δεν λιώνουν ή καταστρέφονται στη φωτιά (Παπαϊωάννου, 2008).

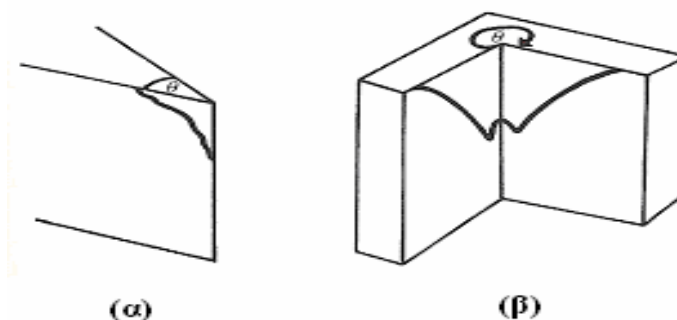
## 2.9. ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ.

### Ø ΠΛΑΤΟΣ.

Το πλάτος του αντικειμένου δεν επηρεάζει τον ρυθμό εξάπλωσης μιας κάθετης φλόγας με φορά προς τα κάτω σε αντίθεση με τον ρυθμό που επηρεάζεται όταν η φλόγα εξαπλώνεται κάθετα και με φορά προς τα πάνω.

### Ø ΑΚΜΕΣ - ΓΩΝΙΑ $\theta$ .

Η φλόγα διαδίδεται γρηγορότερα κατά μήκος μιας ακμής ή σε μια γωνία απ' ό,τι πάνω σε μία επίπεδη επιφάνεια. Έχει αποδειχθεί ότι ο ρυθμός εξάπλωσης της φλόγας εξαρτάται από την γωνία  $\theta$ .



**Σχήμα 2.1.:** Στο σχήμα βλέπουμε δυο περιπτώσεις της ζητούμενης γωνίας  $\theta$ .

Όσο μικρότερη είναι η γωνία  $\theta$  τόσο ή ακμή του αντικειμένου που εμπεριέχει την γωνία  $\theta$  συμπεριφέρεται ως αντικείμενο μικρού πάχους με αποτέλεσμα η φωτιά να εξαπλώνεται προς τα κάτω και από τις δυο πλευρές της ακμής (Παπαϊωάννου, 2008).

## 2.10. ΠΛΗΡΩΣ ΑΝΕΠΤΥΓΜΕΝΗ ΦΩΤΙΑ.

Όταν περάσουμε στο στάδιο της πλήρως ανεπτυγμένης φωτιάς οι κοντινές εκτεθειμένες επιφάνειες των εύφλεκτων αντικειμένων αρχίζουν να καίγονται ενώ ταυτόχρονα, αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες, περίπου 1100 °C, και παρατηρείται αύξηση του ρυθμού έκλυσης θερμότητας. Η θερμοκρασία παραμένει σε αυτές περίπου τις τιμές μέχρι να μειωθεί ο ρυθμός έκλυσης εύφλεκτων πτητικών.

Στο στάδιο της πλήρως ανεπτυγμένης φωτιάς τα υλικά μπορούν να φτάσουν τις θερμοκρασίες στις οποίες μπορεί να μειωθεί η αντοχή τους. Είναι γνωστό ότι η μείωση της αντοχής κάποιων υλικών μπορεί να προκαλέσει τοπική ή ολική κατάρρευση ενός κτιρίου. Παρότι είναι γνωστή η θερμοκρασία στην οποία ένα υλικό χάνει μέρος της αντοχής του, δεν μπορούμε να γνωρίζουμε πόσο γρήγορα θα καταρρεύσει αφού αυτό εξαρτάται από το φορτίο που δέχεται, τη στήριξη που έχει από άλλα υλικά και από την εξάρτηση των ιδιοτήτων του από την θερμοκρασία.

Υπάρχει μια περίοδος πριν το στάδιο της έκλαμψης, το οποίο μπορεί να αμεληθεί αφού επικρατούν σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες. Σε αυτό το στάδιο παρατηρούμε και την μείωση της αντοχής των υλικών (Σεραφεΐμ, 2008).

Γενικά σε ένα δωμάτιο κατά το στάδιο της πλήρως ανεπτυγμένης φωτιάς η θερμική ισορροπία μπορεί να εκφραστεί από τον τύπο:

$$q_c = q_L + q_w + q_R + q_B$$

όπου:

- $q_c$  → ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας λόγω καύσης.
- $q_L$  → ο ρυθμός απώλειας θερμότητας λόγω της αντικατάστασης θερμών αερίων με ψυχρά.
- $q_w$  → ο ρυθμός απώλειας θερμότητας μέσω των τοίχων, της οροφής, του πατώματος.
- $q_B$  → ο ρυθμός αποθήκευσης θερμότητας στον όγκο που καταλαμβάνει το αέριο (αμελητέο).

## 2.11. ΚΑΠΝΟΣ.

Ο καπνός αποτελείται από διάφορα σωματίδια που έχουν προέλθει από ατελή καύση άνθρακα. Ο καπνός μπορεί να δυσκολέψει την εκκένωση ενός κτιρίου αφού μειώνει την ορατότητα.

Τα προϊόντα της καύσης αποτελούνται από πολλές, σύνθετες χημικές ενώσεις και βλαβερά αέρια επικίνδυνα για τον άνθρωπο. Εάν κάποιος παραμείνει εκτεθειμένος στα προϊόντα της καύσης για αρκετή ώρα μπορεί και να μην καταφέρει να επιβιώσει. Πολύ



μεγάλη σημασία έχει η συγκέντρωση των αερίων, αφού αν ξεπεράσουν μια συγκεκριμένη τιμή, τότε η εκκένωση ενός κτιρίου χωρίς εξωτερική βοήθεια καθίσταται αδύνατη.

Ο καπνός μπορεί να παραχθεί σε δυο διαφορετικές περιπτώσεις, στην πρώτη περίπτωση έχουμε μικρή σε μέγεθος φωτιά και αυτό είναι το στάδιο που μπορεί να ανιχνευτεί η φωτιά και να αντιδράσει ο άνθρωπος και στην δεύτερη περίπτωση είναι αυτή της πλήρους ανεπτυγμένης φωτιάς κατά την οποία παράγονται πολύ μεγάλες ποσότητες καπνού οι οποίες μπορούν να εισχωρήσουν και σε άλλους χώρους στους οποίους δεν υπάρχει μέχρι εκείνη τη στιγμή, φωτιά.

Η κίνηση του καπνού επηρεάζεται από εξωτερικές δυνάμεις όπως όλα τα ρευστά. Οπότε δυνάμεις που θα επηρεάσουν την κίνηση του καπνού είναι:

- Η άνωση που δημιουργείται λόγω της φωτιάς.
- Η άνωση από τη διαφορά της εσωτερικής και της εξωτερικής θερμοκρασίας.
- Η κίνηση του αέρα και οι εξωτερικοί άνεμοι.
- Το σύστημα διακίνησης του αέρα στο κτίριο.

Στα αρχικά στάδια της φωτιάς, τα προϊόντα της καύσης κινούνται με φορά προς τα πάνω, μέχρι να φτάσουν στην οροφή του δωματίου. Ο θερμός αέρας κινείται οριζόντια και συνεχίζει την πορεία του μέχρι να βρει πόρτες ή παράθυρα. Όταν ο θερμός αέρας δεν βρει διέξοδο πυκνώνει και περιορίζεται στον όγκο του δωματίου. Το πόσο γρήγορα θα πυκνώσει ο καπνός εξαρτάται από την ποσότητα καπνού που παράγει η φωτιά (Σεραφείμ, 2008).

## **2.12. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ.**

- Σύνθεση ατμόσφαιρας.

Σε περιοχές που υπάρχει υψηλή συγκέντρωση οξυγόνου τα εύφλεκτα υλικά αναφλέγονται πιο εύκολα. Μια περιοχή θεωρείται ότι είναι πλούσια σε οξυγόνο όταν η μερική πίεση του οξυγόνου είναι μεγαλύτερη από 160mmHg, δηλαδή την κανονική ατμοσφαιρική πίεση. Γενικά με την αύξηση του οξυγόνου έχουμε και αύξηση στο ρυθμό εξάπλωσης της φλόγας.

- Θερμοκρασία καυσίμου.

Όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του καυσίμου έχουμε και αύξηση του ρυθμού εξάπλωσης της φλόγας, πράγμα αυτονόητο αφού όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του καυσίμου τόσο μειώνεται η θερμότητα που χρειάζεται το άκαυστο αντικείμενο για να αρχίσει να καίγεται.

- Μετάδοση θερμότητας μέσω ακτινοβολίας.

Η μετάδοση θερμότητας μέσω ακτινοβολίας αυξάνει το ρυθμό μετάδοσης της φλόγας αφού έτσι το καύσιμο θερμαίνεται μακριά από το σημείο της φλόγας. Παρόλα αυτά ο αυξανόμενος ρυθμός καύσης δημιουργεί ισχυρές φλόγες οι οποίες αυξάνουν τη μετάδοση θερμότητας μέσω ακτινοβολίας και κατά συνέπεια η φωτιά εξαπλώνεται γρηγορότερα.

- Ατμοσφαιρική Πίεση.

Γνωρίζουμε ότι όταν η ατμοσφαιρική πίεση είναι μεγάλη ο ρυθμός εξάπλωσης της φλόγας είναι, επίσης μεγαλύτερος αφού η φωτιά εμπλουτίζεται με οξυγόνο και ενισχύεται.

- Κίνηση του αέρα.

Η κίνηση του αέρα επηρεάζει το ρυθμό εξάπλωσης της φωτιάς. Όταν ο αέρας έχει την ίδια κατεύθυνση με τη φλόγα ο ρυθμός εξάπλωσης αυξάνεται. Στην περίπτωση, όμως, που η φλόγα έχει αντίθετη φορά από τον αέρα υπάρχουν δυο περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση ο αέρας κινείται με πολύ μεγάλη ταχύτητα και ο ρυθμός της φλόγας μειώνεται. Σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν ο αέρας έχει μικρή σχετικά ταχύτητα ο ρυθμός μετάδοσης αυξάνεται (Σεραφείμ, 2008).

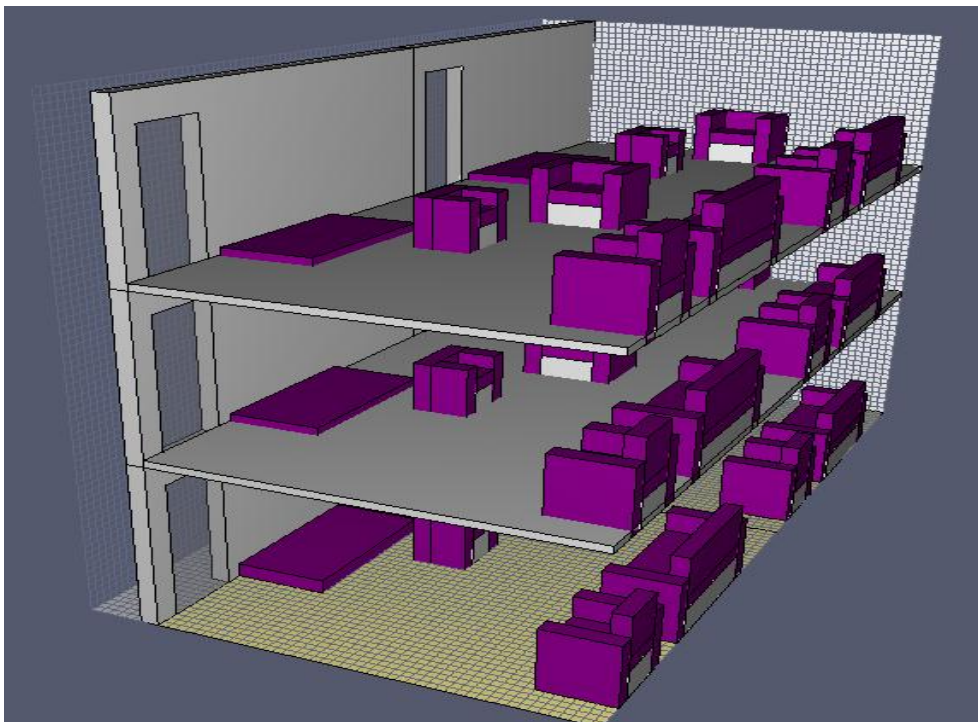
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

### 3.1. ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ.

Η κατοικία μας αποτελείται από 3 ορόφους, αυτός είναι και ο υπολογιστικός μας χώρος ο οποίος παρουσιάζεται σε ορθογωνική κάτοψη και για την μοντελοποίηση του χρησιμοποιήθηκε συγκεκριμένο πρόγραμμα. Οι υπολογισμοί πρέπει να λαμβάνουν χώρα μέσα σε ένα πεδίο το οποίο αποτελείται από ορθογωνικά πεδία. Τα μη-ορθογωνοποιημένα πεδία δεν μπορούν να μοντελοποιηθούν.

Άρα, ο υπολογιστικός μας χώρος μπορεί να περιγραφεί σαν ένα ορθογωνικό κουτί το οποίο χωρίζεται σε ορθογωνικά κελιά. Το κελί περιγράφεται από τρεις συνιστώσες  $[ i, j, k ]$  που αντιπροσωπεύουν την θέση του κελιού στους άξονες  $x, y$  και  $z$  αντίστοιχα. Μέσα σε ένα κελί η ταχύτητα του αερίου όπως και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά υποθέτονται ομοιόμορφα αλλάζοντας μόνο τον χρόνο.

Το πείραμα μας μοντελοποιήθηκε με τις ακριβείς διαστάσεις του χώρου και με τα έπιπλα που βρίσκονται στο εσωτερικό του. Κατά τις υπολογιστικές προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκε ένα πλέγμα  $104 \times 54 \times 72$  κελιών, άρα το σύνολο των κελιών είναι 404352, και κάθε κελί έχει διαστάσεις  $0,10 (m) \times 0,10 (m) \times 0,10 (m)$ . Οι συνολικές διαστάσεις του υπολογιστικού χώρου είναι  $10,4 (m) \times 4,6 (m) \times 7,2 (m)$ .



Σχήμα 3.1.: Ισομετρική Απεικόνιση Υπολογιστικού Πλέγματος.

Σε κάθε κώδικα Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής όπως και στον κώδικα FDS (Fire Dynamic Simulator) που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα μας οι ιδιότητες στο εσωτερικό κάθε κελιού θεωρούνται σταθερές, ο αριθμός των κελιών πρέπει να είναι τέτοιος, ώστε κάθε κελί να περιέχει σε ολόκληρο τον όγκο του ένα και μόνο υλικό (Σεραφειμ, 2008). Αυτός ήταν ο σημαντικότερος περιορισμός που λάβαμε υπ' όψιν κατά τη διαδικασία καθορισμού των διαστάσεων του πλέγματος.

## **3.2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ.**

Μείζον πρόβλημα στις μέρες μας είναι η υπολογιστική προσομοίωση της φωτιάς σε εσωτερικούς χώρους, η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών καθώς και του κλάδου της υπολογιστικής ρευστομηχανικής (Computational Fluid Dynamics) οδήγησαν στην δημιουργία νέων εργαλείων με σκοπό την λύση των προβλημάτων αυτών.

Είναι πολύ δύσκολο να περιγραφεί με ακρίβεια η ανάμειξη του καυσίμου και των προϊόντων της καύσης με τον ατμοσφαιρικό αέρα που περιβάλλει την φωτιά. Απαιτούνται ακόμα μεγάλες ερευνητικές προσπάθειες για την μελέτη της φωτιάς, μία αρχή έχει γίνει με τον κώδικα υπολογιστικής ρευστομηχανικής ( Fire Dynamics Simulator - **FDS**).

Το FDS σκοπεύει στην επίλυση πρακτικών προβλημάτων πυρκαγιάς στην μηχανική πυρασφάλειας και παράλληλα δίνει ένα εργαλείο για την μελέτη των θεμελιωδών κανόνων της δυναμικής της πυρκαγιάς και της καύσης. Με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων δίνεται μία καλή βάση για την μελέτη και την αξιολόγηση των επιλογών της ασφάλειας των κτιρίων πριν την κατασκευή και την σωστή επιλογή πυρόσβεσης για την αντιμετώπιση ατυχημάτων. Επιπλέον έχουμε την δυνατότητα να ερευνήσουμε τα αποτελέσματα και μετά από το ατύχημα.

### **3.2.1. ΚΩΔΙΚΑΣ FDS.**

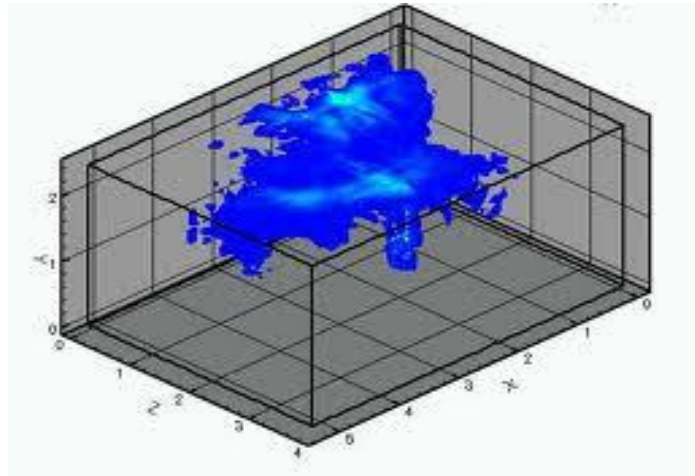
Ο κώδικας FDS είναι ένα υπολογιστικό πρόγραμμα που στοχεύει στην επίλυση των εξισώσεων της ρευστομηχανικής, στον συγκεκριμένο κώδικα επιλύονται αριθμητικά οι εξισώσεις Navier – Stokes, διαμορφωμένες κατάλληλα για θερμικές ροές χαμηλής ταχύτητας με σκοπό την ανάλυση της μεταφοράς θερμότητας και καπνού σε συνθήκες φωτιάς (Πατρώνης, 2009).

Άρα με τον κώδικα FDS έχουμε την μοντελοποίηση μιας ποικιλίας φαινομένων, όπως:

- Της πυρόλυσης.
- Τις χημικές αντιδράσεις των αερίων.
- Της χαμηλής ταχύτητας μεταφοράς θερμότητας, με ακτινοβολία και συναγωγή μεταξύ των αερίων και των στερεών.
- Των προϊόντων καύσης για παράδειγμα τον καπνό, το μονοξείδιο του άνθρακα και άλλες ουσίες που μπορούν να παραχθούν κατά την διάρκεια της φωτιάς.
- Την διάδοση της φλόγας καθώς και της εξάπλωσής της.
- Ενεργοποίηση ανιχνευτών φωτιάς, θερμότητας και καταιονιστήρων (ψεκαστών νερού).

- Ρίψη νερού από καταιονιστήρες και αλληλεπίδραση της φωτιάς με το νερό από τους ψεκαστές.

Χαρακτηριστικό του κώδικα FDS είναι ο υπολογισμός μιας πληθώρας φυσικών μεγεθών σε κάθε κελί του πλέγματος, για κάθε χρονική στιγμή. Παρατηρούμε ότι ο αριθμός των ποσοτήτων που είναι δυνατόν να υπολογίσουμε σε κάθε κελί είναι πολύ μεγαλύτερος από τις ποσότητες που είναι δυνατόν να μετρήσουμε σε ένα πείραμα (Σεραφείμ, 2008). Το υπολογιστικό πλέγμα αναπαριστά τον χώρο δοκιμών της πειραματικής διάταξης, μορφής ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου.



**Εικόνα 3.1. :** Απεικόνιση πλέγματος ορθογώνιας διατομής.

Με τον κώδικα FDS υπολογίζονται τα ακόλουθα φυσικά μεγέθη:

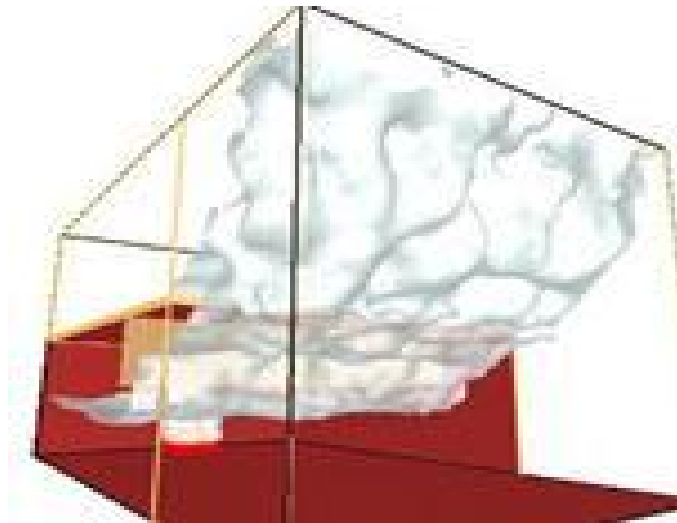
- Η θερμοκρασία.
- Η πίεση.
- Η πυκνότητα.
- Η ταχύτητα.
- Η χημική σύνθεση.

Κατά την διάρκεια εκτέλεσης του κώδικα FDS μπορούν να υπολογιστούν επιπλέον κάποια ενδεικτικά μεγέθη (Πατρώνης, 2009):

- Θερμοκρασία εσωτερικού χώρου.
- Θερμοκρασία στερεών επιφανειών.
- Ρυθμός καύσης.
- Ροή θερμότητας από συναγωγή αλλά και από ακτινοβολία.
- Μάζα σταγονιδίων ύδατος ανά μονάδα επιφανείας.
- Ροή μάζας και θερμότητας διαμέσου ανοιγμάτων ή στερεών.
- Συνολικός ρυθμός έκλυσης θερμότητας (Heat Release Rate-HRR).
- Χρόνοι ενεργοποίησης ψεκαστών και ανιχνευτών.

### 3.2.2. ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ FDS.

Η απεικόνιση των υπολογιστικών αποτελεσμάτων του κώδικα FDS παρουσιάζεται με τη βοήθεια του προγράμματος γραφικής απεικόνισης Smokeview (Olenick και Carpenter, 2003). Το Smokeview οπτικοποιεί τα αποτελέσματα του FDS απεικονίζοντας την ροή και τις δισδιάστατες και τρισδιάστατες σκιαγραφήσεις της ροής των στοιχείων του αερίου καθώς και την κατεύθυνση του. Επίσης έχει την δυνατότητα να οπτικοποιεί στατικά δεδομένα σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές χρησιμοποιώντας τα δισδιάστατα και τρισδιάστατα περιγράμματα.



Εικόνα 3.2.: Απεικόνιση της ροής των στοιχείων του αερίου καθώς και της κατεύθυνση του.

### 3.2.3. ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.

Οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται στο FDS (Σεραφείμ, 2008) είναι η διατήρηση της ορμής, της μάζας και της ενέργειας, οι οποίες απεικονίζονται παρακάτω:

- Διατήρηση της μάζας.

$$\frac{\partial r}{\partial t} + \nabla r u = 0$$

- Διατήρηση της ορμής.

$$\frac{\partial}{\partial t}(rh) + \nabla r u u + \nabla r = r f + \nabla t_{ij}$$

- Διατήρηση της ενέργειας.

$$\frac{\partial}{\partial t}(rh) + \nabla rhu = \frac{Dp}{Dt} + \rho \mathcal{E} - \nabla q + \Phi$$

- Καταστατική Εξίσωση Τελείου Αερίου.

$$p = \frac{rRT}{M}$$

Οι παραπάνω εξισώσεις αποτελούν μια ομάδα μερικών διαφορικών εξισώσεων οι οποίες είναι όλες συναρτήσεις των τριών διαστάσεων του χώρου και του χρόνου και έχουν τους εξής αγνώστους:

- $\rho \rightarrow$  πυκνότητα
- $u \rightarrow$  ταχύτητα χρησιμοποιούνται οι συνιστώσες της που είναι:  $u, v, w$
- $T \rightarrow$  θερμοκρασία  $T$
- $p \rightarrow$  πίεση.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ενθαλπία είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και παρουσιάζεται στην εξίσωση:

$$h = \int_{T_0}^T Cp(T')dT'$$

Ο όρος  $t_{ij}$  είναι ο πίνακας τάσεων που ορίζεται μέσω της σχέσης:

$$t_{ij} = m \left[ 2S_{ij} - \frac{2}{3}d_{ij}(\nabla u^2) \right]$$

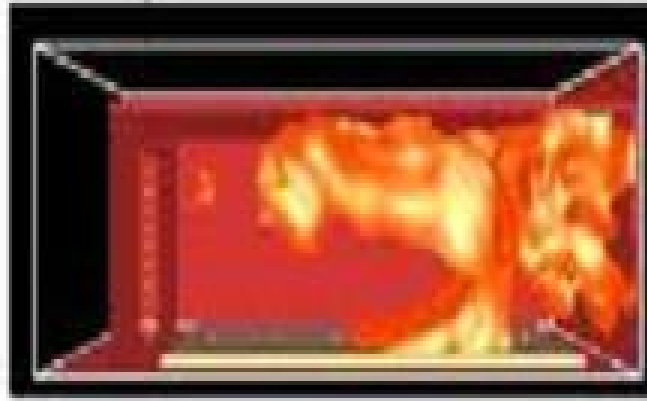
Ο όρος  $\Phi$  είναι ο ρυθμός με τον οποίο η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια λόγω της συνεκτικότητας του ρευστού και υπολογίζεται μέσω της σχέσης:

$$\Phi = t_{ij} \nabla u = m \left[ 2S_{ij} S_{ij} - \frac{2}{3}(\nabla u^2) \right]$$

### 3.2.4. ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΥΣΗΣ.

Στον κώδικα FDS χρησιμοποιείται το μοντέλο κλάσματος μείγματος (mixture fraction model). Το συγκεκριμένο μοντέλο παρουσιάζει την καύση ως ελεγχόμενη από τα φαινόμενα ανάμειξης καυσίμου και οξειδωτικού καθώς και την ταχύτατη αντίδραση του. Το μοντέλο κλάσματος μείγματος βασίζεται στην θεωρία ότι τα μεγάλης κλίμακας φαινόμενα μεταφοράς και ακτινοβολίας μπορούν να προσομοιωθούν άμεσα, ενώ οι φυσικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα πολύ γρήγορα και σε μικρό χώρο απεικονίζονται κατά προσέγγιση.

Στην πραγματικότητα στις περισσότερες περιπτώσεις φωτιάς δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε με ακρίβεια τις χημικές διεργασίες που ελέγχουν την ενέργεια που απελευθερώνεται από την καύση στους εσωτερικούς χώρους. Ακόμα και στην περίπτωση που υπάρχουν διαθέσιμες αναλυτικές πληροφορίες, το υψηλό υπολογιστικό κόστος που απαιτείται καθιστά αδύνατη την λεπτομερή περιγραφή της διαδικασίας της καύσης (FDS, Technical Reference Guide).



**Εικόνα 3.3.:** Απεικόνιση πυρκαγιάς σε εσωτερικό χώρο από υπολογιστικό πρόγραμμα FDS.

Λόγω των παραπάνω αυξάνονται σε μεγάλο βαθμό οι υπολογιστικές απαιτήσεις του μοντέλου καύσης που βασίζεται στην παραδοχή ότι όλα τα στοιχεία που λαμβάνουν μέρος στις αντιδράσεις περιγράφονται μόνο με μία ποσότητα η οποία είναι το κλάσμα μείγματος. Τα κλάσματα μάζας για όλα τα κύρια αντιδρώντα και προϊόντα υπολογίζονται από την τιμή του κλάσματος μείγματος μέσω των σχέσεων κατάστασης (state relations), δηλαδή εμπειρικών εκφράσεων που προκύπτουν από τον συνδυασμό πειραματικών μετρήσεων και απλοποιημένων αναλύσεων.

Άρα το κλάσμα μείγματος καυσίμου ορίζεται από την εξίσωση:

$$f = \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_1 + \dot{m}_2}$$

Όπου  $\dot{m}_1$  η ροή μάζας ρεύματος καυσίμου και  $\dot{m}_2$  η ροή ρεύματος οξειδωτικού.



Στον κώδικα FDS πρέπει να ληφθούν δύο σημαντικοί παράμετροι. Πρώτη παράμετρος είναι ότι η χημική αντίδραση είναι απείρως γρήγορη, με την ανάμειξη καύσιμου και οξειδωτικού, για τον λόγο αυτό δεν μπορούν να συνυπάρχουν ταυτόχρονα και δεύτερη παράμετρος είναι ότι η αντίδραση είναι μη αντιστρεπτή, δηλαδή πραγματοποιείται μόνο με φορά από τα αριστερά προς τα δεξιά όπου ονομάζεται και ιδανική αντίδραση.

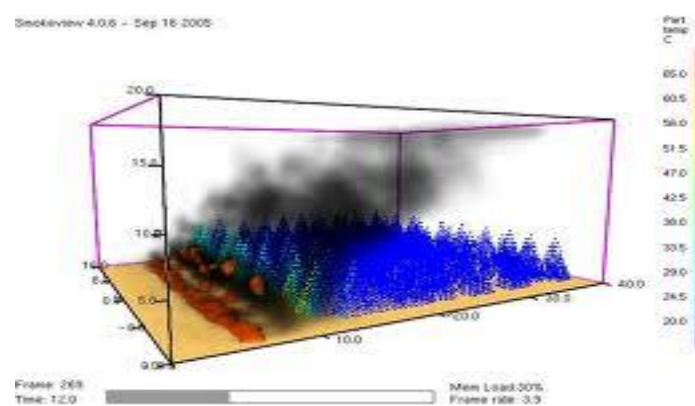
Η περιγραφή της φλόγας περιπλέκεται λόγω της ύπαρξης μεγάλου εύρους χρονικών και χωρικών βαθμίδων στη καύση και της πολυπλοκότητας των χημικών αντιδράσεων, αυτός είναι και ο κυριότερος παράγοντας που τα μοντέλα τυρβωδών ροών δεν είναι τόσο ανεπτυγμένα όσο για τις στρωτές ροές. Κάθε περιγραφή βασίζεται στην απλούστευση των πραγματικών φυσικών διαδικασιών.

Σε περιοχές της φλόγας που η χημική αντίδραση είναι αργή και γίνεται κάτω από συγκεκριμένες φυσικές διεργασίες μεταφοράς και διάχυσης παρατηρείται το φαινόμενο της απόσβεσης καθώς και η δημιουργία και εξαφάνιση των ρύπων. Σε περίπτωση που η χημική αντίδραση είναι πολύ γρήγορη πρέπει οι εφαρμογές που χρησιμοποιούνται να εξασφαλίζουν μια ολοκληρωμένη και σταθερή καύση, δηλαδή συνθήκες που απαιτούν μικρές κλίμακες του χρόνου αντίδρασης (Σεραφείμ, 2008).

### 3.2.5. ΜΟΝΤΕΛΟ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.

Η μεταφορά θερμότητας μέσω ακτινοβολίας περιγράφεται μέσω της επίλυσης της εξίσωσης μεταφοράς ακτινοβολίας για ένα μη διαχέον φαιό αέριο (non-scattering gray gas), επίσης σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο ευρείας ζώνης (wide band model). Η εξίσωση της μεταφοράς ακτινοβολίας επιλύεται χρησιμοποιώντας μία τεχνική παρόμοια με τη μέθοδο πεπερασμένων όγκων για τη μεταφορά μέσω συναγωγής και ονομάζεται Μέθοδος Πεπερασμένου Όγκου (Finite Volume Method – FVM).

Χρησιμοποιώντας 100 διαφορετικές στερεές γωνίες, η επίλυση του μοντέλου ακτινοβολίας απαιτεί περίπου το 15% του συνολικού υπολογιστικού χρόνου. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι στις περιπτώσεις όπου υπάρχουν καταιονηστήρες οι σταγόνες νερού μπορούν να απορροφήσουν θερμική ακτινοβολία (Πατρώνης, 2009).



**Εικόνα 3.4.:** Απεικόνιση πειραματικών δεδομένων από υπολογιστικό πρόγραμμα FDS.

### 3.2.6. ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ FDS.

Όπως προαναφέραμε στον κώδικα FDS οι εξισώσεις επιλύονται σε ένα ή περισσότερα ορθογώνια πλέγματα. Επίσης για να ενσωματώσουμε και να τοποθετήσουμε αρμονικά τα αντικείμενα στο πλέγμα του χώρου θα πρέπει να είναι και αυτά σε ορθογώνιο σχήμα (Σεραφείμ, 2008).

### 3.2.7. ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.

Θερμικές οριακές συνθήκες ορίζονται σε όλες τις στερεές επιφάνειες, ενώ επίσης απαιτούνται επιπλέον στοιχεία για τη συμπεριφορά που επιδεικνύει κάθε υλικό κατά την καύση του (Σεραφείμ, 2008). Στον κώδικα FDS γίνεται διαχωρισμός των καυσίμων σε τρεις κατηγορίες και δίνονται επιγραμμатικά:

- Θερμοπλαστικά καύσιμα.
- Υγρά καύσιμα.
- Απανθρακωμένα καύσιμα.

### 3.2.8. ΠΥΡΟΛΥΣΗ.

Η πυρόλυση είναι μία χημική διάσπαση οργανικών υλικών σε υψηλές θερμοκρασίες με την απουσία οξυγόνου, πρόκειται για ταυτόχρονη αλλαγή της φυσικής φάσης και της χημικής σύνθεσης. Η πυρόλυση είναι μη αναστρέψιμη και μπορεί να πραγματοποιηθεί και με την συμμετοχή και άλλων αντιδραστηρίων, η εκτενής πυρόλυση που αφήνει μόνο άνθρακα ως κατάλοιπο λέγεται ανθρακοποίηση.

Η πυρόλυση είναι μια ειδική περίπτωση θερμόλυσης, συνήθως συμβαίνει για οργανικά υλικά, είναι μία από τις διεργασίες που εμπλέκονται στην απανθράκωση. Σε γενικές γραμμές, η πυρόλυση των οργανικών υλικών παράγει αέρια και υγρά προϊόντα και αφήνει ένα στερεό υπόλειμμα πλουσιότερο σε περιεχόμενο άνθρακα.

Η πρώτη χημική αντίδραση η οποία συμβαίνει στην καύση πολλών στερεών οργανικών καυσίμων, είναι η πυρόλυση. Σαν στερεά οργανικά καύσιμα μπορούν να θεωρηθούν:

- Ξύλο.
- Ύφασμα.
- Χαρτί.
- Ορισμένα είδη πλαστικού.

Για παράδειγμα σε μια φωτιά από ξύλα, οι φλόγες που δημιουργούνται (ορατές φλόγες) δεν οφείλονται μόνο από την καύση του ξύλου, αλλά και από τα αέρια που απελευθερώνονται από την πυρόλυση του. Κατά την τελική διαδικασία της πυρόλυσης του ξύλου αφήνεται ένα στερεό υπόλειμμα το κάρβουνο (char), σε αυτό το στάδιο η φλόγα υποβόσκει. Συνεπώς, η πυρόλυση κοινών υλικών όπως ξύλο, πλαστικό και ύφασμα είναι πολύ σημαντική σε θέματα πυρασφάλειας και πυρόσβεσης. Έχουμε τρεις περιπτώσεις πυρόλυσης, οι οποίες είναι:

- Άνυδρη πυρόλυση: άνυδρη είναι η πυρόλυση χωρίς την παρουσία νερού, το φαινόμενο εμφανίζεται όταν ένα στερεό οργανικό υλικό θερμαίνεται κατάλληλα. Οι διαδικασίες πραγματοποιούνται σε ανοικτή ατμόσφαιρα, όμως τα εξωτερικά στρώματα του υλικού κρατούν το εσωτερικό μακριά από το οξυγόνο, τέτοια φαινόμενα συμβαίνουν κατά την καύση συμπαγών στερεών καυσίμων.
- Ένυδρη πυρόλυση: ένυδρη είναι η πυρόλυση με την παρουσία νερού, είναι ο θερμικός αποπολυμερισμός στη μετατροπή των οργανικών αποβλήτων στο φως ακατέργαστου πετρελαίου.
- Πυρόλυση σε κενό: στην πυρόλυση σε κενό τα οργανικά υλικά θερμαίνονται σε κενό με τον σκοπό να μειωθεί το σημείο βρασμού και να αποφευχθούν παράπλευρες χημικές αντιδράσεις. Στην αστραπιαία πυρόλυση σε κενό, ο χρόνος παραμονής στην μέγιστη θερμοκρασία περιορίζεται στον συντομότερο δυνατό ώστε να περιορισθούν δευτερεύουσες αντιδράσεις.

Οι καταστροφικές πυρκαγιές των κτιρίων έχουν πάντα περιορισμένη παροχή οξυγόνου με αποτέλεσμα να έχουμε αντιδράσεις πυρόλυσης. Έτσι οι μηχανισμοί αντίδρασης της πυρόλυσης και οι ιδιότητες των υλικών της είναι σημαντικές για την μηχανική πυροπροστασίας.



**Εικόνα 3.5.:** Απεικόνιση πυρόλυσης.

### 3.2.8.1. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ.

Στο υπολογιστικό πρόγραμμα FDS (Fire Dynamics Simulator) γίνεται η μοντελοποίηση της πυρόλυσης. Η κινητική των υλικών συμπυκνώνεται σταδιακά χρησιμοποιώντας την εξίσωση Arrhenius, η οποία περιγράφεται με τον παρακάτω τύπο:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{r}{r_0} \right) = A \left( \frac{r}{r_0} \right)^n e^{-\frac{E}{RT}}$$

Όπου:

- $\rho$  → η πυκνότητα του υλικού
- $\rho_0$  → η πυκνότητα του αρχικού υλικού στην αρχή
- $R$  → μία σταθερά αερίου.
- $A$  → παράγοντας συχνότητας και μπορεί να έχει τιμές από το ευρύ φάσμα, [1010,1025] s
- $E$  → η ενέργεια ενεργοποίησης είναι μεταξύ [100 - 500] kJ/mol.

Το  $A$ , το  $E$  και το  $n$  εξαρτώνται από το υλικό. Η εξίσωση Arrhenius μοντελοποιεί μία αντίδραση ενός υλικού, εάν το υλικό υποβάλλεται σε πολλές αντιδράσεις τότε οι παράμετροι πρέπει να βρεθούν χωριστά για κάθε αντίδραση.

Η συμπεριφορά μίας πυρκαγιάς προσδιορίζεται κυρίως από την πυρόλυση των στερεών υλικών. Κατά συνέπεια, προκειμένου να εκτελέσει μια αξιόπιστη προσομοίωση μίας πυρκαγιάς σε εσωτερικό χώρο είναι απαραίτητο να μοντελοποιηθεί με ακρίβεια η διαδικασία πυρόλυσης. Η διεργασία πυρόλυσης μπορεί να ακολουθήσει διαφορετικές διαδρομές, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των στερεών υλικών, επίσης θα πρέπει να αναφερθεί ότι σε περιπτώσεις φωτιάς εσωτερικών χώρων λόγω της ατμόσφαιρας έχουμε την παρουσία μικρής ποσότητας οξυγόνου (Πατρώνης, 2009).

### 3.2.8.2. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ.

Στο υπολογιστικό πρόγραμμα FDS δίνονται οι ιδιότητες των υλικών και τα χαρακτηριστικά τους. Στους παρακάτω πίνακες δίνονται οι τιμές των υλικών μας σύμφωνα με το πρόγραμμα FDS.

Τα υλικά μας είναι:

- FOAM (Πολυουραιθάνη).
- GYPSUM PLASTER (Σκυρόδεμα).
- CARPET PILE (Χαλί).
- FABRIC (Υφασμα).

Το πρόγραμμα FDS υπολογίζει τις thermal properties (θερμικές ιδιότητες) κάθε υλικού, οι οποίες είναι density (πυκνότητα), specific heat (ειδική θερμοχωρητικότητα), conductivity (θερμική αγωγιμότητα), emissivity (θερμική ακτινοβολία) και absorption coefficient (συντελεστής απορρόφησης).

<b>THERMAL PROPERTIES</b>					
<b>MATERIAL</b>	<b>DENSITY</b> [kg/m <sup>3</sup> ]	<b>SPECIFIC HEAT</b> [kJ/(kg*K)]	<b>CONDUCTIVITY</b> [W/(m*K)]	<b>EMISSIVITY</b>	<b>ABSORPTION COEFFICIENT</b> [1/m]
FOAM	40,0	1,0	0,05	0,9	5,0E4
GYPSUM PLASTER	1440,0	0,84	0,48	0,9	5,0E4
CARPET PILE	750,0	2,0	0,16	0,9	5,0E4
FABRIC	100,0	1,0	0,1	0,9	5,0E4

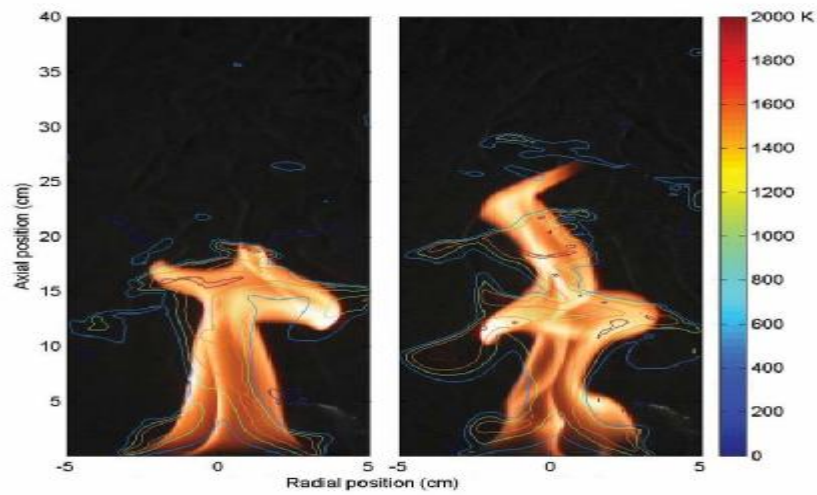
**Πίνακας 3.2.:** Πειραματικά αποτελέσματα θερμικών ιδιοτήτων από υπολογιστικό πρόγραμμα FDS.

<b>PYROLYSIS</b>	
<b>MATERIAL</b>	<b>HEAT OF COMBUSTION</b> [kJ/kg]
<b>FOAM</b>	3,0E4
<b>GYPSUM PLASTER</b>	-
<b>CARPET PILE</b>	2,23E4
<b>FABRIC</b>	1,5E4

**Πίνακας 3.3.:** Πειραματικά αποτελέσματα πυρόλυσης από υπολογιστικό πρόγραμμα FDS.

### 3.2.9. ΨΕΚΑΣΤΕΣ ΚΑΙ ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ.

Η μοντελοποίηση ψεκαστών και των ανιχνευτών θερμότητας και καπνού γίνεται με απλούς συσχετισμούς οι οποίοι βασίζονται στα δεδομένα κάθε περίπτωσης. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε την ενεργοποίηση τους.



**Εικόνα 3.6.:** Απεικόνιση θερμότητας και καπνού μέσω ανιχνευτή προγράμματος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΛΕΓΜΑ

### 4.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΛΕΓΜΑ.

Ο όρος υπολογιστικό πλέγμα περιγράφει μία νέα κατανομημένη υπολογιστική δομή για την επίλυση εξεζητημένων επιστημονικών προβλημάτων. Με τον όρο πλέγμα (grid) περιγράφεται η νέα δομή, σκοπός του είναι να κάνει την υπολογιστική ισχύ πιο εύκολα προσβάσιμη, κατασκευάστηκε με βάση την συμπεριφορά της ενέργειας ενός ηλεκτρικού πλέγματος. Με την πάροδο του χρόνου έχει γίνει σημαντική πρόοδος στην κατασκευή τέτοιων πλεγμάτων, ώστε να καλύπτει τα πάντα, από την προηγμένη δικτύωση μέχρι την τεχνητή νοημοσύνη

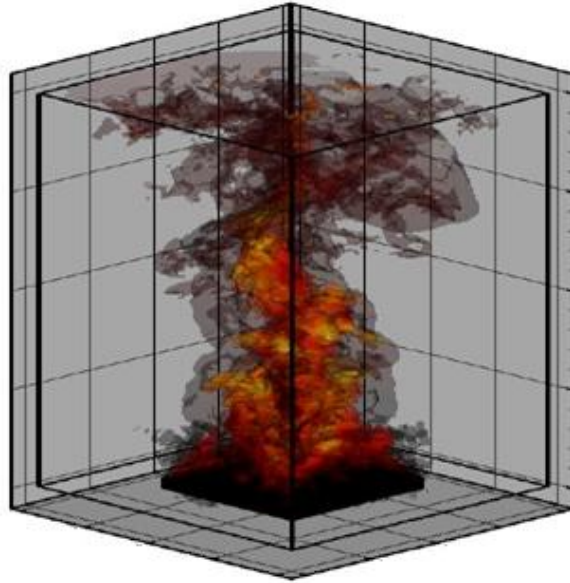
Ένα υπολογιστικό πλέγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων, όπως:

- Η προσομοίωση ενός φυσικού φαινομένου (φωτιά, σεισμός κτλ).
- Η σχεδίαση κλιματολογικών μοντέλων.
- Η σχεδίαση τεχνο-οικονομικών μοντέλων, κτλ.

Άρα με τα υπολογιστικά πλέγματα έχουμε τη δυνατότητα προηγμένης διασύνδεσης υπολογιστών, η οποία είναι απαραίτητη για την επίλυση προβλημάτων σε πάρα πολλούς τομείς της βιομηχανίας και των επιχειρήσεων, καθιστώντας τα κατάλληλα για επιστημονικές μελέτες, εμπορικές λύσεις και ακαδημαϊκές έρευνες (Μπουρνάς, 2006).

Το μέγεθος του πλέγματος είναι η σημαντική αριθμητική παράμετρος στον κώδικα FDS, γιατί καθορίζει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων ως προς τον εσωτερικό χώρο. Ο κώδικας FDS χρησιμοποιεί δεύτερης τάξης ακρίβειας εξισώσεων όσον αφορά το χρόνο και το χώρο και βασίζεται στην μέθοδο της προσομοίωσης, όσο πιο πυκνό είναι το πλέγμα, τόσο μεγαλύτερη και η ακρίβεια της μεθόδου.

Έχει αποδειχθεί ότι η ακρίβεια του μοντέλου εξαρτάται από την συνάρτηση της χαρακτηριστικής διαμέτρου της φωτιάς, το μέγεθος του κελιού του πλέγματος, τα επίπεδα και τον άξονα συμμετρίας που χρησιμοποιείται. Ο ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας είναι η πιο σημαντική φυσική παράμετρος γιατί από αυτόν εξαρτάται η εξίσωση της ενέργειας. Οι υπόλοιπες ιδιότητες (πυκνότητα, θερμική αγωγιμότητα κτλ), πρέπει να εκτιμώνται ανάλογα με το πόσο επηρεάζουν τον ρυθμό απελευθέρωσης θερμότητας.



**Εικόνα 4.1.:** Πλέγμα η σημαντικότερη αριθμητική παράμετρος του κώδικα FDS.

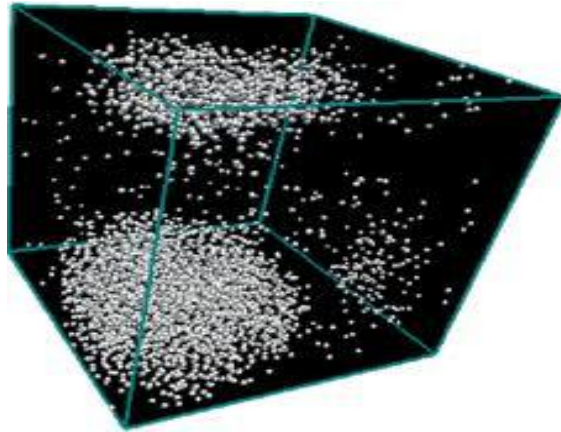
Όταν προκαθορίζεται ο ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας, οι υπολογισμοί του κώδικα FDS ως προς την μεταφορά θερμότητας και καπνού είναι ακριβείς, ακόμα και οι μικρές αλλαγές στις ιδιότητες των υλικών δεν επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα. Όταν, όμως, ο ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας δεν ορίζεται αλλά υπολογίζεται από τον ίδιο τον κώδικα με βάση τις φυσικές ιδιότητες του καυσίμου, τότε τα αποτελέσματα είναι ευαίσθητα ακόμα και στις πολύ μικρές αλλαγές των ιδιοτήτων (Σεραφείμ, 2008).

#### **4.1.1. ΚΕΛΙΑ.**

Τα κελιά αποτελούν την εξιδανίκευση ενός φυσικού συστήματος όπου ο χώρος και ο χρόνος είναι διακριτοί και οι φυσικές ποσότητες λαμβάνουν μόνο ένα πεπερασμένο σύνολο τιμών. Τα κελιά αποτελούνται από ένα πλέγμα με διακριτούς πανομοιότυπους κόμβους. Κάθε κόμβος του πλέγματος χαρακτηρίζεται από μία τιμή η οποία δεν είναι αυθαίρετη, αλλά λαμβάνεται από ένα συγκεκριμένο σύνολο τιμών. Όταν η απλή δομή του μοντέλου επαναλαμβάνεται, προκύπτουν πολύπλοκα πρότυπα που μπορούν να προσομοιώσουν ποικίλα πολύπλοκα φυσικά φαινόμενα και συστήματα.

Χρησιμοποιούμε τα κελιά για να προσομοιώσουμε έναν αλγόριθμο ελέγχου τοπολογίας για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, αν ο αριθμός των κελιών του δικτύου είναι μεγάλος τότε έχουμε τα βέλτιστα αποτελέσματα για την πρόβλεψη της θερμοκρασίας αλλά και την ακριβή προσομοίωση (Μαραζιώτη, 2006).





**Εικόνα 4.2.:** Μεμονωμένο κελί.

#### **4.1.2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ.**

Η κατασκευή πλέγματος επηρεάζει ουσιαστικά την ακρίβεια της τελικής λύσης, αφού όσο πιο αναλυτικό είναι ένα πλέγμα τόσο πιο ακριβείς είναι τα αποτελέσματα, όμως η ανάλυση αυτή περιορίζεται από τη διαθέσιμη υπολογιστική ισχύ. Άρα πρέπει να διαμορφωθεί ένα πλέγμα άριστης ανάλυσης ως προς τον υπολογιστικό χρόνο και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Οι επιφάνειες που απαρτίζουν έναν εσωτερικό χώρο διαφέρουν πολύ μεταξύ τους ως προς τις διαστάσεις (Σκλαβούνου, 2006). Για το υπολογιστικό πλέγμα είναι υποχρεωτικό να χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί συντελεστές κλίμακας μεγέθους για τα κελιά που θα δημιουργηθούν, αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την αύξηση ή την μείωση της πυκνότητας του πλέγματος, δηλαδή την κατασκευή προσαρμοσμένου πλέγματος (adaptive grid).

Έχουμε λοιπόν δύο στάδια στην κατασκευή πλέγματος:

- Το υπολογιστικό πλέγμα να αποτελείται από τετραεδρικά στοιχεία-κελιά.
- Το πλέγμα να αναλύεται περαιτέρω, δηλαδή να αυξάνεται η πυκνότητα του σε επιφάνειες μικρών σχετικά διαστάσεων.

#### **4.2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ ΤΥΡΒΩΔΟΥΣ ΚΑΥΣΗΣ.**

Για την μελέτη μιας πυρκαγιάς η οποία αναπτύσσεται σε εσωτερικούς χώρους απαιτείται η περιγραφή του φαινομένου της τυρβώδους καύσης (Πατρώνης, 2009). Οι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα είναι οι εξής:

- Μέθοδος RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes): είναι η πρώτη ιστορικά προσπάθεια να μελετηθεί υπολογιστικά αυτό το φαινόμενο. Σε αυτήν την μέθοδο έχουμε την επίλυση των εξισώσεων του πεδίου ροής με τη χρήση των μέσων τιμών όλων των ποσοτήτων που εμφανίζονται σε αυτές. Για την περιγραφή των χημικών

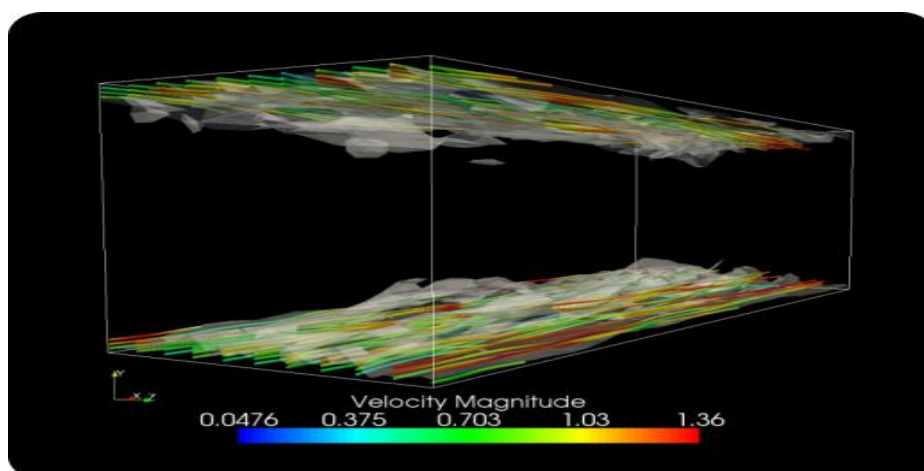
μεταβολών των υλικών που συμμετέχουν στην αντίδραση και τη μεταφορά θερμότητας επιβάλλεται ο συνδυασμός των μοντέλων τύρβης και τυρβώδους καύσης.

- Μέθοδος DNS (Direct Numerical Simulations): έχει αναπτυχθεί τις τελευταίες δεκαετίες λόγω της τεχνολογικής ανάπτυξης των υπολογιστών. Αν και η χρήση της περιορίζεται σε απλές ελεγχόμενες πειραματικές ροές, γίνεται καλύτερη ανάλυση της τυρβώδους καύσης. Βασίζεται στην απευθείας αριθμητική προσομοίωση όπου οι πλήρεις στιγμιαίες εξισώσεις Navier-Stokes επιλύονται χωρίς κανένα μοντέλο τύρβης. Οι κλίμακες τύρβης υπολογίζονται αναλυτικά και οι επιδράσεις τους στην καύση απεικονίζονται στην προσομοίωση.
- Μέθοδος LES (Large Eddy Simulation): αντιστοιχεί στην προσομοίωση των μεγάλων κλιμάκων τύρβης και τον αναλυτικό υπολογισμό τους. Ενώ οι επιδράσεις των μικρότερων κλιμάκων προσομοιώνονται χρησιμοποιώντας υποπλεγματικά μοντέλα. Οι εξισώσεις ισορροπίας προκύπτουν από την επεξεργασία με συγκεκριμένα μαθηματικά φίλτρα των στιγμιαίων εξισώσεων ισορροπίας. Με τη μέθοδο LES μπορεί να καθοριστεί η στιγμιαία θέση της κινούμενης φλόγας μεγάλης κλίμακας, επίσης υπολογίζει τις μικρής συχνότητας διαταραχές (μεγάλες δίνες) για μεγέθη τα οποία χρειάζεται να μετρηθούν.

### 4.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ LES.

Το μοντέλο των μεγάλων δινών **LES** (Large Eddy Simulation) δημιουργήθηκε για να παρέχει μεγάλη ακρίβεια σε υπολογισμούς πολύπλοκων γεωμετριών τυρβώδους ροής. Στόχος του είναι ο υπολογισμός των μεγαλύτερων δομών της ροής, δηλαδή των δομών που είναι μεγαλύτερες από το μέγεθος του υπολογιστικού πλέγματος, και η μοντελοποίηση των μικρότερων δομών (Μαραζιώτη, 2006)

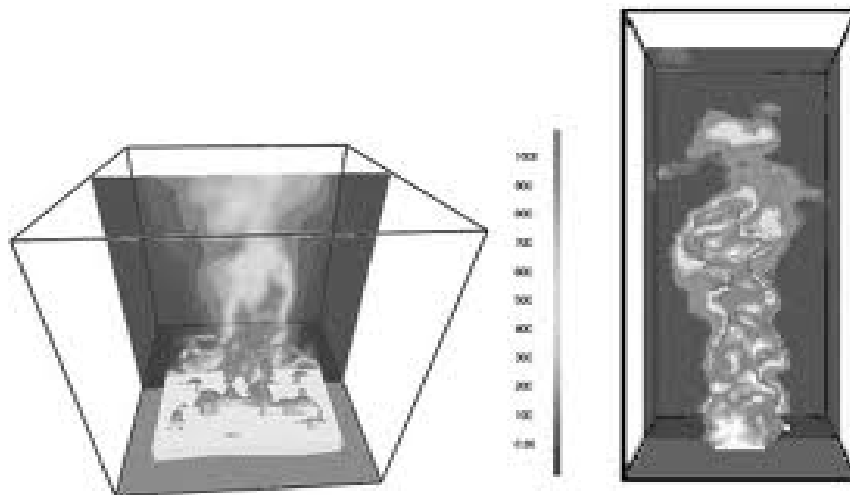
Το LES χρησιμοποιείται σε αραιά πλέγματα που μπορούν μόνο οι μεγαλύτερες κλίμακες τύρβης να επιλυθούν (Πατρώνης, 2009) Επίσης χρησιμοποιούνται για μεγάλους αριθμούς Reynolds, σε αυτήν την περίπτωση όμως χρειάζονται μοντέλα υποπλέγματος τα οποία καθορίζουν την ποιότητα των υπολογισμών και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.



**Εικόνα 4.3.:** Τυρβώδη ροή σε κανάλι, ένα κλασικό πρόβλημα αναφοράς (LES).

Η μέθοδος LES χαρακτηρίζεται η ρεαλιστικότερη προσέγγιση στη μελέτη της καύσης για τους παρακάτω λόγους:

- Οι μεγάλες δίνες στις τυρβώδεις ροές εξαρτώνται από τη γεωμετρία της ροής ενώ οι μικρές έχουν πιο καθολικά χαρακτηριστικά, με αποτέλεσμα οι μικρές δίνες να έχουν πιο πιστή περιγραφή με τα συγκεκριμένα υπολογιστικά μοντέλα.
- Συνεκτικές δίνες μεγάλης κλίμακας δημιουργούνται στον χώρο από αντιδράσεις ροές καθώς και από διάφορες αστάθειες κατά την καύση. Αυτές οι αστάθειες οφείλονται σε αλληλεπιδράσεις μεταξύ της μεταφοράς θερμότητας, του υδροδυναμικού πεδίου ροής και των δημιουργούμενων ακουστικών κυμάτων. Πρέπει να αποφεύγονται επειδή προκαλούν μεταβολές στα χαρακτηριστικά του συστήματος, θόρυβο και μεγάλη μεταφορά θερμότητας που μπορεί να οδηγήσουν στην καταστροφή του συστήματος. Το LES μπορεί να προβλέψει τη δημιουργία τέτοιων ασταθειών.
- Η γνώση των τυρβωδών ροών μεγάλης κλίμακας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να προβλεφθεί η συμπεριφορά των άλυτων ροών μικρότερης κλίμακας. Για την ακρίβεια τα μοντέλα υποπλέγματος βασίζονται σε συμπεράσματα που απορρέουν από τις ομοιότητες μεταξύ μικρών και μεγάλων κλιμάκων.
- Με το LES έχουμε καλύτερη περιγραφή των αλληλεπιδράσεων τύρβης/καύσης γιατί γίνεται αριθμητική επίλυση των μεγάλων δινών. Οι στιγμιαίες ζώνες αντιδρώντων και προϊόντων που δημιουργούνται κατά την επίλυση είναι εύκολα αναγνωρίσιμες.



**Εικόνα 4.4.:** Περιγραφή των διακυμάνσεων και ασταθειών μιας ροής.

Συνοπτικά παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του υπολογιστικού μοντέλου LES.

#### ∅ Πλεονεκτήματα LES.

- Σχετικά πιστή περιγραφή των διακυμάνσεων και ασταθειών της ροής.
- Μειωμένη ανάγκη για μοντελοποίηση.

#### ∅ Μειονεκτήματα LES.

- Απαιτούνται 3D προσομοιώσεις.
- Χρειάζονται ακριβείς κώδικες.
- Υψηλές υπολογιστικές απαιτήσεις.

### 4.3.1. ΦΙΛΤΡΑ LES.

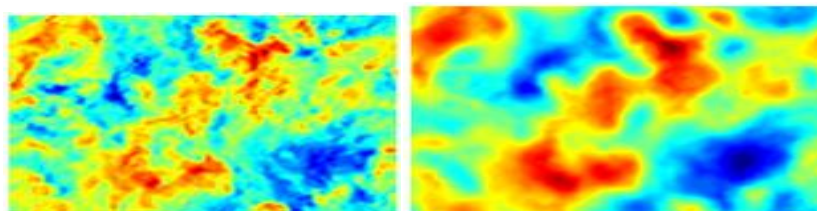
Στη μέθοδο LES όπως προαναφέραμε οι μεγάλες δίνες επιλύονται αριθμητικά, ενώ οι μικρότερες δίνες φιλτράρονται και μοντελοποιούνται καθ' αναλογία προς τις μεγάλες δίνες. (Πατρώνης, 2009). Η κύρια δυσκολία στη μοντελοποίηση τυρβώδους ροής προέρχεται από το ευρύ φάσμα του μήκους και του χρόνου.

Η συχνότητα αποκοπής θεωρείται μια συχνότητα στην οποία τα μεγέθη δεν επιλύονται αριθμητικά. Αντίθετα γίνεται χρήση φίλτρων, εξάγονται τα νέα φιλτραρισμένα μεγέθη και στην συνέχεια εισάγονται σε συγκεκριμένα μοντέλα. Η λειτουργία του φίλτρου είναι χαμηλής διέλευσης, που σημαίνει ότι φιλτράρει τις κλίμακες που σχετίζονται με υψηλές συχνότητες.

Οι ροϊκές μεταβλητές φιλτράρονται είτε στο:

- Φασματικό χώρο όπου τα ροϊκά μεγέθη, τα μεγαλύτερα από τη θεωρούμενη συχνότητα αποκοπής αμελούνται.
- Φυσικό χώρο όπου εξάγεται μια μέση τιμή από ένα συγκεκριμένο.

Τα συνηθισμένα φίλτρα LES είναι τα φίλτρα αποκοπής, τα τετραγωνικά φίλτρα και τα φίλτρα κανονικής κατανομής στο φυσικό χώρο τα οποία διαχωρίζονται σύμφωνα με την κλίμακα μήκους και τις διαστάσεις του κελιού του υπολογιστικού χώρου. Με το  $\Delta$  συμβολίζεται το μέγεθος του φίλτρου.



Εικόνα 4.5.: Φίλτρα διαφορετικού μεγέθους  $\Delta$ .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 5.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ.

Η Υπολογιστική διερεύνηση της εξάπλωσης πυρκαγιάς περιλαμβάνει 3 βασικά σενάρια:

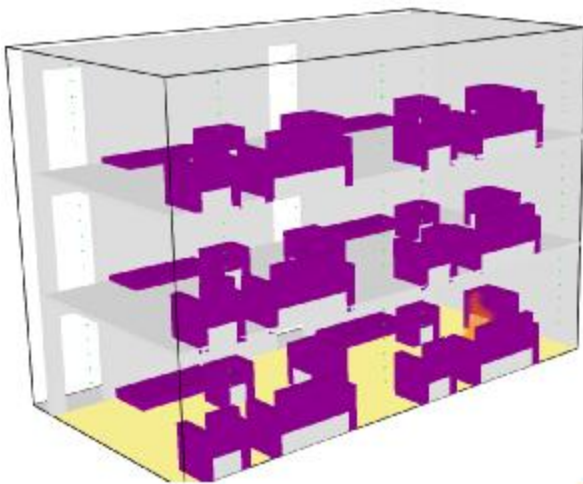
- Η φωτιά λαμβάνει χώρα στον πρώτο όροφο.
- Η φωτιά λαμβάνει χώρα στον πρώτο όροφο αλλά πλέον υπάρχουν πυροδιαμερίσματα.
- Η φωτιά λαμβάνει χώρα στο δεύτερο όροφο.

Ο χρόνος υπολογιστικής προσομοίωσης είναι 2000 sec και για τα τρία σενάρια, ενώ η σημειακή πηγή έναυσης εφαρμόζεται για 400 sec. Για λόγους που σχετίζονται με την απλούστευση της υπολογιστικής προσομοίωσης τα ανοίγματα σε κάθε διαμέρισμα είναι ανοιχτά. Συνεπώς τα μεγέθη που θα παρουσιαστούν έχουν καθαρά ρόλο κατανόησης και όχι εξαγωγής τελικών συμπερασμάτων. Τέλος, για λόγους απλούστευσης δεν περιγράφεται στο υπολογιστικό πλέγμα το κλιμακοστάσιο της πολυκατοικίας.

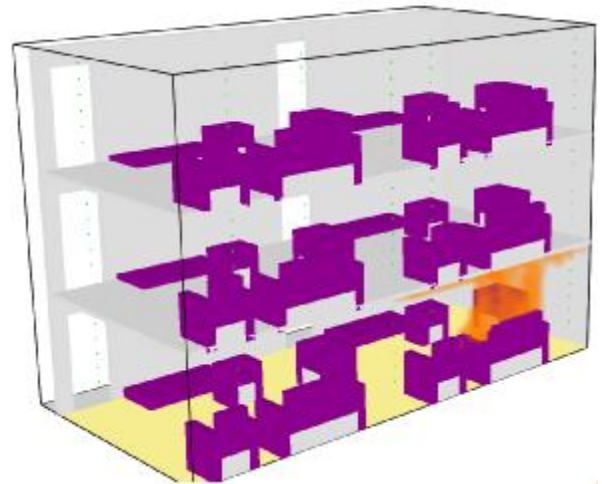
### 5.2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.

#### 5.2.1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1.

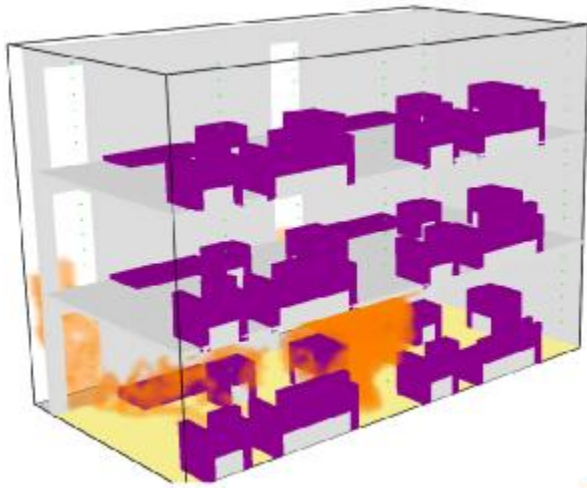
Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζεται η εξάπλωση της πυρκαγιάς στο χρόνο για το Σενάριο 1.



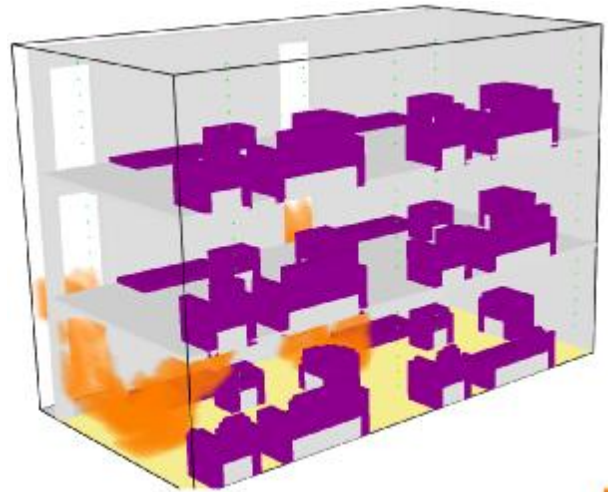
Σχήμα Σ1.1.1.: Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=200$  sec.



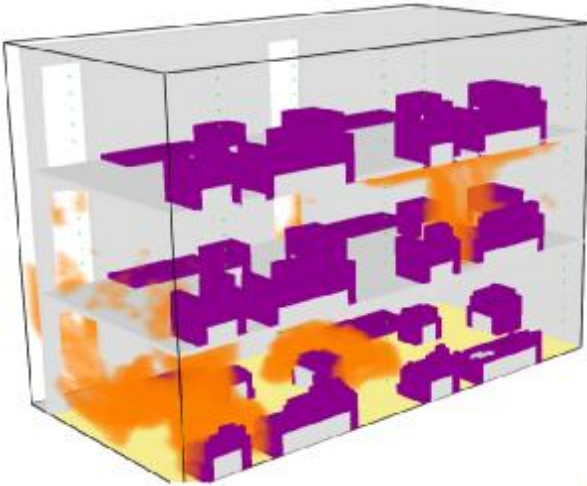
Σχήμα Σ1.1.2.: Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=400$  sec.



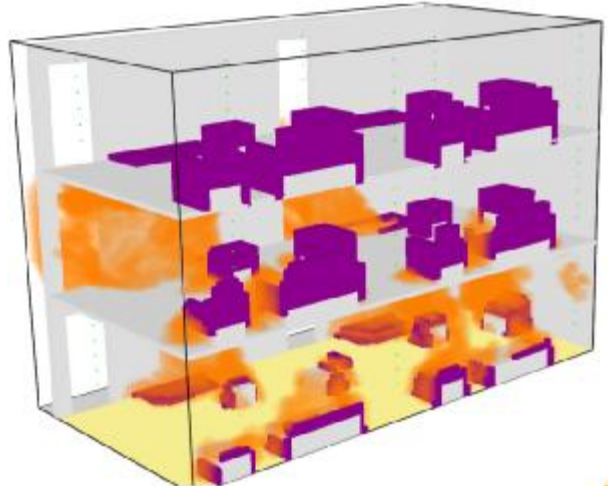
**Σχήμα Σ1.1.3.:** Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=600$  sec.



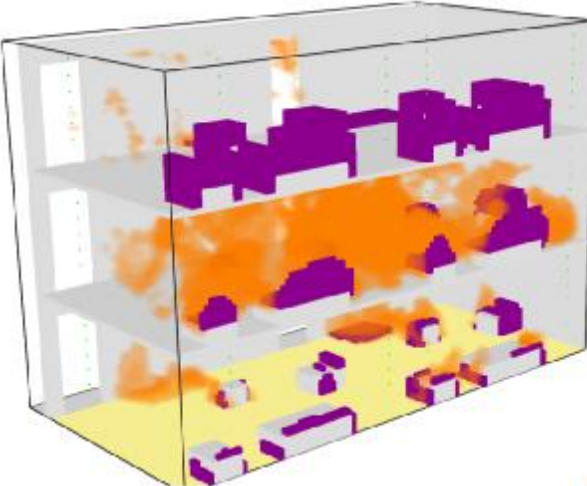
**Σχήμα Σ1.1.4.:** Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=800$  sec.



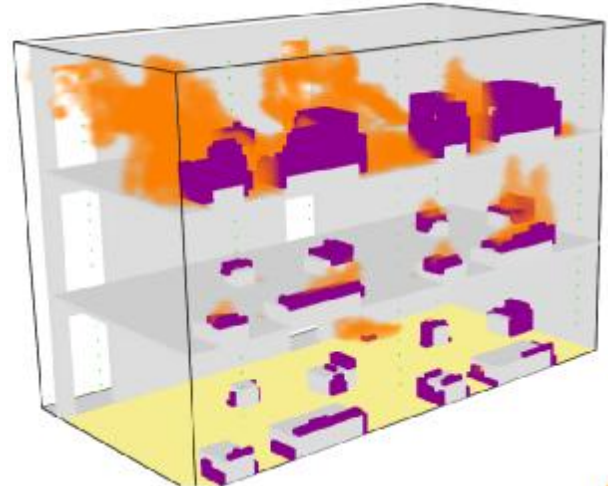
**Σχήμα Σ1.1.5.:** Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=1000$  sec.



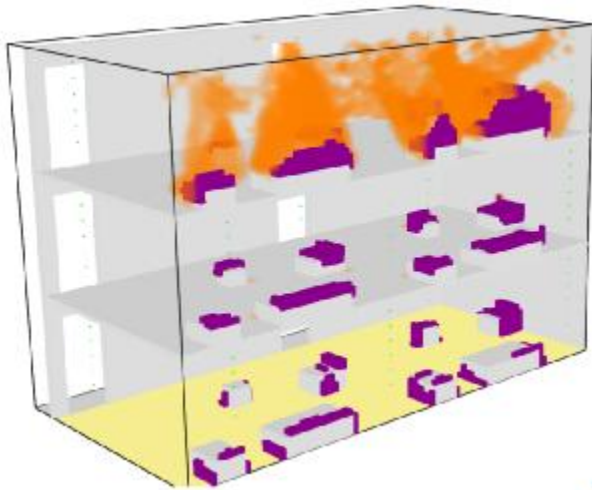
**Σχήμα Σ1.1.6.:** Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=1200$  sec.



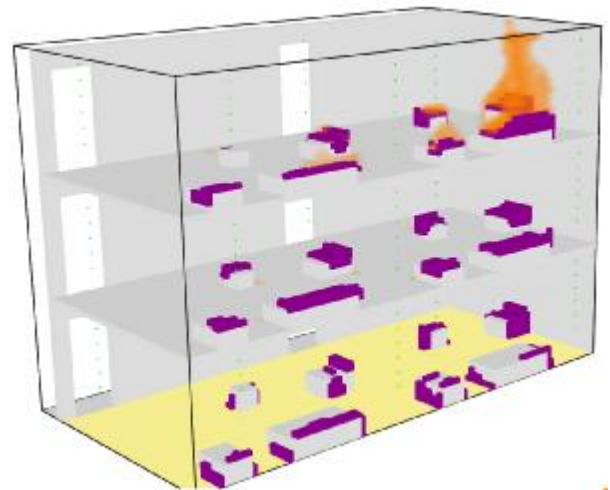
**Σχήμα Σ1.1.7.:** Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=1400$  sec.



**Σχήμα Σ1.1.8.:** Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=1600$  sec.

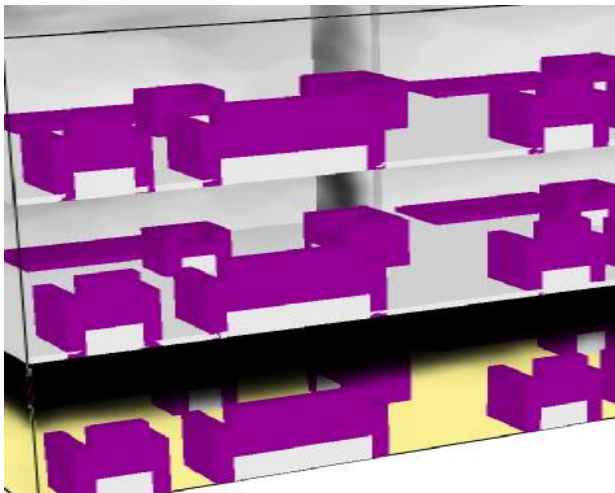


**Σχήμα Σ1.1.9.:** Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=1800$  sec.

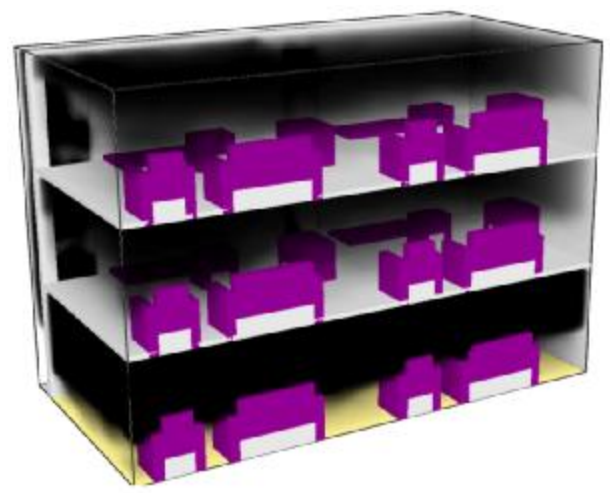


**Σχήμα Σ1.1.10.:** Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=2000$  sec.

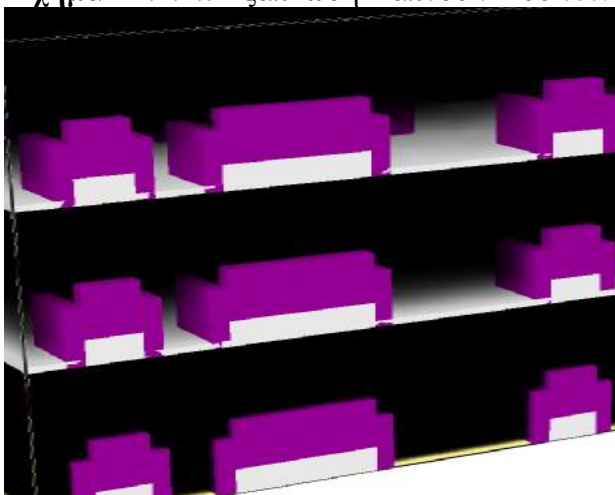
Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζεται η εξάπλωση καπνού στο χρόνο για το Σενάριο 1.



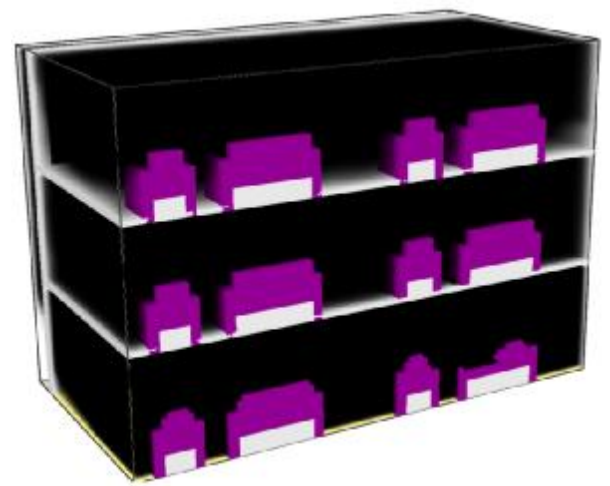
**Σχήμα Σ1.2.1.:** Εξάπλωση Καπνού  $t=200$  sec.



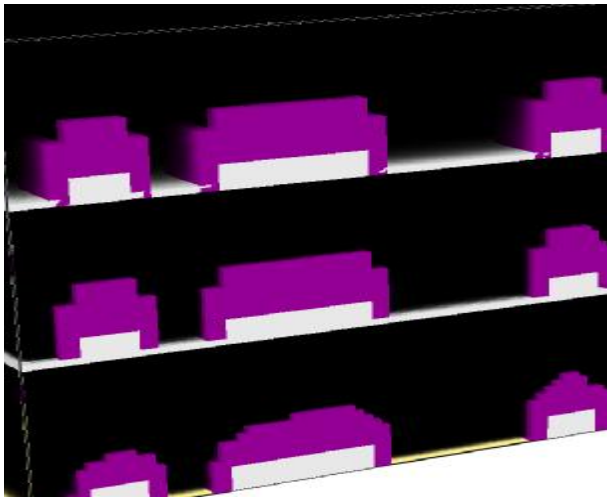
**Σχήμα Σ1.2.2.:** Εξάπλωση Καπνού  $t=400$  sec.



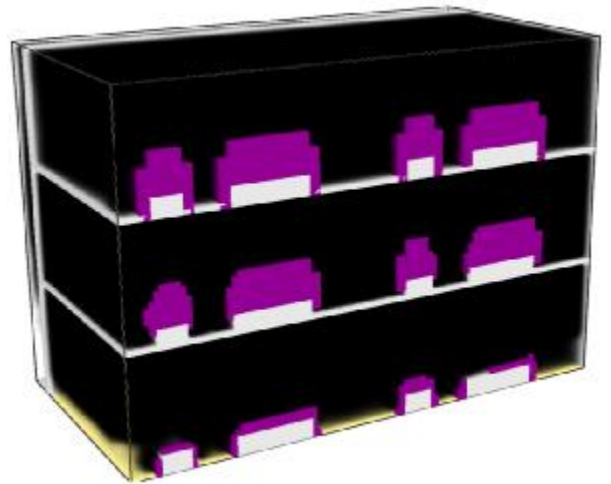
**Σχήμα Σ1.2.3.:** Εξάπλωση Καπνού  $t=600$  sec.



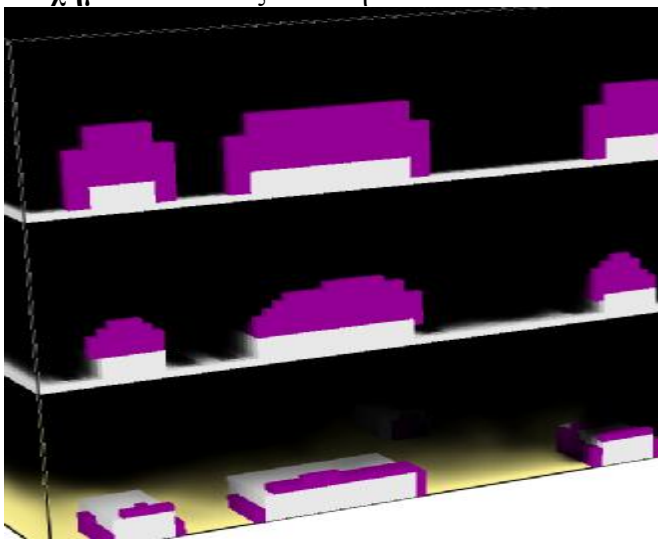
**Σχήμα Σ1.2.4.:** Εξάπλωση Καπνού  $t=800$  sec.



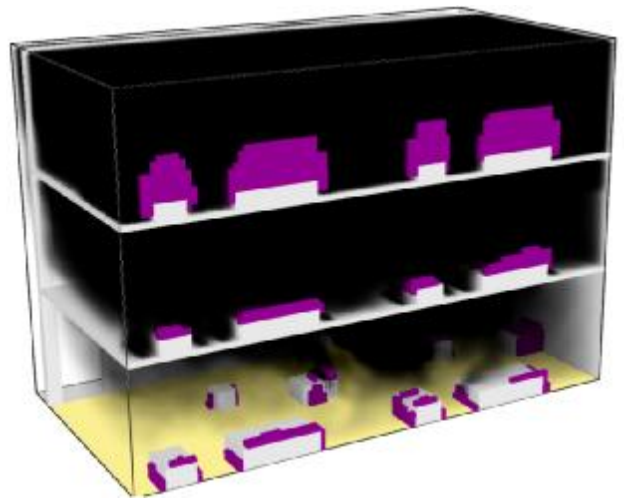
Σχήμα Σ1.2.5.: Εξάπλωση Καπνού  $t=1000$  sec.



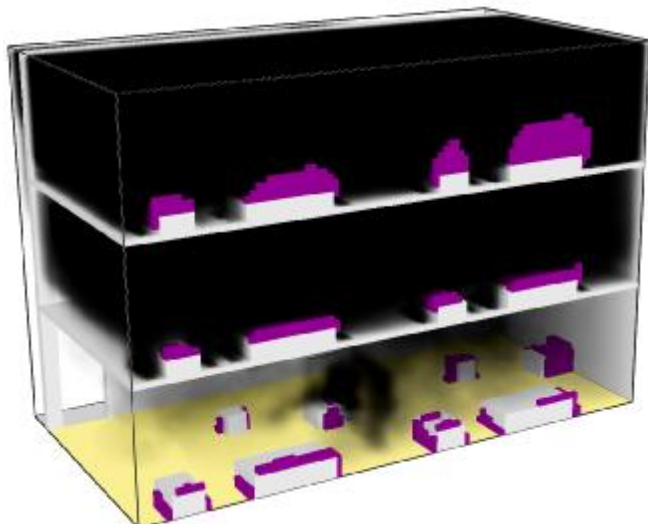
Σχήμα Σ1.2.6.: Εξάπλωση Καπνού  $t=1200$  sec.



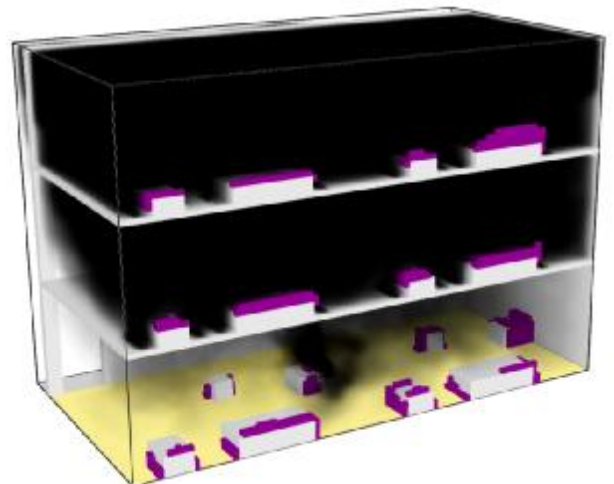
Σχήμα Σ1.2.7.: Εξάπλωση Καπνού  $t=1400$  sec.



Σχήμα Σ1.2.8.: Εξάπλωση Καπνού  $t=1600$  sec.



Σχήμα Σ1.2.9.: Εξάπλωση Καπνού  $t=1800$  sec.

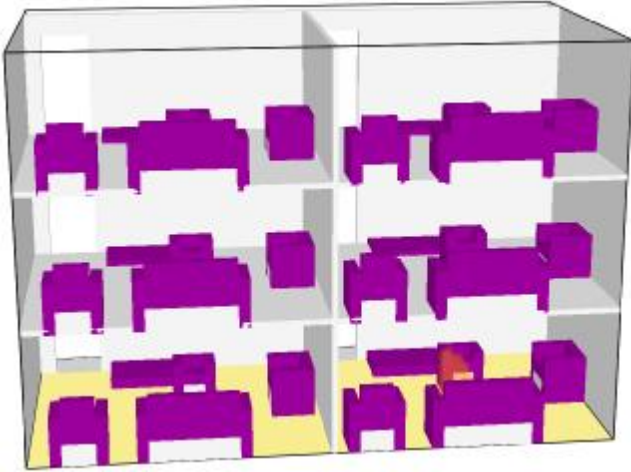


Σχήμα Σ1.2.10.: Εξάπλωση Καπνού  $t=2000$  sec.

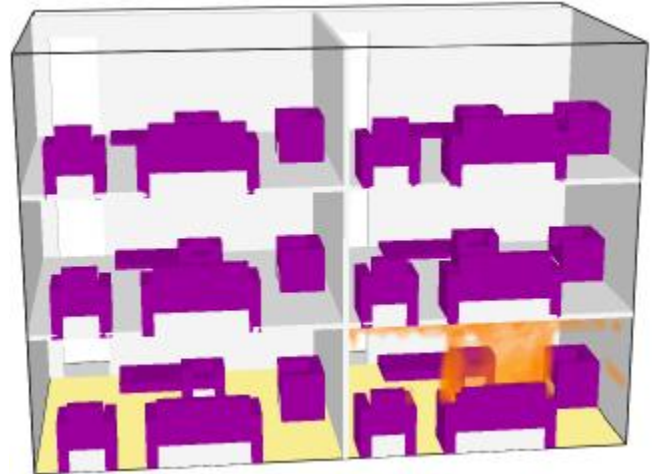


## 5.2.2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2.

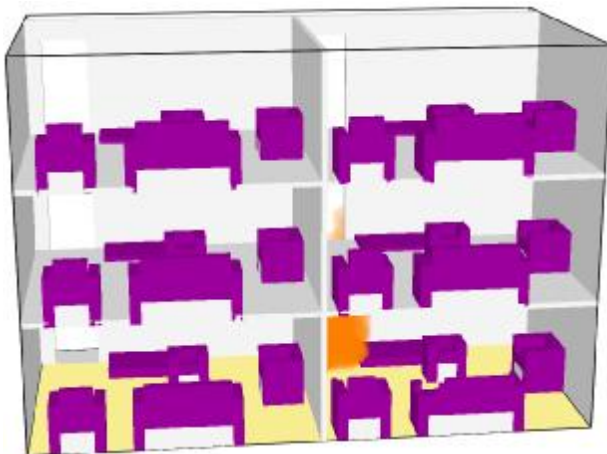
Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζεται η εξέλιξη της πυρκαγιάς στο χρόνο για το Σενάριο 2.



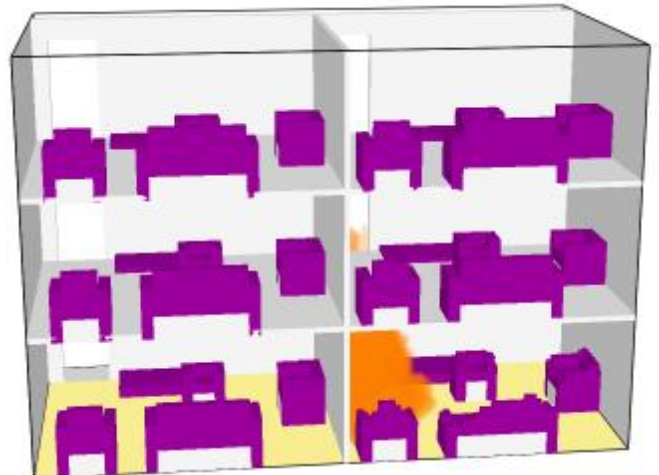
Σχήμα Σ2.1.1.: Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=200$  sec.



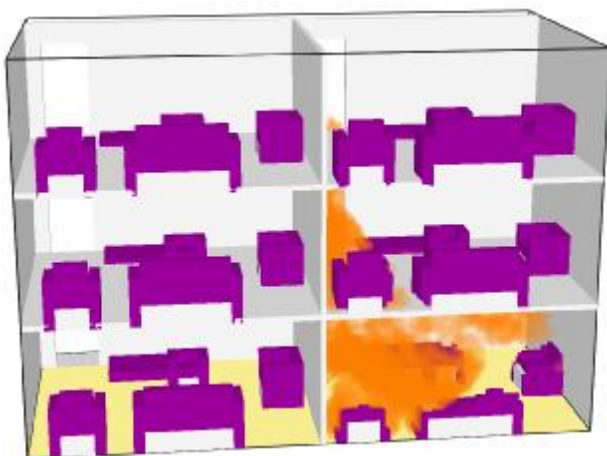
Σχήμα Σ2.1.2.: Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=400$  sec.



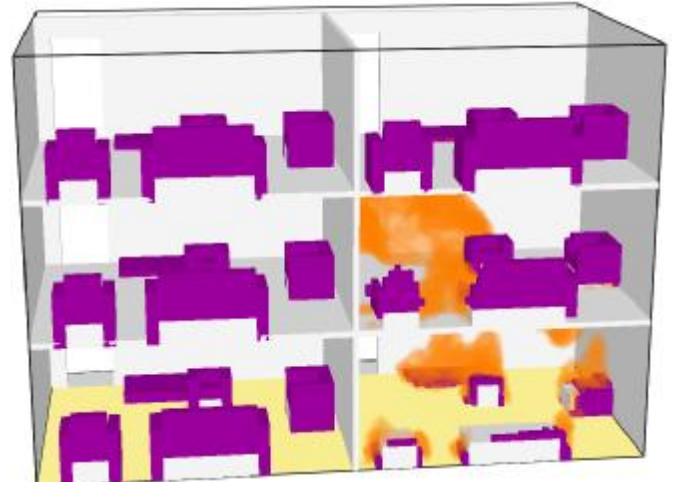
Σχήμα Σ2.1.3.: Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=600$  sec.



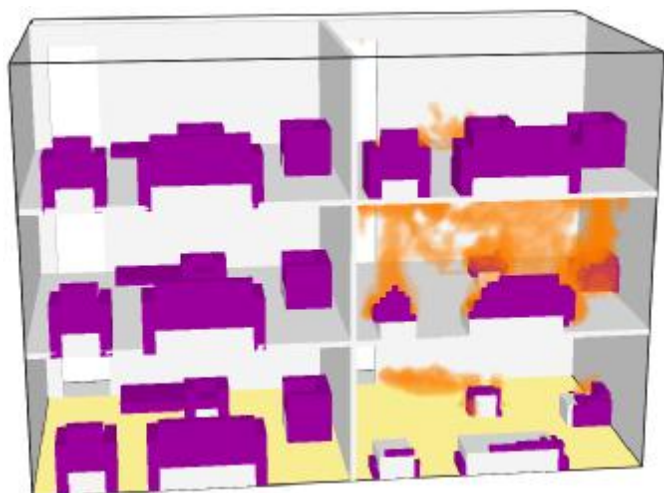
Σχήμα Σ2.1.4.: Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=800$  sec.



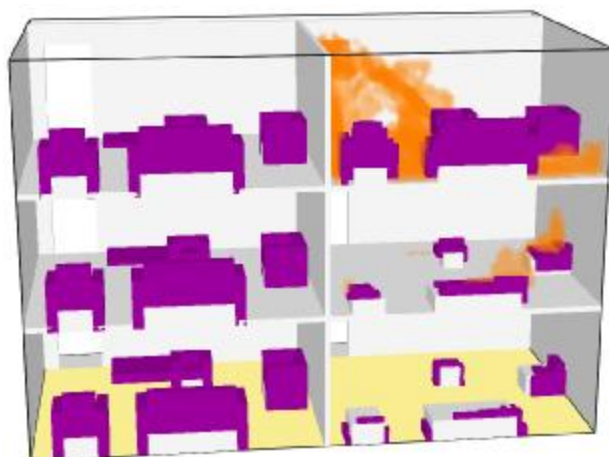
Σχήμα Σ2.1.5.: Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=1000$  sec.



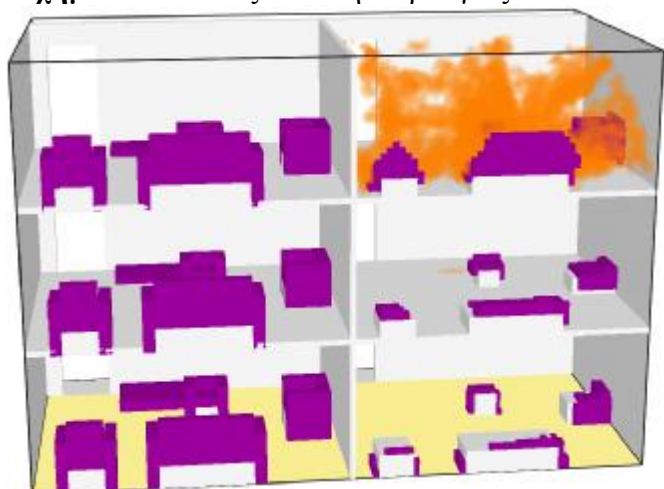
Σχήμα Σ2.1.6.: Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=1200$  sec.



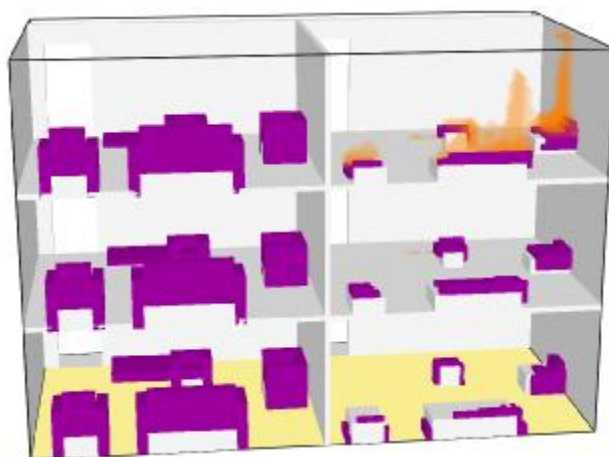
Σχήμα Σ2.1.7.: Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=1400$  sec.



Σχήμα Σ2.1.8.: Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=1600$  sec.

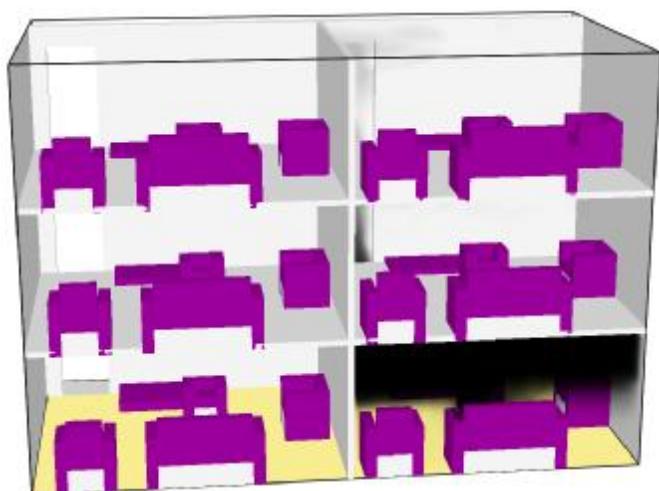


Σχήμα Σ2.1.9.: Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=1800$  sec.

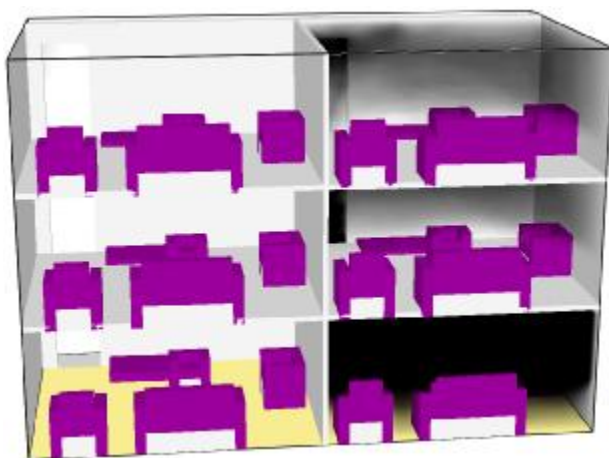


Σχήμα Σ2.1.10.: Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=2000$  sec.

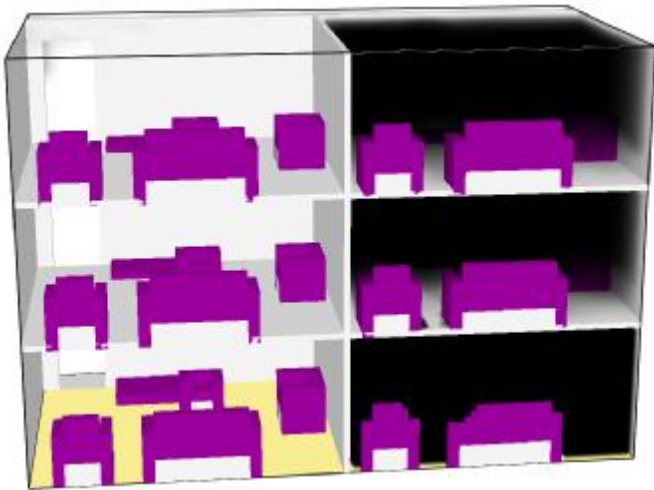
Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζεται η εξάπλωση καπνού στο χρόνο για το Σενάριο 2.



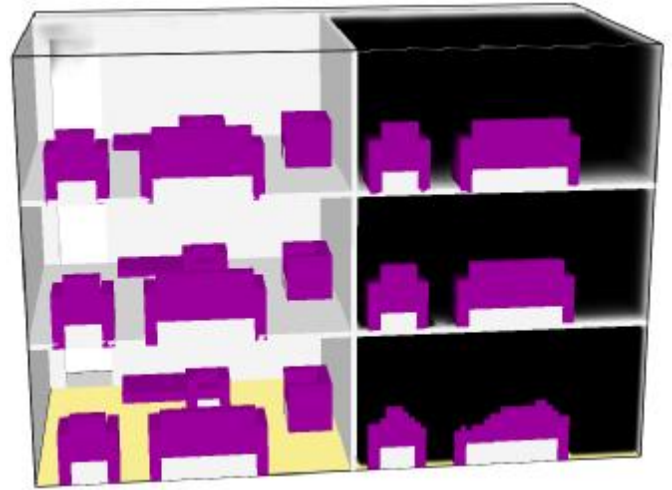
Σχήμα Σ2.2.1.: Εξάπλωση Καπνού  $t=200$  sec.



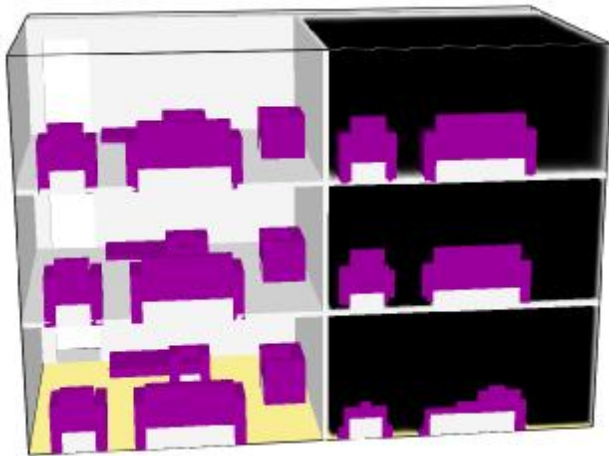
Σχήμα Σ2.2.2.: Εξάπλωση Καπνού  $t=400$  sec.



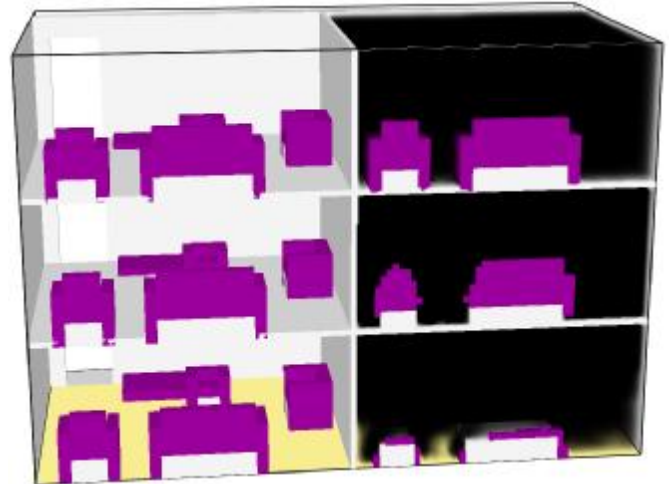
Σχήμα Σ2.2.3.: Εξάπλωση Καπνού t=600 sec.



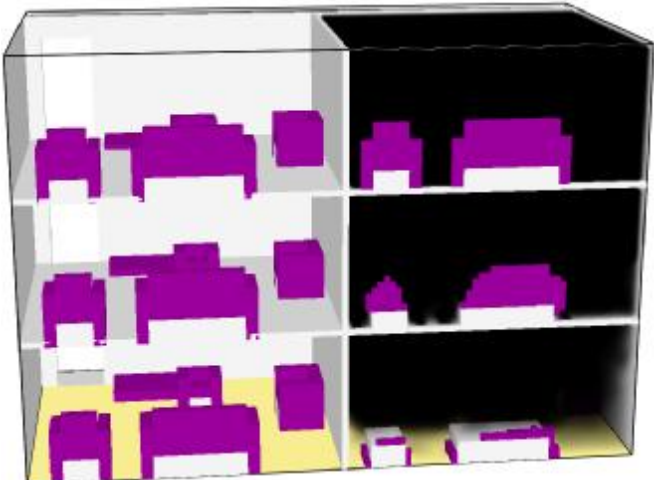
Σχήμα Σ2.2.4.: Εξάπλωση Καπνού t=800 sec.



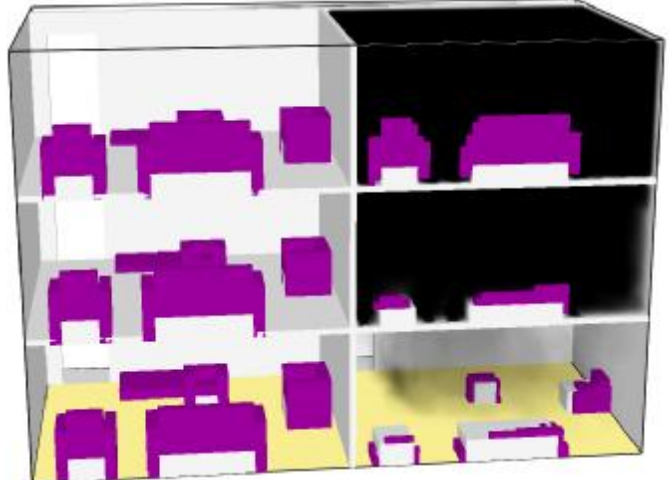
Σχήμα Σ2.2.5.: Εξάπλωση Καπνού t=1000 sec.



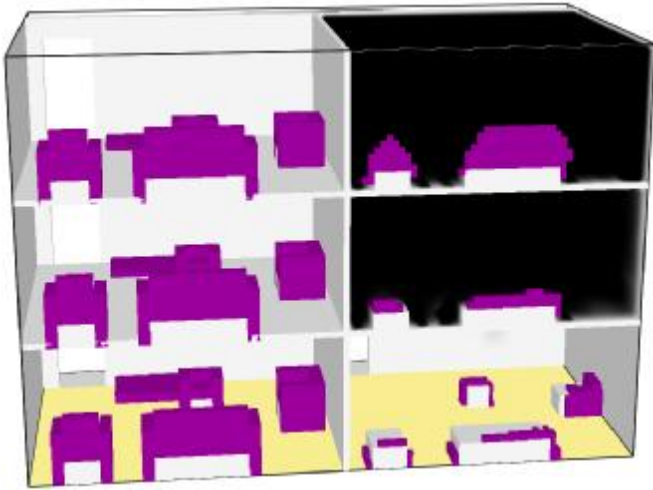
Σχήμα Σ2.2.6.: Εξάπλωση Καπνού t=1200 sec.



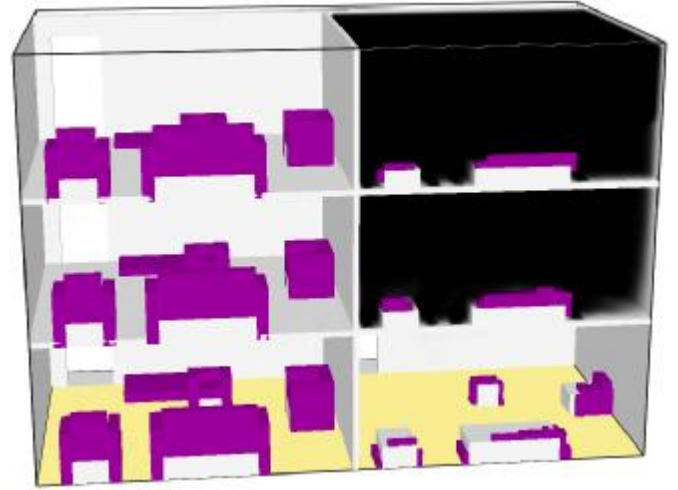
Σχήμα Σ2.2.7.: Εξάπλωση Καπνού t=1400 sec.



Σχήμα Σ2.2.8.: Εξάπλωση Καπνού t=1600 sec.



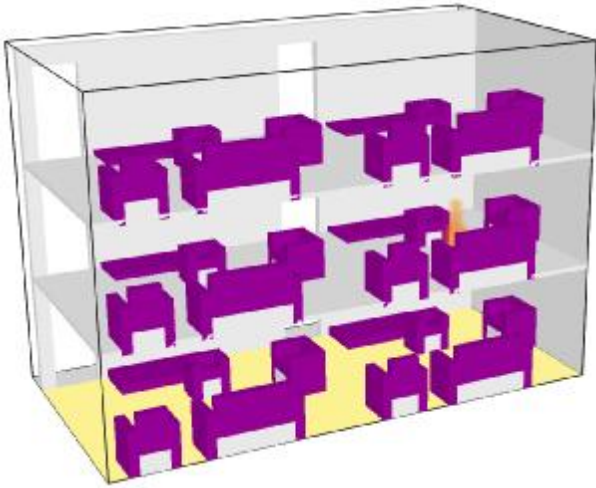
Σχήμα Σ2.2.9.: Εξάπλωση Καπνού  $t=1800$  sec.



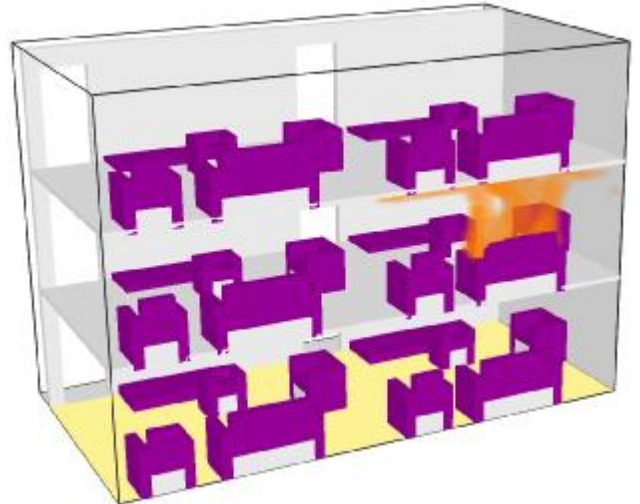
Σχήμα Σ2.2.10.: Εξάπλωση Καπνού  $t=2000$  sec.

### 5.2.3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 3.

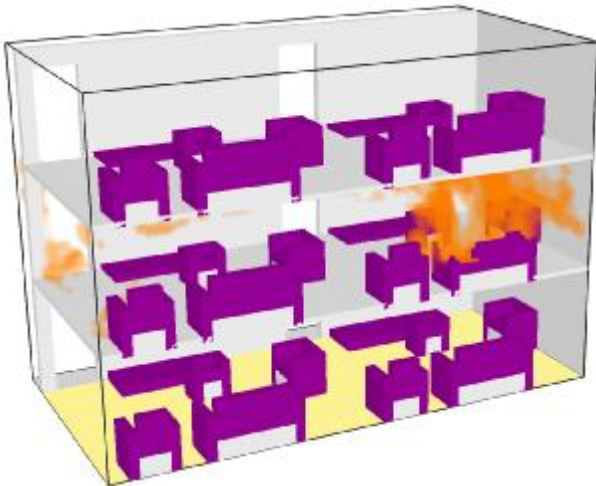
Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζεται η εξέλιξη της πυρκαγιάς στο χρόνο για το Σενάριο 3.



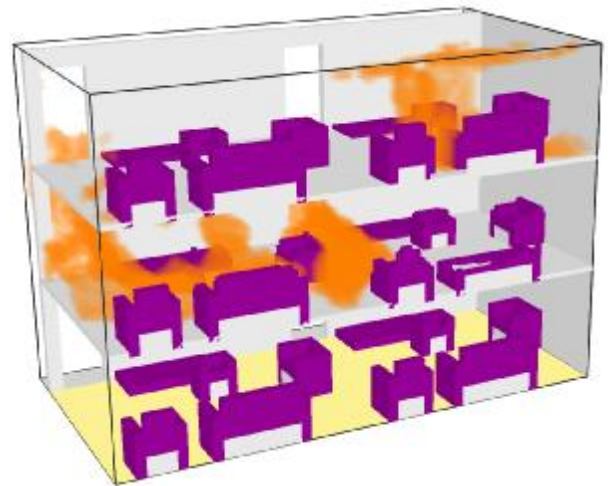
Σχήμα Σ3.1.1.: Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=200$  sec.



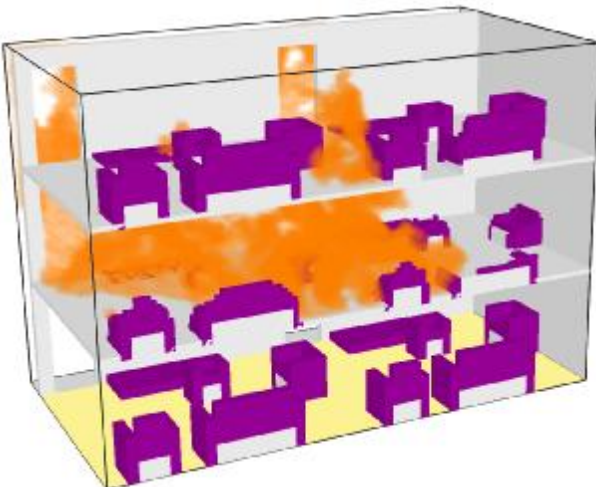
Σχήμα Σ3.1.2.: Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=400$  sec.



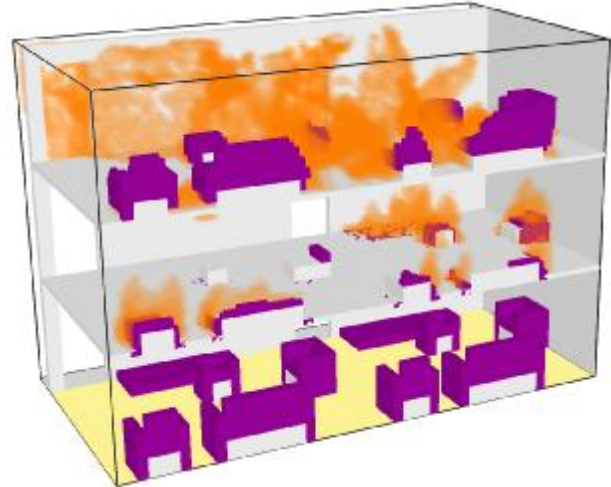
Σχήμα Σ3.1.3.: Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=600$  sec.



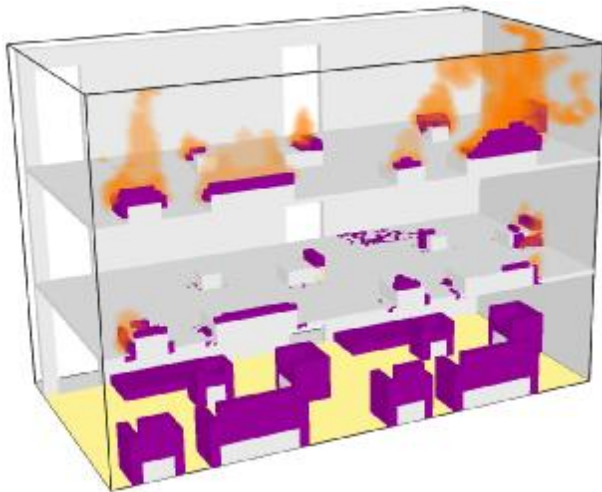
Σχήμα Σ3.1.4.: Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=800$  sec.



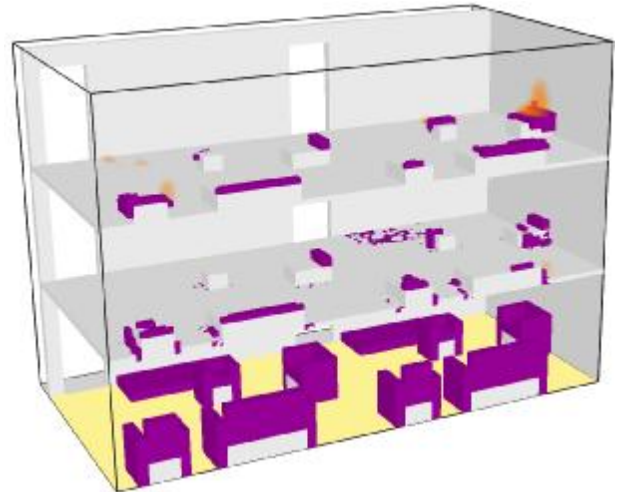
Σχήμα Σ3.1.5.: Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=1000$  sec.



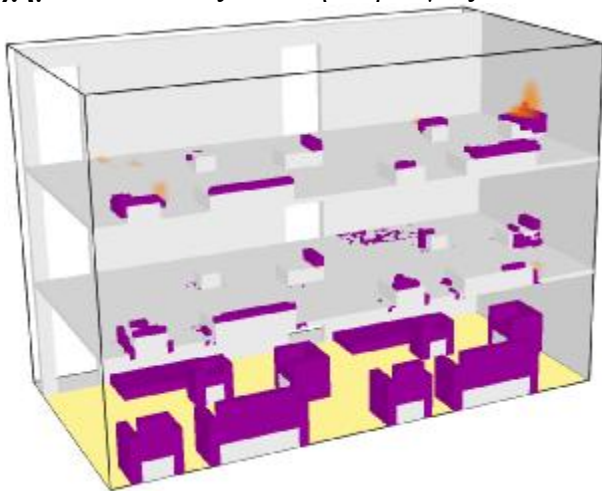
Σχήμα Σ3.1.6.: Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=1200$  sec.



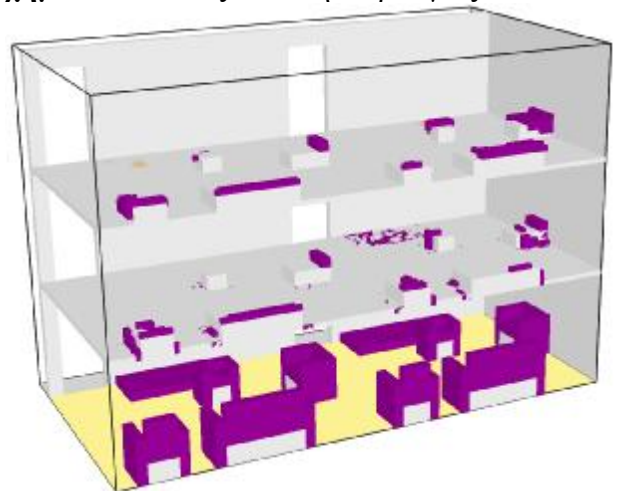
**Σχήμα Σ3.1.7.:** Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=1400$  sec.



**Σχήμα Σ3.1.8.:** Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=1600$  sec.

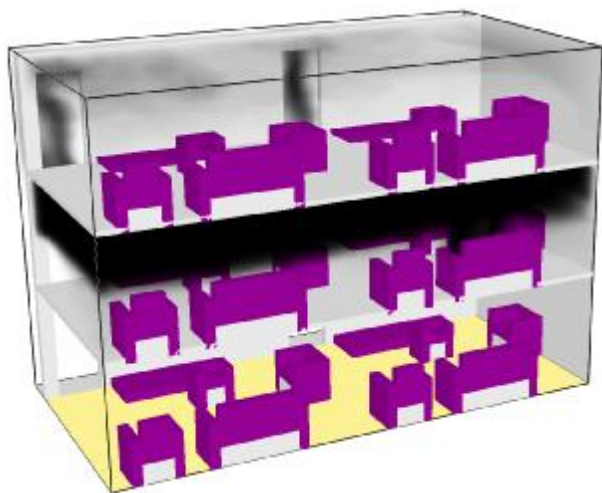


**Σχήμα Σ3.1.9.:** Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=1800$  sec.

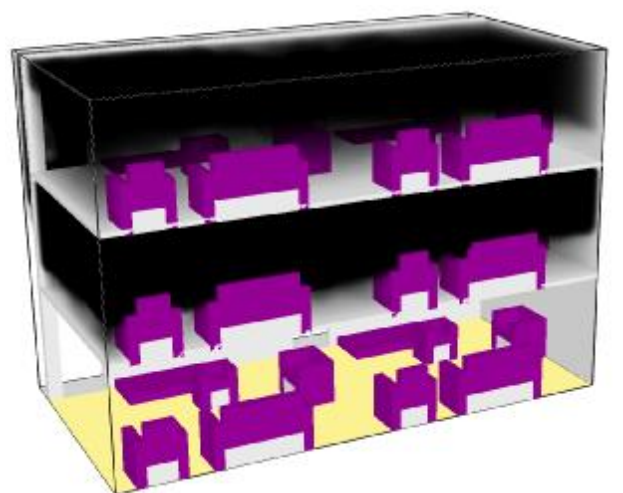


**Σχήμα Σ3.1.10.:** Εξάπλωση Πυρκαγιάς  $t=2000$  sec.

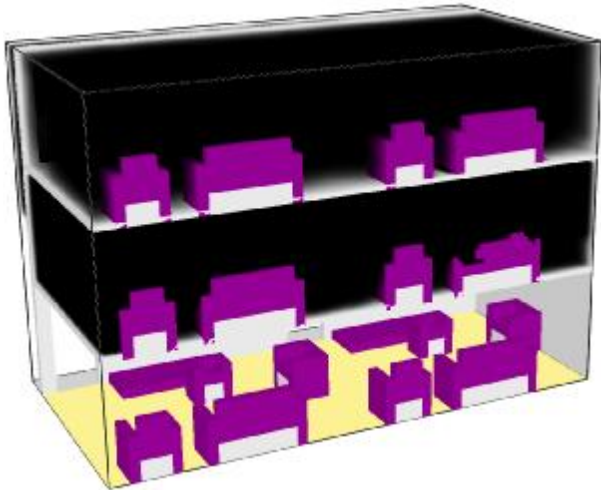
Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζεται η εξάπλωση καπνού στο χρόνο για το Σενάριο 3.



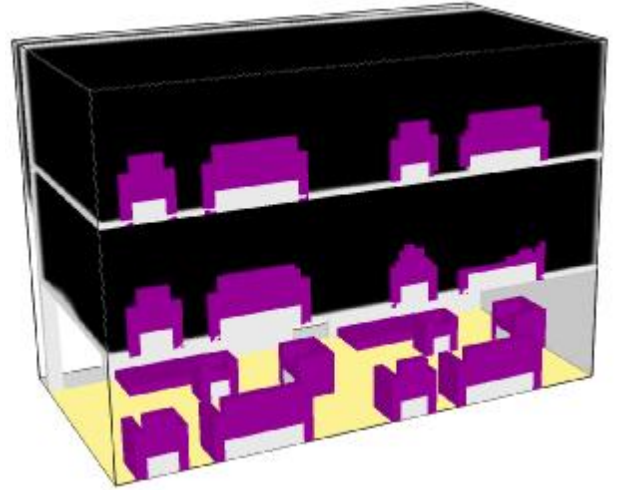
**Σχήμα Σ3.2.1.:** Εξάπλωση Καπνού  $t=200$  sec.



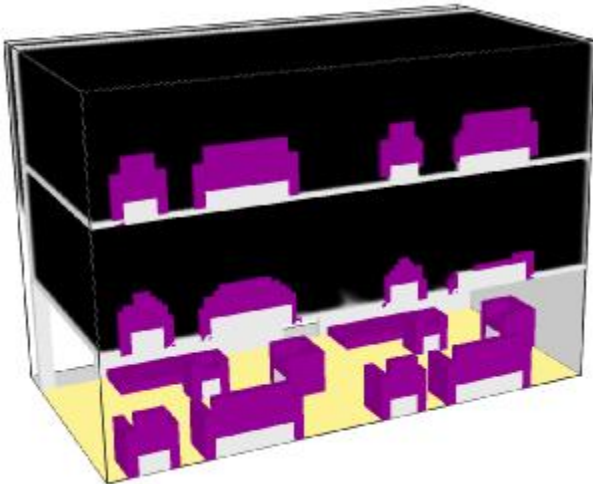
**Σχήμα Σ3.2.2.:** Εξάπλωση Καπνού  $t=400$  sec.



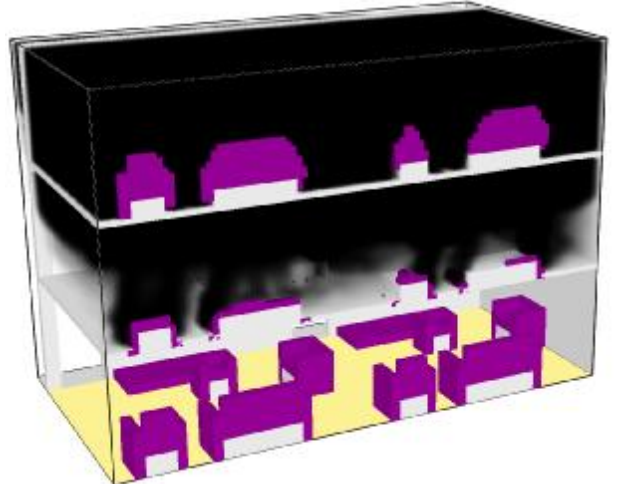
Σχήμα Σ3.2.3.: Εξάπλωση Καπνού t=600 sec.



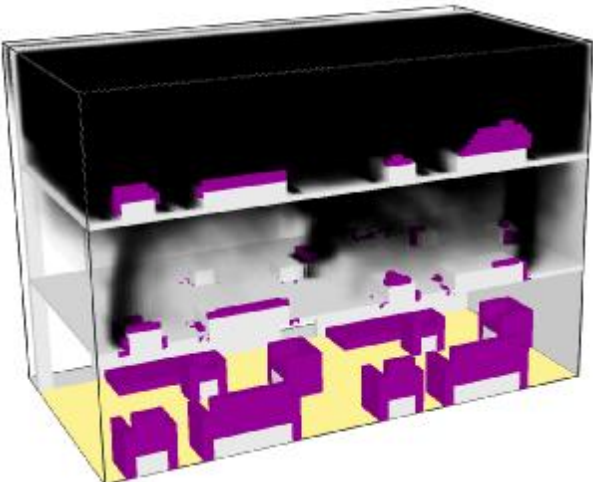
Σχήμα Σ3.2.4.: Εξάπλωση Καπνού t=800 sec.



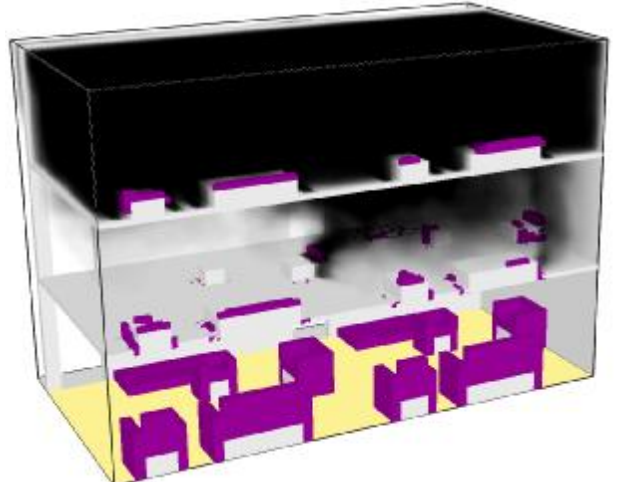
Σχήμα Σ3.2.5.: Εξάπλωση Καπνού t=1000 sec.



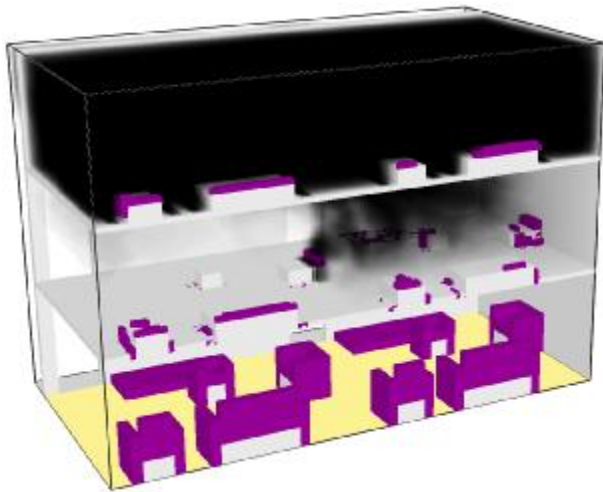
Σχήμα Σ3.2.6.: Εξάπλωση Καπνού t=1200 sec.



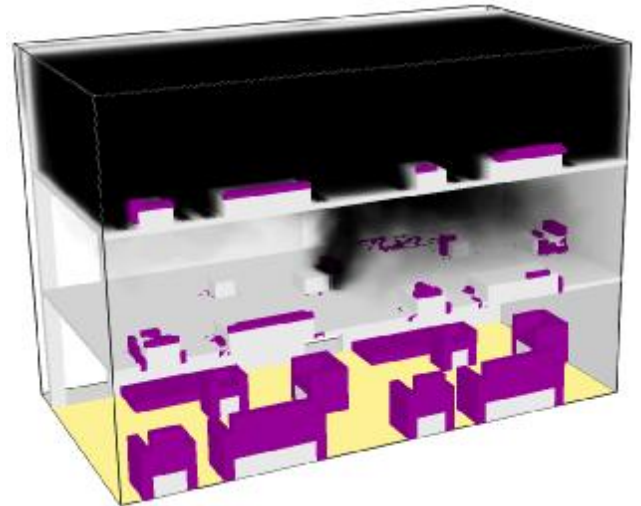
Σχήμα Σ3.2.7.: Εξάπλωση Καπνού t=1400 sec.



Σχήμα Σ3.2.8.: Εξάπλωση Καπνού t=1600 sec.



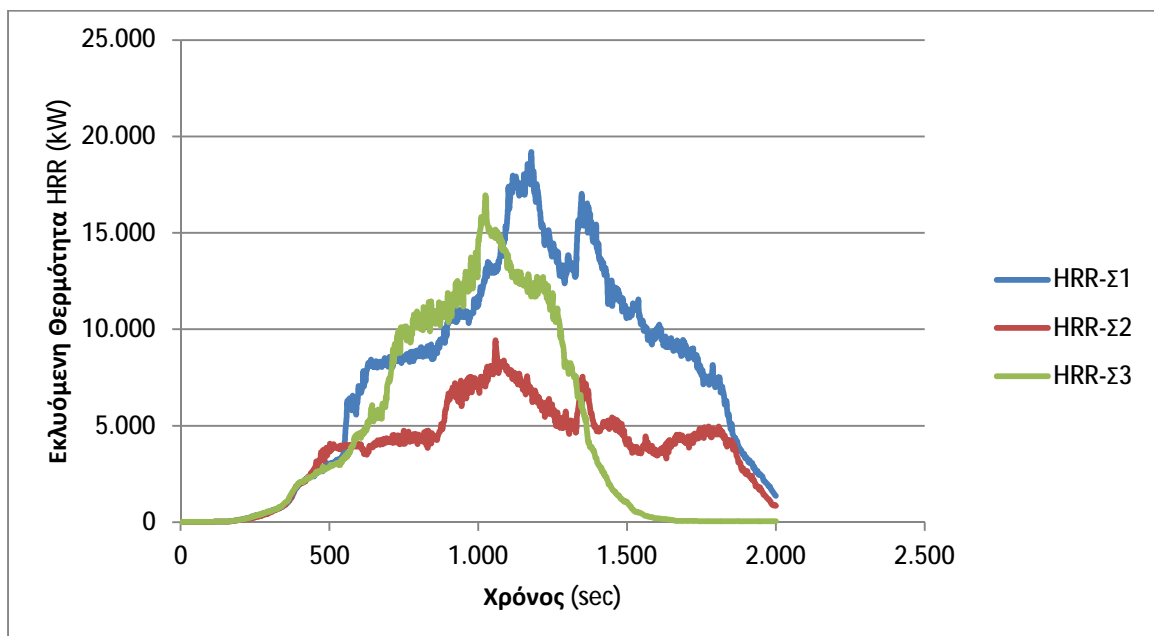
Σχήμα Σ3.2.9.: Εξάπλωση Καπνού t=1800 sec.



Σχήμα Σ3.2.10.: Εξάπλωση Καπνού t=2000 sec.

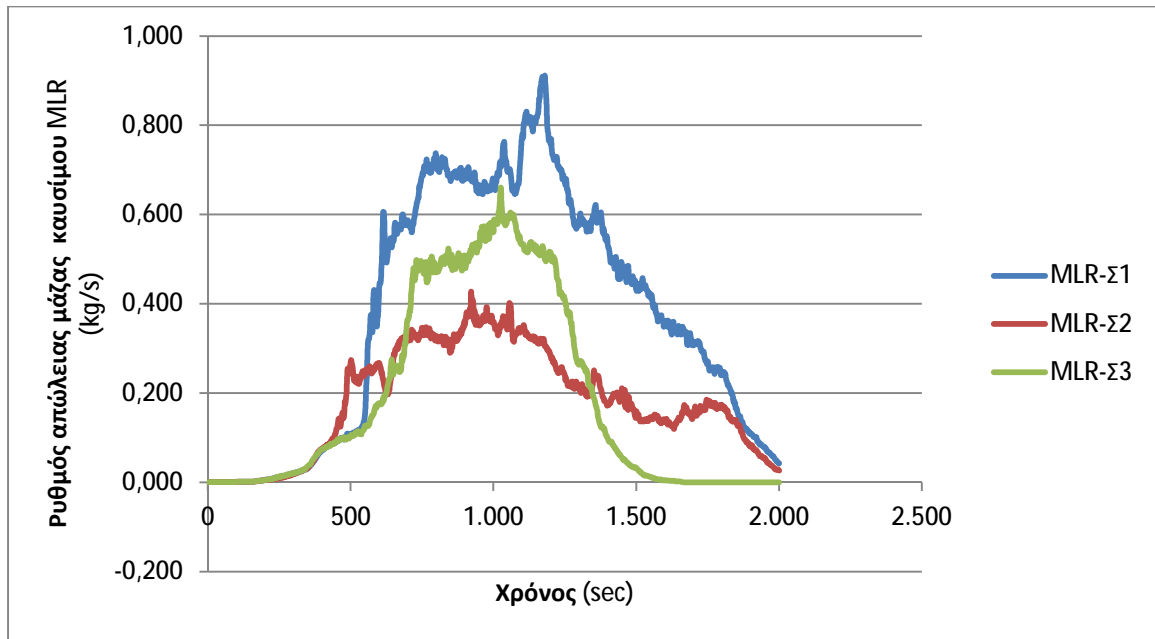
### 5.3. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ.

Παρακάτω παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη της θερμοκρασίας των χώρων της πολυκατοικίας για τα τρία σενάρια υπό μελέτη. Για τα σενάρια 1 και 3 ο διαχωρισμός των ορόφων σε δωμάτια είναι νοητός και ακολουθεί τη λογική του σεναρίου 2.

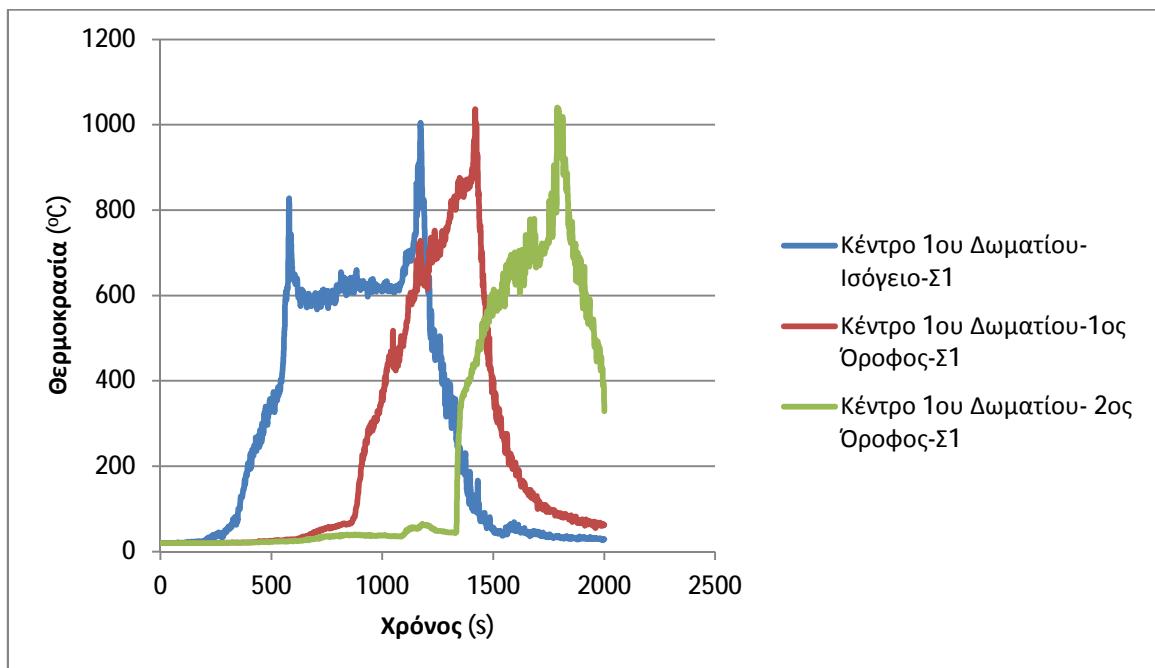


Σχήμα 1.: Χρονική Εξέλιξη Εκλυόμενης Θερμότητας για τα τρία Σενάρια Υπολογιστικής Προσομοίωσης.

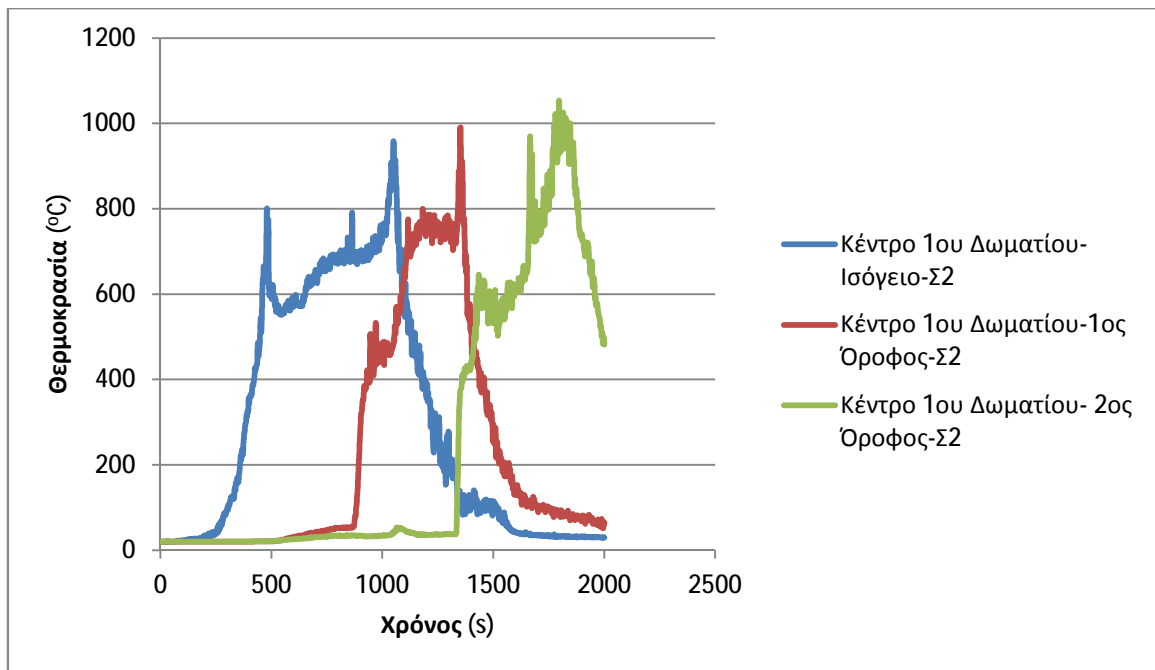




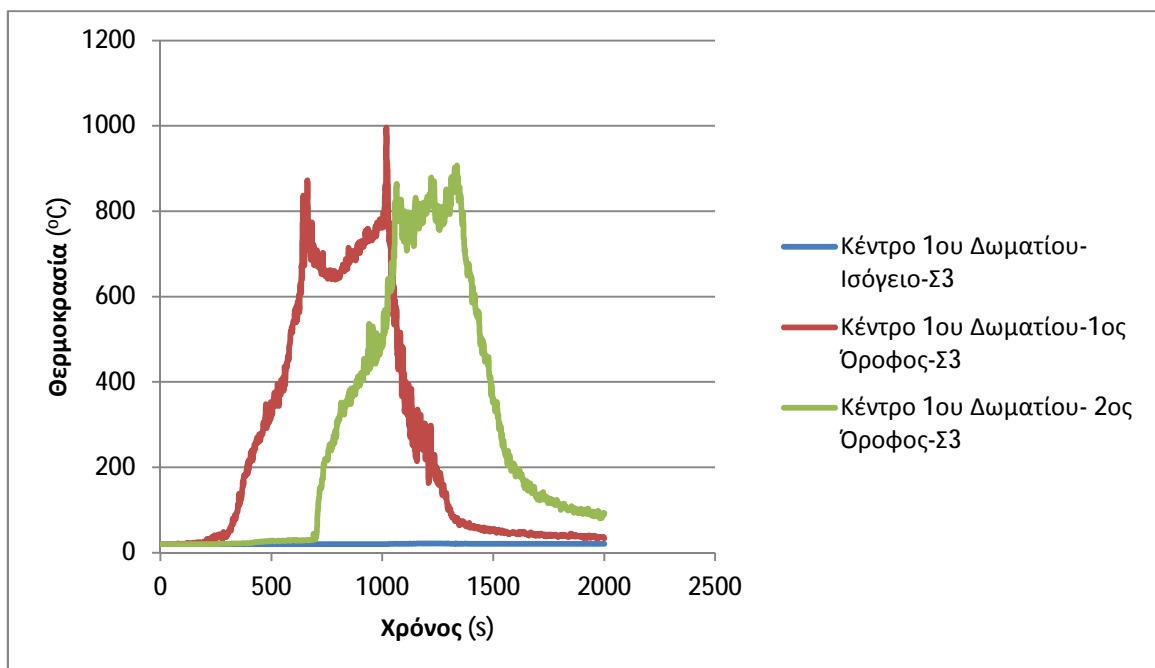
**Σχήμα 2.:** Χρονική Εξέλιξη Ρυθμού Απώλειας Μάζας Καυσίμου για τα τρία Σενάρια Υπολογιστικής Προσομοίωσης.



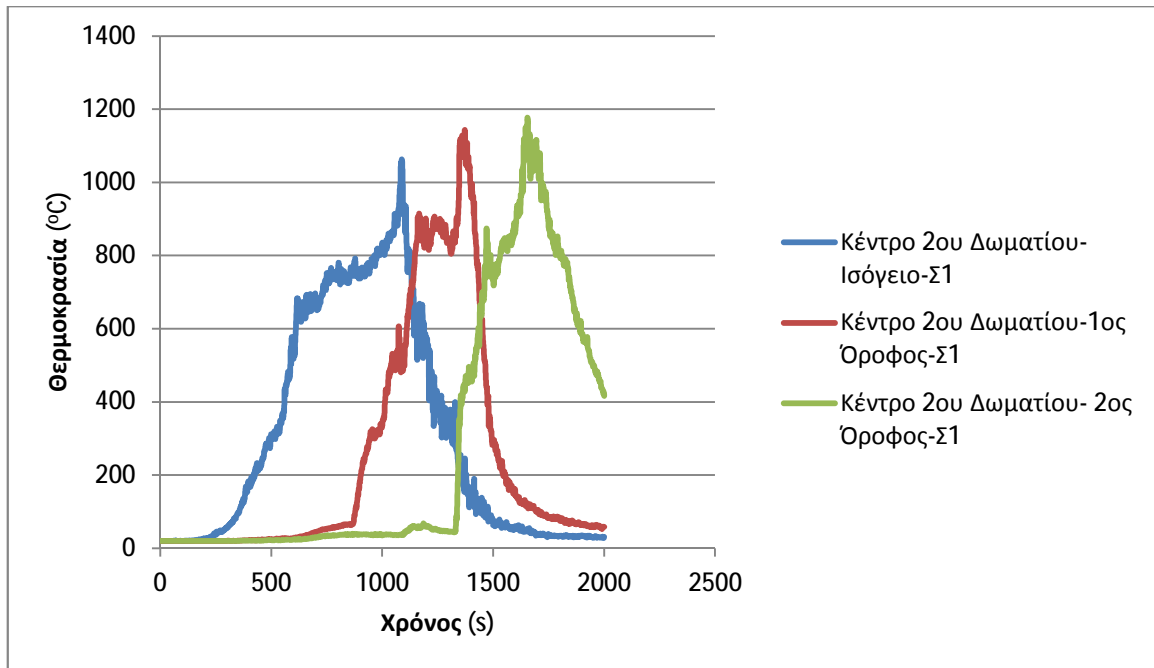
**Σχήμα 3.1.:** Χρονική Εξέλιξη Θερμοκρασίας στους 3 ορόφους στο δωμάτιο πλησίον της εστίας έναυσης-Σενάριο 1.



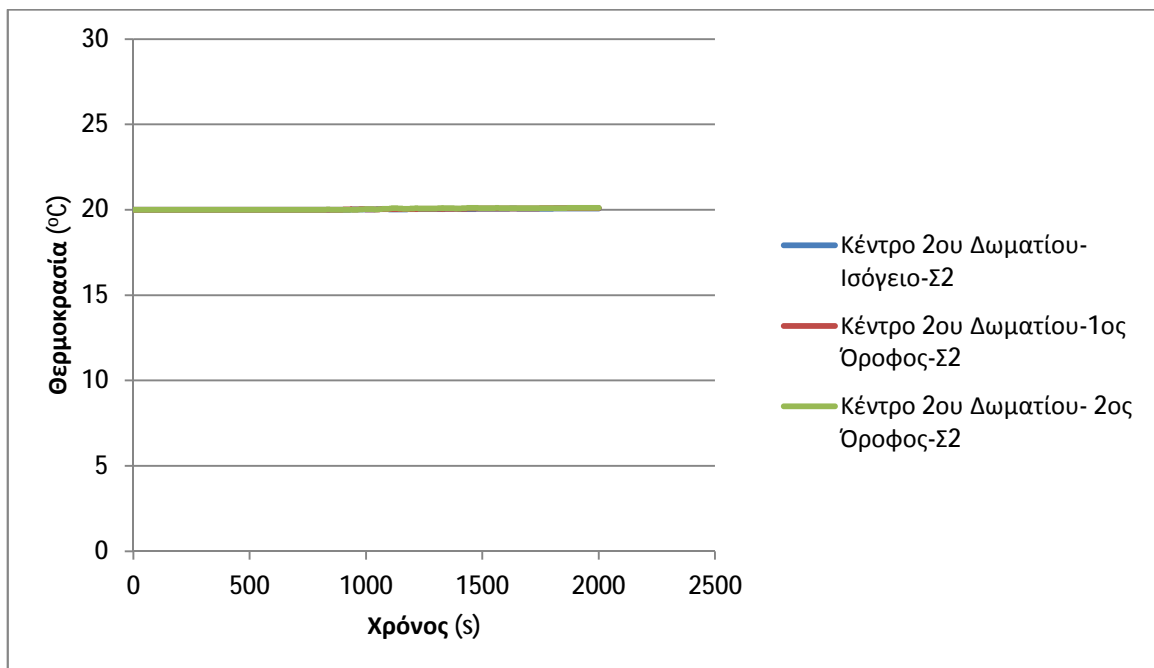
**Σχήμα 3.2.:** Χρονική Εξέλιξη Θερμοκρασίας στους 3 ορόφους στο δωμάτιο πλησίον της εστίας έναυσης-Σενάριο 2.



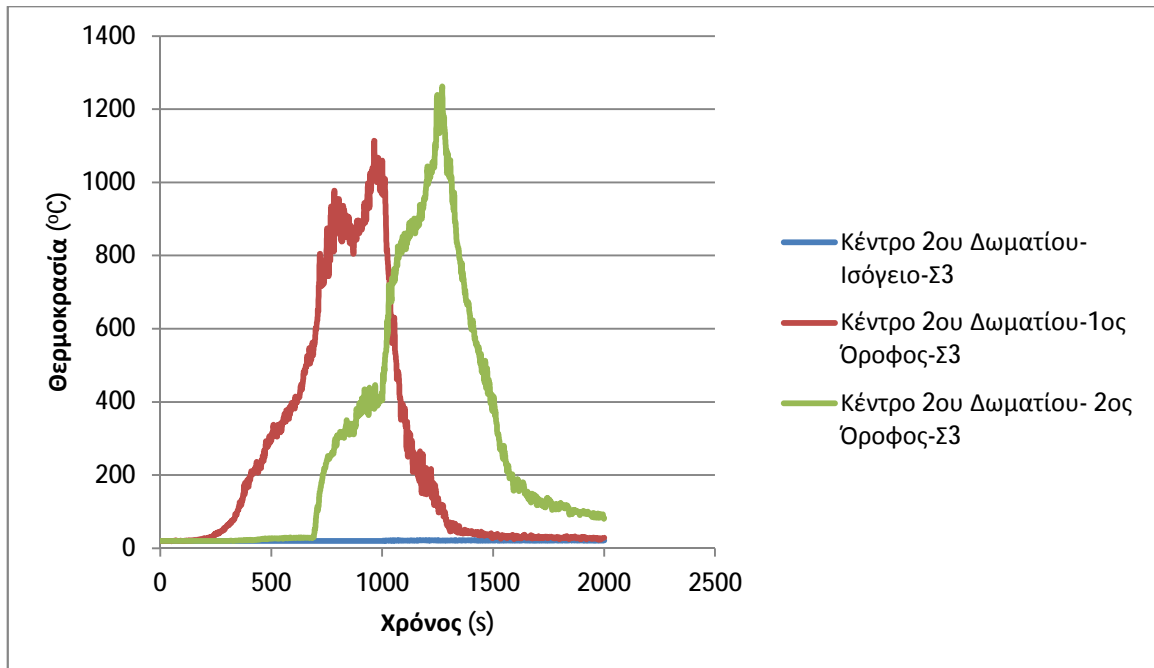
**Σχήμα 3.3.:** Χρονική Εξέλιξη Θερμοκρασίας στους 3 ορόφους στο δωμάτιο πλησίον της εστίας έναυσης-Σενάριο 3.



**Σχήμα 4.1.:** Χρονική Εξέλιξη Θερμοκρασίας στους 3 ορόφους στο δωμάτιο μακριά της εστίας έναυσης-Σενάριο 1.



**Σχήμα 4.2.:** Χρονική Εξέλιξη Θερμοκρασίας στους 3 ορόφους στο δωμάτιο πλησίον της εστίας έναυσης-Σενάριο 2.



**Σχήμα 4.3.:** Χρονική Εξέλιξη Θερμοκρασίας στους 3 ορόφους στο δωμάτιο πλησίον της εστίας έναυσης-Σενάριο 3.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός στις παρούσες πτυχιακής εργασίας ήταν η μελέτη της υπολογιστικής προσομοίωσης εξάπλωσης πυρκαγιάς σε κτίριο. Στα προηγούμενα κεφάλαια αναλύσαμε την συμπεριφορά της φλόγας κατά την εξάπλωση της στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου. Με το υπολογιστικό πρόγραμμα αναλύσαμε και οπτικοποιήσαμε την φλόγα και την πορεία αυτής. Σύμφωνα με όλα αυτά δημιουργήθηκαν τρία πιθανά σενάρια.

Στα τρία σενάρια παρουσιάζεται η εξάπλωση της φλόγας και του καπνού και η οπτικοποίηση γίνεται από τα σχήματα Σ1, Σ2 και Σ3 όπου γίνεται και η απαραίτητη ανάλυση. Με βάση την διαδικασία αυτή προκύπτει ότι η εξάπλωση του καπνού στους τρεις ορόφους της πολυκατοικίας αποκτά μη βιώσιμα χαρακτηριστικά πιο γρήγορα από την εξάπλωση της ίδιας της φλόγας. Αυτό οφείλεται στις έντονες ανωστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται, οι οποίες μέσω του φαινόμενου της «καμινάδας» (chimney effect) στο φωταγωγό της πολυκατοικίας μεταφέρουν κατακόρυφα τα σωματίδια καπνού που παράγονται από τα καιγόμενα υλικά.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζεται στην περίπτωση του 2<sup>ου</sup> σεναρίου όπου η ύπαρξη του διαχωριστικού τοίχου (έξι διαμερίσματα έναντι τριών στα Σενάρια 1 και 3) δεν επιτρέπει την είσοδο πυρκαγιάς στα διαμερίσματα αριστερά (όπως φαίνεται στο σχήμα) της πηγής έναυσης η οποία τοποθετείται στο ισόγειο. Επιπλέον, για το Σενάριο 2 γίνεται εμφανές ότι λόγω του γεγονότος ότι η πηγή έναυσης τοποθετείται στο δεύτερο όροφο δεν προκύπτει διείσδυση πυρκαγιάς στο ισόγειο μιας και οι δημιουργούμενες ανωστικές δυνάμεις οδηγούν τη φλόγα μέσω του φωταγωγού στο δεύτερο όροφο.

Όπως προαναφέραμε ότι ο καπνός που παράγεται από μια φωτιά, κινείται προς τα πάνω μέχρι να συναντήσει την οροφή του δωματίου, στην συνέχεια κινείται οριζόντια ώσπου να συναντήσει κάποιο άνοιγμα και να συνεχίσει την ανοδική του πορεία. Σε αντιδιαστολή με την εξάπλωση της πυρκαγιάς, η μεταφορά καπνού από το διαμέρισμα, όπου γίνεται η έναυση της φλόγας στα υπόλοιπα διαμερίσματα γίνεται σχεδόν ταυτόχρονα και πολύ νωρίτερα (200-400 sec), γεγονός το οποίο φανερώνει ότι η αντιμετώπιση φαινομένων τοξικότητας και έλλειψης ορατότητας κατά την εκκένωση κατοικιών έχει καταλυτική σημασία.

Από τα σχήματα 1 και 2 προκύπτει ότι για το Σενάριο 1 η εξάπλωση της πυρκαγιάς από το ισόγειο στον 1<sup>ο</sup> Όροφο χρειάστηκε ένα χρονικό διάστημα μεταξύ 800-1000 sec, ενώ το αντίστοιχο φαινόμενο για το ίδιο Σενάριο και την εξάπλωση πυρκαγιάς από τον 1<sup>ο</sup> στο 2<sup>ο</sup> Όροφο προκύπτει ότι το χρονικό διάστημα αυξάνεται από 1400-1600 sec.

Για το Σενάριο 2 προκύπτουν τα ίδια χρονικά διαστήματα με το Σενάριο 1, με τη διαφορά ότι η ύπαρξη περισσότερων πυροδιαμερισμάτων οδηγεί στη δραματική μείωση του συνολικού ποσού της παραγόμενης θερμότητας μιας και στο φαινόμενο της καύσης συμμετέχουν τα μισά διαμερίσματα άρα και καύσιμη ύλη.

Αντίστοιχα, για το Σενάριο 3 όπου έχουμε μόνο εξάπλωση πυρκαγιάς από τον 1<sup>ο</sup> Όροφο στο 2<sup>ο</sup> το χρονικό διάστημα που χρειάστηκε ήταν 600-800 sec, δηλαδή έχουμε την μείωση του χρόνου κατά 200 sec νωρίτερα από τα υπόλοιπα δύο Σενάρια, αν και οι τιμές της εκλυόμενης θερμότητας είναι συγκρίσιμες με αυτές του Σεναρίου 1 εν τούτοις πρακτικά η οποιαδήποτε δραστηριότητα καύσης σταματά στα 1500 sec.

Από τα διαγράμματα των θερμοκρασιών (Σχήματα 3 και 4) προκύπτει ότι η χρονική εξέλιξη του μεγέθους ακολουθεί μια συγκεκριμένη πορεία, δηλαδή την εξέλιξη της εκλυόμενης θερμότητας ως προς τις μέγιστες τιμές. Επιπλέον είναι εμφανής η αναμενόμενη ύπαρξη πλατό στις τιμές της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια πλήρους καύσης στους χώρους υπό μελέτη.

Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στο γεγονός ότι για όλα τα Σενάρια το χρονικό διάστημα για το οποίο η θερμοκρασία στον 2<sup>ο</sup> Όροφο αποκτά μη βιώσιμα χαρακτηριστικά είναι ότι το διάστημα κυμαίνεται σε χρόνο μικρότερο των 20 λεπτών. Κατά αυτήν την έννοια γίνεται αντιληπτή η αναγκαιότητα της υιοθέτησης αυστηρών προδιαγραφών πυραντοχής των δομικών υλικών ώστε να διασφαλίζεται η δομική ακεραιότητα των κτιρίων αλλά και η ασφαλής εκκένωση από τους ανθρώπους.

Από τα συμπεράσματα της πτυχιακής μας εργασίας είναι ότι, αν και το φαινόμενο της φωτιάς είναι εξαιρετικά σύνθετο και πολύπλοκο γιατί έχουμε την εμπλοκή διαφόρων φαινομένων, με την βοήθεια της υπολογιστικής προσομοίωσής που χαρακτηρίζεται για την ακρίβεια της όπως διαπιστώθηκε και στο κεφάλαιο 5 είναι πλέον εφικτή. Με το πέρας των χρόνων έχουμε την βελτίωση των προσομοιώσεων άρα και την μεγαλύτερη ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Φούντη Μ., “Θεωρία Καύσης και Συστήματα Καύσης”. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα (2005).
2. Πατρώνης Νικόλαος, “Προσομοίωση της διαδικασίας εξάπλωσης πυρκαγιών σε κτίρια με τη χρήση λογισμικού υπολογιστικής ρευστομηχανικής”. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (2009).
3. Σεραφείμ Επαμεινώντας, “Υπολογιστική προσομοίωση της εξάπλωσης πυρκαγιάς σε κτίρια με χρήση της μεθόδου προσομοίωσης μεγάλης δίνης.” Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (2008).
4. Μαραζιώτη Παναγιώτα “Ανάπτυξη πειραματικής και υπολογιστικής μεθόδου για την μελέτη του αεροθερμοδυναμικού πεδίου και του εκπεμπόμενου θορύβου και ρύπων από συρρέουσες και ανακυκλοφορούσες τυρβώδεις φλόγες προπανίου.” Τμήμα Μηχανολόγων και αεροναυπηγών μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, (2006).
5. McGrattan, K., 2006, Fire Dynamics Simulator (Version 4) Technical Reference Guide, NIST Special Publication 1019.
6. McGrattan, K., 2006, Fire Dynamics Simulator (Version 4) User’s Guide, NIST Special Publication 1018.
7. Peters, N. 1992, Lectures on laminar and Turbulent combustion.
8. Large Eddy Simulation LES, McGrattanetal., 2010.
9. Wang and Chateil, 2008.
10. Andrew S. Tanenbaum, Maarten Van Steen, 2002.
11. Marlon Pierce, Choonhan Youn, and Geoffrey Fox, 2003.
12. A. Chervenak, I. Foster, C. Kesselman, C. Salisbury, and S. Tuecke, 2001.
13. Grid-Café, Moore’s Law.
14. J. Joseph, M. Ernest, C. Fellenstein, Dec 2004.
15. <http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/handle/10889/4950>.
16. [http://en.wikipedia.org/wiki/Filter\\_\(large\\_eddy\\_simulation\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Filter_(large_eddy_simulation)).
17. Anderson L. & Jansson B., “Analytical Fire Design with Gypsum – A Theoretical and Experimental Study”. Fire Safety Journal, Malmo, Sweden (1987).
18. Burke S.P. & Schumann T.E., “Diffusion flames”. Industrial and Engineering Chemistry, 20 (1928).
19. Heselden A.J.M. & Melinek S.J., “The early stages of fire growth in a compartment. A co-operative research programme of the CIB (Commission W14). First Phase”. Fire Research Note, No 1029 (1975).
20. Liang K.M., Ma T., Quintiere J.G. & Rouson D., “Application of CFD Modeling to Room Fire Growth on Walls”. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland (2003).
21. Magee R.S., McAlevy R.F., “The mechanism of flame spread”, J. Fire and Flammability 2 (1971).
22. National Fire Protection Association, “Fire Hazards in oxygen enriched atmospheres”. NFPA, No 53 (1994).

23. Pettersson O., Magnuson S.E., Thor J., "Fire engineering design of structures", Swedish Institute of Steel Construction, Publication 50 (1976).
24. Quintiere J.G., "Growth of fire in building compartments". Fire Standards and Safety, American Society for Testing and Materials, STP 614 (1976).
25. Alvares,N.J, 1975, 'Some experiments to delineate the conditions for flashover in enclosure fires', International Symposium on Fire Safety of Combustible Materials, pp.375-383, University of Edinburgh.
26. [http://www.et.gr/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=104&lang=el](http://www.et.gr/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=104&lang=el)
27. <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire07/PDF/f07061.pdf>.
28. <http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/handle/10889/4950>
29. <http://el.wikipedia.org/wiki>
30. <http://www.google.gr/search?q=computer+fire+modeling&hl>
31. <http://www.google.gr/search?q=filter+large+eddy+simulation&hl>