

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ  
ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΣΤΗ ΦΩΤΙΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΕΥΛΕΙΑΣ  
ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΙΑΣ ΚΩΝΟΥ ΓΙΑ  
ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΕΚΘΕΣΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ  
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ**



**ΑΠΟΣΤΟΛΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ  
ΖΑΦΕΙΡΗ ΛΥΔΙΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΓΙΑΝΝΑΔΑΚΗΣ (ΠΔ407)**

**ΠΑΤΡΑ 2022**



# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Διπλωματική Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου και αναφέρεται στη πειραματική διερεύνηση της ιδιοτήτων αντίδρασης σε φωτιά κατασκευαστικών υλικών από ξύλο με την χρήση της μεθόδου Θερμιδομετρίας Κώνου.

Είναι γνωστό ότι το ξύλο είναι ένα ευρέως διαδεδομένο υλικό σε όλες τις μορφές, με κύριο ενδιαφέρον στην παρούσα εργασία ως δομικό στοιχείο. Έτσι η συμπεριφορά του σε συνθήκη φωτιάς είναι ιδιαίτερης σημασίας αφού η εξέλιξη μιας φωτιάς σχετίζεται με την ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής. Στην παρούσα εργασία έγινε προσπάθεια χαρακτηρισμού ειδών ξυλείας (δρυς, ιρόκο, έλατο, πεύκο) με τη βοήθεια του θερμιδόμετρου κώνου ακολουθώντας συγκεκριμένο πρότυπο δοκιμών αντίδρασης στη φωτιά (ISO 5660). Η διαδικασία που επιβάλλει το πρότυπο αυτό οδηγεί σε συμπεράσματα ως προς το χαρακτηρισμό γενικότερα υλικών ως προς τη συμπεριφορά τους κατά την αντίδραση στη φωτιά σε κλίμακα εργαστηρίου.

Από τη θέση αυτή ευχαριστούμε θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή μας κ. Αθανάσιο Γιανναδάκη, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε, για την πολύτιμη βοήθεια του, τις γνώσεις που μας μετέδωσε και την καθοδήγηση που μας προσέφερε για την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας.

Ευχαριστούμε επίσης, το Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών για την παραχώρηση τμήματος του χώρου στο Εργαστήριο Τεχνικής Θερμοδυναμικής για την διεξαγωγή των πειραμάτων που έλαβαν χώρα στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας και το προσωπικό του Εργαστηρίου για τη βοήθεια επί τεχνικών θεμάτων.

Αποστολόπουλος Ιωάννης

Ζαφείρη Λυδία

Απρίλιος 2022

**Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή:** Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Φοιτητής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Διπλωματικής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι Φοιτητές  
(Ονοματεπώνυμο)

(Ονοματεπώνυμο)

.....  
(Υπογραφή)

.....  
(Υπογραφή)



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος αυτής της πειραματικής διερεύνησης είναι ο χαρακτηρισμός διαφόρων ειδών ξύλου ως προς την αντίδραση αυτών στη φωτιά. Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του θερμιδόμετρου κώνου ακολουθώντας το πρότυπο «αντίδρασης στη φωτιά» ISO 5660 Reaction to fire tests. Οι δοκιμές υλοποιήθηκαν στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Τεχνικής Θερμοδυναμικής το οποίο στο παρελθόν έχει διαπιστευθεί για την εφαρμογή του παραπάνω προτύπου και τα μέλη του διαθέτουν μεγάλη εμπειρία σε δοκιμές υλικών αντίδρασης στη φωτιά. Η ανάπτυξη του θέματος εξελίσσεται σε τέσσερα κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια γενική αναφορά στα φαινόμενα της φωτιάς (καύση). Γίνεται η διάκριση των φαινομένων της καύσης ενώ περιγράφονται σύντομα τα στάδια της φωτιάς. Επίσης συζητούνται οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η διάδοση της φωτιάς αναφορικά τόσο ως προς τον προσανατολισμό, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υλικών όσο και ως προς τις συνθήκες περιβάλλοντος.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται οι τρόποι κατηγοριοποίησης των υλικών (ευρωκλάσεις) ως προς την αντίδραση αυτών στη φωτιά. Ειδικότερα με βάση την κατηγοριοποίηση των δομικών υλικών σε κλάσεις, αυτά χαρακτηρίζονται υπό την έννοια της αναφλεξιμότητας. Το κεφάλαιο συμπληρώνεται με βασικά στοιχεία ως προς τους τρόπους ανάφλεξης, τους παράγοντες ανάπτυξης μιας φωτιάς και την επίδραση των περιβαλλοντικών παραγόντων στη διάδοση μιας φωτιάς. Τέλος δίνονται βασικά στοιχεία πυροπροστασίας, η οποία υποδιαιρείται σε παθητική και ενεργητική και αποτελεί κομμάτι της μελέτης του μηχανικού στην κατασκευή.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται χαρακτηριστικά του ξύλου ως υλικό αντίδρασης στη φωτιά δηλ. ως καύσιμο. Αναφέρονται πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα πέρα από τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες. Γίνεται αναφορά στην κατάταξη των ειδών ξυλείας σύμφωνα με τους κανονισμούς πυραντίστασης όπως περιγράφονται στο βασικό εγχειρίδιο Wood Handbook κατά τον White Dietenberger (FPL-GTR-113 March 1999). Στο συγκεκριμένο εγχειρίδιο δίνονται περιγραφές χαρακτηριστικών παραμέτρων κατά την καύση ξυλείας σύμφωνα με αμερικανικά πρότυπα συνήθως και η συμπεριφορά των διαφόρων ειδών ξυλείας μέσα από αυτές τις παραμέτρους. Ειδικότερα καταγράφονται οι απαιτήσεις σε υλικά αλλά και σε κλίμακα κτιρίου των ειδών ξυλείας που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε μια κατασκευή ως προς την πυρασφάλεια. Ειδική μνεία γίνεται στα είδη ξυλείας που μπορούν να λειτουργούν ως επιβραδυντικά της καύσης και αναφέρονται τεχνικές με τις οποίες αυτό μπορεί να επιτευχθεί.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η διάταξη του Θερμιδομέτρου Κώνου και η προετοιμασία της συσκευής για τη διεξαγωγή πειραμάτων – δοκιμών αντίδρασης υλικών στη φωτιά με βάση το διεθνές πρότυπο ISO – 5660 και τις κατευθυντήριες οδηγίες στις οποίες επιμερίζεται (π.χ 5660-1, 5660-2, 5660-3). Η διαδικασία ημερήσιας βαθμονόμησης είναι πάντα μια πολύ αυστηρή και επίπονη διαδικασία προκειμένου τα αποτελέσματα να προκύπτουν με αυξημένη αξιοπιστία. Περιγράφεται ακόμα η διαδικασία δοκιμών – ακολουθία εργασιών για την εκτέλεση των πειραμάτων. Καταγράφονται επίσης οι παράμετροι της καύσης που προκύπτουν κατά μια δοκιμή, πολλές από αυτές σε μορφή χρονοσειρών. Με τον τρόπο αυτό είναι εφικτό κανείς να παρακολουθήσει την εξέλιξη του φαινομένου της καύσης στο χρόνο.

Στο πέμπτο κεφάλαιο καταγράφονται τα χαρακτηριστικά και οι φυσικές ιδιότητες των ειδών ξύλου που επρόκειτο να δοκιμαστούν στο Θερμιδόμετρο Κώνου. Στη διεθνή βιβλιογραφία είναι δύσκολο να βρεθούν βιβλιοθήκες στις οποίες να καταγράφονται οι φυσικές ιδιότητες όλων των ειδών ξυλείας. Η πληροφόρηση συνήθως προέρχεται από δημοσιευμένες εργασίες και βάσεις δεδομένων που τηρούνται σε εργαστήρια που δραστηριοποιούνται ερευνητικά γύρω από δοκιμές υλικών στην αντίσταση ή στην αντίδραση στη φωτιά.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην προετοιμασία των δειγμάτων προς καύση στο Θερμιδόμετρο Κώνου, δίνονται παράλληλα κάποια βασικά φυσικά χαρακτηριστικά των υπό μελέτη τύπων ξύλου που δοκιμάστηκαν αργότερα σε μετρήσεις αντίδρασης στη φωτιά κατά το πρότυπο ISO – 5660. Επίσης δίνονται τα κύρια μεγέθη ενδιαφέροντος που προκύπτουν ως αποτελέσματα της καύσης στη συσκευή. Τα αποτελέσματα συνοδεύονται από πλούσιο φωτογραφικό υλικό των δοκιμών τόσο πριν όσο και μετά την καύση τους με στόχο την διάκριση διαφορών κυρίως στην υπολειμματική μορφή των κομματιών.

Από πλευράς πειραματικών αποτελεσμάτων το Θερμιδόμετρο Κώνου δίνει μεγάλο πλήθος αποτελεσμάτων. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας τα μεγέθη ενδιαφέροντος ήταν ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας (HRR), η ολική έκλυση θερμότητας (THR) και ο ρυθμός παραγωγής καπνού (SPR). Τα εν λόγω μεγέθη καταγράφηκαν κατά τη διαδικασία των πειραμάτων, δίνονται σε διαγράμματα και σχολιάζονται ως προς τη συμπεριφορά τους κατά τα διάφορα στάδια της καύσης.

Τέλος στο έβδομο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται μια ανασκόπηση της εργασίας και δίνονται τα πιο σημαντικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των μεγεθών που καταγράφηκαν.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	viii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	xi
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
<b>1. Το Φαινόμενο της Φωτιάς.....</b>	<b>3</b>
1.1 Ορισμός Φωτιάς.....	3
1.2 Περιγραφή Φλόγας.....	3
1.3 Περιγραφή του Φαινομένου της Καύσης.....	3
1.4 Διάκριση Φαινομένων Καύσης.....	4
1.5 Φλόγες Μερικής Προανάμειξης – Διαστρωμάτωσης.....	5
1.6 Στάδια Φωτιάς.....	5
1.7 Τρίγωνο-Τετράεδρο της Φωτιάς.....	7
1.8 Παράγοντες Διάδοσης της Φωτιάς.....	7
1.8.1 Ο Προσανατολισμός της Επιφάνειας και η Κατεύθυνση Διάδοσης.....	8
1.8.2 Πάχος Του Καιγόμενου Υλικού.....	9
1.8.3 Πάχος Καιόμενου Υλικού.....	9
1.8.4 Περιβαλλοντικοί Παράγοντες.....	9
1.8.5 Φυσικές ιδιότητες.....	10
1.8.6 Γεωμετρία του υλικού.....	10
1.9 Μηχανική Πυρασφάλειας.....	10
1.9.1 Πυροπροστασία.....	11
1.9.2 Παθητική Πυροπροστασία.....	11
1.9.3 Ενεργητική Πυροπροστασία.....	11
<b>2. Κατηγορίες Δομικών Υλικών.....</b>	<b>13</b>
2.1 Δοκιμές Αντίδρασης στη Φωτιά.....	14
2.2 Ευρωπαϊκές Κλάσεις.....	14
2.3 Μη Εύφλεκτα Υλικά (A).....	17
2.4 Εύφλεκτα Υλικά (B).....	18
2.4.1 Δύσκολα Αναφλεγόμενα Υλικά (B1).....	18
2.4.2 Κανονικά Αναφλεγόμενα Υλικά (B2).....	18



2.4.3	Εύκολα Αναφλεγόμενα Υλικά (B3).....	18
2.5	Τρόποι Ανάφλεξης.....	19
2.5.1	Παράγοντες Ανάπτυξης της Φωτιάς.....	20
<b>3.</b>	<b>Κατηγοριοποίηση – Χαρακτηριστικά ειδών ξυλείας.....</b>	<b>21</b>
3.1	Το Ξύλο σε Συνθήκη Πυρκαγιάς.....	21
3.1.1	Πλεονεκτήματα του Ξύλου.....	22
3.1.2	Μειονεκτήματα του Ξύλου.....	22
3.1.3	Φυσικές Ιδιότητες.....	22
3.1.4	Μηχανικές Ιδιότητες.....	24
3.2	Αντίδραση του Ξύλου στη Φωτιά.....	25
3.3	Σχεδιασμός και Εκτίμηση της Πυρασφάλειας.....	25
3.3.1	Απαιτήσεις Υλικών.....	26
3.3.2	Απαιτήσεις Κτιρίου.....	34
3.4	Χαρακτηριστικά Απόδοσης Πυρκαγιάς Ξύλου.....	34
3.5	Ανάφλεξη του Ξύλου.....	35
3.6	Έκλυση Θερμότητας από το Ξύλο.....	37
3.7	Εξάπλωση Φλόγας.....	39
3.8	Εξέλιξη του Καπνού και Τοξικών Αερίων.....	40
3.9	Απανθράκωση του Ξύλου και Αντίσταση στη Φωτιά.....	42
3.10	Διαχείριση του Ξύλου για την Επιβράδυνση της Φωτιάς.....	43
3.10.1	Προϊόντα Ξύλου και Συστήματα Επικάλυψης Μη Βραδείας Καύσης.....	43
3.10.2	Ξύλο Επεξεργασμένο ως Επιβραδυντικό Φωτιάς.....	44
3.10.3	Ξύλο Επεξεργασμένο με εμποτισμό.....	45
3.10.4	Επιστρώσεις Επιβραδυντικών Ουσιών.....	46
3.10.5	Διογκούμενες Αντιπυρικές Ουσίες.....	47
3.10.6	Μη Διογκούμενες Αντιπυρικές Ουσίες.....	48
3.10.7	Λεπτά επιχρίσματα με κονίαμα.....	48
3.10.8	Ειδικής Σύθεσης Ξυλόμαζα.....	48
<b>4.</b>	<b>Θερμιδόμετρο Κώνου – Πειραματική Διαδικασία.....</b>	<b>50</b>
4.1	Διάταξη του Θερμιδομέτρου.....	51
4.2	Προετοιμασία Συσκευής πριν τη Λειτουργία.....	55
4.3	Διαδικασία Ημερήσιας Βαθμονόμησης.....	55
4.4	Φαινόμενα από την Προθέρμανση στην Ανάφλεξη.....	59
4.4.1	Ρυθμός Καύσης.....	60

4.4.2	Ροή Θερμότητας Φλόγας. ....	61
4.4.3	Ροή Θερμότητας από Ακτινοβολία. ....	61
<b>5.</b>	<b>Χαρακτηριστικά – Φυσικές Ιδιότητες δοκιμίων. ....</b>	<b>62</b>
5.1.1	Φυσικά Χαρακτηριστικά Δρυός. ....	62
5.1.2	Φυσικά Χαρακτηριστικά Ιρόκο (Αφρικής). ....	63
5.1.3	Φυσικά Χαρακτηριστικά Πεύκου. ....	64
5.1.4	Φυσικά Χαρακτηριστικά Έλατου. ....	66
<b>6.</b>	<b>Διαδικασία Μετρήσεων (Reaction to Fire tests). ....</b>	<b>68</b>
6.1	Διεξαγωγή Πειράματος. ....	68
6.2	Προετοιμασία Δειγμάτων – Τεμαχίων Ξύλων. ....	69
6.3	Γεωμετρικά - Φυσικά Χαρακτηριστικά δοκιμίων. ....	70
6.4	Αποτελέσματα Μετρήσεων. ....	72
6.4.1	Υπολείμματα Δοκιμίων Δρυός. ....	72
6.4.2	Υπολείμματα Δοκιμίων Ιρόκο (Αφρικής – Γκάνα). ....	72
6.4.3	Υπολείμματα Δοκιμίων Πεύκου. ....	74
6.4.4	Υπολείμματα Δοκιμίων Έλατου. ....	75
6.5	Πειραματικά Αποτελέσματα. ....	76
6.5.1	Αποτελέσματα Ρυθμού Έκλυσης Θερμότητας (HRR). ....	77
6.5.2	Αποτελέσματα Ολικής Έκλυσης Θερμότητας (Total Heat Release THR). ....	80
6.5.3	Αποτελέσματα Ρυθμού Παραγωγής Καπνού. (Smoke Production Rate). ....	83
<b>7.</b>	<b>Ανασκόπηση – Συμπεράσματα. ....</b>	<b>87</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ. ....</b>	<b>91</b>
	Βίντεο καύσης – ΔΡΥΣ (50kW/m <sup>2</sup> ) ....	92
	Βίντεο καύσης – ΔΡΥΣ (75kW/m <sup>2</sup> ) ....	92
	Βίντεο καύσης – ΕΛΑΤΟ (50kW/m <sup>2</sup> ). ....	93
	Βίντεο καύσης – ΕΛΑΤΟ (75kW/m <sup>2</sup> ). ....	93
	Βίντεο καύσης – ΙΡΟΚΟ (50kW/m <sup>2</sup> ) ....	94
	Βίντεο καύσης – ΙΡΟΚΟ (75kW/m <sup>2</sup> ) ....	94
	Βίντεο καύσης – ΠΕΥΚΟ (50kW/m <sup>2</sup> ). ....	95
	Βίντεο καύσης – ΠΕΥΚΟ (75kW/m <sup>2</sup> ). ....	95
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ. ....</b>	<b>96</b>

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Στάδια εξέλιξης της φωτιάς ως προς την εκλυόμενη θερμότητα. ....	5
Εικόνα 2: Στάδια εξέλιξης της φωτιάς ως προς τη θερμοκρασία. ....	6
Εικόνα 3: Τρίγωνο της φωτιάς - Τετράεδο της φωτιάς.....	7
Εικόνα 4: Ενδεικτικές τρόποι εξάπλωσης φωτιάς ω; προς τον προσανατολισμό (Drysdale 1965) .....	8
Εικόνα 5: Κατηγορίες αδρανών και εύφλεκτων υλικών. ....	15
Εικόνα 6: Κατηγοριοποίηση των δομικών υλικών ως προς την πυραντίσταση (Blassi W.,2000) .....	19
Εικόνα 7: Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας για ανεπεξέργαστο και επεξεργασμένο κομμάτι κόντραπλακέ εκτεθειμένο σε ροή ακτινοβολούμενης θερμότητας 50kW/m <sup>2</sup> .....	38
Εικόνα 8: Η συσκευή Θερμιδομέτρου Κώνου με τα περιφερειακά της (FTT).....	52
Εικόνα 9: Οριζόντια και Κατακόρυφη Τοπολογία δείγματος δοκιμής [31] . ....	53
Εικόνα 10: Είδη ξύλου προς δοκιμή (Πεύκο, Έλατο, Δρυς, Ιρόκο). ....	69
Εικόνα 11: Κάτοψη και πλάγιες όψεις δοκιμίων ξύλου δρυός. ....	70
Εικόνα 12: Πλευρική κάλυψη των δοκιμίων δρυός με φύλλο αλουμινίου και τοποθέτηση στην ειδική βάση εισαγωγής στο Θερμιδόμετρο Κώνου. ....	70
Εικόνα 13: Τοποθέτηση δοκιμίων Δρυός στη βάση - έλεγχος διαστάσεων. ....	70
Εικόνα 14: Διαδικασία προετοιμασίας δοκιμίων Ελάτης. ....	71
Εικόνα 15: Διαδικασία προετοιμασίας δοκιμίων ΙΡΟΚΟ. ....	71
Εικόνα 16: Διαδικασία προετοιμασίας δοκιμίων Πεύκου. ....	71
Εικόνα 17: Υπολείμματα Δρυός μετά από τη δοκιμή σε 50 kW/m <sup>2</sup> .....	72
Εικόνα 18:Υπολείμματα Δρυός μετά από τη δοκιμή σε 75 kW/m <sup>2</sup> .....	72
Εικόνα 19: Υπολείμματα δοκιμίων Ιρόκο μετά από δοκιμή σε 50 kW/m <sup>2</sup> . ....	73
Εικόνα 20: Υπολείμματα δοκιμίων Ιρόκο μετά από δοκιμή σε 75 kW/m <sup>2</sup> . ....	73
Εικόνα 21: Παραμόρφωση δοκιμίου Ιρόκο (75kW/m <sup>2</sup> ). ....	73
Εικόνα 22: Υπολείμματα δοκιμίου Πεύκου μετά από δοκιμή σε 50 kW/m <sup>2</sup> . ....	74
Εικόνα 23: Υπολείμματα δοκιμίου Πεύκου μετά από δοκιμή σε 75 kW/m <sup>2</sup> . ....	74
Εικόνα 24: Παραμόρφωση υπολειμμάτων δοκιμίου Πεύκου (75kW/m <sup>2</sup> ). ....	74
Εικόνα 25: Υπολείμματα Έλατου μετά από δοκιμή σε 50 kW/m <sup>2</sup> .....	75
Εικόνα 26: Υπολείμματα Έλατου μετά από δοκιμή σε 75 kW/m <sup>2</sup> .....	75
Εικόνα 27: Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας για όλα τα ζεύγη δοκιμίων (Δρυς, Έλατο, Ιρόκο, Πεύκο). ...	79
Εικόνα 28: Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας δοκιμίων σε ροή ακτινοβολούμενης θερμότητας 50 kW/m <sup>2</sup> . .....	80
Εικόνα 29: Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας δοκιμίων σε ροή ακτινοβολούμενης θερμότητας 75 kW/m <sup>2</sup> . .....	80
Εικόνα 30: Ολική Έκλυση Θερμότητας για όλα τα ζεύγη δοκιμίων (Δρυς, Έλατο, Ιρόκο, Πεύκο). ....	81
Εικόνα 31: Ολική Έκλυση Θερμότητας δοκιμίων σε ροή ακτινοβολούμενης θερμότητας 50 kW/m <sup>2</sup> . 82	
Εικόνα 32: Ολική Έκλυση Θερμότητας δοκιμίων σε ροή ακτινοβολούμενης θερμότητας 75 kW/m <sup>2</sup> . 82	
Εικόνα 33: Ρυθμός Παραγωγής Καπνού για όλα τα ζεύγη δοκιμίων (Δρυς, Έλατο, Ιρόκο, Πεύκο).....	85
Εικόνα 34: Ρυθμός Παραγωγής Καπνού σε ροή ακτινοβολούμενης θερμότητας 50 kW/m <sup>2</sup> . ....	86
Εικόνα 35: Ρυθμός Παραγωγής Καπνού σε ροή ακτινοβολούμενης θερμότητας 75 kW/m <sup>2</sup> . ....	86

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Φωτιά είναι η καύση που συνοδεύεται από φλόγα. Πρόκειται για χημική αντίδραση κατά την οποία εκλύεται έντονα θερμότητα και κατά το φαινόμενο συντηρείται φλόγα, ως ορατό αποτέλεσμα της εξώθερμης αντίδρασης. Οι φλόγες αποτελούν τον τρόπο έκφρασης του αποτελέσματος αυτής της αντίδρασης, έτσι ώστε αυτό να γίνεται ορατό. Με τον όρο καύση χαρακτηρίζεται οποιαδήποτε χημική αντίδραση που συνοδεύεται από έκλυση θερμότητας ίσως και φωτός, που συνδυάζονται (συχνά) με την εμφάνιση φλόγας, από θερμά αέρια προϊόντα, ή λάμψης.

Οι καύσεις είναι εξώθερμες οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις, μεταξύ ενός καυσίμου και ενός οξειδωτικού. Παλιότερα ονομάζονταν καύση κάθε αντίδραση με το οξυγόνο ( $O_2$ ) που ελευθερώνει θερμότητα και φως. Σήμερα είναι δεκτό ότι και άλλες χημικές ουσίες εκτός του  $O_2$  μπορούν να προκαλέσουν διάφορες καύσεις. Τέτοιες χημικές ουσίες είναι το όζον ( $O_3$ ), το φθόριο ( $F_2$ ), το χλώριο ( $Cl_2$ ) κ.ά. Πάντως, συνήθως όταν αναφέρεται ο όρος καύση, χωρίς άλλη διευκρίνιση, εννοείται ότι πρόκειται για καύση με κάποιο οξειδωτικό που πιο απλά θεωρείται το οξυγόνο ή πιο αυστηρά ο αέρας με τη στοιχειομετρική του σύσταση (21%  $O_2$  και 79%  $N_2$  άζωτο).

Η καύση μιας χημικής ουσίας πραγματοποιείται σε μια χαρακτηριστική θερμοκρασία (που συχνά όμως εξαρτάται και από την επικρατούσα πίεση, ιδιαίτερα για αέρια καύσιμα) που ονομάζεται θερμοκρασία ή σημείο ανάφλεξης της συγκεκριμένης χημικής ουσίας. Τα καύσιμα ή οι καύσιμες ύλες μπορούν να συμμετέχουν σε σχήματα καύσης σε όλες τις φάσεις της ύλης. Καύσιμα μπορεί να είναι στερεά (όπως π.χ γαιάνθρακες – διάφοροι λιγνίτες), υγρά (αλκοόλες) ή αέρια (νάφθες, ναφθένια) που όλα με την καύση τους παράγουν εκμεταλλεύσιμη θερμότητα. Η ελεγχόμενη καύση των καυσίμων σε θαλάμους καύσης χρησιμοποιείται σε μια σειρά από εφαρμογές (π.χ. μηχανές εσωτερικής καύσης, λέβητες) για την παραγωγή θερμότητας και γενικότερα ενέργειας.

Η πυρκαγιά ως συνέπεια της καύσης μπορεί να διαπραγματεύεται τόσο για κλειστούς χώρους (δωμάτια, διαμερίσματα, χώρους εργασίας) όσο και σε ανοικτούς χώρους (δασικές πυρκαγιές). Η πυρκαγιά μπορεί να προξενήσει μεγάλες καταστροφές ανάλογα και με το χρόνο εξέλιξης αυτής. Έτσι μια πυρκαγιά μπορεί να εξαπλώνεται γρήγορα και ανεμπόδιστα επειδή μεγάλοι χώροι κτιρίων, εγκαταστάσεων γενικά, καθώς και βιομηχανικών και βιοτεχνικών δομικών κατασκευών είναι ενιαίοι ή γιατί μεταξύ των χώρων αυτών (ακόμη και σε διάφορους ορόφους του ίδιου κτιρίου) δεν υπάρχουν πλήρη (σωστά) προστατευμένα διαχωρίσματα, όπως συμβαίνει όταν τα διαχωρίσματα αυτά έχουν ελεύθερα ανοίγματα, απροστάτευτα περάσματα καλωδιώσεων, σωληνώσεων κ.ά.

Οι βασικοί παράγοντες για τον περιορισμό του αριθμού των θυμάτων και των υλικών ζημιών από πυρκαγιά είναι

- η έγκαιρη ανίχνευση και ειδοποίηση, με κατάλληλα συστήματα εντοπισμού και αναγγελίας πυρκαγιάς,
- ο περιορισμός της ταχύτητας διάδοσης πυρκαγιάς με την κατάλληλη κατάσβεση (από χρονική άποψη και χρήση πυροσβεστικών μέσων —προϋποθέσεις που πρέπει να ικανοποιούνται και όταν η καταστολή πυρκαγιάς επιδιώκεται με αυτόματα συστήματα καταιονισμού)
- ο διαχωρισμός των χώρων μεταξύ τους με στοιχεία από υλικά πυράντοχα,

- η εξασφάλιση οδών διαφυγής για την απομάκρυνση των ανθρώπων εντός των κτιρίων, που είναι ο κύριος σκοπός, άλλωστε, των διατάξεων πυροπροστασίας που περιέχουν διάφοροι Κανονισμοί, νομοθετικές ρυθμίσεις κ.λπ.

Έτσι συνιθίζεται η διαμερισματοποίηση των χώρων από πλευράς πυρασφάλειας και εξασφάλιση των οδών διαφυγής από το λεγόμενο πυροδιαμέρισμα.

Τα τελευταία 20 χρόνια τουλάχιστον η εξέλιξη και η ανάπτυξη στον τομέα της τεχνολογίας υλικών, επιτρέπει την κατασκευή ανθεκτικότερων, περισσότερο πυρασφαλών οικοδομημάτων. Παλιότερα π.χ. οι χαλύβδινες κατασκευές και οι δομές από σιδηροπαγές σκυρόδεμα (μπετόν αρμέ) ήσαν άγνωστες, με αποτέλεσμα τα κτίρια να προσβάλλονται πιο εύκολα από πυρκαγιές.

Τα υλικά που είναι δυνατό, σήμερα, να χρησιμοποιηθούν για ανέγερση κτιρίων, π.χ. σιδηροπαγές σκυρόδεμα, διαθέτουν κατάλληλες ιδιότητες τόσο για την επιθυμητή δομική αντοχή όσο και για τη συμπεριφορά που πρέπει να δείξουν τα κτίρια σε περίπτωση πυρκαγιάς. Τα χαρακτηριστικά αυτά γνωρίσματα των υλικών επιβάλλουν σωστό σχεδιασμό οικοδομών από τους μηχανικούς, που θα πρέπει να διαθέτουν την κατάλληλη τεχνογνωσία. Ειδικότερα ο πυροπροστατευτικός σχεδιασμός των οικοδομών είναι πλήρης όταν καλύπτει την πυραντοχή, πυρανάσχεση και θέματα πυρασφάλειας κτιρίων.

Για να μπορέσει ένα τέτοιο εγχείρημα σωστού οικοδομικού σχεδιασμού να αποδώσει, θα πρέπει να απαντηθούν ερωτήματα που αφορούν

- Ασφάλεια ζωής.
- Εξασφάλιση περιουσιών.
- Εξασφάλιση συνεχούς παραγωγικής διαδικασίας στις εγκαταστάσεις.

Η έρευνα που αφορά τον προσδιορισμό των παραμέτρων πυρασφάλειας είναι ένα εξαιρετικής σημασίας λειτούργημα κι απαιτεί πολλές γνώσεις, ιδιαίτερα για τα προϊόντα της καύσης. Τα προϊόντα καύσης μπορεί να διακριθούν σε φλόγες, θερμότητα, καπνό και αέρια. Υπό αυτό το πρίσμα ο σωστός (πυροπροστατευτικός) σχεδιασμός κτιρίων μπορεί να προστατεύσει αποτελεσματικά ανθρώπους και περιουσίες από τον κίνδυνο πυρκαγιάς λόγω όλων των παραπάνω παραγόντων.

# 1. Το Φαινόμενο της Φωτιάς.

## 1.1 Ορισμός Φωτιάς

Με τον όρο φωτιά συνήθως καλείται η ταχεία οξειδωση μιας καύσιμης ύλης που απελευθερώνει θερμότητα, φως – ακτινοβολία (φλόγα) και άλλα προϊόντα αντίδρασης, όπως διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Όταν ένα εύφλεκτο ή καύσιμο υλικό με την παρουσία οξυγόνου ή κάποιου άλλου οξειδωτικού παράγοντα, βρεθεί σε κατάλληλη θερμοκρασία. τότε μπορεί να γίνει η έναυση της φωτιάς. Αυτή η κατάλληλη θερμοκρασία ονομάζεται θερμοκρασία ανάφλεξης ή σημείο ανάφλεξης και είναι διαφορετική για κάθε υλικό.

Μία σπίθα, κάποια άλλη φωτιά (όπως ένα αναμμένο σπύρτο ή τσιγάρο ) και πηγές έντονης θερμικής ακτινοβολίας (όπως ο ήλιος και οι λαμπτήρες πυρακτώσεως) είναι οι κύριες πηγές φωτιάς. Όταν δεν υπάρχει κάποια εξωτερική πηγή θερμότητας μπορεί να συμβεί ανάφλεξη ,η οποία ονομάζεται αυτανάφλεξη. Επομένως η αυτανάφλεξη είναι μια ειδική περίπτωση αιφνίδιας ανάφλεξης καύσιμου υλικού.

## 1.2 Περιγραφή Φλόγας.

Η φλόγα της φωτιάς είναι μια μίξη του οξυγόνου του ατμοσφαιρικού αέρα και των θερμών ατμών του καυσίμου που αντιδρώντας μεταξύ τους μπορούν να εκπέμπουν ορατή και υπέρυθη ακτινοβολία. Εδώ θα πρέπει να επισημανθεί ότι η παρουσία φλόγας δεν είναι απαραίτητη στην καύση (αργή καύση – υποκαύση - smoldering) και εμφανίζεται όταν μία στερεά επιφάνεια υφίσταται ταυτόχρονα πυράκτωση και αποτέφρωση.

Περιπτώσεις αργής καύσης είναι η καύση στο τσιγάρο ή η καύση των κάρβουνων. Αναλόγως της σύστασης του καυσίμου υλικού, το χρώμα και η ένταση της φλόγας ποικίλουν. Για παράδειγμα, σε μια πυρκαγιά σε δάσος παρατηρείται ότι κοντά στο έδαφος, όπου συμβαίνουν τα φαινόμενα της καύσης κυρίως, η φωτιά έχει λευκό χρώμα (το θερμότερο χρώμα για την περίπτωση οργανικών υλικών) ή κίτρινη. Με την απομάκρυνση από το έδαφος η θερμοκρασία μειώνεται και το χρώμα της φωτιάς από κίτρινο γίνεται πορτοκαλί και τελικά κόκκινο.

## 1.3 Περιγραφή του Φαινομένου της Καύσης.

Σε πιο επιστημονικούς όρους, με τον όρο καύση ονομάζεται κάθε εξώθερμη χημική αντίδραση ενός υλικού καυσίμου με οξυγόνο (ή αέρα). Συντελείται με αρκετά μεγάλο βαθμό απόδοσης θερμότητας, με σκοπό ακριβώς την εκμετάλλευση της εκπνευμένης ενέργειας υπό μορφή θερμότητας. Ελάχιστη προϋπόθεση είναι η εκπνευμένη θερμότητα να είναι τόση ώστε να μπορεί να διατηρηθεί η αντίδραση.

Κατά την διάρκεια της καύσης, ένα μέρος της εκλυόμενης ενέργειας διαχέεται στο περιβάλλον, ανεβάζοντας σημαντικά τη θερμοκρασία. Το υπόλοιπο μεταφέρεται στα γειτονικά καιγόμενα υλικά – πακέτα, καθώς και σε άλλα ενδιάμεσα, πιθανά καύσιμα προϊόντα της καύσης, ανεβάζοντας την εσωτερική τους ενέργεια έτσι ώστε η αντίδραση (καύση) να συνεχίζεται και ενδεχομένως να επεκτείνεται.

Εάν αυτή η ενέργεια δεν είναι επαρκής, η καύση αποσβένει και τείνει να περιοριστεί σταδιακά, ενώ αντίθετα, ικανοποιητικά ποσά θερμότητας οδηγούν στην επέκταση και τη δημιουργία πυρκαγιάς. Το πιο διαδεδομένο συστατικό που συναντάται στα περισσότερα καύσιμα, όπως για παράδειγμα στα σύνθετα μόρια του ξύλου, των πλαστικών ή του πετρελαίου είναι το υδρογόνο. Το δεύτερο πιο διαδεδομένο συστατικό είναι ο άνθρακας ο οποίος εμφανίζεται στα μόρια εύφλεκτων υλικών. (Αποστολοπούλου 2016).

#### 1.4 Διάκριση Φαινομένων Καύσης.

Τα περισσότερα φαινόμενα καύσης ανήκουν σε μία από τις κατηγορίες σύμφωνα με τους Κούτμο και Φούντη [1,2].

➤ Φαινόμενα που ρυθμίζονται πρωταρχικά από τη χημική κινητική.

Στην κατηγορία αυτή συναντώνται φαινόμενα κατά τα οποία το καύσιμο και το οξειδωτικό εισάγονται στον χώρο που πραγματοποιείται η καύση σε προαναμεμειγμένη μορφή. Το σχήμα της καύσης τότε λέγεται προανάμειξης ή οι προκύπτουσες φλόγες λέγονται προανάμειξης ή πλήρως προαναμεμειγμένες. Χαρακτηριστικά παραδείγματα φαινομένων αυτής της κατηγορίας είναι:

- ✓ η ανάφλεξη του μείγματος (ignition), όπου αυξάνεται η θερμοκρασία των αντιδρώντων συστατικών ( π.χ. πιλοτική φλόγα ή ηλεκτρικός σπινθήρας),
- ✓ η μετάδοση της φλόγας (flame spread) και η μετάδοση ή έκρηξη σε πολύ υψηλές ταχύτητες διάδοσης,
- ✓ η σταθεροποίηση της φλόγας,
- ✓ η ψύξη – και το σβήσιμο της φλόγας.

➤ Φαινόμενα που ρυθμίζονται πρωταρχικά από το μηχανισμό της διάχυσης.

Με την έννοια διάχυση νοείται ο μηχανισμός που διέπει όλα τα φαινόμενα μεταφοράς όπως μάζα, ορμή, ενέργεια κατά την ανάμειξη καυσίμου - οξειδωτικού. Σε αυτή την κατηγορία συναντώνται φαινόμενα κατά τα οποία το ρεύμα καυσίμου και το ρεύμα οξειδωτικού έρχονται σε επαφή και αναμειγνύονται στο χώρο που πραγματοποιείται η καύση. Αντίστοιχα οι φλόγες που συνοδεύουν την καύση λέγονται φλόγες διάχυσης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα φαινομένων αυτής της κατηγορίας είναι:

- ✓ οι στρωτές και τυρβώδεις φλόγες διάχυσης στις οποίες το καύσιμο και το οξειδωτικό έρχονται σε επαφή στη ζώνη καύσης,
- ✓ η καύση σταγονιδίων ή στερεών σωματιδίων,
- ✓ οι ανωστικές και οι λιμνάζουσες φλόγες.

➤ Φαινόμενα στα οποία ο ρόλος της χημικής κινητικής και της φυσικής ανάμειξης είναι της ίδιας σημασίας.

Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν εξώθερμες οξειδωτικές αντιδράσεις, όπου ο ρυθμός της ανάμειξης του οξειδωτικού με το καύσιμο είναι συγκρίσιμος με το ρυθμό ολοκλήρωσης των χημικών αντιδράσεων στο μέτωπο της φλόγας. Φαινόμενα καύσης που ανήκουν στη συγκεκριμένη κατηγορία είναι:

- ✓ καύση σε κινητήρες Ramjet,
- ✓ πυρκαγιές,
- ✓ στρωτές και τυρβώδεις φλόγες προανάμειξης (καύσιμο και οξειδωτής είναι προαναμεμειγμένα),

✓ καύση στις Μ.Ε.Κ.

## 1.5 Φλόγες Μερικής Προανάμιξης – Διαστρωμάτωσης.

Υπάρχουν και δύο άλλες υποκατηγορίες φαινομένων καύσης που προκύπτουν από τον συνδυασμό των παραπάνω σχημάτων καύσης.

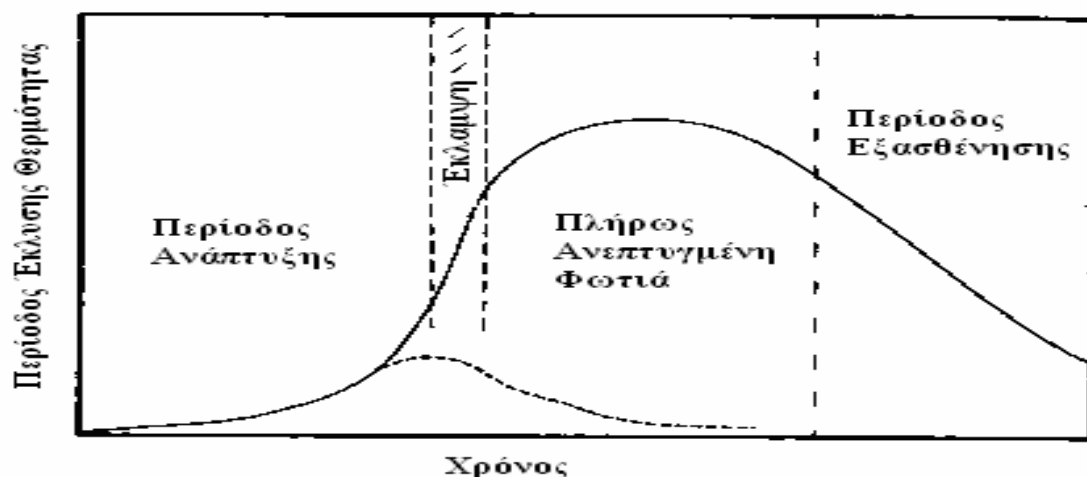
Η πρώτη είναι η περίπτωση της μερικής προανάμιξης, κατά την οποία η σύνθεση του αντιδρώντος μείγματος, πριν την προσαγωγή του στη ζώνη των χημικών αντιδράσεων, μπορεί να κυμαίνεται από ένα πολύ φτωχό έως ένα πολύ πλούσιο σχετικό λόγο καυσίμου-αέρα  $\Phi$ , και δεν αποκλείεται η πιθανότητα μέρος του μίγματος να είναι και εκτός των ορίων ευφλεκτότητας. Φλόγες μερικής προανάμιξης συναντώνται σε πολλές πρακτικές διεργασίες και εφαρμογές, (π.χ .στις μηχανές εσωτερικής καύσης).

Στην δεύτερη υποκατηγορία εμπεριέχονται οι φλόγες με διαστρωμάτωση του σχετικού λόγου καυσίμου-αέρα στο μείγμα. Στις φλόγες αυτές, οι διακυμάνσεις του σχετικού λόγου καυσίμου-αέρα στο αντιδρόν μίγμα περιορίζονται εντός των ορίων ευφλεκτότητας και στην ουσία οι φλόγες αυτές αποτελούν υποκατηγορία των μερικώς προαναμιγμένων φλογών.

## 1.6 Στάδια Φωτιάς.

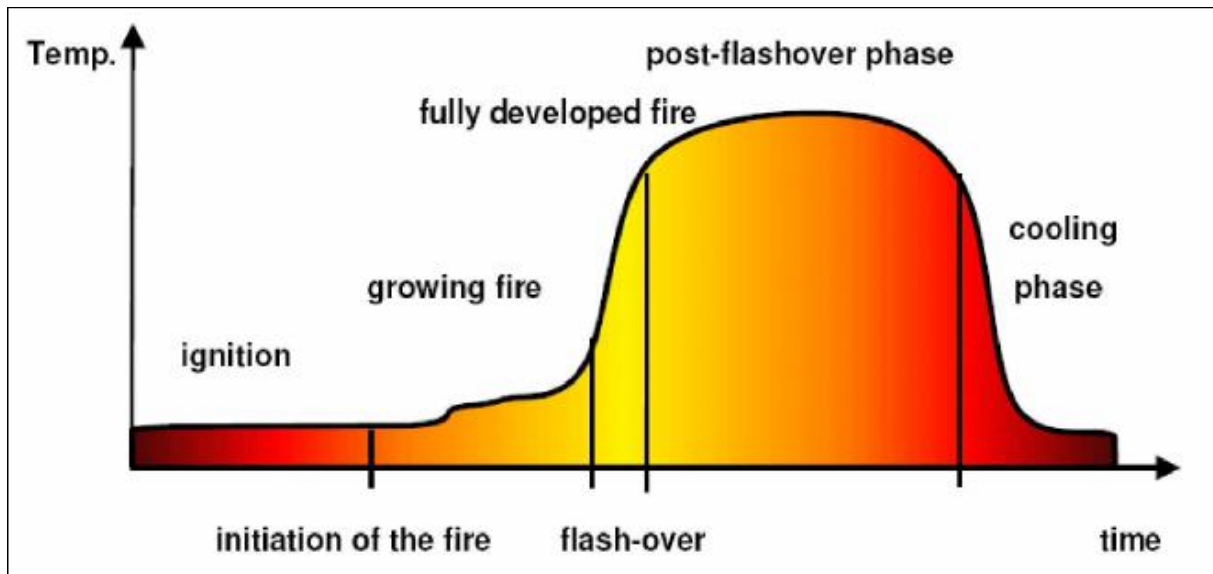
Η εξέλιξη της φωτιάς περιλαμβάνει 3 στάδια(εφόσον υπάρχει αρκετός αερισμός):

- 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 απόσβεσης της φωτιάς: το οποίο ξεκινάει όταν η τιμή της μέσης θερμοκρασίας φθάσει τιμή το 80% της μέγιστης θερμοκρασίας.



Εικόνα 1: Στάδια εξέλιξης της φωτιάς ως προς την εκλυόμενη θερμότητα.





Εικόνα 2: Στάδια εξέλιξης της φωτιάς ως προς τη θερμοκρασία.

Η μετάβαση από το πρώτο στο δεύτερο στάδιο, χωρίζεται από μια μικρής χρονικής διάρκειας φαινόμενο γνωστό ως πλήρης ανάφλεξη - flashover – έκλαμψη που περιλαμβάνει τη γρήγορη εξάπλωση της φωτιάς από το αρχικό σημείο έναυσης προς όλες τις αναφλέξιμες επιφάνειες και εύφλεκτα πακέτα του χώρου. Το φαινόμενο της πλήρους ανάφλεξης, σε σχέση με τα υπόλοιπα στάδια, έχει μικρή χρονική διάρκεια. Χαρακτηρίζεται όμως ως ένα κρίσιμο χρονικό σημείο, διότι με το που συμβεί μειώνονται δραματικά οι πιθανότητες επιβίωσης στο εσωτερικό του χώρου. Επομένως η εκκένωση των ανθρώπων από ένα χώρο θα πρέπει να έχει ολοκληρωθεί μέχρι του αυτού του σημείου εξέλιξης της πυρκαγιάς.

Μετά την έναυση της καύσης σε μια τοπική εστία φωτιάς μπορούν να συμβούν τα ακόλουθα:

- Η φωτιά μπορεί να κάψει μόνο το αρχικό αντικείμενο και να μην εξαπλωθεί λόγω έλλειψης καυσίμου (π.χ. η φωτιά ξεκινάει σε ένα απομονωμένο σημείο),
- Η φωτιά μπορεί να εξαπλωθεί με αργούς ρυθμούς ή να σβήσει λόγω έλλειψης οξυγόνου (οξειδωτικού),
- Η φωτιά μπορεί να αναπτυχθεί πλήρως και να εξαπλωθεί με γρήγορους ρυθμούς λόγω της ύπαρξης παρακείμενων πακέτων καυσίμου και ικανοποιητικής ποσότητας αέρα που θα μπορεί να συντηρεί τη φωτιά.

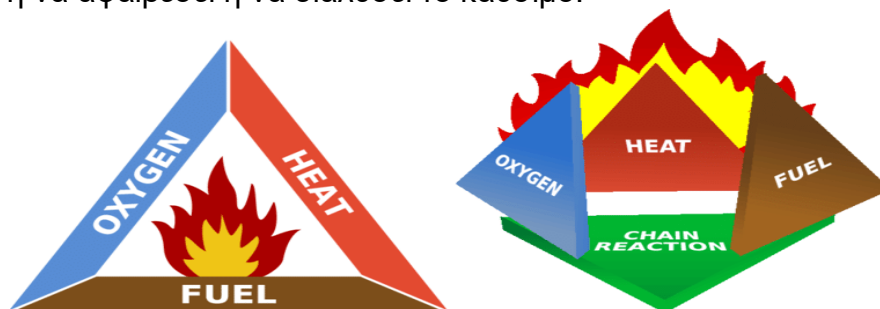
Παρόλο που η διάρκεια της έκλαμψης είναι αισθητά μικρότερη και από τα τρία στάδια που αναφέραμε, έχει μεγάλη σημασία γιατί μετά την έκλαμψη οι πιθανότητες επιβίωσης των ανθρώπων μέσα στο χώρο μειώνονται δραματικά. Κατά τη διάρκεια του σταδίου της πλήρως ανεπτυγμένης φωτιάς η έκλαμψη έχει τη μέγιστη τιμή 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.

## 1.7 Τρίγωνο-Τετράεδρο της Φωτιάς.

Το επονομαζόμενο τρίγωνο της φωτιάς δείχνει τα τρία στοιχεία που απαιτούνται για τη συντήρηση μιας φωτιάς: θερμότητα, καύσιμο και έναν οξειδωτικό παράγοντα (συνήθως οξυγόνο).

- **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» χαρακτηρίζεται η οριακή θερμοκρασία στην οποία αναφλέγεται και αρχίζει να καίγεται το υλικό.
- **Καύσιμο:** Οποιοδήποτε υλικό που μπορεί να καεί, δηλαδή μέσω μιας χημικής διαδικασίας με το οξυγόνο να παραχθεί φλόγα και θερμική ενέργεια. Για τη δημιουργία φλόγας θα 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.
- **Οξυγόνο:** Βρίσκεται ελεύθερο στην ατμόσφαιρα σε ποσοστό 21% του ατμοσφαιρικού αέρα. Το ποσοστό του οξυγόνου θα πρέπει σε ένα φαινόμενο καύσης να είναι ικανοποιητικό ώστε να μπορεί να συντηρείται η καύση.

Το τετράεδρο φωτιάς αντιπροσωπεύει την προσθήκη ενός στοιχείου, της χημικής αλυσιδωτής αντίδρασης, στα τρία που υπάρχουν ήδη στο τρίγωνο της φωτιάς. Όταν μια φωτιά έχει ξεκινήσει, η εξώθερμη αλυσιδωτή αντίδραση που έχει προκληθεί συντηρεί την φωτιά και επιτρέπει να συνεχιστεί έως ότου ή εκτός εάν τουλάχιστον ένα από τα στοιχεία της φωτιάς αποκλειστεί. Ο αφρός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποκόψει τη φωτιά από το οξυγόνο που χρειάζεται. Το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μειώσει τη θερμοκρασία του καυσίμου κάτω από το σημείο ανάφλεξης ή να αφαιρέσει ή να διαλύσει το καύσιμο.



Εικόνα 3: Τρίγωνο της φωτιάς - Τετράεδρο της φωτιάς.

## 1.8 Παράγοντες Διάδοσης της Φωτιάς.

Ο ρυθμός διάδοσης της φωτιάς εξαρτάται από το σημείο ανάφλεξης, από άλλες γειτονικές αναφλέξιμες επιφάνειες που βρίσκονται στον ίδιο χώρο καθώς και από την ταχύτητα μετάδοσης της φλόγας. Για την πλήρη ανάπτυξη μιας φωτιάς σε έναν κλειστό χώρο, απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες (συνήθως μεγαλύτερες των 600°C). Ο συνολικός ρυθμός καύσης επηρεάζεται σημαντικά από την αύξηση του όγκου που καταλαμβάνει η φωτιά και από την αύξηση του ρυθμού μετάδοσης θερμότητας μέσω ακτινοβολίας (Thomas, 1981). Ο ρυθμός εξάπλωσης της φλόγας εξαρτάται από τις

φυσικές ιδιότητες ενός υλικού και από την χημική του σύσταση. Ο ρυθμός εξάπλωσης της φωτιάς σε στερεά αντικείμενα παίζει σημαντικό ρόλο στην περίπτωση φωτιάς σε κτίρια. Η φωτιά μπορεί να διαδοθεί σε στερεές αλλά και υγρές επιφάνειες. Το πρόβλημα της διάδοσης της φωτιάς είναι πολυπαραγοντικό – πολυπαραμετρικό και οι σημαντικότεροι παρουσιάζονται στη συνέχεια.

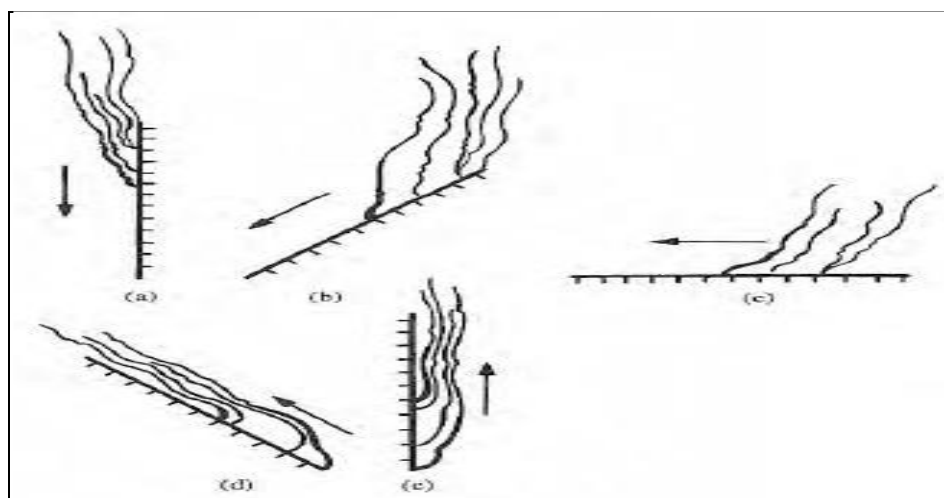
### 1.8.1 Ο Προσανατολισμός της Επιφάνειας και η Κατεύθυνση Διάδοσης.

Μία στερεή επιφάνεια μπορεί να καεί ανεξαρτήτως του προσανατολισμού της, αλλά η εξάπλωση της φλόγας είναι ταχύτερη όταν το μέτωπο καύσης κινείται προς τα πάνω σε μια κάθετη επιφάνεια. Όσο αυξάνεται η γωνία που σχηματίζει μια επιφάνεια με το οριζόντιο επίπεδο, τόσο αυξάνεται και ο αντίστοιχος ρυθμός διάδοσης της φλόγας (Magee & McAlevy, 1971). Όταν η κατεύθυνση διάδοσης της φλόγας είναι προς τα κάτω, η ανωστική ροή του θερμού αέρα έχει κατεύθυνση αντίθετη από αυτήν της φλόγας, με αποτέλεσμα να εμποδίζει την εξάπλωσή της.

Στην περίπτωση αυτή, η φλόγα εξαπλώνεται με αργό αλλά σταθερό ρυθμό. Αντίθετα, όταν η κατεύθυνση διάδοσης της φλόγας είναι προς τα πάνω σε μια κάθετη επιφάνεια, η άνωση που δημιουργείται από την ίδια τη φλόγα οδηγεί σε αντίστοιχη προς τα άνω πορεία του αέρα και της φλόγας, με αποτέλεσμα η φλόγα και τα θερμά αέρια να κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση, αυξάνοντας έτσι τον ρυθμό μεταφοράς θερμότητας. Σε αυτήν την περίπτωση, η φλόγα διαδίδεται με αυξανόμενο ρυθμό. Τέλος, όσον αφορά την οριζόντια διάδοση της φλόγας εάν δεν υπάρχει κάποιο άνοιγμα στον χώρο που οδηγεί στην συνεχή εισαγωγή φρέσκου αέρα, δεν προκαλείται η γρήγορη εξάπλωσή της.

Πίνακας 1.1: Πειραματικά αποτελέσματα (Magee and McAlevy, 1971)

Κλίση (°)	Ρυθμός εξάπλωσης (mm/s)
0	3.6
+22.5	6.3
+45	11.2
+75	29.2
+90	46-74 (μη σταθερός)



Εικόνα 4: Ενδεικτικές τρόποι εξάπλωσης φωτιάς ω; προς τον προσανατολισμό (Drysdale 1965)

### 1.8.2 Πάχος Του Καιγόμενου Υλικού.

Ο ρυθμός εξάπλωσης της φλόγας είναι αντιστρόφως αναλόγως με το πάχος του υλικού εάν το υλικό που καίγεται είναι πολύ λεπτό και έχει σε όλα τα σημεία του την ίδια θερμοκρασία, Πάντως, η εξάρτηση του ρυθμού μετάδοσης θερμότητας από το πάχος γίνεται λιγότερο αισθητή για πάχη μεγαλύτερα των 1.5mm και ο ρυθμός εξάπλωσης της φλόγας παραμένει σταθερός για πάχη υλικού μεγαλύτερα των 5.0-7.5mm (Suzuki, 1994).

Πίνακας 1.2: Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται οι παράγοντες εξάπλωσης της φωτιάς (Freedman,1977)

ΥΛΙΚΟ		ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
Χημικοί	Φυσικοί	
Χημική σύσταση	Αρχική θερμοκρασία	Σύσταση της ατμόσφαιρας
Παρουσία επιβραδυντικών υλικών	Κατεύθυνση διάδοσης φλόγας	Ατμοσφαιρική πίεση
	Πάχος υλικού	Θερμοκρασία
	Προσανατολισμός επιφάνειας	Μετάδοση θερμότητας ακτινοβολίας
	Θερμοχωρητικότητα	Ταχύτητα αέρα
	Θερμική αγωγιμότητα	
	Πυκνότητα	
	Σχήμα	

### 1.8.3 Πάχος Καιόμενου Υλικού.

Εάν το καύσιμο αντικείμενο είναι πολύ λεπτό και έχει σε όλα τα σημεία του την ίδια θερμοκρασία, τότε ο ρυθμός εξάπλωσης της φλόγας είναι αντιστρόφως αναλόγως με το πάχος του υλικού. Πάντως, η εξάρτηση του ρυθμού μετάδοσης θερμότητας από το πάχος γίνεται λιγότερο αισθητή για πάχη μεγαλύτερα των 1.5mm και ο ρυθμός εξάπλωσης της φλόγας παραμένει σταθερός για πάχη υλικού μεγαλύτερα των 5.0-7.5mm. Μεταβαίνοντας από 'λεπτά' σε 'παχιά' καύσιμα αντικείμενα, παρατηρείται μια σημαντική αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο μεταφέρεται η θερμότητα μακριά από την φλόγα. Στα 'λεπτά' υλικά κατά την καύση τους η μεταφορά θερμότητας γίνεται λόγω αγωγής μέσω της αέριας φάσης, ενώ στα 'παχιά' υλικά μέσω της στερεάς φάσης. Η συμπεριφορά αυτή αφορά υλικά τα οποία δεν αλλάζουν φάση κατά τη διάρκεια της καύσης τους (π.χ. λιώσιμο του καύσιμου υλικού).

Επίσης ο ρυθμός διάδοσης της φλόγας σε ένα αντικείμενο είναι αντιστρόφως ανάλογος με το γινόμενο τριών βασικών φυσικών ιδιοτήτων του, δηλαδή της πυκνότητας, της θερμοχωρητικότητας και της θερμικής αγωγιμότητας του.

### 1.8.4 Περιβαλλοντικοί Παράγοντες.

Οι συνθήκες του περιβάλλοντος όπου συμβαίνει η καύση επηρεάζουν τη διαδικασία. Βασικοί παράγοντες που επιδρούν στο φαινόμενο της καύσης είναι η ατμοσφαιρική πίεση, η θερμοκρασία του καύσιμου υλικού, τρόποι μετάδοσης θερμότητας και

κυρίαρχα η ακτινοβολία, πιθανά ρεύματα αέρα που πνέουν στην περιοχή της καύσης. Στη συνέχεια δίνονται συνοπτικά στοιχεία για τον τρόπο επίδρασης των κύριων παραγόντων επίδρασης της καύσης - φωτιάς.

- 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 ρευμάτων 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.

### 1.8.5 Φυσικές ιδιότητες.

Ο ρυθμός με τον οποίο διαδίδεται η φλόγα σε ένα αντικείμενο είναι αντιστρόφως ανάλογος της πυκνότητας, της θερμοχωρητικότητας και της θερμικής αγωγιμότητας αυτού.

### 1.8.6 Γεωμετρία του υλικού.

Η φλόγα διαδίδεται γρηγορότερα κατά μήκος μιας ακμής ή σε μια γωνία (Markstein & de Ris, 1972). Όσο μικρότερη είναι η γωνία μεταξύ δύο ακμών του αντικειμένου τόσο περισσότερο το στερεό αυτό συμπεριφέρεται σαν 'λεπτό' υλικό.

## 1.9 Μηχανική Πυρασφάλειας.

Το πεδίο αυτό περνάει από μεγάλες αλλαγές λόγω των περισσότερων προσεγγίσεων τόσο από την επιστημονική πλευρά όσο συνακόλουθα και από την πλευρά του μηχανικού κατά την εφαρμογή. Έτσι έχουν προκύψει αρκετές μέθοδοι δοκιμών που φθάνουν να πιστοποιούνται κατά ISO – ASTM. Σταθερή έχει σημειωθεί στους τομείς της δυναμικής πυρκαγιάς, των υπολογισμών κινδύνου πυρκαγιάς, των υπολογισμών σχεδιασμού πυρκαγιάς και της ανάλυσης κινδύνου πυρκαγιάς. Τέτοιες προσπάθειες υποστηρίζουν την παγκόσμια τάση για ανάπτυξη εναλλακτικών κωδίκων δόμησης με βάση κριτήρια απόδοσης παρά δεσμευτικές απαιτήσεις. Πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με την πυροπροστασία αναφέρονται στο εγχειρίδιο National Fire Protection Association (NFPA).

### **1.9.1 Πυροπροστασία**

Με τον όρο πυροπροστασία θεωρείται το σύνολο των μέτρων που λαμβάνονται για την προστασία από τη φωτιά και τις συνέπειές της. Μέτρα πυροπροστασίας προβλέπονται από τη νομοθεσία κάθε χώρας κατά την μελέτη και κατασκευή ενός κτιρίου και αποβλέπουν αφενός στην πρόληψη του κινδύνου εκδήλωσης πυρκαγιάς στο κτίριο και αφετέρου στην αντιμετώπιση της πυρκαγιάς σε περίπτωση που αυτή εκδηλωθεί. Αυτό συνεπάγεται τον κατάλληλο σχεδιασμό, την εγκατάσταση ή την κατασκευή και την συντήρηση του κτιρίου και του περιεχομένου του. Τα κατάλληλα μέτρα πυρασφάλειας εξαρτώνται από την πληρότητα ή τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο κτίριο. Τα μέτρα που λαμβάνονται διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- παθητικά ή προληπτικά μέτρα πυροπροστασίας
- ενεργητικά ή κατασταλτικά μέτρα πυροπροστασίας.

### **1.9.2 Παθητική Πυροπροστασία.**

Η παθητική πυροπροστασία ενός κτιρίου αποβλέπει στον έλεγχο της εξάπλωσης της πυρκαγιάς και στην έγκαιρη εκκένωση του κτιρίου από όσους βρίσκονται μέσα σε αυτό κατά την εκδήλωση της πυρκαγιάς. Τα μέτρα παθητικής πυροπροστασίας αποτελούν την δομική πυροπροστασία του κτιρίου και είναι ενσωματωμένα στην αρχιτεκτονική και στατική σχεδίαση και κατασκευή του κτιρίου (αρχιτέκτονας, πολιτικός μηχανικός). Στα μέτρα παθητικής πυροπροστασίας περιλαμβάνονται (για όλα τα κτίρια):

- μέτρα για μη εξάπλωση της πυρκαγιάς εντός του κτιρίου
- μέτρα για μη εξάπλωση της πυρκαγιάς εκτός του κτιρίου
- η επάρκεια και αντοχή των δομικών στοιχείων του κτιρίου στην πυρκαγιά για κάποιο χρονικό διάστημα ώστε να είναι δυνατή η έγκαιρη εκκένωσή του
- κατάλληλη σχεδίαση των οδεύσεων διαφυγής και των εξόδων κινδύνου

### **1.9.3 Ενεργητική Πυροπροστασία.**

Η ενεργητική πυροπροστασία ενός κτιρίου αποβλέπει στην αντιμετώπιση και καταστολή της πυρκαγιάς σε περίπτωση που αυτή εκδηλωθεί. Τα προβλεπόμενα από τον μελετητή (μηχανολόγος μηχανικός) μέτρα αφορούν τον εξοπλισμό και τις προγραμματισμένες ενέργειες που ενεργοποιούνται αν εμφανιστεί και κατά την διάρκεια της πυρκαγιάς. Στα μέτρα ενεργητικής πυροπροστασίας περιλαμβάνονται (ανάλογα με το είδος και το μέγεθος του κτιρίου):

- τοποθέτηση φορητών μέσων πυρόσβεσης (πυροσβεστήρες)

- τοποθέτηση συστήματος πυρανίχνευσης
- τοποθέτηση χειροκίνητου συστήματος συναγερμού (κομβία συναγερμού)
- τοποθέτηση μονίμου υδροδοτικού πυροσβεστικού δικτύου (πυροσβεστικές φωλιές)
- τοποθέτηση συστημάτων καταιονητήρων (sprinklers)

## 2. Κατηγορίες Δομικών Υλικών.

Τα δομικά υλικά χαρακτηρίζονται ως προς τη συμπεριφορά τους στην αντίσταση στη φωτιά (πυραντίσταση). Η έννοια της πυραντίστασης ορίσθηκε στον Ελληνικό Κανονισμό Πυροπροστασίας (Π.Δ 71/1988). Αφορά στα δομικά στοιχεία και όχι στα δομικά υλικά. Σύμφωνα με τη βασική Ευρωπαϊκή Κατευθυντήρια Οδηγία 89/106/ΕΟΚ-CPD (Construction Products Directive) προϊόν του τομέα δομικών κατασκευών ονομάζεται κάθε προϊόν το οποίο έχει κατασκευασθεί για να ενσωματωθεί κατά τρόπο μόνιμο σε δομικά έργα εν γένει, που καλύπτουν τόσο τα κτίρια, όσο και τα άλλα έργα πολιτικού μηχανικού (μεταφορές, υδραυλικά, εδαφοτεχνικά κλπ. Τα ονομαζόμενα «έργα πολιτικού μηχανικού» καλύπτουν επίσης και εγκαταστάσεις για θέρμανση, κλιματισμό, ηλεκτροδότηση και επίτευξη γενικότερα συνθηκών υγιεινής, καθώς και για αποθήκευση ορισμένων 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, ΤΕΕ, Αθήνα, 21-23 Μαΐου, 2008 2 βλαπτικών προς το περιβάλλον ουσιών, όπως και διάφορες προκατασκευές (κτίρια, γκαράζ αυτοκινήτων, σιλό κλπ.).

Ο βαθμός ή πιο ορθά ο δείκτης πυραντίστασης ενός δομικού στοιχείου με συγκεκριμένη σύνθεση αλλά και λειτουργία μέσα σε μία κατασκευή προσδιορίζεται μετά από δοκιμασία σε πειραματικό φούρνο, όπου ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας, αλλά και οι περιβαλλοντικές συνθήκες μέσα στο φούρνο προσομοιάζουν, όσο αυτό είναι δυνατό, με τις συνθήκες λειτουργίας του δομικού στοιχείου στην αντίστοιχη κατασκευή.

Το δοκίμιο εισάγεται σε καθορισμένες από το πρότυπο διαστάσεις μέσα στο φούρνο και υφίσταται την επίδραση μιας αυξανόμενης θερμοκρασίας σύμφωνα με μία πρότυπη καμπύλη θερμοκρασιακής μεταβολής (της γνωστής καμπύλης ISO 834 του 1975, που υιοθετήθηκε κατόπιν και από την CEN) με προσομοίωση των οριακών συνθηκών στήριξης, φόρτισης και θερμοκρασιακής μεταβολής, με αυτές τις συνθήκες που αναμένονται να επικρατήσουν σε μία πυρκαγιά. Τρία είναι τα βασικά κριτήρια που θα καθορίσουν τελικά το δείκτη πυραντίστασης, η ευστάθεια (stability), η ακεραιότητα (integrity) και η θερμομονωτική ικανότητα (insulation).

Τα κριτήρια της ακεραιότητας RI και της θερμομόνωσης RE αναφέρονται κυρίως σε δομικά στοιχεία που λειτουργούν για την παρεμπόδιση της εξάπλωσης της φωτιάς (διαχωριστικά τοιχώματα και δάπεδα), ενώ το κριτήριο της ευστάθειας RS αναφέρεται κυρίως στα φέροντα δομικά στοιχεία όπως στύλοι και φέροντα τοιχώματα, δοκοί, πλάκες κλπ. Οι Κανονισμοί επιβάλλουν έναν ελάχιστο δείκτη πυραντίστασης για φέροντα, αλλά και διαχωριστικά δομικά στοιχεία, αναλόγως με το βαθμό επικινδυνότητας του κτιρίου (μέγεθος, πυροθερμικό φορτίο, χρήση κλπ.). Οι απαιτήσεις πυραντίστασης των δομικών στοιχείων του κελύφους ενός «πυροδιαμερίσματος», μεταβάλλονται αναλόγως της επιφανείας του πυροδιαμερίσματος, της ύπαρξης μέτρων ενεργητικής πυροπροστασίας και της επικινδυνότητας του κτιρίου.

Σήμερα σημαντική είναι η πρόοδος στην επιστήμη, ώστε οι Κανονισμοί να αποδέχονται αναλυτικούς υπολογισμούς για τον καθορισμό της πυραντίστασης, αντί των πειραματικών δοκιμών, καθώς και τη θεωρία της αναλογικότητας, που απαλλάσσει τη δαπανηρή επανάληψη δοκιμών στο Εργαστήριο για παρόμοιες από άποψη κυρίως διαστάσεων περιπτώσεις με την υιοθέτηση ειδικών προτύπων



(extended application tests). Όλα τα δομικά υλικά ταξινομούνται επίσης ως προς την ευφλεκτότητά τους σύμφωνα με το πρότυπο DIN 4102.

## 2.1 Δοκιμές Αντίδρασης στη Φωτιά.

Το Ευρωπαϊκό πρότυπο που ψηφίσθηκε τελικά μετά από πολυετείς συζητήσεις και αμοιβαίες αμφισβητήσεις και συμβιβασμούς μεταξύ των κρατών μελών της ΕΕ (κυρίως των 3 μεγάλων Γερμανίας, Γαλλίας και Βρετανίας) με την ονομασία «Δοκιμές αντίδρασης σε φωτιά δομικών προϊόντων-Δομικά προϊόντα, εκτός δαπέδων, που εκτίθενται σε θερμική προσβολή από μεμονωμένο καιόμενο αντικείμενο», επιτυγχάνει την τελική ταξινόμηση σε Ευρωπαϊκές κλάσεις (Euroclasses) ενός μεγάλου αριθμού υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευαστική Βιομηχανία.

Τα φυσικοχημικά μεγέθη που προσδιορίζονται σε αυτήν τη δοκιμή με τη βοήθεια και άλλων προτύπων, κυρίως του ISO, είναι τα εξής:

- THR (Total Heat Release)
- LFS (Lateral Flame Spread)
- TSP (Total Smoke Production)
- FIGRA (Fire Growth Rate)
- SMOGRA (Smoke Growth Rate)

## 2.2 Ευρωπαϊκές Κλάσεις

Τελικά οι κλάσεις για όλα τα υλικά εκτός δαπέδων δίδονται στον Πίνακα 2.1, ενώ οι Ευρωκλάσεις για τα υλικά επικαλύψεων δαπέδων δίνονται στον Πίνακα 2.2. Κατ' αντιστοιχία, τα αναφερόμενα πρότυπα καθορίζουν και την κατάταξη των υλικών σε μία από τις παραπάνω Ευρωκλάσεις.

Πίνακας 2.1: Ευρωκλάσεις για όλα τα δομικά υλικά εκτός δαπέδων.

ΚΛΑΣΗ	ΠΡΟΤΥΠΑ
A1	prEN ISO1182,prEN ISO 1716
A2	prEN ISO1182,prEN ISO 1716,prEN ISS
B	prEN ISO 9239-1,prEN 11925-2
C	prEN ISO 9239-1, prEN 11925-2
D	prEN ISO 9239-1, prEN 11925-2
E	prEN 11925-2
F	Δεν προσδιορίζονται

Πίνακας 2.2: Ευρωκλάσεις για τα δομικά υλικά δαπέδων.

ΚΛΑΣΗ	ΠΡΟΤΥΠΑ
A1	prEN ISO 1182, pr EN ISO 1716
A2	prEN ISSO 1182 prEN ISO 1716, EN 13823
B	EN 13823, prEN ISO11925-2
C	EN 13823 prEN ISO11925-2
D	EN 13823 prEN ISO11925-2
E	prEN ISO11925-2
F	Δεν προσδιορίζονται

Η ανταπόκριση των δομικών υλικών στην φωτιά προσδιορίζεται με τα ακόλουθα τρία κριτήρια:

➤ **Κριτήριο-1: Ευφλεκτότητα (ευφλεκτότητα, flammability)**

Το κριτήριο αυτό σχετίζεται με το χρόνο έναυσης, ο οποίος με τη σειρά του χαρακτηρίζει τη διάδοση της φωτιάς και το φορτίο πυρός (ενεργειακή συνεισφορά στο πυρικό συμβάν). Το κριτήριο αυτό αφορά την μέτρηση της εκλυόμενης θερμότητας από το υλικό και της δυνατότητας συμμετοχής του στην διάδοση της φωτιάς (μέχρι την φάση γενικής ανάφλεξης πέραν του σημείου flashover).



Εικόνα 5: Κατηγορίες αδρανών και εύφλεκτων υλικών.

Για την κατηγοριοποίηση των δομικών υλικών ως προς το κριτήριο της ευφλεκτότητας προβλέπονται τρεις τύποι δοκιμών σενάρια.

Πίνακας 2.3 Σενάρια κατάταξης δομικών υλικών ως προς την ευφλεκτότητα.

<b>Σενάριο 1</b>	Αναφλεξιμότητα υπό έκθεση του υλικού σε μικρή φλόγα. Δοκιμή μικρής φωτιάς (small flame test) κατά ΕΛΟΤ EN 11925-2
<b>Σενάριο 2</b>	Αναφλεξιμότητα και καύση υλικού υπό έκθεση σε μεμονωμένη καιόμενη εστία (π.χ. καλάθι άχρηστων ή καρέκλα). Η φωτιά μπορεί να εξελιχθεί σε διάφορους βαθμούς, μέχρι του σταδίου της γενικής ανάφλεξης. Το σενάριο αυτό υλοποιείται συνήθως με τη δοκιμή SBI Single burning object – καύση μεμονωμένου αντικειμένου.
<b>Σενάριο 3</b>	Έκθεση του προϊόντος σε συνθήκες γενικής ανάφλεξης. Το σενάριο σχεδιάζεται για την αξιολόγηση των επιδόσεων του προϊόντος υπό συνθήκες μέγιστης θερμοκρασίας (π.χ. συνθήκες γενικής ανάφλεξης δωματίων – διαμερισμάτων. Το σενάριο αυτό υλοποιείται με τη δοκιμή Θερμιδομέτρου Κώνου.

Σύμφωνα με τα παραπάνω σενάρια προκύπτουν και οι Ευρωκλάσεις σύμφωνα με τον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 2.4 Ευρωκλάσεις υλικών ως προς τα σενάρια αναφλεξιμότητας.

<b>Σενάριο 1</b>	ΚΛΑΣΗ F	Το προϊόν δεν υφίσταται δοκιμή ή δεν κατατάσσεται σε κάποια από τις ακόλουθες κατηγορίες.
	ΚΛΑΣΗ E	Η αντοχή στη θερμότητα είναι πολύ χαμηλή.
	ΛΟΙΠΕΣ ΚΛΑΣΕΙΣ	Το υλικό δεν αναφλέγεται κατά τη δοκιμή μικρής φλόγας.
<b>Σενάριο 2</b>	ΚΛΑΣΕΙΣ B, C, D	Οι τρεις κλάσεις αντιπροσωπεύουν διάφορες στάθμες ανταπόκρισης του προϊόντος όταν εκτεθεί σε μεμονωμένο καιόμενο αντικείμενο (μεμονωμένη εστία πυρός). Η κατάταξη βασίζεται στην ικανότητα του υλικού να παρεμποδίζει τη διάδοση της φωτιάς μέχρι την έναρξη της φάσης της γενικής ανάφλεξης. Δηλ. όταν το υλικό αρχίζει να καίγεται ελέγχεται κατά πόσον συντελεί στην γενική ανάφλεξη, και αν τούτο συμβαίνει σε πόσο χρόνο επέρχεται. Εκτελείται η δοκιμή SBI και προσδιορίζεται η διάδοση του πυρός και το πυρικό φορτίο (ενεργειακή συμμετοχή του προϊόντος στην φωτιά).
	ΚΛΑΣΗ D	Δεν επέρχεται γενική ανάφλεξη κατά τα πρώτα δύο λεπτά (2 min) της δοκιμής.
	ΚΛΑΣΗ C	Δεν επέρχεται γενική ανάφλεξη κατά τα πρώτα δέκα λεπτά (10min) της δοκιμής.
	ΚΛΑΣΗ B	Δεν επέρχεται γενική ανάφλεξη κατά τα πρώτα είκοσι λεπτά (20 min) της δοκιμής.
<b>Σενάριο 3</b>	ΚΛΑΣΕΙΣ A1, A2	Πρόκειται για αδρανή υλικά (σκυρόδεμα, γυαλί, μέταλλα, κεραμικά κλπ) τα οποία συμβάλλουν ελάχιστα στο πυρικό συμβάν (φορτίο) υπό συνθήκες γενικής ανάφλεξης.

➤ **Κριτήριο-2: Έκλυση καπνού (*S -smoke release*).**

Η συμπεριφορά ενός υλικού κατά την έκθεση του στην φωτιά δεν αποτελεί το μόνο ενδιαφέρον. Στα πυρικά συμβάντα είναι βασικής σημασίας η ανθρώπινη ζωή δηλ. η ασφαλής απομάκρυνση των ενοίκων όσο αλλά και η προσπελασιμότητα των πυροσβεστών και του εξοπλισμού τους. Κατά αυτή την έννοια η έκλυση - παραγωγή καπνού από τα καιόμενα υλικά είναι μεγάλης σημασίας. Ορίζονται τρεις στάθμες ανταπόκρισης των προϊόντων:

Πίνακας 2.5 Κατάταξη Δομικών Υλικών ως προς την Έκλυση Καπνού.

<b>s1</b>	δεν εκλύεται καπνός	υλικά χαρακτηριζόμενα από περιορισμένο ρυθμό αύξησης του εκλυόμενου καπνού και, γενικώς, από περιορισμένη συνολική έκλυση καπνού
<b>s2</b>	Έκλυση καπνού	υλικά που εκλύουν καπνό, αλλά με μικρό ρυθμό αύξησης της έκλυσης
<b>s3</b>	υψηλή έκλυση καπνού	υλικά που εκλύουν σημαντικές ποσότητες καπνού

➤ **Κριτήριο-3: Παραγωγή καιόμενων σταγονιδίων (*production of burning drops*)**

Υλικά κατά την καύση των οποίων παρατηρείται εκτίναξη καιόμενων σωματιδίων (καύτρες) μπορούν να προκαλέσουν την ανάπτυξη δευτερογενών εστιών φωτιάς. Επιπρόσθετα δημιουργούν σοβαρούς κινδύνους για τους πυροσβέστες που προσπαθούν να επιχειρήσουν την κατάσβεση και μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά εγκαύματα.

Πίνακας 2.6 Κατάταξη Υλικών ως προς την παραγωγή καιόμενων σταγονιδίων

<b>d1</b>	δεν πέφτουν καιόμενες σταγόνες	δεν παράγονται καιόμενα σωματίδια
<b>d2</b>	πέφτουν καιόμενες σταγόνες	τα εκτινασσόμενα σωματίδια δεν μένουν αναμμένα για περισσότερο από 10 sec
<b>d3</b>	πέφτουν πολλές καιόμενες σταγόνες	σωματίδια προκαλούν ανάφλεξη χαρτιού κατά την εκτέλεση δοκιμής μικρής φωτιάς

Κατά τον Ευρωπαϊκό Κανονισμό περιγράφονται και τα χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων προϊόντων ξύλου βραδείας καύσης. Ο Ευρωπαϊκός Κανονισμός ορίζει την ταξινόμηση για την ανθεκτικότητα αντίδρασης των προϊόντων ξύλου βραδείας καύσης. Αυτός ο Ευρωπαϊκός Κανονισμός εφαρμόζεται για ξύλο το οποίο είναι επεξεργασμένο κατά τρόπο που να μπορεί να οδηγεί σε βραδεία καύση, είτε με τη διαδικασία εμποτισμού ή με διαδικασία επιφανειακής κατεργασίας, όπως με ένα σχηματισμό λεπτού στρώματος ή στρώματος (intumescent) βραδείας καύσης . Αυτό καλύπτει επεξεργασμένα προϊόντα αργής καύσης τα οποία είναι επικαλυμμένα με απλό χρώμα.

### 2.3 Μη Εύφλεκτα Υλικά (A).

Τα υλικά αυτά κατατάσσονται στην τάξη των οικοδομικών υλικών A. Αυτά είναι υλικά που δεν αναφλέγονται και δεν θεωρούνται πυροφορτίο. Η τάξη A χωρίζεται σε δυο υποομάδες:

- Στην A1 όπου κατατάσσονται υλικά για τα οποία δεν απαιτείται ιδιαίτερη απόδειξη ότι δεν αναφλέγονται, όπως είναι η άμμος, το χαλίκι, το μπετόν, το ασφάλι και τα αφρώδη υλικά.
- Στην A2 όπου κατατάσσονται υλικά των οποίων τα συστατικά μέρη δεν είναι εύφλεκτα. Έχουν όμως στη σύνθεση τους μικρές ποσότητες εύφλεκτων ουσιών, όπως πολλές πλάκες πυροπροστασίας από γυψοσανίδες, ή μπετόν.

## **2.4 Εύφλεκτα Υλικά (B).**

Τα εύφλεκτα υλικά κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την ταχύτητα ανάφλεξης, το βαθμό καύσης, την έκλυση καπνού. Πιο πρακτικά η κατάταξη αυτών των υλικών σχετίζεται με το:

- πόσο γρήγορα αναφλέγονται,
- πόσο πολύ καίγονται, δηλαδή σε ποιο βαθμό καταστρέφονται λόγω της φωτιάς,
- ποια η εξέλιξη του καπνού στο υλικό, δηλαδή το εμπόδιο κατά την κατάσβεση της φωτιάς (Blassi W., 2000).

Πρέπει να σημειωθεί ότι για την κατάταξη των υλικών σε τάξεις λαμβάνεται υπόψη και το πόσο γρήγορα παίρνουν φωτιά. Με βάση τα παραπάνω γίνεται ο εξής διαχωρισμός:

### **2.4.1 Δύσκολα Αναφλεγόμενα Υλικά (B1).**

Τα υλικά αυτά έχουν την ιδιότητα ότι δεν συνεχίζουν να καίγονται όταν απομακρύνονται από την πηγή φωτιάς, όπως οι πλάκες πυροπροστασίας από γυψοσανίδες και το ξύλο που είναι επεξεργασμένο με πυροπροστατευτικά μέσα. Η εφαρμογή τέτοιων υλικών (δύσκολα αναφλέξιμων υλικών) γίνεται σε επενδύσεις τοίχων και οροφών, για μονωτικά υλικά κάτω από την οροφή, σε πετάσματα, σωληνώσεις, αγωγούς αερισμού εξαερισμού. Δύσκολα αναφλεγόμενα υλικά είναι ελαφρές δομικές πλάκες από ξυλοβάμβακα, πλάκες από ξηρό αφρό κ.ά.

### **2.4.2 Κανονικά Αναφλεγόμενα Υλικά (B2).**

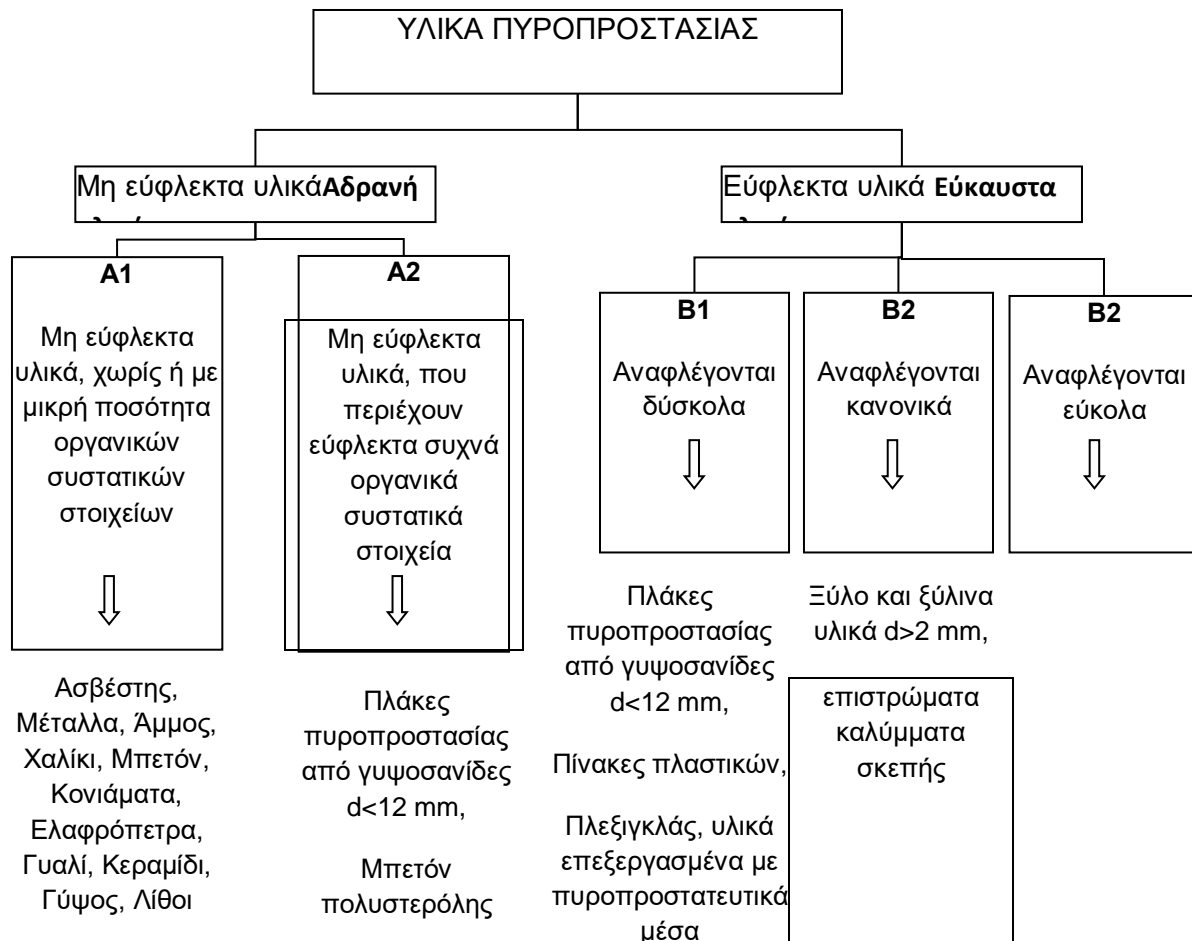
Σε αυτήν την ομάδα υλικών ανήκουν όλα τα εύφλεκτα και κυρίως είναι τα παράγωγα ξύλου. Η κατάταξη των δομικών υλικών στην κατηγορία αυτή εξαρτάται από το πάχος τους. Για παράδειγμα στα προϊόντα ξυλείας όσα ξεπερνούν τα 2 mm πάχος κατατάσσονται σε αυτή την κατηγορία (B2). Οι περισσότεροι οικοδομικοί κανονισμοί απαγορεύουν την χρήση των εύφλεκτων οικοδομικών υλικών, αλλά αυτό δεν ισχύει αν υπάρχει συνδυασμός με άλλα υλικά που δεν είναι τόσο αναφλέξιμα. Κανονικά αναφλεγόμενα υλικά είναι τυποποιημένα χαρτόνια στέγης, στρώσεις δαπέδου PVC κ.ά.

### **2.4.3 Εύκολα Αναφλεγόμενα Υλικά (B3).**

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν υλικά όπως το άχυρο, τα αφρώδη πλαστικά, το χαρτί, το χόρτο, το βαμβάκι που αποτελούν στοιχεία θερμομόνωσης – ηχομόνωσης, όπως είναι το χαρτί, ο ξυλοβάμβακας. Τα παραπάνω υλικά μπορούν να χρησιμοποιούνται μόνο αν με τον τρόπο χρήσης τους παύουν να λειτουργούν ως εύκολα αναφλέξιμα υλικά.

## 2.5 Τρόποι Ανάφλεξης.

Για να γίνει ανάφλεξη πρέπει να υπάρχει επαρκής συγκέντρωση καύσιμης ύλης σε μία (συγκεκριμένη) οξειδωτική ατμόσφαιρα. Στην περίπτωση καυσίμων αερίων, ατμών και υγρών είναι δυνατό να έχουμε δύο ειδών μίγματα (καύσιμης ύλης σε κατάσταση αερίου-αέρα) εντός της ατμόσφαιρας: ομογενή ή ετερογενή μίγματα.



Εικόνα 6: Κατηγοριοποίηση των δομικών υλικών ως προς την πυραντίσταση (Blassi W.,2000)

Εύφλεκτο μίγμα ατμών-αέρα μπορεί να σχηματισθεί επίσης και από θερμαινόμενο στερεό σώμα όταν, αποκτώντας ορισμένη θερμοκρασία, επιτρέπει την έκλυση ατμών από την επιφάνεια του. Δημιουργία και ανάφλεξη τέτοιου μίγματος παρατηρείται στις περισσότερες οργανικές ύλες. Ορισμένα στερεά, πάντως (κατά κανόνα μέταλλα, άνθρακας), αναφλέγονται ύστερα από την επιφανειακή τους οξείδωση.

Ανάλογα της κατάστασης της ύλης, η ανάφλεξη μπορεί να συμβεί με διάφορους τρόπους και συγκεκριμένα στα:

- στερεά, όταν θερμανθούν σε ορισμένη θερμοκρασία για να αρχίσει η πυρόλυση τους ή ύστερα από έντονη επιφανειακή οξείδωση,

- υγρά, όταν εξατμισθεί αρκετή ποσότητα τους και σχηματισθεί μίγμα ατμού-ατμοσφαιρικού αέρα του οποίου η αναλογία βρίσκεται μέσα σε συγκεκριμένα όρια (όρια αναφλεξιμότητας).
- αέρια, όταν και μόνο υπάρχει μίγμα αέριου-ατμού μέσα στο διάστημα των ορίων αναφλεξιμότητας (περιοχή αναφλεξιμότητας).

Γενικότερα στην αναφλεξιμότητα των υλικών ορισμένα χαρακτηριστικά διαδραματίζουν ιδιαίτερο ρόλο, όπως τα όρια αναφλεξιμότητας, η περιοχή αναφλεξιμότητας, το σημείο ανάφλεξης, η θερμοκρασία έναυσης, το σημείο έναυσης της φωτιάς, η θερμοκρασία έναυσης ή θερμοκρασία αυτανάφλεξης, ο αυθορμητισμός της ύλης για να πάρει φωτιά μόνη της (αυτανάφλεξη), η σταθερότητα και το ασταθές των υλικών. Επίσης, και η παρουσία ορισμένων ουσιών μπορεί να συμβάλει θετικά ή αρνητικά στην ανάφλεξη των υλικών.

Επίσης μια άλλη κατάταξη των υλικών ως προς τη συνθήκη φωτιάς μικρής έκτασης των υλικών όταν αυτά είναι εκτεθειμένα στην ατμόσφαιρα:

- **Προϊόντα κλάσης B** (σύμφωνα με τον EN 13501-1) Heat Release Rate,  $HRR_{30S AVE} \leq 150kW/m^2$  κατά την διάρκεια 600 δευτερολέπτων μετά την έναυση και αύξηση του Total Heat Release Rate < 20% συγκρίσιμο με τον έλεγχο πριν την έκθεση στην ατμόσφαιρα.
- **Προϊόντα κλάσης C** (σύμφωνα με τον EN 13501-1) Heat Release Rate,  $HRR_{30S AVE} \leq 220kW/m^2$  κατά την διάρκεια 600 δευτερολέπτων μετά την έναυση και αύξηση του Total Heat Release Rate < 20% συγκρίσιμο με τον έλεγχο πριν την έκθεση στην ατμόσφαιρα.

$HRR_{30S AVE}$  είναι υπολογισμένο ως το άθροισμα του μέγιστου HRR όλων των δοκιμών διαιρεμένο με το πλήθος των δοκιμών.

### 2.5.1 Παράγοντες Ανάπτυξης της Φωτιάς.

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. 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.

### **3. Κατηγοριοποίηση – Χαρακτηριστικά ειδών ξυλείας.**

Το ξύλο είναι ο συμπαγής, (συνήθως) σκληρός, πορώδης και ινώδης δομικός ιστός που αρχικά βρίσκεται στο βλαστό και στις ρίζες των δέντρων, καθώς και σε κάποια άλλα ξυλώδη φυτά. Χρησιμοποιείται για χιλιάδες χρόνια τόσο ως καύσιμο όσο και ως κατασκευαστικό υλικό. Αποτελείται από οργανική και ανόργανη ύλη, και πιο συγκεκριμένα από φυσικής προέλευσης σύνθετες ίνες κυτταρίνης που είναι σχετικά ανθεκτικές στην καταπόνηση, ενσωματωμένες σε μια βάση λιγνίνης, που αντιστέκεται στη συμπίεση.

#### **3.1 Το Ξύλο σε Συνθήκη Πυρκαγιάς.**

Αξίζει να σημειωθεί ότι η προσπάθεια βελτιώσεως της πυραντοχής του ξύλου έχει μακρά ιστορία. Οι αρχαίοι Έλληνες προσπαθούσαν να κάνουν το ξύλο περισσότερο ανθεκτικό στη φωτιά βυθίζοντας το σε θαλασσινό νερό. Για τον ίδιο λόγο οι αρχαίοι Αιγύπτιοι χρησιμοποιούσαν διάλυμα στυπτηρίας, καθώς και διάφορες ειδικές μεθόδους εμποτισμού, ενώ οι Ρωμαίοι είχαν παρασκευάσει μια ουσία από μίγμα αργίλου, άσβεστου και πηλού, για να επικαλύπτουν μ' αυτό τις ξύλινες επιφάνειες. Αναφέρεται επίσης ότι το 83 π.χ. ο Ρωμαίος Κλαύδιος στη πολιορκία του Πειραιά, χρησιμοποίησε διάλυμα στύψης για να προστατεύσει τους ξύλινους πύργους του από την πυρπόληση

Η εξέλιξη της τεχνολογίας των δομικών υλών και κατασκευών τα τελευταία χρόνια επέτρεψε τη χρήση δομικών στοιχείων που αποτελούνται και από μη άκαυστα υλικά (εύφλεκτα). Υψηλής σημασίας παράγοντας για την επιλογή των υλικών είναι η μηχανική αντίσταση των υλικών στη φωτιά. Κατά τη δεκαετία του '50-'60 αποδείχθηκε ότι το μη καιόμενο υλικό δεν είναι κατ' ανάγκη και το ασφαλέστερο. Η αρχή αυτή έγινε δεκτή από την επιστημονική κοινότητα για την αντιμετώπιση της πυρκαγιάς, με αποτέλεσμα να διαμορφωθούν και ανάλογα οι διάφοροι οικοδομικοί κανονισμοί.

Από το 1965 οι νέοι αγγλικοί οικοδομικοί κανονισμοί δέχονται τη χρήση δομικών υλικών που καίγονταν, αλλά υποδεικνύουν συγκεκριμένα κριτήρια, κανόνες και μεθόδους χρήσεως και ελέγχου. Η εμπειρία απέδειξε ότι ορισμένες μεταλλικές κατασκευές που δεν καίγονται μπορεί να καταρρεύσουν κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς απότομα, γι' αυτό και η παλαιότερη παρατήρηση ότι ξύλινοι φέροντες οργανισμοί καιόμενοι αυτοπροστατεύονταν μέχρι και να αποσβεστούν όταν σβήσουν και οι φλόγες, διατηρώντας συγχρόνως όλες τις ιδιότητες αντοχών τους στα μη καμένα τμήματα, αποδείχθηκε σωστή στην πράξη.

Τα τελευταία 30 χρόνια τόσο σε Αμερική όσο και σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες συνεχείς δοκιμές πάνω σε φορείς από μέταλλο, ξύλο ή σύνθετο ξύλο και μπετόν, διαμόρφωσαν μία σαφή εικόνα της συμπεριφοράς αυτών των υλικών στην πυρκαγιά. Κύριο μέλημα κατά την αντιμετώπιση μιας πυρκαγιάς είναι η ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής και υλικών των αγαθών τους. Έτσι η διατήρηση της αντοχής των φερόντων στοιχείων ενός κτιρίου κατά τη διάρκεια της φωτιάς για ένα ικανό διάστημα εκκένωσης καταρχήν είναι αποφασιστικής σημασίας.

Από δοκιμές προέκυψε ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας ο χάλυβας και το αλουμίνιο πολύ γρήγορα χάνουν σχεδόν όλη τους την αντοχή, προκαλώντας απότομη κατάρρευση. Το ξύλο χάνει την αντοχή του σταδιακά, ανάλογα με τη μείωση



της διατομής του. Προκύπτει δηλ. ότι το ξύλο ως δομικό υλικό συμπεριφέρεται καλά στην πυρκαγιά και διατηρεί χαρακτηριστικά που το ξεχωρίζουν από άλλα δομικά υλικά.

Κάποια χαρακτηριστικά του ξύλου που το κάνουν ελκυστικό στη συμμετοχή στις κτιριακές δομές είναι ότι καταρχήν θεωρείται ανανεώσιμη πρώτη ύλη και αναπαράγεται φυσικά. Έχει μεγάλη αισθητική αξία και μπορεί να διατίθεται σε πολλούς χρωματισμούς. Έτσι είναι ένα «ζεστό» και «ζωντανό» υλικό με ιδιαίτερη αίσθηση στην αφή και στην όραση.

Στη συνέχεια αναφέρονται κάποια βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του ξύλου ως δομικού στοιχείου.

### 3.1.1 Πλεονεκτήματα του Ξύλου.

- Είναι άριστο δομικό υλικό με μεγάλες κατασκευαστικές δυνατότητες.
- Υλικό που λόγω ελαστικότητας δίνει αντισεισμικές δομές.
- Έχει μεγάλη μηχανική αντοχή σε σχέση με το βάρος του.
- Είναι μονωτικό υλικό στη θερμότητα και στον ηλεκτρισμό.
- Δεν οξειδώνεται (δεν σκουριάζει).
- Η κατεργασία του είναι σχετικά εύκολη και απαιτεί μικρή κατανάλωση ενέργειας.
- Δεν ρυπαίνει το περιβάλλον.

### 3.1.2 Μειονεκτήματα του Ξύλου.

- Είναι υγροσκοπικό υλικό, δηλαδή ρικνώνεται και διογκώνεται με την απώλεια ή πρόσληψη υγρασίας από την ατμόσφαιρα.
- Είναι ανισότροπο υλικό, δηλαδή διαφέρει η δομή του, η μηχανική αντοχή του και οι ιδιότητές του στις τρεις κύριες κατευθύνσεις (ανισοτροπία).
- Καίγεται σχετικά εύκολα (μόνον σε μικρές διατομές).
- Προσβάλλεται από μύκητες, έντομα (τερμίτες), βακτήρια και διάφορους μικροοργανισμούς.
- Αλλοιώνεται (φθείρεται) με την επίδραση του χρόνου και διαφόρων εξωτερικών, αβιοτικών παραγόντων.

### 3.1.3 Φυσικές Ιδιότητες.

Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του υλικού είναι η ανισοτροπία, και η υγροσκοπικότητα, εξ αιτίας των οποίων διαμορφώνονται σε σημαντικό βαθμό οι ιδιότητές του.

#### ➤ Πυκνότητα:

Κυμαίνεται μεταξύ 100-1.200 kg/m<sup>3</sup> (στα ελληνικά ξύλα 300-900 kg/m<sup>3</sup>). Συνήθης πυκνότητα κωνοφόρων είναι 400 kg/m<sup>3</sup>. Διαφέρει όχι μόνο σε τύπους του ίδιου είδους (π.χ. διαφορετικοί τύποι δρυός) αλλά και σε διαφορετικά δέντρα του ίδιου είδους και σε διαφορετικές θέσεις της ξυλείας στον κορμό. Επειδή σχετίζεται στενά με τις μηχανικές ιδιότητες, έχει αρκετά μεγάλη σημασία ως δείκτης ποιότητας του ξύλου.

#### ➤ Υγροσκοπικότητα:

Είναι η ιδιότητα του ξύλου να αποβάλλει ή να προσλαμβάνει υγρασία ανάλογα με την σχετική υγρασία και θερμοκρασία του περιβάλλοντος ώσπου να φτάσει σε μια κατάσταση ισορροπίας του (όχι αναγκαστικά την σχετική υγρασία του περιβάλλοντος). Η υγρασία ελέγχεται με το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας του

ξύλου εκφράζεται επί τοις εκατό (%) ως το βάρος του νερού που περιέχεται στο ξύλο ανηγμένο στο βάρος του ξηρού ξύλου.

$$\text{ποσοστό υγρασίας}(\%) = \frac{\text{βάρος ξύλου} - \text{βάρος ξηρού ξύλου}}{\text{βάρος ξηρού ξύλου}}$$

Από το ποσοστό υγρασίας εξαρτώνται όλες οι μηχανικές ιδιότητες του ξύλου, η παραμορφωσιμότητα επεξεργασίας, η αντίσταση σε μύκητες, έντομα κλπ.

Η υγροσκοπικότητα μεταβάλλεται ακολουθώντας τις συνθήκες του περιβάλλοντος (σχετική υγρασία και θερμοκρασία) έως ότου το ποσοστό υγρασίας του ξύλου φτάσει το ποσοστό ισορροπίας του (όχι την σχετική υγρασία του περιβάλλοντος).

Το νερό συνήθως μαζεύεται στα τοιχώματα των κυττάρων («δεσμευμένο νερό») έως ένα ποσοστό υγρασίας («σημείο κορεσμού των ινών» ή «σημείο ινοκόρου»), της τάξεως 25-30% ανάλογα με το είδος του ξύλου. Προκαλείται έτσι αύξηση του όγκου του ξύλου. Το νερό γεμίζει τις κοιλότητες των κυττάρων, έως το «ποσοστό ισορροπίας», ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος, χωρίς να σημειώνεται αύξηση του όγκου του ξύλου. Δηλαδή, κατά την πρόσληψη νερού το ξύλο διογκώνεται έως το ποσοστό υγρασίας του να φτάσει το σημείο κορεσμού. Για την αύξηση του ποσοστού υγρασίας πάνω από το σημείο ινοκόρου πρέπει να υπάρχει άμεση διαβροχή του ξύλου. Δεν συμβαίνει εύκολα με πρόσληψη από την ατμόσφαιρα εκτός από την περίπτωση εγκλωβισμού της υγρασίας.

Στον Ευρωκώδικα 5, η επιρροή του ποσοστού υγρασίας, όπως και η επιρροή της διάρκειας της φορτίσεως, λαμβάνονται υπόψη στον καθορισμό των τιμών σχεδιασμού των αντοχών του ξύλου, με την εισαγωγή ενός συντελεστή διόρθωσης,  $K_{mod}$ , με τον οποίο πολλαπλασιάζονται οι χαρακτηριστικές τιμές,  $f_k$ , ώστε (και με την διαίρεση με τον επιμέρους συντελεστή  $\gamma_M=1.3$ ) να προκύψουν οι τιμές σχεδιασμού,  $F_d$ :  $F_d = K_{mod} \frac{F_k}{\gamma_M}$ .

Συνοψίζοντας είναι δυνατή η αυξομείωση των διαστάσεων ενός κομματιού ξύλου, ανάλογα με το ποσοστό υγρασίας του. Οι διαστάσεις μεταβάλλονται ανάλογα με την διεύθυνση των ινών του κομματιού (περίπου 0.4% αξονικά, 4% ακτινικά, 8% εφαπτομενικά, επί των διαστάσεων του ξηρού ξύλου) άρα ανάλογα με την κοπή του συγκεκριμένου τεμαχίου ξύλου.

#### ➤ Θερμικές ιδιότητες:

Με τη μεταβολή της θερμοκρασίας δεν παρατηρούνται ιδιαίτερα συστολή και διαστολή, παραμένουν αμελητέες κατά μήκος και κάθετα στις ίνες (υπερκαλύπτονται κατά πολύ από ρίκνωση και διόγκωση). Αυτή η συμπεριφορά διαφέρει σημαντικά ως προς τις χαλύβδινες κατασκευές. Επίσης το ξύλο διαθέτει μικρή θερμική αγωγιμότητα, λόγω της πορώδους δομής του ενώ η ειδική θερμότητα του ξύλου είναι μεγαλύτερη από των μετάλλων.

#### ➤ Ακουστικές ιδιότητες:

Το ξύλο είναι ηχομονωτικό υλικό και γι' αυτό είναι κατάλληλο για χώρους ειδικών χρήσεων (πχ αίθουσες συναυλιών). Αντίθετα το ξύλο λειτουργεί και ως αγωγός του ήχου που παράγεται μέσα στην μάζα του ξύλινου στοιχείου γι' αυτό είναι απαραίτητη η χρήση ηχομονωτικών διατάξεων (πχ σε ξύλινα πατώματα).

#### ➤ Ηλεκτρικές ιδιότητες:

Το ξηρό ξύλο είναι μονωτικό υλικό γενικά, η ηλεκτρική αντίσταση ελαττώνεται με την αύξηση της υγρασίας.

### 3.1.4 Μηχανικές Ιδιότητες.

Η γνώση των μηχανικών ιδιοτήτων κάθε στοιχείου ξύλου είναι βασική προϋπόθεση για την αξιοποίησή του σε προϊόντα και κατασκευές. Σημειώνονται οι ιδιαίτερες υψηλές αντοχές του ξύλου σε δυνάμεις που εφαρμόζονται παράλληλα προς τις ίνες. Μια απλοποιημένη προσομοίωση του υλικού που περιγράφει και ερμηνεύει την μηχανική συμπεριφορά του ξύλου είναι μια δέσμη από σωλήνες. Οι αντοχές της δέσμης για Εφαρμοζόμενη ένταση παράλληλη προς τους σωλήνες είναι πολύ υψηλότερες από τις αντίστοιχες αντοχές για εφαρμοζόμενη ένταση κάθετα προς αυτούς.

Το ξύλο, όπως όλα τα υλικά, εμφανίζει ερπυσμό. Οι ερπυστικές παραμορφώσεις καθορίζονται, εκτός από την διάρκεια της φορτίσεως, από τις συνθήκες υγρασίας του περιβάλλοντος και μπορεί να είναι σημαντικές.

#### ➤ Αντοχή - Μέτρο Ελαστικότητας:

Καθορίζονται, λόγω της ανισοτροπίας του υλικού στις διάφορες αυξητικές διευθύνσεις (εφελκυσμό παράλληλα, κάθετα και υπό γωνία ως προς τις ίνες του ξύλου. Η αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας επηρεάζονται από μια σειρά παραγόντων όπως τα φυσικά ελαττώματα του ξύλου, την πυκνότητα, το ποσοστό υγρασίας (η αύξηση της υγρασίας συνεπάγεται μείωση των αντοχών), τη διάρκεια φόρτισης (όπως και για όλα τα υλικά).

Για παράδειγμα ξύλο κωνοφόρων έχει πολύ υψηλές εφελκυστικές και θλιπτικές αντοχές παράλληλα προς τις ίνες. Η χαρακτηριστική εφελκυστική και η θλιπτική αντοχή παράλληλα προς τις ίνες είναι, αντίστοιχα περίπου 15 MPa, και 21 MPa).

Η αντοχή σε εγκάρσιο προς τις ίνες εφελκυσμό είναι σχεδόν αμελητέα. Η αντοχή σε διάτμηση παράλληλα στις ίνες είναι σημαντικά μικρότερη από την αντίστοιχη κάθετα στην διεύθυνση των ινών του ξύλου. Το μέτρο ελαστικότητας του ξύλου είναι σχετικά μικρό (για μια μέση κατηγορία αντοχής κωνοφόρων, το μέσο μέτρο ελαστικότητας,  $E_{mean}$ , είναι της τάξεως των 10 GPa).

Μεγαλύτερη πυκνότητα συνεπάγεται αντίστοιχα μεγαλύτερες αντοχές του ξύλου χωρίς όμως να αποτελεί το κρισιμότερο παράγοντα καθορισμού τους. Η ξήρανση, εφόσον δεν συνοδεύεται από παραμορφώσεις και ρηγματώσεις του ξύλου, βελτιώνει σε σημαντικό βαθμό τις μηχανικές ιδιότητες.

#### ➤ Ερπυσμός:

Η τελικές ερπυστικές, παραμορφώσεις,  $u_{fin}$ , είναι μέχρι και τριπλάσιες από τις στιγμιαίες, ελαστικές παραμορφώσεις,  $u_{inst}$ , ενός ξύλινου φορέα. Ο υπολογισμός γίνεται με απλό τρόπο, με την εισαγωγή ενός ερπυστικού συντελεστή,  $k_{def}$ , ο οποίος καθορίζεται ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος και την διάρκεια της φορτίσεως:

$$u_{fin} = (1 + k_{def}) u_{inst}$$

### 3.2 Αντίδραση του Ξύλου στη Φωτιά.

Αναφλέγεται στους περίπου 500°C, θερμοκρασία που για να επιτευχθεί σε συνήθεις διαστάσεις δομικής ξυλείας απαιτείται αρκετός χρόνος. Λόγω της κυτταρικής δομής και της θερμομονωτικής ιδιότητος της κυτταρίνης, η θερμότητα μεταδίδεται αργά στην μάζα του καιόμενου μέλους και η καύση περιορίζεται στην εκτιθέμενη επιφάνειά του. Οι υψηλές θερμοκρασίες δεν επιφέρουν μηχανική ή χημική αλλοίωση στην μη καιόμενη μάζα του ξύλου. Η απώλεια αντοχής ενός καιόμενου ξύλινου στοιχείου είναι ανάλογη της απομείωσης της διατομής του. Η απομείωση της διατομής ενός καιόμενου στοιχείου οφείλεται στην απανθράκωση του ξύλου, η οποία συμβαίνει με πολύ αργούς ρυθμούς 0,50 – 0,65mm/s. Το υλικό που απανθρακώνεται περιορίζει και τελικά σβήνει την αναπτυσσόμενη επί αυτού φωτιά-φλόγα, μετά την απομάκρυνση του αιτίου που την προκαλεί.

Ακόμη και χωρίς επικάλυψη πυροπροστασίας, έχει μάλλον μικρή συμμετοχή στην πρόκληση και διασπορά της φωτιάς εντός του χώρου σε σύγκριση π.χ. με τον εξοπλισμό ενός κτηρίου, παρ' όλα αυτά είναι δυνατόν να υποστεί επεξεργασία με χημικές ουσίες επιβραδυντικές της φωτιάς

- κατά την διάρκεια της πυρκαγιάς το ξύλο δεν εμφανίζει σημαντικές διαστολές και παραμορφώσεις,
- η αύξηση της θερμοκρασίας του άκαυστου ξύλου περιορίζεται σε βάθος 25-30mm, όπου και παρατηρείται μείωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του υλικού,
- η αντιμετώπιση της απομείωσης της διατομής του εκάστοτε ξύλινου δομικού μέλους αντιμετωπίζεται είτε με επικάλυψη των μελών με αντιπυρρικά υλικά υπό μορφή επιφανειακών στοιχείων είτε με απλή επαύξηση των απαιτούμενων για την φέρουσα ικανότητα διατομών,
- επειδή οι ξύλινες κατασκευές έχουν απολύτως προβλέψιμη χρονική εξέλιξη των αντοχών των μελών τους και επαρκώς προβλέψιμη της αντίστοιχης των συνδέσεων, είναι δυνατόν να υπολογιστούν με μεγάλη ακρίβεια οι απαιτούμενες διαστάσεις των ξύλινων φερόντων στοιχείων μιας κατασκευής, για τον απαιτούμενο χρόνο πυροπροστασίας.

### 3.3 Σχεδιασμός και Εκτίμηση της Πυρασφάλειας.

Στο σημείο αυτό γίνεται αναφορά στην κατάταξη των ειδών ξυλείας σύμφωνα με τους κανονισμούς πυραντίστασης όπως περιγράφονται στο βασικό εγχειρίδιο Wood Handbook κατά τον White Dietenberger (FPL-GTR-113 March 1999). Στο συγκεκριμένο δίνονται περιγραφές χαρακτηριστικών παραμέτρων κατά την καύση ξυλείας σύμφωνα με αμερικανικά πρότυπα συνήθως και η συμπεριφορά των διαφόρων ειδών ξυλείας μέσα από αυτές τις παραμέτρους.

Το ξύλο έχει αναγνωριστεί ως ένα πολύ ενδιαφέρον υλικό ως προς τη συμπεριφορά του σε συνθήκες καύσης ή ακόμα περισσότερο σε συνθήκη φωτιάς – πυρκαγιάς αφού χρησιμοποιείται εκτεταμένα σε οικοδομικές κατασκευές. Έτσι η συμπεριφορά του ξύλου κατά την καύση του σε συνθήκη φωτιάς σε κλειστούς χώρους (enclosed fire) αλλά και ανοικτούς όπως δάση, συνδέεται άμεσα με την ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής και επομένως γίνεται προσπάθεια διαχρονικά να καταγραφεί η

συμπεριφορά του μέσα από συγκεκριμένες ακολουθίες διεργασιών, οι οποίες συνιστούν τα πρότυπα, αμερικανικά συνήθως.

Η πυρασφάλεια αποτελεί σημαντικό πεδίο ενδιαφέροντος για όλων των τύπων τις κατασκευές. Παγκοσμίως το υψηλό επίπεδο εθνικής ανησυχίας σε όλες τις χώρες για την πυρασφάλεια αντικατοπτρίζεται στους κανονισμούς, στους περιορισμούς και τις απαιτήσεις σχεδιασμού όπως εμφανίζονται στους οικοδομικούς κώδικες. Αυτές οι απαιτήσεις πυρασφάλειας συζητούνται στο πλαίσιο του κεφαλαίου αυτού. Ειδικότερα απαιτούνται βασικά δεδομένα για τη συμπεριφορά των προϊόντων ξύλου στη φωτιά για την αξιολόγηση της πυρασφάλειας για ξύλινες κατασκευές. Μέσα από τα δεδομένα που συλλέγονται γίνεται προσπάθεια κάλυψης της γνώσης των χαρακτηριστικών των προϊόντων ξύλου στην απόδοση μιας πυρκαγιάς - φωτιάς. Πέρα από αυτό γίνεται προσπάθεια με διεργασίες – επεξεργασίες της ξυλείας να καταστεί το υλικό πυράντοχο δηλ. μεγάλης αντίστασης σε συνθήκη φωτιάς, δηλ. να καταστεί πυρίμαχο. Έτσι μέχρι σήμερα υπάρχουν και συνίστανται κατεργασίες του ξύλου έτσι ώστε αυτό να καταστεί ως παράγοντας επιβράδυνσης στην εξέλιξη μιας φωτιάς (fire retardant).

Η πυρασφάλεια περιλαμβάνει πρόληψη, ανίχνευση περιορισμό και εκκένωση. Πρόληψη πυρκαγιάς σημαίνει πρόληψη της ανάφλεξης των εύφλεκτων υλικών ελέγχοντας είτε την πηγή θερμότητας είτε τα εύφλεκτα υλικά. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει σωστό σχεδιασμό, εγκατάσταση ή κατασκευή και συντήρηση του κτιρίου και των περιεχομένων του. Τα κατάλληλα μέτρα πυρασφάλειας εξαρτώνται από τον τρόπο χρήσης ή τις διαδικασίες – διεργασίες που συμβαίνουν εντός του κτιρίου. Οι ελλείψεις σε θέματα σχεδιασμού είναι συχνά υπεύθυνες για την εξάπλωση της θερμότητας και του καπνού σε μια πυρκαγιά. Η εξάπλωση μιας πυρκαγιάς μπορεί να αποτραπεί με μεθόδους σχεδιασμού που να περιορίζουν την ανάπτυξη και εξάπλωση της πυρκαγιάς μέσα σε ένα διαμέρισμα καθώς και με μεθόδους που στοχεύουν στον περιορισμό της φωτιάς στο διαμέρισμα προέλευσης. Η έξοδος, ή η ικανότητα διαφυγής από μια πυρκαγιά, είναι συχνά ένας κρίσιμος παράγοντας για την ασφάλεια της ζωής. Η έγκαιρη ανίχνευση μιας φωτιάς είναι απαραίτητη για την εξασφάλιση επαρκούς χρόνου απομάκρυνσης – διαφυγής από το χώρο προέλευσης αυτής. Οι θεσμικές απαιτήσεις σχετικά με την πυρασφάλεια καθορίζονται στους κανόνες δόμησης ή σε πολεοδομικούς κανονισμούς. Αυτές οι απαιτήσεις εμπίπτουν σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- απαιτήσεις υλικών και
- απαιτήσεις κτιρίου.

### **3.3.1 Απαιτήσεις Υλικών.**

Αναφορικά με τις απαιτήσεις υλικών αυτές προκύπτουν από παραμέτρους όπως

- η αναφλεξιμότητα (combustibility),
- η εξάπλωση της φλόγας (flame spread) και
- η αντοχή στη φωτιά (fire endurance).

Τα οικοδομικά υλικά ως προς την πυρασφάλεια χωρίζονται καταρχήν σε 3 μεγάλες κατηγορίες:

- τύποι κατασκευής,
- ανάπτυξη πυρκαγιάς μέσα στο διαμέρισμα και
- περιορισμό στο διαμέρισμα προέλευσης.

## ✓ **Τύποι Κατασκευής**

Με βάση τις ταξινομήσεις για τον τύπο κτιρίου και τον τρόπο χρήσης του, οι κώδικες θέτουν συνήθως όρια στις επιφάνειες και τα ύψη των κτιρίων. Οι κύριοι οικοδομικοί κώδικες στις ΗΠΑ αναγνωρίζουν γενικά πέντε ταξινομήσεις κατασκευών με βάση τους τύπους υλικών και τις απαιτούμενες βαθμίδες πυραντίστασης.

Οι δύο ταξινομήσεις που συνιστούν πυράντοχη κατασκευή (κατηγορία I) και μη εύφλεκτη κατασκευή (κατηγορία II) ουσιαστικά περιορίζουν την κατασκευή στη χρήση άκαυστων οικοδομικών υλικών. Το ξύλο επιτρέπεται να χρησιμοποιείται πιο ελεύθερα στις άλλες τρεις κατηγορίες, οι οποίες είναι συνηθισμένη ξυλεία (κατηγορία III), βαριά ξυλεία (κατηγορία IV) και ελαφρά ξυλεία (κατηγορία V).

Η βαριά ξυλεία κατασκευών (κατηγορία IV) περιλαμβάνει κολώνες ξύλου, δοκάρια, δάπεδα και οροφές ορισμένων ελάχιστων διαστάσεων. Μια συνηθισμένη κατασκευή αποτελείται από μικρότερα ξύλινα μέρη που χρησιμοποιούνται για τοίχους, δάπεδα και οροφές, συμπεριλαμβανομένων ξύλινων καρφιών, ξύλινων δοκών. Τόσο η βαριά ξυλεία όσο και ο τύπος συνηθισμένων κατασκευών (κατηγορία III), που προορίζονται για εξωτερικούς τοίχους πρέπει να είναι από άκαυστα υλικά. Στις ελαφριές κατασκευές, οι τοίχοι, τα δάπεδα και οι οροφές μπορούν να είναι ξυλεία οποιασδήποτε διάστασης και οι εξωτερικοί τοίχοι μπορεί να είναι από εύφλεκτα υλικά. Οι κατασκευές κατηγορίας II, III και IV υποδιαιρούνται περαιτέρω με βάση τις απαιτήσεις πυραντίστασης. Η ελαφρά ξυλεία (κατηγορία V), υποδιαιρείται σε δύο ακόμα υποκατηγορίες, που αναφέρονται ως προστασίας (1 ώρα) και απροστάτευτη.

Στις προστατευμένες ελαφρές κατασκευές, τα περισσότερα δομικά στοιχεία κατατάσσονται στην κλίμακα πυραντίστασης 1 ώρα. Δεν υπάρχουν γενικές απαιτήσεις για πυραντίσταση σε κτίρια απροστάτευτης κατασκευής ελαφρού σκελετού. Με βάση την απόδοσή τους στη δοκιμή (E136 ASTM), τόσο το ακατέργαστο όσο και το επεξεργασμένο με πυρίμαχα υλικά ξύλο, είναι εύφλεκτα υλικά. Ωστόσο, είναι ενδιαφέρον ότι οι οικοδομικοί κώδικες επιτρέπουν την αντικατάσταση ξύλων που συμπεριφέρονται επιβραδυντικά στη φωτιά αντί των άκαυστων υλικών από ξύλο επεξεργασμένο σε ορισμένες ειδικές εφαρμογές.

Εκτός από το είδος της κατασκευής, οι περιορισμοί ύψους και επιφάνειας εξαρτώνται επίσης από τη χρήση ή το βαθμό πλήρωσης από ανθρώπους στο κτίριο. Η πυρασφάλεια βελτιώνεται με αυτόματους ψεκαστήρες, σε γραμμές ή από πιο ανθεκτικές στη φωτιά κατασκευές. Οι οικοδομικοί κώδικες αναγνωρίζουν τη βελτιωμένη πυρασφάλεια που προκύπτει από την εφαρμογή αυτών των παραγόντων αυξάνοντας τις επιτρεπόμενες επιφάνειες και ύψη πέρα από αυτά που ορίζονται για έναν συγκεκριμένο τύπο κατασκευής και κατάληψης. Έτσι, ο σωστός σχεδιασμός του χώρου και ο σωστός σχεδιασμός κτιρίου μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη μιας επιθυμητής κατηγοριοποίησης ενός κτιρίου που εμπεριέχει ξύλινες κατασκευές.

## ✓ **Ανάπτυξη Φωτιάς εντός Διαμερίσματος.**

Ένα δεύτερο σημαντικό σύνολο προβλέψεων στους οικοδομικούς κώδικες είναι αυτές που ρυθμίζουν την εκτεθειμένη εσωτερική επιφάνεια των τοίχων και των οροφών (δηλαδή το εσωτερικό του διαμερίσματος). Οι κώδικες αυτοί συνήθως εξαιρούν τα τελειώματα και τα παρεπόμενα φινιρίσματα, καθώς και τα διακοσμητικά και τα έπιπλα

που δεν είναι επικολημένα στη δομή, από τις πιο αυστηρές απαιτήσεις για τοίχους και οροφές.

Τα υλικά εσωτερικών χώρων - φινιρίσματος ταξινομούνται σύμφωνα με τον **δείκτη εξάπλωσης φλόγας (FSI Fire Spreading Index)**. Η εξάπλωση της φλόγας χρησιμοποιείται ως παράμετρος δοκιμών και αποτελεί μία από τις πιο δοκιμασμένες ιδιότητες απόδοσης πυρκαγιάς ενός υλικού.

Συνήθως η δοκιμή που ακολουθείται για την εκτίμηση του δείκτη αυτού είναι το ASTM E84, (δοκιμή σύραγγας - 25-ft tunnel). Σε αυτή τη μέθοδο δοκιμής, το δείγμα είναι πλάτους 508 mm και μήκους 7,32 μέτρων φθάνοντας την κορυφή του κλιβάνου σήραγγας. Οι φλόγες από έναν καυστήρα στο ένα άκρο της σήραγγας τροφοδοτούν τη φωτιά, η οποία περιλαμβάνει συνθήκες εξαναγκασμένου ρεύματος. Ο χειριστής του κλιβάνου καταγράφει τη θέση του μπροστινού μέρους της φλόγας ως συνάρτηση του χρόνου και του χρόνου της μέγιστης διαδρομής μπροστά της φλόγας κατά τη διάρκεια μιας περιόδου 10 λεπτών. Το πρότυπο ορίζει μια σχέση για τη μετατροπή αυτών των δεδομένων σε δείκτη εξάπλωσης φλόγας (FSI), ο οποίος συνιστά ένα μέτρο του συνολικού ρυθμού εξάπλωσης της φλόγας προς την κατεύθυνση της ροής του αέρα.

Συνήθως οι κατηγορίες για τον δείκτη εξάπλωσης φλόγας είναι  
Κατηγορία - I (FSI από 0 έως 25),  
Κατηγορία - II (FSI από 26 έως 75) και  
Κατηγορία - III (FSI από 76 έως 200).

Η παραπάνω κατηγοριοποίηση καθορίζει τον απαιτούμενο FSI για τα υλικά εσωτερικών χώρων με βάση την πληρότητα του κτιρίου, τη θέση εντός του κτιρίου και τη διαθεσιμότητα αυτόματης προστασίας καταιωνιστήρων. Οι πιο περιοριστικές κλάσεις - Κατηγορίες I και II, προβλέπονται γενικά για σκάλες και διαδρόμους που παρέχουν πρόσβαση στις εξόδους.

Πίνακας 3.1 Δείκτες ρυθμού εξάπλωσης (FSI) για διάφορα είδη ξύλου πάχους 19mm σύμφωνα με τη δοκιμή ASTM E84.

Species <sup>a</sup>	Flame spread index <sup>b</sup>	Smoke developed index <sup>c</sup>
<b>Softwoods</b>		
Yellow-cedar (Pacific Coast yellow cedar)	78	90
Baldcypress (cypress)	145–150	—
Douglas-fir	70–100	—
Fir, Pacific silver	69	58
Hemlock, western (West Coast)	60–75	—
Pine, eastern white (eastern white, northern white)	85, 120–215 <sup>d</sup>	122, —
Pine, lodgepole	93	210
Pine, ponderosa	105–230 <sup>d</sup>	—
Pine, red	142	229
Pine, Southern (southern)	130–195	—
Pine, western white	75 <sup>e</sup>	—
Redcedar, western	70	213
Redwood	70	—
Spruce, eastern (northern, white)	65	—
Spruce, Sitka (western, Sitka)	100, 74	—, 74
<b>Hardwoods</b>		
Birch, yellow	105–110	—
Cottonwood	115	—
Maple (maple flooring)	104	—
Oak (red, white)	100	100
Sweetgum (gum, red)	140–155	—
Walnut	130–140	—
Yellow-poplar (poplar)	170–185	—

Πίνακας 3.2 Δείκτες ρυθμού εξάπλωσης (FSI) δομικών υλικών ελεγμένα από την 3M

3M Product Tested	Flame Spread Index	Smoke Developed Index	Class Rating
3M™ Fastbond™ Contact Adhesive 30NF and 30H	1	10	A
3M™ Water Based Pressure Sensitive Spray Adhesive 42	0	15	A
3M™ Fastbond™ Insulation Adhesive 49	1.8	4	A
3M™ Super 77 Multipurpose Adhesive	0	0	A
3M™ Hold Fast 70 Cylinder Adhesive	0	0	A
3M™ Polystyrene Insulation Adhesive 78ET	0	0	A
3M™ Polystyrene Hi-Temperature Insulation Adhesive 78HT	0	0	A
3M™ Hi-Strength Postforming 94 CA Adhesive	5	20	A
3M™ Hi-Strength 94 ET Adhesive	0	0	A
3M™ Fastbond™ Foam Adhesive 100	5	10	A
3M™ Hi-Strength 94 ET Adhesive	0	0	A
3M™ Fast Tack Water Based Adhesive 1000NF	0	5	A
3M™ Neoprene High Performance Contact Adhesive 1357	0	19	A
3M™ Fastbond™ Blue Glue 4224NF	0	15	A
3M™ Fastbond™ Pressure Sensitive Adhesive 4224NF	0	15	A
3M™ Industrial Adhesive 4799	15	50	A

Πίνακας 3.3 Κατηγορίες υλικών ως προς το δείκτη ρυθμού εξάπλωσης (FSI) και ως προς το δείκτη ανάπτυξης καπνού (SDI) κατά το πρότυπο ASTM E84. (Nov2014)

Class Rating	Flame Spread Index	Smoke Developed Index
<b>A</b>	<b>0 - 25</b>	<b>0 - 450</b>
<b>B</b>	<b>26 - 75</b>	<b>0 - 450</b>
	<b>76 - 200</b>	<b>0 - 450</b>

Γενικά, η πιο εύφλεκτη κλάση III επιτρέπεται για το εσωτερικό τελείωμα άλλων χώρων του κτιρίου που δεν θεωρούνται τρόπιοι εξόδου ή όπου η εν λόγω περιοχή προστατεύεται από αυτόματους καταιονιστήρες. Σε άλλες περιοχές – τομείς του χώρου, δεν υπάρχουν περιορισμοί αναφλεξιμότητας στο εσωτερικό τελείωμα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν μη ταξινομημένα υλικά (δηλαδή με δείκτη μεγαλύτερο του 200 FSI). Ο δείκτης FSI για τα περισσότερα οικιακά είδη ξύλου είναι μεταξύ 90 και 160 (Πίνακας 4.1). Έτσι, η ημιτελής ξυλεία, πάχους 10 mm ή περισσότερου, είναι γενικά αποδεκτή για εφαρμογές εσωτερικού φινιρίσματος που απαιτούν ξυλεία κατηγορίας III.

Οι κατεργασίες ξύλου ώστε αυτό να έχει συμπεριφορά επιβραδυνόμενης φλόγας σε συνθήκη καύσης είναι συνήθως απαραίτητες όταν απαιτείται δείκτης εξάπλωσης φλόγας Κατηγορίας I ή II για ένα προϊόν ξύλου. Κάποια είδη μαλακού ξύλου μπορούν να πληρούν τον δείκτη εξάπλωσης φλόγας Κατηγορίας II και απαιτούν μόνο επεξεργασίες για να επιβραδύνουν τη φλόγα ώστε να ανταποκριθούν στην Κατηγορίας I. Οι μέθοδοι δοκιμής για εξάπλωση φλόγας ή ευφλεκτότητα



χρησιμοποιούνται είτε για έρευνα και ανάπτυξη ποιοτικό έλεγχο υλικών και πιο συγκεκριμένα διαφόρων τύπων ξύλου, αλλά χρησιμοποιούνται επίσης για τον καθορισμό προδιαγραφών προϊόντων σε διάφορες εφαρμογές.

Δεδομένου ότι η έκθεση στη φωτιά βρίσκεται στην κάτω πλευρά ενός οριζόντιου δείγματος στη δοκιμή ASTM E84, δεν είναι κατάλληλο για υλικά που λιώνουν και στάζουν ή δεν μπορούν να σταθούν μόνα τους χωρίς κάποια στήριξη. Οι προβλέψεις που αφορούν δάπεδα και επενδύσεις δαπέδων μπορεί να βασίζονται σε ένα άλλο κριτήριο δοκιμής, τη δοκιμή κρίσιμης ροής ακτινοβολίας (ASTM E648, Critical Radiant Flux of Floor-Covering Systems Using a Radiant Heat Energy Source). Η συσκευή κρίσιμης ροής ακτινοβολίας χρησιμοποιείται επίσης για τον έλεγχο της ευφλεκτότητας της μόνωσης κυτταρίνης (ASTM E970, Critical Radiant Flux of Exposure Attic Floor Insulation Using a Radiant Heat Energy Source). Στη δοκιμή κρίσιμης ροής ακτινοβολίας, η τοποθέτηση του πλαισίου ακτινοβολίας είναι τέτοια ώστε η ακτινοβολούμενη θερμότητα που επιβάλλεται στην επιφάνεια να έχει μια βαθμίδα έντασης προς τα κάτω σε όλο το μήκος του οριζόντιου δείγματος. Οι φλόγες εξαπλώνονται από την πηγή ανάφλεξης στο ένα άκρο υψηλής ροής θερμότητας (ή της έντασης) στο άλλο άκρο μέχρι να φτάσουν σε μια θέση όπου η ροή θερμότητας δεν είναι επαρκής για περαιτέρω διάδοση. Αυτή η θέση αναφέρεται ως η κρίσιμη ροή ακτινοβολίας. Έτσι, η χαμηλή κρίσιμη ροή ακτινοβολίας αντανακλά υλικά με υψηλή ευφλεκτότητα. Οι τυπικές απαιτήσεις είναι για ένα ελάχιστο κρίσιμο επίπεδο ροής ακτινοβολίας 2,2 ή 4,5 kW/m<sup>2</sup> ανάλογα με την τοποθεσία και την πληρότητα του χώρου. Τα δεδομένα στη βιβλιογραφία δείχνουν ότι το δρύινο δάπεδο έχει μια κρίσιμη ροή ακτινοβολίας 3,5 kW/m<sup>2</sup> (Benjamin and Adams 1976). Υπάρχει επίσης ένα τεστ υποκαύσης (τύπου smoldering) για τη μόνωση κυτταρίνης. Απαιτούνται κατάλληλη χημική επεξεργασία της κυτταρινικής μόνωσης για να μειωθεί η τάση της για καύση σε συνθήκες smoldering και να μειωθεί η εξάπλωση της φλόγας.

Άλλες δοκιμές αναφλεξιμότητας και ανάπτυξης της φωτιάς είναι αυτές που μετρούν την απελευθέρωση θερμότητας. Τα υλικά επικάλυψης οροφής χαρακτηρίζονται είτε A, B ή C ανάλογα με την απόδοσή τους στις δοκιμές που περιγράφονται στο ASTM E108, - Δοκιμές πυρκαγιάς καλυμμάτων οροφής. Αυτό το πρότυπο δοκιμής περιλαμβάνει δοκιμές έκθεσης των δομικών υλικών σε διαλείπουσα φλόγα, εξάπλωση φλόγας και συνθήκη βροχής.

Υπάρχει μια διαφορετική έκδοση της δοκιμής (τεστ) επιτυχίας/αποτυχίας (pass/fail) για καθεμία από τις τρεις κλάσεις. Η εξέταση κλάσης A είναι η πιο αυστηρή και η κατηγορία C η λιγότερο αυστηρή. Πληροφορίες σχετικά με τις αξιολογήσεις για διαφορετικά προϊόντα μπορούν να ληφθούν από τη βιβλιογραφία του κλάδου, τις εκθέσεις αξιολόγησης που εκδίδονται από τους οργανισμούς μοντέλων κωδικών και τις λίστες που δημοσιεύονται από εργαστήρια δοκιμών ή φορείς διασφάλισης ποιότητας.

Με επαρκή παραγωγή θερμότητας, η αρχική ανάπτυξη μιας πυρκαγιάς σε ένα διαμέρισμα οδηγεί στην κατάσταση που είναι γνωστή ως **flashover**. Τα οπτικά κριτήρια για το flashover είναι η πλήρης εμπλοκή του διαμερίσματος με τις φλόγες να φθάνουν έξω από την πόρτα ή τα παράθυρα. Η ένταση με την πάροδο του χρόνου μιας πυρκαγιάς που ξεκινά σε ένα δωμάτιο ή διαμέρισμα ενός κτιρίου εξαρτάται από την ποσότητα και την κατανομή των εύφλεκτων περιεχομένων στο δωμάτιο και την ποσότητα αερισμού. Η τυπική δοκιμή πλήρους κλίμακας για την ανάπτυξη πυρκαγιάς πριν από το flashover είναι η δοκιμή δωματίου/γωνίας (ISO 9705 - Full-Scale Room

Test for Surface Products). Σε αυτή τη δοκιμή, τοποθετείται ένας καυστήρας αερίου στη γωνία του δωματίου, το οποίο έχει μια μόνο πόρτα για αερισμό. Τρεις από τους τοίχους είναι επενδεδυμένοι με το υλικό δοκιμής όπως και η οροφή μπορεί επίσης να είναι επενδυμένη με το υλικό δοκιμής. Μια τέτοια δοκιμή (corner test) χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση της μόνωσης στα αφρώδη πλαστικά, που είναι υλικά που δεν αξιολογούνται σωστά κατά τη δοκιμή ASTM E84.

Με τη δοκιμή αυτή γίνονται παρατηρήσεις για την ανάπτυξη της πυρκαγιάς και τη διάρκεια της δοκιμής έως ότου συμβεί το flashover. Τα όργανα καταγράφουν την παραγωγή θερμότητας, την εξέλιξη της θερμοκρασίας μέσα στο δωμάτιο και τη ροή θερμότητας στο πάτωμα. Τα αποτελέσματα των δοκιμών (corner test) είναι πλήρους κλίμακας και συνήθως χρησιμοποιούνται για την επικύρωση μοντέλων ανάπτυξης πυρκαγιάς και αποτελούν το βασικό υπόβαθρο για επόμενες συγκρίσεις υλικών. Αυτές οι δοκιμές αντοχής στη φωτιά αξιολογούν τη σχετική απόδοση της συναρμογής - δομής του υλικού (assemblies) κατά τη διάρκεια πυρκαγιάς μετά την κατάσταση flashover.

#### ✓ Συγκράτηση στο διαμέρισμα προέλευσης.

Η ανάπτυξη, η ένταση και η διάρκεια της πυρκαγιάς συνιστούν το «φορτίο» που καθορίζει το πότε μια πυρκαγιά περιορίζεται στο δωμάτιο προέλευσης. Το εάν μια δεδομένη πυρκαγιά θα περιοριστεί στο διαμέρισμα εξαρτάται από την αντίσταση στη φωτιά των τοίχων, των θυρών, των οροφών και των δαπέδων του διαμερίσματος.

Οι απαιτήσεις για αντίσταση στη φωτιά ή αντοχή στη φωτιά των δομικών μελών και της συναρμογής των υλικών είναι ένα άλλο σημαντικό στοιχείο για τον καθορισμό νομικών διατάξεων του τομέα των κατασκευών (οικοδομικό κανονισμό). Η αντίσταση στη φωτιά είναι η ικανότητα των υλικών ή των συναρμολογήσεων τους να αποτρέπουν ή να επιβραδύνουν τη διέλευση υπερβολικής θερμότητας, καυτών αερίων ή φλόγας ενώ συνεχίζουν να υποστηρίζουν τα δομικά τους φορτία. Η κλίμακα διαβάθμισης πυραντίστασης καταρτίζονται συνήθως με τη διεξαγωγή τυπικών δοκιμών πυρκαγιάς. Στην τυπική δοκιμή πυραντίστασης (ASTM E119), υπάρχουν τρία κριτήρια αστοχίας: κατάρρευση στοιχείου, διέλευση φλόγας ή υπερβολική αύξηση θερμοκρασίας στη μη εκτεθειμένη στη φωτιά επιφάνεια (μέση αύξηση πολλών θέσεων που υπερβαίνει τους 139°C ή 181°C σε μία τοποθεσία).

Οι μονωτικές ιδιότητες του ξύλου, ιδιαίτερα στις μεγάλες κατασκευές βαριάς ξυλείας, αποτελούν σημαντικό παράγοντα για την παροχή ενός βαθμού αντοχής στη φωτιά. Στις κατασκευές κατηγορίας - IV ή βαριάς ξυλείας, η ανάγκη για απαιτήσεις πυραντίστασης επιτυγχάνεται στους κανονισμούς με τον καθορισμό ελάχιστων μεγεθών για τα διάφορα μέλη ή τμήματα ενός κτιρίου και άλλες κανονιστικές απαιτήσεις.

Σε αυτόν τον τύπο κατασκευής (κατηγορίας IV), τα ξύλινα στελέχη δεν απαιτείται να λαμβάνουν συγκεκριμένες τιμές πυραντίστασης στην κλίμακα διαβάθμισης. Η αποδοχή της βαριάς ξυλείας βασίζεται στην ιστορική εμπειρία με τις επιδόσεις της σε πραγματικές πυρκαγιές. Η σωστή κατασκευή βαριάς ξυλείας περιλαμβάνει τη χρήση εγκεκριμένων υλικών στερέωσης, την αποφυγή κρυφών χώρων κάτω από τα δάπεδα ή τις στέγες και την παροχή της απαιτούμενης πυραντίστασης στους εσωτερικούς και εξωτερικούς τοίχους. Οι απαιτήσεις αυτές οδήγησαν στην αποδοχή μιας διαδικασίας για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών αντοχής στη φωτιά για μεγάλες δοκούς και

υποστυλώματα ξυλείας και επέτρεψαν τη χρήση τους σε κτίρια με πυρκαγιά που δεν ταξινομούνται ως κατασκευές βαριάς ξυλείας (Τύπος IV).

Στους άλλους τύπους κατασκευής, τα δομικά μέρη και οι συναρμογές υλικών απαιτείται να έχουν καθορισμένους βαθμούς πυραντίστασης. Λεπτομέρειες σχετικά με τη διαδικασία για μεγάλα ξύλα μπορούν να βρεθούν στην Τεχνική Σημείωση 7 του Αμερικανικού Ινστιτούτου Κατασκευής Ξυλείας (AITC) και στο AF&PA DCA #2 «Σχεδιασμός μελών εκτεθειμένου ξύλου με αντοχή στη φωτιά» (AWC 1985).

Η πυραντίσταση των δομικών μερών με συγκολλημένα φύλλα, όπως καμάρες - τόξα, δοκοί και κολώνες, είναι περίπου ισοδύναμη με την αντίσταση στη φωτιά στερεών μερών παρόμοιου μεγέθους. Οι διαθέσιμες πληροφορίες υποδεικνύουν ότι τα ελασματοποιημένα μέρη-φύλλα (laminated) κολλημένα με κόλλες φαινόλης, ρεσορκινόλης ή μελαμίνης είναι τουλάχιστον ίσα ως προς την αντοχή τους στη φωτιά με ένα μονοκόμματο τμήμα υλικού του ίδιου μεγέθους. Τα ελασματοποιημένα μέρη κολλημένα με καζεΐνη έχουν ελαφρώς μικρότερη αντίσταση στη φωτιά.

Μια ξύλινη κατασκευή με ελαφρύ σκελετό μπορεί να προσφέρει υψηλό βαθμό περιορισμού της φωτιάς μέσω της χρήσης γυψοσανίδας ως εσωτερικού φινιρίσματος. Αυτή η αποτελεσματική προστατευτική μεμβράνη παρέχει την αρχική κατάταξη πυραντίστασης. Πολλές αναγνωρίσιμες συναρμογές - συγκροτήματα υλικών που περιλαμβάνονται σε τοίχους, δάπεδα και οροφές με ξύλινο σκελετό κατατάσσονται ή λαμβάνουν βαθμολογία πυραντίστασης 1 ή 2 ωρών. Η πυρίμαχη γυψοσανίδα (Τύπου X ή C) χρησιμοποιείται σε συναρμογές που κατατάσσονται σύμφωνα με την κλίμακα διαβάθμισης στις κατασκευές. Οι γυψοσανίδες τύπου X και ανώτερης ποιότητας τύπου C έχουν υφασμάτινα υαλονήματα και άλλα συστατικά που βοηθούν να διατηρηθεί ανέπαφος ο πυρήνας του γύψου κατά τη διάρκεια πυρκαγιάς. Οι παραδοσιακές κατασκευές από κανονική γυψοσανίδα τοίχου (που δεν μπαίνει σε κατάταξη ως προς την πυραντίσταση ή πηχάκια και γύψος πάνω από ξύλινες δοκούς έχουν βαθμούς πυραντίστασης από 15 έως 30 λεπτά. Ενώ η κατάταξη πυραντίστασης αφορά ολόκληρο το συγκρότημα ενός τοίχου, δαπέδου ή οροφής, μπορεί να θεωρηθεί ως το άθροισμα της αντίστασης του εσωτερικού φινιρίσματος και της αντίστασης των μελών του πλαισίου. Έχει γίνει αποδεκτός ο υπολογισμός της κατάταξης ως προς την πυραντίσταση μιας συναρμογής ελαφράς κατασκευής προσθέτοντας τους χρόνους έκθεσης της συναρμογής αλλά και του πλαισίου στη φωτιά. Για παράδειγμα, η βαθμολογία πυραντίστασης ενός ξύλινου τοίχου με γυψοσανίδα πάχους 16 mm και μόνωση από πετροβάμβακα υπολογίζεται προσθέτοντας τα 20 λεπτά που αναφέρονται για τον τοίχο, τα 40 λεπτά που αναφέρονται για τη γυψοσανίδα και τα 15 λεπτά που αναφέρονται για τη μόνωση από πετροβάμβακα για να αποκτήσει βαθμολογία για όλη τη συναρμογή 75 λεπτά.

Η σχετικά καλή δομική συμπεριφορά ενός παραδοσιακού μέρους ξύλου σε μια δοκιμή πυρκαγιάς προκύπτει από το γεγονός ότι η αντοχή του είναι γενικά ομοιόμορφη σε όλη τη μάζα του τεμαχίου. Έτσι, το άκαυστο κλάσμα του μέρους διατηρεί υψηλή αντοχή και η ικανότητα μεταφοράς φορτίου του μειώνεται μόνο ανάλογα με την απώλεια διατομής του. Τα καινοτόμα σχέδια για δομικά ξύλινα μέρη μπορεί να μειώσουν τη μάζα του μέρους και να εντοπίσουν τα κύρια φέροντα εξαρτήματα στις εξωτερικές άκρες όπου είναι πιο ευάλωτα στη φωτιά, όπως στα δομικά πάνελ μορφής συναρμογής σάντουιτς.

Με επιφάνειες υψηλής αντοχής προσαρτημένες σε πυρήνα χαμηλής αντοχής, τα απροστάτευτα φέροντα πάνελ σάντουιτς δεν κατάφεραν να υποστηρίξουν το φορτίο τους σε λιγότερο από 6 λεπτά όταν δοκιμάστηκαν στην τυπική δοκιμή. Εάν ένα πάνελ σάντουιτς πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως φέρον συγκρότημα, θα πρέπει να προστατεύεται με γυψοσανίδα τοίχου ή κάποιο άλλο θερμικό φράγμα. Σε κάθε προστατευμένο συγκρότημα, η απόδοση της προστατευτικής μεμβράνης είναι ο κρίσιμος παράγοντας για την απόδοση του συγκροτήματος.

Οι απροστάτευτες ελαφρές κατασκευές ξύλινου σκελετού δεν έχουν τη φυσική αντοχή στη φωτιά που επιτυγχάνεται με βαρύτερα ξύλινα στελέχη. Σε αυτά, όπως σε όλα τα κτίρια, η προσοχή στις καλές κατασκευαστικές λεπτομέρειες είναι σημαντική για την ελαχιστοποίηση των κινδύνων πυρκαγιάς. Η ποιότητα κατασκευής είναι σημαντική για την επίτευξη επαρκούς αντοχής στη φωτιά. Ανεπαρκές κάρφωμα και μικρότερο από το απαιτούμενο πάχος του εσωτερικού φινιρίσματος μπορεί να μειώσει την αντίσταση στη φωτιά ενός συμπλέγματος – συγκροτήματος υλικών. Η μέθοδος στερέωσης του εσωτερικού φινιρίσματος στα μέλη του πλαισίου και η επεξεργασία των αρμών είναι σημαντικοί παράγοντες για την αντοχή στη φωτιά ενός συγκροτήματος.

Ο τύπος και η ποσότητα οποιασδήποτε μόνωσης που είναι εγκατεστημένη εντός της συναρμογής των υλικών μπορεί επίσης να επηρεάσει την αντίσταση στη φωτιά όλης της συναρμογής υλικών. Οι έξοδοι ηλεκτρικών καλωδίων οι σωληνώσεις και άλλα ανοίγματα που δεν είναι επαρκώς μονωμένα ως προς τη φωτιά μπορούν να επηρεάσουν την αντίσταση στη φωτιά. Εκτός από το σχεδιασμό τοίχων, οροφών, δαπέδων ως προς την πυραντίσταση, ιδιαίτερη σημασία έχουν οι σκάλες και οι πόρτες ως εστίες φωτιάς. Οι πυρκαγιές στα κτίρια μπορούν να εξαπλωθούν με την κίνηση των καυτών αερίων της φωτιάς μέσω ανοιχτών καναλιών σε κρυφούς χώρους. Οι κρυφοί χώροι πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να παρεμποδίζουν τη διέλευση της φλόγας προς τα πάνω ή μέσα από ένα κτίριο. Εκτός από τις αίθουσες, τις σκάλες και άλλους μεγάλους χώρους, τα θερμαινόμενα αέρια ακολουθούν επίσης τους κρυφούς χώρους μεταξύ των δοκών δαπέδου και μεταξύ των χωρισμάτων και τοίχων κατασκευής πλαισίου. Η απόφραξη αυτών των κρυφών καναλιών παρέχει ένα αποτελεσματικό μέσο περιορισμού της εξάπλωσης της φωτιάς σε άλλα μέρη της κατασκευής.

Υλικά που σταματούν τη φωτιά (firestops) είναι υλικά που χρησιμοποιούνται για να μπλοκάρουν σχετικά μικρά ανοίγματα που περνούν μέσα από δομικά στοιχεία όπως δάπεδα και τοίχους. Τα φράγματα φωτιάς (draftstops) είναι συγκροτήματα – συναρμογές υλικών που τοποθετούνται σε μεγαλύτερους κρυφούς χώρους, όπως εκείνους που βρίσκονται μέσα σε δάπεδα από ξύλινες δοκούς, σε ψευδοροφές ή μέσα σε σοφίτες. Οι πόρτες μπορεί να είναι κρίσιμης σημασίας για την πρόληψη της εξάπλωσης των πυρκαγιών. Οι πόρτες που μένουν ανοιχτές ή οι πόρτες με μικρή αντίσταση στη φωτιά μπορούν εύκολα να ανατρέψουν τον σκοπό ενός τοίχου ή διαχωριστικού με κατάταξη πυραντίστασης. Όταν επιλέγεται μια πόρτα πυράντοχη, πρέπει να ληφθούν υπόψη λεπτομέρειες σχετικά με τον τύπο πόρτας, τη βάση, το υλικό και τον μηχανισμό κλεισίματος.

### 3.3.2 Απαιτήσεις Κτιρίου.

Ως προς τις απαιτήσεις του κτιρίου αυτές περιλαμβάνουν περιορισμούς επιφάνειας και ύψους αναφορικά με τζάκια και υπόγεια, πόρτες και άλλες εξόδους, αυτόματους καταιονιστήρες (sprinklers) και ανιχνευτές πυρκαγιάς (fire detectors). Η τήρηση των κανόνων - κωδίκων έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της πυρασφάλειας. Οι κανονισμοί θα πρέπει να εφαρμόζονται πολύ νωρίς, κατά το σχεδιασμό ενός κτιρίου, αφού μπορούν να προσφέρουν εναλλακτικές λύσεις.

Για παράδειγμα, οι επιφάνειες δαπέδου σε ένα κτίριο μπορούν να αυξηθούν εάν προστεθούν αυτόματα συστήματα καταιονιστήρων (sprinklers). Ο μηχανικός θα πρέπει να γνωρίζει πιθανά εναλλακτικά υλικά και μεθόδους κατασκευής που να προσφέρουν ισοδύναμη πυροπροστασία και δομική ακεραιότητα σε ένα κτίριο. Οι περισσότεροι οικοδομικοί κώδικες στις ΗΠΑ βασίζονται σε πρότυπα δόμησης κωδίκων που παράγονται από τους τρεις οργανισμούς κτιριακού κώδικα (Building Officials and Code Administrators International, Inc.; International Conference of Building Officials και Southern Building Code Congress International, Inc.). Αυτοί οι τρεις οργανισμοί αναπτύσσουν έναν ενιαίο διεθνή κώδικα δόμησης που θα αντικαταστήσει τους τρεις υπάρχοντες κώδικες δόμησης μοντέλων. Εκτός από τους οικοδομικούς κώδικες και τους κώδικες πυρκαγιάς, ο Κώδικας Ασφάλειας Ζωής της Εθνικής Ένωσης Πυροπροστασίας παρέχει οδηγίες για την ασφάλεια ζωής από πυρκαγιά σε κτίρια και κατασκευές. Όπως και με τους κώδικες μοντέλων δόμησης, οι διατάξεις του κώδικα ασφάλειας ζωής είναι θεσμοθετημένες απαιτήσεις όταν εγκρίνονται από τοπικές ή κρατικές αρχές. Φαίνεται από τα παραπάνω η μεγάλη ανησυχία και το ενδιαφέρον στις ΗΠΑ για την αντιμετώπιση της φωτιάς – πυρκαγιάς και οι νομοθετικές ρυθμίσεις που εισηγούνται συνήθως ακολουθούνται από τον υπόλοιπο ανεπτυγμένο κόσμο.

### 3.4 Χαρακτηριστικά Απόδοσης Πυρκαγιάς Ξύλου.

Το ξύλο θα καεί όταν εκτεθεί σε θερμότητα και αέρα. Η θερμική αποικοδόμηση του ξύλου συμβαίνει σταδιακά. Η διαδικασία αποικοδόμησης και τα ακριβή προϊόντα της θερμικής αποδόμησης εξαρτώνται από τον ρυθμό θέρμανσης καθώς και από τις θερμοκρασίες. Η σειρά των γεγονότων για την καύση ξύλου έχει ως εξής:

1. Το ξύλο, ανταποκρινόμενο στη θέρμανση, αποσυντίθεται ή πυρολύεται σε πτητικά και κάρβουνο. Το απανθρακωμένο – καρβουνιασμένο υλικό είναι το κυρίαρχο προϊόν σε εσωτερικές θερμοκρασίες μικρότερες από 300°C, ενώ γίνεται πτητικό πολύ πιο έντονα πάνω από 300°C.
2. Τα πτητικά, μερικά από τα οποία είναι εύφλεκτα, μπορούν να αναφλεγούν εάν το μίγμα πτητικών-αέρα είναι κατάλληλης σύνθεσης σε ένα εύρος θερμοκρασίας από περίπου 400°C έως 500°C εντός του μίγματος. Αυτή η καύση σε αέρια φάση εμφανίζεται ως φλόγα.
3. Με τον αερισμό, η οξειδωση του άνθρακα γίνεται σημαντική γύρω στους 200°C με δύο κορυφές σε ένταση που αναφέρονται στους 360°C και 520°C. Αυτή η οξειδωση του άνθρακα θεωρείται ως καύση που λάμπει ή σιγοκαίει μέχρι να μείνει μόνο το υπόλειμμα τέφρας. Αυτή η καύση στερεάς φάσης δεν θα συνεχιστεί εάν η φλεγόμενη καύση εμποδίζει την παροχή φρέσκου αέρα στις επιφάνειες απανθράκωσης.

Πολλά χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται για την ποσοτικοποίηση αυτής της συμπεριφοράς καύσης του ξύλου, συμπεριλαμβανομένης της ανάφλεξης από πηγές θερμότητας, του αυξανόμενου ρυθμού απελευθέρωσης θερμότητας που οδηγεί σε ανάφλεξη του δωματίου, της εξάπλωσης της φλόγας σε θερμαινόμενα περιβάλλοντα, του καπνού και των τοξικών αερίων, της ανάφλεξης και των ρυθμών απανθράκωσης σε ένα περιορισμένο δωμάτιο.

### 3.5 Ανάφλεξη του Ξύλου.

Η ανάφλεξη του ξύλου συμβαίνει όταν το ξύλο υπόκειται σε επαρκή θερμότητα και σε ατμόσφαιρες που έχουν αρκετό οξυγόνο. Η ανάφλεξη μπορεί να είναι δύο τύπων:

- ✓ Η κατευθυνόμενη (πιλοτική) ανάφλεξη λαμβάνει χώρα παρουσία πηγής ανάφλεξης (όπως σπινθήρα ή φλόγα).
- ✓ Η ανάφλεξη χωρίς πιλότο είναι η ανάφλεξη που συμβαίνει όταν δεν υπάρχει διαθέσιμη πηγή ανάφλεξης. Η επιφάνεια του ξύλου αναφλέγεται από τη ροή ενέργειας ή ροής θερμότητας από τη φωτιά ή άλλα θερμαινόμενα αντικείμενα. Αυτή η ροή ενέργειας ή ροής θερμότητας μπορεί να έχει συνιστώσες συναγωγής και ακτινοβολίας.

Η πιλοτική – κατευθυνόμενη ανάφλεξη πάνω από μια επίπεδη επιφάνεια έχει μελετηθεί διεξοδικά λόγω της μεγάλης ερευνητικής δραστηριότητας των τελευταίων πολλών χρόνων σε θέματα ανάπτυξη πυρκαγιάς. Η θερμοκρασία επιφάνειας των ξύλινων υλικών έχει μετρηθεί στο εύρος (300-400)°C πριν από την πιλοτική ανάφλεξη. Η θερμοκρασία επιφάνειας κατά την ανάφλεξη ως μετρούμενο μέγεθος είναι μάλλον μια απαιτηλή ποσότητα που είναι πειραματικά δύσκολο να επιτευχθεί. Εξοπλισμός όπως η συσκευή του Ohio State University (OSU) (ASTM E906), το θερμιδόμετρο κώνου (ASTM 1354) και η συσκευή δοκιμής πλευρικής ανάφλεξης και εξάπλωσης φλόγας (LIFT) (ASTM 1321) χρησιμοποιούνται για τη λήψη δεδομένων έγκαιρα μέχρι την πιλοτική ανάφλεξη ως συνάρτηση της ακτινοβολίας του θερμαντήρα.

Ο Πίνακας 3.4 δείχνει τη μείωση του χρόνου έως την ανάφλεξη με την αύξηση της επιβαλλόμενης ροής θερμότητας για διαφορετικά είδη ξύλου που έχει μετρηθεί με τη συσκευή OSU. Παρόμοια - πανομοιότυπα, υλικά έχουν δοκιμαστεί σε θερμιδόμετρο κώνου και συσκευές LIFT με σχετικά παρόμοια αποτελέσματα. Από τέτοιες δοκιμές, οι τιμές της θερμοκρασίας ανάφλεξης, της κρίσιμης ροής ανάφλεξης (ροή θερμότητας κάτω από την οποία δεν θα υπήρχε ανάφλεξη) και οι θερμοφυσικές ιδιότητες έχουν προκύψει χρησιμοποιώντας τη θεωρία της μεταβατικής αγωγής θερμότητας. Αυτές οι ιδιότητες εξαρτώνται επίσης από το υλικό. σε μεγάλο βαθμό από την πυκνότητα του υλικού και την περιεκτικότητα σε υγρασία.

Μια σειρά προϊόντων ξύλου που δοκιμάστηκαν έχουν θερμοκρασίες επιφάνειας ανάφλεξης από 300°C έως 400°C και κρίσιμη ροή ανάφλεξης μεταξύ 10 και 13 kW/m<sup>2</sup> στο θερμιδόμετρο κώνου. Όταν η επιβαλλόμενη ροή θερμότητας οφείλεται σε πηγή ακτινοβολίας, αυτή η αναφερόμενη θερμοκρασία ανάφλεξης σε ροή αέρα μπορεί να είναι έως και 100°C χαμηλότερη από τη θερμοκρασία της επιφάνειας ανάφλεξης. Για μια σωστή ανάλυση αγωγιμότητας θερμότητας για την εξαγωγή

Θερμικών ιδιοτήτων, απαιτούνται επίσης μετρήσεις της ροής της πηγής ακτινοβολίας και του ρυθμού ροής αέρα.

Πίνακας 3.4: Δεδομένα ευφλεκτότητας για επιλεγμένα είδη ξύλου.

Species	Density <sup>a</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	Ignition time <sup>b</sup> (s)		Higher heating value <sup>c</sup> (MJ/kg)	Effective heat of combustion <sup>d</sup> (MJ/kg)		Average heat release rate <sup>b</sup> (kW/m <sup>2</sup> )	
		18- kW/m <sup>2</sup> heat flux	55- kW/m <sup>2</sup> heat flux		18- kW/m <sup>2</sup> heat flux	55- kW/m <sup>2</sup> heat flux	18- kW/m <sup>2</sup> heat flux	55- kW/m <sup>2</sup> heat flux
<b>Softwoods</b>								
Pine, Southern	508	740	5	20.5	9.1	13.9	40.4	119.6
Redwood	312	741	3	21.1	10.7	14.2	39.0	85.9
<b>Hardwoods</b>								
Basswood	312	183	5	20.0	10.9	12.2	52.8	113.0
Oak, red	660	930	13	19.8	9.0	11.7	48.7	113.3

Δεδομένου ότι η επιβαλλόμενη ροή θερμότητας στην επιφάνεια και η θερμοκρασία της επιφανειακής ανάφλεξης είναι οι παράγοντες που καθορίζουν άμεσα την ανάφλεξη, ορισμένα δεδομένα της πιλοτικής ανάφλεξης είναι ανεπαρκή ή παραπλανητικά. Η ανάφλεξη χωρίς πιλότο (χωρίς προτιμητέα κατεύθυνση) εξαρτάται από ειδικές συνθήκες που οδηγούν σε διαφορετικά εύρη θερμοκρασιών ανάφλεξης. Για θέρμανση με ακτινοβολία κυτταρινικών στερεών, έχει αναφερθεί παροδική ανάφλεξη χωρίς πιλότο στους 600°C. Με τη θέρμανση με συναγωγή ξύλου, η ανάφλεξη χωρίς πιλότο έχει αναφερθεί στους 270°C και στους 470°C. Η αυθόρμητη ανάφλεξη χωρίς πιλότο μπορεί να συμβεί όταν μια πηγή θερμότητας μέσα στο προϊόν ξύλου βρεθεί με ικανοποιητικό ποσό θερμότητας το οποίο δεν μπορεί να διαχυθεί εύκολα. Αυτό το είδος ανάφλεξης περιλαμβάνει την κατάσταση (smoldering – υποκαύσης) και γενικά συμβαίνει για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Η διαδικασία της υποκαύσης – πυρόλησης (smoldering) είναι η θερμική υποβάθμιση που προχωρά χωρίς φλόγες ή ορατή λάμψη. Οι πιθανοί μηχανισμοί παραγωγής εσωτερικής θερμότητας περιλαμβάνουν την αναπνοή, τον μεταβολισμό των μικροοργανισμών, τη θερμότητα της πυρόλυσης, την αβιοτική οξειδωση και την προσροφητική θερμότητα. Αυτοί οι μηχανισμοί, συχνά σε συνδυασμό, μπορεί να προχωρούν σε ανάφλεξη που σιγοκαίει ή φλέγεται μέσω ενός φαινομένου θερμικής διαφυγής εντός του σωρού, εάν παράγεται επαρκής θερμότητα που δεν διαχέεται.

Η ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος για την επίτευξη ανάφλεξης ονομάζεται θερμοκρασία αυτοεπιταχυνόμενης αποσύνθεσης και περιλαμβάνει τις επιπτώσεις της μάζας του δείγματος και του αερισμού του αέρα. Η ανάφλεξη χωρίς πιλότο αναφέρεται σε ξύλο που εκτίθεται σε χαμηλής στάθμης εξωτερικές πηγές θερμότητας για πολύ μεγάλες χρονικές περιόδους. Ωστόσο, αυτές οι συνθήκες δεν προσφέρονται εύκολα για πειραματισμό και παρατήρηση. Υπάρχουν κάποιες ενδείξεις ότι ο άνθρακας που παράγεται σε χαμηλές θερμοκρασίες θέρμανσης μπορεί να έχει διαφορετική χημική σύνθεση, η οποία έχει ως αποτέλεσμα μια κάπως χαμηλότερη θερμοκρασία ανάφλεξης από ό,τι συνήθως καταγράφεται.

Έτσι μια μεγάλη ενδιαφέροντος διερεύνηση είναι το ερώτημα της ασφαλούς κατεργασίας του ξύλου που εκτίθεται σε υψηλές θερμοκρασίες για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Θερμοκρασίες στο εύρος (80 – 100)°C προτείνονται ως ασφαλείς για

διεργασίες επεξεργασίες του ξύλου. Δεδομένου ότι η θερμική αποδόμηση (thermal degradation) είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάφλεξη του στρώματος απανθράκωσης, συντηρητικά κριτήρια για τον προσδιορισμό των ασφαλών θερμοκρασιών εργασίας μπορεί να είναι η θερμοκρασία και η διάρκεια που απαιτούνται για τη θερμική αποικοδόμηση.

### 3.6 Έκλυση Θερμότητας από το Ξύλο.

Ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας είναι σημαντική παράμετρος επειδή υποδεικνύει τον πιθανό κίνδυνο πυρκαγιάς ενός υλικού και επίσης την εύφλεκτη ικανότητα ενός υλικού (ευφλεκτότητα). Τα υλικά που απελευθερώνουν τη δυναμική τους χημική ενέργεια (καθώς και τον καπνό και τα τοξικά αέρια) σχετικά γρήγορα είναι πιο επικίνδυνα από εκείνα που την απελευθερώνουν πιο αργά. Υπάρχουν υλικά που δεν περνούν τον τρέχοντα ορισμό του μη εύφλεκτου στους κώδικες μοντέλων, αλλά θα απελευθερώσουν μόνο περιορισμένες ποσότητες θερμότητας κατά τις αρχικές και κρίσιμες περιόδους έκθεσης στη φωτιά.

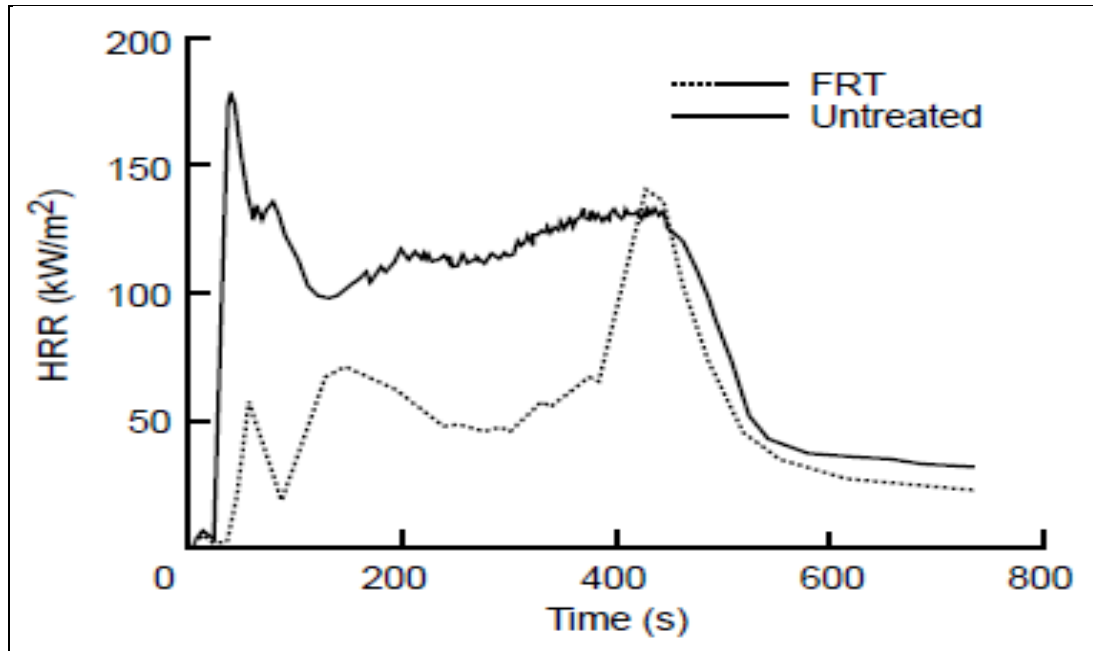
Μια πρώιμη προσπάθεια ήταν να οριστεί η ευφλεκτότητα ως η ικανότητα καύσης ως προς την απελευθέρωση θερμότητας (NFPA 259). Το αλεσμένο δείγμα ξύλου σε αυτή τη μέθοδο καταναλώνεται πλήρως κατά τη διάρκεια της έκθεσης στους 750°C για 2 ώρες,. Η τυπική μικτή θερμότητα καύσης ήταν κατά μέσο όρο περίπου 20 MJ/kg για το λειασμένο ξύλο, ανάλογα με την περιεκτικότητα λιγνίνης του ξύλου.

Ένα καλύτερο μέτρο του βαθμού καύσης είναι ο προσδιορισμός του ρυθμού απελευθέρωσης θερμότητας (Heat Release Rate). Αυτή η μέτρηση αξιολογεί αποτελεσματικά τη σχετική θερμική συμβολή των υλικών ως προς παραμέτρους όπως το πάχος και η επεξεργασία του ξύλου κατά την έκθεσή τους στη φωτιά. Το θερμιδόμετρο κώνου (ASTM E1354) είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη συσκευή HRR σε κλίμακα εργαστηρίου και βασίζεται στη μέθοδο κατανάλωσης οξυγόνου.

Μια μέση τιμή 13,1 kJ/g οξυγόνου που καταναλώθηκε ήταν η σταθερά που βρέθηκε για τα οργανικά στερεά και είναι ακριβής με πολύ λίγες εξαιρέσεις εντός 5%. Έτσι, αρκεί να μετρηθεί ο ρυθμός ροής μάζας του οξυγόνου που καταναλώνεται σε ένα σύστημα καύσης για να προσδιοριστεί το καθαρό HRR. Στη συσκευή του θερμιδομέτρου κώνου χρησιμοποιείται μια πηγή ακτινοβολίας για να παρέχει την εξωτερική έκθεση θερμότητας στο δείγμα δοκιμής. Η επιβαλλόμενη ροή θερμότητας διατηρείται σταθερή σε ένα καθορισμένο επίπεδο ροής θερμότητας.

Το θερμιδόμετρο κώνου είναι το πιο κατάλληλο για δείγματα – δοκίμια προϊόντων μικρού μεγέθους διαστάσεων 100x100 mm<sup>2</sup>. Το δείγμα ζυγίζεται συνεχώς με χρήση κυψέλης φορτίου. Σε συνδυασμό με τις μετρήσεις HRR, η αποτελεσματική θερμότητα της καύσης σε συνάρτηση με το χρόνο υπολογίζεται με τη μέθοδο ASTM E1354. Βασικά, η αποτελεσματική θερμότητα της καύσης είναι το HRR διαιρούμενο με τον ρυθμό απώλειας μάζας όπως προσδιορίζεται από τη δοκιμή θερμιδομέτρου κώνου ως συνάρτηση του χρόνου. Ένα τυπικό προφίλ HRR όπως φαίνεται στην Εικ.7 για κόντρα πλακέ ξεκινά με μια απότομη κορυφή κατά την ανάφλεξη και καθώς η επιφάνεια χαράζεται, το HRR πέφτει σε κάποια ελάχιστη τιμή. Αφού το θερμικό κύμα διασχίσει πλήρως το πάχος του ξύλου, η κάτω πλευρά του δείγματος φτάνει σε θερμοκρασία πυρόλυσης, δημιουργώντας έτσι μια δεύτερη, ευρύτερη και πολλές φορές ακόμη υψηλότερη κορυφή HRR.





Εικόνα 7: Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας για ανεπεξεργαστο και επεξεργασμένο κομμάτι κόντραπλακέ εκτεθειμένο σε ροή ακτινοβολούμενης θερμότητας 50kW/m<sup>2</sup>

Πίνακας 3.5 Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας για διάφορα είδη ξύλου.

Species	Density <sup>b</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	Heat release rate (kW/m <sup>2</sup> )				Average effective heat of combustion <sup>c</sup> (MJ/kg)	Ignition time (s)
		Peak	60-s avg	180-s avg	300-s avg		
<b>Softwoods</b>							
Pine, red	525	209	163	143	132	12.9	24
Pine, white	359	209	150	117	103	13.6	17
Redcedar, eastern	—	175	92	95	85	11.7	25
Redwood	408	227	118	105	95	13.2	17
<b>Hardwoods</b>							
Birch	618	218	117	150	141	12.2	29
Maple, hard	626	218	128	146	137	11.7	31
Oak, red	593	214	115	140	129	11.4	28

Τα δεδομένα του Πίνακα 3.5 αναφέρονται σε δοκιμές σε θερμιδόμετρο κώνου σε ακτινοβολούμενη ροή θερμότητας  $50\text{kW/m}^2$ . Επίσης κατά τη διαδικασία καύσης δεν έχει εφαρμοστεί η καλύπτρα στη βάση στήριξης του υλικού. Επίσης τα υπό μελέτη δοκίμια πριν την δοκιμή - καύση στο θερμιδόμετρο κώνου είχαν διατηρηθεί σε θερμοκρασία  $23^\circ\text{C}$  και υγρασία 50%. Για προϊόντα ξύλου επεξεργασμένα με επιβραδυντικά πυρκαγιάς, η πρώτη κορυφή HRR μπορεί να μειωθεί ή να εξαλειφθεί. Ο Πίνακας 17-3 παρέχει το μέγιστο και το μέσο HRR σε περιόδους 1, 3 και 5 λεπτών για διάφορα είδη ξύλου. Ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας εξαρτάται από την ένταση της επιβαλλόμενης ροής θερμότητας. Στον Πίνακα 4.5 δίνεται η μέση αποτελεσματική θερμότητα καύσης και το μέσο HRR για τέσσερα είδη ξύλου και δύο επίπεδα ροής θερμότητας ( $18$  και  $55\text{ kW/m}^2$ ). Το HRR έχει μεγάλη γραμμική αύξηση με τη ροή θερμότητας. Επίσης αναμένεται ότι τα HRR μειώνονται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε υγρασία του δείγματος.

### 3.7 Εξάπλωση Φλόγας.

Η εξάπλωση της φλόγας πάνω από τα στερεά είναι ένα πολύ σημαντικό φαινόμενο στην ανάπτυξη των πυρκαγιών στα διαμερίσματα. Πράγματι, σε πυρκαγιές όπου εμπλέκονται μεγάλες επιφάνειες καυσίμου, η αύξηση του HRR με την πάροδο του χρόνου οφείλεται κυρίως στην αύξηση της περιοχής καύσης. Νωρίτερα στον Πίνακα 4.1 δίνεται ο δείκτης FSI (Flame Spread Index) και ο αντίστοιχος δείκτης καπνού Smoke Developed Index – SDI κατά τις δοκιμές σύμφωνα με το πρότυπο ASTM E84 για μασίφ ξύλο. Ορισμένες συνέπειες στη συμπεριφορά FSI των ειδών σκληρού ξύλου μπορεί να σχετίζονται με την πυκνότητά τους. Υπάρχουν σημαντικές παραλλαγές για σύνθετα υλικά με βάση το ξύλο. για παράδειγμα, το FSI τεσσάρων δομικών πλακιδίων κυμαινόταν από 71 έως 189.

Ως κανονιστική συνθήκη η δοκιμή σήραγγας ASTM E84 είναι επιτυχημένη ως προς τη μείωση των κινδύνων πυρκαγιάς, αλλά δεν είναι πρακτική στην παροχή επιστημονικών δεδομένων για μοντελοποίηση πυρκαγιάς ή σε χρήσιμες δοκιμές κλίμακας ανάπτυξη προϊόντων. Άλλες δοκιμές πλήρους κλίμακας (όπως η δοκιμή δωματίου/γωνίας ISO 9705) χρησιμοποιούν επίσης και έναν καυστήρα ανάφλεξης και την επακόλουθη εξάπλωση της φλόγας για να υποβοηθήσουν τη ροή, αλλά μπορούν να δώσουν αρκετά διαφορετικά αποτελέσματα λόγω του μεγέθους του καυστήρα ανάφλεξης ή της γεωμετρίας της δοκιμής. Αυτό συμβαίνει με τα πάνελ από αφρώδες πλαστικό που λιώνουν και στάζουν κατά τη διάρκεια μιας δοκιμής πυρκαγιάς.

Στη δοκιμή σήραγγας, με το υλικό δοκιμής στην κορυφή, ένα υλικό που λιώνει μπορεί να έχει χαμηλή ευφλεκτότητα αφού το δείγμα δεν μένει στη θέση του. Με έναν επαρκή καυστήρα στο δωμάτιο/τη δοκιμή γωνίας (corner test), το ίδιο υλικό θα παρουσιάσει πολύ υψηλή ευφλεκτότητα. Μια φλόγα απλώνεται πάνω από ένα στερεό υλικό όταν μέρος του καυσίμου, μπροστά από το μέτωπο της πυρόλυσης, θερμαίνεται στην κρίσιμη κατάσταση της ανάφλεξης. Ο ρυθμός εξάπλωσης της φλόγας ελέγχεται από το πόσο γρήγορα το καύσιμο φτάνει στη θερμοκρασία ανάφλεξης ως απόκριση στη θέρμανση από το μπροστινό μέρος της φλόγας και τις εξωτερικές πηγές. Η θερμική αγωγιμότητα, η θερμική χωρητικότητα, το πάχος και ο συντελεστής εκπομπής της επιφάνειας του μαύρου σώματος του υλικού επηρεάζουν τη θερμική απόκριση του υλικού και μια αύξηση στις τιμές αυτών των ιδιοτήτων αντιστοιχεί σε μείωση του ρυθμού εξάπλωσης φλόγας. Από την άλλη πλευρά, μια αύξηση στις τιμές των χαρακτηριστικών της φλόγας, όπως οι επιβαλλόμενες

επιφανειακές ροές και τα χωρικά μήκη, αντιστοιχεί σε αύξηση του ρυθμού εξάπλωσης της φλόγας. Η εξάπλωση της φλόγας συμβαίνει σε διαφορετικές διαμορφώσεις, οι οποίες οργανώνονται ανάλογα με τον προσανατολισμό του καυσίμου και την κατεύθυνση της κύριας ροής των αερίων σε σχέση με αυτή της εξάπλωσης της φλόγας. Η εξάπλωση της φλόγας προς τα κάτω και πλευρικά ως έρπουσα περιλαμβάνει έναν προσανατολισμό του καυσίμου με θερμαινόμενο αέρα που ρέει αντίθετα και προς τα άνω από την κατεύθυνση εξάπλωσης της φλόγας.

Σχετικές μέθοδοι δοκιμής είναι το ASTM E162 για την εξάπλωση της φλόγας προς τα κάτω, το ASTM E648 για την οριζόντια εξάπλωση της φλόγας στο κρίσιμο επίπεδο ροής και το ASTM E1321 (συσκευή LIFT) για την πλευρική εξάπλωση της φλόγας σε κάθετο δείγμα στο κρίσιμο επίπεδο ροής. Η μεταφορά θερμότητας από τη φλόγα στο καθαρό καύσιμο γίνεται κυρίως με αγωγή σε χωρική έκταση μερικών χιλιοστών και επηρεάζεται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος όπως το οξυγόνο, η πίεση, η άνωση και η εξωτερική ακτινοβολία. Για τα περισσότερα ξύλινα υλικά, αυτή η μεταφορά θερμότητας από τη φλόγα είναι μικρότερη ή ίση με την επιφανειακή απώλεια θερμότητας ακτινοβολίας σε κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος, έτσι ώστε η περίσσεια θερμότητας να μην είναι διαθέσιμη για περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας του καθαρού καυσίμου. Ως αποτέλεσμα, αποτρέπεται η εξάπλωση της φλόγας. Επομένως, για να επιτευχθεί έρπουσα εξάπλωση της φλόγας, απαιτείται μια εξωτερική πηγή θερμότητας κοντά στο μέτωπο πυρόλυσης.

Η εξάπλωση της φλόγας προς τα πάνω ή στην οροφή περιλαμβάνει προσανατολισμό του καυσίμου με την κύρια ροή του αέρα στην ίδια κατεύθυνση με την εξάπλωση της φλόγας (υποβοηθητική ροή). Έτσι, η δοκιμή της εξάπλωσης της φλόγας στην υποβοηθούμενη ροή υπάρχει κυρίως τόσο στις δοκιμές της σήραγγας όσο και στις δοκιμές καύσης δωματίου/γωνίας. Η μεταφορά θερμότητας από τη φλόγα γίνεται με μηχανισμούς τόσο την αγωγή όσο και την ακτινοβολία, έχει μια μεγάλη χωρική κάλυψη και είναι σχετικά ανεπηρέαστη από τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Η ταχεία επιτάχυνση στην εξάπλωση της φλόγας μπορεί να αναπτυχθεί λόγω ενός μεγάλου, αυξανόμενου μεγέθους μεταφοράς θερμότητας φλόγας ως αποτέλεσμα της αύξησης του συνολικού HRR στις υποβοηθητικές ροές. Αυτές οι πολυπλοκότητες και η σημασία των διαδικασιών εξάπλωσης φλόγας εξηγούν τις πολλές και συχνά ασύμβατες δοκιμές και τα πολλά μοντέλα εξάπλωσης φλόγας που υπάρχουν παγκοσμίως.

### **3.8 Εξέλιξη του Καπνού και Τοξικών Αερίων.**

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που σχετίζονται με τις πυρκαγιές είναι ο καπνός που παράγουν. Ο όρος καπνός χρησιμοποιείται συχνά με μια γενική έννοια για να σημαίνει το μίγμα προϊόντων πυρόλυσης και αέρα που υπάρχει κοντά στο σημείο της πυρκαγιάς. Σε αυτό το πλαίσιο, ο καπνός περιέχει αέρια, στερεά σωματίδια και σταγονίδια υγρού. Ο καπνός παρουσιάζει δυνητικούς κινδύνους επειδή αλληλεπιδρά με το φως για να θολώσει την όραση και επειδή περιέχει επιβλαβείς και τοξικές ουσίες.

Γενικά, δύο προσεγγίσεις χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση του προβλήματος του καπνού:

- ✓ περιορισμός της παραγωγής καπνού και
- ✓ έλεγχος του καπνού που έχει παραχθεί.

Ο έλεγχος της ροής καπνού είναι τις περισσότερες φορές παράγοντας στο σχεδιασμό και την κατασκευή μεγάλων ή ψηλών κτιρίων. Σε αυτά τα κτίρια, τα προϊόντα καύσης μπορεί να έχουν σοβαρές επιπτώσεις σε περιοχές απομακρυσμένες από την πραγματική τοποθεσία της πυρκαγιάς. Επί του παρόντος, αρκετές μέθοδοι δοκιμών σε βασική κλίμακα εργαστηρίου παρέχουν συγκριτικές πληροφορίες για την απόδοση καπνού για υλικά και συναρμογές υλικών. Κάθε μέθοδος έχει εντελώς διαφορετικές συνθήκες έκθεσης. Καμία μέθοδος δεν σχετίζεται γενικά με συνθήκες πυρκαγιάς πλήρους κλίμακας ή με την εμπειρία. Η μέτρηση καπνού βασίζεται σε μια ποσοστιαία εξασθένηση του λευκού φωτός που διέρχεται από το ρεύμα εξάτμισης της σήραγγας ή της σωλήνωσης ανάλογα με τη διάταξη που χρησιμοποιείται για τις δοκιμές και ανιχνεύεται από ένα φωτοκύτταρο.

Αυτή η εξασθένηση μετατρέπεται στον δείκτη ανάπτυξης καπνού (SDI), με τη βαθμονόμηση να γίνεται με το κόκκινο δρύινο δάπεδο ρυθμισμένο στο 100. Οι απαιτήσεις εξάπλωσης φλόγας για το εσωτερικό φινίρισμα γενικά συνδέονται με μια πρόσθετη απαίτηση το SDI να είναι μικρότερο από 450. Στη δεκαετία του 1970, η συσκευή γνωστή ως θάλαμος καπνού NBS αναπτύχθηκε και εγκρίθηκε ως πρότυπο ASTM για έρευνα και ανάπτυξη (ASTM E662). Αυτή είναι μια στατική δοκιμή καπνού επειδή το δείγμα δοκιμάζεται σε κλειστό θάλαμο σταθερού όγκου και η εξασθένηση του φωτός καταγράφεται σε ένα γνωστό μήκος οπτικής διαδρομής. Η αντίστοιχη μετάδοση φωτός αναφέρεται ως ειδική οπτική πυκνότητα σε συνάρτηση με το χρόνο. Τα δείγματα ελέγχονται συνήθως τόσο σε φλεγόμενες (πιλοτικές φλόγες) όσο και σε μη φλεγόμενες συνθήκες χρησιμοποιώντας ροή ακτινοβολίας 25 kW/m<sup>2</sup>.

Η δυναμική μέτρηση του καπνού στο θερμιδόμετρο κώνου (ASTM E906 και E1354) έχει αποκτήσει αυξανόμενη αναγνώριση και χρήση. Οι δοκιμές E906 και E1354 είναι δυναμικές μέθοδοι καθώς ο καπνός που ρέει συνεχώς εξερχόμενος του σωλήνα εξάτμισης μετράται μέσω της οπτικής πυκνότητας στη διάρκεια του χρόνου. Η κατάλληλη παράμετρος καπνού είναι ο ρυθμός απελευθέρωσης καπνού (SRR), ο οποίος είναι η οπτική πυκνότητα πολλαπλασιαζόμενη με τον όγκο ροής του αέρα στον σωλήνα εξαγωγής και διαιρούμενη με το γινόμενο της εκτεθειμένης επιφάνειας του δείγματος και του μήκους της φωτεινής διαδρομής. Συχνά η περιοχή εξάλειψης καπνού, η οποία είναι το γινόμενο του SRR και της επιφάνειας του δείγματος, προτιμάται επειδή μπορεί να συσχετιστεί γραμμικά με το HRR σε πολλές περιπτώσεις. Αυτό επιτρέπει επίσης τη σύγκριση με τον καπνό που μετρήθηκε στη δοκιμή πυρκαγιάς δωματίου/γωνίας, επειδή το HRR είναι ένα άμεσα διαθέσιμο αποτέλεσμα δοκιμής. Αν και το SRR μπορεί να ολοκληρωθεί με το χρόνο για να ληφθούν οι ίδιες μονάδες με την ειδική οπτική πυκνότητα, δεν είναι ισοδύναμες επειδή οι στατικές δοκιμές περιλαμβάνουν την άμεση συσσώρευση καπνού σε έναν όγκο, ενώ το SRR περιλαμβάνει τη συσσώρευση ροής όγκου αέρα πρόσφατα παρασυρόμενου για κάθε μονάδα καπνού. Οι μέθοδοι που διερευνήθηκαν για τη συσχέτιση του καπνού μεταξύ διαφορετικών δοκιμών περιελάμβαναν εναλλακτικές παραμέτρους όπως η μάζα σωματιδίων που εκπέμπεται ανά περιοχή εκτεθειμένου δείγματος.

Η τοξικότητα των προϊόντων καύσης είναι ένας τομέας ανησυχίας. Περίπου το 75% έως 80% των θυμάτων πυρκαγιάς δεν αγγίζονται από φλόγα, αλλά πεθαίνουν ως αποτέλεσμα της έκθεσης στον καπνό, της έκθεσης σε τοξικά αέρια ή της εξάντλησης του οξυγόνου. Αυτές οι απειλητικές για τη ζωή συνθήκες μπορεί να προκύψουν από την καύση των υλικών που περιέχονται - βρίσκονται μέσα σε ένα δωμάτιο ή

διαμέρισμα, όπως τα έπιπλα, καθώς και από τα εμπλεκόμενα δομικά υλικά. Η τοξικότητα που προκύπτει από τη θερμική αποσύνθεση του ξύλου και των κυτταρινικών ουσιών είναι πολύπλοκη λόγω της μεγάλης ποικιλίας τύπων καπνού ξύλου. Η σύνθεση και η συγκέντρωση των επιμέρους συστατικών εξαρτώνται από παράγοντες όπως η έκθεση στη φωτιά, το οξυγόνο και η υγρασία που υπάρχει, το είδος του ξύλου, τυχόν επεξεργασίες ή φινιρίσματα που μπορεί να έχουν εφαρμοστεί και άλλες εκτιμήσεις. Τα δεδομένα τοξικότητας είναι ευρύτερα διαθέσιμα με την υιοθέτηση μιας τυπικής μεθόδου δοκιμής (ASTM E1678).

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένα ιδιαίτερα ύπουλο τοξικό αέριο. Μικρές ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα είναι ιδιαίτερα τοξικές επειδή η αιμοσφαιρίνη στο αίμα είναι πολύ πιο πιθανό να συνδυαστεί με μονοξείδιο του άνθρακα παρά με οξυγόνο, ακόμη και με άφθονο αναπνεύσιμο οξυγόνο. Αυτή η δηλητηρίαση ονομάζεται καρβοξυαιμοσφαιρίνη. Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες το είδος των πυρκαγιών που σκοτώνουν τους ανθρώπους λόγω τοξικότητας είναι κυρίως αυτές που φτάνουν στο σημείο έκλαμψης – ξεσπάσματος (flashover) σε ένα διαμέρισμα ή δωμάτιο σε κάποια απόσταση από τους ανθρώπους. Η συντριπτική πλειονότητα των πυρκαγιών που φθάνουν στο ξέσπασμα παράγουν επικίνδυνα επίπεδα μονοξειδίου του άνθρακα, ανεξάρτητα από το είδος της καύσιμης ύλης.

### **3.9 Απανθράκωση του Ξύλου και Αντίσταση στη Φωτιά.**

Το ξύλο που εκτίθεται σε υψηλές θερμοκρασίες θα αποσυντεθεί για να δημιουργήσει ένα μονωτικό στρώμα απανθράκωσης που επιβραδύνει την περαιτέρω αποσύνθεση - υποβάθμιση του ξύλου. Η ικανότητα μεταφοράς φορτίου ενός δομικού μέλους ξύλου εξαρτάται από τις διαστάσεις της διατομής του. Έτσι, η ποσότητα της απανθράκωσης της διατομής είναι ο κύριος παράγοντας για την αντοχή στη φωτιά των δομικών ξύλινων μελών. Όταν το ξύλο εκτίθεται για πρώτη φορά στη φωτιά, το ξύλο απανθρακώνεται και τελικά φλέγεται. Η ανάφλεξη συμβαίνει σε περίπου 2 λεπτά κάτω από τις τυπικές εκθέσεις δοκιμής πυρκαγιάς ASTM E119. Στη συνέχεια, η απανθράκωση στο βάθος του ξύλου συνεχίζεται με ρυθμό περίπου 0,8 mm/min για τα επόμενα 8 λεπτά (ή 1,25 min/mm). Στη συνέχεια, το στρώμα απανθράκωσης λειτουργεί ως μονωτικό και ο ρυθμός προόδου της φωτιάς μειώνεται στα 0,6 mm/min (1,6 min/mm). Λαμβάνοντας υπόψη την αρχική καθυστέρηση ανάφλεξης, τη γρήγορη αρχική απανθράκωση και, στη συνέχεια, την επιβράδυνση σε σταθερό ρυθμό, ο μέσος σταθερός ρυθμός απανθράκωσης είναι περίπου 0,6 mm/min (ή 1,5 in/h) Στην τυπική δοκιμή πυραντίστασης, αυτός ο γραμμικός ρυθμός απανθράκωσης γενικά θεωρείται για συμπαγές ξύλο που εκτίθεται άμεσα στη φωτιά.

Υπάρχουν διαφορές μεταξύ των ειδών ξύλου που σχετίζονται με την πυκνότητα, την ανατομία, τη χημική σύνθεση και τη διαπερατότητά τους. Η περιεκτικότητα σε υγρασία είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τον ρυθμό απανθράκωσης. Η πυκνότητα σχετίζεται με τη μάζα που απαιτείται για την αποικοδόμηση και τις θερμικές ιδιότητες, οι οποίες επηρεάζονται από τα ανατομικά χαρακτηριστικά. Η απανθράκωση στη διαμήκη διεύθυνση του δοκιμίου φέρεται να είναι διπλάσια από αυτή στην εγκάρσια και η χημική σύνθεση επηρεάζει το πάχος του στρώματος απανθράκωσης. Η διαπερατότητα επηρεάζει την κίνηση της υγρασίας που υπάρχει μέσα στο κομμάτι του ξύλου κάτω από το στρώμα που απανθρακώνεται.

Η θερμοκρασία στη βάση του στρώματος απανθράκωσης γενικά θεωρείται περί του 300°C. Με βάση αυτό το κριτήριο έχουν αναπτυχθεί εμπειρικές σχέσεις που συσχετίζουν το ρυθμό απανθράκωσης κατά το πρότυπο έκθεσης δοκιμίων (ASTM E119) προς την πυκνότητα και την περιεχόμενη υγρασία για συγκεκριμένους τύπους ξυλείας της Αμερικής (Douglas-Fir, Southern Pine, and White Oak).

Αυτές οι εμπειρικές σχέσεις και τα δεδομένα ισχύουν όταν το δοκίμιο είναι αρκετά παχύ ώστε να μπορεί να θεωρηθεί ότι προσεγγίζει την υπόθεση της ημι-άπειρης πλάκας. Για μικρότερες διαστάσεις, ο ρυθμός απανθράκωσης αυξάνεται μόλις η θερμοκρασία ανέβει πάνω από την αρχική θερμοκρασία στο κέντρο του κομματιού ή στη μη εκτεθειμένη επιφάνεια. Ο ρυθμός απανθράκωσης επηρεάζεται επίσης από τη σοβαρότητα της έκθεσης στη φωτιά. Δεδομένα για μια σταθερή ροή θερμότητας δίνονται στον Πίνακα 4.5.

Η θερμοκρασία στην πιο εσωτερική ζώνη του στρώματος απανθράκωσης θεωρείται ότι είναι 300°C. Λόγω της χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας του ξύλου, η θερμοκρασία 6mm προς τα μέσα από τη βάση του στρώματος απανθράκωσης είναι περίπου 180°C. Αυτή η απότομη κλίση θερμοκρασίας σημαίνει ότι η εναπομένουσα μη απανθρακωμένη περιοχή διατομής ενός μεγάλου ξύλινου μέλους παραμένει σε χαμηλή θερμοκρασία και μπορεί να συνεχίσει να φέρει φορτίο. Η υγρασία διοχετεύεται στο ξύλο καθώς προχωρά η απανθράκωση. Μια κορυφή περιεκτικότητας σε υγρασία δημιουργείται προς τα μέσα από τη βάση του άνθρακα. Η μέγιστη περιεκτικότητα σε υγρασία εμφανίζεται εκεί όπου η θερμοκρασία του ξύλου είναι περίπου 100°C, η οποία είναι περίπου 13 mm από τη βάση του άνθρακα.

### **3.10 Διαχείριση του Ξύλου για την Επιβράδυνση της Φωτιάς.**

Για να πληρούνται οι προδιαγραφές του οικοδομικού κώδικα και των προτύπων, η ξυλεία και το κόντρα πλακέ επεξεργάζονται με επιβραδυντικά φλόγας για τη βελτίωση της απόδοσης τους στη φωτιά. Οι δύο γενικές μέθοδοι εφαρμογής είναι η επεξεργασία με πίεση και η επιφανειακή επίστρωση.

Τα προϊόντα ξύλου χαρακτηρίζονται σύμφωνα με την περιεχόμενη υγρασία ως εξής:

➤ Ξηρή\_κατάσταση\_(Dry Condition) - DRF INT 1

Περιεχόμενο υγρασίας στα υλικά τα οποία αντιστοιχούν στους 20°C και αντίστοιχη υγρασία του περιβάλλοντος αέρα υπερβαίνουσα το 65% για μερικές εβδομάδες ανά έτος.

➤ Κατάσταση υγρασίας - DRF INT 2

Περιεχόμενο υγρασίας σε υλικά τα οποία αντιστοιχούν σε μία θερμοκρασία 20°C και μία αντίστοιχη υγρασία του περιβάλλοντος αέρα υπερβαίνουσα το 85% μόνο για μερικές εβδομάδες ανά έτος.

#### **3.10.1 Προϊόντα Ξύλου και Συστήματα Επικάλυψης Μη Βραδείας Καύσης.**

Η επεξεργασία της διεργασίας παραγωγής και το όριο εφαρμογής το οποίο δηλώνεται από τον παραγωγό θα πρέπει να δηλωθεί από τον κατασκευαστή του τελικού προϊόντος. Πραγματική κράτηση βραδείας καύσης θα εκφράζεται με  $\text{kg/m}^3$

του τελικού προϊόντος, ή με  $\text{kg/m}^2$  για την επιφάνεια επεξεργασμένων προϊόντων (for surface treated products). Αξίες (τιμές) θα δοθούν για προϊόντα τα οποία καθορίζονται σε  $(50 \pm 5)\%$  σχετική υγρασία, σε  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  (όσον αφορά δοκιμή καύσης) σύμφωνα με EN 13238.

Προϊόντα με διαδικασίες συντήρησης DRF Classes INT και EXT θα παρέχονται από τους κατασκευαστές όσον αφορά:

- Τον τύπο συντήρησης
- Διάστημα συντήρησης
- Χρόνος μέχρι την πρώτη συντήρηση ή επανάληψη επίστρωσης χρώματος (εάν χρειάζεται).
- Σύστημα επίστρωσης να χρησιμοποιεί αρχικά και στη συντήρηση (εάν χρειάζεται)

Επαλήθευση DRF Class EXT η οποία επιτυγχάνεται χωρίς σύστημα επίστρωσης (με ένα απλό χρώμα) ισχύει επίσης για το ίδιο το προϊόν το οποίο είναι επιστρωμένο αρκεί να μην μειώνεται η αντίδραση προς την εκτέλεση καύσης. Η κατορθωτή εκτέλεση καύσης ενός επικαλυμμένου προϊόντος (με απλό χρώμα) πιθανόν να επαληθεύει από μία δοκιμή καύσης σύμφωνα με το EN13823 ή ISO 5660-1-4. Η επαλήθευση DRF Class EXT ισχύει για προϊόντα χονδρού ξύλου, αλλά όχι λεπτού.

### **3.10.2 Ξύλο Επεξεργασμένο ως Επιβραδυντικό Φωτιάς.**

Για να πληρούνται οι προδιαγραφές των οικοδομικών κωδίκων και των διαφόρων προτύπων, η ξυλεία και το κόντρα πλακέ που έχουν υποστεί επεξεργασία με επιβραδυντικά πυρκαγιάς, έχουν υποστεί επεξεργασία πίεσης με χημικά για τη μείωση των χαρακτηριστικών εξάπλωσης της φλόγας. Η επεξεργασία του ξύλου γενικά βελτιώνει την απόδοση της συμπεριφοράς του στη φωτιά μειώνοντας την ποσότητα εύφλεκτων πτητικών που απελευθερώνονται κατά την έκθεση στη φωτιά ή μειώνοντας την αποτελεσματική θερμότητα της καύσης ή και τα δύο. Και τα δύο αποτελέσματα έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση του HRR, ιδιαίτερα κατά τα αρχικά στάδια της πυρκαγιάς και κατά συνέπεια τη μείωση του ρυθμού εξάπλωσης της φλόγας στην επιφάνεια. Το ξύλο μπορεί στη συνέχεια να σβήσει μόνο του όταν αφαιρεθεί η κύρια πηγή θερμότητας. Η απαίτηση απόδοσης για το κατεργασμένο με πυρίμαχα ξύλο κρίνεται με το δείκτη FSI του που πρέπει να είναι  $< 25$  σύμφωνα με τη δοκιμή εξάπλωσης φλόγας ASTM E84. και ότι δεν παρουσιάζει στοιχεία σημαντικής προόδου της διαδικασίας καύσης όταν αυτή η δοκιμή 10 λεπτών συνεχίζεται για επιπλέον 20 λεπτά.

Επιπλέον, απαιτείται το μέτωπο της φλόγας κατά τη δοκιμή να μην προχωρά περισσότερο από 3,2 m πέρα από την κεντρική γραμμή του καυστήρα σε οποιαδήποτε δεδομένη στιγμή κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Σε εφαρμογές όπου η απαίτηση των προδιαγραφών περιορίζεται για διασπορά φλόγας Κατηγορίας I ή II, η επεξεργασία του ξύλου περιορίζεται προς το σκοπό της μείωσης του FSI στο απαιτούμενο επίπεδο κατά τη δοκιμή εξάπλωσης φλόγας ASTM E84 (25 για Κατηγορία I, 75 για την Τάξη II). Δεν υπάρχουν εκτεταμένα δεδομένα για τους διάφορους τύπους ξυλείας, συνήθως τα εργαστήρια δοκιμών διατηρούν αρχεία – βιβλιοθήκες σύμφωνα με το πελατολόγιό τους.

Το ξύλο και το κόντρα πλακέ που είναι επεξεργασμένα ως πυράντοχα χρησιμοποιούνται συχνά για εσωτερική διακόσμηση χώρων, αμφιθέατρα και

διαδρόμους όπου οι κώδικες απαιτούν υλικά με χαμηλή αναφλεξιμότητα επιφανειών. Παρά το ότι το επεξεργασμένο πυράντοχο ξύλο δεν θεωρείται άκαυστο υλικό, πολλοί κώδικες έχουν αποδεχτεί τη χρήση πυρίμαχου ξύλου και κόντρα πλακέ σε πυρίμαχες και πυράντοχες κατασκευές πλαισίων, σε φέροντες τοίχους, συγκροτήματα οροφής και καταστρώματα. Το πυρίμαχο επεξεργασμένο ξύλο χρησιμοποιείται επίσης για ειδικούς σκοπούς όπως οι ξύλινες σκαλωσιές και για τον σκελετό, τις ράγες και τις ράγες ξύλινων πορτών πυρόσβεσης.

Εκτός από τις προδιαγραφές για την απόδοση εξάπλωσης της φλόγας, το ξύλο που έχει υποστεί επεξεργασία με επιβραδυντικό φωτιάς για χρήση σε ορισμένες εφαρμογές καθορίζεται για να πληροί και άλλες απαιτήσεις ως προς την απόδοσή του. Το ξύλο που έχει υποστεί επεξεργασία με ανόργανα επιβραδυντικά φλόγας άλατα είναι συνήθως πιο υγροσκοπικό από το μη επεξεργασμένο ξύλο, ιδιαίτερα σε ατμόσφαιρα υψηλής σχετικής υγρασίας. Η αύξηση στην περιεκτικότητα σε υγρασία αυτού του επεξεργασμένου ξύλου εξαρτάται από τον τύπο της χημικής ουσίας, το επίπεδο κατακράτησης χημικών και το μέγεθος και το είδος του ξύλου που εμπλέκεται. Οι εφαρμογές που περιλαμβάνουν υψηλή υγρασία πιθανότατα απαιτούν ξύλο με χαμηλή υγροσκοπικότητα.

Το προϊόν που λαμβάνεται από τον προμηθευτή και είναι ήδη χημικά επεξεργασμένο περιλαμβάνει τους παράγοντες τροποποίησης σχεδιασμού για τις αρχικές ιδιότητες αντοχής του κατεργασμένου ξύλου ώστε να λειτουργεί ως επιβραδυντικό, συμπεριλαμβανομένων των συνδέσεων και συναρμογών. Η επεξεργασία έχει γενικά ως αποτέλεσμα τη μείωση των μηχανικών ιδιοτήτων του ξύλου. Τόσο οι υψηλές θερμοκρασίες όσο και η υψηλή υγρασία συνιστούν παράγοντες καταπόνησης των υλικών και μειώνουν την αντοχή του.

### **3.10.3 Ξύλο Επεξεργασμένο με εμποτισμό.**

Στις επεξεργασίες εμποτισμού, το ξύλο εμποτίζεται με χημικά διαλύματα υπό πίεση χρησιμοποιώντας διαδικασίες παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται για επεξεργασίες χημικών συντηρητικών. Ωστόσο, είναι απαραίτητες πολύ βαρύτερες απορροφήσεις χημικών για προστασία από τη φλόγα. Η διείσδυση των χημικών ουσιών στο ξύλο εξαρτάται από το είδος, τη δομή του ξύλου και την περιεκτικότητα σε υγρασία. Δεδομένου ότι ορισμένα είδη είναι δύσκολο να υποστούν επεξεργασία, ο βαθμός εμποτισμού που απαιτείται για την κάλυψη των απαιτήσεων απόδοσης για το κατεργασμένο με πυρίμαχο ξύλο ενδέχεται να μην είναι δυνατός. Μια επιλογή μπορεί να είναι η κοπή του ξύλου σε μικρότερα κομμάτια πριν από την επεξεργασία ώστε να βελτιωθεί το βάθος διείσδυσης.

Τα ανόργανα άλατα είναι τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα επιβραδυντικά φλόγας για προϊόντα ξύλου εσωτερικού χώρου και τα χαρακτηριστικά τους έχουν αποδειχθεί ευεργετικά ως προς την επιβράδυνση της φωτιάς. Ανάμεσα σε αυτά τα άλατα περιλαμβάνονται μονοαμμώνιο και φωσφορικό διαμμώνιο, θειικό αμμώνιο, χλωριούχο ψευδάργυρο, τετραβορικό νάτριο και βορικό οξύ. Χρησιμοποιείται επίσης φωσφορική γουανουλουρία. Αυτές οι χημικές ουσίες συνδυάζονται σε σκευάσματα για να αναπτύξουν τη βέλτιστη απόδοση στη φωτιά, αλλά διατηρούν ακόμη αποδεκτή υγροσκοπικότητα, αντοχή, διαβρωτικότητα, δυνατότητα μηχανικής επεξεργασίας, , κολλητική ικανότητα και δυνατότητα βαφής.



Τα άλατα που λειτουργούν ως επιβραδυντικά της φωτιάς είναι υδατοδιαλυτά και εκπλένονται σε εξωτερικές εφαρμογές ή με επαναλαμβανόμενες πλύσεις. Αδιάλυτα στο νερό οργανικά επιβραδυντικά φλόγας έχουν αναπτυχθεί για να καλύψουν την ανάγκη για συστήματα ανθεκτικά στην έκπλυση. Τέτοιες κατεργασίες είναι επίσης μια εναλλακτική όταν χρειάζεται μια χαμηλή υγροσκοπική επεξεργασία. Αυτά τα αδιάλυτα στο νερό συστήματα περιλαμβάνουν (α) ρητίνες που πολυμερίζονται μετά τον εμποτισμό σε ξύλο και (β) επιβραδυντικά φλόγας που συνδέονται απευθείας με την κυτταρίνη. Ένα σύστημα αμινορητινών που βασίζεται σε ουρία, μελαμίνη, δικυανδιαμίδιο και σχετικές ενώσεις είναι του πρώτου τύπου.

Κατά το DIN 4102 για την πυροπροστασία του ξύλου χρησιμοποιούνται υδατοδιαλυτά προστατευτικά μέσα που σχηματίζουν ένα στρώμα αφρού και χρησιμοποιούνται με επίχριση ή εκτόξευση και τα οποία σχηματίζουν επικαλυπτικά στρώματα από μια λεπτή μεμβράνη. Το DIN 68800 "Προστασία του ξύλου υπέργειων κτιρίων" περιέχει βασικές οδηγίες για τη λήψη των κατάλληλων δομικών και χημικών μέσων για τη συντήρηση του ξύλου στις υπέργειες κατασκευές. Οι βιομηχανικές μέθοδοι πληρούν κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις απαιτήσεις οι οποίες πρέπει να καθιστούν αποτελεσματικότερη και μεγάλης διάρκειας την προστασία του ξύλου, δηλ. μια σε βάθος διείσδυση και ομοιόμορφη κατανομή του προστατευτικού μέσου. Ειδικά όταν πρόκειται να σχηματισθεί ένα μονωτικό αντιπυρικό στρώμα προστασίας, τότε λόγω του διαφορετικού τρόπου ενέργειας γίνεται προσπάθεια σχηματισμού μιας επικαλυπτικής προστασίας της επιφάνειας του ξύλου.

Το σκληρό ξύλο σε σύγκριση με το μαλακό παραλαμβάνει μικρότερη ποσότητα προστατευτικού μέσου και το βάθος δε που εισχωρεί αυτό είναι ελάχιστο. Στην περίπτωση δύσκολα εμποτιζομένων ειδών ξύλου (π.χ ερυθρελάτης), συμβαίνει αυτό ακριβώς. Για ξυλεία οικοδομών που χρησιμοποιείται σε υπέργειες κατασκευές εφαρμόζονται κατά προτίμηση βιοτεχνικές μέθοδοι, ανάλογες προς το βαθμό κινδύνου προσβολής του ξύλου. (<https://www.firesecurity.gr>)

#### **3.10.4 Επιστρώσεις Επιβραδυντικών Ουσιών.**

Για ορισμένες εφαρμογές, η εναλλακτική μέθοδος εφαρμογής του επιβραδυντικού φλόγας μπορεί να είναι η χρήση μιας χημικής ουσίας ως επικάλυψης στην επιφάνεια του ξύλου. Τέτοια εμπορικά προϊόντα επίστρωσης είναι διαθέσιμα για τη μείωση των χαρακτηριστικών αναφλεξιμότητας της επιφάνειας του ξύλου. Οι τύποι επιστρώσεων μπορεί να είναι διογκούμενοι και μη διογκούμενοι. Οι ευρέως χρησιμοποιούμενες επικαλύψεις «διογκώνονται» για να σχηματίσουν ένα φιλμ χαμηλής πυκνότητας κατά την έκθεση στη φωτιά. Πρόκειται για ένα πολυκύτταρο ανθρακικό φιλμ που μονώνει την επιφάνεια του ξύλου υπό υψηλές θερμοκρασίες. Τα διογκωτικά σκευάσματα περιλαμβάνουν έναν παράγοντα αφυδάτωσης, έναν παράγοντα απανθράκωσης και έναν παράγοντα εμφύσησης. Πιθανοί παράγοντες αφυδάτωσης περιλαμβάνουν φωσφορικό πολυαμμώνιο. Τα συστατικά για τον παράγοντα απανθράκωσης περιλαμβάνουν άμυλο, γλυκόζη και διπενταερυθρίτολη. Οι πιθανοί διογκωτικοί παράγοντες για τις επικαλύψεις περιλαμβάνουν ουρία, μελαμίνη και χλωριδικές παραφίνες. Τα μη ογκώδη προϊόντα επικάλυψης περιλαμβάνουν σκευάσματα των υδατοδιαλυτών αλάτων όπως το φωσφορικό διαμμώνιο, το θειικό αμμώνιο και ο βόρακας.

Συμπερασματικά οι επεξεργασίες των υλικών και ειδικότερα ειδών ξυλείας με στόχο την επιβράδυνση του ρυθμού καύσης ώστε αυτά να μπορούν να χαρακτηριστούν ως fire retardant γίνονται ώστε κατά την καύση του ξύλου να λαμβάνεται η πιο ορθή πληροφορία από τις παραμέτρους της καύσης. Για παράδειγμα η αφαίρεση της υγρασίας μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερη συμπεριφορά του ξύλου ως προς την καύση του, κάτι που σε συνθήκη φωτιάς ενός διαμερίσματος για παράδειγμα αυτό τείνει προς το πραγματικό.

Παρόλα αυτά η αντίδραση καύσης πιθανόν σε συνθήκες υγρασίας μπορεί να είναι η πραγματική συνθήκη σε μια κατάσταση φωτιάς οπότε σε αυτή την περίπτωση οι δοκιμές θα πρέπει να γίνονται με τα δοκίμια νε διατηρούν ένα ποσοστό υγρασίας οπότε τα αποτελέσματα θα προσομοιάζουν πάλι ένα πραγματικό συμβάν.

Η ανθεκτικότητα στην καύση των προϊόντων ξύλου μπορεί να ερμηνεύεται κατά δύο απόψεις. Υψηλή ποσότητα υγρασίας και μεταφορά χημικών επιβραδυνόμενης καύσης εντός του προϊόντος καθώς και η αποκρυστάλλωση πάνω στην επιφάνεια του προϊόντος μπορούν να υποβαθμίζουν τις ιδιότητες - παραμέτρους της καύσης. Εκτίμηση αυτή τη συμπεριφοράς των υλικών ξύλου μπορούν να ληφθούν όταν αυτά εκτεθούν σε περιβάλλον υψηλής σχετικής υγρασίας. Από την άλλη πλευρά η καύση υλικών ξυλείας μπορεί να δίνει υποβαθμισμένα αποτελέσματα στην περίπτωση απώλειας χημικών προσθέτων που χρησιμοποιούνται ως επιβραδυντικά καύσης στις εξωτερικές εφαρμογές, π.χ. προσόψεις.

Στην κατηγορία των επιστρώσεων επιβραδυντικών ουσιών υπάγονται διάφορα αντιπυρικά βερνίκια ή χρώματα, που επιστρώνονται στην επιφάνεια του ξύλου. Η εφαρμογή τους γίνεται με πινέλο, με ρολό με ψεκασμό. Οι επικαλυπτικές αντιπυρικές ουσίες, δεν πρέπει να συγχέονται με τα "διακοσμητικά" χρώματα ή βερνίκια. Τα αντιπυρικά βερνίκια ή χρώματα πρέπει να εφαρμόζονται σε ορισμένο πάχος διαστρώσεως, γιατί διαφορετικά δεν είναι επαρκής η αποτελεσματικότητά τους. Στην κατηγορία των αντιπυρικών επικαλυπτικών ουσιών διακρίνονται δύο τύποι, ανάλογα με την ιδιότητα να διογκούνται ή όχι υπό την επίδραση φωτιάς.

### **3.10.5 Διογκούμενες Αντιπυρικές Ουσίες.**

Οι επιφάνειες του ξύλου που έχουν περαστεί με τις ουσίες αυτές, μόλις προσβληθούν από φλόγες, αρχικά μαλακώνουν και παράγουν διάφορα άφλεκτα αέρια. Τα αέρια αυτά παγιδεύονται στη μάζα του υλικού, δημιουργώντας φυσαλίδες και έτσι παράγεται αφρός. Το αφρώδες στρώμα που δημιουργείται με τον τρόπο αυτό, έχει πάχος περισσότερο από το 50πλάσιο του αρχικού πάχους διαστρώσεως. Στο στάδιο αυτό, το αφρώδες στρώμα στερεοποιείται σχηματίζοντας μια μονωτική ανθρακοειδή επιφάνεια, που προστατεύει την επιφάνεια του ξύλου από τη φωτιά. Τα διογκούμενα αντιπυρικά χρώματα και βερνίκια περιέχουν διάφορες πολύπλοκες χημικές ενώσεις. Περιέχουν όμως απαραίτητα ένα "παράγοντα διογκώσεως", που δημιουργεί τα αέρια, μία "πηγή άνθρακα", που σχηματίζει το μονωτικό στρώμα και επίσης έναν "αφυδατωτικό παράγοντα", που σταθεροποιεί το αφρώδες στρώμα. Τα συστατικά αυτά αναμειγνύονται με τις ρητίνες, τα πηγμένα και άλλα υλικά για τη δημιουργία του χρώματος ή του βερνικιού.

### 3.10.6 Μη Διογκούμενες Αντιπυρικές Ουσίες.

Τα πιο συνηθισμένα σκευάσματα της κατηγορίας αυτής περιέχουν ενώσεις, που θερμαινόμενες επιδρούν χημικά στη διαδικασία της καύσης. Έτσι μερικοί τύποι περιέχουν ενώσεις πυριτικής ή βορικής σύστασης, που λιώνουν με τη φωτιά και σχηματίζουν ένα προστατευτικό υαλώδες στρώμα. Άλλα σκευάσματα βασίζονται στην προστασία από ίνες αμιάντου, που περιέχονται στο χρώμα ή το βερνίκι. Γενικά πάντως, τα μη διογκούμενα αντιπυρικά βερνίκια ή χρώματα, έχουν μικρότερη αποτελεσματικότητα από τις διογκούμενες ουσίες.

### 3.10.7 Λεπτά επιχρίσματα με κονίαμα.

Μόνο κονία γύψου (που έχει όξινη αντίδραση) μπορεί να εφαρμοσθεί σε ξυλώδους σύστασης υλικά. Ο ασβέστης και το τσιμέντο, με την αλκαλική αντίδραση, προκαλούν διόγκωση των κυττάρων του ξύλου, που με την ξήρανση συστέλλεται και τινάζει το κονίαμα. Μικρές ποσότητες γαλακτωμάτων πολυβινυλίου ενισχύουν το γύψο, που μπορεί να αναμιχθεί έτσι με ίσο όγκο λεπτής άμμου (μαρμαρόσκονης). Το κονίαμα αυτό εφαρμόζεται σε στρώση τουλάχιστον 3 mm, είτε με μυστρί κατσαβίδι, είτε με κατάλληλη συσκευή ψεκασμού. Ο τρόπος αυτός μπορεί να εφαρμόζεται και σε βιομηχανικές γυψοσανίδες με επιφάνεια χαρτονιού.

### 3.10.8 Ειδικής Σύνθεσης Ξυλόμαζα.

Χρησιμοποιούνται πολλά "πρόσθετα", συνήθως με φωσφορική αμμωνία, και άλλα, που καλύπτονται από ευρεσιτεχνίες. Εισάγονται στη ζύμη της ξυλόμαζας, κατά τη βιομηχανική κατασκευή των πλακών και καθυστερούν την ανάφλεξη. Έτσι οι πλάκες μπορούν να κατατάσσονται στην κατηγορία των δύσκολα αναφλέξιμων υλικών, ύστερα από δοκιμασία που προβλέπουν τα πρότυπα και να χρησιμοποιούνται σε διαχωριστικά τοιχώματα κτιρίων συνήθους χρήσεως.

Οι εμποτισμένες αντιπυρικές ουσίες παρουσιάζουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα, σε σχέση με τις επικαλυπτικές:

- Σε συνθήκες βιομηχανικής εφαρμογής είναι δυνατός πληρέστερος έλεγχος (ρύθμισης) της διαδικασίας εμποτισμού.
- Έχουν μεγαλύτερη και σταθερότερη πρόσφυση στο ξύλο καθώς και μεγαλύτερη διάρκεια.
- Τόσο τα διάφορα εμποτιστικά άλατα όσο και ο συνήθης διαλύτης τους, δηλαδή το νερό, είναι πολύ φθηνότερα από τα συνήθη χρησιμοποιούμενα επικαλυπτικά αντιπυρικά.
- Είναι δυνατόν να συμπεριλαμβάνονται στα εμποτιστικά αντιπυρικά άλατα και ειδικά μυκητοκτόνα και εντομοκτόνα για τη ταυτόχρονη προστασία του ξύλου από τους βιολογικούς του εχθρούς.

Τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν οι εμποτιστικές αντιπυρικές ουσίες είναι:

- Για την εφαρμογή των ουσιών αυτών απαιτούνται ειδικές εγκαταστάσεις και έτσι το κόστος του εμποτισμού είναι σχετικά υψηλό. Οι ειδικές αυτές εγκαταστάσεις

έχουν επίσης το μειονέκτημα των διαστάσεων των ξύλων που πρόκειται να εμποτιστούν.

- Εάν τα εμποτιστικά εναποτεθούν βαθιά στο ξύλο, τότε δεν μπορούν να έχουν μεγάλη αποτελεσματικότητα στην αποτροπή της διαδόσεως της φωτιάς. Έτσι κατά κάποιο τρόπο υπάρχει σπατάλη υλικών.
- Επειδή η πλειονότητα των εμποτιστικών ουσιών είναι υδατοδιαλυτές, οι διαδοχικές απορροφήσεις και έξοδοι υγρασίας μπορούν να προκαλέσουν έκπλυση και κρυστάλλωση των αλάτων στην επιφάνεια.
- Η επιφανειακή κρυστάλλωση αύξηση της οξύτητας ή της αλκαλικότητας που προέρχεται από τις εμποτιστικές ουσίες και η αύξηση της οξειδώσεως των μεταλλικών συνδέσμων δημιουργούν προβλήματα, ιδίως όταν το εμποτισμένο ξύλο πρόκειται να βαφεί ή να συγκολληθεί.
- Επειδή οι περισσότερες ουσίες που χρησιμοποιούνται περιέχουν ισχυρά οξέα ή ισχυρές βάσεις, όταν θερμανθούν και επειδή η κυτταρίνη προσβάλλεται και από τα δύο, παρουσιάζουν κάποια αλλοίωση της κυτταρικής δομής κατά την ξήρανση του ξύλου. Η αλλοίωση αυτή εκδηλώνεται σαν μείωση της μηχανικής αντοχής του ξύλου. Το μέγεθος της απώλειας αυτής εξαρτάται από τις συνθήκες ξήρανσης.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι επικαλυπτικές αντιπυρικές ουσίες, σε σχέση με τις εμποτιστικές, είναι τα ακόλουθα:

- Η επιφανειακή διάστρωση των ουσιών αυτών έχει σημαντική αρνητική επίδραση στην εξάπλωση της φωτιάς.
- Είναι οικονομικότερες, μια και η εφαρμογή τους μπορεί να γίνει, χωρίς τη μετακίνηση της ξυλείας στις εγκαταστάσεις εμποτισμού.

Οι επικαλυπτικές ουσίες παρουσιάζουν όμως και τα ακόλουθα μειονεκτήματα:

- Λόγω του τρόπου εφαρμογής τους, είναι δύσκολος ο έλεγχος του επιθυμητού πάχους διαστρώσεως, με αποτέλεσμα τον κίνδυνο ανεπαρκούς προστασίας κάποιου τμήματος της ξυλείας.
- Οποιαδήποτε φθορά ή αλλοίωση της αντιπυρικής διαστρώσεως από μηχανικές φθορές, υγρασία ή άλλες αιτίες, μπορεί να είναι μοιραία για το ξύλο, μια και δεν υπάρχει προστασία του ξύλου σε βάθος.
- Συνήθως είναι ευπαθή στην υγρασία. Για την αντιμετώπιση του μειονεκτήματος αυτού μερικές φορές χρησιμοποιείται χλωριωμένο καουτσούκ, σαν φορέας των αντιπυρικών χρωμάτων ή βερνικιών.

## 4. Θερμιδόμετρο Κώνου – Πειραματική Διαδικασία.

Το όνομα του οργάνου προέρχεται από κωνικό σχήμα του θερμαντήρα ο οποίος χρησιμοποιείται για την εκπομπή θερμικής ακτινοβολίας στο υπό εξέταση υλικό με ροή θερμότητας έως και της τάξης των 100 kW/m<sup>2</sup>. Το θερμιδόμετρο κώνου σήμερα είναι ένα από τα πιο κοινά χρησιμοποιούμενα όργανα στο θέμα απόδοσης – καταγραφής των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων υλικών, κατά την αντίδρασή τους στη φωτιά, σε κλίμακα εργαστηρίου (Babrauskas 1986, 1992).

Η βασική παράμετρος με την οποία εκτιμάται η ανάπτυξη μιας φωτιάς είναι ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας (Heat Release Rate - HRR). Ο προσδιορισμός της παραμέτρου HRR σε πραγματικές συνθήκες συμπεριλαμβάνει σημαντική αβεβαιότητα και επομένως ένας ακριβέστερος προσδιορισμός μπορεί να επιτευχθεί πιο εύκολα σε κλίμακα εργαστηρίου με το Θερμιδόμετρο Κώνου. Σύμφωνα με την μέθοδο που ακολουθείται για την εύρεση του HRR, καταγράφεται το έλλειμμα οξυγόνου κατά την καύση του προς εξέταση δοκιμίου- υλικού. Διαφορετικά, η θερμότητα που εκλύεται από την καύση ενός υλικού είναι ευθέως ανάλογη προς την ποσότητα οξυγόνου που καταναλώνεται κατά τη διαδικασία της καύσης.

Το Θερμιδόμετρο Κώνου έχει τη δυνατότητα άμεσης μέτρησης σημαντικών ιδιοτήτων αναφορικά με τη συμπεριφορά υλικών σε συνθήκη πυρκαγιάς όπως:

- Χρόνος ανάφλεξης,
- Ρυθμός έκλυσης θερμότητας,
- Ενεργή θερμότητα καύσης,
- Ρυθμός παραγωγής καπνού,
- Ρυθμός απώλειας μάζας,
- Παραγωγή CO και CO<sub>2</sub>.

Τα αποτελέσματα των μετρούμενων μεγεθών μπορούν να αξιοποιηθούν για την αξιολόγηση υλικών και για την εκτίμηση της συμπεριφοράς τους σε περίπτωση πυρκαγιάς. Το Θερμιδόμετρο Κώνου ανήκει στη γκάμα διατάξεων προσαρμοσμένων στην έρευνα - ανάπτυξη προϊόντων κατάλληλων ιδιοτήτων (πυράντοχα).

Τα αποτελέσματα επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της θερμοκρασίας και των θερμομηχανικών ιδιοτήτων του υλικού. Είναι δυνατή επίσης μια εκτίμηση της αναμενόμενης συμπεριφοράς των υλικών σε δοκιμές μεμονωμένου καιόμενου αντικειμένου (Single Burning Item SBI) και σε δοκιμές «γωνίας δωματίου» (Room Corner Test) κατά ISO 9705, που απαιτούνται για την κατάταξη δομικών υλικών κατά CE.

Ο εξοπλισμός του Εργαστηρίου Τεχνικής Θερμοδυναμικής καλύπτει όλες τις απαιτούμενες προδιαγραφές για πλήρεις δοκιμές αντίδρασης υλικών σε φωτιά σύμφωνα με τα πρότυπα: ISO 5660, ASTM E 1354, ASTM E 1474, ASTM E 1740, ASTM F 1550, ASTM D 5485, ASTM D 6113, NFPA 264, NFPA 271, CAN ULC 135, BS 476 Part 15.

Το θερμιδόμετρο κώνου είναι ένα ευέλικτο όργανο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συγκρίνει και να ταξινομή τις επιδόσεις διαφόρων υλικών στην φωτιά, να βρίσκει την επιτυχία ή αποτυχία ενός υλικού σύμφωνα με ορισμένα κριτήρια (π.χ. έκλυση

θερμότητας), να υποθέτει την πιθανή συμπεριφορά ενός υλικού και τέλος να παράγει δεδομένα αντίδρασης στην φωτιά για την επικύρωση των μοντέλων.

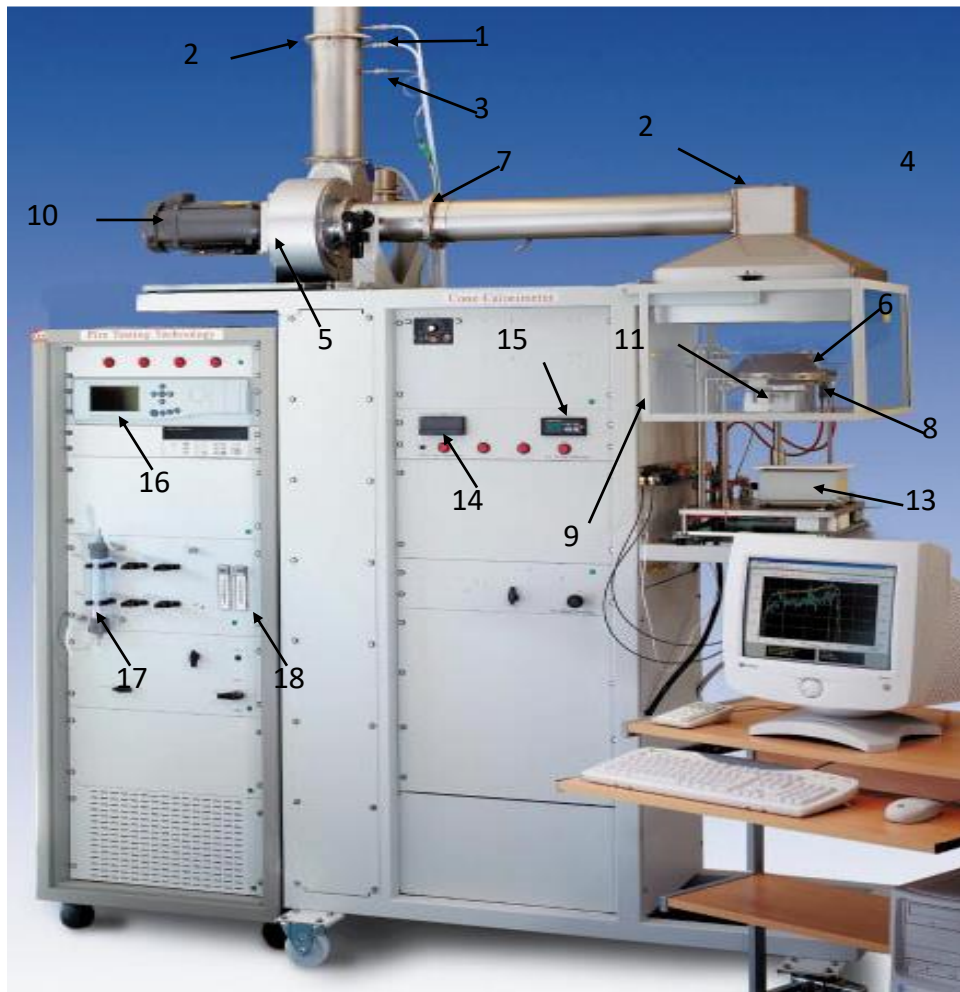
#### 4.1 Διάταξη του Θερμιδομέτρου.

Τα βασικά στοιχεία της διάταξης είναι:

- Θερμαντήρας κώνου με μέγιστη εκλυόμενη θερμότητα  $100 \text{ kW/m}^2$ , που μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για ακτινοβολήση δοκιμίου τόσο σε οριζόντιο όσο και σε κατακόρυφο προσανατολισμό.
- Σπινθηριστής ή αναφλεκτής (igniter)  $10\text{kV}$ , για την ανάφλεξη του υλικού.
- Μετρητής ροής θερμότητας (heat flux meter) για την ρύθμιση – βαθμονόμηση της παρεχόμενης θερμότητας στο υπό εξέταση δοκίμιο.
- Σύστημα απαγωγής καυσαερίων το οποίο αποτελείται από μία καμινάδα και όργανα καταγραφής των αερίων της καύσης.
- Αναλυτές των αερίων της καύσης ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ )
- Αισθητήρες θερμοκρασίας (θερμοζεύγη).
- Φωτόμετρο για τον προσδιορισμό της ποσότητας του παραγόμενου καπνού.
- Ζυγός ακριβείας για τον προσδιορισμό του ρυθμού απώλειας μάζας του υπό δοκιμή υλικού.
- Αισθητήρες μέτρησης διαφορικής πίεσης,
- Σύστημα αφύγρανσης.

Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνονται αριθμημένα τα επιμέρους τμήματα και όργανα – διατάξεις της συσκευής του Θερμιδομέτρου Κώνου.

1. Μέτρηση διαφορικής πίεσης.
2. Μετρητικό διάφραγμα ακροφυσίου (orifice plate).
3. Θερμοζεύγος.
4. Κάλυπτρο Κώνου.
5. Φυσητήρας.
6. Θερμική Αντίσταση.
7. Δακτυλιοειδής καθετήρας δειγματοληψίας αερίων.
8. Ηλεκτρικός Σπινθηριστής.
9. Πλευρικά προστατευτικά τοιχώματα.
10. Κινητήρας φυσητήρα.
11. Πλαίσιο τοποθέτησης δοκιμίου.
12. Βάση στήριξης δοκιμίου.
13. Ζυγός ακριβείας.
14. Ψηφιακή ένδειξη ζυγού.
15. Όργανο ελέγχου θερμικής αντίστασης.
16. Αναλυτής αερίων.
17. Αφυγραντής
18. Ροόμετρα ελέγχου αερίων.



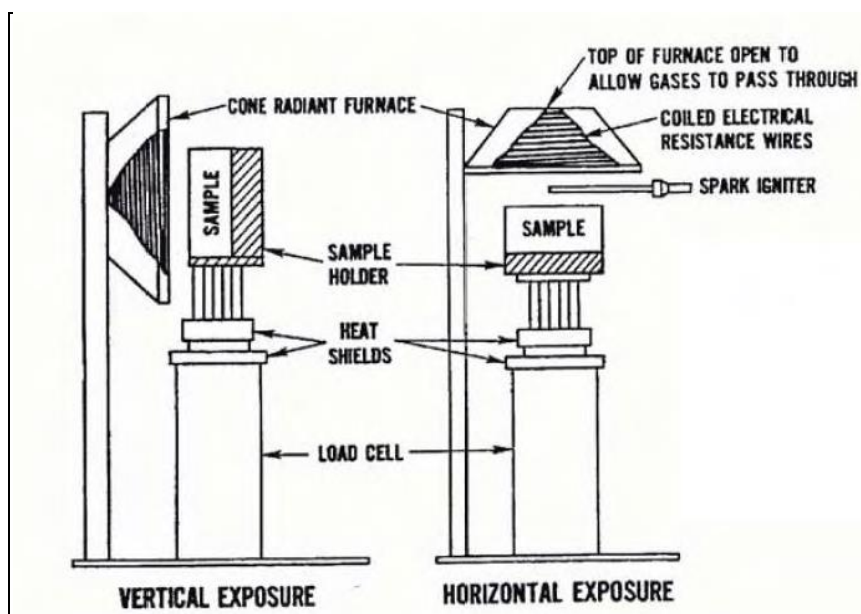
Εικόνα 8: Η συσκευή Θερμιδομέτρου Κώνου με τα περιφερειακά της (FTT).

Το δοκίμιο τοποθετείται σε ένα μεταλλικό υποδοχέα που είναι μονωμένος με αλουμινόχαρτο και ο οποίος τοποθετείται στο ζυγό. Ο ζυγός καταγράφει το βάρος του δοκιμίου καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Ένας αναφλεκτήρας (igniter) βρίσκεται τοποθετημένος ακριβώς πάνω από την επιφάνεια του δοκιμίου και κάτω από το θερμαντήρα κώνου. Ο αναφλεκτήρας θα αναφλέξει τα εύφλεκτα αέρια που εξέρχονται από το δοκίμιο όταν αυτό θερμαίνεται. Όταν ολοκληρωθεί η επιφάνεια του δείγματος αρχίζει να καίγεται ομοιόμορφα, τότε ο αναφλεκτήρας απενεργοποιείται και αποσύρεται.

Τα πειράματα με το Θερμιδομέτρο Κώνου έχουν ως βασική αρχή την έκθεση ενός επίπεδου δείγματος σε μία ροή θερμότητας που παράγεται από ένα κωνικό στοιχείο θέρμανσης. Ο θερμαντήρας αποτελείται από μία ηλεκτρική ράβδο θέρμανσης που είναι τυλιγμένη σε κωνικό σχήμα. Η θέρμανση ελέγχεται από ένα θερμαντήρα ακτινοβολίας που μπορεί να φθάσει σε ροή θερμότητας μέχρι  $100 \text{ kW/m}^2$ . Τα πειράματα καύσης μπορούν να γίνουν με το δείγμα τοποθετημένο σε οριζόντιο ή κατακόρυφο προσανατολισμό ως προς τον θερμαντήρα. Συνήθως οι δοκιμές εκτελούνται σε οριζόντιο προσανατολισμό, επειδή σε αυτή την κατάσταση η μεταφορά θερμότητας είναι σχεδόν αμελητέα με την ακτινοβολία να κυριαρχεί.

Κατά τον Babrauskas (1984) ο κωνικός θερμαντήρας διατηρεί την ικανότητα θέρμανσης επιφάνειας ενός δείγματος με μία εξαιρετικά ομοιόμορφη ροή θερμότητας.

Όταν τα πειράματα καύσης εκτελούνται με το θερμαντήρα και το δείγμα σε οριζόντιο προσανατολισμό, η μέγιστη διακύμανση στη θέρμανση πάνω από την επιφάνεια του δείγματος είναι περίπου 2%, όταν εκτίθεται σε οποιαδήποτε ροή θερμότητας μεταξύ 25 και 100 kW/m<sup>2</sup>. Όταν ο θερμαντήρας και το δείγμα είναι στην κατακόρυφη θέση, τότε η διακύμανση στη ροή θερμότητας της επιφάνειας αυξάνει σε ένα ποσοστό περίπου 7%. Επομένως η συσκευή Θερμιδομέτρου Κώνου με πολύ ικανοποιητική ακρίβεια μπορεί να διατηρεί παράγει ομοιόμορφες και καλά ελεγχόμενες συνθήκες θέρμανσης, και αυτό αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα ως προς άλλες διατάξεις.



Εικόνα 9: Οριζόντια και Κατακόρυφη Τοπολογία δείγματος δοκιμής [31].

Τα δείγματα που μπορεί να διαχειριστεί το Θερμιδόμετρο Κώνου είναι υλικά κομμένα σε επίπεδες πλάκες μήκους – πλάτους 100 mmX100mm και έως 50 mm πάχος. Τα δείγματα τοποθετούνται μέσα σε πυρίμαχο υλικό χαμηλής πυκνότητας για την ελαχιστοποίηση των απωλειών θερμότητας από τις πλευρές που δεν είναι εκτεθειμένες στη θερμότητα και τη φωτιά λίγο αργότερα. Επίσης απαιτείται κατάλληλη μόνωση των πλευρών του δείγματος για την ελαχιστοποίηση της καύσης στα άκρα, η οποία μπορεί να προκαλέσει ικανοποιητικά υψηλά ποσοστά έκλυσης θερμότητας. Οι πλευρές των σύνθετων δειγμάτων πρέπει επιπλέον να σφραγίζονται και να μονώνονται για την αποφυγή της πιθανής απελευθέρωσης πτητικών αερίων από τα άκρα, η οποία μπορεί να επηρεάσει τις ιδιότητες των υλικών κατά την αντίδραση στην φωτιά.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος καταγράφεται συνεχώς η απώλεια μάζας του δείγματος. Η άνω επιφάνεια του δείγματος είναι τοποθετημένη 25 χιλιοστά από τον θερμαντήρα κώνου. Μια σπίθα ανάφλεξης μπορεί να συμβεί μεταξύ του δείγματος και του θερμαντήρα, και χρησιμοποιείται για την ανάφλεξη εύφλεκτων αερίων που απελευθερώνονται κατά τη θερμική αποσύνθεση του υλικού, όταν οι συγκεντρώσεις φτάσουν το κρίσιμο επίπεδο που απαιτείται για να διατηρηθεί η φλόγα.

Οι περισσότερες δοκιμές σύνθετων υλικών στην φωτιά εκτελούνται χρησιμοποιώντας αναφλεκτήρα (igniter) ,ωστόσο και χωρίς την χρήση αναφλεκτήρα είναι δυνατόν να μελετηθεί η επίδραση της αυτανάφλεξης στις ιδιότητες αντίδρασης. (Αποστολοπούλου 2016).



Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων ο ρυθμός ροής του αέρα είναι 24 lt/sec στο θάλαμο θέρμανσης. Αυτός ο ρυθμός ροής απαιτείται ώστε όλα τα αέρια που απελευθερώνονται από την καύση του δείγματος να περάσουν μέσα από το στόμιο του θερμαντήρα κώνου μέσα στο σύστημα καπνού πάνω από τον θάλαμο θέρμανσης. Καθώς ο αέρας και τα προϊόντα καύσης εισέρχονται στο σύστημα εξάτμισης αναμιγνύονται πλήρως για να αποφευχθεί η διαστρωμάτωση των αερίων που μπορεί να προκαλέσει απελευθέρωση θερμότητας, καπνού ή τοξικών αερίων.

Η πιο σημαντική ικανότητα του θερμιδόμετρου κώνου είναι η ακριβής μέτρηση του ρυθμού απελευθέρωσης θερμότητας κατά την καύση του υλικού. Η θερμότητα δεν μετρείται απευθείας στο όργανο αυτό διότι είναι δύσκολο να καταγραφεί η θερμική ενέργεια με ακρίβεια.

Ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας προσδιορίζεται με τη χρήση της αρχής της κατανάλωσης οξυγόνου. Η αρχή αυτή βασίζεται στην εμπειρική παρατήρηση του Huggett [31], ότι για τα περισσότερα οργανικά υλικά, η θερμότητα που εκλύεται ανά μονάδα μάζας του οξυγόνου που καταναλώνεται είναι σχεδόν μια σταθερή τιμή. Ο Huggett διαπίστωσε ότι αυτή η τιμή ( $\Delta h_c / r_o$ ) είναι  $13,1 \times 10^3$  kJ/kg για τα περισσότερα οργανικά υλικά, συμπεριλαμβανομένων πολλών πολυμερών που χρησιμοποιούνται στα σύνθετα υλικά ( $\Delta h_c$  είναι η καθαρή θερμότητα καύσης και  $r_o$  είναι η αναλογία μάζας οξυγόνου / καυσίμου). Ο Huggett πρότεινε ότι ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας για ένα υλικό μπορεί να προσδιορισθεί από δύο απλές μετρήσεις: από τον ρυθμό ροής του αέρα μέσα από το περιβάλλον της φωτιάς και από την υπολειμματική συγκέντρωση του οξυγόνου στον αέρα μετά τη διέλευση μέσα από την φωτιά. Δηλαδή, ο ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την έκφραση

$$\dot{q} = \frac{\Delta h_c}{r_o} (\dot{m}_{O_2, \infty} - \dot{m}_{O_2})$$

Η περιεκτικότητα σε οξυγόνο του αέρα που εισέρχεται στο περιβάλλον της φωτιάς είναι μια σταθερή τιμή (δηλ. 21%) ενώ η ροή των καυσαερίων μπορεί να μετρηθεί με μεγάλη ακρίβεια χρησιμοποιώντας αναλυτή οξυγόνου εφόσον οι υδρατμοί έχουν αφαιρεθεί. Ο Parker [31] έδειξε ότι η απελευθέρωση θερμότητας μπορεί να υπολογιστεί με καλή ακρίβεια χρησιμοποιώντας την έκφραση:

$$\dot{q} = \left( \frac{\Delta h_c}{r_o} \right) \frac{M_{O_2}}{M_{air}} m_e \frac{(X_{O_2}^0 - X_{O_2})}{[1 - (b-1)X_{O_2}^0] - bX_{O_2}}$$

Με την εξέταση των προϊόντων καύσης κατά την ανάλυση, είναι δυνατόν να υπολογιστεί μια πιο ακριβής τιμή του ρυθμού απελευθέρωσης της θερμότητας. Για παράδειγμα, όταν τα κλάσματα μάζας τόσο για το οξυγόνο όσο και το διοξείδιο του άνθρακα μετρηθούν τότε ένα πιο ακριβές ποσοστό έκλυσης θερμότητας μπορεί να υπολογιστεί με τη χρήση:

$$\dot{q} = \left( \frac{\Delta h_c}{r_o} \right) \frac{M_{O_2}}{M_{air}} m_e \frac{1}{1 - X_{O_2} - X_{CO_2} / [X_{O_2}^0 (1 - X_{CO_2}) - X_{O_2} (1 - X_{CO_2}^0)] + (b+1)}$$

## 4.2 Προετοιμασία Συσκευής πριν τη Λειτουργία.

Η προετοιμασία της συσκευής του Θερμιδομέτρου Κώνου περιλαμβάνει ένα πλήθος ελέγχων για επιμέρους διατάξεις του οργάνου προκειμένου να ξεκινήσει η διαδικασία βαθμονόμησης του οργάνου. Αυτοί οι έλεγχοι έχουν ως ακολούθως:

1. Ελέγχεται ο αναλυτής αερίων ώστε να έχει παραμείνει ανοικτός τουλάχιστον 24 ώρες πριν τη δοκιμή.
2. Ανοίγεται η βάνα (Cold Trap) για να αφαιρεθούν πιθανά συμπυκνώματα (νερό που έχει πιθανά παραμένει από τη λειτουργία προηγούμενης ημέρας). Κατά τη διάρκεια λειτουργίας ο διακόπτης πρέπει να παραμένει κλειστός.
3. Ελέγχεται η παροχή νερού για την ορθή λειτουργία.
4. Ελέγχεται η ορθή παροχή των αερίων  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ , Μεθανίου.
5. Ελέγχουμε το χρωματικό δείκτη “Drierite” (δείκτης υγρασίας).

## 4.3 Διαδικασία Ημερήσιας Βαθμονόμησης.

Από το συνοδευόμενο λογισμικό της διάταξης και στο κεντρικό μενού του προγράμματος οδήγησης επιλέγεται η λειτουργία **Calibrations** για να πραγματοποιηθούν μια σειρά βαθμονομήσεων που απαιτεί το όργανο πριν τη οποιαδήποτε δοκιμή.

### A. Zero MFMs

Μηδενίζεται η παροχή του μεθανίου στο λογισμικό έχοντας βεβαιωθεί ότι όντως η βάνα της φιάλης μεθανίου είναι κλειστή.

### B. DPT & FLOW

1. Τίθεται σε λειτουργία το σύστημα απαγωγής αερίων (εξωτερικός απορροφητήρας) και στη συνέχεια μηδενίζεται η ένδειξη του Differential Pressure Transducer. Πρακτικά με αυτό τον τρόπο δίνεται ως αρχική (μηδενική) συνθήκη στο όργανο, η λειτουργία του εξωτερικού απορροφητήρα ο οποίος από το σημείο αυτό και μετά παραμένει σε λειτουργία μέχρι την ολοκλήρωση όλων των προγραμματισμένων δοκιμών της ημέρας.
2. Στο Calibration Panel επιλέγεται **DPT & FLOW**. Με την επιλογή **Zero** εμφανίζεται η μπάρα προόδου της εργασίας (Collecting data) και τέλος **OK**.
3. Ανοίγεται το exhaust fan του θερμιδόμετρου και αποκαθίσταται ροή στον αγωγό παροχής **24 lt/sec** Αυτό πρακτικά γίνεται με ρύθμιση των στροφών του κινητήρα - ανεμιστήρα βαθμιαία στην ένδειξη **55**.

### C. Gas Analyzers

1. Στο **Calibration Panel** επιλέγεται η λειτουργία **Gas Analyzers**. Η διαδικασία χωρίζεται σε LOW CAL και HIGH CAL για όλα τα αέρια.
2. **LOW CAL**
- 3.1 Pump OFF → Τίθενται οι δύο βάνες των αερίων στην πρόσοψη του οργάνου σε θέση Nitrogen. Διοχετεύεται  $N_2$  (Nitrogen Non – scrubbed) ώστε να μηδενιστούν όλες οι ενδείξεις των αερίων στον Αναλυτή (Servomex) δηλαδή  $O_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ .
- 3.2 Ρυθμίζεται η παροχή στη φιάλη αζώτου  $N_2$  ώστε η ένδειξη των ροομέτρων της πρόσοψης της συσκευής να είναι **3.5 lt/min** ή **5 psi** (όργανο ρύθμιση πίεσης)

εντός του θερμιδόμετρου). Μηδενίζονται οι ενδείξεις των αερίων ( $O_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ) πρώτα στον Αναλυτή και στη συνέχεια στο παράθυρο του λογισμικού.

#### 4 HIGH CAL

##### 4.1 HIGH CAL ( $CO$ , $CO_2$ )

Η βάνα που αναφέρεται σε αυτά (span gases) τίθεται από Nitrogen που ήταν πριν σε **SPAN**. Ελέγχονται τα ροόμετρα στην πρόσοψη της συσκευής ( $CO$ ,  $CO_2$ ) και ρυθμίζονται στην ένδειξη **3.5 lt/min**.

4.2 Τίθενται οι μέγιστες τιμές των αερίων και ελέγχονται οι ενδείξεις που καταγράφει ο αναλυτής αερίων. Η μέγιστη τιμή του μονοξειδίου( $CO$ ) είναι 0,86%, ενώ του διοξειδίου( $CO_2$ ) είναι 8,5%. Σε περίπτωση που διαπιστωθεί σημαντική απόκλιση (drift) από αυτές που δώθηκαν ως μέγιστες επαναλαμβάνεται η διαδικασία.

4.3 Στη συνέχεια στο μενού του Η/Υ επιλέγεται η λειτουργία SPAN για ( $CO$ ,  $CO_2$ ).

##### 4.4 HIGH CAL ( $O_2$ )

Pump ON → Αναμονή καταρχήν για διάρκεια περίπου 5 min για τη σταθεροποίηση της ροής. Ανοίγεται στη συνέχεια η παγίδα Cold Trap στο θερμιδόμετρο. Στη συνέχεια η βάνα του  $O_2$  τίθεται στη θέση **Sampling Gas**. Αφού ρυθμιστεί η παροχή οξυγόνου στα 3,5 lt/min, θα πρέπει το  $O_2$  να είναι 21,95%.

4.5 Τίθεται η μέγιστη τιμή για το  $O_2$  στον Αναλυτή Servomex πρώτα και μετά επιλέγεται η λειτουργία span στον Η/Υ για το  $O_2$ . Εδώ η αναμονή μπορεί να είναι μεγαλύτερης διάρκειας με ταυτόχρονη παρατήρηση στις καταγραφές του αναλυτή Servomex διότι υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να εμφανιστεί ολίσθηση.

#### D. Smoke Calibration

1. Για να ξεκινήσει η διαδικασία βαθμονόμησης του καπνού επιλέγεται το κουμπί **SMOKE** στο θερμιδόμετρο. Τότε ενεργοποιείται μια δέσμη laser η οποία διατρέχει τη βάση της καμινάδας. Η διαδικασία της βαθμονόμησης του καπνού γίνεται σε δύο βήματα. Η εργασία γίνεται με τη βοήθεια 4 κομματιών.

- Μαύρο κομμάτι: αποκόπτει εντελώς το μεταδιδόμενο φως,
- Φίλτρο 0,325: μείωση της έντασης της φωτεινής δέσμης στο 50%,
- Φίλτρο 0,8: μείωση της έντασης της φωτεινής δέσμης στο 16%,
- Χωρίς φίλτρο: δεν αποκόπτει καθόλου το μεταδιδόμενο φως.

Στον Η/Υ ανοίγει ένα παράθυρο που δείχνει τις εντάσεις που καταγράφουν οι φωτοδιόδοι. Στο ίδιο παράθυρο προσφέρεται και το **Filter Calibration**.

2. **100%** Αρχικά χωρίς να χρησιμοποιήσουμε κανένα φίλτρο, η ένταση της δέσμης να περνάει όλη και θα πρέπει το ποσοστό μετάδοσης να είναι 100 τοις 100

3. **Zero** Τοποθετούμε από τη πίσω πλευρά του θερμιδόμετρου το μαύρο κομμάτι ώστε να κόψουμε εντελώς τη δέσμη. Στον Η/Υ πατάμε “Zero” οπότε πρέπει να δούμε μηδέν στο ποσοστό μετάδοσης.

4. **Balance** Αφαιρώντας το μαύρο κομμάτι στον Η/Υ επιλέγουμε Balance.

5. **Filter Calibration** Διαθέτουμε ακόμα και δύο φίλτρα με ονομαστικές τιμές **0.325**, **0.8**. Τα φίλτρα τίθενται σε κατάλληλες θέσεις στην πρόσοψη του οργάνου. Με το φίλτρο **0.325** πρέπει να έχουμε μείωση της έντασης της δέσμης στο **50%** ενώ με το φίλτρο **0.8** η μετάδοση φωτός φθάνει στο **16%**. Τις τιμές της έντασης (50%, 16%) τις παρακολουθούμε στην οθόνη του Η/Υ.

**E. Mass** Δεν γίνεται καμία ρύθμιση αφήνονται οι εργοστασιακές ρυθμίσεις.

## F. Εύρεση του C – factor

4. Έχοντας τελειώσει με όλες τις ρυθμίσεις **Calibrations** επιλέγεται η επιστροφή στο αρχικό μενού (**ConeCalc Main**) και επιλέγεται **C – factor**. Αυτός ο συντελεστής ουσιαστικά προσδιορίζει μια συνολική σταθερά βαθμονόμησης για όλο το όργανο.
5. Επιβεβαιώνεται η ορθή λειτουργία μιας σειράς επιμέρους διατάξεων όπως του ανεμιστήρα του οργάνου, η παροχή αέρα στον αγωγό στα 24 lt/sec, η αντλία αέρα δουλεύει τουλάχιστον για 5 λεπτά πριν την έναρξη της διαδικασίας (PUMP ON), η βάνα του μεθανίου είναι στη θέση OFF στην πρόσοψη του οργάνου.
6. Στο μενού **C – factor** επιλέγεται **Routine**. Στο μενού αυτό φαίνεται καταρχήν που σώζεται το αρχείο υπολογισμού και ο τύπος του αρχείου (\*.csv). Ακόμα φαίνονται οι συνθήκες του χώρου και η ρύθμιση της εκπεμπόμενης θερμότητας του μεθανίου που πρέπει να είναι στα 5KW. Κατά τη διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται ένας καυστήρας μεθανίου σε γνωστό επίπεδο “θερμότητας εξόδου” το οποίο πρέπει να είναι 5KW. Ο καυστήρας τίθεται σε απόσταση 25mm από τον κώνο. Η απόσταση ρυθμίζεται με τη ράβδο των 25mm. Η ρύθμιση αυτή μπορεί να γίνει κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας δεδομένων από το όργανο στην πρώτη φάση πριν τη λήξη του χρόνου μετά τον οποίο γίνεται η ολοκλήρωση των δεδομένων.
7. Πριν αρχίσει η διαδικασία καύσης του μεθανίου το λογισμικό ενημερώνει για διαδικασίες pre-run calibrations. Επιλέγεται η δυνατότητα Yes.
8. Το λογισμικό συλλέγει δεδομένα για 10sec και ένα παράθυρο προόδου εμφανίζεται στην οθόνη. Κατά τη διαδικασία αυτή επιβεβαιώνεται ότι δεν υπάρχει ροή μεθανίου στον καυστήρα και ότι το “αέριο” στους αναλυτές είναι από τον περιβάλλοντα αέρα.
9. Στη συνέχεια στην οθόνη εμφανίζεται το panel για τη βαθμονόμηση του C-Factor, που περιλαμβάνει γραφικές παραστάσεις για
  - α) Συγκέντρωση O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>,
  - β) Παροχή μάζας στον αγωγό,
  - γ) Εκλυόμενη θερμότητα από την καύση του μεθανίου,
  - δ) Εξέλιξη του C- factor.
10. Ελέγχεται ο σπινθηριστής ώστε να βρίσκεται εκτός της περιοχής του κώνου.
11. Ανοίγεται η παροχή μεθανίου στη φιάλη, (ενώ ο διακόπτης στην πρόσοψη του οργάνου εξακολουθεί να είναι OFF).
12. **Βήμα 1 - Baseline Data.**  
Επιβεβαιώνεται ότι δεν υπάρχει ροή μεθανίου στον καυστήρα και επιλέγεται Start. Δεδομένα αναφοράς (Baseline Data) συλλέγονται στα πρώτα 60sec.
13. **Βήμα 2 – Έναυση και σταθεροποίηση της παροχής Μεθανίου.**  
Όταν έχουν απομείνει περίπου **10 - 15sec** στην αντίστροφη μέτρηση μετακινείται ο σπινθηριστής ανάφλεξης σε θέση πάνω ακριβώς από τον καυστήρα του μεθανίου και ανοίγεται σταδιακά τη βάνα του μεθανίου στην πρόσοψη του οργάνου. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή

ώστε να είναι ενεργοποιημένο (πατημένο) το κουμπί **Ignition** στο όργανο. Γίνεται η έναυση και σταθεροποιείται με ρύθμιση αν απαιτείται η παροχή μεθανίου στην σωστή τιμή (5KW). Μετά την η έναυση ο σπινθηριστής (igniter) μετακινείται στην αρχική του θέση. Ελέγχεται ότι η φλόγα περνά από το κέντρο του κώνου.

#### 14. Βήμα 3 – Συλλογή Δεδομένων

Στα επόμενα 180s συλλέγονται δεδομένα ώστε να καθοριστεί η τιμή του C – Factor. Δεν απαιτείται καμιά ενέργεια από τον χρήστη.

#### 15. Βήμα 4 - Κλείσιμο παροχής μεθανίου και επεξεργασία των δεδομένων

Όταν η αντίστροφη μέτρηση φθάσει στο 0 κλείνεται η παροχή του μεθανίου. Θα υπάρξει και μήνυμα στην οθόνη από το συνοδευτικό πρόγραμμα οδήγησης.

Στα επόμενα 90s (αντίστροφη μέτρηση) συλλέγονται τα δεδομένα και κατόπιν ο χρήστης πρέπει να σταματήσει τη διαδικασία κατά την ολοκλήρωση της διαδικασίας.

Αφού επιλεγθεί **Stop** τα δεδομένα επεξεργάζονται και προκύπτει ο C-Factor. Ο υπολογισμός βασίζεται στο πρότυπο ISO 5660-1 στη διαδικασία που περιγράφεται στο ISO 5660-1: 2002. Επιλέγεται **Save** για να σωθούν τα αποτελέσματα της όλης διαδικασίας.

### G. Heat Flux

1. Στο βήμα αυτό στην υποδοχή που προηγουμένως ετέθη ο καυστήρας μεθανίου τίθεται το αισθητήριο μέτρησης ροής θερμότητας και με τη μεταλλική ράβδο ελέγχεται η απόσταση από τον κώνο ώστε να είναι πάλι στα 25mm.
2. Επιβεβαιώνεται ότι το κύκλωμα του νερού που διαβρέχει περιμετρικά τον αισθητήρα μέτρησης ροής θερμότητας λειτουργεί.
3. Ζυγίζεται το προς έλεγχο δοκίμιο και καταγράφεται η μάζα του. Τοποθετείται στη βάση του ζυγού το θερμομονωτικό υλικό προστασίας του ζυγού.
4. Ανάβεται ο κώνος επιλέγοντας το κουμπί **CONE** στην πρόσοψη του οργάνου.
5. Τίθεται η θερμοκρασία λειτουργίας του κώνου (ενδεικτικά στους 775 °C) βαθμιαία. Αυτό μπορεί να γίνει για παράδειγμα σε 2 ή 3 βήματα θέτοντας ενδιάμεσες θερμοκρασίες αποκατάστασης (250 – 550 - 775 ή 350 – 775).
6. Στο λογισμικό από το **Main Menu** επιλέγεται **Heat Flux**. Τίθεται στο λογισμικό η ένταση και την απόσταση του αισθητηρίου από το χείλος του κώνου. Ενδεικτικά για τα κομμάτια PMMA τίθενται τιμή παρεχόμενης θερμικής ισχύος 50 KW/m<sup>2</sup> καθώς και η απόσταση (Separation) στα 25mm.
7. Όταν η θερμοκρασία και η ροή θερμότητας έχουν αποκατασταθεί και σταθεροποιηθεί στις τελικά απαιτούμενες το κουμπί **Save & Exit** γίνεται διαθέσιμο στο χρήστη οπότε σώζονται οι ρυθμίσεις.
8. Αφαιρείται το αισθητήριο διατηρώντας τη θερμοκρασία του κώνου.
9. Μπορούν οι καλύπτρες (Shutters) του κώνου να κλείσουν πλέον ώστε στη συνέχεια κατά τη διαδικασία δοκιμών να υπάρχει σχετική ελευθερία κινήσεων των εργαζομένων επί του οργάνου.

### H. Διαδικασία Δοκιμής Υλικών

1. Στο όργανο επιλέγεται το κουμπί **Load Cell**.
2. Στο αρχικό μενού επιλέγεται **Start Test**. Συμπληρώνονται στο πάνελ οι τιμές θερμοκρασίας, υγρασίας και αρχικής μάζας του κομματιού. Αν το κομμάτι έχει

- προηγουμένως διατηρηθεί σε χώρο με συγκεκριμένες συνθήκες ελέγχονται αυτές και τίθενται. Όταν έχουν γίνει όλες οι ρυθμίσεις επιλέγεται **OK**.
3. Το λογισμικό ενημερώνει για Pre-run Calibrations. Συνιστάται να γίνονται Pre-run Calibrations πριν από κάθε δοκιμή. Στη φάση αυτή πρέπει να επιβεβαιώνεται η ορθή λειτουργία της αντλίας για τουλάχιστον 10 λεπτά και οι αναλυτές δίνουν σταθερές τιμές. Κατά τη διαδικασία Pre-run Calibrations το όργανο συλλέγει δεδομένα από τους transducers για 10s.
  4. **Test Run.** Στο πάνελ επιλέγεται **Start Baseline**. Το λογισμικό καταγράφει δεδομένα αναφοράς (Baseline data) τα οποία καταγράφει σε 60s. Στο βήμα αυτό πρέπει οι Shutters να είναι ανοικτοί και το θερμομονωτικό υλικό είναι στη βάση του ζυγού.
  5. **Position Specimen and Start Test**  
Αφού γίνει η συλλογή των δεδομένων κλείνονται οι Shutters του κώνου και προσεκτικά τοποθετείται η βάση υποδοχής δοκιμίων με το δοκίμιο στο ζυγό έχοντας πρώτα αφαιρεθεί το θερμομονωτικό υλικό που υπήρχε νωρίτερα.
  6. Τίθεται ο σπινθηριστής στη θέση λειτουργίας (κέντρο του κώνου) και επιβεβαιώνεται ότι το κουμπί **Ignition** είναι πατημένο στο θερμιδόμετρο.
  7. Όταν σταθεροποιηθεί η τιμή του ζυγού (μάζα δοκιμίου) ανοίγονται οι Shutters του κώνου και αμέσως μετά επιλέγεται **Start Test** ή **S** στο remote control.
  8. Παρακολουθείται προσεκτικά το δοκίμιο ώστε να αναγνωριστεί ο χρόνος ανάφλεξης. Όταν το δείγμα αναφλεγεί επιλέγεται **I** στο remote control.
  9. Όταν παύσει η φλόγα ενημερώνεται το λογισμικό και επιλέγεται **F**. Ο χρόνος σβέσης της φλόγας καταγράφεται από το λογισμικό μαζί με τα άλλα δεδομένα και δίνεται στα αποτελέσματα.
  10. Όταν η δοκιμή ολοκληρωθεί (μετά από αναμονή 1 λεπτού περίπου μετά το σβήσιμο της φλόγας) επιλέγεται **Stop Test** ή στο remote control **S**.
  11. Τα αποτελέσματα είναι διαθέσιμα πλέον συνολικά με την επιλογή στο **Main Menu Print Report**.

#### 4.4 Φαινόμενα από την Προθέρμανση στην Ανάφλεξη.

Η βασική εξίσωση είναι:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (4.1)$$

Όπου:

- T** η θερμοκρασία.
- t** ο χρόνος.
- y** η μετρούμενη απόσταση από την επιφάνεια.
- a** η θερμική διάχυση  $\frac{k}{\rho c}$
- k** η θερμική αγωγιμότητα.
- $\rho$**  η πυκνότητα.
- c** η ειδική θερμότητα.

Με οριακές συνθήκες για  $y=0$ .

$$T = T_o \quad (4.2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial y} = 0 \quad (4.3)$$

Η εξίσωση μεταφοράς θερμότητας είναι:

$$k \frac{\partial T}{\partial y} = \dot{q}'' \equiv \varepsilon \cdot \dot{q}_{ext}'' - h_c(T - T_o) - \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (4.4)$$

Όπου:

- $q''$  η καθαρή ροή θερμότητας επιφάνειας κατά τη διάρκεια της προθέρμανσης,
- $\varepsilon$  η εκπομπή και η απορροφητικότητα της επιφάνειας (συντελεστής εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας),
- $h_c$  ο συντελεστής συναγωγής,
- $\dot{q}_{ext}''$  Η εξωτερική ροή θερμότητας ακτινοβολίας,
- $\sigma$  η σταθερά Stefan-Boltzmann.

Θεωρείται εξίσωση 2<sup>ου</sup> βαθμού που να πληροί τις οριακές συνθήκες.

$$(T - T_o) = \frac{\dot{q}'' \cdot \delta}{2k} \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^2 \quad (4.5)$$

Για τις παραπάνω οριακές συνθήκες προκύπτει:

$$\frac{d}{dt}(\dot{q}'' \cdot \delta) = 6 \cdot a \cdot \dot{q}'' \quad (4.6)$$

Εάν θεωρηθεί ότι το  $q''$  είναι σταθερό, που είναι μια καλή υπόθεση για μεγάλα  $\dot{q}_{ext}''$ , τότε θα είναι:

$$\delta \cong \sqrt{6 \cdot a \cdot t} \quad (4.7)$$

Εισάγοντας την (4.7) στην (4.5) προκύπτει:

$$(T_{ig} - T_o) = \frac{\dot{q}''}{2k} \sqrt{6 \cdot a \cdot t_{ig}} \quad (4.8)$$

ή διαφορετικά λύνοντας ως προς το χρόνο έναυσης προκύπτει:

$$t_{ig} = \frac{2}{3} (k \cdot \rho \cdot c) \cdot \frac{(T_{ig} - T_o)}{(\dot{q}'')^2} \quad (4.9)$$

Με τον παραπάνω τρόπο μπορεί να υπολογιστεί η θερμοκρασία επιφάνειας κατά την πάροδο του χρόνου. Αυτό επιτυγχάνεται υπολογίζοντας την καθαρή ροή θερμότητας για το ανάλογο  $T$ , που έχει επιλεγεί, ενώ παράλληλα χρησιμοποιώντας την (4.9) υπολογίζεται ο χρόνος ανάφλεξης. Τα παραπάνω μπορούν να λειτουργήσουν υποστηρικτικά για τον υπολογισμό της κρίσιμης ροής της ανάφλεξης,  $\dot{q}_{cr}''$ .

$$\dot{q}_{ext}'' = \frac{1}{\varepsilon} \cdot [h_c \cdot (T_{ig} - T_o) - \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_{ig}^4] \equiv \dot{q}_{cr}'' \quad (4.10)$$

Η κρίσιμη ροή υπολογίζεται από τις εξισώσεις (4.4) και (4.9). Η θερμοκρασία στην κρίσιμη ροή υπολογίζεται από την (4.10).

#### 4.4.1 Ρυθμός Καύσης

Η βασική εξίσωση για το ρυθμό καύσης ακολουθεί την (4.1), η οποία ισχύει για την αγωγιμότητα κάτω από την επιφάνεια που εξατμίζεται για συγκεκριμένη θερμοκρασία,  $T_v$ . Ως εκ τούτου για  $y=0$ ,

$$T = T_v \quad (4.11)$$

αλλά επίσης ισχύει,

$$-k \frac{\partial T}{\partial y} = \dot{q}'' - \dot{m}'' \cdot \Delta H_v \quad (4.12)$$

Όπου :

- $\dot{m}''$  ο ρυθμός απώλειας μάζας ανά μονάδα επιφάνειας,
- $\Delta H_v$  η θερμότητα εξάτμισης,
- $\dot{q}''$  η ροή θερμότητας επιφάνειας.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι το  $\dot{q}''$  διαφέρει από αυτό που ορίζει η εξίσωση (4.4)

$$\dot{q}'' = \varepsilon \cdot \dot{q}_{ext}'' + \dot{q}_{fl}'' - \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_v^4 \quad (4.13)$$

Όπου  $\dot{q}_{fl}''$  είναι η ροή θερμότητα της φλόγας και δίνεται από τον παρακάτω τύπο.

$$\dot{q}_{fl}'' = \varepsilon \cdot \dot{q}_{fl,r}'' + \dot{q}_{fl,c}'' \quad (4.14)$$

#### 4.4.2 Ροή Θερμότητας Φλόγας.

Η ροή θερμότητας της φλόγας περιγράφεται στην (4.14) ως η ροή θερμότητας συναγωγής συν τη θερμότητα ακτινοβολίας. Για να υπολογίσουμε τη συνολική ροή θερμότητας θα χρησιμοποιήσουμε μετρήσεις από την απώλεια μάζας, αλλά και από τη ροή θερμότητας στην επιφάνεια. Ωστόσο αυτές οι μετρήσεις δεν συμπεριλαμβάνουν την απορρόφηση της εξωτερικής θερμότητας από τη φλόγα. Επιπροσθέτως, είναι επιθυμητό να εκλάβουμε την επίδραση του αυξημένου ύψους της φλόγας, ως αποτέλεσμα του αυξημένου ρυθμού καύσης.

#### 4.4.3 Ροή Θερμότητας από Ακτινοβολία.

Η εκμπεμπότητα (emissivity) της φλόγας αναπαρίσταται ως,

$$\varepsilon_{fl} = 1 - e^{-\kappa \cdot l_m} \quad (4.15)$$

όπου :

- $\kappa$  η σταθερά απορρόφησης,
- $l_m$  (mean beam length).

Σύμφωνα με τον αλγόριθμο Orloff και deRis,

$$l_m = 0.65(2R) \quad (4.16)$$

όπου :R η ακτίνα της φλόγας.

Η (4.16) ισχύει για ύψη φλόγας μεγαλύτερα από 4R. Αφού το δοκίμιο μας έχει μήκος 10 εκατοστά, τότε 2R=10. Άρα  $l_m=0.065$ . Σύμφωνα με τον αλγόριθμο Orloff και deRis, το  $\kappa$  προκύπτει 1.4 m<sup>-1</sup>. Η ροή θερμότητας που προκύπτει από την ακτινοβολία της φλόγας είναι:

$$\dot{q}_{fl}'' = \varepsilon_{fl} \cdot \sigma \cdot T_{fl}^4 \quad (4.17)$$



## 5. Χαρακτηριστικά – Φυσικές Ιδιότητες δοκιμίων.

Στο σημείο αυτό και πριν δοθούν τα πειραματικά αποτελέσματα των διαφόρων ειδών ξύλου που υποβλήθηκαν σε δοκιμές αντίδρασης στη φωτιά, σταχυολογούνται κάποια από τα φυσικά χαρακτηριστικά και οι φυσικές ιδιότητες των υλικών που δοκιμάστηκαν (Δρυς, Έλατο, Ιρόκο, Πεύκο).

### 5.1.1 Φυσικά Χαρακτηριστικά Δρυός.

Η δρυς είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο σκληρό ξύλο. Μπορεί να χωριστεί σε δύο βασικές ποικιλίες: λευκή και κόκκινη. Η κόκκινη ποικιλία είναι επίσης γνωστή ως μαύρη δρυς (αναφέρεται στο φλοιό της). Η δρυς είναι ένα βαρύ, ανθεκτικό, σκληρό ξύλο που γρατζουνιέται δύσκολα. Έχει πολύ ιδιαίτερα «νερά» ξύλου και φινίρισμα. Στη συνέχεια δίνονται κάποια βασικά χαρακτηριστικά – πληροφορίες για το είδος αυτό.

- Κοινά ονόματα που συναντώνται στη βιβλιογραφία: Δρυς ευρωπαϊκή, Oak European, Αγγλική-Πολωνική κλπ. Pendunculata oak (2).
- Βοτανική ταξινόμηση: (1) Quercus petrea, Q. sessiliflora (2) Q. robur, Q. pendunculata. Οικ.: Fagaceae
- Κύρια προϊόντα στην αγορά: Πριστή ξυλεία, καπλαμάς.
- Φυσικές ιδιότητες - δομή - προέλευση: Ξύλο βαρύ (670-720 kg/m<sup>3</sup>). Το εγκάρδιο έχει χρώμα ανοικτό κίτρινο καφέ προς το κίτρινο-γκρι. Ξύλο συνήθως ευθύινο αλλά μπορεί να έχει ανώμαλη δομή να είναι cross grained, ανάλογα με τις συνθήκες ανάπτυξης. Έχει την χαρακτηριστική σχεδίαση της χρυσαλίδας σε ακτινικές τομές, λόγω των πλατιών ακτίνων. Η Βρετανική και Βαλτική δρυς είναι σκληρή και τραχεία με ειδικό βάρος 720 kg/m<sup>3</sup> ενώ η δρυς της Ν. Πολωνίας και η μαλακότερη δρυς της Σλοβενίας έχουν πυκνότητα 670 kg/m<sup>3</sup>. Φύεται στην Ευρώπη, Βρετανία, Μ. Ασία και Β. Αφρική.
- Φυσική διάρκεια στο χρόνο: Το εγκάρδιο είναι ανθεκτικό. Η περιεκτικότητα οξέων, επηρεάζει τα μέταλλα και προκαλεί διάβρωση γι' αυτό πρέπει να χρησιμοποιούνται μη σιδηρούχα ή γαλβανισμένα μέταλλα.
- Μηχανικές ιδιότητες: Αν έλθει σε επαφή με σιδηρούχα μέταλλα αποκτά μπλε κηλίδες, λόγω οξειδωσης. Η πυκνότητα υλικού σχετικής υγρασίας RH (12-15%) = 0,67-0,72 gr/cm<sup>3</sup>.
  - ✓ Συμπεριφορά στην κάμψη (καμπύλωση): Πολύ καλή συμπεριφορά στην καμπύλωση με διάτμηση
  - Ιδιότητες κατεργασίας και χειρισμού: Συμπεριφορά στη ξήρανση και σταθερότητα μετά την ξήρανση: Πολύ αργή ξήρανση με τάση για σχίσσιμο και ραγάδες. Υπάρχει μικρή μεταβλητότητα διαστάσεων μετά την ξήρανση.
  - Συμπεριφορά στον εμποτισμό: Το σομφό είναι διαπερατό και το εγκάρδιο είναι εξαιρετικά ανθεκτικό στον εμποτισμό.
  - Κατεργασία με μηχανήματα – βαθμός στόμωσης εργαλείων: Προκαλεί μέτριο με μεγάλο βαθμό άμβλυνσης εργαλείων, τα οποία πρέπει να διατηρούνται τροχισμένα. Για πλάνισμα και μορφοποίηση απαιτείται γωνία κοπής 200.

- Συμπεριφορά στη συγκόλληση: Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή.
- Συμπεριφορά στη βαφή και το φινίρισμα: Πολύ καλή διαδικασία βαφής και φινιρίσματος.
- Εφαρμογές: Η απόφραξη των αγγείων, λόγω της τήλωσης, καθιστά τις λευκές δρυς αδιαπέραστες από υγρά και συνεπώς κατάλληλες για βαρέλια κονιάκ, κρασιού και μπύρας. Η δρυς Σλοβενίας, Γερμανίας, Volhynian προτιμώνται για έπιπλα. Η αγγλική δρυς είναι καλύτερη για ξυλοναυπηγική, κατασκευές σε λιμάνια και ντοκ, κυματοθραύστες, βαγόνια τραίνων, σκάλες, κατώφλια παραθύρων και άλλες κατασκευές σε επαφή με το έδαφος. Ξυλουργική υψηλής ποιότητας, φέρετρα, εκκλησιαστικά έπιπλα και ξυλόγλυπτα, πατώματα, αμαξώματα, αντικολλητά, διακοσμητικοί καπλαμάδες με σχεδίαση χρυσαλίδας, σταγόνων βροχής. Η Δρυς (*Quercus Robur & Quercus Petraea*) φύεται στη Δυτική και Κεντρική Ευρώπη κυρίως στη Γαλλία, Πολωνία, κλπ. Έχει ωραία εμφάνιση γι αυτό είναι περιζήτητη για την κατασκευή επίπλων, παρκέτων, καθώς και για την κατασκευή βαρελιών που χρησιμοποιούνται για ούισκι, κρασί κ.λ.π.

Στην Ελλάδα υπάρχει έλλειψη του δένδρου αυτού λόγω της εκτεταμένης και αλόγιστης υλοτόμησής του. Ξηραίνεται δύσκολα και στη φυσική ξήρανση του εσωτερικού των χοντρών κομματιών μπορεί να παραμείνει υγρή για πολλά χρόνια. Η τεχνική ξήρανση πρέπει να είναι αργή και προσεκτική. Έχει την ιδιότητα να οξειδώνει τα μέταλλα, ειδικά το σίδηρο και το χάλυβα. Γι' αυτό στις ενώσεις στα εξαρτήματα των κατασκευών πρέπει να χρησιμοποιούνται μη σιδηρούχα προϊόντα (non-ferrous metals) και γενικά χρησιμοποιείται σαν μέτρο σύγκρισης των υπόλοιπων ξύλων.

Η δρυς είναι συνώνυμη με τη δύναμη, τη σταθερότητα και την αντοχή. Δουλεύεται εύκολα και δίνει ένα πολύ ωραίο φινίρισμα. Χρησιμοποιείται στη βιομηχανία επίπλων και στη βιομηχανία παρκέτων, καθώς και στη βαρελοποιία. Χρησιμοποιείται επίσης για κατασκευή κόντρα - πλακέ και διακοσμητικό καπλαμά.

### 5.1.2 Φυσικά Χαρακτηριστικά Ιρόκο (Αφρικής).

Ο τύπος ξύλου ιρόκο είναι μέτριο σε βάρος, έχει καλές μηχανικές ιδιότητες, μέτρια σκληρότητα, μεγάλη ανθεκτικότητα και αντοχή στην υγρασία. Το χρώμα του, ιδιαίτερα ελκυστικό, είναι χρυσαφί- ανοικτό καφέ με ευκρινείς ανοιχτόχρωμες γραμμές. Ωστόσο λόγω της αυξημένης φωτοευαισθησίας του αλλάζει εύκολα χρώμα όταν χρησιμοποιείται σε εξωτερικές κατασκευές. Η περιγραφή του υλικού γίνεται με βάση τα παρακάτω χαρακτηριστικά όπως

- Κοινά ονόματα: IROKO, Kambala, tule, moreira, band.
- Βοτανική ταξινόμηση: *Chlorophora excelsa*, *C. regia*. Οικ. Moreaceae.
- Κύρια προϊόντα στην αγορά: Πριστή ξυλεία, καπλαμάς.
- Φυσικές ιδιότητες - δομή - προέλευση: Ξύλο μέτριο σε βάρος με χρώμα χρυσαφί-πορτοκαλί προς καφέ με ευκρινείς γραμμές ανοικτού χρώματος σε εφαπτομενικές τομές. Μπορεί να υπάρχουν θέσεις συγκέντρωσης ανθρακικού ασβεστίου με ξύλο σκουρότερου χρώματος γύρω-γύρω. Ξύλο με αντίθετα νερά, καμιά φορά με ανώμαλη δομή, με τραχεία αλλά ομοιόμορφη υφή. Φύεται στην τροπική Αφρική, από τη Σιέρα Λεόνε μέχρι την Τανζανία και στη Δ. Αφρική από τη Σενεγάλη μέχρι τη Γκάνα.

- Φυσική διάρκεια στο χρόνο: Εγκάρδιο πολύ ανθεκτικό. Το σομφό μπορεί να προσβληθεί από το έντομο *Lyctus*, αλλά είναι πολύ ανθεκτικό στους τερμίτες στην Αφρική.
- Μηχανικές ιδιότητες: Ξύλο με μέτρια αντοχή σε κάμψη και θλίψη, με πολύ χαμηλό Μ.Ε. και πολύ χαμηλή αντίσταση σε κρούση. Πυκνότητα: RH (12-15%) = 0,64 gr/cm<sup>3</sup>, Μέτρο ελαστικότητας: 9.400 N/mm<sup>2</sup>, Μέτρο θραύσεως: 90 N/mm<sup>2</sup>
  - ✓ Ιδιότητες κατεργασίας και χειρισμός ξύλου: Ξηραίνεται σχεδόν γρήγορα και καλά, χωρίς μεγάλη υποβάθμιση. Έχει τάση να δημιουργεί κολλώδεις κηλίδες. Υπάρχει μικρή μεταβλητότητα διαστάσεων μετά την ξήρανση.
  - ✓ Συμπεριφορά στον εμποτισμό: Το σομφό είναι διαπερατό και το εγκάρδιο είναι πολύ ανθεκτικό.
  - ✓ Συμπεριφορά στην κάμψη (καμπύλωση): Ξύλο με μέτρια συμπεριφορά στην καμπύλωση με διάτμηση.
  - ✓ Κατεργασία με μηχανήματα - βαθμός στόμωσης εργαλείων: Ικανοποιητική κατεργασία με εργαλεία χειρός και μηχανήματα, με μέσο έως υψηλό βαθμό στόμωσης εργαλείων, όταν στο ξύλο υπάρχουν εναποθέσεις ανθρακικού ασβεστίου (πέτρας). Απαιτείται μειωμένη γωνία κοπής κατά το πλάνισμα, 150 για λεία επιφάνεια, όταν υπάρχουν αντίθετα νερά. Συμπεριφορά στο κάρφωμα και στο βίδωμα: Καλό κάρφωμα, καλό βίδωμα.
  - ✓ Συμπεριφορά στη βαφή και το φινίρισμα: Καλή βαφή, και μετά από χρήση υποστρώματος βερνικιού, έχουμε εξαιρετικό φινίρισμα.
- ✓ Εφαρμογές: Ξυλοναυπηγική, εσωτερική και εξωτερική ξυλουργική, πάγκοι εργαστηρίων, έπιπλα και ξυλόγλυπτα, κατασκευές σε λιμάνια, πατώματα, αντικολλητά, επενδύσεις τοίχων, διακοσμητικός καπλαμάς. Κατάλληλο για εσωτερική και εξωτερική χρήση. Σε εσωτερικούς χώρους επιλέγεται για έπιπλα και ξυλόγλυπτα, επενδύσεις τοίχων, διακοσμητικούς καπλαμάδες, πάγκους εργαστηρίων κ.α.. Για εξωτερικούς χώρους επιλέγεται για πέργκολες, κατασκευές σε πισίνες, Συχνά αντικαθιστά το τικ ιδιαίτερα για εσωτερικού ή και εξωτερικού χώρου δάπεδα, deck, ναυπηγικές κατασκευές (σκάφη, πλοία κοκ).

Το ξύλο Ιρόκο (*Chlorophora Excelsa* και *C. Regia*), φύεται σε όλη την Αφρικανική ήπειρο. Φρεσκοκομμένο έχει ανοικτό κίτρινο χρώμα έως ανοικτό καφέ αλλά γρήγορα σκουραίνει σε καφέ. Εκτεθειμένο σε εξωτερικές συνθήκες, σε χρήση σαν κατάστρωμα πλοίου ή έπιπλα κήπου, το χρώμα του ξανοίγει. Ξηραίνεται αρκετά γρήγορα και έχει μεγάλη αντοχή στους μύκητες και τα έντομα. Δεν εμποτίζεται αποτελεσματικά από συντηρητικά. Παρουσιάζει μικρή δυσκολία στην κατεργασία του και καρφώνεται αρκετά εύκολα και μετά από στοκάρισμα η επιφάνειά του βερνικώνεται όμορφα.

### 5.1.3 Φυσικά Χαρακτηριστικά Πεύκου.

- Περιγραφή: Πρόκειται για κωνοφόρο ξύλο Το πεύκο εμφανίζεται φυσικά σε όλη τη βόρεια, κεντρική και ανατολική Ευρώπη. Στη Γερμανία χρησιμοποιείται ευρέως για το άνοιγμα των δασών ή την σπατάλη γης για πάνω από 200 χρόνια, το οποίο αντιπροσωπεύει το δεύτερο υψηλότερο ποσοστό δασικών εκτάσεων στη Γερμανία μετά από έλατο. Σε μεγάλο μέρος του Βρανδεμβούργου το πεύκο είναι χαρακτηριστικό του τοπίου.

- **Βοτανική ταξινόμηση:** Το φυσικό πευκοδάσος ή το κοινό πεύκο (*Pinus sylvestris* L.) ανήκει στη βοτανική οικογένεια Pinaceae, από τα οποία υπάρχουν περισσότερα από 100 διαφορετικά είδη στο βόρειο ημισφαίριο. Η πιο συχνά φυτευμένη παραλλαγή προέρχεται από τη νοτιοανατολική Ευρώπη, το μαύρο πεύκο (*Pinus nigra* Arnold).
  - Το πεύκο μπορεί να αυξηθεί σε ύψος 25 έως 40 m ανάλογα με την τοποθεσία. Στις δασικές περιοχές μεγαλώνουν πολύ ευθεία έως μέση ηλικία 150 έως 200 ετών, αν και μεμονωμένα δέντρα μπορούν να μεγαλώσουν έως και 600 ετών. Το πεύκο κόβεται κανονικά σε ηλικία 100 έως 160 ετών. Ανάλογα με την τοποθεσία, έχουν αναπτυχθεί τοπικές παραλλαγές με διαφορετικές ιδιότητες.
  - Το εγκάρδιο και ο χυμός ξύλου πεύκου (sawwood) είναι εύκολο να διακριθούν μεταξύ τους. Ο χυμός έχει χρώμα κιτρινωπό - λευκό έως κοκκινωπό - λευκό, το εγκάρδιο είναι κοκκινωπό - κίτρινο και σκουραίνει σε κοκκινωπό - καφέ χρώμα. Το ετήσιο εύρος δακτυλίου ανάπτυξης μπορεί να κυμαίνεται από 1 έως 10 mm. Το κοκκινωπό καλοκαιρινό ξύλο είναι πολύ πιο σκοτεινό από το ελαφρύ ελατήριο, οι ετήσιοι δακτύλιοι ανάπτυξης είναι σαφώς ορατοί. Ανάλογα με την κατεύθυνση κοπής, το ξύλο έχει ριγέ (ακτινική κοπή) ή κυματιστό κόκκο (εγκάρσια τομή).
  - **Μηχανικές Ιδιότητες:** Το ξύλο πεύκου είναι μεσαίου βάρους και σχετικά μαλακό. Η αντοχή και η ελαστικότητά του είναι καλές. Όπως και με άλλα κωνοφόρα ξύλα, οι ιδιότητες του ξύλου εξαρτώνται από την πυκνότητα των ετήσιων δακτυλίων ανάπτυξης: Όσο υψηλότερη είναι η αναλογία του summerwood, τόσο βαρύτερο και σκληρότερο είναι το ξύλο. Η πυκνότητα του πεύκου είναι περίπου 0,51 g / cm<sup>3</sup>. Το εγκάρδιο ξύλο έχει καλή φυσική αντοχή, εκτός εάν βρίσκεται σε άμεση επαφή με τη γη ή την υγρασία. Έχει υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε μπλε χρώση του ξύλου μέσω μυκητιασικής λοίμωξης. Ο χρωματισμός επηρεάζει μόνο την εμφάνιση και όχι τις φυσικές ιδιότητες του ξύλου.
  - **Χρήσεις – Εφαρμογές:** Το ξύλο πεύκου μπορεί να εργαστεί εύκολα με το χέρι ή με μηχανή. Μπορεί να τεμαχιστεί ή να ξεφλουδιστεί. Οι καρφωμένες, βιδωμένες ή κολλημένες συνδέσεις είναι απλές. Η επιφάνεια μπορεί να τελειώσει με όλα τα είδη χρωμάτων. Το σομφό προσφέρεται καλά για τον εμποτισμό, λιγότερο από το εγκάρδιο. Διαστάσεις: Το ξύλο πεύκου διατίθεται ως στρογγυλό ή πριστό ξύλο, καθώς και καπλαμά. Χρησιμοποιείται σε όλα τα έπιπλα, τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά.
- Άλλες συχνές εφαρμογές σε κτίρια και κατασκευές, εσωτερική επίπλωση, έπιπλα, κατασκευή σύνθετων υλικών ξύλου, πολτός ξύλου και χαρτιού, παράθυρα, επένδυση προσώπων. Χρησιμοποιείται επίσης για την κατασκευή θυρών, παραθύρων και υλικών επίστρωσης. Τύποι πεύκου μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως διακοσμητικά στοιχεία.
- Γενικά το πεύκο είναι ένα μαλακό, λευκό ή ανοιχτό κίτρινο ξύλο το οποίο είναι ελαφρύ σε βάρος με ευθύγραμμο νερά ξύλου. Αντέχει στη συρρίκνωση, διόγκωση και κάμψη, ωστόσο είναι ευαίσθητο στις φθορές και τα χτυπήματα. Είναι οικονομικό και επιδέχεται εύκολα βαφής για αυτό χρησιμοποιείται συχνά για την κατασκευή παιδικών βιβλιοθηκών.

#### 5.1.4 Φυσικά Χαρακτηριστικά Έλατου.

Έλατο ή λευκή ξυλεία - Whitewood & Spruce (Picea Abies) φύτεται σε μεγάλες εκτάσεις κυρίως στις Σκανδιναβικές χώρες, Σουηδία, Φινλανδία, Ρωσία Γιουγκοσλαβία, Ρουμανία αλλά και στη Βουλγαρία. Έχει σχεδόν λευκό χρώμα, χωρίς εμφανή διαφορά από το σομφό στην καρδιά. Οι ρόζοι του είναι ακανόνιστα διασκορπισμένοι. Ξηραίνεται γρήγορα και καλά και κάτω από διαφορετικές συνθήκες υγρασίας. Θεωρείται πιο σταθερό από το πεύκο. Όσον αφορά στις μηχανικές ιδιότητες είναι ελαφρά κατώτερο από το πεύκο αλλά από στατική άποψη κατατάσσεται στην ίδια κατηγορία με το πεύκο. Έχει μικρότερη αντίσταση στο σάπισμα από το πεύκο και επιπλέον είναι δυσκολότερο στο να εμποτιστεί με συντηρητικά.

- Κοινά ονόματα: Λευκή Ελάτη silver fir.
- Βοτανική ταξινόμηση: Abies alba.
- Κύρια προϊόντα στην αγορά: Πριστή ξυλεία, ξυλεπενδύσεις, ταβάνια.
- Φυσικές ιδιότητες - δομή - προέλευση: Ιδιότητες και εφαρμογές είναι ανάλογες με το ξύλο της Κεφαλληνιακής ελάτης. Λεπτόπορο, ευθύινο, ανομοιογενές. Η ποιότητα του ξύλου βελτιώνεται με τη μείωση του πλάτους των ετησίων δακτυλίων. Η λευκή ελάτη φύτεται στην Κ. Ευρώπη και στα βόρεια σύνορα της Ελλάδας. Φυσική διάρκεια στο χρόνο: μικρή.
- Μηχανικές ιδιότητες:  
Πυκνότητα: RH (0%) = 0,41 gr/cm<sup>3</sup> RH(12-15%) = 0,44 gr/cm<sup>3</sup>  
Ρίκνωση: Ακτινική = 3,8 Εφαπτομενική = 7,6  
Μέτρο ελαστικότητας: 98.000 kp/cm<sup>2</sup>  
Μέτρο θραύσεως: 676 kp/cm<sup>2</sup>
  - ✓ Ιδιότητες κατεργασίας και χειρισμός: Συμπεριφορά στη ξήρανση και σταθερότητα μετά την ξήρανση: Εύκολη και γρήγορη ξήρανση 60/70-75/85. Μέση κινητικότητα, ξύλο αρκετά σταθερό.
  - ✓ Συμπεριφορά στον εμποτισμό: Σομφό διαπερατό, εγκάρδιο μέτρια ανθεκτικό.
  - ✓ Συμπεριφορά στην κάμψη (καμπύλωση): Χαμηλός βαθμός καμπύλωσης. Το ξύλο σχίζεται εύκολα.
  - ✓ Κατεργασία με μηχανήματα - βαθμός στόμωσης εργαλείων: Κατεργασία καλή, στόμωση χαμηλή.
  - ✓ Συμπεριφορά στο κάρφωμα και στο βίδωμα: Εύκολο κάρφωμα και βίδωμα αλλά προσοχή στα άκρα των πριστών.
  - ✓ Συμπεριφορά στη συγκόλληση: Καλή.
  - ✓ Συμπεριφορά στη βαφή και το φινίρισμα: Καλή βαφή, καλό φινίρισμα.
- Εφαρμογές Χρησιμοποιείται ευρέως σε εσωτερικές οικοδομικές και ξυλουργικές κατασκευές, εσωτερικά επίπλων, ξυλοπλάκες κ.λπ. Κολλάται εύκολα και βάφεται και βερνικώνεται καλά, επειδή έχει μικρότερη αντίσταση στο σάπισμα και αντιδρά στον εμποτισμό με συντηρητικά δεν θεωρείται ιδανικό για εξωτερική χρήση, συχνά όμως προτιμάται από το πεύκο για εσωτερικές ξυλουργικές εργασίες. Χρησιμοποιείται στις ίδιες εφαρμογές όπως και το πεύκο. Λόγω της καθαρής εμφάνισης του και της έλλειψης οσμών, είναι δε βασικό ξύλο για την παραγωγή χαρτοπολτού.

Συμπερασματικά τα ξύλα ειδικού βάρους μικρότερου από  $400 \text{ kg/m}^3$  (π.χ. έλατο, πεύκο) κατατάσσονται στα "κανονικά αναφλέξιμα υλικά" (κατηγορία B2), όταν το πάχος τους υπερβαίνει τα 2 mm. Τα ξύλα μεγαλύτερου ειδικού βάρους (δρυς, καστανιά) είναι λιγότερο εύφλεκτα και επομένως μπορούν να υπαχθούν ακόμη και στην κατηγορία των δύσκολα αναφλέξιμων υλικών B εάν υποστούν εμπότισμό με κατάλληλα χημικά διαλύματα, σε ειδικούς λέβητες υπό πίεση.  
<https://www.firesecurity.gr>

## 6. Διαδικασία Μετρήσεων (Reaction to Fire tests).

Στο σημείο αυτό περιγράφεται σύντομα η διαδικασία της προετοιμασίας των δειγμάτων προς καύση σύμφωνα με τα προβλεπόμενα από τον κατασκευαστή της συσκευής του Θερμιδομέτρου Κώνου αλλά και σύμφωνα με τις εσωτερικές οδηγίες του εφαρμοζόμενου προτύπου ISO 5660 από το Εργαστήριο Τεχνικής Θερμοδυναμικής.

Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές αντίδρασης στη φωτιά για 4 είδη ξύλου σε 2 ροές ακτινοβολούμενης θερμότητας δηλ. σε  $50 \text{ kW/m}^2$  και σε  $75 \text{ kW/m}^2$ . Η ροή θερμότητας των  $50 \text{ kW/m}^2$  συνήθως επιλέγεται με βάση την υπάρχουσα βιβλιογραφία, ως μία τυπική ένταση φωτιάς σε κλειστούς χώρους (enclosures) καθώς και για σύγκριση των αποτελεσμάτων του Θερμιδομέτρου Κώνου με άλλες μεθόδους όπως η δοκιμή κατάταξης υλικών μεμονωμένου καιόμενου αντικειμένου (SBI). Επίσης, η συγκεκριμένη ροή θερμότητας προτείνεται και στο EN ISO-16755 “Durability of reaction to fire performance- Classes of fire-retardant treated wood products in interior and exterior end use applications” για μετρήσεις αντίδρασης στη φωτιά σύμφωνα με το πρότυπο ISO-5660. Η δεύτερη και υψηλότερη ροή θερμότητας των  $75 \text{ kW/m}^2$  επιλέγεται επίσης ως μια ροή θερμότητας που μπορεί να περιγράψει πιο έντονες συνθήκες φωτιάς όπως π.χ μια δασική πυρκαγιά όπου τα θερμικά φορτία αναμένεται να είναι πολύ μεγαλύτερα, δηλ. ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας να λαμβάνει πολύ μεγαλύτερες τιμές από εκείνες που αντιστοιχούν σε μια φωτιά που αναπτύσσεται σε κλειστό χώρο.

### 6.1 Διεξαγωγή Πειράματος.

Αφού όλες οι λεπτομέρειες που χρειάζονται για να εκτελεστεί το πείραμα έχουν εισαχθεί και το σύστημα έχει βαθμονομηθεί, τότε μπορεί να ξεκινήσει το πείραμα. Ο πίνακας εκτέλεσης του πειράματος που θα εμφανιστεί δείχνει τις ενδείξεις από τους αισθητήρες σε πραγματικό χρόνο, την κατά προσέγγιση έκλυση της θερμότητας και καπνού και άλλες παραμέτρους. Επίσης δείχνει τον συνολικό χρόνο του πειράματος (συμπεριλαμβανομένου και του χρόνου συλλογής δεδομένων αναφοράς (Baseline). Στο λογισμικό ελέγχου του πειράματος υπάρχει μια περιοχή μηνυμάτων η οποία ενημερώνει για τα σημαντικά γεγονότα κατά την διάρκεια του πειράματος.

Πίνακας 6.1: Συγκεντρωτικός πίνακας αισθητηρίων του Θερμιδομέτρου Κώνου.

Time	Χρόνος σε δευτερόλεπτα (s)
Oxygen	Συγκέντρωση οξυγόνου (%)
DPT	Διαφορική πίεση (Pa)
CO	Μονοξείδιο του άνθρακα (ppm)
CO2	Διοξείδιο του άνθρακα (%)
PDM	Βαθμονομημένη κύρια έξοδος φωτοδιόδου (-)
PDC	Βαθμονομημένη έξοδος αντιστάθμισης φωτοδιόδου (-)
MASS	Μάζα δείγματος (g)
Te	Θερμοκρασία εξάτμισης (K)
Tsm	Θερμοκρασία καπνού
APT	Απόλυτη πίεση (kPa)

## 6.2 Προετοιμασία Δειγμάτων – Τεμαχίων Ξύλων.

Όλα τα υλικά πριν από τις δοκιμές παρέμειναν σε κατάλληλο θάλαμο, σταθερών συνθηκών θερμοκρασίας και υγρασίας δηλ. ( $23\pm 2$  °C) και υγρασίας ( $50\pm 5$  %RH), για τουλάχιστον δύο (2) ημέρες μέχρι να διαπιστωθεί ότι δεν υπήρχε μεταβολή του βάρους τους μεταξύ δύο διαδοχικών ημερήσιων μετρήσεων πάνω από 0.1gr, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 554.

Τα δοκίμια πριν την εισαγωγή τους στο θάλαμο συντήρησης κόβονται στις διαστάσεις της βάσης εισαγωγής στο Θερμιδόμετρο, που σύμφωνα με το πρότυπο οι προτεινόμενες διαστάσεις είναι  $10\times 10\text{cm}^2$ . Μετά την κοπή τα δοκίμια ζυγίζονται, καταγράφεται η μάζα τους και στη συνέχεια αποθηκεύονται σε θάλαμο ελεγχόμενων συνθηκών θερμοκρασίας και υγρασίας προκειμένου να αποβάλλουν περίσσεια υγρασίας και να φθάσουν σε συνθήκη κατάλληλη για την καύση τους. Κατά το πρότυπο τα προς καύση δοκίμια διατηρούνται στο θάλαμο για 24 ώρες και στη συνέχεια μετράται πάλι η μάζα τους προκειμένου να καταγραφεί πιθανή απώλεια που οφείλεται σε αφύγρανση αυτών. Όταν μετά από επαναλαμβανόμενες μετρήσεις της μάζας των δοκιμίων σε χρονικές αποστάσεις καταγραφούν σταθερές τιμές τότε αυτά κρίνονται κατάλληλα για το επόμενο στάδιο αυτό της δοκιμής στην αντίδραση στη φωτιά με την καύση τους στο θερμιδόμετρο κώνου. Η σχετική υγρασία στο θάλαμο συντήρησης κατά την παραμονή των δοκιμίων διατηρείται στο 50%.

Δίνονται καταρχήν φωτογραφίες στα διάφορα στάδια της προετοιμασίας για την καλύτερη εποπτεία της διαδικασίας. Το κάλυμμα που τοποθετείται πάνω από τα δοκίμια εξασφαλίζει ότι η καύση των υλικών θα συμβαίνει στην ελεύθερη μόνο επιφάνεια και όχι πιθανόν στις πλευρές του δοκιμίου κάτι που θα αλλοιώσει τα αποτελέσματα.

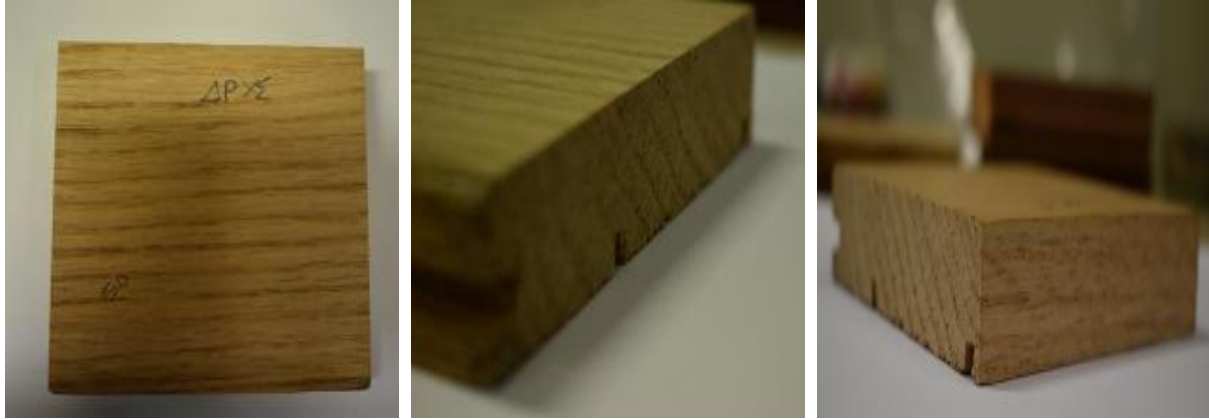


Εικόνα 10: Είδη ξύλου προς δοκιμή (Πεύκο, Έλατο, Δρυς, Ιρόκο).



### 6.3 Γεωμετρικά - Φυσικά Χαρακτηριστικά δοκιμίων.

Στα ακόλουθα δίνονται καταρχήν ενδεικτικές φωτογραφίες των υλικών προς έλεγχο – χαρακτηρισμό ως προς την αντίδρασή τους στη φωτιά. Τα υλικά που δοκιμάστηκαν ήταν διάφοροι τύποι ξύλου (4) και πιο συγκεκριμένα δρυς, πεύκο, έλατο και ιροκο.



Εικόνα 11: Κάτοψη και πλάγιες όψεις δοκιμίων ξύλου δρυός.



Εικόνα 12: Πλευρική κάλυψη των δοκιμίων δρυός με φύλλο αλουμινίου και τοποθέτηση στην ειδική βάση εισαγωγής στο Θερμιδόμετρο Κώνου.



Εικόνα 13: Τοποθέτηση δοκιμίων Δρυός στη βάση - έλεγχος διαστάσεων.

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι με την τοποθέτηση στη βάση ελέγχονται οι διαστάσεις κοπής του δοκιμίου, ενώ ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην διατήρηση της ελεύθερης επιφάνειας του δοκιμίου, αυτής δηλ. που θα ακτινοβοληθεί ώστε να μην επέλθουν μεταβολές, που θα την αλλοιώσουν και έτσι τα πειραματικά αποτελέσματα πιθανόν δεν θα ανταποκρίνονται στην πραγματική συνθήκη καύσης.



Εικόνα 14: Διαδικασία προετοιμασίας δοκιμίων Ελάτης.



Εικόνα 15: Διαδικασία προετοιμασίας δοκιμίων IROKO.



Εικόνα 16: Διαδικασία προετοιμασίας δοκιμίων Πεύκου.

## 6.4 Αποτελέσματα Μετρήσεων.

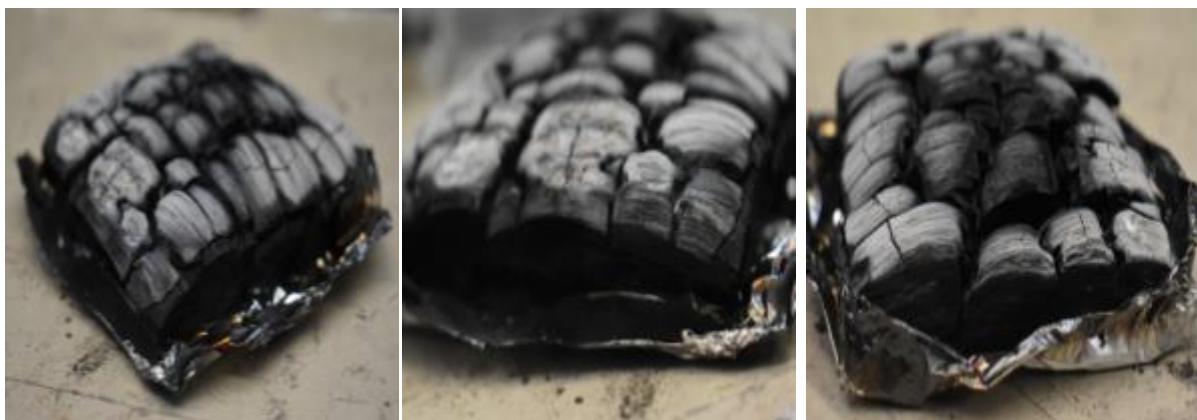
Στα αποτελέσματα των πειραμάτων που διεξήχθησαν συμπεριλαμβάνονται καταρχήν φωτογραφίες των υπολειμμάτων των υλικών που δοκιμάστηκαν κατά την αντίδρασή τους στη φωτιά. Με την οπτική παρατήρηση προκύπτουν πιθανά ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε υλικού που μπορεί να το διαφοροποιούν από τα υπόλοιπα. Η θερμική ισχύς ακτινοβολίας που εφαρμόστηκε από τον κώνο του θερμιδομέτρου ήταν  $50 \text{ kW/m}^2$  και  $75 \text{ kW/m}^2$ .

### 6.4.1 Υπολείμματα Δοκιμών Δρυός.

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται τα δοκίμια Δρυός μετά την καύση τους και ενώ ακόμα βρίσκονται στη βάση στήριξης. Η βάση στήριξης αποτελεί εργαλείο με το οποίο τα δοκίμια τοποθετούνται στην κατάλληλη θέση προκειμένου να ακτινοβοληθούν σε δεδομένη θερμική ισχύ. Φαίνονται καθαρά ρηγματώσεις – ρωγμές επί των υπολειμμάτων δρυός πιθανότητα στη διεύθυνση των ινών του φυσικού ξύλου κατά την οριζόντια διεύθυνση. Στις εικόνες φαίνεται η υπολειμματική μάζα τεμαχίων Δρυός μετά την καύση παραμορφωμένη - διογκωμένη προς την πηγή ακτινοβολίας.



Εικόνα 17: Υπολείμματα Δρυός μετά από τη δοκιμή σε  $50 \text{ kW/m}^2$



Εικόνα 18: Υπολείμματα Δρυός μετά από τη δοκιμή σε  $75 \text{ kW/m}^2$ .

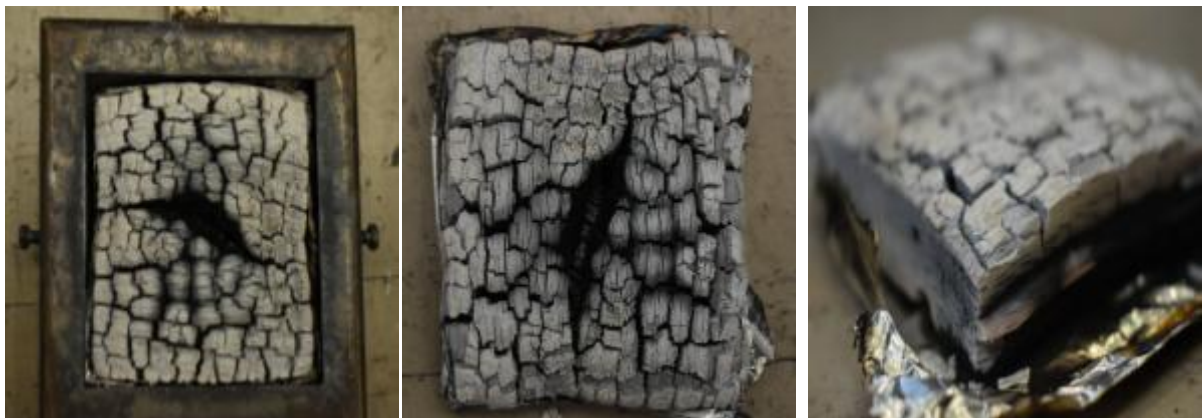
### 6.4.2 Υπολείμματα Δοκιμών Ιρόκο (Αφρικής – Γκάνα).

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται τα υπολείμματα δοκιμών Ιρόκο μετά την καύση τους κατά τη δοκιμή στο θερμιδόμετρο κώνου αμέσως μετά το τέλος της δοκιμής.

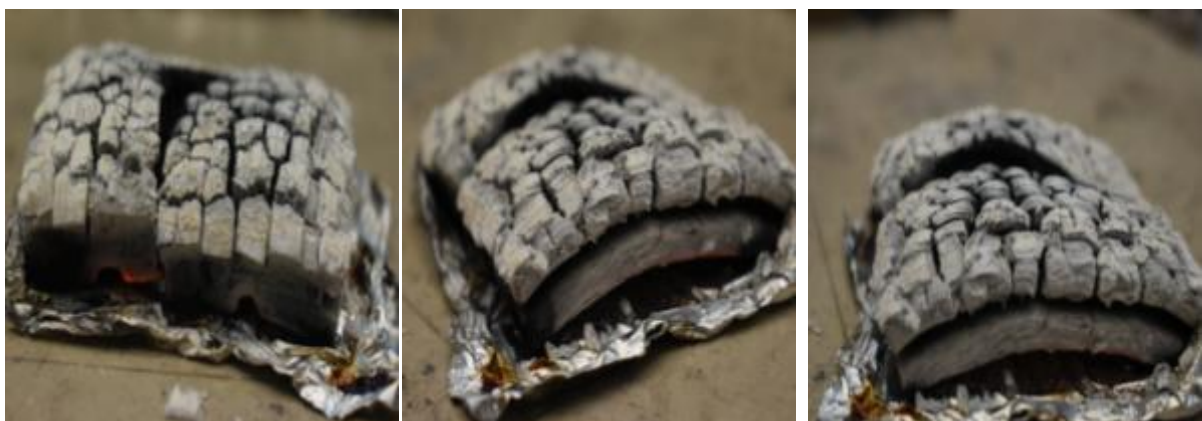
Προκύπτει σημαντική διαφορά ως προς τα υπολείμματα δρυός. Στο συγκεκριμένο είδος ιρόκο οι ρηγματώσεις είναι πολύ πιο έντονες κάτι που δείχνει ότι η καύση έχει προχωρήσει σε μεγαλύτερο βαθμό εντός των δοκιμίων ιρόκο. Επίσης ως προς τη ροή θερμότητας προκύπτει ότι στο υψηλότερο επίπεδο ακτινοβολίας το ρήγμα στην κεντρική περιοχή διευρύνεται προφανώς υποδεικνύοντας ότι η καύση έχει φτάσει στην κάτω επιφάνεια του δοκιμίου νωρίτερα χρονικά.



Εικόνα 19: Υπολείμματα δοκιμίων Ιρόκο μετά από δοκιμή σε  $50 \text{ kW/m}^2$ .



Εικόνα 20: Υπολείμματα δοκιμίων Ιρόκο μετά από δοκιμή σε  $75 \text{ kW/m}^2$ .



Εικόνα 21: Παραμόρφωση δοκιμίου Ιρόκο ( $75 \text{ kW/m}^2$ ).

Στην Εικ.21 φαίνεται μια επιπλέον διαφοροποίηση ως προς τα επίπεδα ακτινοβολίας. Στο υψηλότερο επίπεδο ( $75 \text{ kW/m}^2$ ) φαίνεται μια διόγκωση των δοκιμίων προς την

πηγή ακτινοβολίας (κώνος θερμιδομέτρου), κάτι που δεν παρατηρήθηκε στη χαμηλότερη ροή ακτινοβολίας ( $50 \text{ kW/m}^2$ ).

### 6.4.3 Υπολείμματα Δοκιμών Πεύκου.

Αναφορικά με τα υπολείμματα δοκιμών Πεύκου προκύπτει αντίστοιχη συμπεριφορά ως προς το Ιρόκο. Δηλ φαίνεται ότι στη χαμηλή ροή θερμότητας των  $50 \text{ kW/m}^2$  οι ρηγματώσεις έχουν διαπεράσει κατά τη διεύθυνση των ινών του φυσικού ξύλου πιθανότητα στην οριζόντια διεύθυνση, ενώ στην υψηλότερη ροή θερμότητας  $75 \text{ kW/m}^2$  οι ρηγματώσεις πλέον παρατηρούνται και στην εγκάρσια διεύθυνση της επιφάνειας του δοκιμίου.



Εικόνα 22: Υπολείμματα δοκιμίου Πεύκου μετά από δοκιμή σε  $50 \text{ kW/m}^2$ .



Εικόνα 23: Υπολείμματα δοκιμίου Πεύκου μετά από δοκιμή σε  $75 \text{ kW/m}^2$ .



Εικόνα 24: Παραμόρφωση υπολειμμάτων δοκιμίου Πεύκου ( $75 \text{ kW/m}^2$ ).

Παρόμοια με τη συμπεριφορά του Ιρόκο φαίνεται ότι στο υψηλότερο επίπεδο ( $75\text{kW/m}^2$ ) δημιουργείται μια διόγκωση των δοκιμών προς την πηγή ακτινοβολίας (κώνος θερμιδομέτρου).

#### 6.4.4 Υπολείμματα Δοκιμών Έλατου.

Αναφορικά με τα υπολείμματα δοκιμών Έλατου φαίνεται μια ενδιάμεση κατάσταση μεταξύ δρυός και των Ιρόκο και Πεύκου. Αυτή η διαπίστωση καταγράφεται με την έννοια ότι η αυξημένη ροή ακτινοβολίας στην περίπτωση του Έλατου δεν δείχνει έντονες διαφοροποιήσεις ως προς τις ρηγματώσεις επί των δοκιμών.

Έντονη διαφοροποίηση επί του επιπέδου ακτινοβολίας των κομματιών Ιρόκο και Πεύκου προέκυψε με την αύξηση του επιπέδου ροής ακτινοβολίας από τα  $50\text{ kW/m}^2$  στα  $75\text{ kW/m}^2$ . Αρχικά φάνηκαν ρωγμές κατά τη διεύθυνση των ινών του φυσικού ξύλου στη χαμηλή ροή θερμικής ισχύος των  $50\text{ kW/m}^2$  που με την αύξησή της στα  $75\text{ kW/m}^2$  επεκτάθηκαν και σε μια εγκάρσια διεύθυνση επί της επιφάνειας των δοκιμών. Η περίπτωση του Έλατου μπορεί να ειπωθεί ως μια ενδιάμεση κατάσταση ως προς τις παραπάνω περιγραφόμενες με την έννοια ότι η αύξηση της ροής ακτινοβολίας δεν δείχνει αντίστοιχη αύξηση στις δημιουργούμενες ρωγμές επί της επιφάνειας. Πιθανόν να είναι περισσότερες αλλά όχι εύκολα ανιχνεύσιμες. Αυτό σημαίνει ότι για το Έλατο η έκθεση σε μεγαλύτερη ακτινοβολούμενη ροή θερμότητας άνω των  $50\text{ kW/m}^2$  δεν οδηγεί σε επιπλέον στάδια καύσης, πυρόλυσης.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στην Εικ.25 φαίνεται ότι στα  $50\text{ kW/m}^2$  η πυρόλυση συνεχίζεται με αργό ρυθμό αφού το κομμάτι Έλατου (πλάγια όψη) μετά το τέλος της δοκιμής συνεχίζει να σιγοκαίει σε μια συνθήκη υποκαύσης (smoldering).



Εικόνα 25: Υπολείμματα Έλατου μετά από δοκιμή σε  $50\text{ kW/m}^2$



Εικόνα 26: Υπολείμματα Έλατου μετά από δοκιμή σε  $75\text{ kW/m}^2$ .

## 6.5 Πειραματικά Αποτελέσματα.

Τα δοκίμια που ελέγχθηκαν ως προς την αντίδραση στη φωτιά ήταν Δρυς, Έλατο, Ιρόκο, και Πεύκο σε δύο επίπεδα ακτινοβολίας στα 50 KW/m<sup>2</sup> και σε 75 KW/m<sup>2</sup>. Δίνονται συνοπτικά οι αρχικές συνθήκες καύσης των δοκιμίων (αρχική μάζα, πάχος δοκιμίων, επιφάνεια ακτινοβολίας) καθώς και οι χρόνοι έναυσης και σβέσης των δοκιμίων στον Πίνακα που ακολουθεί για όλα τα κομμάτια. Επίσης στην 3<sup>η</sup> στήλη του πίνακα σημειώνονται οι αποκλίσεις που έχουν επέλθει στα 75 KW/m<sup>2</sup> ως προς τα 50 KW/m<sup>2</sup> στις χαρακτηριστικές παραμέτρους των πειραμάτων.

Πίνακας 7.2 Βασικές Οριακές Πειραματικές Συνθήκες.

Υλικό – δοκίμιο	Δρυς (50 KW/m <sup>2</sup> )	Δρυς (75 KW/m <sup>2</sup> )	Ποσοστά Απόκλισης %
Αρχική μάζα (g)	146.44	141.6	-3.3
Πάχος δοκιμίου (mm)	22	22	0
Επιφάνεια (cm <sup>2</sup> )	88.4	88.4	0
Χρόνος έναυσης (s)	21	10	-52.4
Χρόνος σβέσης (s)	1243	989	-20.4

Υλικό – δοκίμιο	Έλατο (50 KW/m <sup>2</sup> )	Έλατο (75 KW/m <sup>2</sup> )	Ποσοστά Απόκλισης %
Αρχική μάζα (g)	82.12	80.27	-2.2
Πάχος δοκιμίου (mm)	19	19	0
Επιφάνεια (cm <sup>2</sup> )	88.4	88.4	0
Χρόνος έναυσης (s)	13	7	-46.2
Χρόνος σβέσης (s)	1200	1004	-16.3

Υλικό – δοκίμιο	Ιρόκο (50 KW/m <sup>2</sup> )	Ιρόκο (75 KW/m <sup>2</sup> )	Ποσοστά Απόκλισης %
Αρχική μάζα (g)	144.48	142.81	-1.2
Πάχος δοκιμίου (mm)	21	21	0
Επιφάνεια (cm <sup>2</sup> )	88.4	88.4	0
Χρόνος έναυσης (s)	28	12	-57.1
Χρόνος σβέσης (s)	1430	1222	-14.5

Υλικό – δοκίμιο	Πεύκο (50 KW/m <sup>2</sup> )	Πεύκο (75 KW/m <sup>2</sup> )	Ποσοστά Απόκλισης %
Αρχική μάζα (g)	96.53	96.1	-0.44
Πάχος δοκιμίου (mm)	20	20	0
Επιφάνεια (cm <sup>2</sup> )	88.4	88.4	0
Χρόνος έναυσης (s)	8	4	-50.00
Χρόνος σβέσης (s)	1256	1089	-13.3

Καταρχήν θα πρέπει να σημειωθεί ότι αν και τα κομμάτια είναι διαστάσεων 10x10 cm<sup>2</sup> λόγω της κάλυψης τμήματος της άνω επιφάνειας που εφαρμόζει στη βάση στήριξης για τη διατήρηση της σωστής θέσης των δοκιμίων πάνω στο ζυγό κατά την καύση, η επιφάνεια ακτινοβολίας μειώνεται στα 88.4cm για όλα τα υπό δοκιμή υλικά.

Για τα δοκίμια δρυός φαίνεται ότι αν και έχουν ίδιο πάχος, η αρχική μάζα διαφέρει σημαντικά με το δοκίμιο που ακτινοβολείται στα  $75 \text{ KW/m}^2$  να έχει μάζα  $4.8\text{g}$  λιγότερη. Ως προς το επίπεδο ακτινοβολίας φαίνεται ότι στα  $75 \text{ KW/m}^2$  τόσο ο χρόνος έναυσης όσο και ο χρόνος σβέσης είναι μειωμένοι ως προς τη ροή θερμότητας  $50 \text{ KW/m}^2$  όπως και αναμένεται λόγω της αυξημένης ροής θερμότητας. Αυτή η συμπεριφορά επιβεβαιώνεται και για το έλατο για το οποίο η διαφορά των αρχικών μαζών είναι μικρότερη. Φαίνεται ότι η μικρότερη διαφοροποίηση στην αρχική μάζα οδηγεί και σε λίγο μικρότερα ποσοστά μείωσης των χρόνων έναυσης και σβέσης των  $75 \text{ KW/m}^2$  ως προς τα  $50 \text{ KW/m}^2$ . Αντίστοιχη συμπεριφορά παρουσιάζεται και για το Ιρόκο όπου η απόκλιση στη μάζα των δύο δοκιμίων είναι ακόμα μικρότερη. Παρατηρώντας τέλος και τις τιμές για τα δοκίμια πεύκου για τα οποία η διαφοροποίηση στη μάζα είναι η μικρότερη από όλα τα ζευγάρια υλικών, φαίνεται ότι τα ποσοστά μείωσης στους χρόνους έναυσης και σβέσης δεν έχουν μεγάλη εξάρτηση από την αρχική μάζα.

Εξάλλου η παρατηρούμενη μείωση στην αρχική μάζα των δοκιμίων στο υψηλότερο επίπεδο ακτινοβολίας, μπορεί σε ένα ποσοστό να οφείλεται στην αυξημένη εξάτμιση της υγρασίας που μπορεί να περιέχουν ακόμα κάποια κομμάτια κατά την τοποθέτησή τους στη βάση του κώνου. Μπορεί ακόμα μια μικρή καθυστέρηση στη διαδικασία αυτή να δώσει το περιθώριο για μεγαλύτερη εξάτμιση κάποιου ποσοστού υγρασίας που εμπεριέχεται στα κομμάτια.

### **6.5.1 Αποτελέσματα Ρυθμού Έκλυσης Θερμότητας (HRR).**

Στα επόμενα δίνονται γραφήματα της χρονικής εξέλιξης του ρυθμού έκλυσης θερμότητας για τα ζευγάρια των διαφορετικών υλικών ώστε να φανεί η διαφορά που επιφέρει η μεταβολή της ροής ακτινοβολίας στη συμπεριφορά των υλικών.

Στην Εικ.27 δίνεται η περιγραφή της εξέλιξης του HRR. Γενικά η μορφή των γραφημάτων δείχνει μια ραγδαία αύξηση του HRR στα πρώτα δευτερόλεπτα της καύσης πολύ κοντά στο χρόνο έναυσης. Στη συνέχεια ακολουθείται μια πτωτική τάση προς χαμηλότερες τιμές. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση των δοκιμίων δρυός και ιρόκο δεύτερες κορυφές εμφανίζονται προς τα τελευταία στάδια της δοκιμής, κάτι που έχει επιβεβαιωθεί και από τη βιβλιογραφία. Αυτή η συμπεριφορά φαίνεται πολύ ασθενέστερα στην περίπτωση του έλατου και του πεύκου. Επίσης σε όλα τα ζεύγη δοκιμών φαίνεται ότι η δοκιμή στην υψηλότερη ροή θερμότητας διαρκεί για μικρότερους χρόνους μέχρι το σβήσιμο. Σε συνέπεια με αυτή τη διαπίστωση οι δεύτερες κορυφές καταγράφονται σε μικρότερους χρόνους (πιο σύντομα) στην περίπτωση των  $75\text{kW/m}^2$  ως προς τα  $50\text{kW/m}^2$ . Αυτό προφανώς συμβαίνει γιατί η συνολική διάρκεια της δοκιμής είναι μικρότερη στην υψηλότερη ροή θερμότητας.

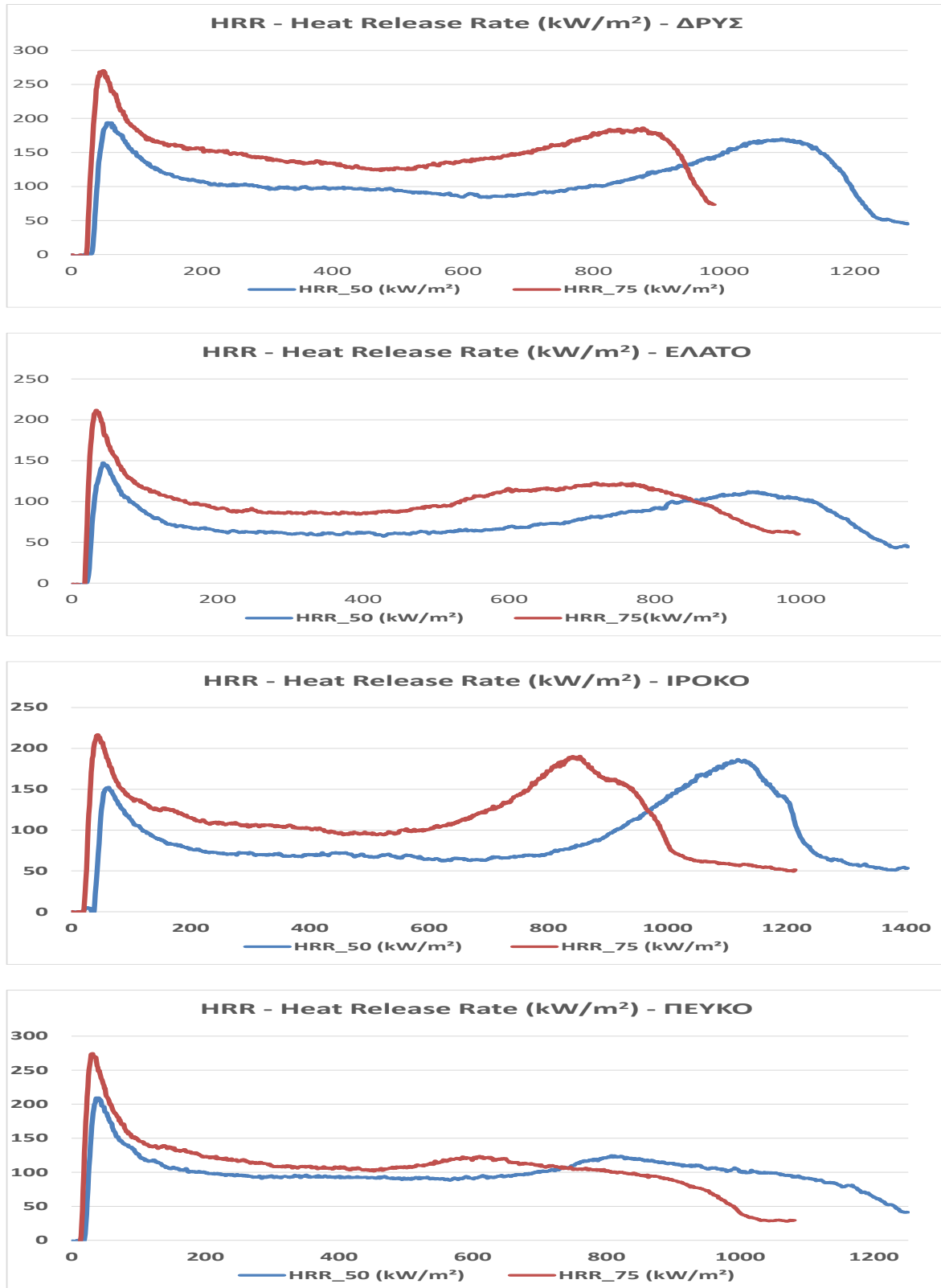
Τα προφίλ του HRR ξεκινούν δηλαδή με μια απότομη κορυφή κατά την ανάφλεξη και καθώς η επιφάνεια χαράζεται, το HRR πέφτει σε κάποια ελάχιστη τιμή. Αφού το θερμικό κύμα διασχίσει πλήρως το πάχος του ξύλου, η κάτω πλέον πλευρά του δείγματος φτάνει σε θερμοκρασία πυρόλυσης, δημιουργώντας έτσι μια δεύτερη, ευρύτερη και στις περιπτώσεις δρυός και ιρόκο αρκετά έντονη. Οι χαμηλότερες τιμές του HRR στους ενδιάμεσους χρόνους μπορεί να οφείλεται στο φαινόμενο charring δηλ. στο ότι κατά την απανθράκωση του επιφανειακού στρώματος του ξύλου αυτό λειτουργεί ως μονωτικό στην εξέλιξη της καύσης απελευθερώνοντας μικρότερα ποσά θερμότητας. Όταν όμως η καύση φθάσει στην κάτω επιφάνεια του δοκιμίου τότε ο



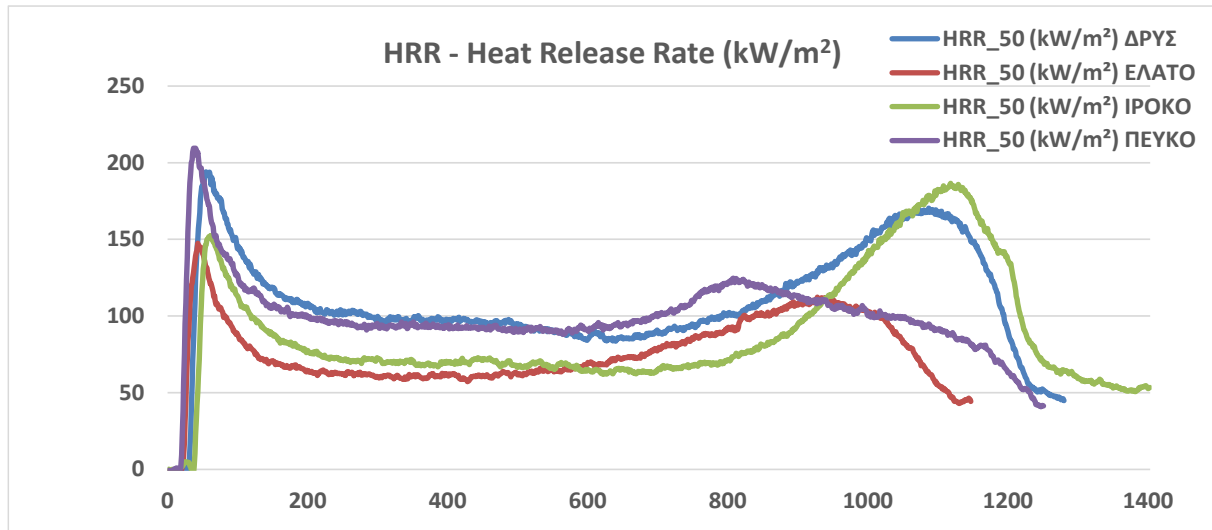
ρυθμός έκλυσης θερμότητας (HRR) λαμβάνει πάλι αυξημένες τιμές, κάτι που υποδεικνύεται με την δεύτερη κορυφή λίγο πριν το σβήσιμο των δοκιμίων. Φαίνεται επίσης ότι η διάρκεια των πειραμάτων στα  $50\text{kW/m}^2$  είναι περίπου στα 1200s και άνω, ενώ στα  $75\text{kW/m}^2$  η διάρκεια της δοκιμής περιορίζεται στα 1000s.

Στις Εικ.28,29 δίνονται συγκριτικά τα αποτελέσματα του HRR για τα 4 είδη ξύλου ως προς τη ροή ακτινοβολούμενης θερμότητας. Στην Εικ.28 τα αποτελέσματα αναφέρονται σε  $50\text{kW/m}^2$  ενώ στην Εικ.29 τα αποτελέσματα αναφέρονται σε  $75\text{kW/m}^2$ . Ειδικότερα στην Εικ.24 φαίνεται ότι η αρχική κορυφή του HRR που συναρτάται με το χρόνο ανάφλεξης συμβαίνει για το πεύκο πρώτα ενώ πιο αργά φαίνεται να αναφλέγεται το ιρόκο ανάμεσα στα 4 είδη που δοκιμάστηκαν. Αξίζει να σημειωθεί ότι το δοκίμιο ιρόκο παρουσιάζει διαφοροποίηση ως προς τα υπόλοιπα είδη αποδίδοντας υψηλότερη δεύτερη κορυφή του HRR ως προς την κορυφή που αντιστοιχεί στην ανάφλεξη. Αντίθετα η δρυς εμφανίζει τη δεύτερη κορυφή σε χαμηλότερη τιμή HRR ενώ για το έλατο και το πεύκο φαίνονται ευρύτερες περιοχές αυξημένου HRR χωρίς να φαίνονται ιδιαίτερες εμφανείς κορυφές.

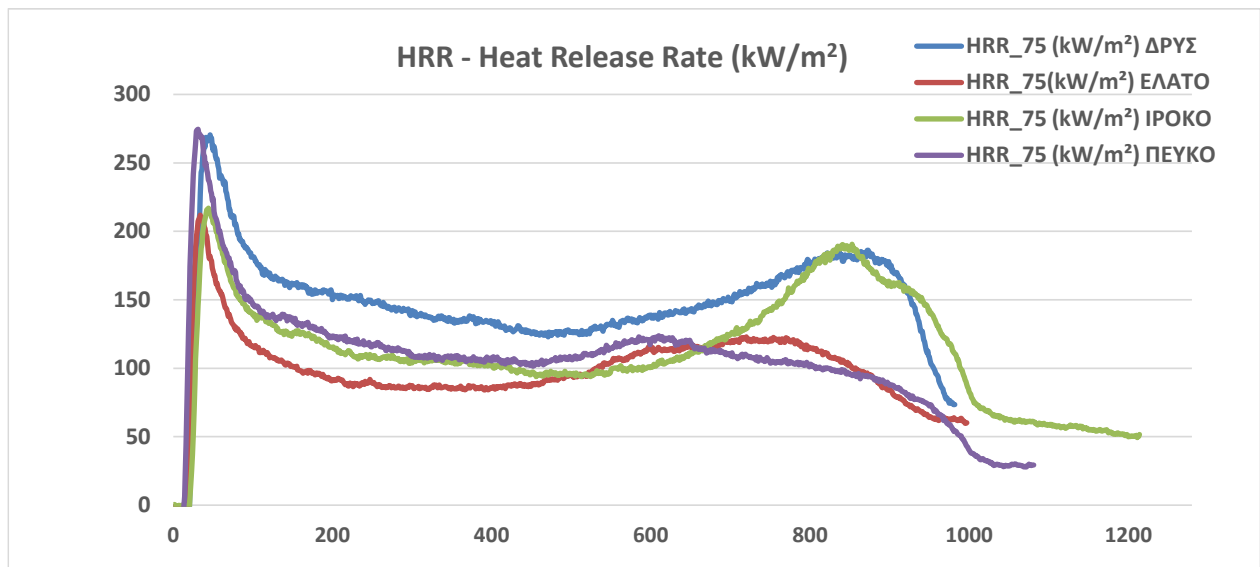
Αυτή η συμπεριφορά δεν επιβεβαιώνεται στην Εικ.28 στην περίπτωση των  $75\text{kW/m}^2$  όπου οι δευτερογενείς κορυφές του HRR είναι πάντα χαμηλότερες δηλ. σε μικρότερες τιμές από τις τιμές που αντιστοιχούν στην ανάφλεξη.



Εικόνα 27: Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας για όλα τα ζεύγη δοκιμών (Δρυς, Έλατο, Ιρόκο, Πεύκο).



Εικόνα 28: Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας δοκιμών σε ροή ακτινοβολούμενης θερμότητας 50 kW/m<sup>2</sup>.

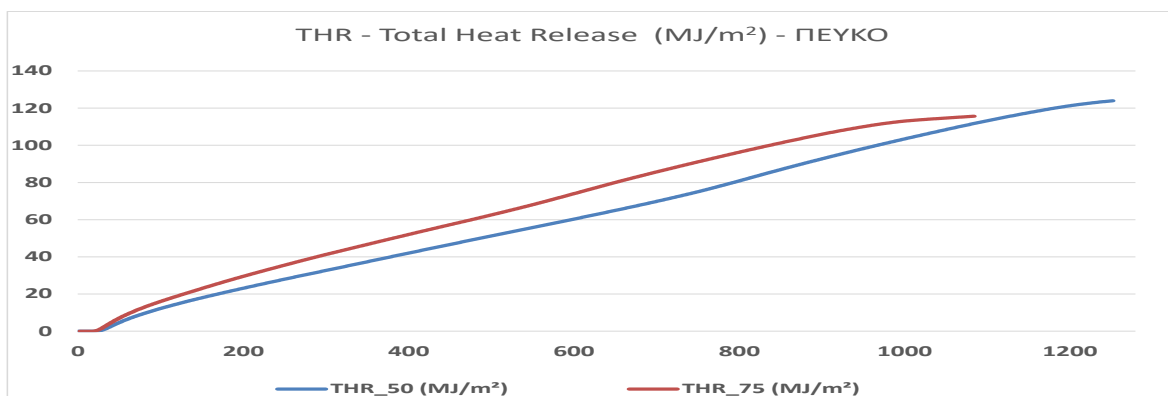
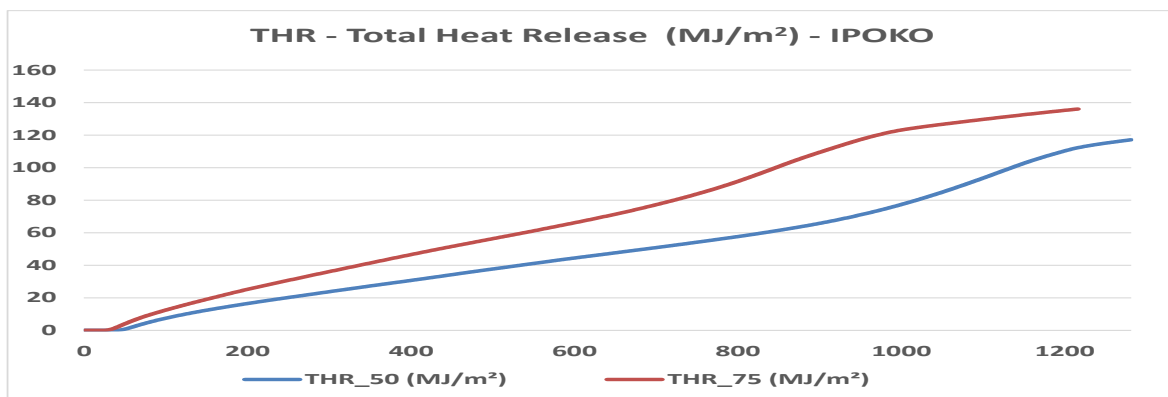
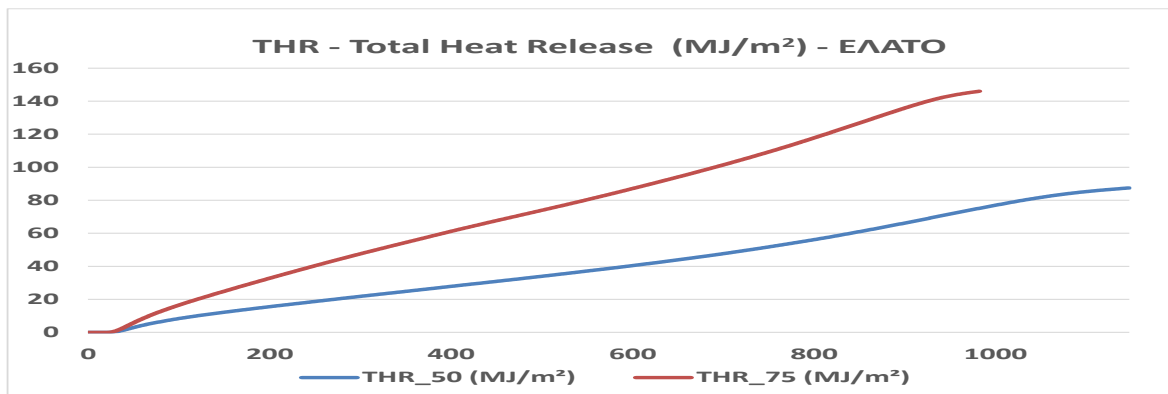
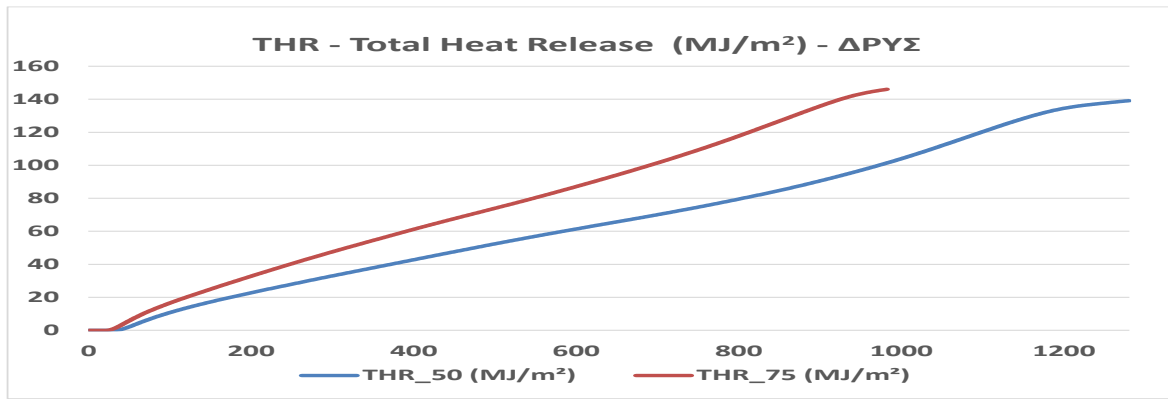


Εικόνα 29: Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας δοκιμών σε ροή ακτινοβολούμενης θερμότητας 75 kW/m<sup>2</sup>.

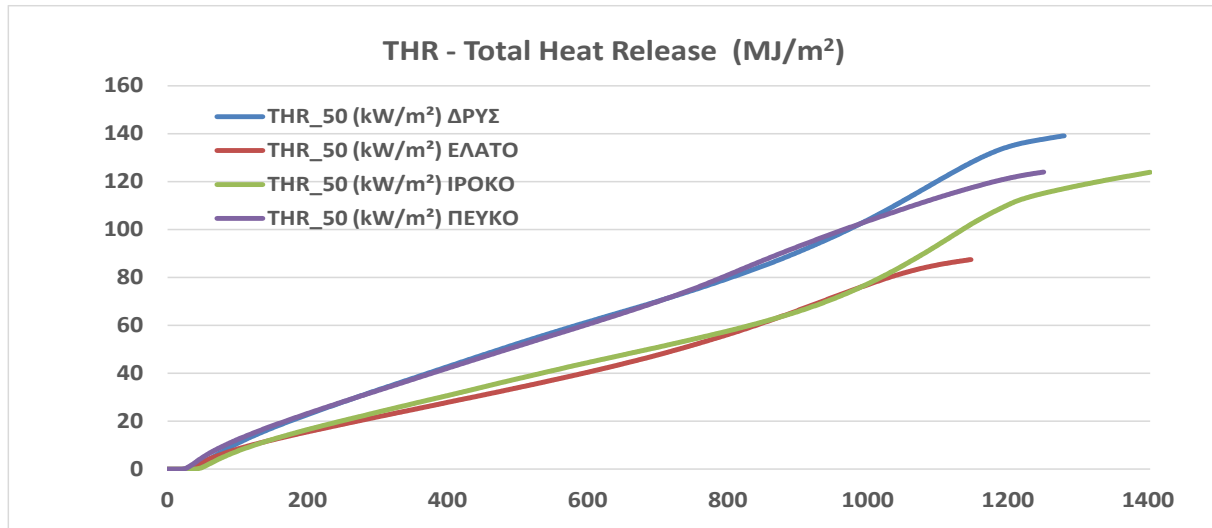
### 6.5.2 Αποτελέσματα Ολικής Έκλυσης Θερμότητας (Total Heat Release THR).

Στην Εικ.30 δίνονται τα διαγράμματα εξέλιξης της ολικής έκλυσης θερμότητας. Τα αποτελέσματα του THR δίνονται συγκριτικά για κάθε ζεύγος ειδών ξύλου στις διαφορετικές ροές θερμότητας στις οποίες υποβάλλονται τα δοκίμια.

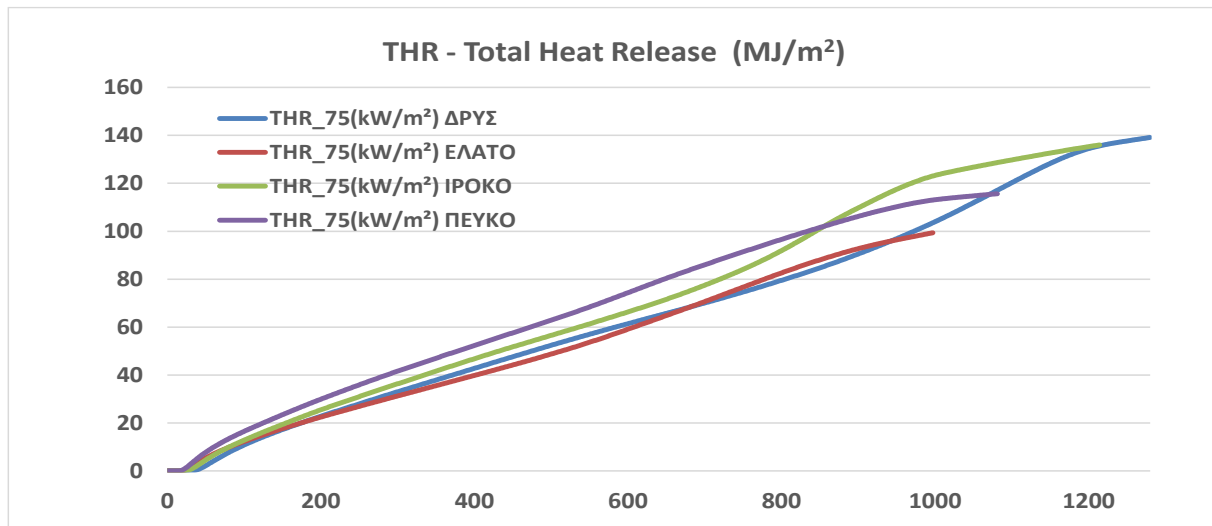
Γενικό χαρακτηριστικό για όλα τα είδη ξύλων είναι η μεγαλύτερη κλίση του THR ως προς το χρόνο για τη υψηλή ροή ακτινοβολούμενης θερμότητας των 75kW/m<sup>2</sup>.



Εικόνα 30: Ολική Έκλυση Θερμότητας για όλα τα ζεύγη δοκιμών (Δρυς, Έλατο, Ιρόκο, Πεύκο).



Εικόνα 31: Ολική Έκλυση Θερμότητας δοκιμών σε ροή ακτινοβολούμενης θερμότητας 50 kW/m<sup>2</sup>.



Εικόνα 32: Ολική Έκλυση Θερμότητας δοκιμών σε ροή ακτινοβολούμενης θερμότητας 75 kW/m<sup>2</sup>

Στις Εικ.31,32 δίνεται η παράμετρος THR ως προς την ακτινοβολούμενη ροή θερμότητας από τον κώνο για όλα τα είδη ξύλου που δοκιμάστηκαν. Ειδικότερα στην Εικ.31 φαίνεται ότι για τη ροή θερμότητας των 50kW/m<sup>2</sup> ότι η δρυς και το πεύκο ακολουθούν σχεδόν την ίδια συμπεριφορά στην εξέλιξη του THR με μεγαλύτερη κλίση ως προς το ιρόκο και το έλατο που φαίνεται και αυτά να ακολουθούν ίδια σχεδόν εξέλιξη του THR με μια μικρότερη κλίση.

Στην Εικ.32 από την άλλη πλευρά για τη ροή θερμότητας των 75kW/m<sup>2</sup> αυτή η διακριτοποίηση ως προς τη συμπεριφορά του THR δεν προκύπτει. Περισσότερο θα μπορούσε να ειπωθεί ότι όλες οι καμπύλες του THR για τα διαφορετικά είδη ξύλου που δοκιμάστηκαν ακολουθούν την ίδια πορεία – εξέλιξη, δηλ. η συμπεριφορά τους θα μπορούσε να προσομοιαστεί από μια και μόνο καμπύλη. Πάντως με μια πιο αυστηρή ματιά φαίνεται ότι η κλίση του THR για το πεύκο είναι η μεγαλύτερη ακολουθούμενη από το ιρόκο ενώ διαφοροποίηση μεταξύ ελάτου και δρυός δεν φαίνεται ιδιαίτερα.

### 6.5.3 Αποτελέσματα Ρυθμού Παραγωγής Καπνού. (Smoke Production Rate).

Ο καπνός που παράγεται σε όλων των ειδών φωτιάς αποτελεί κύρια απειλή για την ανθρώπινη ζωή. Τα σωματίδια καπνού μειώνουν την ορατότητα λόγω της απορρόφησης και της διασποράς του φωτός και Μπορούν να οδηγήσουν σε αποπροσανατολισμό των ατόμων που βρίσκονται σε ένα περιβάλλον καπνού. Ακόμα χειρότερα η παρουσία καπνού μπορεί να μειώσει τη δυνατότητα (πιθανότητα) να αναγνωρίσει ένα άτομο στο χώρο τα σήματα εξόδου ενώ μπορεί να μη βλέπει τα ανοίγματα του χώρου (πόρτες και παράθυρα) ώστε να εκκενώσει το χώρο σε μια κατάσταση φωτιάς σε κλειστό χώρο. Αυτές οι πτυχές γίνονται όλο και πιο σημαντικές σε όλες τις ευρωπαϊκές χώρες, δεδομένου ότι περιλαμβάνονται στις βασικές απαιτήσεις ασφάλειας σε περίπτωση πυρκαγιάς κατά την κοινοτική οδηγία – ντιρεκτίβα σχετικά με τα δομικά υλικά κατασκευών (Safety in case of fire of the Construction Products Directive /7/.

Η παραγωγή καπνού και οι οπτικές ιδιότητες συχνά μετρούνται παράλληλα με άλλες ιδιότητες της φωτιάς όπως η έκλυση θερμότητας και η διασπορά της φλόγας. Οι μετρήσεις συνήθως είναι δυναμικές σε πλήρη κλίμακα (full scale) και μπορούν να λαμβάνονται σε μια συνθήκη ροής αέρα διαμέσου του συστήματος που μελετάται.

Σε μικρής κλίμακας πειράματα (κλίμακα εργαστηρίου), οι μετρήσεις μπορεί να είναι δυναμικές όπως ακριβώς συμβαίνει στο θερμιδόμετρο κώνου, ή στατικές όπως π.χ καταγράφοντας τον καπνό που συσσωρεύεται σε ένα κλειστό κουτί (προσομοίωση διαμερίσματος – δωματίου). Το δύσκολο του πράγματος και το ενδιαφέρον εστιάζεται στην ικανότητα – δυνατότητα πρόβλεψης μιας κατάστασης φωτιάς πλήρους κλίμακας μέσα από δοκιμές μικρής κλίμακας είτε αυτές είναι δυναμικές είτε είναι στατικές. Γενικά στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι οι προβλέψεις παραγωγής καπνού έχουν μελετηθεί λιγότερο από άλλες ιδιότητες όπως ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας και με περιορισμένη επιτυχία.

Οι δοκιμές στο θερμιδόμετρο κώνου δίνει τη δυνατότητα καταγραφής στο χρόνο των κρίσιμων ιδιοτήτων ενδιαφέροντος για μια φωτιά επομένως είναι δυναμική μέθοδος. Η μονάδα μέτρησης του ρυθμού παραγωγής καπνού (smoke production rate – SPR) δείχνει ότι καταγράφεται η καλυμμένη επιφάνεια από καπνό του αισθητηρίου καπνού του θερμιδομέτρου ανά μονάδα χρόνου.

Αναφορικά με τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν δίνονται γραφήματα του ρυθμού παραγωγής καπνού (SPR) για τα ζευγάρια των διαφορετικών υλικών ώστε να φανεί η διαφορά που επιφέρει η μεταβολή της ροής ακτινοβολίας στη συμπεριφορά των υλικών (Εικ.33). Οι καμπύλες εξέλιξης του ρυθμού παραγωγής καπνού έχουν παρόμοια μορφή με εκείνες του ρυθμού έκλυσης θερμότητας.

Πιο αναλυτικά στην Εικ.33 η μορφή των γραφημάτων δείχνει μια απότομη αύξηση του SPR στα πρώτα δευτερόλεπτα της καύσης πολύ κοντά – αμέσως μετά το χρόνο έναυσης. Στη συνέχεια ακολουθείται μια πτωτική τάση προς χαμηλότερες τιμές. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση των δοκιμών δρυός και ιρόκο δεύτερες κορυφές εμφανίζονται προς τα τελευταία στάδια της δοκιμής, κάτι που έχει επιβεβαιωθεί και από τη βιβλιογραφία. Ίδια συμπεριφορά παρατηρήθηκε νωρίτερα και στα γραφήματα του ρυθμού έκλυσης θερμότητας. Μια διαφοροποίηση παρατηρείται στην περίπτωση του έλατου σε ρυθμό  $50\text{kW/m}^2$ . Ενώ στην ιδιότητα του HRR δεν φάνηκε έντονα μια δεύτερη κορυφή εδώ στην περίπτωση του SPR προκύπτει πολύ πιο χαρακτηριστικά.

Από την άλλη πλευρά στα  $75\text{kW/m}^2$  δεν παρατηρείται κάτι αντίστοιχο, περισσότερο φαίνεται μια ευρύτερη περιοχή λίγο πιο αυξημένων τιμών του SPR. Τέλος για την περίπτωση του πεύκου η δεύτερη κορυφή στο SPR απουσιάζει όπως συμβαίνει και με το HRR που δόθηκε νωρίτερα.

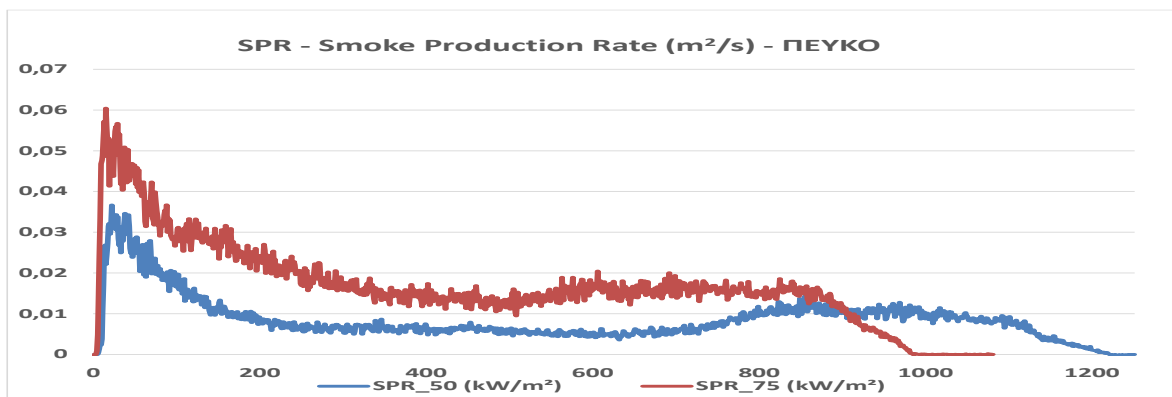
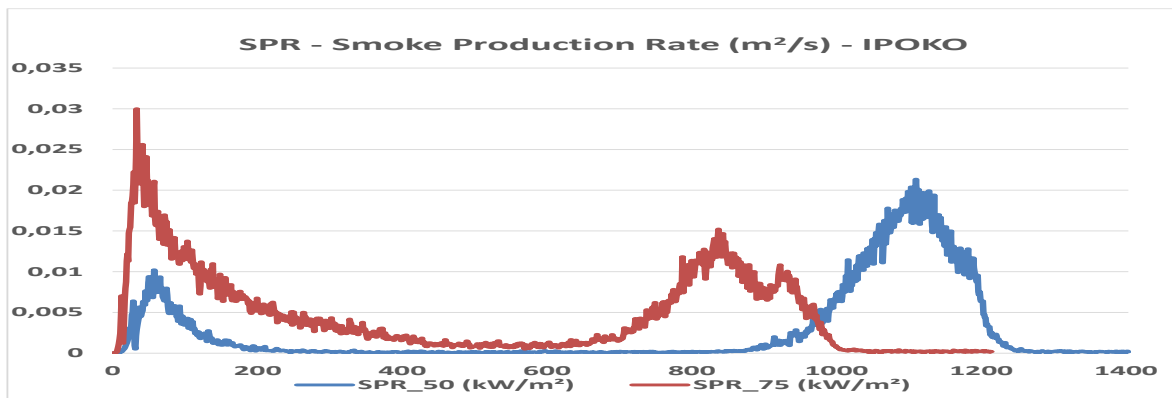
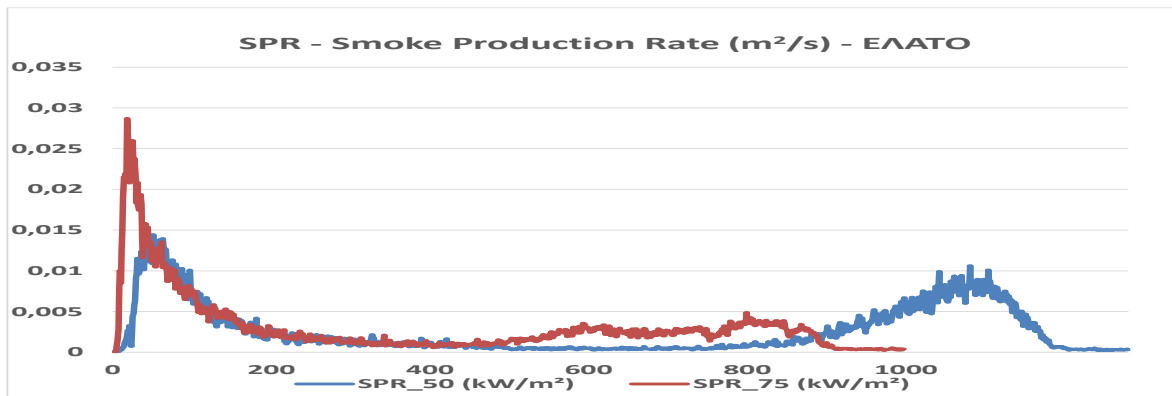
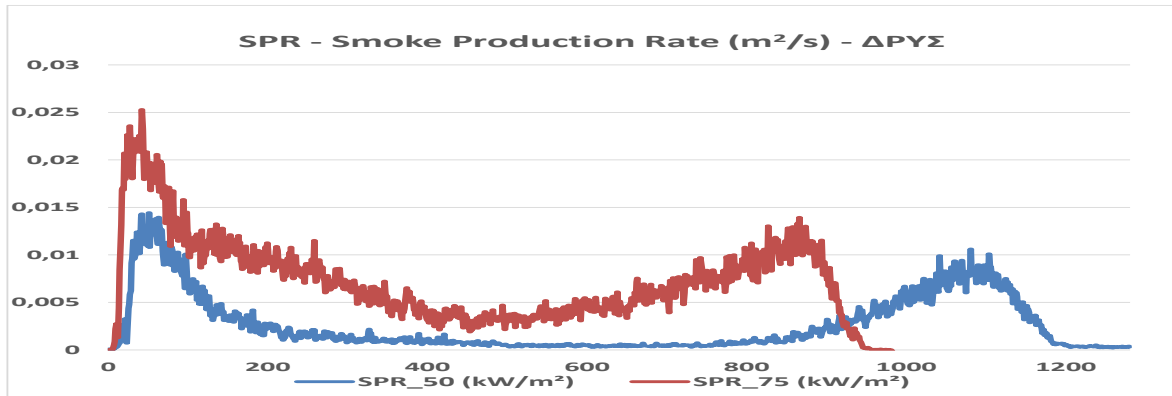
Γενικά τα προφίλ του SPR ξεκινούν με μια απότομη κορυφή κατά την ανάφλεξη και καθώς η εκτεθειμένη επιφάνεια καίγεται, το SPR πέφτει σε χαμηλότερες τιμές. Αφού το θερμικό κύμα διασχίσει πλήρως το πάχος του ξύλου, η κάτω πλέον πλευρά του δείγματος φτάνει σε θερμοκρασία πυρόλυσης, δημιουργώντας έτσι μια δεύτερη, ευρύτερη και στις περιπτώσεις δρυός και ιρόκο αρκετά έντονη. Οι χαμηλότερες τιμές του SPR στους ενδιάμεσους χρόνους μπορεί να σημαίνει ότι μετά την απανθράκωση του επιφανειακού στρώματος του ξύλου (charring) αυτό λειτουργεί ως μονωτικό ως προς τον καπνό κατά την εξέλιξη της καύσης. Όταν όμως η καύση φθάσει σε περιοχές των δοκιμίων κοντά στην κάτω επιφάνεια του δοκιμίου τότε ο ρυθμός παραγωγής καπνού (SPR) λαμβάνει πάλι αυξημένες τιμές. σε κάποια είδη ξύλου όπως δρυς και ιρόκο οι αυξημένες τιμές είναι αρκετά έντονες με εμφάνιση δευτέρων μεγίστων ενώ σε άλλα είδη όπως στο πεύκο οι αυξημένες τιμές καλύπτουν χρονικά μια πιο ευρεία περιοχή.

Στις Εικ.34,35 δίνονται συγκριτικά τα αποτελέσματα του SPR για τα 4 είδη ξύλου ως προς τη ροή ακτινοβολούμενης θερμότητας. Στην Εικ.34 τα αποτελέσματα αναφέρονται σε ροή θερμότητας  $50\text{kW/m}^2$  ενώ στην Εικ.35 τα αποτελέσματα αναφέρονται σε ροή θερμότητας  $75\text{kW/m}^2$ . Ειδικότερα στην Εικ.30 φαίνεται ότι η αρχική κορυφή του SPR που συναρτάται με το χρόνο ανάφλεξης συμβαίνει για το πεύκο πρώτα ενώ πιο αργά φαίνεται να αναφλέγεται το ιρόκο ανάμεσα στα 4 είδη που δοκιμάστηκαν. Η συμπεριφορά της ιδιότητας του SPR είναι ακριβώς ίδια με τη συμπεριφορά του HRR όπως δόθηκε νωρίτερα (Εικ.28).

Μια αξιοσημείωτη παρατήρηση είναι ότι ο ρυθμός παραγωγής καπνού για το έλατο και το ιρόκο κατά την έναυση των δοκιμίων δίνει μια βαθμίδα αύξησης σε δύο χρόνους, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα είδη που αυτό μπορεί να συμβαίνει αλλά όχι με τόσο χαρακτηριστικό τρόπο.

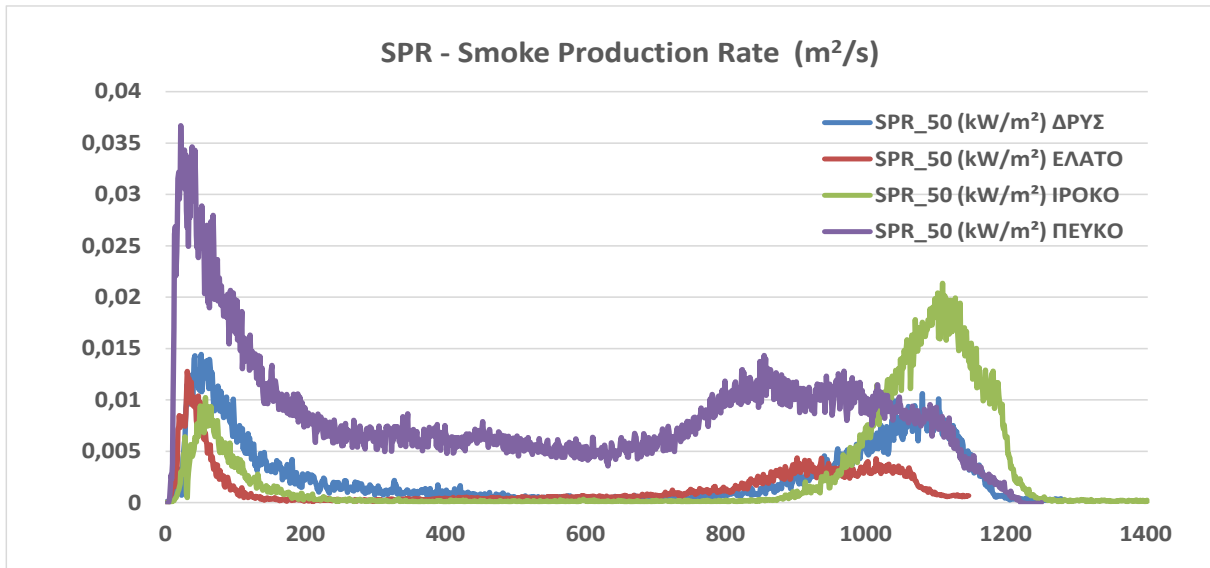
Ακόμα στην Εικ.34 το δοκίμιο ιρόκο παρουσιάζει διαφοροποίηση ως προς τα υπόλοιπα είδη αποδίδοντας υψηλότερη δεύτερη κορυφή του SPR ως προς την κορυφή που αντιστοιχεί στην ανάφλεξη. Αντίθετα η δρυς εμφανίζει τη δεύτερη κορυφή σε χαμηλότερη τιμή SPR ως προς την ανάφλεξη ενώ για το έλατο και το πεύκο φαίνονται ευρύτερες περιοχές αυξημένου SPR χωρίς να φαίνονται ιδιαίτερες εμφανείς κορυφές. Οι παρατηρήσεις αυτές είναι παρόμοιες με εκείνες που καταγράφηκαν για το HRR στην ίδια ροή θερμότητας των  $50\text{kW/m}^2$ . Φαίνεται ότι τα μεγέθη των HRR, SPR διατηρούν ίδια συμπεριφορά.

Στην Εικ.35 στην περίπτωση των  $75\text{kW/m}^2$  δευτερογενείς κορυφές στον δείκτη SPR εμφανίζονται για τα είδη της δρυός και του ιρόκο που είναι όμως σε χαμηλότερα επίπεδα ως ορισ τις τιμές που αντιστοιχούν στην ανάφλεξη.

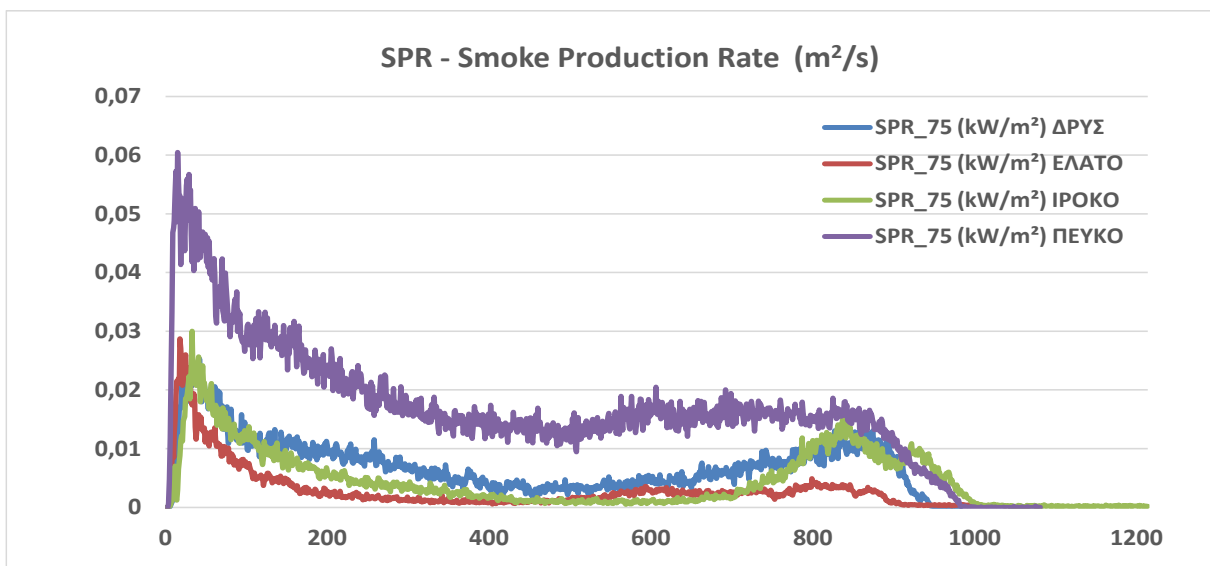


Εικόνα 33: Ρυθμός Παραγωγής Καπνού για όλα τα ζεύγη δοκιμών (Δρυς, Έλατο, Ιρόκο, Πεύκο)





Εικόνα 34: Ρυθμός Παραγωγής Καπνού σε ροή ακτινοβλούμενης θερμότητας  $50 kW/m^2$ .



Εικόνα 35: Ρυθμός Παραγωγής Καπνού σε ροή ακτινοβλούμενης θερμότητας  $75 kW/m^2$ .

## 7. Ανασκόπηση – Συμπεράσματα

Γενικά η φωτιά περιγράφεται από τα 4 στάδια (ανάφλεξη, ανάπτυξη, περίοδος έκλαμψης – μεταίχιμο, πλήρης ανάπτυξη και απόσβεση. Σε πολλές εφαρμογές τα είδη του ξύλου αντιμετωπίζονται ως δομικά στοιχεία με την έννοια ότι χρησιμοποιούνται τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους συνήθως ως διακοσμήσεις ή ως θερμομονωτικά υλικά εσωτερικών χώρων.

Το ξύλο δεν είναι τόσο επικίνδυνο υλικό όσο πιστεύεται. Όταν καίγεται, δημιουργείται ένα επιφανειακό απανθρακωμένο στρώμα (charring), μικρής αγωγιμότητας, που καθυστερεί την πυρόλυση του υποκειμένου υλικού. Η απανθράκωση αυτή προχωρεί με ρυθμό 0,6 έως 0,7 mm/min γενικά. Το καιόμενο ξύλο παράγει μεγάλες ποσότητες καπνού, που η πυκνότητα του εξαρτάται από το ρυθμό καύσης, τη θερμοκρασία και την ποσότητα του προσαγόμενου αέρα.

Βελτίωση της συμπεριφοράς του ξύλου, τουλάχιστον κατά την αρχική φάση της πυρκαγιάς, μπορεί να γίνει και με επιφανειακές επεξεργασίες (κατάλληλα χρώματα ή εμποτισμό). Με την επεξεργασία αυτή, επιδιώκεται η μείωση της ταχύτητας ανάπτυξης της καύσης, ή και εξάπλωσης τη φωτιάς, ώστε να δοθεί ο απαραίτητος χρόνος για την εκκένωση κτιρίων ή και καταπολέμηση της επερχόμενης φωτιάς. Επειδή όμως τα ξύλα τελικά καίγονται, η πιθανή αντιπυρική επεξεργασία τους δεν συνεπάγεται ελάττωση του θερμικού φορτίου του χώρου. Τα ξύλα που χρησιμοποιούνται στις δομικές κατασκευές μπορούν να υποστούν προληπτική επεξεργασία, που αυξάνει σημαντικά την πυραντοχή τους.

Οι περισσότεροι διαδεδομένοι τρόποι επεξεργασίας ξύλου με στόχο τη βελτίωση της συμπεριφοράς του σε περίπτωση πυρκαγιάς είναι ο εμποτισμός με αντιπυρικές ουσίες. Για τη βελτίωση των αντιπυρικών ιδιοτήτων του ξύλου χρησιμοποιούνται χημικές ουσίες, συνήθως υδατοδιαλυτά άλατα με βάση τη θειική αμμωνία  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  και διάφοροι φωσφορικοί ανάμικτες, μαζί με κάποιο αντιοξειδωτικό παράγοντα, διάφορα συντηρητικά του ξύλου, καθώς και άλλες αντιπυρικές ουσίες, όπως Βορικό οξύ ή χλωριούχος ψευδάργυρος ( $\text{ZnCl}_2$ ). Τα άλατα αυτά εφαρμόζονται με πίεση, γιατί με μεθόδους εφαρμογής χωρίς πίεση (με επάλειψη, ψεκασμό, εμβάπτιση, κλπ.) δεν επιτυγχάνεται ικανοποιητικός βαθμός εμποτισμού.

Προς το σκοπό αξιολόγησης υλικών κατασκευών και πιο συγκεκριμένα διαφόρων ειδών ξύλου που χρησιμοποιούνται και χαρακτηρίζονται ως δομικά υλικά γίνονται δοκιμές με βάση διεθνή πρότυπα σε πειράματα μικρής κλίμακας – εργαστηρίου (bench scale) η και σε πειράματα πλήρους κλίμακας (full scale).

Στην παρούσα εργασία έγιναν δοκιμές ξύλων σε κλίμακα εργαστηρίου με το Θερμιδόμετρο Κώνου ακολουθώντας το πρότυπο ISO 5660. Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές αντίδρασης στη φωτιά για 4 είδη ξύλου σε 2 ροές ακτινοβολούμενης θερμότητας δηλ. σε  $50 \text{ kW/m}^2$  και σε  $75 \text{ kW/m}^2$ . Η ροή θερμότητας των  $50 \text{ kW/m}^2$  συνήθως επιλέγεται με βάση την υπάρχουσα βιβλιογραφία, ως μία τυπική ένταση φωτιάς σε κλειστούς χώρους (enclosures) καθώς και για σύγκριση των αποτελεσμάτων του

Θερμιδόμετρου Κώνου με άλλες μεθόδους όπως η δοκιμή κατάταξης υλικών μεμονωμένου καιόμενου αντικειμένου (SBI). Επίσης, η συγκεκριμένη ροή θερμότητας προτείνεται και στο EN ISO-16755 “Durability of reaction to fire performance- Classes of fire-retardant treated wood products in interior and exterior end use applications” για μετρήσεις αντίδρασης στη φωτιά σύμφωνα με το πρότυπο ISO-5660. Η δεύτερη και υψηλότερη ροή θερμότητας των  $75 \text{ kW/m}^2$  επιλέγεται επίσης ως μια ροή θερμότητας που μπορεί να περιγράψει πιο έντονες συνθήκες φωτιάς όπως π.χ μια δασική πυρκαγιά όπου τα θερμικά φορτία αναμένεται να είναι πολύ μεγαλύτερα, δηλ. ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας να λαμβάνει πολύ μεγαλύτερες τιμές από εκείνες που αντιστοιχούν σε μια φωτιά που αναπτύσσεται σε κλειστό χώρο.

Καταρχήν ελήφθησαν φωτογραφίες της υπολειμματικής δομής των υλικών που δοκιμάστηκαν (Δρυς, Ιρόκο, Πεύκο, Έλατο). Σε ότι αφορά τα δοκίμια δρυός, φαίνονται καθαρά ρηγματώσεις – ρωγμές επί των υπολειμμάτων πιθανότητα στη διεύθυνση των ινών του φυσικού ξύλου κατά την οριζόντια διεύθυνση. Επίσης δεν παρατηρήθηκαν διαφοροποιήσεις ως προς τα επίπεδα ακτινοβολίας. Μετά το πέρας των πειραμάτων παρατηρήθηκε μια παραμόρφωση και διόγκωση των υπολειμμάτων προς την πηγή ακτινοβολίας. Σε ότι αφορά τα δοκίμια Ιρόκο προέκυψε σημαντική διαφορά ως προς τα υπολείμματα δρυός. Στο συγκεκριμένο είδος ιρόκο οι ρηγματώσεις είναι πολύ πιο έντονες κάτι που δείχνει ότι η καύση έχει προχωρήσει σε μεγαλύτερο βαθμό εντός των δοκιμίων ιρόκο. Επίσης ως προς τη ροή θερμότητας προέκυψε ότι στο υψηλότερο επίπεδο ακτινοβολίας το ρήγμα στην κεντρική περιοχή διευρύνεται προφανώς υποδεικνύοντας ότι η καύση έχει φτάσει στην κάτω επιφάνεια του δοκιμίου νωρίτερα χρονικά. Παρόμοια ήταν και η συμπεριφορά των δοκιμίων Πεύκου, στο οποίο ρηγματώσεις παρατηρήθηκαν και στην εγκάρσια διεύθυνση της επιφάνειας του δοκιμίου που εκτέθηκε σε υψηλότερη ροή ακτινοβολίας. Η περίπτωση του Έλατου μπορεί να ειπωθεί ως μια ενδιάμεση κατάσταση ως προς τις παραπάνω περιγραφόμενες με την έννοια ότι η αύξηση της ροής ακτινοβολίας δεν δείχνει αντίστοιχη αύξηση στις δημιουργούμενες ρωγμές επί της επιφάνειας. Πιθανόν να είναι περισσότερες αλλά όχι εύκολα ανιχνεύσιμες. Αυτό σημαίνει ότι για το Έλατο η έκθεση σε μεγαλύτερη ακτινοβολούμενη ροή θερμότητας άνω των  $50 \text{ kW/m}^2$  δεν οδηγεί πιθανά σε επιπλέον στάδια καύσης. Πυρόλυσης.

Από πλευράς πειραματικών αποτελεσμάτων το Θερμιδόμετρο Κώνου δίνει μεγάλο πλήθος αποτελεσμάτων. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας τα μεγέθη ενδιαφέροντος ήταν ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας (HRR), η ολική έκλυση θερμότητας (THR) και ο ρυθμός παραγωγής καπνού (SPR). Τα εν λόγω μεγέθη καταγράφηκαν κατά τη διαδικασία των πειραμάτων, δίνονται σε διαγράμματα και σχολιάζονται ως προς τη συμπεριφορά τους κατά τα διάφορα στάδια της καύσης.

Τα προφίλ του HRR ξεκινούν δηλαδή με μια απότομη κορυφή κατά την ανάφλεξη και καθώς η επιφάνεια χαράζεται, το HRR πέφτει σε κάποια ελάχιστη τιμή. Αφού το θερμικό κύμα διασχίσει πλήρως το πάχος του ξύλου, η κάτω πλέον πλευρά του δείγματος φτάνει σε θερμοκρασία πυρόλυσης, δημιουργώντας έτσι μια δεύτερη, ευρύτερη και στις περιπτώσεις δρυός και ιρόκο αρκετά έντονη. Οι χαμηλότερες τιμές του HRR στους ενδιάμεσους χρόνους μπορεί να οφείλεται στο φαινόμενο charring δηλ. στο ότι κατά την απανθράκωση του επιφανειακού στρώματος του ξύλου αυτό λειτουργεί ως μονωτικό

στην εξέλιξη της καύσης απελευθερώνοντας μικρότερα ποσά θερμότητας. Όταν όμως η καύση φθάσει στην κάτω επιφάνεια του δοκιμίου τότε ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας (HRR) λαμβάνει πάλι αυξημένες τιμές, κάτι που υποδεικνύεται με την δεύτερη κορυφή λίγο πριν το σβήσιμο των δοκιμίων.

Ως προς το μέγεθος της ολικής έκλυσης θερμότητας (THR) γενικό χαρακτηριστικό για όλα τα είδη ξύλων είναι η μεγαλύτερη κλίση του THR ως προς το χρόνο για τη υψηλή ροή ακτινοβολούμενης θερμότητας των  $75\text{kW/m}^2$ . Προέκυψε ότι για τη ροή θερμότητας των  $50\text{kW/m}^2$  η δρυς και το πεύκο ακολουθούν σχεδόν την ίδια συμπεριφορά στην εξέλιξη του THR με μεγαλύτερη κλίση ως προς το ιρόκο και το έλατο που φαίνεται και αυτά να ακολουθούν μια μεταξύ τους παρόμοια εξέλιξη του THR με μια μικρότερη κλίση. Αναφορικά με τη ροή θερμότητας των  $75\text{kW/m}^2$  αυτή η διακριτοποίηση ως προς τη συμπεριφορά του THR δεν προέκυψε. Περισσότερο θα μπορούσε να ειπωθεί ότι όλες οι καμπύλες του THR για τα διαφορετικά είδη ξύλου που δοκιμάστηκαν ακολουθούν την ίδια πορεία – εξέλιξη, δηλ. η συμπεριφορά τους θα μπορούσε να προσομοιαστεί από μια και μόνο καμπύλη. Πάντως με μια πιο αυστηρή ματιά φαίνεται ότι η κλίση του THR για το πεύκο είναι η μεγαλύτερη ακολουθούμενη από το ιρόκο ενώ διαφοροποίηση μεταξύ ελάτου και δρυός δεν φαίνεται ιδιαίτερα.

Τα προφίλ του SPR – ρυθμού παραγωγής καπνού δείχνουν μια απότομη αύξηση του SPR στα πρώτα δευτερόλεπτα της καύσης πολύ κοντά – αμέσως μετά το χρόνο έναυσης. Στη συνέχεια ακολουθείται μια πτωτική τάση προς χαμηλότερες τιμές. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση των δοκιμίων δρυός και ιρόκο δεύτερες κορυφές εμφανίζονται προς τα τελευταία στάδια της δοκιμής, κάτι που έχει επιβεβαιωθεί και από τη βιβλιογραφία. Ίδια συμπεριφορά παρατηρήθηκε νωρίτερα και στα γραφήματα του ρυθμού έκλυσης θερμότητας. Μια διαφοροποίηση παρατηρείται στην περίπτωση του ελάτου σε ρυθμό  $50\text{kW/m}^2$ . Ενώ στην ιδιότητα του HRR δεν φάνηκε έντονα μια δεύτερη κορυφή στην περίπτωση του SPR προκύπτει πολύ πιο χαρακτηριστικά. Από την άλλη πλευρά στα  $75\text{kW/m}^2$  δεν παρατηρείται κάτι αντίστοιχο, περισσότερο φαίνεται μια ευρύτερη περιοχή λίγο πιο αυξημένων τιμών του SPR. Τέλος για την περίπτωση του πεύκου η δεύτερη κορυφή στο SPR απουσιάζει όπως συμβαίνει και με το HRR

Γενικά τα προφίλ του SPR ξεκινούν με μια απότομη κορυφή κατά την ανάφλεξη και καθώς η εκτεθειμένη επιφάνεια καίγεται, το SPR πέφτει σε χαμηλότερες τιμές. Αφού το θερμικό κύμα διασχίσει πλήρως το πάχος του ξύλου, η κάτω πλέον πλευρά του δείγματος φτάνει σε θερμοκρασία πυρόλυσης, δημιουργώντας έτσι μια δεύτερη, ευρύτερη και στις περιπτώσεις δρυός και ιρόκο αρκετά έντονη. Οι χαμηλότερες τιμές του SPR στους ενδιάμεσους χρόνους μπορεί να σημαίνει ότι μετά την απανθράκωση του επιφανειακού στρώματος του ξύλου (charring) αυτό λειτουργεί ως μονωτικό ως προς τον καπνό κατά την εξέλιξη της καύσης. Όταν όμως η καύση φθάσει σε περιοχές των δοκιμίων κοντά στην κάτω επιφάνεια του δοκιμίου τότε ο ρυθμός παραγωγής καπνού (SPR) λαμβάνει πάλι αυξημένες τιμές. σε κάποια είδη ξύλου όπως δρυς και ιρόκο οι αυξημένες τιμές είναι αρκετά έντονες με εμφάνιση δεύτερων μεγίστων ενώ σε άλλα είδη όπως στο πεύκο οι αυξημένες τιμές καλύπτουν χρονικά μια πιο ευρεία περιοχή.

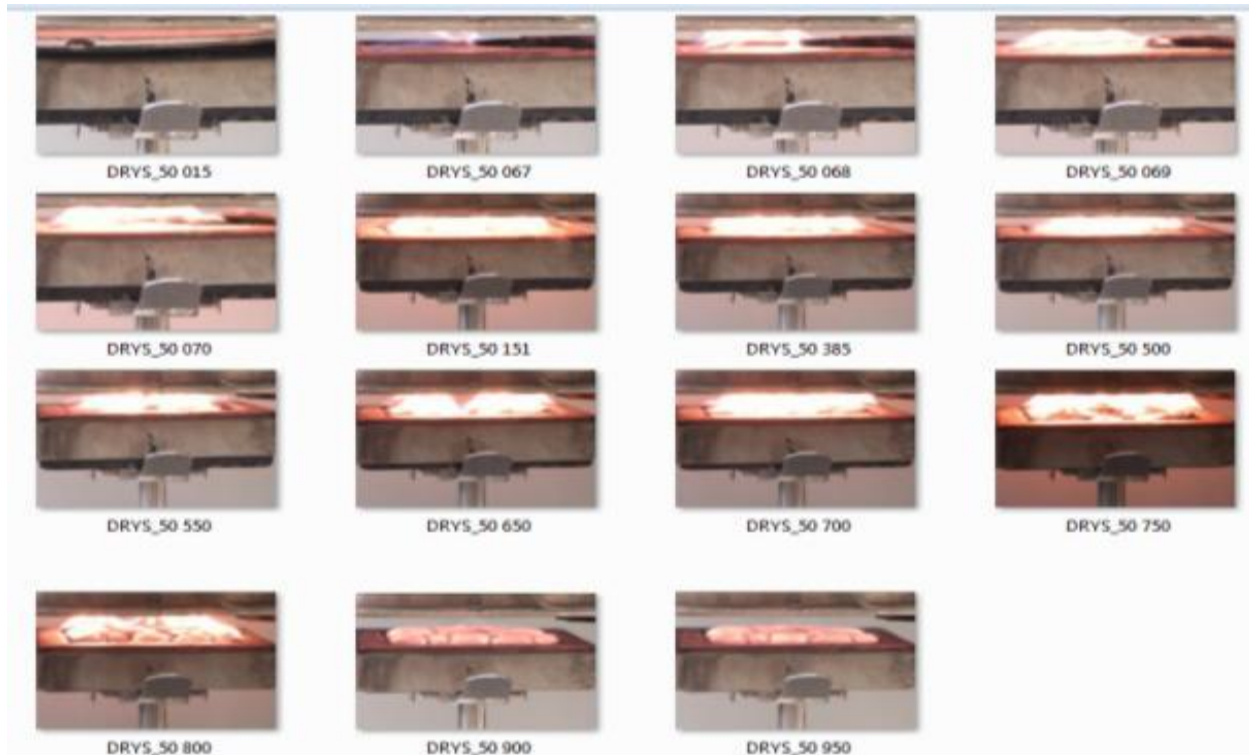
Η αρχική κορυφή του SPR που συναρτάται με το χρόνο ανάφλεξης συμβαίνει για το πεύκο πρώτα ενώ πιο αργά φαίνεται να αναφλέγεται το ιρόκο ανάμεσα στα 4 είδη που δοκιμάστηκαν. Η συμπεριφορά της ιδιότητας του SPR είναι συνήθως αντίστοιχη με τη συμπεριφορά του HRR. Μια αξιοσημείωτη παρατήρηση είναι ότι ο ρυθμός παραγωγής καπνού για το έλατο και το ιρόκο κατά την έναυση των δοκιμίων δίνει μια βαθμίδα αύξησης σε δύο χρόνους, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα είδη που αυτό μπορεί να συμβαίνει αλλά όχι με τόσο χαρακτηριστικό τρόπο. Το δοκίμιο ιρόκο παρουσιάζει διαφοροποίηση ως προς τα υπόλοιπα είδη αποδίδοντας υψηλότερη δεύτερη κορυφή του SPR ως προς την κορυφή που αντιστοιχεί στην ανάφλεξη. Αντίθετα η δρυς εμφανίζει τη δεύτερη κορυφή σε χαμηλότερη τιμή SPR ως προς την ανάφλεξη ενώ για το έλατο και το πεύκο φαίνονται ευρύτερες περιοχές αυξημένου SPR χωρίς να φαίνονται ιδιαίτερες εμφανείς κορυφές. Οι παρατηρήσεις αυτές είναι παρόμοιες με εκείνες που καταγράφηκαν για το HRR στην ίδια ροή θερμότητας των  $50\text{kW/m}^2$ . Φαίνεται ότι τα μεγέθη των HRR, SPR διατηρούν ίδια συμπεριφορά. Στην περίπτωση της υψηλότερης ροής ακτινοβολίας των  $75\text{kW/m}^2$  καταγράφηκαν δευτερογενείς κορυφές στον δείκτη SPR που εμφανίζονται για τα είδη της δρυός και του ιρόκο που είναι όμως σε χαμηλότερα επίπεδα ως προς τις τιμές που αντιστοιχούν στην ανάφλεξη.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

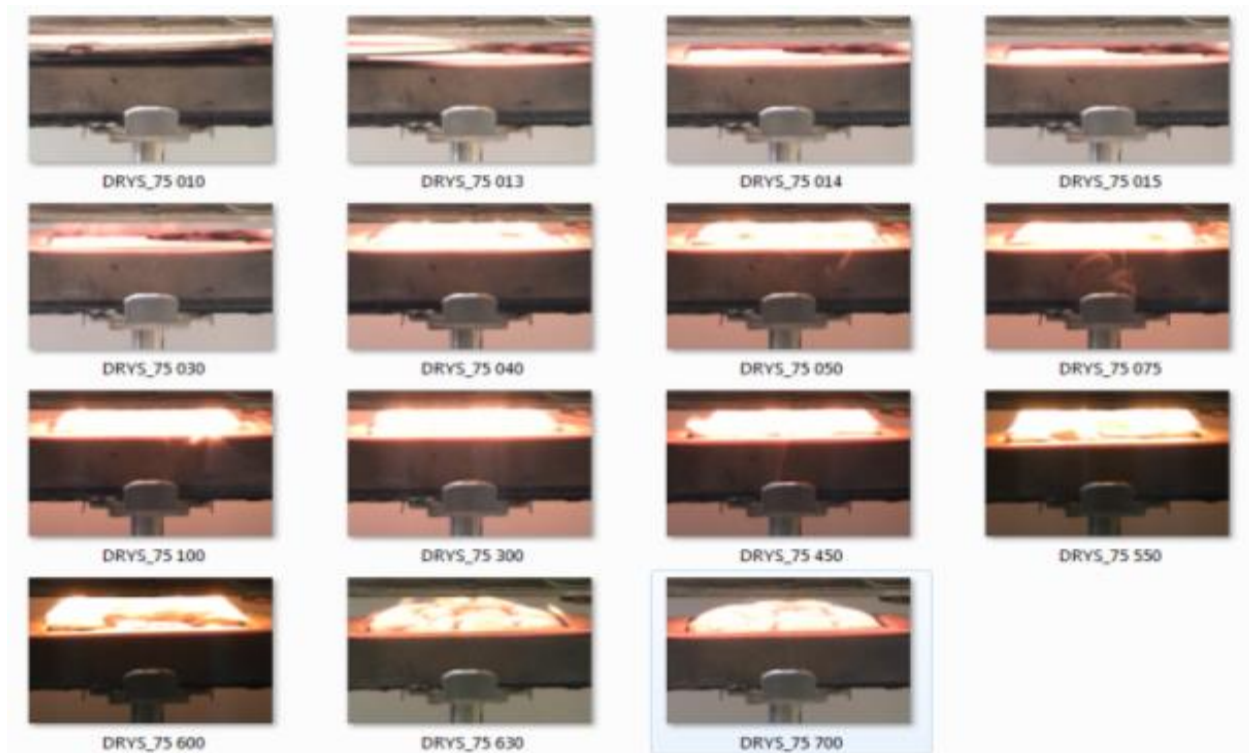
Στο σημείο αυτό δίνονται ακολουθίες επιλεγμένων φωτογραφιών που έχουν ληφθεί από βιντεοσκόπηση της πειραματικής διαδικασίας κατά την καύση των δοκιμίων. Δίνονται φωτογραφίες για καθένα από τα 4 είδη ξύλου που δοκιμάστηκαν ως προς την ροή θερμότητας ακτινοβολίας στην οποία τέθηκαν. Οι χρόνοι που αναφέρονται είναι σε sec ώστε να φαίνεται η χρονική εξέλιξη της καύσης. Έγινε προσπάθεια να καταγραφούν τα σημαντικότερα στιγμιότυπα στα χρονικά σημεία στα οποία εντοπίστηκαν κάποιες αλλαγές είτε στον τρόπο καύσης είτε στη μορφή των δοκιμίων κατά την καύση τους.

Η κάμερα βιντεοσκόπησης έχει τεθεί ώστε να βλέπει στο λίγο χώρο - την μικρή απόσταση που χωρίζει τον κώνο παροχής θερμότητας και το δοκίμιο.

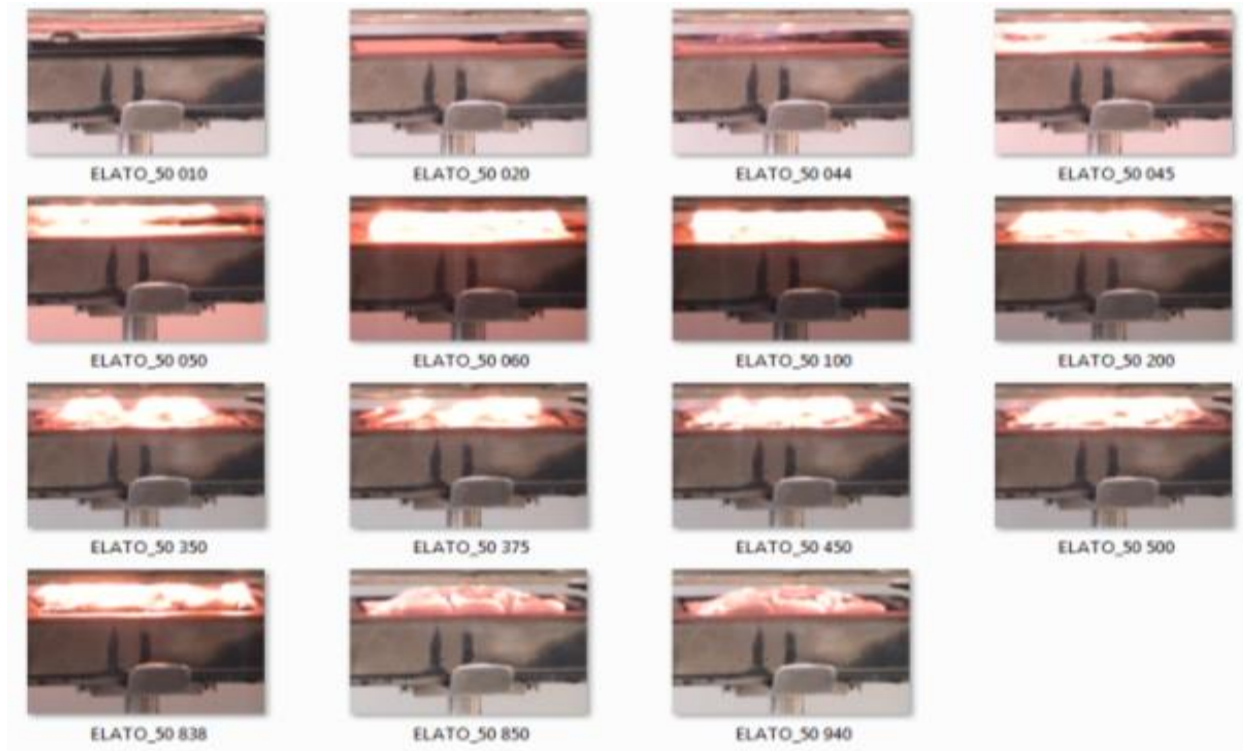
## Βίντεο καύσης – ΔΡΥΣ (50kW/m<sup>2</sup>)



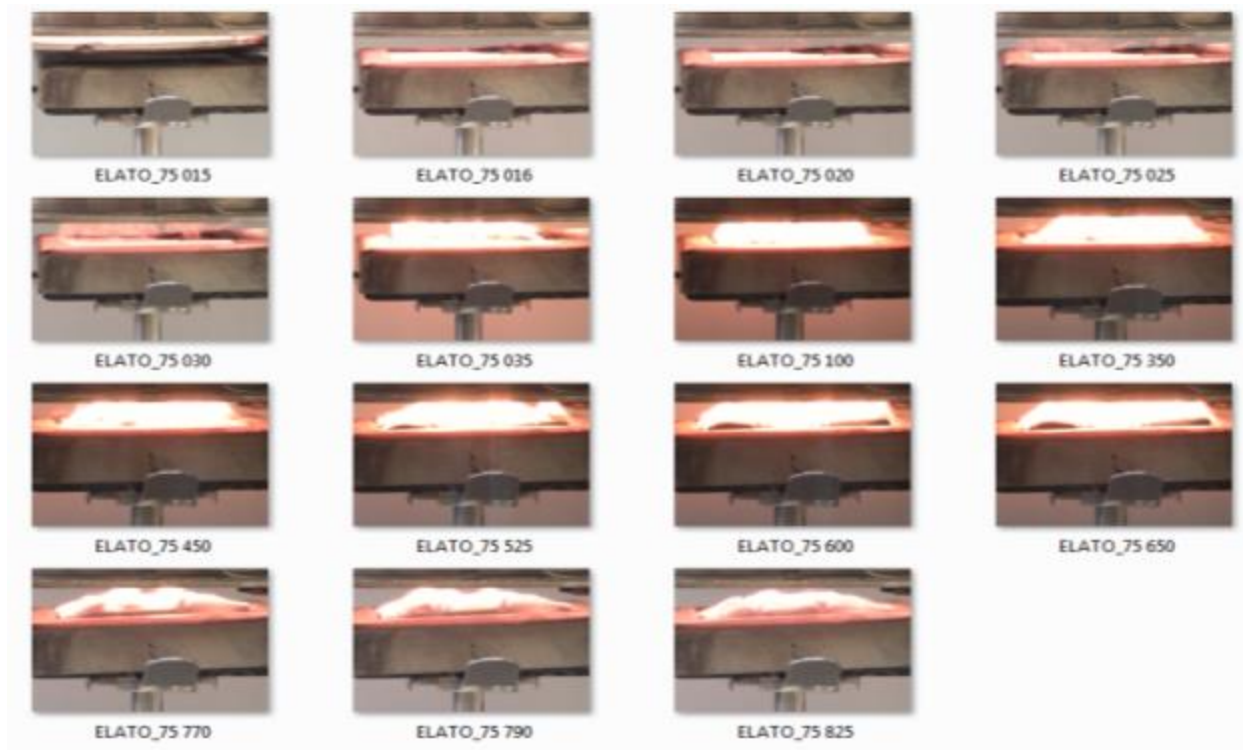
## Βίντεο καύσης – ΔΡΥΣ (75kW/m<sup>2</sup>)



## Βίντεο καύσης – ΕΛΑΤΟ (50kW/m<sup>2</sup>)

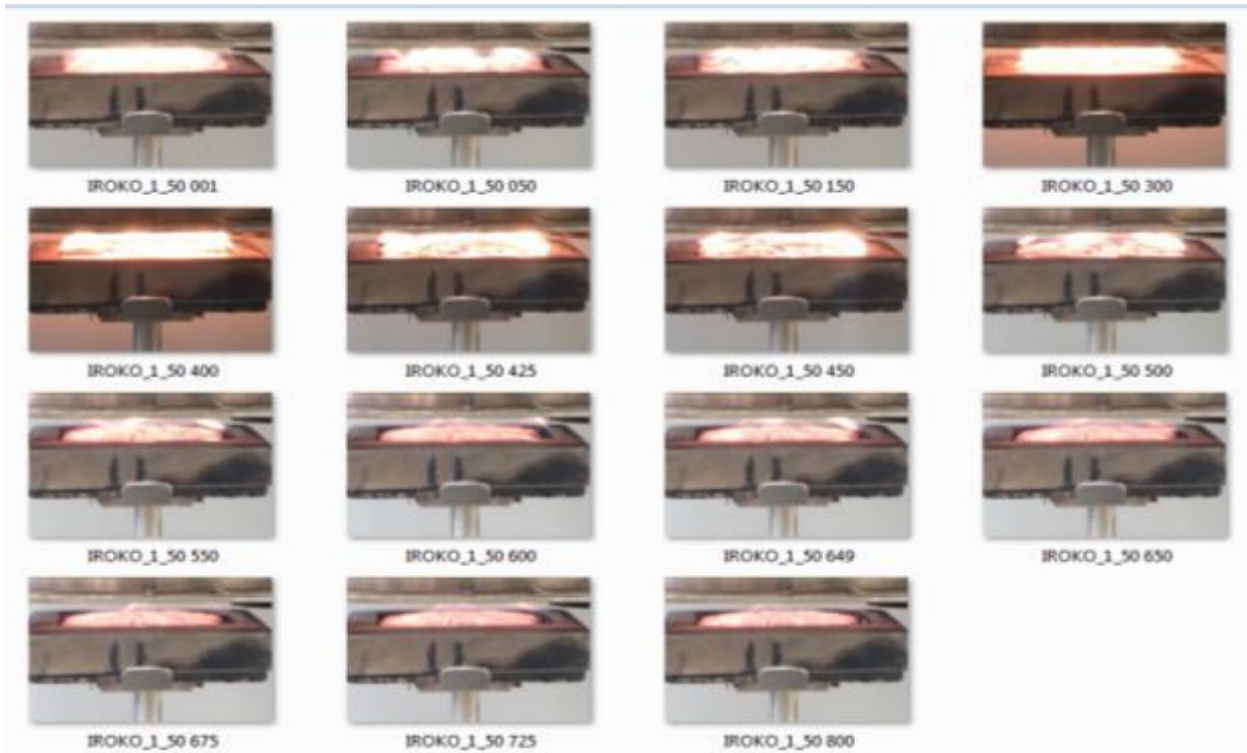


## Βίντεο καύσης – ΕΛΑΤΟ (75kW/m<sup>2</sup>)

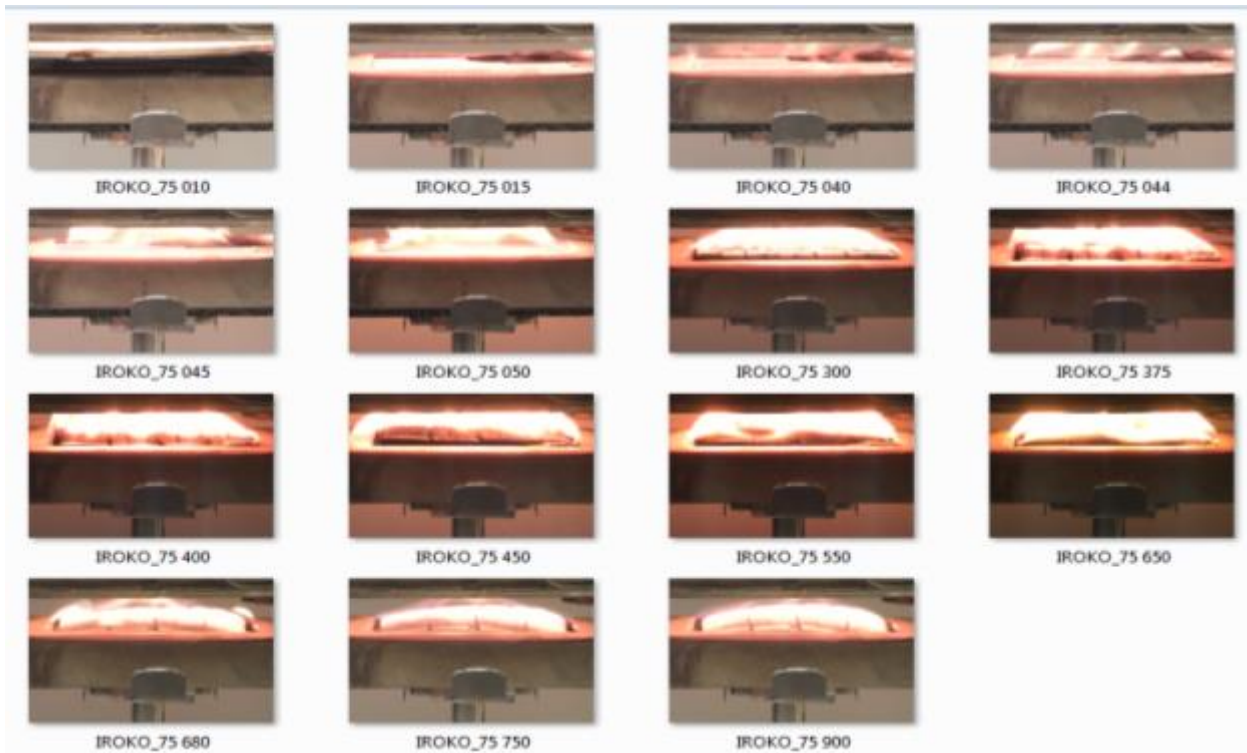




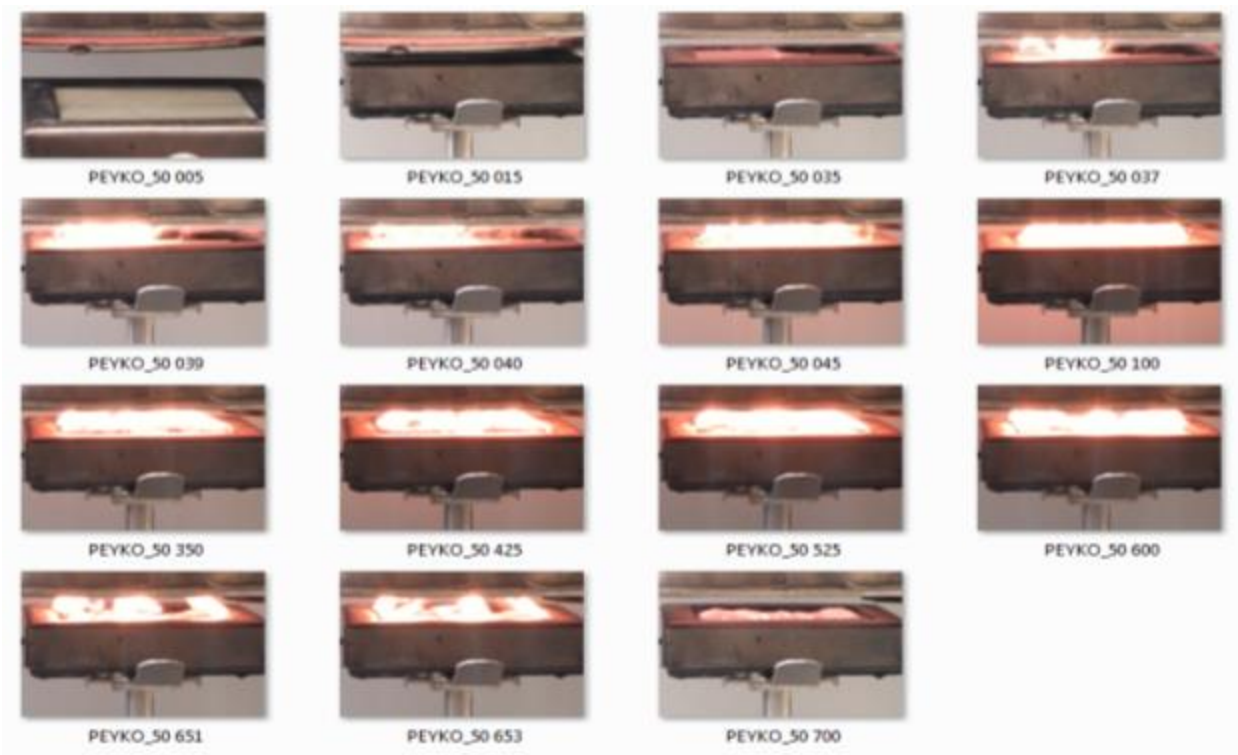
## Βίντεο καύσης – ΙΡΟΚΟ (50kW/m<sup>2</sup>)



## Βίντεο καύσης – ΙΡΟΚΟ (75kW/m<sup>2</sup>)



## Βίντεο καύσης – ΠΕΥΚΟ (50kW/m<sup>2</sup>)



## Βίντεο καύσης – ΠΕΥΚΟ (75kW/m<sup>2</sup>)



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κούτμος Π., (2015), Εισαγωγή στις βασικές αρχές της θεωρίας και της τεχνολογίας της καύσης.
2. Φούντη Μ., (2004), Εισαγωγή στα φαινόμενα καύσης.
3. Babrauskas V.,(1992) The generation of CO in bench-scale fire tests and the prediction for real-scale fires. In: Proceedings of the International Fire & Materials Conference, London: Interscience Communications Ltd.
4. Babrauskas V., B.C. Levin and R.G. Gann. (1986) A new approach to fire toxicity data for hazard evaluation',ASTM Standardisation News.
5. Bjorn S.,(2007) , The Development of a European Fire Classification System for Building Products Test Methods and Mathematical Modelling.
6. CEC Technical Committee 89/106/TC2: Interpretative Document, Safety in the case of fire. Document TC2/021, Brussels, September 1991.
7. Drysdale D. , (1999), An introduction to fire dynamics.
8. EN 13823 Reaction to fire tests for building products - Building products excluding floorings - exposed to the thermal attack by a single burning item, CEN, (2002).
9. EN 13501-1 :2001 E. Fire classification of construction products and building elements – Part 1: Classification using test data from reaction to fire tests. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium,2002.
10. European Standard, (2009), Reaction to fire tests for buildings products, building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item.
11. Fire Testing Technology Limited , (2006) , Users Guide for the ConeCale Software package , version 5.
12. Grayson S. Cone Calorimeter Test Data Report SBI Materials, Queen Mary and Westfield College, London,U.K., 1999.
13. Hansen S, Hovde P. Prediction of smoke production based on statistical analyses and mathematical modelling. Interflam Proceedings 2001. Interscience communications Ltd: London, 2001.
14. Heskestad , AW, Hovde, PJ, (1993), Evaluation of smoke test methods for classification of building products. Nordtest Technical Report 220, Approved 1993-10.ISBN 82-91412-00-6. University of Trondheim, Norway.

15. Ostaman, B.A-L & Tsantaridis L.D., (1991) Smoke production in the cone calorimeter and thw romm fire test, J. Fire Safety 17, 27-43
16. Quintiere, J.G. (1982) Smoke measurements: An assessment of correlations between laboratory and full-scale experiments. Fire and Materials 6, 145 -160.
17. Quintiere J., (2006), Fundamentals of fire phenomena, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, England.
18. Quintiere J.G., (1988), The application of flame spread theory to predict material performance.
19. Rasbash, D.J. & Drysdale, D.D.(1982), Fundamentals of smoke production. Fire Safety J.5, 77 - 86
20. Scharfel B. and Hull R.T.,(2007), Development of fire-retarded materials, Interpretation of cone calorimeter data, Fire and materials.
21. Sundstrom, B., (1986) Full scale fire testing of surface materials, Swedish National Testing Institute, SP-Report 45

#### **ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ.**

- 1.[http://data.europa.eu/eli/req\\_del/2016/364/oj](http://data.europa.eu/eli/req_del/2016/364/oj)
- 2.[www.EuroclassSystem.com](http://www.EuroclassSystem.com)
- 3.[www.crepim.com](http://www.crepim.com)
- 4.[www.fibran.com](http://www.fibran.com)
- 5.[www.fire.gr/](http://www.fire.gr/) Fire Rescue News
- 6.[www.fire-testing.com](http://www.fire-testing.com)
- 7.[www.intersciencewiley.com](http://www.intersciencewiley.com)
- 8.[www.metrofoam.com/po](http://www.metrofoam.com/po)