



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ  
ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΣΤΗ ΦΩΤΙΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ  
ΞΥΛΕΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΙΑΣ  
ΚΩΝΟΥ**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΒΑΣΚΑΝΤΗΡΑΣ Α.Μ. 6942**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΓΙΑΝΝΑΔΑΚΗΣ  
ΠΔ407**

**ΠΑΤΡΑ,2020**



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του πρώην ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας και αναφέρεται στη πειραματική διερεύνηση της ιδιοτήτων αντίδρασης σε φωτιά κατασκευαστικών υλικών από ξύλο με την χρήση της μεθόδου Θερμιδομετρίας Κώνου.

Το ξύλο αποτελεί είναι ένα πολύ διαδεδομένο δομικό υλικό και ως εκ τούτου ο χαρακτηρισμός των ιδιοτήτων του κατά την αντίδραση του σε φωτιά αποτελεί σημαντικό κεφάλαιο για τη χρήση του σε κατασκευές. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, αρχικά μελετώνται τα δομικά υλικά και η συμπεριφορά τους έναντι της φωτιάς. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη και μεθοδολογία της θερμιδομετρίας κώνου, ενώ στο τέλος παρουσιάζεται η ανάλυση των πειραματικών μετρήσεων καθώς και τα εξαγόμενα συμπεράσματα.

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Αθανάσιο Γιανναδάκη, καθηγητή του Τμήματος Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πατρών) για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, για την πολύτιμη βοήθεια του, τις γνώσεις που μου μετέδωσε και την καθοδήγηση που μου προσέφερε για την πραγματοποίηση της Πτυχιακής εργασίας. Ευχαριστώ επίσης, το Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών για την παραχώρηση του εργαστηρίου Τεχνικής Θερμοδυναμικής για την εκπόνηση του πειράματος και τον κ. Αλέξανδρο Ρωμαίο που συνέβαλλε σε αυτό.

Βασκαντήρας Γεώργιος

Ιούλιος 2020

**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.

Ο Φοιτητής  
(Ονοματεπώνυμο)

.....

(Υπογραφή)



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος αυτής της πειραματικής διερεύνησης είναι η αντίδραση και η συμπεριφορά των ξυλωδών υλικών στο θερμιδόμετρο κώνου προκειμένου να αποφευχθούν τυχόν ατυχήματα ή επιπλοκές κατά τη διάθεσή τους στο ευρύ κοινό αλλά και για την ορθή τους χρήση από αυτό.

Η ανάπτυξη του θέματος εξελίσσεται σε τέσσερα κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται σαφής αναφορά στη φωτιά (καύση) και στο θεσμικό πλαίσιο (νομοθεσία, οδηγίες, πρότυπα) πυροπροστασίας και ταξινόμησης υλικών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται τα είδη ξύλου που χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία της πειραματικής διερεύνησης, καθώς και οι θερμικές και φυσικές ιδιότητές τους. Ακόμα γίνεται εκτενής αναφορά στη διαδικασία καύσης του ξύλου.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή της πειραματικής διάταξης θερμιδόμετρου κώνου και της πειραματικής διαδικασίας.

Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο καταγράφονται τα πειραματικά αποτελέσματα, γίνεται μελέτη και διαγραμματική αναπαράσταση αυτών καθώς και η σχετική ανάλυση συμπερασμάτων.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	iv
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	vi
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	viii
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ .....	xiv
1.1 ΓΕΝΙΚΑ .....	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>
1.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ .....	xiv
1.2.1 Μη εύφλεκτα υλικά.....	xiv
1.2.2 Εύφλεκτα υλικά.....	xiv
1.3 ΣΤΑΔΙΑ ΤΗΣ ΦΩΤΙΑΣ .....	xvi
1.3.1 Έκλαμψη.....	xvi
1.4 ΤΡΙΓΩΝΟ ΤΗΣ ΦΩΤΙΑΣ.....	xvii
1.5 ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ .....	xviii
1.6 ΠΑΧΟΣ ΤΟΥ ΚΑΙΓΟΜΕΝΟΥ ΥΛΙΚΟΥ .....	xx
1.7 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ.....	xx
1.8 ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ .....	xxi
1.8.1 Παθητική πυροπροστασία .....	xxi
1.8.3 Πυραντίσταση .....	xxii
1.9 ΔΟΚΙΜΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΣΤΗ ΦΩΤΙΑ .....	xxiii
1.9.1 Ευρωπαϊκές κλάσεις δομικών υλικών σχετικά με την αντίδραση τους στη φωτιά....	xxiii
1.9.2 Δείκτες κατάταξης υλικών και μετρήσεις σύμφωνα με τα νέα κριτήρια των ευρωκλάσεων.....	xxv
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΞΥΛΟ .....	xxviii
2.1 ΓΕΝΙΚΑ .....	xxviii
2.2 ΤΟ ΞΥΛΟ ΣΤΗΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑ .....	xxviii
2.2.1 Πλεονεκτήματα του ξύλου .....	xxix
2.2.2 Μειονεκτήματα του ξύλου.....	xxix
2.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ.....	xxix
2.3.1 Φυσικές ιδιότητες .....	xxix
2.3.2 Μηχανικές ιδιότητες .....	xxxi
2.3.3 Λοιπές φυσικές ιδιότητες.....	xxxii



2.4	ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΞΥΛΟΥ ΣΤΗΝ ΦΩΤΙΑ .....	xxxii
3.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟ ΚΩΝΟΥ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....	xxxiv
3.1	ΓΕΝΙΚΑ .....	xxxiv
3.2	ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΩΝΟΥ .....	xxxv
3.3	ΒΑΣΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΚΑΛΟΡΙΜΕΤΡΟΥ .....	xxxvi
3.4	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ .....	xxxvii
3.5	ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	xl
3.6	ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΙΝΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΟΘΕΡΜΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΑΝΑΦΛΕΞΗ .....	xliii
3.6.1	Ρυθμός καύσης.....	xliv
3.6.2	Ροή θερμότητας φλόγας .....	xliv
3.6.3	Ροή θερμότητας από ακτινοβολία .....	xliv
4.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ .....	xlvi
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	xlvi
4.2	ΣΚΟΠΟΣ .....	xlvi
4.3	ΌΡΟΙ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ.....	xlvii
4.3.1	Προϊόντα ξύλου και συστήματα επικάλυψης μη βραδείας καύσης .....	xlvii
4.3.2	Αντίδραση στην εκτέλεση καύσης .....	xlvii
4.4	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΩΝ .....	xlviii
4.4.1	Προετοιμασία υλικών .....	xliv
4.4.2	Μέθοδος δοκίμων.....	xliv
4.5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	l
4.5.1	Υλικό T02000 .....	l
4.5.2	Υλικό T02001 .....	liii
4.5.3	Υλικό T02002 .....	lvi
4.5.4	Υλικό T02007 .....	lix
4.5.5	Υλικό T02008 .....	lxii
4.5.6	Υλικό T02009 .....	lxv
4.5.7	Υλικό T02014 .....	lxviii
4.5.8	Υλικό T02015 .....	lxxi
4.5.9	Υλικό T02018 .....	lxxiv
4.5.10	Υλικό T02020 .....	lxxvii
4.5.11	Υλικό T02021 .....	lxxx
4.5.12	Υλικό T02022 .....	lxxxiii
4.5.13	Υλικό T02025 .....	lxxxvi

4.6	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ .....	89
4.7	ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΛΙΚΩΝ (T02000 - T02025) .....	91
4.8	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΓΙΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗ ΦΩΤΙΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ISO-13501 .....	99
4.9	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΓΙΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗ ΦΩΤΙΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ EN 16755:2017 ΓΙΑ ΔΟΚΙΜΕΣ ΜΕ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ (ISO 5660).....	100
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	104



## 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.

Η φωτιά δεν είναι παρά μία αντίδραση, κατά την οποία εκλύεται (δηλαδή απελευθερώνεται) θερμότητα, και μάλιστα σε έντονο βαθμό. Πιο συγκεκριμένα, έχουμε να κάνουμε με μία χημική εξώθερμη αντίδραση. 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 συνοδεύεται από έκλυση θερμότητας ίσως και φως, που συνδυάζονται (συχνά) με την εμφάνιση φλόγας, από θερμά αέρια προϊόντα, ή λάμψης.

Οι καύσεις είναι εξώθερμες οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις, μεταξύ ενός (τουλάχιστον) καυσίμου και ενός (τουλάχιστον) 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 οξυγόνο ή με αέρα. Ειδικότερα οι καύσεις των οργανικών ενώσεων θεωρούμε ότι γίνονται με  $O_2$  ή με χημικές ουσίες που περιέχουν οξυγόνο όπως ο αέρας ή το οξείδιο του χαλκού ( $CuO$ ).

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. Καύσιμα ή καύσιμες ύλες ονομάζονται τα στερεά, υγρά ή αέρια σώματα που 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.



# 1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΦΩΤΙΑ

## 1.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Όλα τα δομικά υλικά ταξινομούνται ανεξάρτητα από το είδος τους . Σύμφωνα με το DIN 4102 έχουμε διαχωρισμό μεταξύ εύφλεκτων και μη εύφλεκτων υλικών.

### 1.1.1 Μη εύφλεκτα υλικά

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 ομάδες. Στην A1 όπου κατατάσσονται υλικά για τα οποία δεν χρειάζεται 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 στην σύνθεση τους μικρές ποσότητες εύφλεκτων ουσιών, όπως πολλές πλάκες πυροπροστασίας από γυψοσανίδες, ή μπετόν.

### 1.1.2 Εύφλεκτα υλικά

Τα εύφλεκτα υλικά κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα 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:

#### 1.1.2.1 Δύσκολα αναφλεγόμενα υλικά ( B1 )

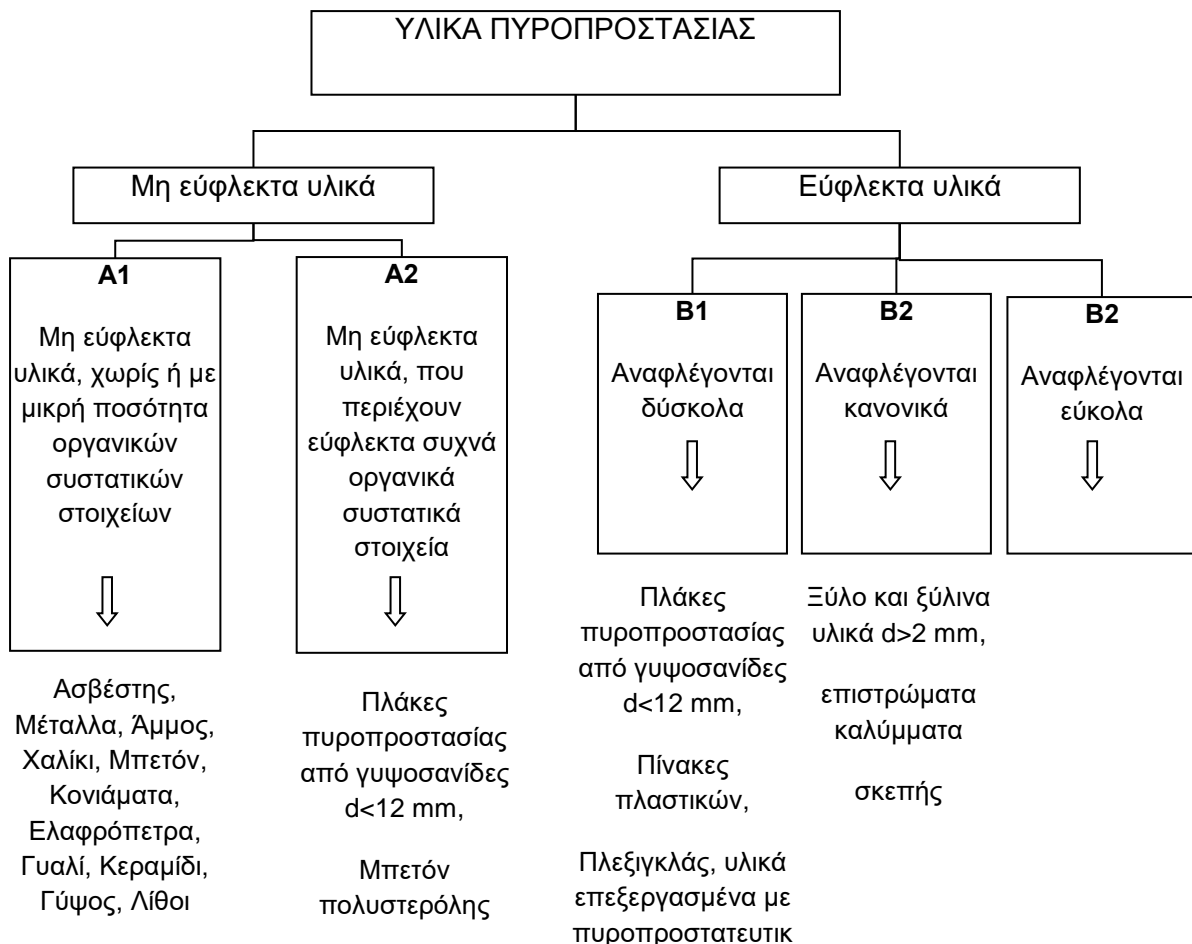
Τα υλικά αυτά έχουν την ιδιότητα ότι δεν συνεχίζουν να καίγονται όταν απομακρύνονται από την πηγή φωτιάς, όπως οι πλάκες πυροπροστασίας από γυψοσανίδες και το ξύλο που είναι επεξεργασμένο με πυροπροστατευτικά μέσα. Χρήση δύσκολα αναφλέξιμων υλικών γίνεται στις επενδύσεις τοίχων και οροφών, για μονωτικά 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.

### 1.1.2.2 Κανονικά αναφλεγόμενα υλικά ( B2 )

Σε αυτήν την ομάδα ανήκουν όλα τα εύφλεκτα και κυρίως είναι τα ξύλινα υλικά. 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 στην παραπάνω κατηγορία. 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.

### 1.1.2.3 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 της θερμομόνωσης-ηχομόνωσης, όπως είναι το χαρτί, ο ξυλοβάμβακας (είναι παρόμοιο με το ξυλόμαλλο). Τα παραπάνω υλικά μπορούν να χρησιμοποιούνται μόνο αν με τον τρόπο χρήσης τους παύουν να λειτουργούν ως εύκολα αναφλέξιμα υλικά.

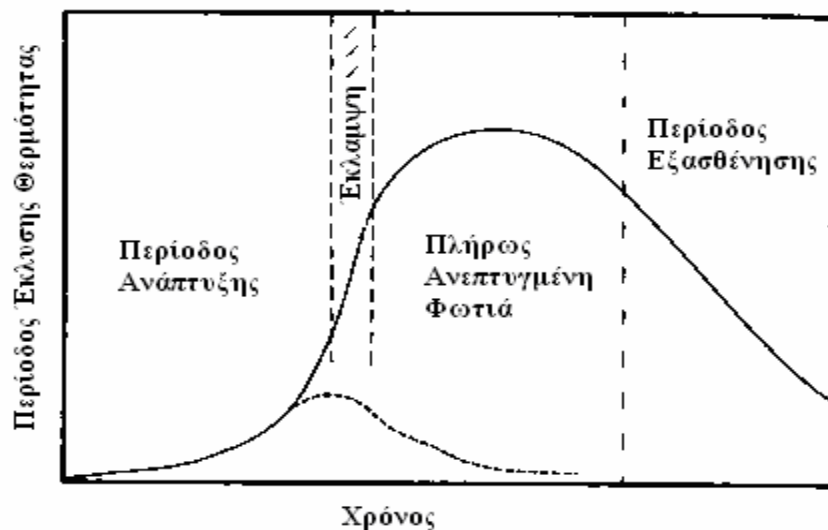


**Πίνακας 1.1 :Διαγραμματική απεικόνιση με τις κατηγορίες των υλικών πυροπροστασίας, (Blassi W., 2000)**

## 1.2 ΣΤΑΔΙΑ ΤΗΣ ΦΩΤΙΑΣ

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

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



**Διάγραμμα 1.1:** Ανάπτυξη φωτιάς συναρτήσει του χρόνου. Στο τελευταίο στάδιο όπου έχουμε εξασθένηση της φωτιάς και μείωση του ρυθμού καύσης, υπάρχει πιθανότητα τα αναφλέξιμα στερεά να συνεχίσουν να καίγονται σε υψηλές θερμοκρασίες.

### 1.2.1 Έκλαμψη

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

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

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.

### 1.3 ΤΡΙΓΩΝΟ ΤΗΣ ΦΩΤΙΑΣ

Τα τρίγωνα της φωτιάς ή τρίγωνα ανάφλεξης είναι απλά μοντέλα για την κατανόηση των απαραίτητων συστατικών για τις περισσότερες φωτιές.

Το τρίγωνο δείχνει τα τρία στοιχεία που χρειάζεται μια φωτιά για να ανάψει: θερμότητα, καύσιμο και ένα οξειδωτικό παράγοντα (συνήθως οξυγόνο). Μια πυρκαγιά συνήθως συμβαίνει όταν τα στοιχεία είναι παρόντα και συνδυασμένα σε σωστό μείγμα, που σημαίνει ότι η φωτιά είναι στην πραγματικότητα ένα γεγονός παρά ένα πράγμα. Μια πυρκαγιά μπορεί να προληφθεί ή να σβήσει με την αφαίρεση οποιουδήποτε από τα στοιχεία στο τρίγωνο της φωτιάς. Για παράδειγμα, η κάλυψη μιας φωτιάς με αντιπυρική κουβέρτα αφαιρεί το οξυγόνο από το τρίγωνο και μπορεί να σβήσει την φωτιά. Αναλυτικά τα τρία στοιχεία της φωτιάς είναι:

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



Εικόνα 1.1: Τρίγωνο Φωτιάς (Οξυγόνο-Θερμότητα-Καύσιμο)

Υπάρχει βέβαια μία πιο σύγχρονη θεωρία, η οποία λέει πως το τρίγωνο της φωτιάς είναι τετράγωνο. 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. Το Halon μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αφαιρέσει τις ελεύθερες ρίζες και να δημιουργήσει ένα εμπόδιο αδρανούς αερίου σε μια άμεση επίθεση στην χημική αντίδραση που ευθύνεται για τη φωτιά.



**Εικόνα 1.2:** Εδώ απεικονίζεται το τετράεδρο της φωτιάς, όπου υπάρχουν τα στοιχεία του τριγώνου της φωτιάς και έχει προστεθεί η χημική αλυσιδωτή αντίδραση.

#### 1.4 ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ

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. Εύφλεκτο μίγμα ατμών-αέρα μπορεί να σχηματισθεί επίσης και από θερμαινόμενο στερεό σώμα όταν, αποκτώντας ορισμένη θερμοκρασία, επιτρέπει την έκλυση ατμών από την επιφάνειά του.

Δημιουργία και ανάφλεξη τέτοιου μίγματος παρατηρείται στις περισσότερες οργανικές ύλες. Ορισμένα στερεά, πάντως (κατά κανόνα μέταλλα, άνθρακας), αναφλέγονται ύστερα από επιφανειακή τους οξειδωση. Ανασκόπηση της εμπειρίας αναφορικά με την αναφλεξιμότητα των υλικών, την οποία επιτρέπει μια αναδρομή στη διαθέσιμη σχετική βιβλιογραφία, δίνει τη δυνατότητα να γίνει η πιο κάτω (συμπληρωματική και συνοπτική) μνεία: Ανάλογα της κατάστασης της ύλης, η ανάφλεξη μπορεί να συμβεί με διάφορους τρόπους και συγκεκριμένα στα:

α) στερεά, όταν θερμανθούν σε ορισμένη θερμοκρασία για να αρχίσει η πυρόλυση τους ή ύστερα από έντονη επιφανειακή οξειδωση

β) υγρά, όταν εξαμισθεί αρκετή ποσότητα τους και σχηματισθεί μίγμα ατμού-ατμοσφαιρικού αέρα του οποίου η αναλογία βρίσκεται μέσα σε συγκεκριμένα όρια (όρια αναφλεξιμότητας).

γ) αέρια, όταν —και μόνο— υπάρξει μίγμα αέριου-ατμού μέσα στο διάστημα των ορίων αναφλεξιμότητας (περιοχή αναφλεξιμότητας). Είναι φανερό ότι η ανάφλεξη των υλικών εξαρτάται από αρκετές συνθήκες (π.χ. επιφάνεια για την περίπτωση των στερεών, περιβαλλοντική ρύπανση κ.λπ.).

Κοντολογίς στην αναφλεξιμότητα των υλικών ορισμένα χαρακτηριστικά διαδραματίζουν ιδιαίτερο ρόλο, όπως τα όρια αναφλεξιμότητας, η περιοχή αναφλεξιμότητας, το σημείο ανάφλεξης, η θερμοκρασία έναυσης, το σημείο φωτιάς, η θερμοκρασία αυτογενούς 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.

### 1.5.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη 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.

### 1.5.2 Χαρακτηριστικά διάδοσης της φωτιάς

Ο ρυθμός διάδοσης της φωτιάς εξαρτάται από την ταχύτητα μετάδοσης της φλόγας από το σημείο ανάφλεξης σε άλλες αναφλέξιμες επιφάνειες που βρίσκονται στον ίδιο χώρο. Για την πλήρη ανάπτυξη μιας φωτιάς σε έναν κλειστό χώρο, πρέπει να αναπυχθούν υψηλές θερμοκρασίες (συνήθως μεγαλύτερες των 600ο C) στο επίπεδο της οροφής. Ο συνολικός ρυθμός καύσης επηρεάζεται σημαντικά τόσο από την αύξηση του ρυθμού μετάδοσης θερμότητας μέσω ακτινοβολίας όσο και από την αύξηση του όγκου που καταλαμβάνει η φωτιά (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.

**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	

## 1.5 ΠΑΧΟΣ ΤΟΥ ΚΑΙΓΟΜΕΝΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

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’ καύσιμα αντικείμενα εμφανίζεται μεταφορά θερμότητας λόγω αγωγής μέσω της αέριας φάσης, ενώ στα ‘παχιά’ καύσιμα αντικείμενα 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 με τον οποίο διαδίδεται η φλόγα σε ένα αντικείμενο είναι αντιστρόφως ανάλογος με το γινόμενο τριών βασικών φυσικών ιδιοτήτων του, δηλαδή της πυκνότητας, της θερμοχωρητικότητας και της θερμικής αγωγιμότητας του.

## 1.6 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

- Σύνθεση ατμόσφαιρας: Σε περιοχές που υπάρχει υψηλή συγκέντρωση οξυγόνου τα εύφλεκτα υλικά αναφλέγονται πιο εύκολα. Μια περιοχή θεωρείται ότι είναι πλούσια σε οξυγόνο όταν η μερική πίεση του οξυγόνου είναι μεγαλύτερη από 160mmHg, δηλαδή την κανονική ατμοσφαιρική πίεση. Γενικά

με την αύξηση του οξυγόνου έχουμε και αύξηση στο ρυθμό εξάπλωσης της φλόγας.

- **Θερμοκρασία καυσίμου:** Όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του καυσίμου έχουμε και αύξηση του ρυθμού εξάπλωσης της φλόγας, πράγμα αυτονόητο αφού όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του καυσίμου τόσο μειώνεται η θερμότητα που χρειάζεται το άκαυστο αντικείμενο για να αρχίσει να καίγεται.
- **Μετάδοση θερμότητας μέσω ακτινοβολίας:** Η μετάδοση θερμότητας μέσω ακτινοβολίας αυξάνει το ρυθμό μετάδοσης της φλόγας αφού έτσι το καύσιμο θερμαίνεται μακριά από το σημείο της φλόγας. Παρόλα αυτά ο αυξανόμενος ρυθμός καύσης δημιουργεί ισχυρές φλόγες οι οποίες αυξάνουν τη μετάδοση θερμότητας μέσω ακτινοβολίας και κατά συνέπεια η φωτιά εξαπλώνεται γρηγορότερα.
- **Ατμοσφαιρική Πίεση:** Γνωρίζουμε ότι όταν η ατμοσφαιρική πίεση είναι μεγάλη ο ρυθμός εξάπλωσης της φλόγας είναι, επίσης, μεγαλύτερος αφού η φωτιά εμπλουτίζεται με οξυγόνο και ενισχύεται.
- **Κίνηση του αέρα:** Η κίνηση του αέρα επηρεάζει το ρυθμό εξάπλωσης της φωτιάς. Όταν ο αέρας έχει την ίδια κατεύθυνση με τη φλόγα ο ρυθμός εξάπλωσης αυξάνεται. Στην περίπτωση, όμως, που η φλόγα έχει αντίθετη φορά από τον αέρα υπάρχουν δυο περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση ο αέρας κινείται με πολύ μεγάλη ταχύτητα και ο ρυθμός της φλόγας μειώνεται. Σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν ο αέρας έχει μικρή σχετικά ταχύτητα ο ρυθμός μετάδοσης αυξάνεται.

## 1.7 ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Με τον όρο πυροπροστασία εννοούμε 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

### 1.7.1 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

### 1.7.2 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 μόνιμου υδροδοτικού πυροσβεστικού δικτύου (πυροσβεστικές φωλιές)
- τοποθέτηση συστημάτων καταιονητήρων (sprinklers)

### 1.7.3 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 σωστότερα 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 σύλτοι 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 η επιστημονική πρόοδος είναι αρκετά σημαντική, 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).

## **1.8 ΔΟΚΙΜΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΣΤΗ ΦΩΤΙΑ**

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)

### **1.8.1 Ευρωπαϊκές κλάσεις δομικών υλικών σχετικά με την αντίδραση τους στη φωτιά**

Τελικά οι κλάσεις για όλα τα υλικά εκτός δαπέδων δίδονται στον Πίνακα 1.3, ενώ οι Ευρωκλάσεις για τα υλικά επικαλύψεων δαπέδων δίνονται στον Πίνακα 1.4. Κατ' αντιστοιχία, τα αναφερόμενα πρότυπα καθορίζουν και την κατάταξη των υλικών σε μία από τις παραπάνω Ευρωκλάσεις.

**Πίνακας 1.3: 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 1.4: 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:

**i) Πρώτο κριτήριο: η έννοια της ευφλεκτότητας (ευφλεξιμότητα, flammability)**

Χρόνος έναυσης, διάδοσης της φωτιάς και πυρικό φορτίο (ενεργειακή συνεισφορά στο πυρικό συμβάν). Αφορά την μέτρηση της εκλυόμενης θερμότητας από το υλικό και της δυνατότητας συμμετοχής του στην διάδοση της φωτιάς (μέχρι την φάση γενικής ανάφλεξης).

**Εικόνα 1.5: Κατηγορίες αδρανών και εύκαυστων υλικών**





**ii) Δεύτερο κριτήριο: έκλυση καπνού (S από το smoke release)**

ΚΛΙΜΑΚΑ

<b>s1</b>	δεν εκλύεται καπνός	πρόκειται για νέο κριτήριο, που εισάγεται με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο
<b>s2</b>	εκλύεται καπνός	
<b>s3</b>	υψηλή έκλυση καπνού	

**iii) Τρίτο κριτήριο: παραγωγή καιόμενων σταγονιδίων (production of burning drops)**

ΚΛΙΜΑΚΑ

<b>d1</b>	δεν πέφτουν καιόμενες σταγόνες	πρόκειται για νέο κριτήριο, που εισάγεται με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο
<b>d2</b>	πέφτουν καιόμενες σταγόνες	
<b>d3</b>	πέφτουν πολλές καιόμενες σταγόνες	

**1.8.2 Δείκτες κατάταξης υλικών και μετρήσεις σύμφωνα με τα νέα κριτήρια των ευρωκλάσεων**

**i) Πρώτο κριτήριο: ευφλεξιμότητα (αναφλεξιμότητα)**

Προβλέπονται τρεις τύποι δοκιμών που ανταποκρίνονται στα ακόλουθα τρία σενάρια.

- Σενάριο 1** Αναφλεξιμότητα υπό έκθεση του υλικού σε μικρή φλόγα. Δοκιμή μικρής φωτιάς (small flame test) κατά ΕΛΟΤ EN 11925-2
- Σενάριο 2** 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  
*Δοκιμή SBI: Single burning object: μεμονωμένο καιόμενο αντικείμενο*
- Σενάριο 3** 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)  
*Θερμιδομετρική δοκιμή (cone calorimeter)*

Πως προκύπτουν οι Ευρωκλάσεις από τα ανωτέρω σενάρια

<b>Σενάριο 1</b>	<b>ΚΛΑΣΗ F</b>	Το προϊόν δεν υφίσταται δοκιμή ή δεν κατατάσσεται σε κάποια από τις ακόλουθες κατηγορίες
	<b>ΚΛΑΣΗ E</b>	Η αντοχή στη θερμότητα είναι πολύ χαμηλή
	<b>ΛΟΙΠΕΣ ΚΛΑΣΕΙΣ</b>	Το υλικό δεν αναφλέγεται κατά τη δοκιμή μικρής φλόγας
<b>Σενάριο 2</b>	<b>ΚΛΑΣΕΙΣ</b>	Οι τρεις κλάσεις αντιπροσωπεύουν διάφορες

	<b>B, C, D</b>	στάθμες ανταπόκρισης του προϊόντος όταν εκτεθεί σε μεμονωμένο καιόμενο αντικείμενο (μεμονωμένη εστία πυρός). Η κατάταξη βασίζεται στην ικανότητα του υλικού να παρεμποδίζει την διάδοση της φωτιάς μέχρι την έναρξη της φάσης της γενικής ανάφλεξης. Δηλ. όταν το υλικό αρχίζει να καίεται 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).
	<b>ΚΛΑΣΗ D</b>	Δεν επέρχεται γενική ανάφλεξη κατά τα πρώτα δύο λεπτά (2 min) της δοκιμής
	<b>ΚΛΑΣΗ C</b>	Δεν επέρχεται γενική ανάφλεξη κατά τα πρώτα δέκα λεπτά (10min) της δοκιμής
	<b>ΚΛΑΣΗ B</b>	Δεν επέρχεται γενική ανάφλεξη κατά τα πρώτα είκοσι λεπτά (20 min) της δοκιμής
<b>Σενάριο 3</b>	<b>ΚΛΑΣΕΙΣ A1, A2</b>	Πρόκειται για αδρανή υλικά (σκυρόδεμα, γυαλί, μέταλλα, κεραμικά κλπ) τα οποία συμβάλλουν ελάχιστα στο πυρικό συμβάν υπό συνθήκες γενικής ανάφλεξης

## ii) Δεύτερο κριτήριο: καπνός

Επισημαίνεται ότι η συμπεριφορά του υλικού κατά την έκθεση του στην φωτιά δεν αποτελεί τον μοναδικό προβληματισμό. Στα πυρικά συμβάντα είναι βασικής σημασίας τόσο η ασφαλής απομάκρυνση των ενοίκων όσο και η προσπελασιμότητα των πυροσβεστών και του εξοπλισμού τους. Ως εκ τούτου η έκλυση καπνού από τα καιόμενα υλικά είναι υψίστης σημασίας. Ορίζονται τρεις στάθμες ανταπόκρισης των προϊόντων:

<b>s1</b>	υλικά χαρακτηριζόμενα από περιορισμένο ρυθμό αύξησης του εκλυόμενου καπνού και, γενικώς, από περιορισμένη συνολική έκλυση καπνού
<b>s2</b>	υλικά που εκλύουν καπνό, αλλά με μικρό ρυθμό αύξησης της έκλυσης

<b>s3</b>	υλικά που εκλύουν σημαντικές ποσότητες καπνού
-----------	---

**iii) Τρίτο κριτήριο: εκτίναξη σωματιδίων (καύτρες)**

Υλικά κατά την καύση των οποίων παρατηρείται εκτίναξη καιόμενων σωματιδίων μπορούν να προκαλέσουν την ανάπτυξη δευτερογενών εστιών πυρός. Επιπρόσθετα δημιουργούν σοβαρούς κινδύνους για τους επιχειρούντες πυροσβέστες και μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά εγκαύματα.

Ορίζονται τρεις κλάσεις απόκρισης των υλικών:

<b>d0</b>	δεν παράγονται καιόμενα σωματίδια
<b>d1</b>	τα εκτινασσόμενα σωματίδια δεν μένουν αναμμένα για περισσότερο από 10 δευτερόλεπτα
<b>d2</b>	σωματίδια προκαλούν ανάφλεξη χαρτιού κατά την εκτέλεση δοκιμής μικρής φωτιάς

## **2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΞΥΛΟ**

### **2.1 ΓΕΝΙΚΑ**

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.

### **2.2 ΤΟ ΞΥΛΟ ΣΤΗΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑ**

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). Αποφασιστική σημασία έχει η μηχανική του αντίσταση στη φωτιά. Κατά τη δεκαετία του '50-'60 αποδείχθηκε ότι το μη καιόμενο υλικό δεν είναι κατ' ανάγκη και το ασφαλέστερο. Την αρχή αυτή την δέχθηκε η κτιριοδομία 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 στην Αμερική και σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες συνεχείς πειραματισμοί πάνω σε φορείς από μέταλλο, ξύλο ή σύνθετο ξύλο και μπετόν, διαμόρφωσαν μία σαφή εικόνα της συμπεριφοράς αυτών των υλικών στη πυρκαγιά.

Εφόσον πρώτιστο ρόλο στην πυρκαγιά παίζει η ασφάλεια της ζωής των ανθρώπων και των αγαθών τους, ο πρώτος παράγοντας που έχει σημασία είναι η διατήρηση της αντοχής των φερόντων στοιχείων ενός κτιρίου κατά τη διάρκεια της φωτιάς για ένα ικανό διάστημα.

Εκεί φαίνεται 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.

Για να γίνει αντιληπτό γιατί το ξύλο συμπεριφέρεται τόσο καλά στην πυρκαγιά, είναι απαραίτητο να αναφερθούν μερικές ιδιότητες του υλικού που το ξεχωρίζουν από τα άλλα δομικά υλικά

### 2.2.1 Πλεονεκτήματα του ξύλου

1. Αναπαράγεται από τη φύση και είναι ανανεώσιμη πρώτη ύλη.
2. Έχει μεγάλη αισθητική αξία και πολλά χρώματα.
3. Είναι «ζεστό» και «ζωντανό» υλικό με ιδιαίτερη αίσθηση στην αφή και στην όραση.
4. Είναι άριστο δομικό υλικό με μεγάλες κατασκευαστικές δυνατότητες.
5. Υλικό που λόγω ελαστικότητας δίνει αντισεισμικές δομές.
6. Έχει μεγάλη μηχανική αντοχή σε σχέση με το βάρος του.
7. Είναι μονωτικό υλικό στη θερμότητα και στον ηλεκτρισμό.
8. Δεν οξειδώνεται (δεν σκουριάζει).
9. Η κατεργασία του είναι σχετικά εύκολη και απαιτεί μικρή κατανάλωση ενέργειας.
10. Δεν ρυπαίνει το περιβάλλον.

### 2.2.2 Μειονεκτήματα του ξύλου

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

## 2.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ

### 2.3.1 Φυσικές ιδιότητες

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

#### 2.3.1.1. Πυκνότητα

- Ορίζεται ως ο λόγος της μάζας του ξηρού ξύλου που περιέχεται σε ορισμένο όγκο ξύλου και είναι το σημαντικότερο φυσικό χαρακτηριστικό του ξύλου.
- Κυμαίνεται μεταξύ  $100-1.200 \text{ kg/m}^3$  (στα ελληνικά ξύλα  $0.3-0.9 \text{ kg/m}^3$ ). Συνήθως πυκνότητα κωνοφόρων είναι  $400 \text{ kg/m}^3$
- Διαφέρει όχι μόνο σε είδη του ίδιου είδους (π.χ. διαφορετικά είδη 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.

### 2.3.1.2 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.

### 2.3.1.3 Ποσοστό περιεχομένης υγρασίας

- Το ποσοστό περιεχομένης 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.
- 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 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 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 διογκούται 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 μειωτικού συντελεστή,  $k_{mod}$ , 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,  $F_d$ :  $F_d = K_{mod} \frac{F_k}{\gamma_M}$

### 2.3.1.4 Συρρίκνωση και διόγκωση

- Είναι η αυξομείωση των διαστάσεων του ξυλοτεμαχίου, ανάλογα με το ποσοστό υγρασίας του.
- Οι διαστάσεις μεταβάλλονται ανάλογα με την διεύθυνση των ινών του ξυλοτεμαχίου (περίπου 0.4% αξονικά, 4% ακτινικά, 8% εφαπτομενικά, επί των

διαστάσεων του ξηρού ξύλου) άρα ανάλογα με την κοπή του συγκεκριμένου τεμαχίου ξύλου.

### 2.3.2 Μηχανικές ιδιότητες

Η γνώση των μηχανικών ιδιοτήτων κάθε ξύλινου στοιχείου είναι βασική προϋπόθεση για την αξιοποίησή του σε προϊόντα και κατασκευές. Σημειώνονται οι ιδιαίτερες υψηλές αντοχές του ξύλου σε δυνάμεις παραλλήλως προς τις ίνες.

Ένα απλοποιητικό προσομοίωμα του υλικού που περιγράφει και ερμηνεύει την μηχανική συμπεριφορά του ξύλου είναι μια δέσμη από σωλήνες : οι αντοχές της δέσμης για ένταση παραλλήλως προς τους σωλήνες είναι πολύ υψηλότερες από τις αντίστοιχες αντοχές για ένταση καθέτως 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.

#### 2.3.2.1 Αντοχές - μέτρα ελαστικότητας

- καθορίζονται, λόγω της ανισοτροπίας του υλικού στις διάφορες αυξητικές διευθύνσεις (παραλλήλως, καθέτως και υπό γωνία προς τις ίνες)
- επηρεάζονται από:
  - τα φυσικά ελαττώματα του ξύλου
  - την πυκνότητα
  - το ποσοστό υγρασίας (η αύξηση της υγρασίας συνεπάγεται μείωση των αντοχών)
  - την διάρκεια φορτίσεως (όπως για όλα τα υλικά)
- πολύ υψηλές εφελκυστικές και θλιπτικές αντοχές παραλλήλως προς τις ίνες (για μια μέση κατηγορία αντοχής κωνοφόρων, η χαρακτηριστική εφελκυστική και η θλιπτική αντοχή παραλλήλως προς τις ίνες είναι, αντιστοίχως:  $f_{t,0,k} \sim 15 \text{ MPa}$ ,  $f_{c,0,k} \sim 21 \text{ MPa}$ !)
- 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,  $E_{\text{mean}}$ , είναι της τάξεως των 10 GPa)
- μεγαλύτερη πυκνότητα συνεπάγεται αντίστοιχα μεγαλύτερες αντοχές του ξύλου χωρίς όμως να αποτελεί το κρισιμότερο παράγοντα καθορισμού τους (βλ. παρατηρήσεις κεφ.1. 4, Διαβάθμιση ξυλείας)
- η ξήρανση, εφόσον δεν συνοδεύεται από παραμορφώσεις και ρηγματώσεις του ξύλου, βελτιώνει σε σημαντικό βαθμό τις μηχανικές ιδιότητες

#### 2.3.2.2 Ερπυσμός

- Η τελικές ερπυστικές, παραμορφώσεις,  $u_{\text{fin}}$ , είναι μέχρι και τριπλάσιες από τις στιγμιαίες, ελαστικές παραμορφώσεις,  $u_{\text{inst}}$ , ενός ξύλινου φορέα.

- 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:

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

### 2.3.3 Λοιπές φυσικές ιδιότητες

#### 2.3.3.1 Θερμικές ιδιότητες

- συστολή και διαστολή αμελητέες κατά μήκος και κάθετα στις ίνες (υπερκαλύπτονται κατά πολύ από ρίκνωση και διόγκωση). Σημαντική διαφορά με τις χαλύβδινες κατασκευές
- μικρή θερμοαγωγιμότητα, λόγω πορώδους δομής
- ειδική θερμότητα μεγαλύτερη από των μετάλλων

#### 2.3.3.2 Ακουστικές ιδιότητες

- είναι κακός αγωγός για ήχους που παράγονται εκτός του ξύλινου στοιχείου και προσπίπτουν στην επιφάνειά του και γι' αυτό είναι κατάλληλο για χώρους ειδικών χρήσεων (πχ αίθουσες συναυλιών)
- είναι καλός αγωγός για ήχους που παράγονται μέσα στην μάζα του ξύλινου στοιχείου γι' αυτό είναι απαραίτητη η χρήση ηχομονωτικών διατάξεων (πχ σε ξύλινα πατώματα)

#### 2.3.3.3 Ηλεκτρικές ιδιότητες

- το ξηρό ξύλο είναι μονωτικό υλικό
- η ηλεκτρική αντίσταση ελαττώνεται με την αύξηση της υγρασίας

## 2.4 ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΞΥΛΟΥ ΣΤΗΝ ΦΩΤΙΑ

- 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 – 0,65 mm/s
- το απανθρακούμενο υλικό 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 25-30 mm, 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 αντιπυρικά 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. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΟ ΚΩΝΟΥ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ**

#### **3.1 ΓΕΝΙΚΑ**

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 σημαντικά όργανα στον τομέα μετρήσεων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων υλικών, κατά την αντίδρασή τους στη φωτιά, σε κλίμακα εργαστηρίου. Η βασική παράμετρος με βάση την οποία εκτιμάται η ανάπτυξη μιας φωτιάς είναι ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας ( heat release rate -HRR). Ο προσδιορισμός αυτής της παραμέτρου σε πραγματικές συνθήκες καθίσταται δύσκολος, ενώ επιτυγχάνεται εύκολα με την χρήση του εν λόγω οργάνου σε εργαστηριακή κλίμακα. Η μέθοδος προσδιορισμού του HRR βασίζεται στη μέτρηση του ελλείματος οξυγόνου που παρατηρείται κατά την καύση του υπό εξέταση δοκιμίου-υλικού ή αντίθετα η θερμότητα που εκλύεται από την καύση ενός υλικού είναι ευθέως ανάλογη προς την ποσότητα οξυγόνου που κατακρατείται κατά τη διαδικασία της καύσης.

Επίσης τα αποτελέσματα των μετρούμενων μεγεθών μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα για αξιολόγηση υλικών και για την εκτίμηση της συμπεριφοράς τους σε περίπτωση πυρκαγιάς. Το θερμιδόμετρο κώνου χρησιμοποιείται ευρέως στην έρευνα για την ανάπτυξη προϊόντων αλλά και ως εργαλείο για την συλλογή δεδομένων για την ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων πρόβλεψης της εξέλιξης της φωτιάς. Το θερμιδόμετρο κώνου έχει τη δυνατότητα άμεσης μέτρησης σημαντικών ιδιοτήτων σχετικών με την συμπεριφορά υλικών σε πυρκαγιές στις οποίες περιλαμβάνονται:

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

Τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της θερμοκρασίας και της θερμικής ροής ανάφλεξης και των θερμικών ιδιοτήτων του υλικού. Επιπλέον μπορεί να εκτιμηθεί η αναμενόμενη συμπεριφορά των υλικών σε δοκιμές μεμονωμένου καιόμενου αντικειμένου (Single Burning Item) κατά EN 13823 και δοκιμές σε γωνία 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

### 3.2 ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΩΝΟΥ

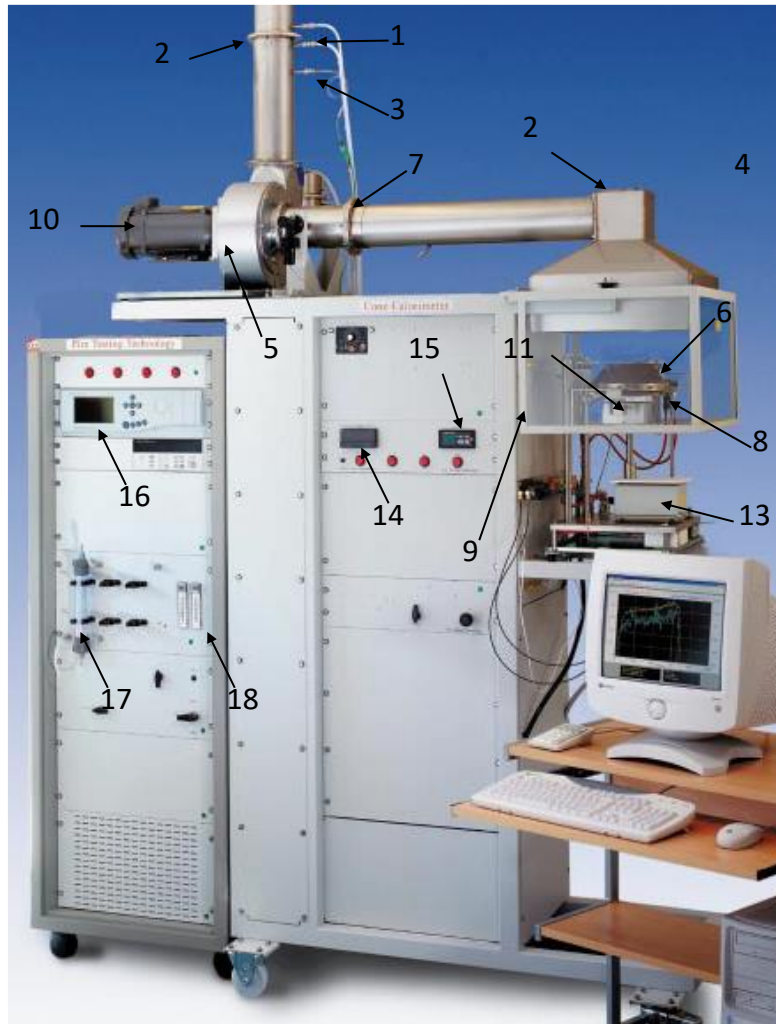
Τα βασικά στοιχεία της διάταξης είναι:

- Θερμαντήρας κώνου με μέγιστη εκλυόμενη θερμότητα  $100 \text{ kW/m}^2$ , που μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε οριζόντιο όσο και σε κατακόρυφο προσανατολισμό.
- σπινθηριστής ή αναφλεκτήρας (igniter) 10kV, 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.

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 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 ολόκληρη η επιφάνεια του δείγματος αρχίζει να καίγεται ομοιόμορφα, τότε ο αναφλεκτήρας απενεργοποιείται και αποσύρεται.

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
14. Ψηφιακή ένδειξη ζυγού
15. Όργανο ελέγχου θερμικής αντίστασης
16. Αναλυτής αερίων
17. Αφυγραντής
18. Ροόμετρα ελέγχου αερίων



**Εικόνα 3.1 : Απεικόνιση του καλορίμετρου κώνου (κατασκευάστρια εταιρεία Fire Testing Technology, FTT UK)**

### **3.3 ΒΑΣΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΚΑΛΟΡΙΜΕΤΡΟΥ**

1. Ελέγχουμε τον αναλυτή αερίων ώστε να έχει παραμείνει ανοικτός τουλάχιστον 24 ώρες πριν τη δοκιμή,
2. Ανοίγουμε τη βάνα (Cold Trap) που βρίσκεται για να αφαιρεθούν πιθανά συμπυκνώματα (νερό που παραμένει από τη διαδικασία της προηγούμενης ημέρας). Κατά τη διάρκεια λειτουργίας ο διακόπτης πρέπει να παραμένει κλειστός,
3. Ελέγχουμε την παροχή νερού αν λειτουργεί κανονικά,

4. Ελέγχουμε για τη σωστή παροχή των αερίων N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, Μεθανίου.
5. Ελέγχουμε το χρωματικό δείκτη "Drierite" (δείκτης υγρασίας).

### 3.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ

Από το κεντρικό μενού του προγράμματος οδήγησης επιλέγουμε **Calibrations** για να πραγματοποιήσουμε μια σειρά βαθμονομήσεων που απαιτεί το όργανο πριν τη δοκιμή.

#### A. Zero MFMs

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

#### B. DPT & FLOW

1. Θέτουμε σε λειτουργία το σύστημα απαγωγής αερίων (εξωτερικό απορροφητήρα) και στη συνέχεια να προχωρήσουμε στο μηδενισμό του Differential Pressure Transducer. Πρακτικά δίνουμε σαν αρχική (μηδενική) συνθήκη στο όργανο, τη λειτουργία του εξωτερικού απορροφητήρα ο οποίος από το σημείο αυτό και μετά παραμένει σε λειτουργία μέχρι να ολοκληρωθούν όλες οι προγραμματισμένες δοκιμές της ημέρας.
2. Στο Calibration Panel επιλέγουμε **DPT & FLOW**. Πατάμε **Zero** εμφανίζεται η μπάρα προόδου της εργασίας (Collecting data) και τέλος **OK**.
3. Τώρα ανάβουμε το exhaust fan του θερμιδόμετρου και αποκαθιστούμε μια ροή στον αγωγό με παροχή **24 lt/sec** Αυτό πρακτικά γίνεται ρυθμίζοντας τις στροφές του κινητήρα - ανεμιστήρα βαθμιαία στην ένδειξη **55**.

#### C. Gas Analyzers

1. Στο **Calibration Panel** επιλέγουμε **Gas Analyzers**. Η διαδικασία χωρίζεται σε LOW CAL και HIGH CAL για όλα τα αέρια.
2. Δίνουμε τον κωδικό πρόσβασης PW → 4000 (Password).
3. **LOW CAL**
  - 3.1 Pump OFF → Θέτουμε τις δύο βάνες των αερίων στην πρόσοψη του οργάνου σε Nitrogen. Διοχετεύουμε N<sub>2</sub> (Nitrogen Non – scrubbed) ώστε να μηδενιστούν όλες οι ενδείξεις των αερίων στον Αναλυτή (Servomex) δηλαδή O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>.
  - 3.2 Ρυθμίζοντας την παροχή στη φιάλη αζώτου N<sub>2</sub> πρέπει να έχουμε ένδειξη στα ροόμετρα της πρόσοψης της συσκευής **3.5 lt/min** ή **5 psi** (όργανο ρύθμιση πίεσης εντός του θερμιδόμετρου). Μηδενίζουμε τις ενδείξεις των αερίων (O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>) πρώτα στον Αναλυτή και στη συνέχεια στο παράθυρο του λογισμικού.
4. **HIGH CAL**
  - 4.1 HIGH CAL (CO, CO<sub>2</sub>)  
Θέτουμε τη βάνα που αναφέρεται σε αυτά (span gases) από Nitrogen που ήταν πριν σε **SPAN**. Ελέγχουμε τα ροόμετρα στην πρόσοψη της συσκευής (CO, CO<sub>2</sub>) να δείχνουν **3.5 lt/min**.
  - 4.2 Θέτουμε τις μέγιστες τιμές των αερίων και ελέγχουμε τις ενδείξεις που καταγράφει ο Servomex. Η μέγιστη τιμή του μονοξειδίου(CO) είναι 0,86%, ενώ του

διοξειδίου(CO<sub>2</sub>) είναι 8,5%. Σε περίπτωση που διαπιστώσουμε μεγάλη απόκλιση (drift) από αυτές που δώσαμε ως μέγιστες επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία..

4.3 Στη συνέχεια στο μενού του H/Y πατάμε στο κουμπί SPAN για (CO, CO<sub>2</sub>).

4.4 HIGH CAL (O<sub>2</sub>)

Pump ON → Περιμένουμε περίπου 5 min για τη σταθεροποίηση της ροής. Ανοίγουμε τώρα το Cold Trap στο θερμιδόμετρο. Στη συνέχεια θέτουμε τη βάνα του O<sub>2</sub> στη θέση **Sampling Gas**. Αφού ρυθμίσω την παροχή οξυγόνου στο 3,5 lt/min, θα πρέπει να έχω Oxygen ίσο με 21,95%.

4.5 Θέτουμε τη μέγιστη τιμή για το O<sub>2</sub> στον Servomex πρώτα και μετά πατάμε το κουμπί span στον H/Y για το O<sub>2</sub>. Εδώ περιμένουμε λίγο περισσότερο να δούμε τι καταγράφει ο Servomex και υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να έχουμε drift.

## D. Smoke Calibration

1. Για να ξεκινήσει η διαδικασία βαθμονόμησης του καπνού πατάμε 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.

Εργαζόμαστε με 4 κομμάτια.

- 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 H/Y ανοίγει ένα παράθυρο που μας 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 H/Y πατάμε "Zero" οπότε πρέπει να δούμε μηδέν στο ποσοστό μετάδοσης.
4. **Balance** Αφαιρώντας το μαύρο κομμάτι στον H/Y 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 H/Y.

**E. Mass** Δεν κάνουμε καμία ρύθμιση αφήνουμε τα Factory Settings

## F. Εύρεση του C – factor

1. Έχοντας τελειώσει με όλες τις ρυθμίσεις **Calibrations** επιστρέφουμε στο αρχικό μενού (**ConeCalc Main**) και επιλέγουμε **C – factor**. Αυτός ο συντελεστής προσδιορίζει μια συνολική σταθερά βαθμονόμησης για όλο το όργανο.
2. Επιβεβαιώνουμε ότι ο ανεμιστήρας του οργάνου είναι ήδη σε λειτουργία, η παροχή αέρα στον αγωγό είναι 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.

3. Στο μενού **C – factor** επιλέγουμε **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 χρησιμοποιούμε έναν καυστήρα 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. Τη ρύθμιση αυτή μπορούμε να την κάνουμε 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.
4. Πριν αρχίσει η διαδικασία καύσης του μεθανίου το λογισμικό ενημερώνει για διαδικασίες pre-run calibrations. Επιλέγουμε Yes.
  6. Το λογισμικό συλλέγει δεδομένα για 10sec και ένα παράθυρο προόδου εμφανίζεται στην οθόνη. Κατά τη διαδικασία αυτή επιβεβαιώνουμε ότι δεν υπάρχει ροή μεθανίου στον καυστήρα και ότι το “αέριο” στους αναλυτές είναι από τον περιβάλλοντα αέρα.
6. 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.
7. Ελέγχουμε τον σπινθηριστή να βρίσκεται εκτός της περιοχής του κώνου.
8. Ανοίγουμε την παροχή μεθανίου στην μπουκάλα, (ενώ ο διακόπτης στην πρόσοψη του οργάνου εξακολουθεί να είναι OFF).
9. **Βήμα 1 - Baseline Data**  
Επιβεβαιώνουμε ότι δεν υπάρχει ροή μεθανίου στον καυστήρα και πατάμε Start. Baseline Data συλλέγονται στα πρώτα 60sec
10. **Βήμα 2 – Έναυση και σταθεροποίηση της παροχής Μεθανίου**
  - 10.1. Όταν έχουν απομείνει περίπου **10 - 15sec** στην αντίστροφη μέτρηση μετακινούμε τον σπινθηριστή ανάφλεξης σε θέση πάνω ακριβώς από τον καυστήρα του μεθανίου και ανοίγουμε σταδιακά τη βάνα του μεθανίου στην πρόσοψη του οργάνου. Προσέχουμε σε αυτό το βήμα να είναι πατημένο το κουμπί **Ignition** στο όργανο. Γίνεται η έναυση και σταθεροποιούμε αν απαιτείται την παροχή μεθανίου στην σωστή τιμή (5KW).
  - 10.2. Αφού γίνει η έναυση μετακινούμε τον σπινθηριστή στην αρχική του θέση. Ελέγχουμε ότι η φλόγα περνά από το κέντρο του κώνου.
11. **Βήμα 3 – Συλλογή Δεδομένων**  
Στα επόμενα 180s συλλέγονται δεδομένα ώστε να καθοριστεί η τιμή του C – Factor. Δεν απαιτείται καμιά ενέργεια από τον χρήστη.
12. **Βήμα 4 - Κλείσιμο παροχής μεθανίου και επεξεργασία των δεδομένων**
  - 12.1. Όταν η αντίστροφη μέτρηση φθάσει στο 0 κλείνουμε την παροχή του μεθανίου. Θα υπάρξει και μήνυμα στην οθόνη από το πρόγραμμα όπως φαίνεται και στην Εικόνα 18.
  - 12.2. Στα επόμενα 90s (αντίστροφη μέτρηση) συλλέγονται τα δεδομένα και κατόπιν ο χρήστης πρέπει να σταματήσει τη διαδικασία πατώντας το κουμπί **Stop** το οποίο τώρα έχει γίνει διαθέσιμο (Εικόνα 19).
  - 12.3. Αφού επιλέξουμε **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.

12.4. Για να σώσουμε τα αποτελέσματα επιλέγουμε **Save**.

### G. Heat Flux

1. Στο βήμα αυτό στην υποδοχή που προηγουμένως ετέθη ο καυστήρας μεθανίου βάζουμε το αισθητήριο μέτρησης ροής θερμότητας και με τη μεταλλική ράβδο ελέγχουμε την απόσταση από τον κώνο ώστε να είναι πάλι στα 25mm.
2. Επιβεβαιώνουμε ότι το κύκλωμα του νερού που διαβρέχει περιμετρικά τον αισθητήρα μέτρησης ροής θερμότητας λειτουργεί.
3. Ζυγίζουμε το προς έλεγχο δοκίμιο και καταγράφουμε τη μάζα του. Τοποθετούμε στη βάση του ζυγού το θερμομονωτικό υλικό προστασίας του ζυγού.
4. Ανάβουμε τον κώνο επιλέγοντας το κουμπί **CONE** στην πρόσοψη του οργάνου.
5. Θέτουμε τη 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** επιλέγουμε **Heat Flux**. Θέτουμε στο λογισμικό την ένταση και την απόσταση του αισθητηρίου από το χείλος του κώνου. Ενδεικτικά για τα κομμάτια PMMA θέτουμε 50 KW/m<sup>2</sup> καθώς και το 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 σώζουμε τις ρυθμίσεις.
8. Αφαιρούμε το αισθητήριο διατηρώντας τη θερμοκρασία του κώνου.
9. Μπορούμε να κλείσουμε τους Shutters του κώνου ώστε στη συνέχεια στη διαδικασία δοκιμών να έχουμε σχετική ελευθερία κινήσεων.

### H. Διαδικασία Δοκιμής Υλικών

1. Πατάμε στο θερμιδόμετρο το κουμπί **Load Cell**.
2. Στο αρχικό μενού πατάμε **Start Test**. Συμπληρώνουμε στο πάνελ τις τιμές θερμοκρασίας, υγρασίας και αρχικής μάζας του κομματιού. Αν το κομμάτι έχει προηγουμένως διατηρηθεί σε χώρο με συγκεκριμένες συνθήκες ελέγχουμε και θέτουμε αυτές. Όταν έχουν γίνει όλες οι ρυθμίσεις πατάμε **OK**.
3. Το λογισμικό ενημερώνει για Pre-run Calibrations. Συνίσταται να γίνονται Pre-run Calibrations πριν από κάθε δοκιμή. Στη φάση αυτή πρέπει να επιβεβαιώσουμε ότι η αντλία δουλεύει 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 πατάμε **Start Baseline**. Το λογισμικό καταγράφει Baseline δεδομένα 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 κλείνουμε τους Shutters του κώνου και προσεκτικά τοποθετούμε την πλατφόρμα με το δοκίμιο στη βάση του ζυγού έχοντας πρώτα αφαιρέσει το θερμομονωτικό υλικό που είχαμε νωρίτερα.
6. Θέτουμε τον σπινθηριστή στη θέση λειτουργίας (κέντρο του κώνου) και επιβεβαιώνουμε ότι το κουμπί **Ignition** είναι πατημένο στο θερμιδόμετρο.
7. Όταν σταθεροποιηθεί η τιμή του ζυγού (μάζα δοκιμίου) ανοίγουμε τους Shutters του κώνου και αμέσως πατάμε **Start Test** ή **S** στο remote control.



8. Παρακολουθούμε προσεκτικά το δοκίμιο για να δούμε πότε γίνεται η ανάφλεξη. Όταν το δείγμα αναφλεγεί πατάμε **I** στο remote control.
9. Όταν παύσει η φλόγα ενημερώνουμε το λογισμικό και πατάμε **F**. Ο χρόνος σβέσης της φλόγας καταγράφεται από το λογισμικό μαζί με τα άλλα δεδομένα και δίνεται στα αποτελέσματα.
10. Όταν η δοκιμή ολοκληρωθεί (περιμένουμε περίπου 1 λεπτό μετά το σβήσιμο της φλόγας) και πατάμε **Stop Test** ή στο remote control **S**.
11. Μπορούμε να δούμε συνολικά τα αποτελέσματα επιλέγοντας στο **Main Menu Print Report**.

### 3.5 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Αφού όλες οι λεπτομέρειες που χρειάζονται για να εκτελεστεί το πείραμα έχουν εισαχτεί και το σύστημα έχει βαθμονομηθεί, τότε είμαστε έτοιμοι να ξεκινήσουμε το πείραμα. Ο πίνακας εκτέλεσης του πειράματος που θα εμφανιστεί μας δείχνει τις ενδείξεις από τους αισθητήρες σε πραγματικό χρόνο, την κατά προσέγγιση έκλυση της θερμότητας και καπνού, την κατά προσέγγιση μέγιστη απελευθέρωση θερμότητας και τον συντελεστή απόσβεσης. Επίσης μας δείχνει τον συνολικό χρόνο του πειράματος (συμπεριλαμβανομένου και του χρόνου Baseline). Στην κορυφή του πίνακα υπάρχει μια περιοχή μηνυμάτων η οποία μας δείχνει σημαντικές στιγμές κατά την διάρκεια του πειράματος, όπως για παράδειγμα να τοποθετήσουμε το δείγμα κάτω από τον θερμαντήρα και ποια κουμπιά να πατήσουμε για συγκεκριμένα γεγονότα κατά την διάρκεια του πειράματος. Οι αισθητήρες εμφανίζονται στον πίνακα 3.1.

*Πίνακας 3.1: Συγκεντρωτικός πίνακας αισθητηρίων*

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 φωτοδίοδου (-)
PDC	Βαθμονομημένη έξοδος αντιστάθμισης φωτοδίοδου (-)
MASS	Μάζα δείγματος (g)
Te	Θερμοκρασία εξάτμισης (K)
Tsm	Θερμοκρασία καπνού
APT	Απόλυτη πίεση (kPa)

E Value	Το ποσό της ενέργειας που απελευθερώνεται από το υλικό για κάθε κιλό οξυγόνου που καταναλώνει. (Η μέση τιμή είναι 13,1 MJ/kg για τα περισσότερα οργανικά υλικά, αλλά αν γνωρίζουμε μια πιο ακριβής τιμή μπορούμε να τη χρησιμοποιήσουμε) (MJ/kg)	
C-factor	Η σταθερά βαθμονόμησης του θερμιδόμετρου κώνου ( $m^{1/2} kg^{1/2} K^{1/2}$ ).	
O2 Delay	Η καθυστέρηση μεταφοράς του χρόνου για τον αναλυτή οξυγόνου (s). (Αυτός είναι ένας συνδυασμός του χρόνου που χρειάστηκε ώστε τα καυσαέρια να φτάσουν στον αναλυτή και του χρόνου καθυστέρησης του αναλυτή)	
CO2 Delay	Η καθυστέρηση μεταφοράς του χρόνου του αναλυτή διοξειδίου του άνθρακα (s).	
CO Delay	Η καθυστέρηση μεταφοράς του χρόνου του αναλυτή μονοξειδίου του άνθρακα (s).	
Ignition time	Χρόνος ανάφλεξης του δείγματος (s).	
Flameout time	Χρόνος σβησίματος φωτιάς (s).	
User end of test time	Χρόνος τερματισμού του πειράματος, στον οποίο τα δεδομένα υπολογίζονται (s). (αυτό το πεδίο είναι διαθέσιμο μόνο αν ο χρήστης έχει επιλεγμένη την επιλογή End of test criterion, όπως φαίνεται στη εικόνα 4.9)	
Mass loss	Ο ρυθμός απώλειας μάζας κατά τη διάρκεια χρονικού διαστήματος (στο πεδίο Time), κάτω από τον οποίο το πείραμα θεωρείται ότι έχει λήξει ( $g/m^2$ ). (αυτό το πεδίο είναι διαθέσιμο μόνο αν έχει επιλεγεί το Mass loss rate End of test criterion)	
Time	Το χρονικό διάστημα κατά το οποίο ο ρυθμός απώλειας μάζας μετράται ώστε να προσδιοριστεί το τέλος του χρόνου πειράματος για το κριτήριο λήξης του πειράματος του ρυθμού απώλειας μάζας (s).	
Truncated graphs at EOT time	Με αυτό το πεδίο επιλεγμένο τα δεδομένα μείωσης εμφανίζονται μόνο με μορφή γραφικής παράστασης. Ο χρόνος καθορίζεται από τα κριτήρια End Of Test.	
Smooth data	Εφαρμογή εξομάλυνσης στα μειωμένα δεδομένα	
Correct oxygen for pressure	Εάν ο αναλυτής οξυγόνου δεν διαθέτει δικό του αντισταθμιστή της πίεσης, τότε οι ενδείξεις του οξυγόνου χρειάζονται διορθώσεις σύμφωνα με τις αλλαγές στην ατμοσφαιρική πίεση. Επιλέγοντας αυτό το πεδίο εφαρμόζεται η διόρθωση. (εάν ο αναλυτής διαθέτει τον δικό του αντισταθμιστή πίεσης, τότε αυτό το πεδίο δεν πρέπει να είναι επιλεγμένο)	
End of test criteria	Αυτή η ομάδα επιλογών επιτρέπει να αλλάξουμε το κριτήριο που χρησιμοποιεί το λογισμικό ώστε να επιλέξει το τέλος του χρόνου του πειράματος, το χρόνο ολοκλήρωσης του πειράματος από:	
	ISO 5660-1: 2002	Βασισμένο στο πρότυπο ISO 5660-1:2002
	ASTM E 1354	Βασισμένο στο πρότυπο ASTM E 1354
	ISO 5660:1993	Βασισμένο στο πρότυπο ISO 5660:1993
	Ρυθμός απώλειας μάζας	Υπολογίζει το χρόνο ολοκλήρωσης του πειράματος σύμφωνα με τα δεδομένα της απώλειας μάζας που έχουμε ορίσει, όπως επίσης και για τους χρόνους.
	Σβήσιμο φωτιάς	Ορίζει ως χρόνο ολοκλήρωσης πειράματος, το χρόνο σβησίματος της φωτιάς
Εισαγωγές χρήστη	Παρακάμπτει τον υπολογισμό ολοκλήρωσης πειράματος από το λογισμικό και επιτρέπει την απευθείας είσοδο των τιμών από το χρήστη.	

### 3.6 ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΙΝΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΟΘΕΡΜΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΑΝΑΦΛΕΞΗ

Η βασική εξίσωση είναι:

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

Όπου:

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

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

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

Για  $y=0$ ,

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

Όπου:

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

Θεωρούμε μια 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 θεωρήσουμε ότι το  $\dot{q}''$  είναι σταθερό, που είναι μια καλή υπόθεση για μεγάλα  $\dot{q}''_{ext}$ , τότε έχουμε:

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

Εισάγοντας την (7.7) στην (4.5) προκύπτει:

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

ή,

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

Με αυτόν τον αλγόριθμο μπορούμε πλέον να υπολογίσουμε τη θερμοκρασία επιφάνειας κατά την πάροδο του χρόνου. Αυτό επιτυγχάνεται υπολογίζοντας την καθαρή ροή θερμότητας για το ανάλογο T, που έχουμε επιλέξει, ενώ παράλληλα χρησιμοποιώντας την (4.9) υπολογίζουμε τον χρόνο. Αυτό το αποτέλεσμα θα μας βοηθήσει να υπολογίσουμε την κρίσιμη ροή 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).

### 3.6.1 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,

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

Όπου :

$\dot{m}''$  ο ρυθμός απώλειας μάζας ανά μονάδα επιφάνειας,

$\Delta H_v$  η θερμότητα εξατμισμού,

$\dot{q}''$  η ροή θερμότητας επιφάνειας.

Εδώ πρέπει να σημειώσουμε 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 θερμότητας της φλόγας και δίνεται από τον παρακάτω τύπο.

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

### 3.6.2 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.

### 3.6.3 Ροή θερμότητας από ακτινοβολία

Η εκμπεψιμότητα (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  $1.4 \text{ m}^{-1}$ . Η ροή θερμότητας που προκύπτει από την ακτινοβολία της φλόγας είναι:

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

## **4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ**

### **4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Επεξεργασίες επιβραδυνόμενης καύσης πιθανόν σημαντικά να βελτιώνουν την αντίδραση προς τις ιδιότητες καύσης των προϊόντων ξύλου και αυτές πιθανόν να καταλήξουν σε προϊόντα ξύλου έχοντας τα υψηλότερα χαρακτηριστικά αποδοτικότητας (εκτέλεσης) καύσης, τα οποία δύνανται να επιτευχθούν με οποιοδήποτε εύφλεκτο υλικό. Παρόλα αυτά η αντίδραση προς την εκτέλεση καύσης πιθανόν να μειωθεί με την έκθεση σε συνθήκες υγρασίας και η δυνατότητα των επεξεργασμένων προϊόντων να συνεχίζει να διεξάγεται ακόμα και όταν αυτά εκτίθενται σε αυτές τις συνθήκες, όταν θα πρέπει να τα παρουσιάσουν.

Δύο απόψεις της αντίδρασης στην ανθεκτικότητα της καύσης των προϊόντων ξύλου είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη. Η πρώτη είναι ο κίνδυνος για υψηλή ποσότητα υγρασίας και η μεταφορά χημικών επιβραδυνόμενης καύσης εντός του προϊόντος καθώς και η αποκρυστάλλωση πάνω στην επιφάνεια του προϊόντος που πιθανόν να λιγοστεύουν και να μειώσουν τις βελτιωμένες ιδιότητες της καύσης. Αυτές οι μικροσκοπικές ιδιότητες του επεξεργασμένου προϊόντος μπορούν να εκτιμηθούν με την έκθεση σε υψηλή σχετικά υγρασία.

Η άλλη άποψη είναι ο κίνδυνος μείωσης της εκτέλεσης καύσης εξ αιτίας της απώλειας χημικών επιβραδυνόμενης καύσης στις εξωτερικές εφαρμογές, π.χ. προσόψεις (facade claddings). Διατηρημένη αποδοτικότητα καύσης μετά την καύση είναι απαραίτητο να επαληθευτεί.

Αυτός ο κανονισμός βασίζεται στην Τεχνική Περιγραφή CEN/TS15912.

### **4.2 ΣΚΟΠΟΣ**

Αυτός ο Ευρωπαϊκός Κανονισμός περιγράφει τα χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων προϊόντων ξύλου βραδείας καύσης. Βασίζεται στη συντήρηση εκτέλεσης αμείωτης μέσα στην επιθυμητή διάρκεια ζωής στις προσδοκώμενες συνθήκες χρήσης.

Ο Ευρωπαϊκός Κανονισμός ορίζει την ταξινόμηση αξιώσεων για την ανθεκτικότητα αντίδρασης προς την εκτέλεση καύσης προϊόντων ξύλου βραδείας καύσης για χρησιμοποιηθούν σε εσωτερικές και εξωτερικές συνθήκες τελικής χρήσης. Αυτός ο Ευρωπαϊκός Κανονισμός εφαρμόζεται για ξύλο το οποίο είναι επεξεργασμένο κατά την διάρκεια μίας διαδικασίας παράγωγης με προϊόντα βραδείας καύσης, είτε με τη διαδικασία εμποτισμού ή με επιφανειακή διαδικασία, όπως με ένα σχηματισμό λεπτού στρώματος ή στρώματος (intumescent) βραδείας καύσης. Αυτό καλύπτει επεξεργασμένα προϊόντα αργής καύσης τα οποία είναι επικαλυμμένα με απλό χρώμα.

### 4.3 ΟΡΟΙ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

Για το σκοπό του γραπτού αυτού, οι ακόλουθοι ορισμοί και όροι εφαρμόζονται. Κλάσεις\_χρήσης:

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

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

β) Κατάσταση υγρασίας - DRF INT 2

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

#### 4.3.1 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.

#### 4.3.2 Αντίδραση στην εκτέλεση καύσης

Πραγματοποιήθηκαν πλήρεις δοκιμές για όλα τα υλικά σε ροή θερμότητας  $50 \text{ kW/m}^2$  για τουλάχιστον 1200 δευτερόλεπτα. Η συγκεκριμένη ροή θερμότητας επιλέχθηκε, από κοινού με τον πελάτη βασιζόμενοι στη υπάρχουσα βιβλιογραφία, ως μία τυπική ένταση φωτιάς σε κλειστούς χώρους 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.

Από τις μετρήσεις του ρυθμού έκλυσης θερμότητας, υπολογίζεται η παράμετρος MAHRE (Maximum Average Rate of Heat Release Emission). Η παράμετρος αυτή αποτελεί δείκτη επικινδυνότητας αντίδρασης υλικών στη φωτιά (επιθυμητές μικρές τιμές) και χρησιμοποιείται για την χαρακτηρισμό και την κατάταξη υλικών σε τρένα (CEN TS 45545-2). Τα αποτελέσματα για τα υλικά των δοκιμών που διενεργήθηκαν, παρουσιάζονται στη συνέχεια. Δείγματα θα πρέπει να κόβονται περίπου 0,1m από την άκρη του υλικού.

#### 4.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΩΝ

Συνολικά παρελήφθησαν δεκατρία (13) διαφορετικά υλικά και από ένα (1) δοκίμιο για κάθε υλικό. Πλην του υλικού με αρίθμηση T02000 το οποίο δεν έχει συμπλήρωση πρόσθετων στη σύσταση του και αποτελεί υλικό αναφοράς, τα υπόλοιπα έχουν υποστεί διαφορετικού τύπου και συγκέντρωσης συμπλήρωση πρόσθετων. Το υλικό είναι Πεύκο τυπικού χρώματος επιφάνειας και διαμόρφωσης το οποίο προορίζεται για χρήση ως δομικό υλικό. Τα χαρακτηριστικά των δειγμάτων καθώς και η κωδικοποίησή τους από το εργαστήριο παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1.1). Έγινε προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν δοκίμια διαστάσεων  $100^{0}_{-2} \times 100^{0}_{-2} \text{ mm}^2$ , σύμφωνα με το ISO 5660.

*Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά υλικών προς δοκιμή*

Κατηγορία Υλικών	Περιγραφή Υλικού	Κωδικός Υλικού	Πάχος υλικών d (mm)	Αρχική Μάζα Δοκιμίου (gr)
Δείγματα Πεύκου με πρόσθετα	Υλικό Αναφοράς	T02000	21±0.5	90.62
	Επεξεργασία με ξηρό αέρα	T02001	21±0.5	108.54
		T02002	21±0.5	101.62
		T02007	21±0.5	93.71
		T02008	21±0.5	96.95
		T02009	21±0.5	109.71
		T02014	22±0.5	99.07
	Επεξεργασία με ατμό	T02015	21±0.5	102.87
		T02018	21±0.5	98.54
		T02020	21±0.5	109.51
		T02021	21±0.5	86.38
		T02022	21±0.5	85.11
		T02025	21±0.5	110.33



#### 4.4.1 Προετοιμασία υλικών

Όλα τα υλικά πριν από τις δοκιμές παρέμειναν σε κατάλληλο θάλαμο, με σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας ( $23\pm 2$  °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.

#### 4.4.2 Μέθοδος δοκιμών

Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές για όλα τα υλικά σε ροή θερμότητας  $50 \text{ kW/m}^2$ . Η συγκεκριμένη ροή θερμότητας επιλέχθηκε, από κοινού με τον πελάτη με βάση την υπάρχουσα βιβλιογραφία, ως μία τυπική ένταση φωτιάς σε κλειστούς χώρους καθώς και για σύγκριση των αποτελεσμάτων του θερμιδόμετρου κώνου με άλλες μεθόδους όπως η δοκιμή 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.

Από τη χρονική εξέλιξη του ρυθμού έκλυσης θερμότητας, υπολογίζεται η παράμετρος MAHRE (Maximum Average Rate of Heat Release Emission). Η παράμετρος αυτή αποτελεί δείκτη επικινδυνότητας αντίδρασης υλικών στη φωτιά (επιθυμητές μικρές τιμές) και χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό και την κατάταξη υλικών σε τρένα (CEN TS 45545-2). Τα αποτελέσματα των δοκιμών, παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Κριτήρια για έλεγχο φωτιά μικρής έκτασης σε έκθεση στην ατμόσφαιρα:

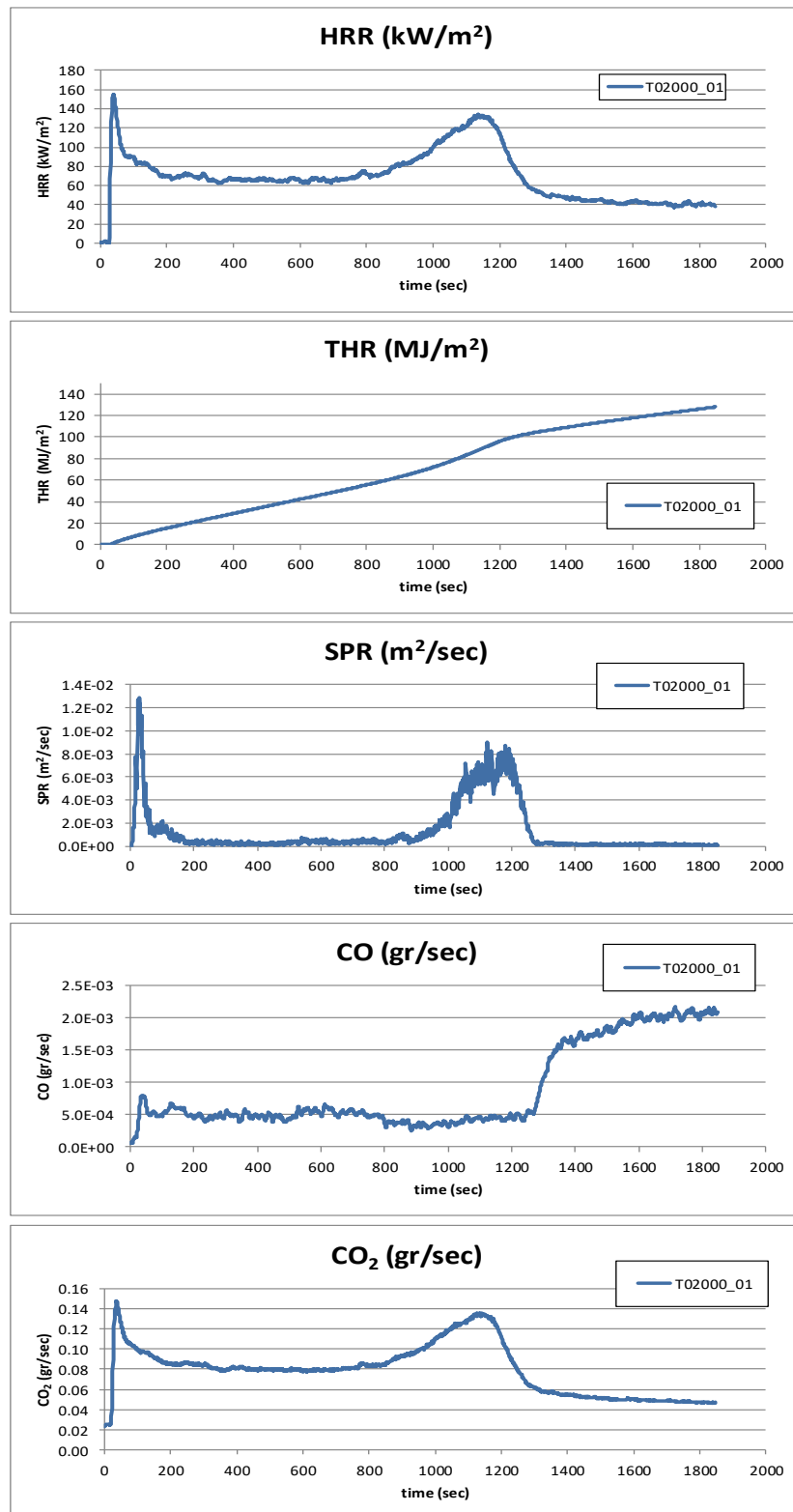
Προϊόντα κλάσης B (σύμφωνα με τον EN 13501-1) Heat Release Rate,  $\text{HRR}_{30\text{S AVE}} \leq 150 \text{ Kw/m}^2$  κατά την διάρκεια 600 δευτερολέπτων μετά την έναυση και αύξηση του Total Heat Release Rate < 20% συγκρίσιμο με τον έλεγχο πριν την έκθεση στην ατμόσφαιρα.

Προϊόντα κλάσης C (σύμφωνα με τον EN 13501-1) Heat Release Rate,  $\text{HRR}_{30\text{S AVE}} \leq 220 \text{ Kw/m}^2$  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.

$\text{HRR}_{30\text{S AVE}}$  είναι υπολογισμένο ως το άθροισμα του μέγιστου HRR και των τριών τιμών πριν και μετά το μέγιστο (συνολικά επτά τιμών) διαιρούμενο με το επτά.

## 4.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

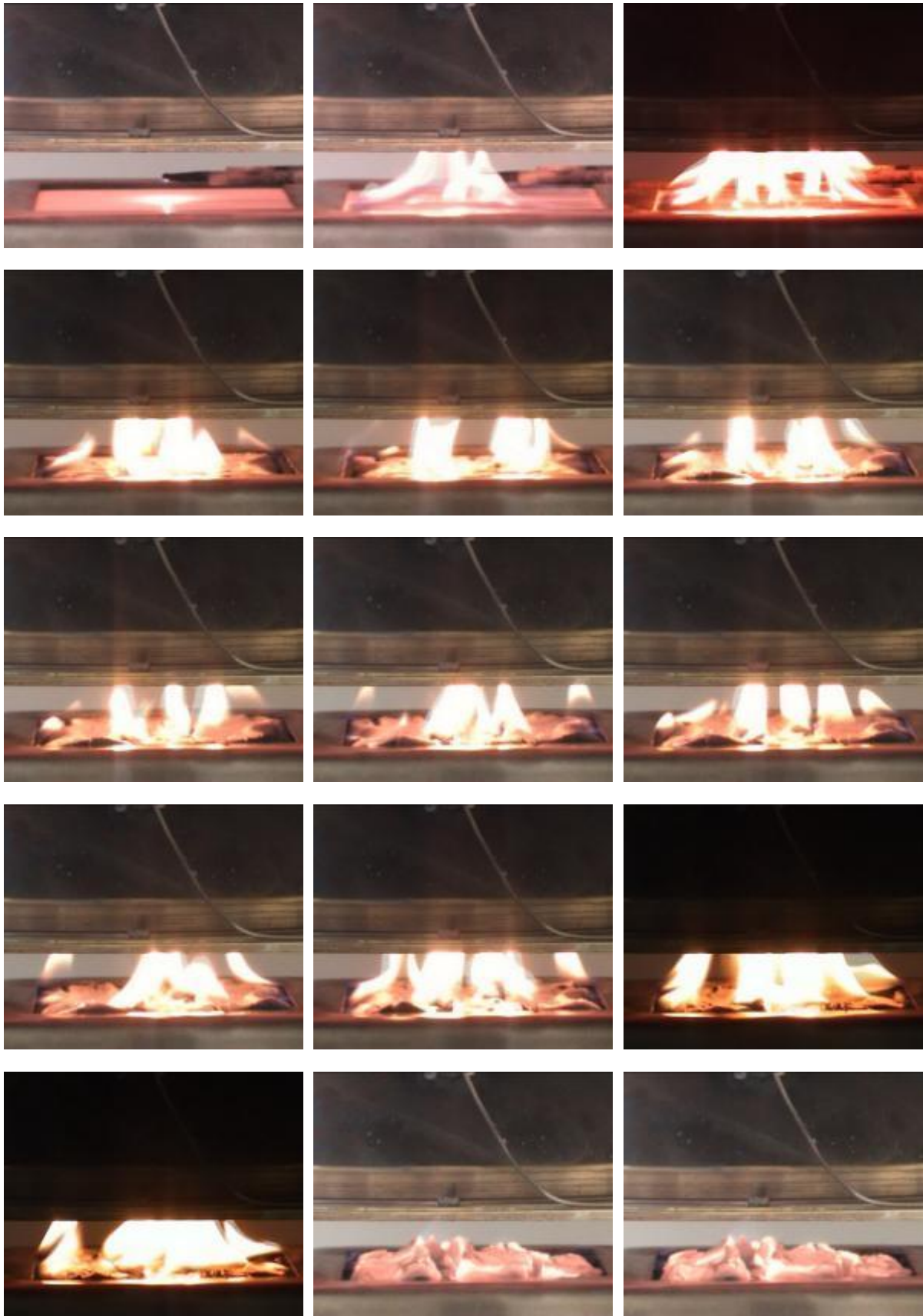
### 4.5.1 Υλικό T02000



Διάγραμμα 4.1: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m<sup>2</sup>), Συνολική Έκλυση Θερμότητας-THR (MJ/m<sup>2</sup>), Παραγωγή Καπνού-SPR (m<sup>2</sup>/sec), Έκλυση CO (gr/sec), Έκλυση CO<sub>2</sub> (gr/sec)

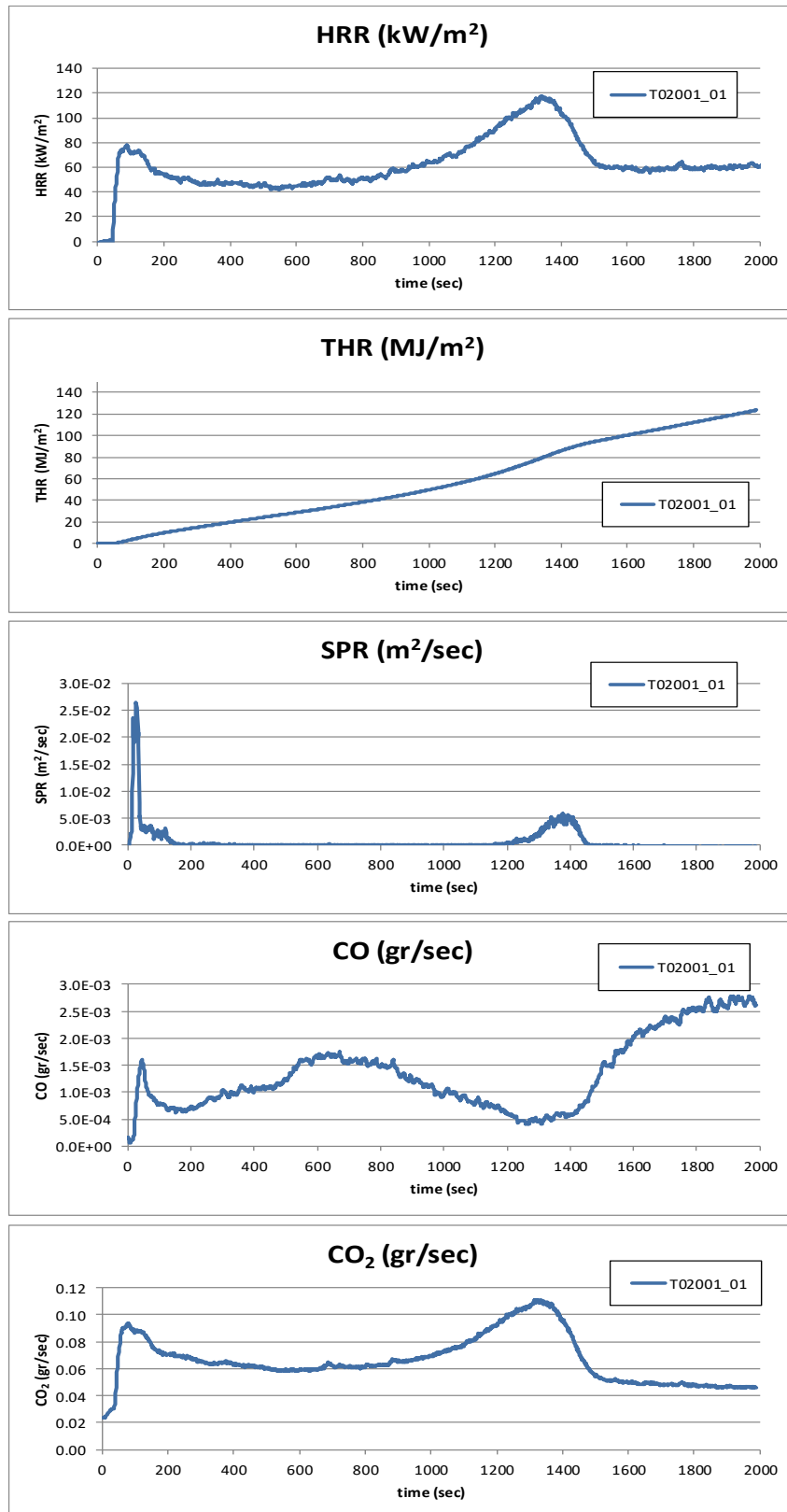


*Εικόνα 4.1: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες του υλικού T02000 πριν και μετά την καύση*

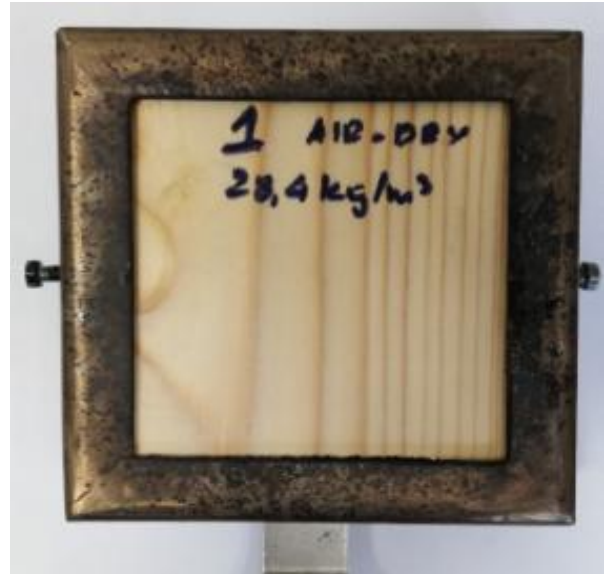
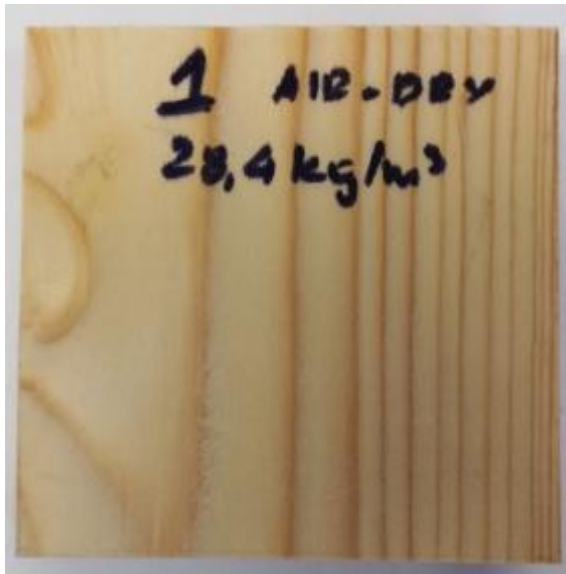


**Εικόνα 4.2: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες καύσης του υλικού T02000**

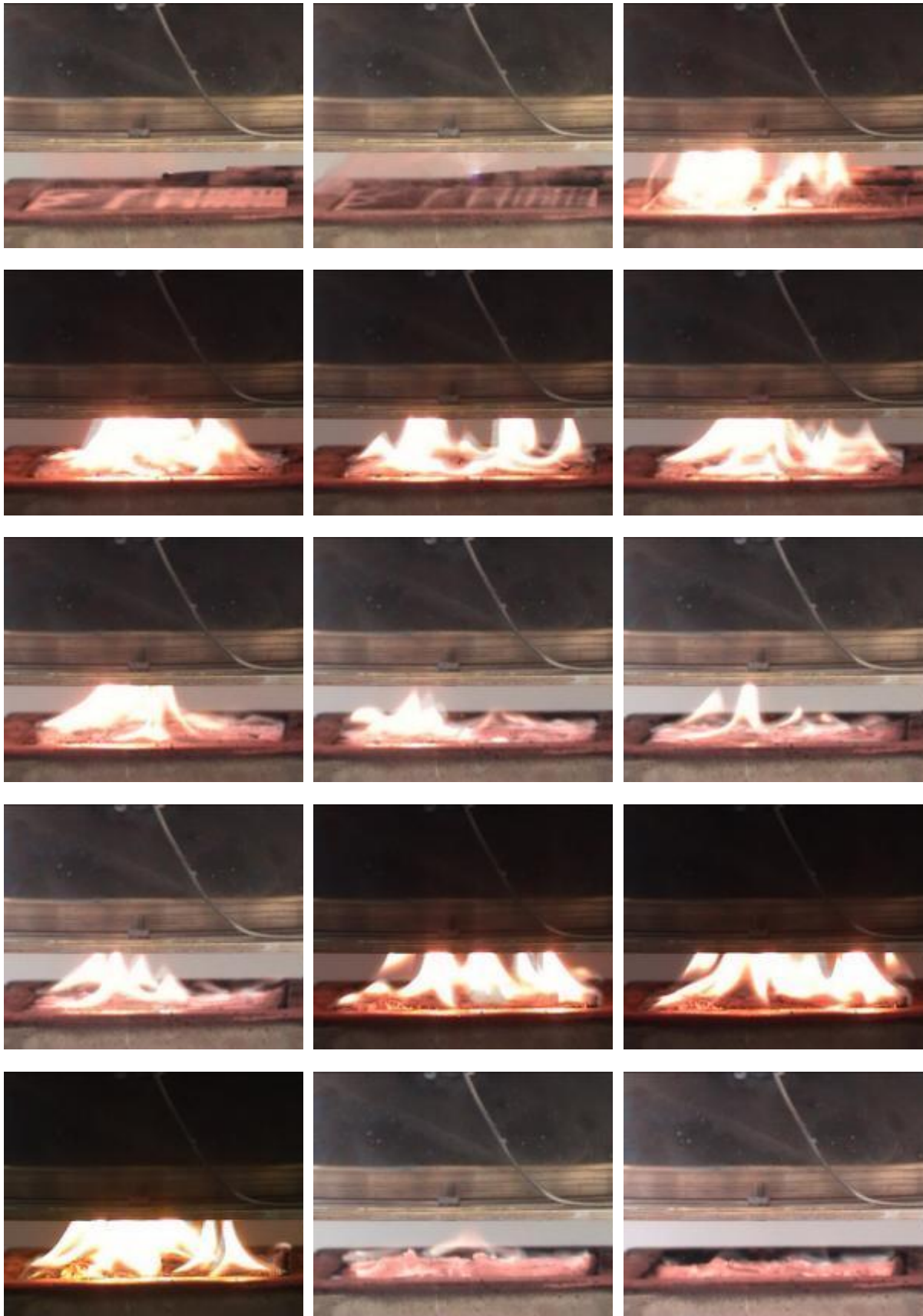
#### 4.5.2 Υλικό T02001



Διάγραμμα 4.2: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών - Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m<sup>2</sup>), Συνολική Έκλυση Θερμότητας-THR (MJ/m<sup>2</sup>), Παραγωγή Καπνού-SPR (m<sup>2</sup>/sec), Έκλυση CO (gr/sec), Έκλυση CO<sub>2</sub> (gr/sec)

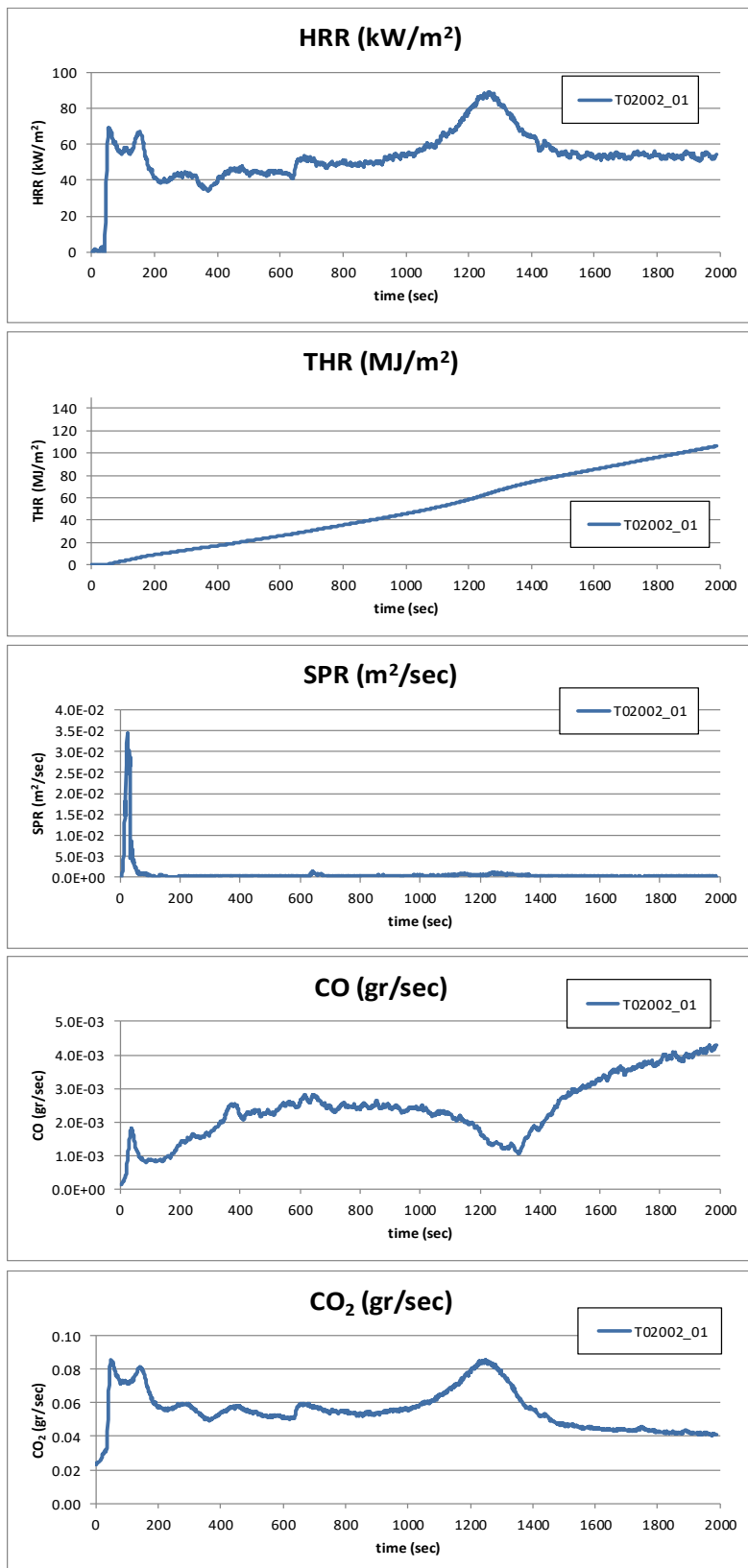


*Εικόνα 4.3: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες του υλικού T02001 πριν και μετά την καύση*



**Εικόνα 4.4:** Χαρακτηριστικές φωτογραφίες καύσης του υλικού T02001

### 4.5.3 Υλικό T02002



**Διάγραμμα 4.3:** Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών - Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m<sup>2</sup>), Συνολική Έκλυση Θερμότητας-THR (MJ/m<sup>2</sup>), Παραγωγή Καπνού-SPR (m<sup>2</sup>/sec), Έκλυση CO (gr/sec), Έκλυση CO<sub>2</sub> (gr/sec)

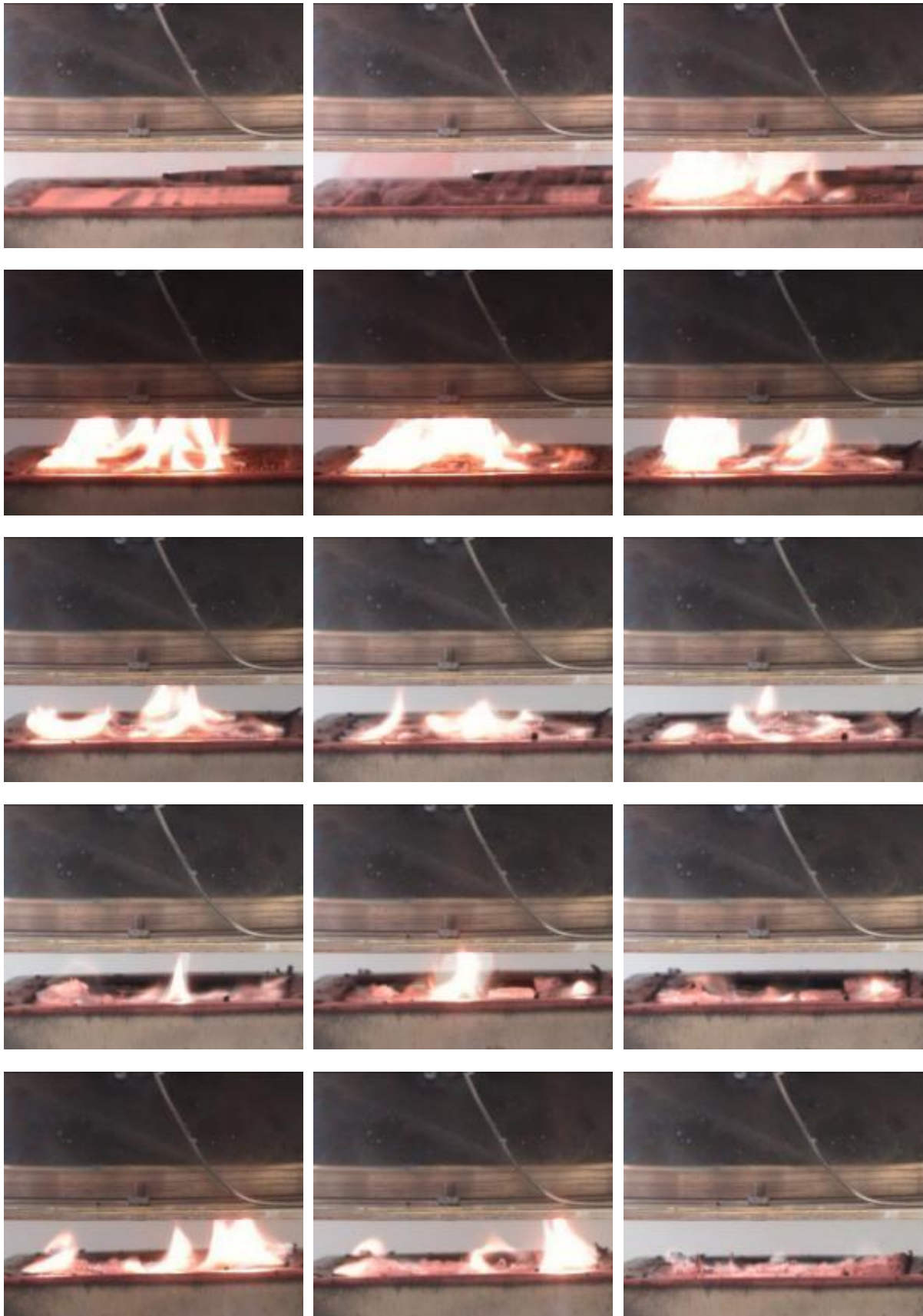




σ

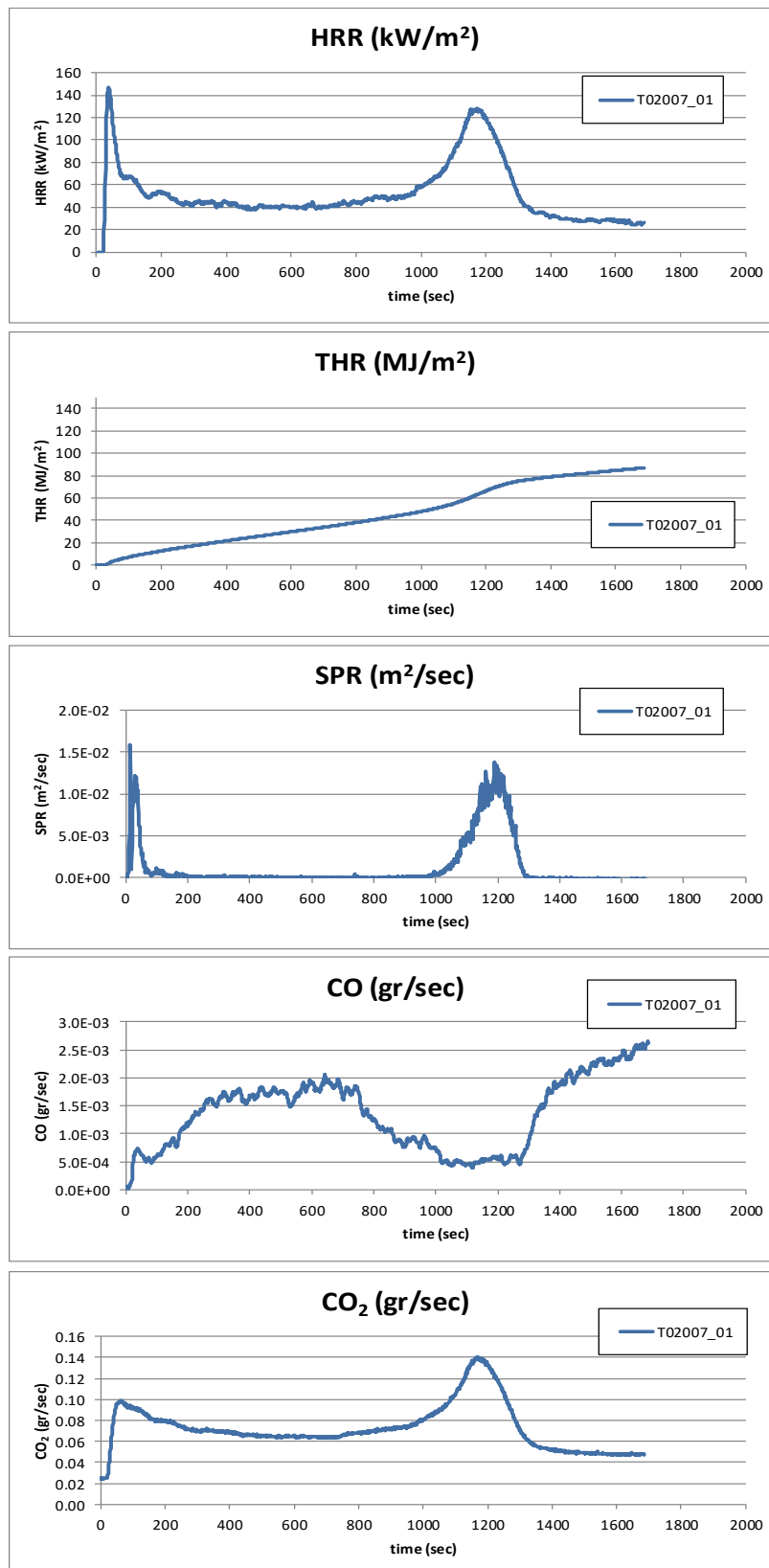


*Εικόνα 4.5: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες του υλικού T02002 πριν και μετά την καύση*

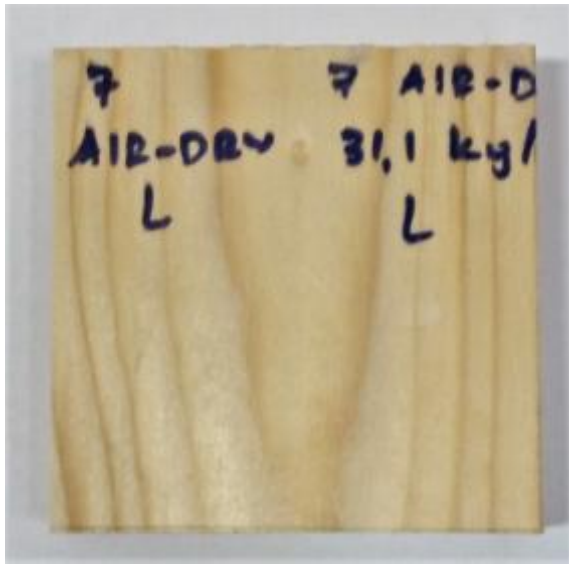


**Εικόνα 4.6: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες καύσης του υλικού T02002**

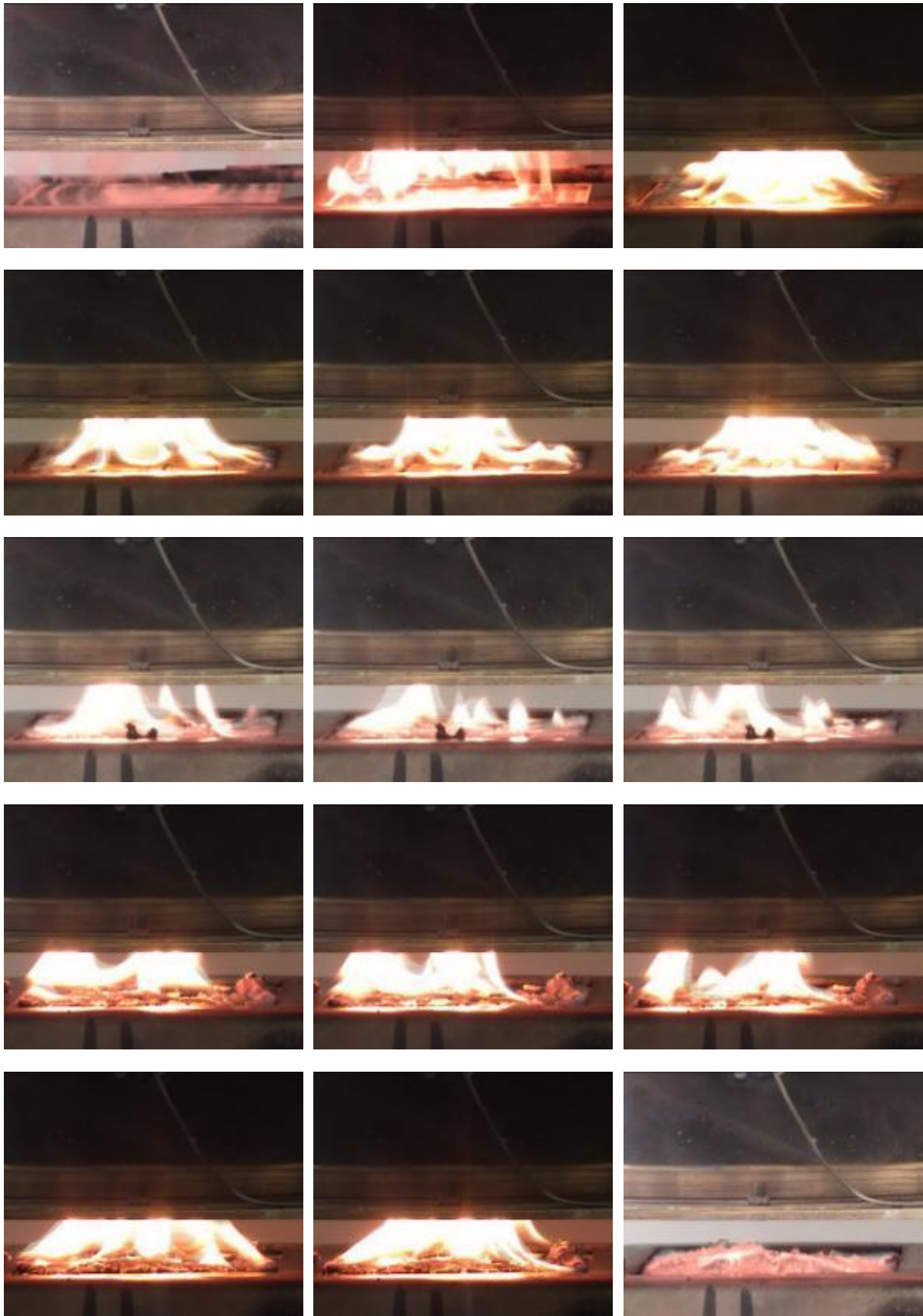
#### 4.5.4 Υλικό T02007



Διάγραμμα 4.4: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών - Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m<sup>2</sup>), Συνολική Έκλυση Θερμότητας-THR (MJ/m<sup>2</sup>), Παραγωγή Καπνού-SPR (m<sup>2</sup>/sec), Έκλυση CO (gr/sec), Έκλυση CO<sub>2</sub> (gr/sec)

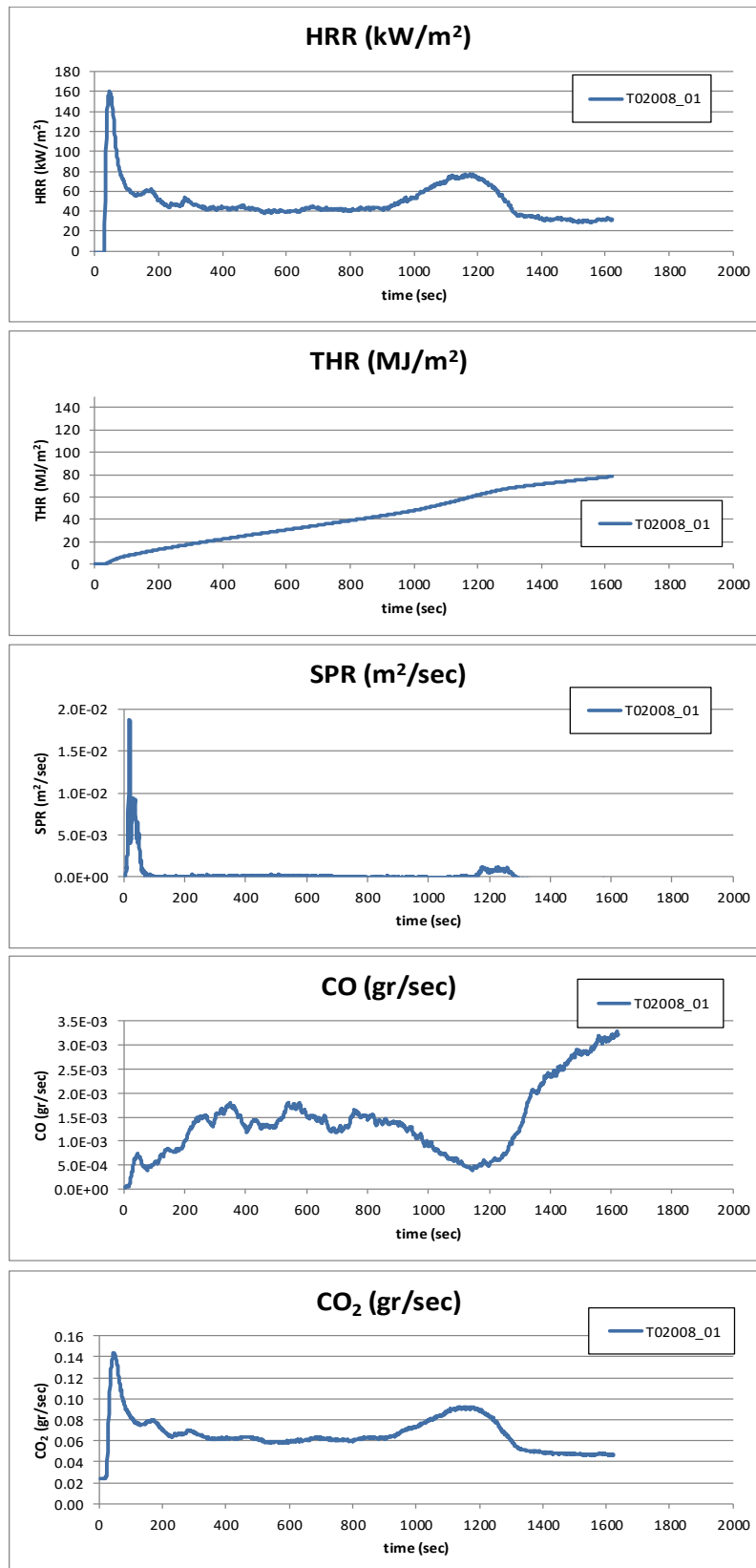


*Εικόνα 4.7: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες του υλικού T02007 πριν και μετά την καύση*



**Εικόνα 4.8:** Χαρακτηριστικές φωτογραφίες καύσης του υλικού T02007

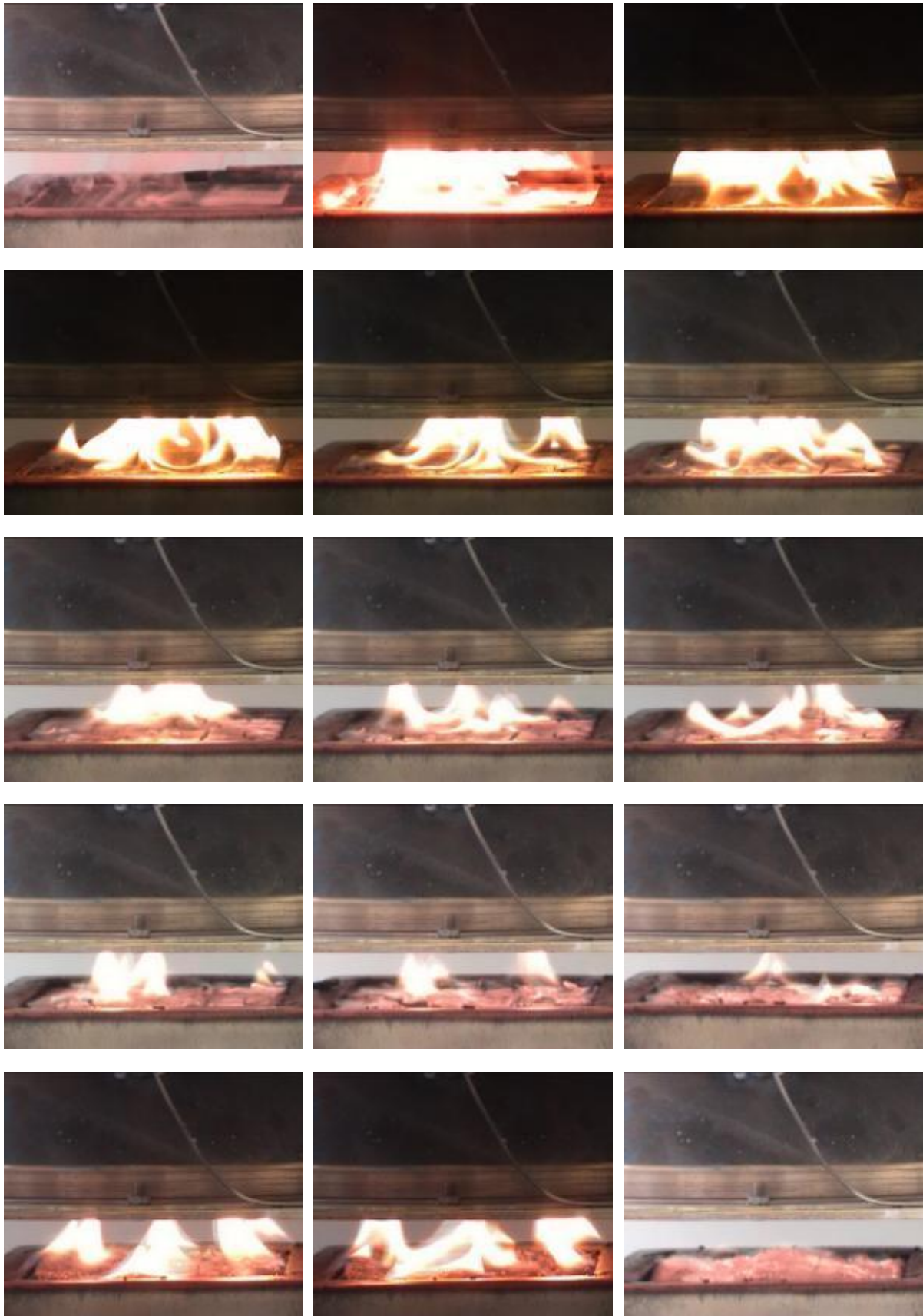
#### 4.5.5 Υλικό T02008



Διάγραμμα 4.5: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών - Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m<sup>2</sup>), Συνολική Έκλυση Θερμότητας-THR (MJ/m<sup>2</sup>), Παραγωγή Καπνού-SPR (m<sup>2</sup>/sec), Έκλυση CO (gr/sec), Έκλυση CO<sub>2</sub> (gr/sec)



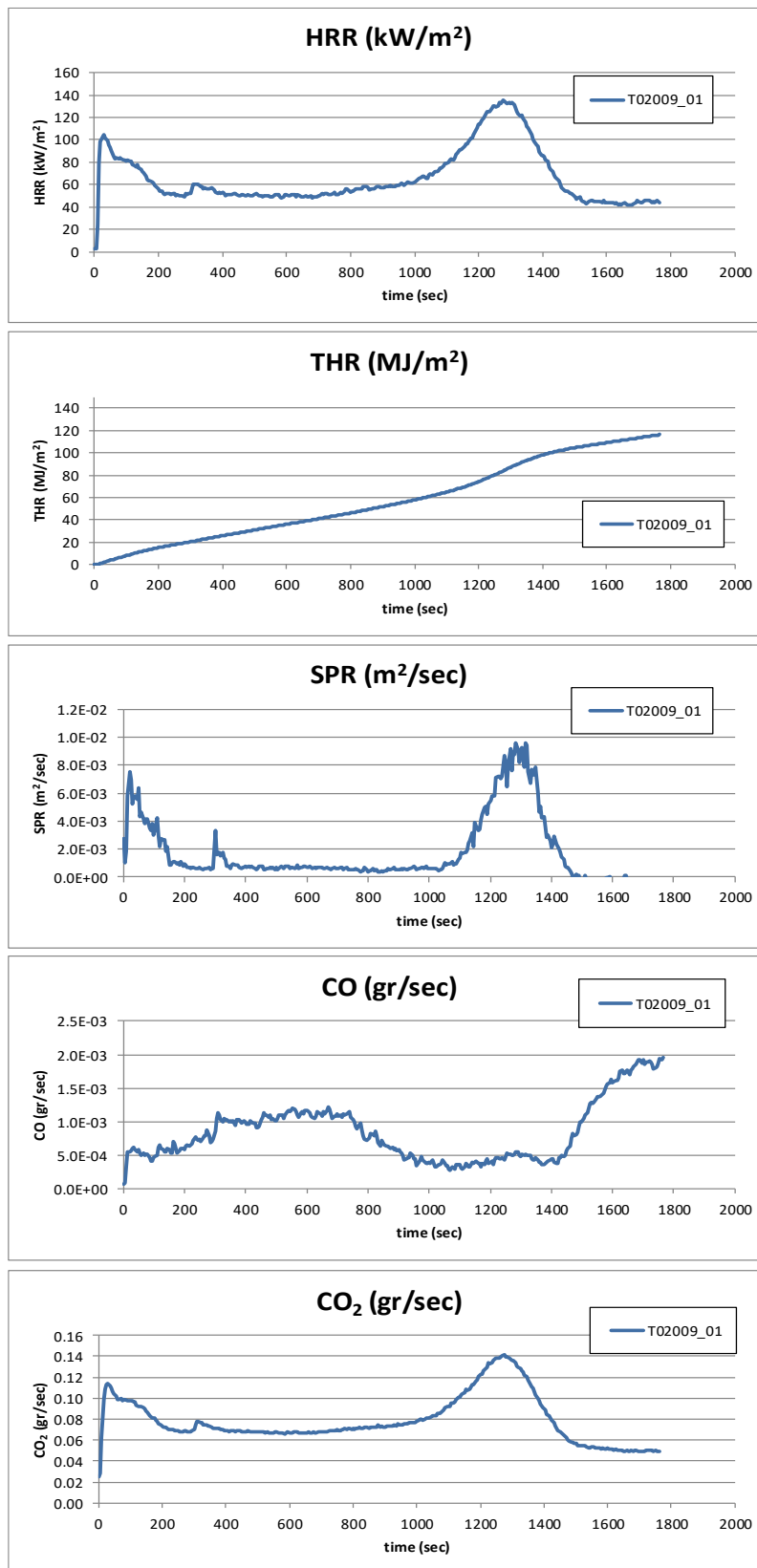
*Εικόνα 4.9: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες του υλικού T02008 πριν και μετά την καύση*



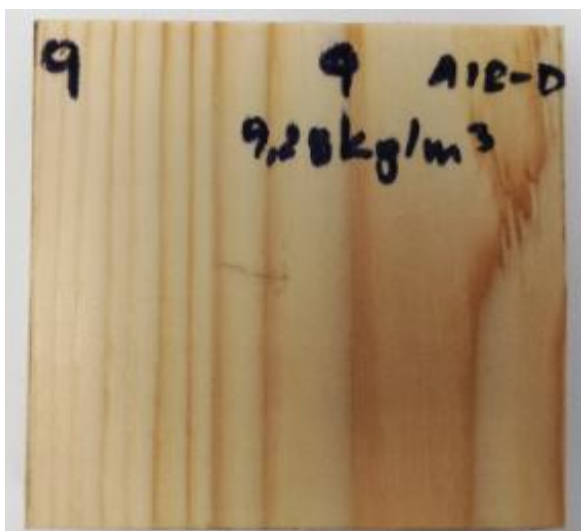
**Εικόνα 4.10: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες καύσης του υλικού T02008**



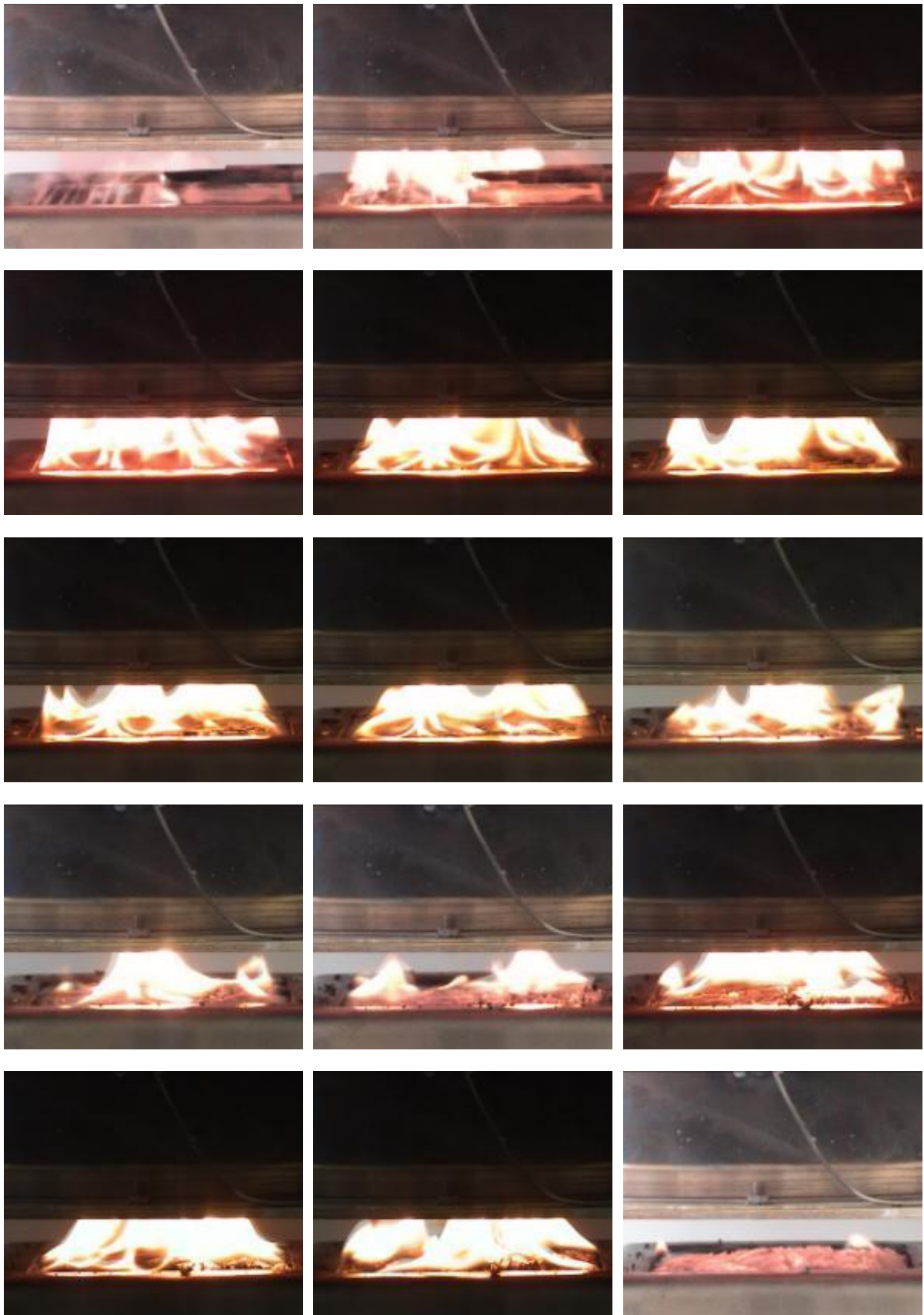
#### 4.5.6 Υλικό T02009



Διάγραμμα 4.6: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών - Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR ( $\text{kW/m}^2$ ), Συνολική Έκλυση Θερμότητας-THR ( $\text{MJ/m}^2$ ), Παραγωγή Καπνού-SPR ( $\text{m}^2/\text{sec}$ ), Έκλυση CO ( $\text{gr/sec}$ ), Έκλυση CO<sub>2</sub> ( $\text{gr/sec}$ )

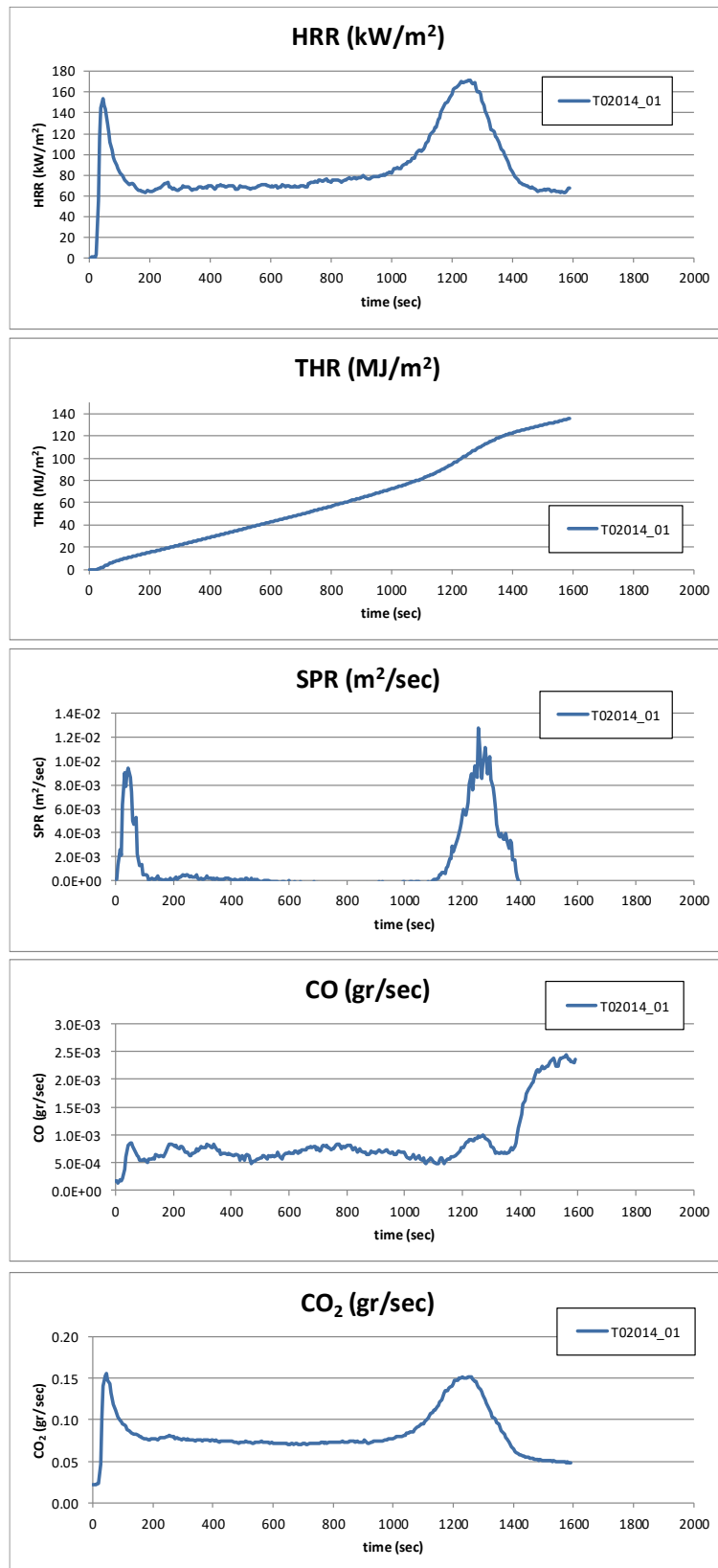


*Εικόνα 4.11: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες του υλικού T02009 πριν και μετά την καύση*

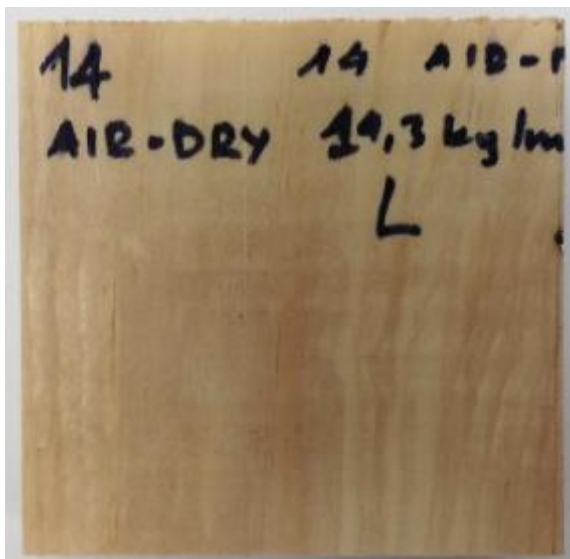


**Εικόνα 4.12: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες καύσης του υλικού T02009**

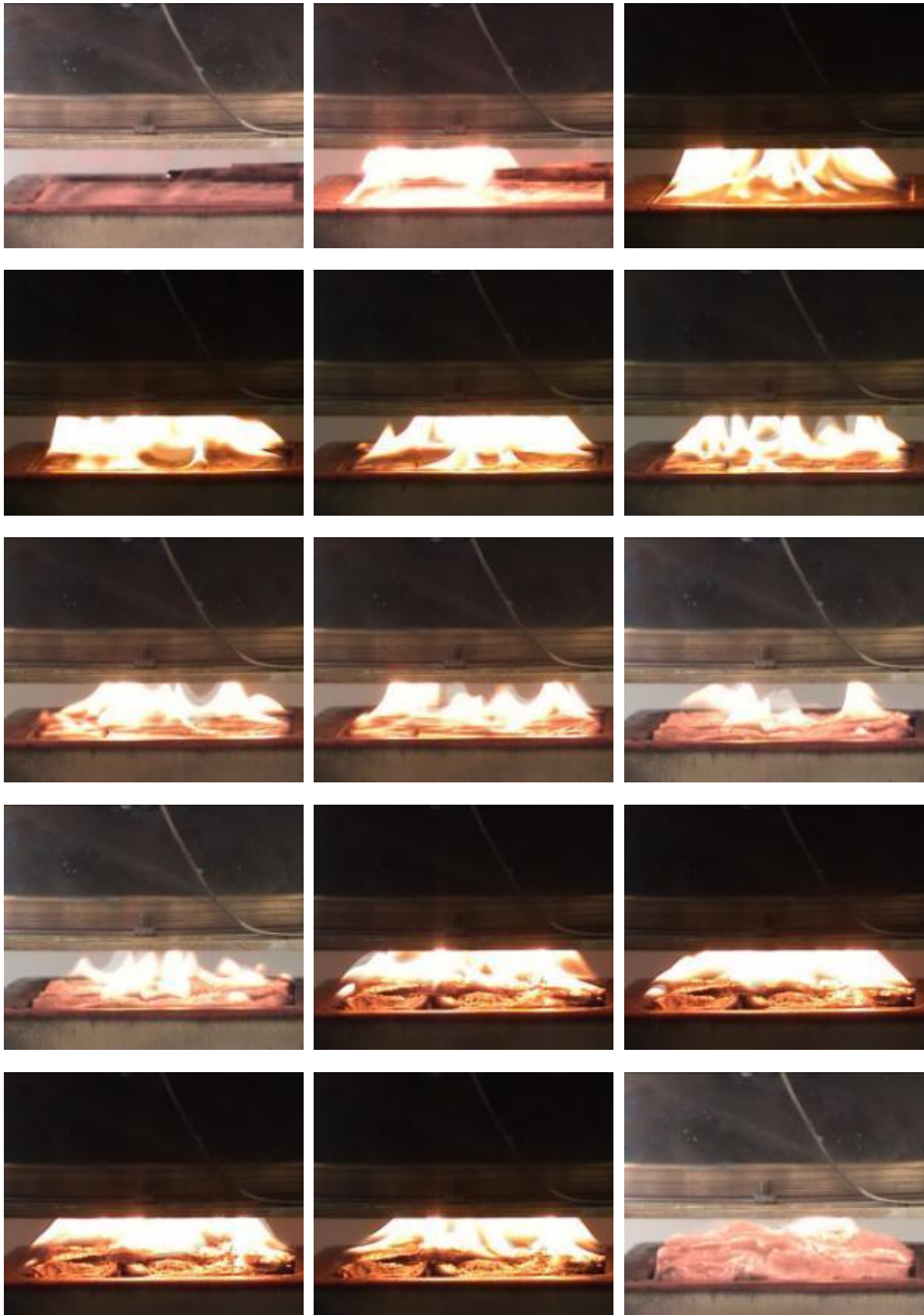
#### 4.5.7 Υλικό T02014



**Διάγραμμα 4.7: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών - Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m<sup>2</sup>), Συνολική Έκλυση Θερμότητας-THR (MJ/m<sup>2</sup>), Παραγωγή Καπνού-SPR (m<sup>2</sup>/sec), Έκλυση CO (gr/sec), Έκλυση CO<sub>2</sub> (gr/sec)**

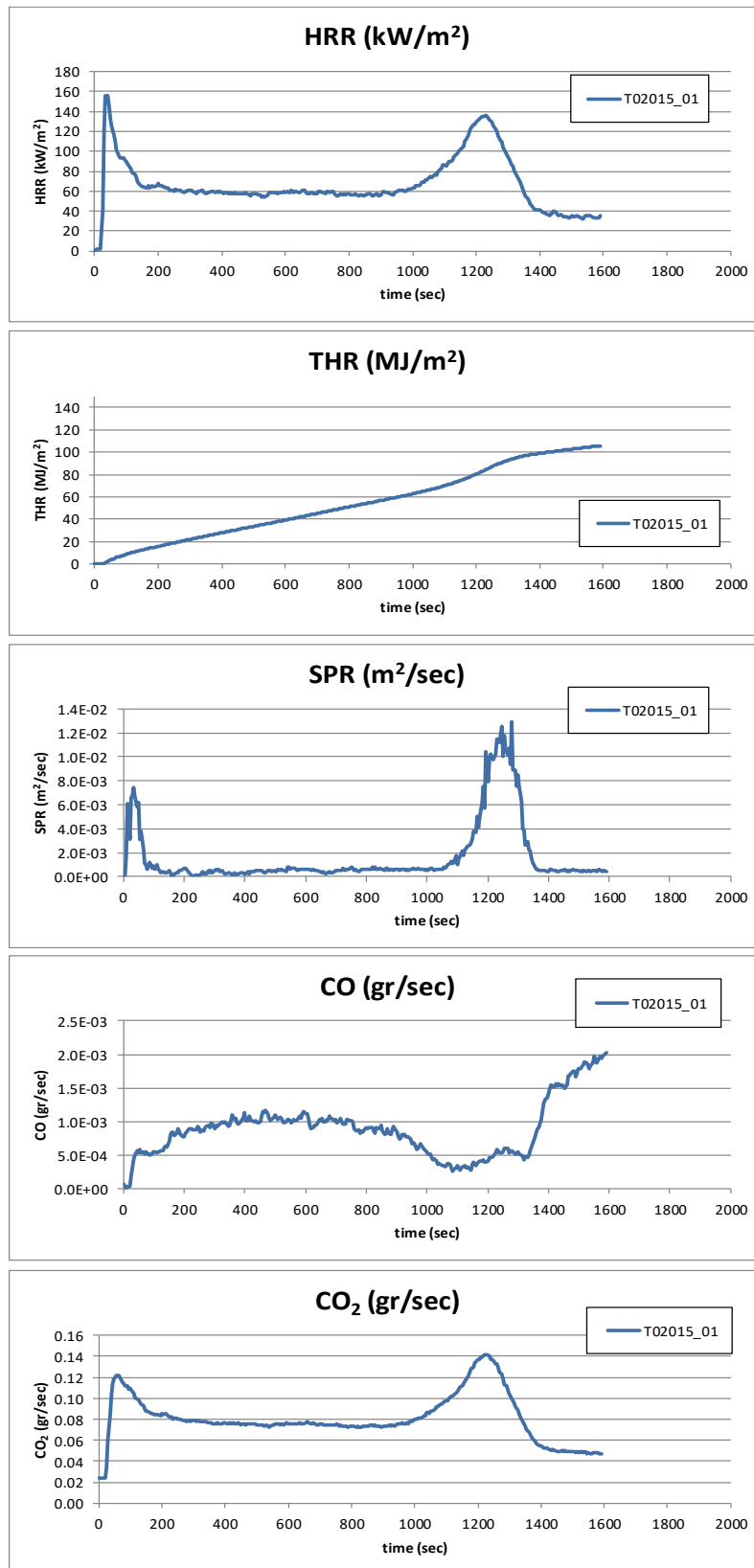


*Εικόνα 4.13: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες του υλικού T02014 πριν και μετά την καύση*

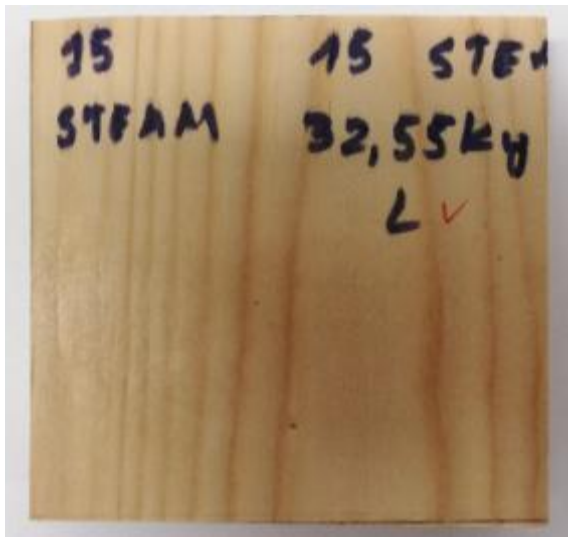


**Εικόνα 4.14: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες καύσης του υλικού T02014**

#### 4.5.8 Υλικό T02015

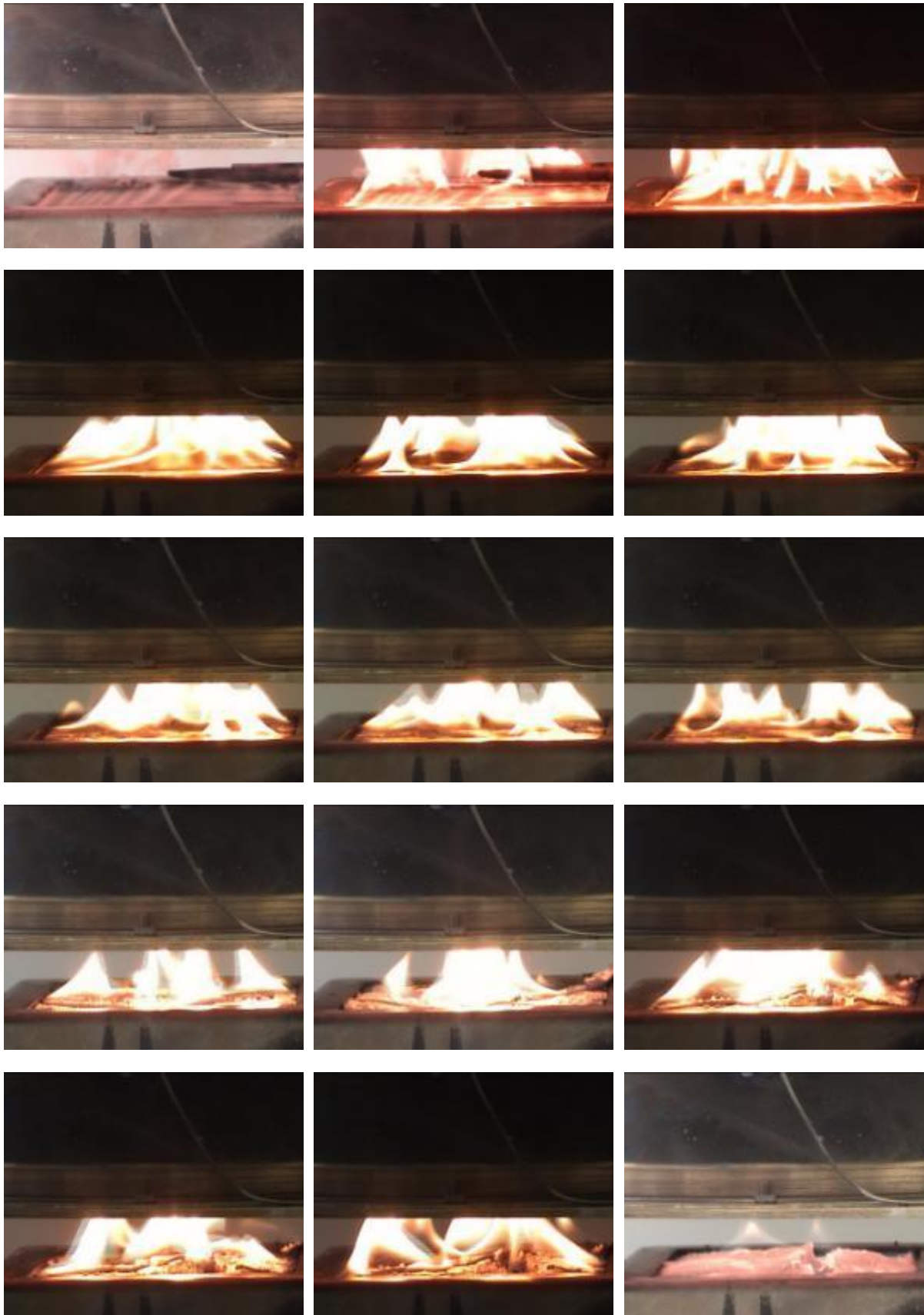


Διάγραμμα 4.8: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών - Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m<sup>2</sup>), Συνολική Έκλυση Θερμότητας-THR (MJ/m<sup>2</sup>), Παραγωγή Καπνού-SPR (m<sup>2</sup>/sec), Έκλυση CO (gr/sec), Έκλυση CO<sub>2</sub> (gr/sec)



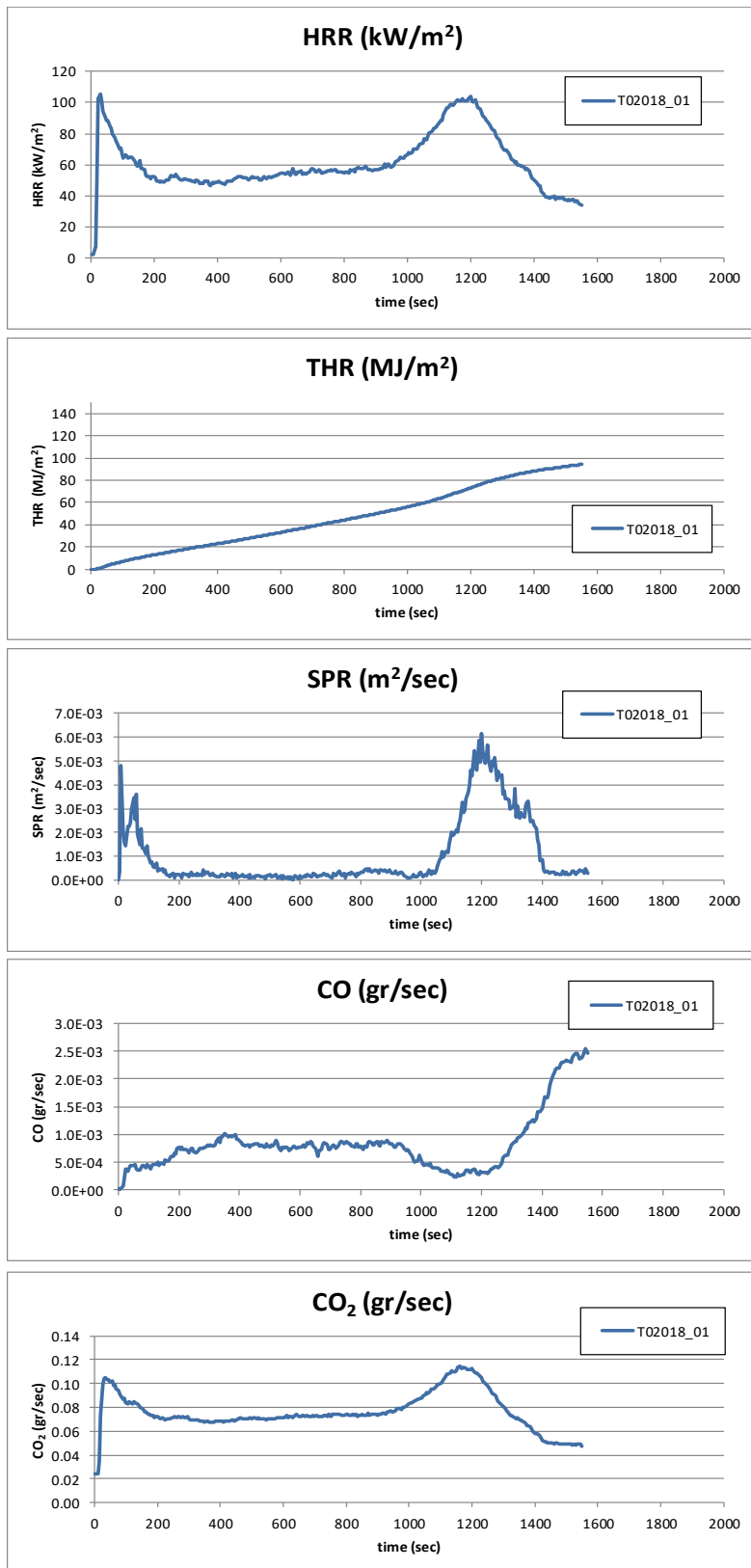
*Εικόνα 4.15: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες του υλικού T02015 πριν και μετά την καύση*





**Εικόνα 4.16: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες καύσης του υλικού T02015**

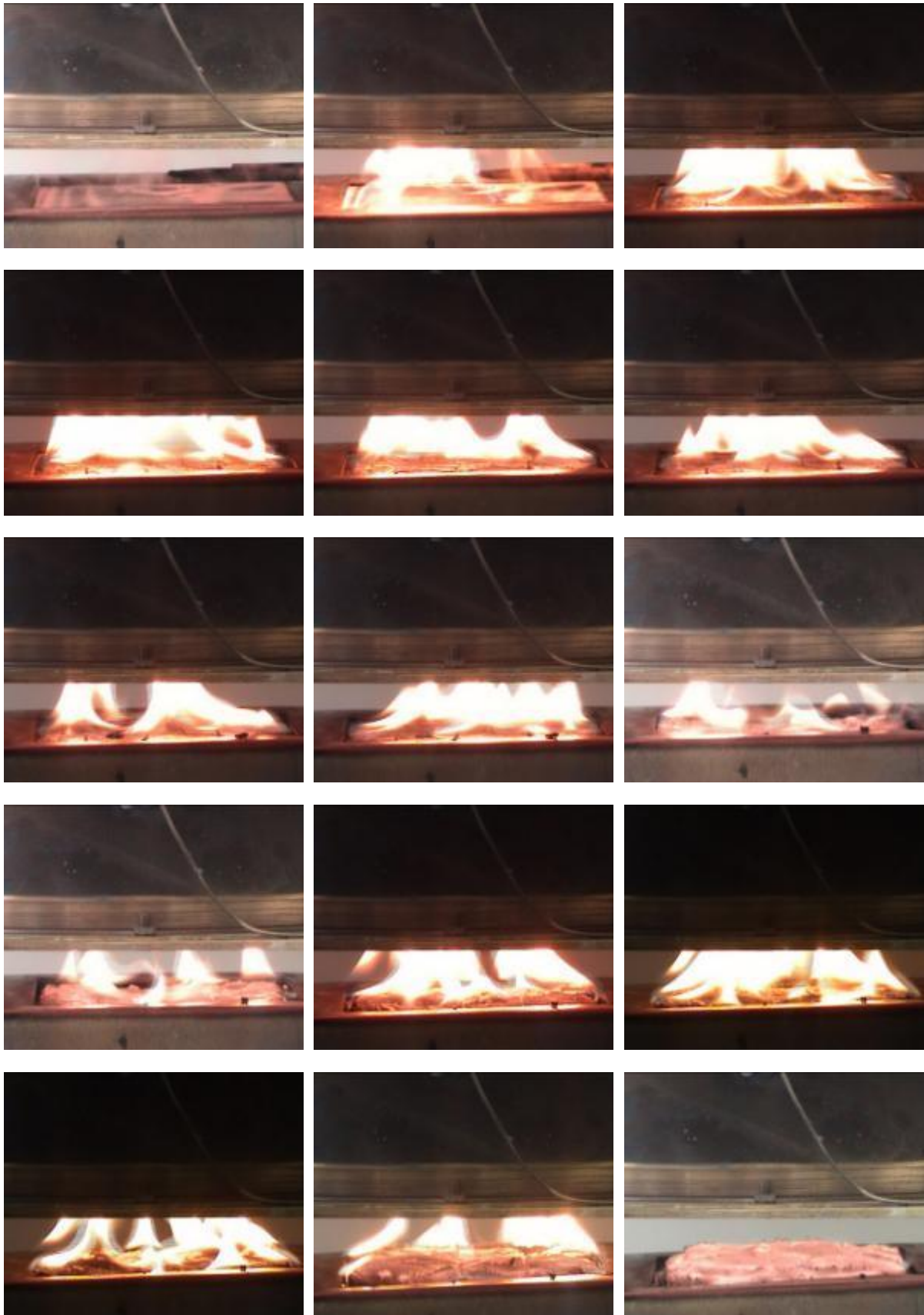
#### 4.5.9 Υλικό T02018



**Διάγραμμα 4.9: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών - Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m<sup>2</sup>), Συνολική Έκλυση Θερμότητας-THR (MJ/m<sup>2</sup>), Παραγωγή Καπνού-SPR (m<sup>2</sup>/sec), Έκλυση CO (gr/sec), Έκλυση CO<sub>2</sub> (gr/sec)**

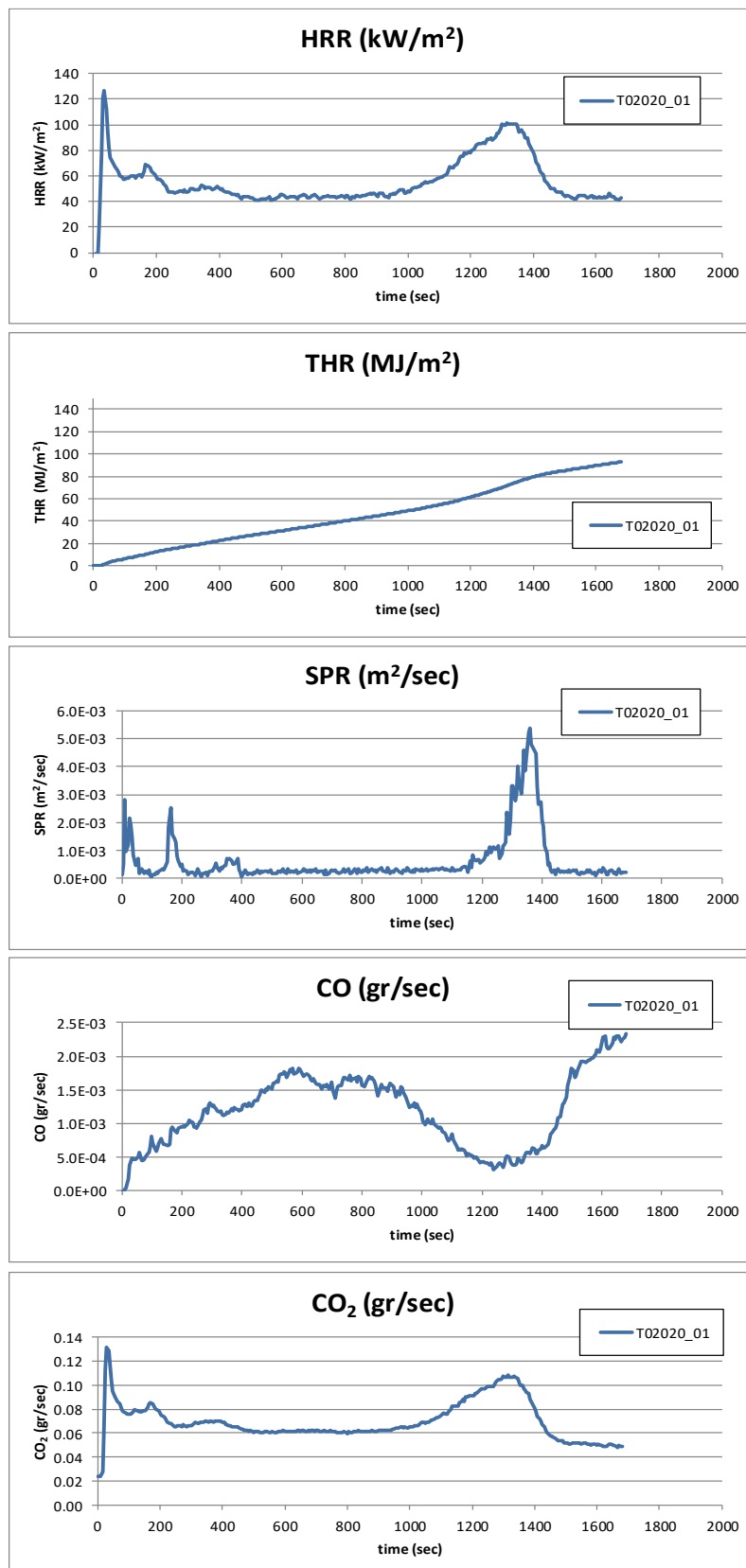


*Εικόνα 4.17: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες του υλικού T02018 πριν και μετά την καύση*

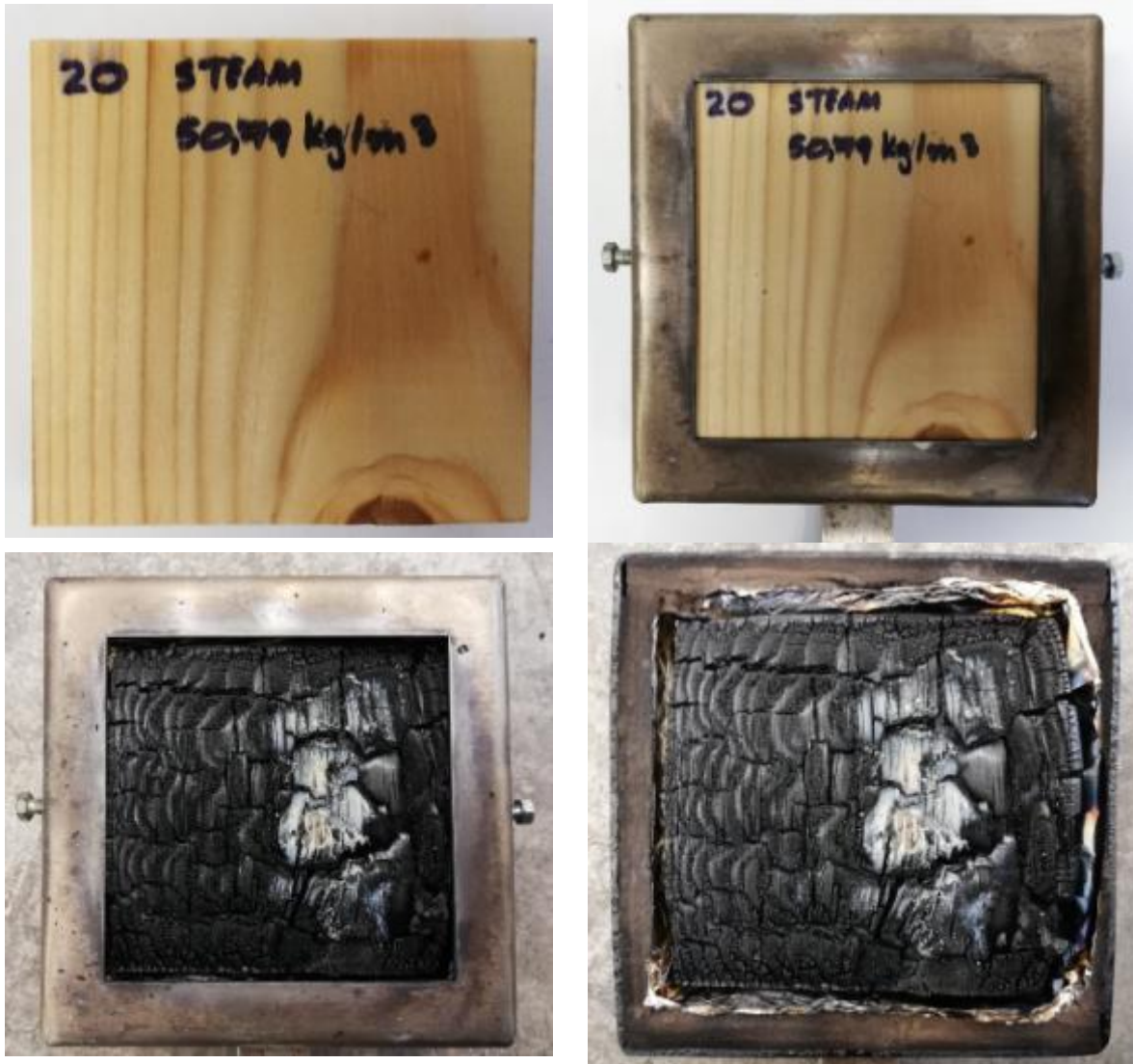


**Εικόνα 4.18: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες καύσης του υλικού T02018**

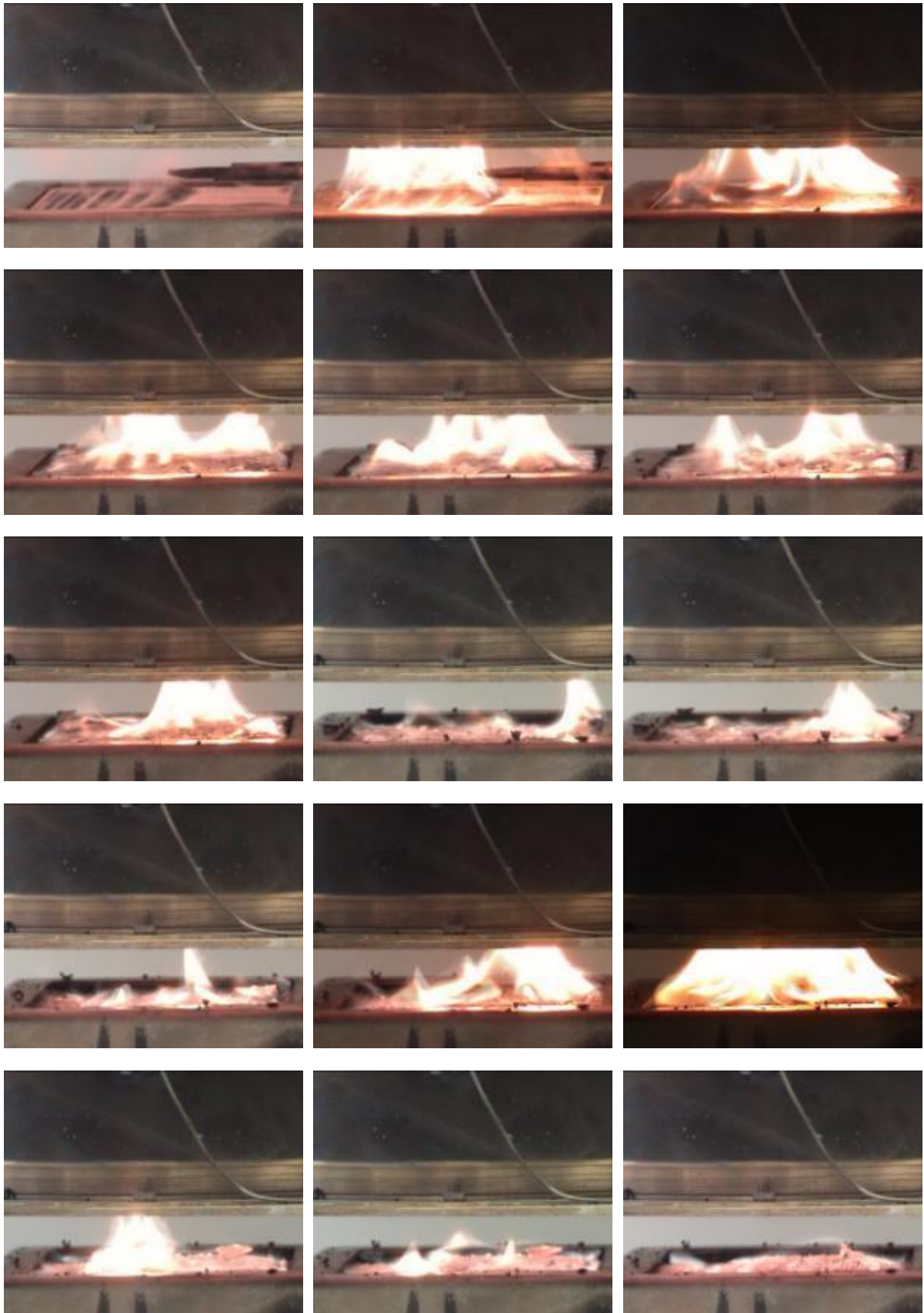
#### 4.5.10 Υλικό T02020



Διάγραμμα 4.10: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών - Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m<sup>2</sup>), Συνολική Έκλυση Θερμότητας-THR (MJ/m<sup>2</sup>), Παραγωγή Καπνού-SPR (m<sup>2</sup>/sec), Έκλυση CO (gr/sec), Έκλυση CO<sub>2</sub> (gr/sec)

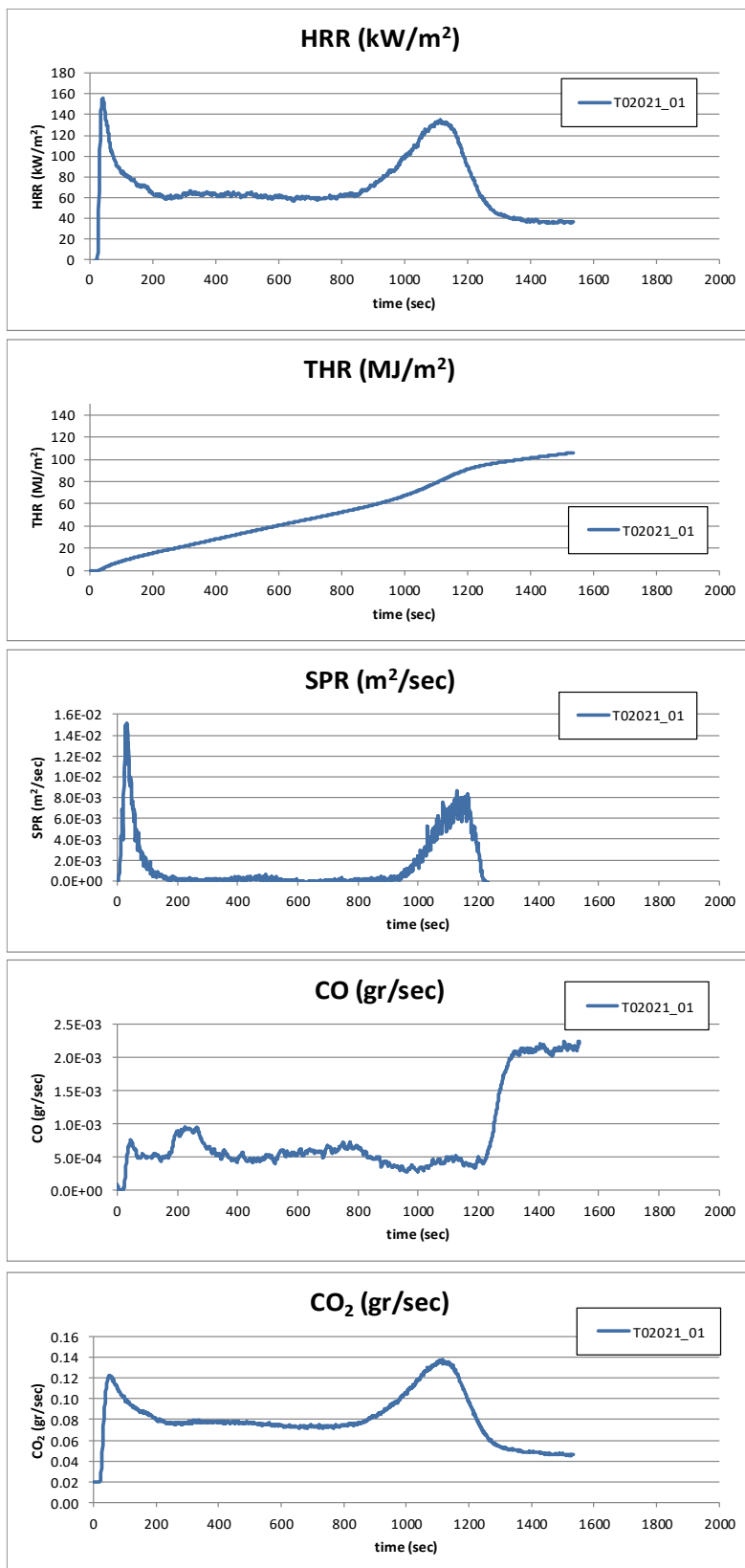


*Εικόνα 4.19: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες του υλικού T02020 πριν και μετά την καύση*



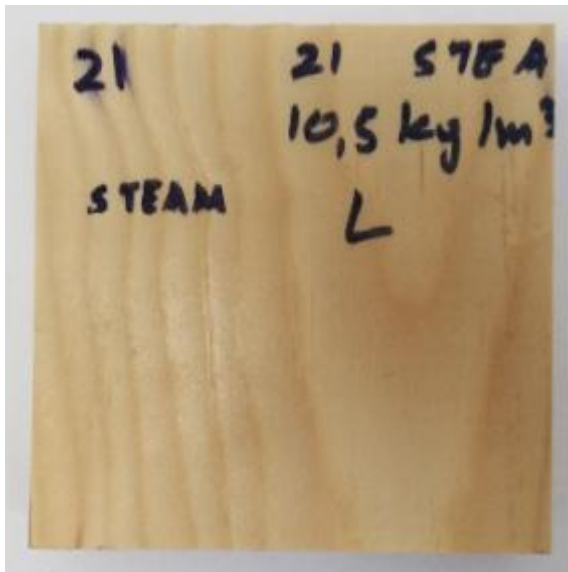
**Εικόνα 4.20: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες καύσης του υλικού T02020**

#### 4.5.11 Υλικό T02021

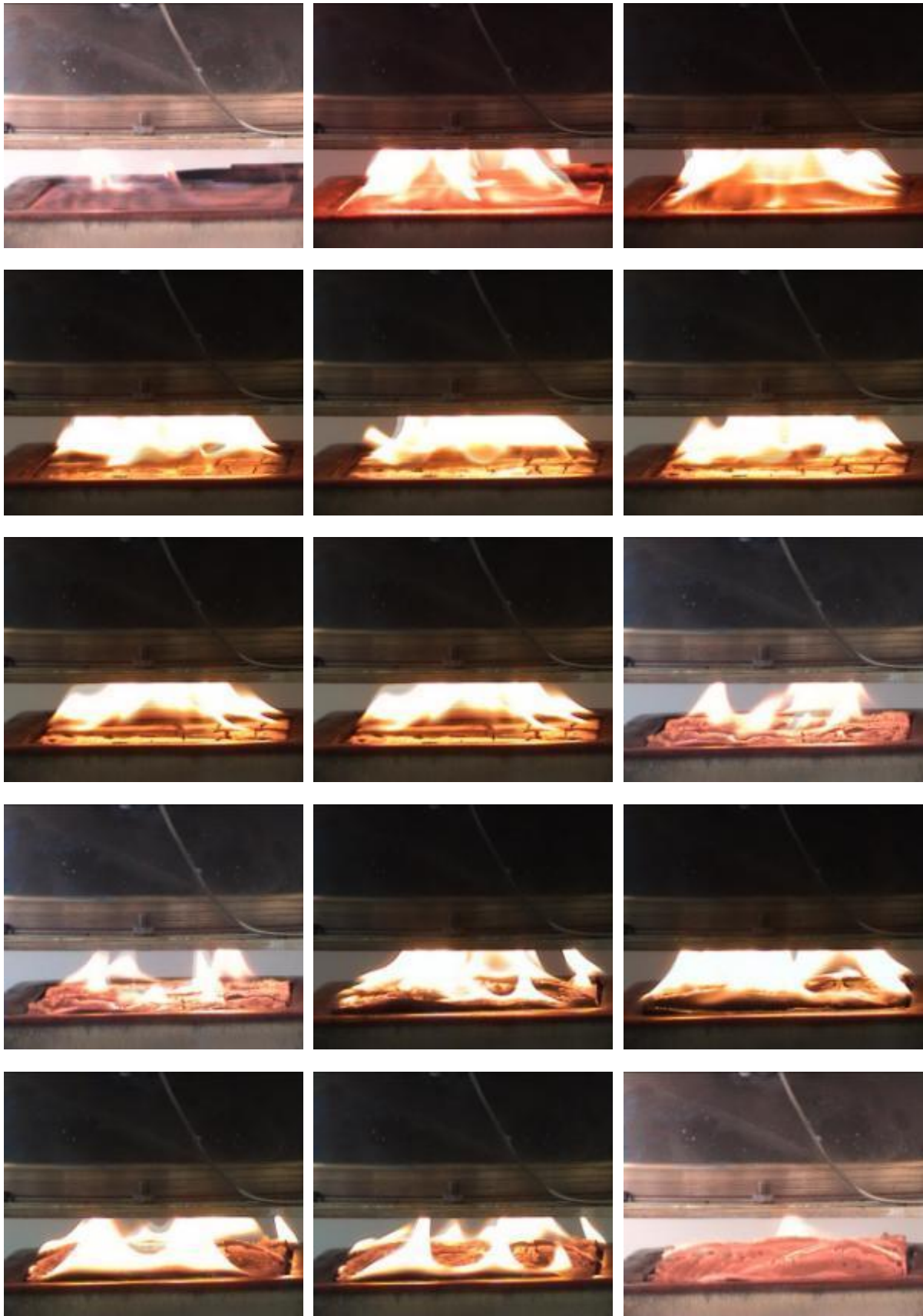


**Διάγραμμα 4.11: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών - Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m<sup>2</sup>), Συνολική Έκλυση Θερμότητας-THR (MJ/m<sup>2</sup>), Παραγωγή Καπνού-SPR (m<sup>2</sup>/sec), Έκλυση CO (gr/sec), Έκλυση CO<sub>2</sub> (gr/sec)**



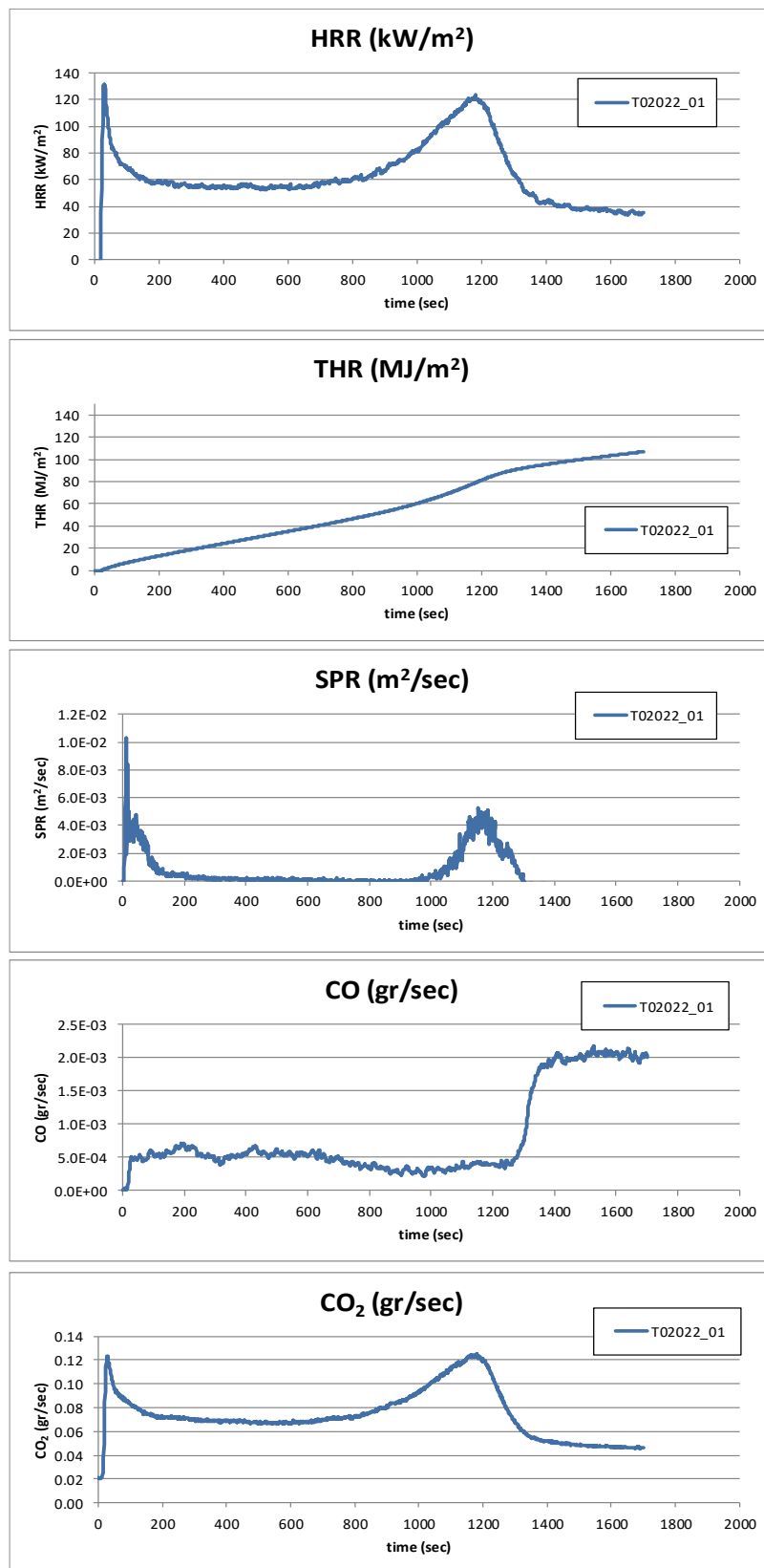


*Εικόνα 4.21: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες του υλικού T02021 πριν και μετά την καύση*

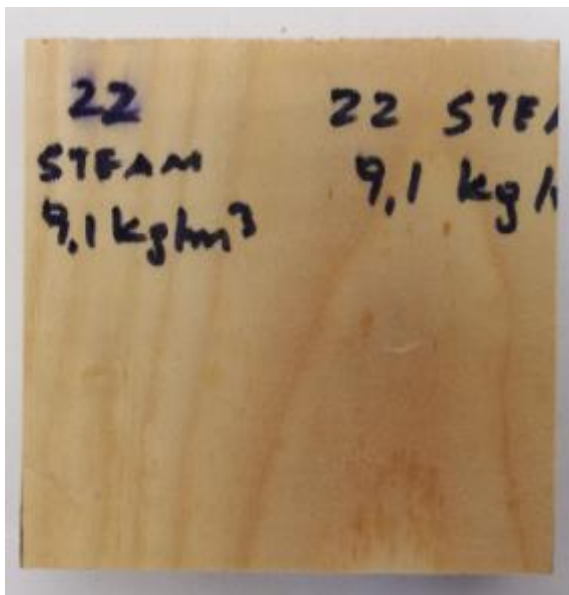


**Εικόνα 4.22: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες καύσης του υλικού T02021**

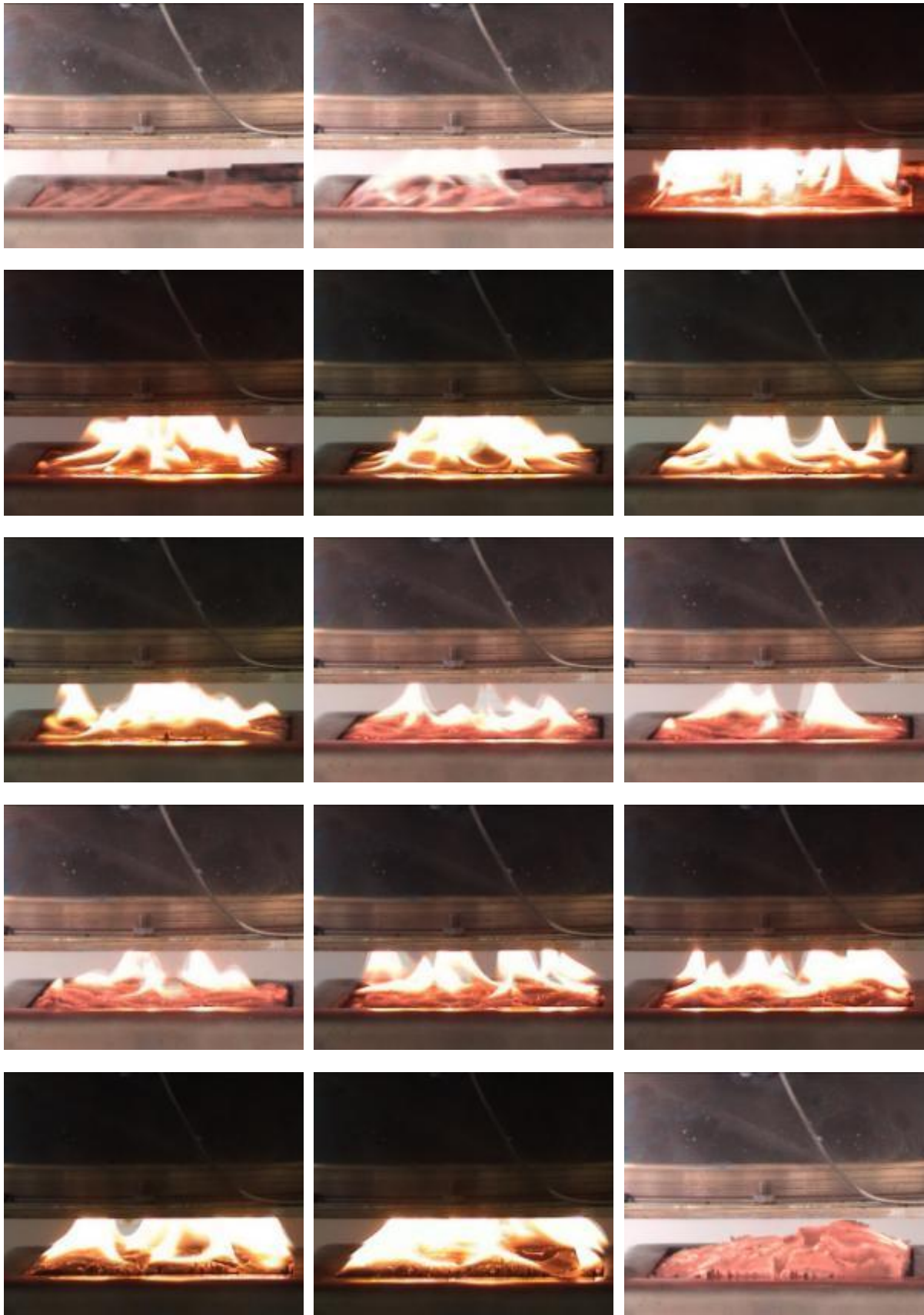
#### 4.5.12 Υλικό T02022



**Διάγραμμα 4.12:** Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών - Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m<sup>2</sup>), Συνολική Έκλυση Θερμότητας-THR (MJ/m<sup>2</sup>), Παραγωγή Καπνού-SPR (m<sup>2</sup>/sec), Έκλυση CO (gr/sec), Έκλυση CO<sub>2</sub> (gr/sec)

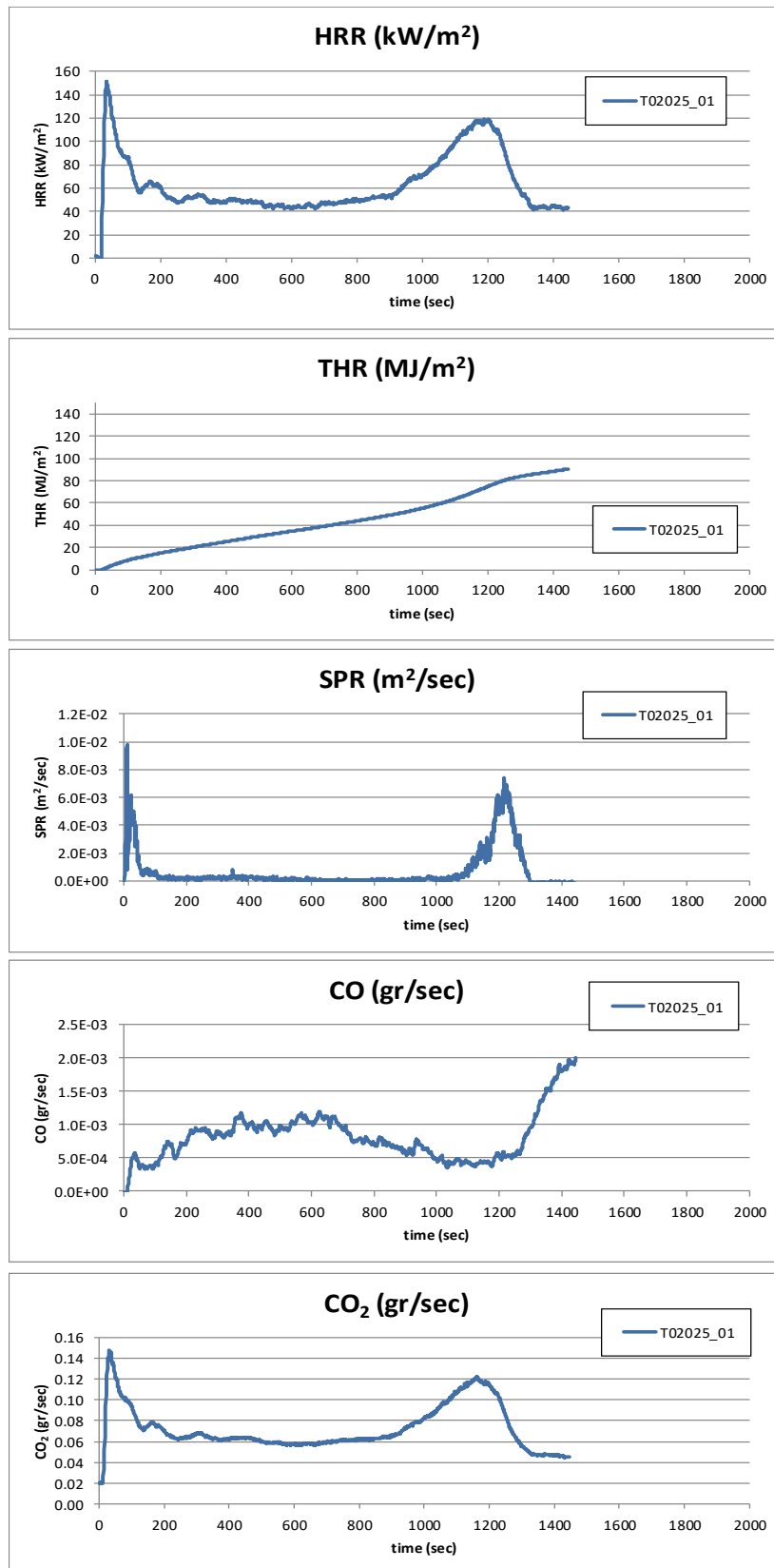


*Εικόνα 4.23: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες του υλικού T02022 πριν και μετά την καύση*

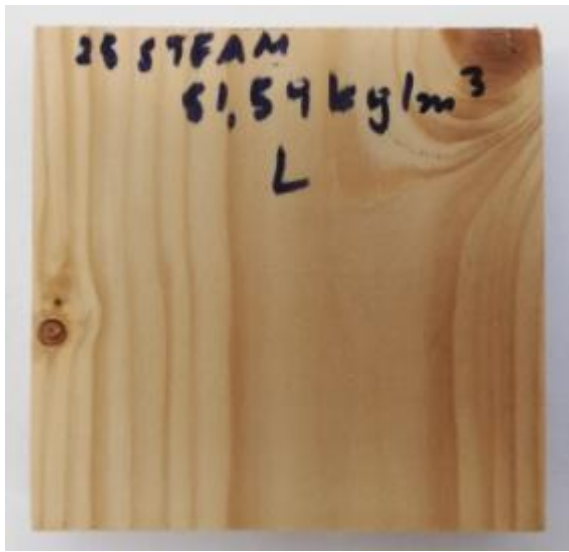


**Εικόνα 4.24: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες καύσης του υλικού T02022**

#### 4.5.13 Υλικό T02025



Διάγραμμα 4.13: Χρονοσειρές μετρούμενων μεγεθών - Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m<sup>2</sup>), Συνολική Έκλυση Θερμότητας-THR (MJ/m<sup>2</sup>), Παραγωγή Καπνού-SPR (m<sup>2</sup>/sec), Έκλυση CO (gr/sec), Έκλυση CO<sub>2</sub> (gr/sec)



*Εικόνα 4.25: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες του υλικού T02025 πριν και μετά την καύση*



**Εικόνα 4.26: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες καύσης του υλικού T02025**



#### 4.6 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

Πίνακας 4.1: Συγκεντρωτικός Πίνακας Δοκιμών ανά Υλικό

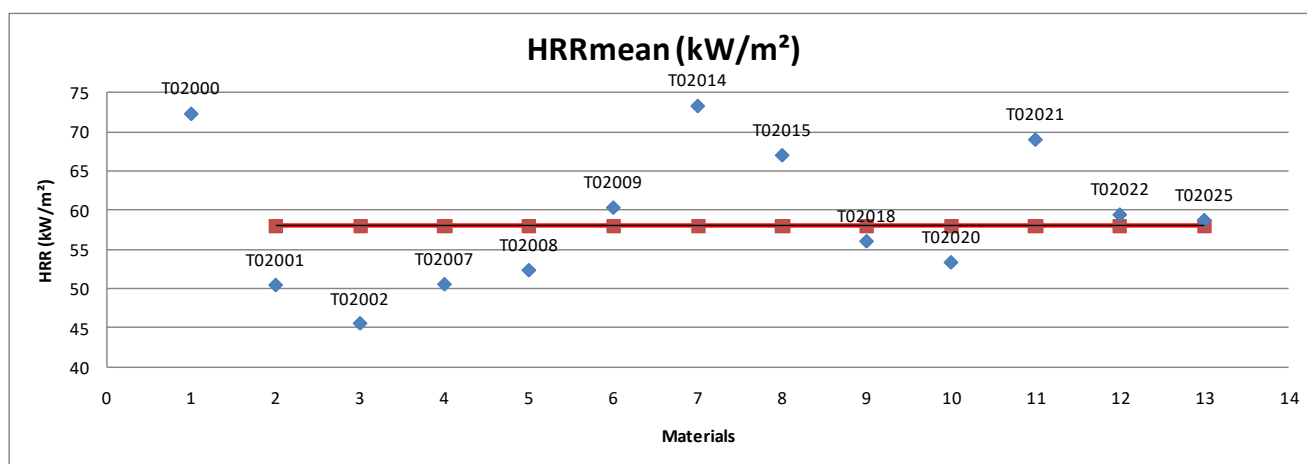
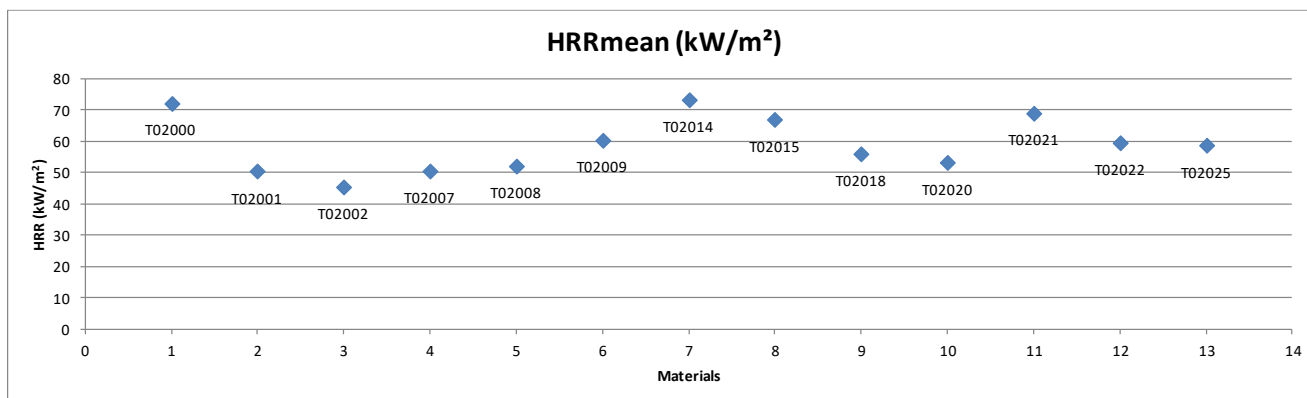
Υλικό	Μάζα $m_o$ (gr)	Χρόνος Ανάφλεξης $t_{ign}$ (sec)	Χρόνος εμφάνισης Μέγιστου Ρυθμού Έκλυσης Θερμότητας $t_{PHRR}$ (s)	Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας $HRR_{mean}$ (kW/m <sup>2</sup> )	Μέγιστος Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας $PHRR$ (kW/m <sup>2</sup> )	Συνολική Έκλυση Θερμότητας $THR$ (MJ/m <sup>2</sup> )	Παραγωγή Καπνού $SP$ (m <sup>2</sup> )	Έκλυση $CO$ (gr/gr)	Έκλυση $CO_2$ (gr/gr)	Ενεργή Θερμότητα Καύσης $EHC$ (MJ/kg)	MAHRE (kW/m <sup>2</sup> )
T02000	90.62	17	40	72.3	154.5	43.4	0.55	0.0087	1.487	10.95	79.2
T02001	108.54	36	88	50.4	77.9	30.2	0.29	0.0158	0.989	6.52	49.8
T02002	101.62	34	57	45.5	69.5	27.3	0.29	0.0348	1.124	7.62	44.8
T02007	93.71	14	37	50.5	146.8	30.3	0.40	0.0251	1.344	8.23	71.1
T02008	96.95	20	47	52.3	160.4	31.4	0.29	0.0196	1.123	7.36	73.7
T02009	109.71	17	30	60.3	104.6	36.4	0.92	0.0153	1.382	9.60	80.2
T02014	99.07	18	45	73.3	154.1	43.6	0.48	0.0103	1.281	10.16	82.3
T02015	102.87	15	40	67.0	155.7	40.2	0.52	0.0145	1.366	9.84	86.4
T02018	98.54	9	30	56.0	105.3	33.3	0.31	0.0127	1.352	8.97	69.1
T02020	109.51	11	35	53.3	126.3	31.7	0.26	0.0206	1.300	8.59	63.3
T02021	86.38	16	41	69.0	156.2	41.4	0.63	0.0101	1.412	10.56	81.1
T02022	85.11	11	32	59.4	131.9	35.7	0.39	0.0106	1.447	10.35	68.4
T02025	110.33	16	36	58.7	151.1	35.2	0.24	0.0148	1.295	9.34	84.6

Πίνακας 4.2: Συγκεντρωτικός Πίνακας Δοκιμών ανά Υλικό (Τα μεγέθη είναι ανηγμένα με τη μέση μάζα των υλικών)

Υλικό	Αρχική Μάζα $m_i$ (gr)	Μάζα Υπολείμματος* $m_{char}$ (gr)	Υπολειμματικότητα ( $m_{char}/m_i$ )	Συνολική Έκλυση Θερμότητας THR (MJ/m <sup>2</sup> gr)	Παραγωγή Καπνού SP (m <sup>2</sup> /gr)	Συνολική Έκλυση Θερμότητας THR (kJ/kg)
T02000	90.62	55.62	61.4%	0.48	0.0061	4.23
T02001	108.54	67.56	62.2%	0.28	0.0027	2.46
T02002	101.62	69.97	68.9%	0.27	0.0028	2.37
T02007	93.71	58.18	62.1%	0.32	0.0043	2.86
T02008	96.95	59.30	61.2%	0.33	0.0030	2.88
T02009	109.71	75.84	69.1%	0.33	0.0084	2.93
T02014	99.07	60.92	61.5%	0.44	0.0048	3.89
T02015	102.87	66.77	64.9%	0.39	0.0051	3.45
T02018	98.54	64.69	65.6%	0.34	0.0032	2.99
T02020	109.51	78.42	71.6%	0.29	0.0024	2.56
T02021	86.38	51.75	59.9%	0.48	0.0073	4.24
T02022	85.11	54.66	64.2%	0.42	0.0046	3.71
T02025	110.33	77.04	69.8%	0.32	0.0022	2.82

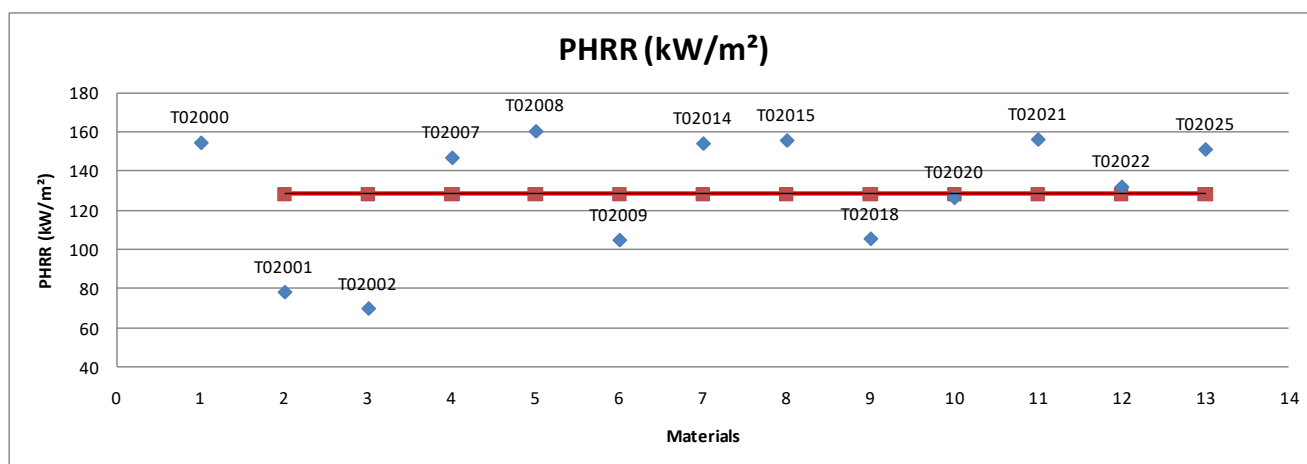
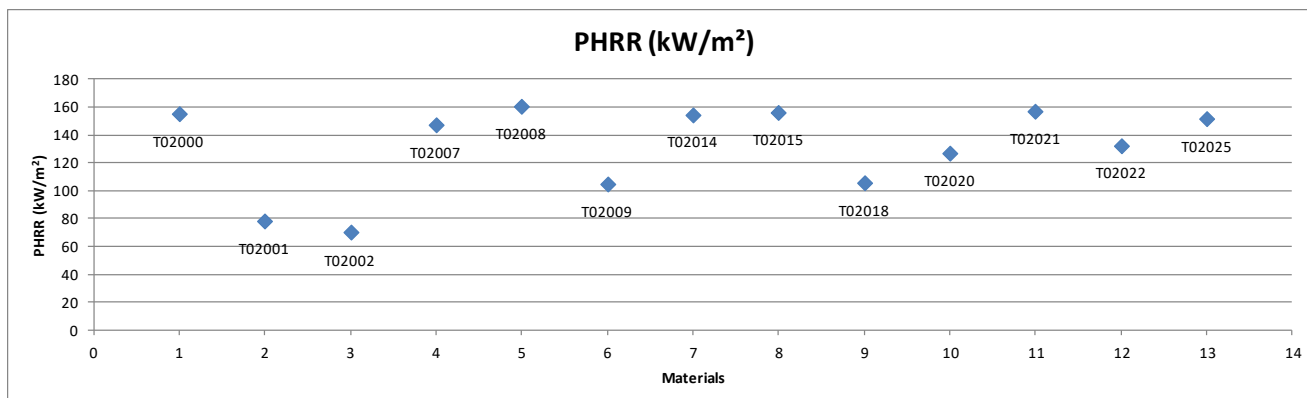
\* Η μάζα υπολείμματος είναι υπολογισμένη για χρόνο ( $600 + t_{ignition}$ ) sec

#### 4.7 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΛΙΚΩΝ (T02000 - T02025)



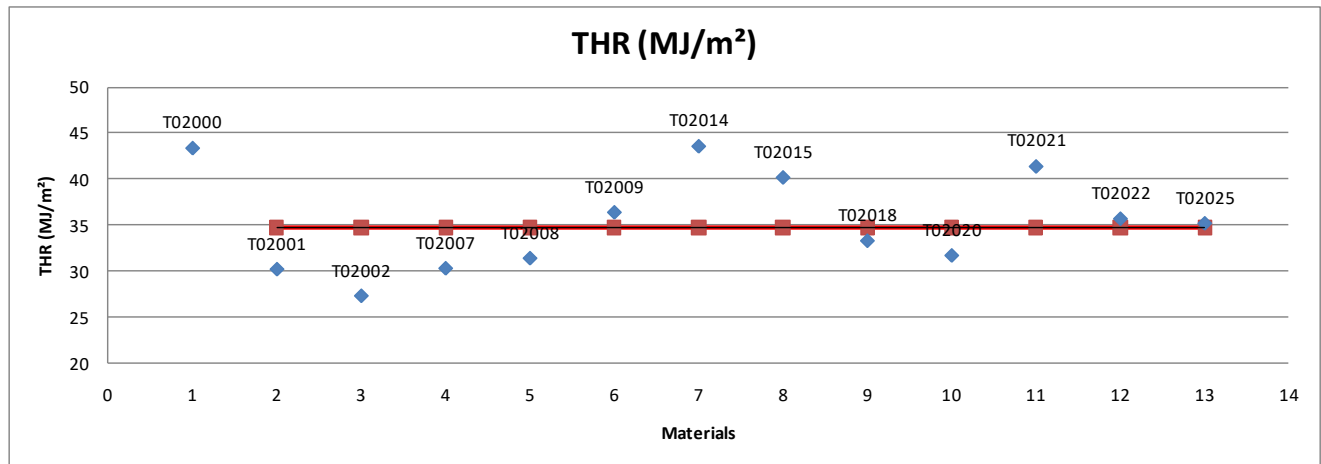
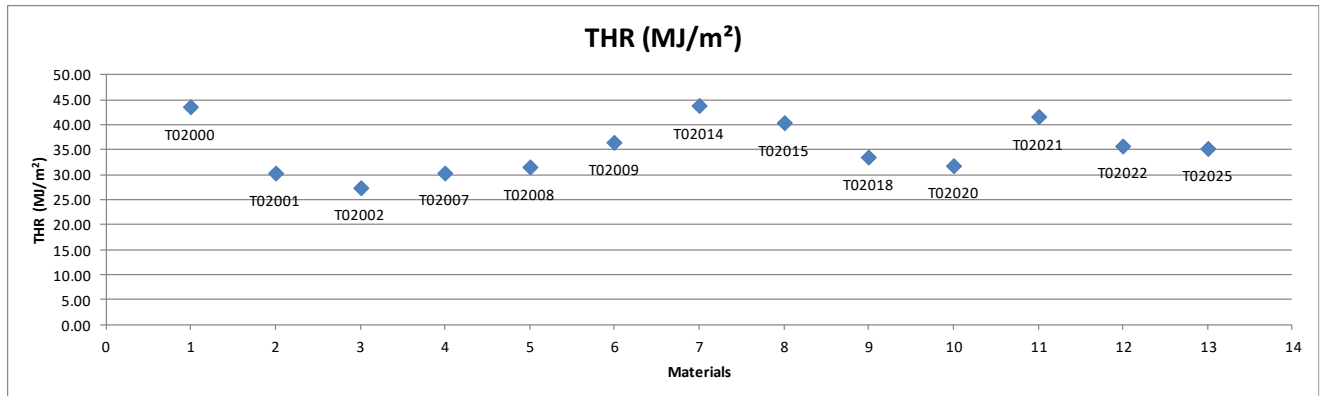
Διάγραμμα 4.14: Κατανομή Ρυθμού Έκλυσης Θερμότητας-HRR (kW/m<sup>2</sup>) για τα υλικά δοκιμών.

Αναφορικά με τον μέσο ρυθμό έκλυσης θερμότητας (mean Heat Release Rate) στο διάγραμμα δίνονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων συγκριτικά για όλα τα υλικά δοκιμής. Όπως προκύπτει η μέση τιμή των υπό δοκιμή υλικών (εκτός του πρωτογενούς υλικού που χρησιμοποιήθηκε ως αναφορά) σε συνδυασμό με τη διασπορά μπορεί να γραφτεί ως  $(58.0 \pm 25.1)$  kW/m<sup>2</sup> με συντελεστή κάλυψης  $k=3$  και θεωρώντας κανονική κατανομή. Το ίδιο θα συμβαίνει και στα ακόλουθα διαγράμματα περιγραφής της συμπεριφοράς των υλικών υπό δοκιμή. Έτσι προκύπτει και όπως θεωρητικά αναμενόταν ότι όλες οι μετρήσεις του συγκεκριμένου μεγέθους βρίσκονται εντός του εύρους του συντελεστή κάλυψης. Ελάχιστη τιμή δίνει το υλικό T02002 ενώ μέγιστη παρατηρείται για το υλικό T02014. Επισημαίνεται ότι το υλικό αναφοράς δεν περιλαμβάνεται στα αποτελέσματα της περιγραφικής στατιστικής αφού διαφέρει από τα υπόλοιπα υπό δοκιμή υλικά τα οποία έχουν υποστεί επεξεργασία. Η τιμή του μεγέθους HRR του υλικού αναφοράς εντούτοις εμπίπτει στη μέση τιμή που προκύπτει από τα υλικά που δοκιμάστηκαν.



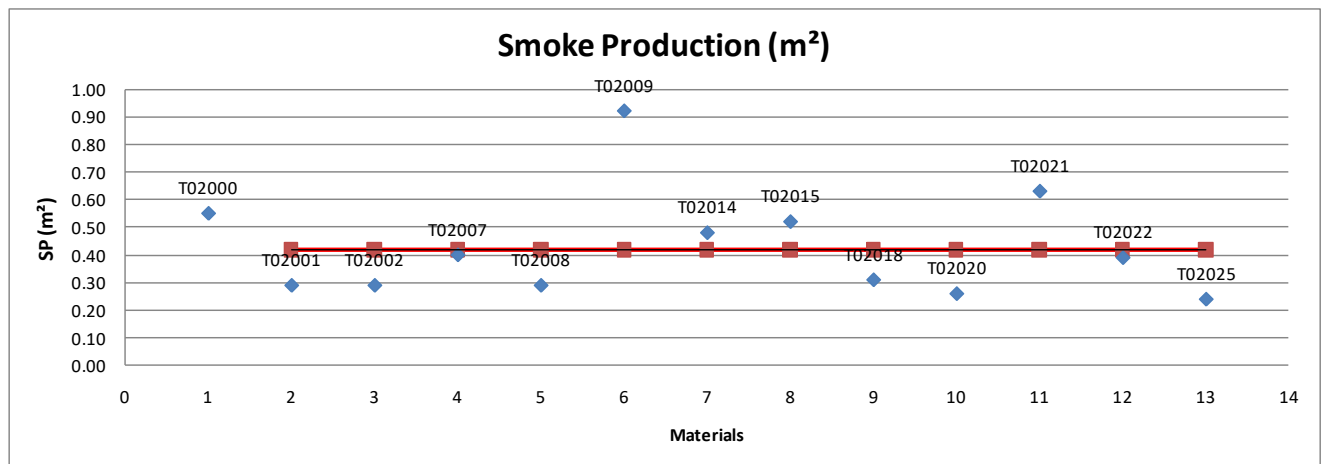
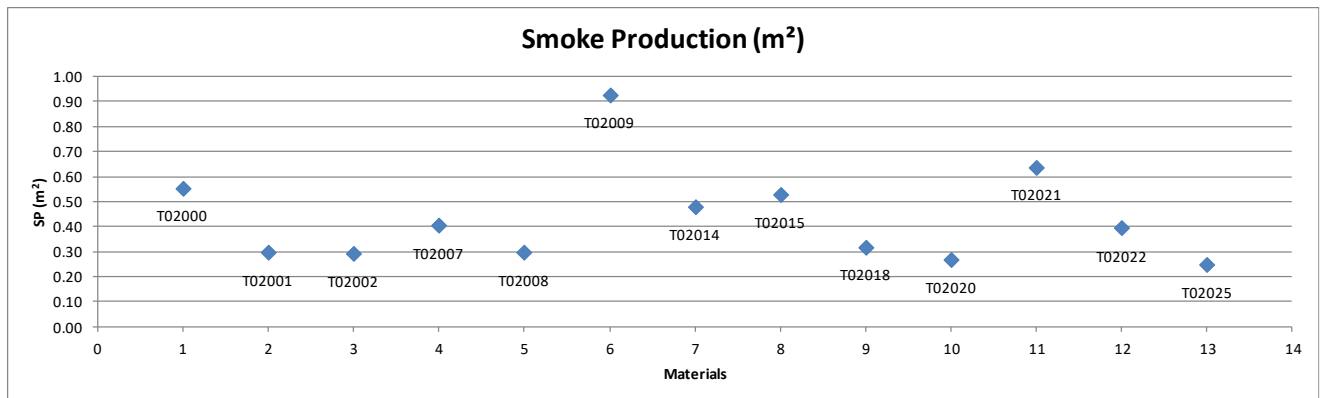
**Διάγραμμα 4.15: Κατανομή Ρυθμού Έκλυσης Θερμότητας-PHRR (kW/m<sup>2</sup>) για τα υλικά δοκιμών.**

Αναφορικά με τον μέγιστο ρυθμό έκλυσης θερμότητας (peak Heat Release Rate) στο διάγραμμα δίνονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων συγκριτικά για όλα τα υλικά δοκιμής. Όπως προκύπτει η μέση τιμή των υπό δοκιμή υλικών (εκτός του πρωτογενούς υλικού που χρησιμοποιήθηκε ως αναφορά) σε συνδυασμό με τη διασπορά μπορεί να γραφτεί ως  $(128.3 \pm 95.7)$  kW/m<sup>2</sup> με συντελεστή κάλυψης  $k=3$  και θεωρώντας κανονική κατανομή. Η μεγάλη διασπορά που εμφανίζεται πιθανά οφείλεται στα υλικά T02001, T02002 οι τιμές των οποίων φαίνονται και από το διάγραμμα να απέχουν σημαντικά της μέσης τιμής και οδηγούν σε αυξημένη τυπική απόκλιση του μεγέθους. Είναι προφανές ότι αν εκτιμηθούν εσφαλμένες οι δοκιμές των εν λόγω 2 υλικών αν και η μέση τιμή δεν αναμένεται να μετακινηθεί ιδιαίτερα, η τυπική απόκλιση θα συρρικνωθεί πολύ σημαντικά. Θα πρέπει να ελεγχθούν και τα υπόλοιπα μεγέθη χαρακτηρισμού της καύσης των συγκεκριμένων 2 υλικών προκειμένου να ληφθεί απόφαση για το αν θα πρέπει να εξαιρεθούν από τον υπολογισμό των όρων της περιγραφικής στατιστικής. Μέγιστη τιμή του μεγέθους προκύπτει για το υλικό T02008 ενώ ελάχιστη για το υλικό T02002. Και στο μέγεθος του PHRR προκύπτει ότι η τιμή του υλικού αναφοράς εμπίπτει στο εύρος τιμών των υπό δοκιμή υλικών.



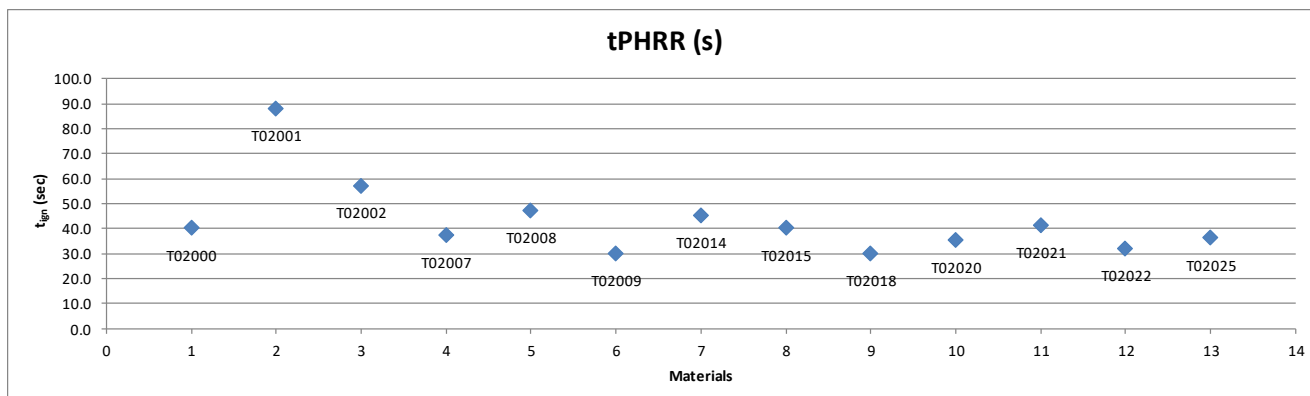
**Διάγραμμα 4.16: Κατανομή Ολικού Ρυθμού Έκλυσης Θερμότητας-THRR (MJ/m<sup>2</sup>) για τα υλικά δοκιμών.**

Αναφορικά με τον ολικό ρυθμό έκλυσης θερμότητας (Total Heat Release Rate) στο διάγραμμα δίνονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων συγκριτικά για όλα τα υλικά δοκιμής. Όπως προκύπτει η μέση τιμή των υπό δοκιμή υλικών (εκτός του πρωτογενούς υλικού που χρησιμοποιήθηκε ως αναφορά) σε συνδυασμό με τη διασπορά μπορεί να γραφτεί ως  $(34.7 \pm 15.0)$  MJ/m<sup>2</sup> με συντελεστή κάλυψης  $k=3$  και θεωρώντας κανονική κατανομή. Στην περίπτωση του συγκεκριμένου μεγέθους οι τιμές των υλικών κατανέμονται πιο ομαλά γύρω από τη μέση τιμή, ενώ και η τιμή του υλικού αναφοράς εμπίπτει στο εύρος τιμών που καθορίζουν τα υλικά δοκιμών. Μέγιστη τιμή του μεγέθους δίνει το υλικό T02014 ενώ ελάχιστη δίνει το υλικό T02002. Σε ότι αφορά το υλικό αναφοράς η τιμή του μεγέθους του THHR εμπίπτει στο εύρος τιμών των υλικών δοκιμής.



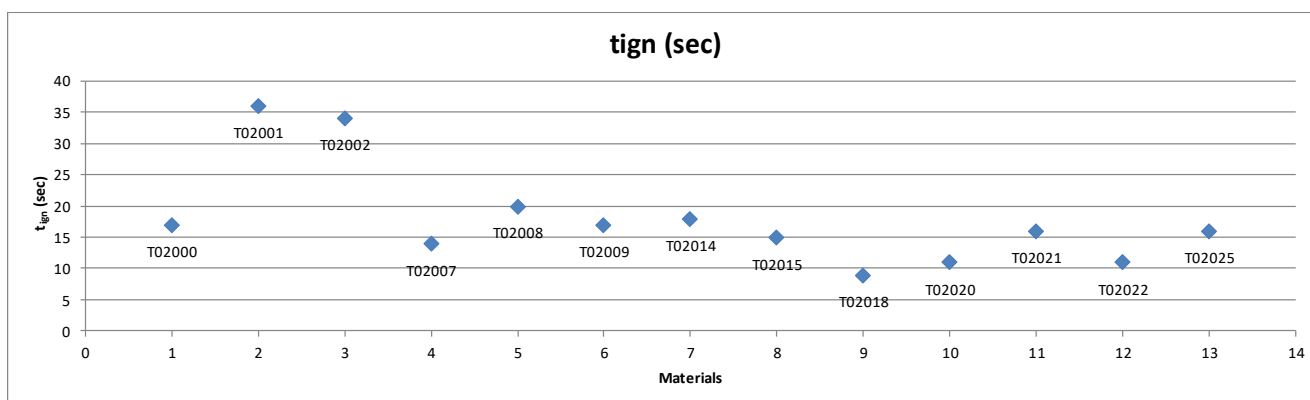
**Διάγραμμα 4.17: Κατανομή Παραγωγής Καπνού (Smoke production (m<sup>2</sup>)) για τα υλικά δοκιμών.**

Αναφορικά με την επιφάνεια παραγωγής καπνού (Smoke production) στο διάγραμμα δίνονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων συγκριτικά για όλα τα υλικά δοκιμής. Σε όρους περιγραφικής στατιστικής η τιμή του μεγέθους μπορεί να γραφτεί στη μορφή ως  $(0.42 \pm 0.59)$  m<sup>2</sup> με συντελεστή κάλυψης  $k=3$  και θεωρώντας κανονική κατανομή. Στην αυξημένη τιμή της απόκλισης συμβάλλει πολύ σημαντικά η τιμή του υλικού T02009 που είναι και η μέγιστη που εμφανίζεται ανάμεσα σε όλα τα δείγματα και φθάνει να είναι υπερδιπλάσια της μέσης τιμής. Η ελάχιστη τιμή ανιχνεύεται για το υλικό T02025. Γενικά το συγκεκριμένο μέγεθος φαίνεται να είναι αρκετά ευαίσθητο υπό την έννοια ότι για 100% βεβαιότητα η τυπική απόκλιση λαμβάνει τιμή μεγαλύτερη της μέσης τιμής του μεγέθους.



**Διάγραμμα 4.18: Κατανομή χρονικής στιγμής μέγιστου ρυθμού έκλυσης θερμότητας (s) για τα υλικά δοκιμών.**

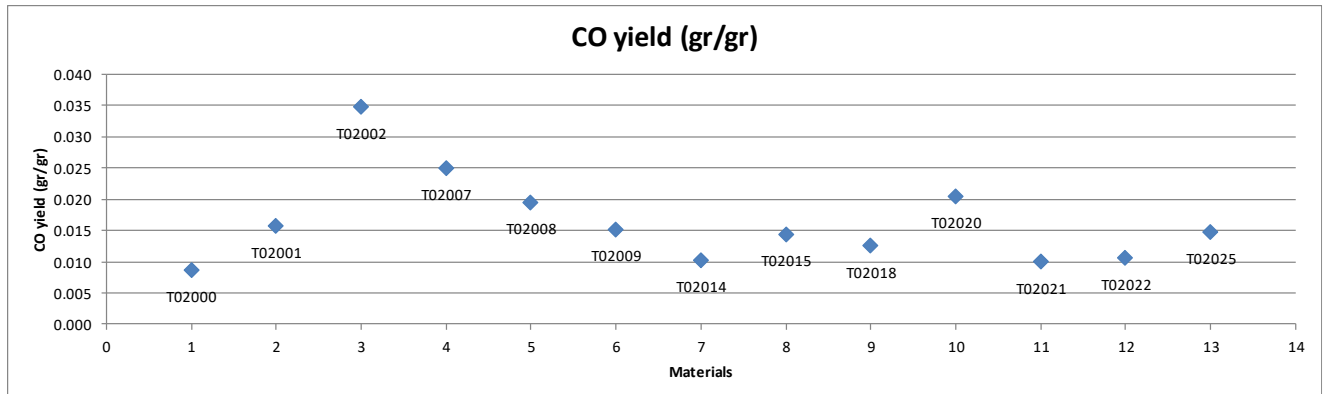
Ως προς το χρόνο εμφάνισης του μέγιστου ρυθμού έκλυσης θερμότητας προκύπτει ότι σε όρους περιγραφικής στατιστικής τα αποτελέσματα συμπυκνώνονται στην τιμή  $(43 \pm 48)$  sec με συντελεστή κάλυψης  $k=3$  και θεωρώντας κανονική κατανομή. Στην αυξημένη τιμή της απόκλισης συμβάλει πολύ σημαντικά εδώ η τιμή του υλικού T02001 που είναι και η μέγιστη που εμφανίζεται ανάμεσα σε όλα τα δείγματα και φθάνει να είναι υπερδιπλάσια της μέσης τιμής. Η ελάχιστη τιμή ανιχνεύεται για τα υλικά T02009 και T02018. Γενικά το συγκεκριμένο μέγεθος φαίνεται επίσης να είναι αρκετά ευαίσθητο υπό την έννοια ότι για 100% βεβαιότητα η τυπική απόκλιση λαμβάνει τιμή μεγαλύτερη της μέσης τιμής του μεγέθους.



**Διάγραμμα 4.19: Κατανομή χρόνου έναυσης δοκιμίου (Ignition time (s) για τα υλικά δοκιμών.**

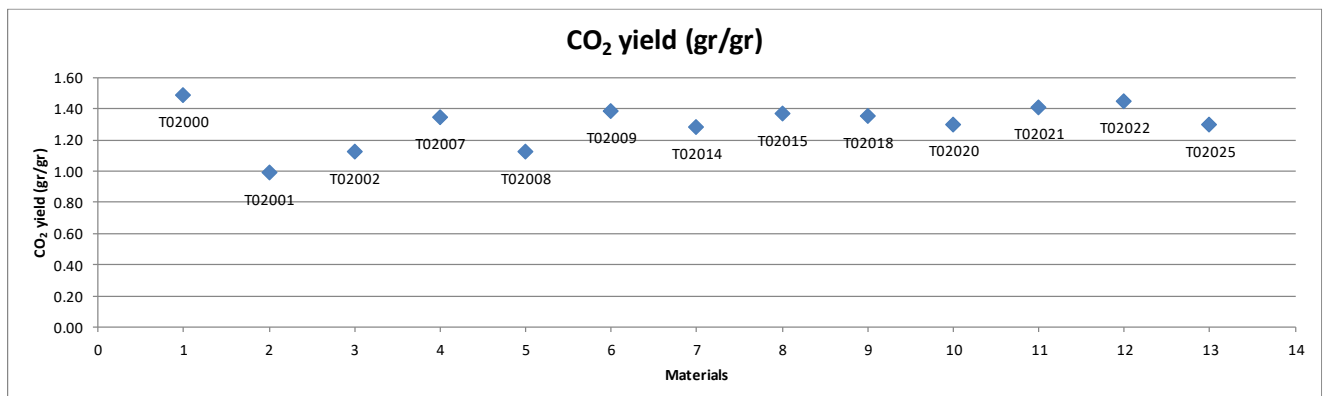
Ως προς το χρόνο εμφάνισης του χρόνου έναυσης των υλικών δοκιμών προκύπτει ότι σε όρους περιγραφικής στατιστικής τα αποτελέσματα συμπυκνώνονται στην έκφραση  $(18 \pm 26)$  sec με συντελεστή κάλυψης  $k=3$  και θεωρώντας κανονική κατανομή. Στην αυξημένη τιμή της απόκλισης συμβάλουν όπως φαίνεται από το διάγραμμα οι χρόνοι των δοκιμών T02001 με τιμή 36s καθώς και T02002 με τιμή 34s. Από την άλλη πλευρά ο μικρότερος χρόνος έναυσης σημειώνεται για το δοκίμιο T02018 με τιμή 9s. Αφαιρώντας τις δύο υψηλότερες τιμές που φαίνεται να διαφέρουν σημαντικά των υπολοίπων υλικών

θα μπορούσε κανείς να δει ότι η μέση τιμή υποβιβάζεται σε μια τιμή γύρω στα 15s περίπου. Το υλικό αναφοράς επίσης φαίνεται να εμπίπτει στο εύρος των υπολοίπων υλικών, εκτός των δύο προαναφερθέντων τα οποία οδηγούν και σε αυξημένη τιμή τυπικής απόκλισης.



**Διάγραμμα 4.20: Κατανομή παραγωγής CO)gr ανά γραμμάριο καύσιμης ύλης.**

Αναφορικά με την παραγωγή CO ανά γραμμάριο καύσιμης ύλης προκύπτει ότι σε όρους περιγραφικής στατιστικής τα αποτελέσματα συμπυκνώνονται στην έκφραση  $(0.0170 \pm 0.0216)$  gr/gr με συντελεστή κάλυψης  $k=3$  και θεωρώντας κανονική κατανομή. Στην αυξημένη τιμή της απόκλισης συμβάλει σημαντικά όπως φαίνεται από το διάγραμμα οι χρόνοι των δοκιμών T02002 με τιμή 0.0348gr/gr που είναι και η μέγιστη εμφανιζόμενη ανάμεσα σε όλα τα υλικά δοκιμών. Από την άλλη πλευρά ελάχιστο εμφανίζει το υλικό T02012 με τιμή 0.0101 gr/gr.

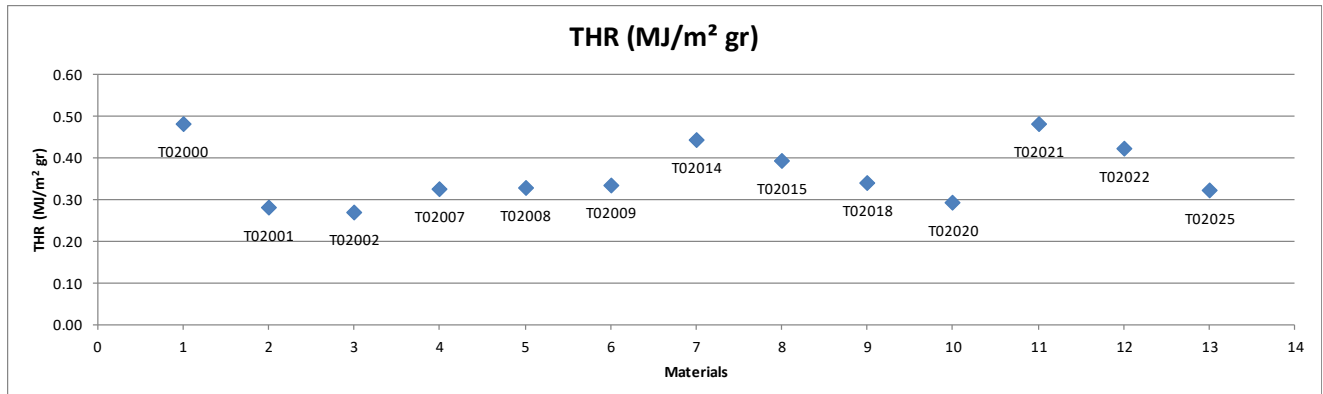


**Διάγραμμα 4.21: Κατανομή παραγωγής CO2 gr ανά γραμμάριο καύσιμης ύλης.**

Αναφορικά με την παραγωγή CO2 ανά γραμμάριο καύσιμης ύλης προκύπτει ότι σε όρους περιγραφικής στατιστικής τα αποτελέσματα συμπυκνώνονται στην έκφραση  $(1.285 \pm 0.411)$  gr/gr με συντελεστή κάλυψης  $k=3$  και θεωρώντας κανονική κατανομή. Εδώ αξίζει να σημειωθεί το συγκεκριμένο μέγεθος εμφανίζεται πολύ πιο σταθερό από την παραγωγή CO κάτι που επιβεβαιώνεται από την τυπική απόκλιση του μεγέθους που

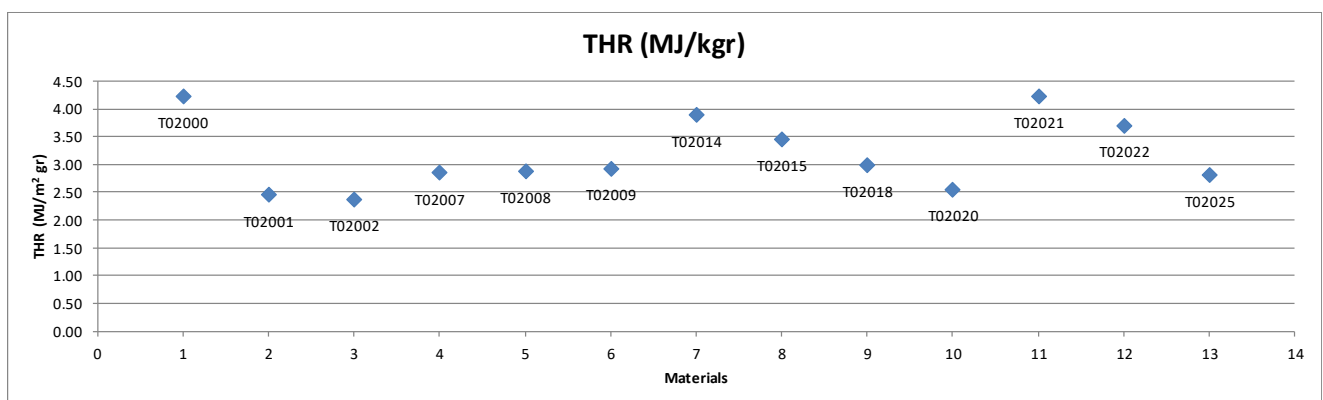


προκύπτει αρκετά χαμηλή και ως ποσοστό επί της μέσης τιμής. Αξίζει ακόμα να αναφερθεί ότι το υλικό αναφοράς αν και εμπίπτει στο παραπάνω εύρος εντούτοις τείνει προς τις μέγιστες τιμές του μεγέθους. Μέγιστο παρουσιάζει το υλικό T02022 με τιμή 1.447gr/gr ενώ ελάχιστο εμφανίζει το υλικό T02001 με τιμή 0.989gr/gr.



**Διάγραμμα 4.22: Αποτελέσματα συνολικής έκλυσης θερμότητας ανηγμένης ως προς τη μέση μάζα υλικού.**

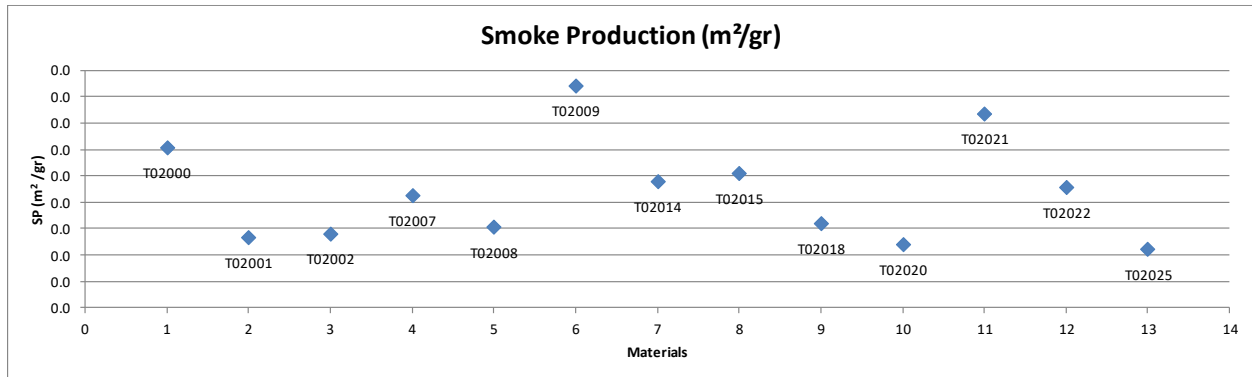
Όπως φαίνεται από τις μονάδες μέτρησης του συγκεκριμένου μεγέθους η συνολική θερμότητα υπολογίζεται τόσο ανά μονάδα επιφανείας του δοκιμίου αλλά και της μέσης μάζας αυτού. Τα αποτελέσματα μπορούν να περιγραφούν από την έκφραση  $(0.35 \pm 0.20)$  MJ/ m<sup>2</sup> gr με συντελεστή κάλυψης  $k=3$  και θεωρώντας κανονική κατανομή. Εδώ επίσης το συγκεκριμένο μέγεθος εμφανίζεται αρκετά σταθερό με την τυπική απόκλιση να λαμβάνει σχετικά χαμηλές τιμές. Μέγιστο παρουσιάζει το υλικό T02021 με τιμή 0.48 MJ/ m<sup>2</sup> gr, ενώ ελάχιστο παρουσιάζει το υλικό T02002 με τιμή 0.27 MJ/ m<sup>2</sup> gr. Θα πρέπει να σημειωθεί πάλι σε ότι αφορά το υλικό αναφοράς ότι εμπίπτει στο παραπάνω εύρος τιμών αλλά η τιμή του μεγέθους τείνει προς μέγιστες τιμές.



**Διάγραμμα 4.23: Αποτελέσματα συνολικής έκλυσης θερμότητας ανηγμένης ως προς τη μέση μάζα υλικού.**

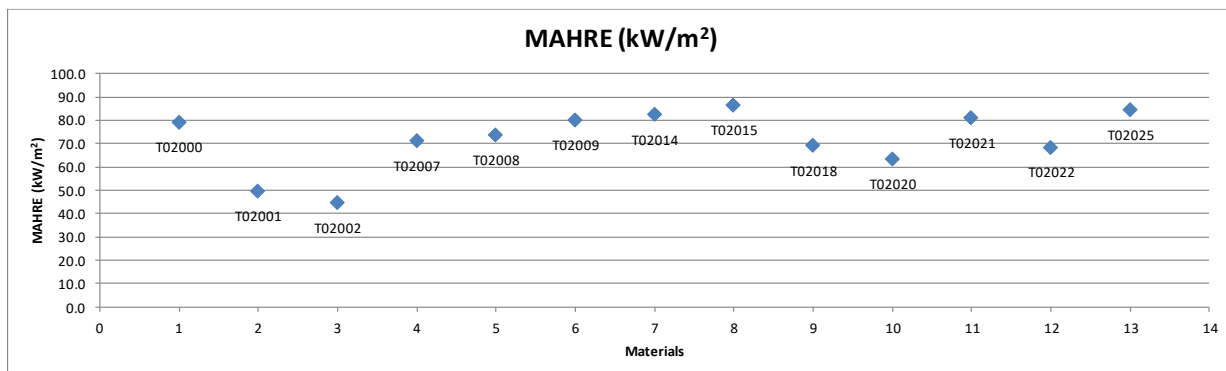
Η συνολική έκλυση θερμότητας σύμφωνα με τις μονάδες μπορεί να προκύπτει και ανά kg της μάζας το δοκιμίου όπως δίνεται στο διάγραμμα. Τα αποτελέσματα μπορούν

να περιγραφούν από την έκφραση  $(3.10 \pm 1.78)$  MJ/kg με συντελεστή κάλυψης  $k=3$  και θεωρώντας κανονική κατανομή. Μέγιστο δίνει το υλικό T02021 με τιμή 4.24 MJ/kg, ενώ ελάχιστο παρουσιάζει το υλικό T02002 με τιμή 2.37 MJ/kg. Θα πρέπει να σημειωθεί και εδώ αναφορικά με το υλικό αναφοράς ότι εμπίπτει στο παραπάνω εύρος τιμών αλλά η τιμή του μεγέθους τείνει πάλι προς μέγιστες τιμές.



**Διάγραμμα 4.24: Αποτελέσματα παραγωγής καπνού (m<sup>2</sup>) ανηγμένης ως προς τη μέση μάζα υλικού.**

Και το μέγεθος αυτό ανήκει στην κατηγορία των πιο συγκεντρωτικών – ολοκληρωτικών μεγεθών αφού προσδιορίζεται ο παραγόμενος καπνός ως καλυπτόμενη επιφάνεια αν γραμμάριο μάζας υλικού. Κατά βάση βέβαια το μέγεθος αυτό δεν διαφέρει καθόλου από την παραγωγή καπνού που παρουσιάστηκε νωρίτερα διαφοροποιούνται μόνο οι μονάδες μέτρησης και μπορεί να γραφτεί ως  $(0.0042 \pm 0.0059)$  m<sup>2</sup>/gr με συντελεστή κάλυψης  $k=3$  και θεωρώντας κανονική κατανομή. Μέγιστο δίνει το υλικό T02009 με τιμή 0.0084 m<sup>2</sup>/gr, ενώ ελάχιστο παρουσιάζει το υλικό T02025 με τιμή 0.0022 m<sup>2</sup>/gr. Θα πρέπει να σημειωθεί και εδώ αναφορικά με το υλικό αναφοράς ότι εμπίπτει στο παραπάνω εύρος.



**Διάγραμμα 4.25: Αποτελέσματα Μέγιστου Μέσου Ρυθμού Έκλυσης Θερμότητας (kW/m<sup>2</sup>).**

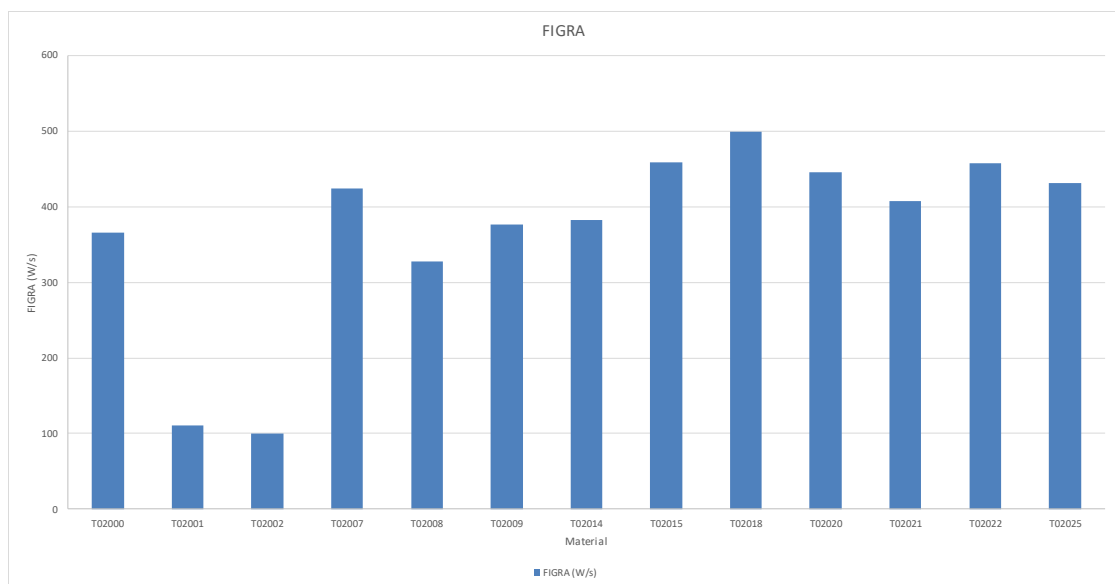
Και το μέγεθος αυτό ανήκει στην κατηγορία των πιο συγκεντρωτικών – ολοκληρωτικών μεγεθών. Σε όρους περιγραφικής στατιστικής μπορεί να γραφτεί ως

( $71.2 \pm 39.9$ ) kW/m<sup>2</sup> με συντελεστή κάλυψης  $k=3$  και θεωρώντας κανονική κατανομή. Μέγιστο δίνει το υλικό T02015 με τιμή 86.4 kW/m<sup>2</sup>, ενώ ελάχιστο παρουσιάζει το υλικό T02002 με τιμή 44.8 kW/m<sup>2</sup>. Θα πρέπει να σημειωθεί και εδώ αναφορικά με το υλικό αναφοράς ότι εμπίπτει στο παραπάνω εύρος. Γενικά οι τιμές κατανέμονται αρκετά καλά γύρω από τη μέση τιμή όπως φαίνεται και από το παραπάνω διάγραμμα.

#### 4.8 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΓΙΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗ ΦΩΤΙΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ISO-13501

*Πίνακας 4.3: Εκτίμηση δεικτών απόδοσης των υλικών σε αντίδραση στη φωτιά, σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO-13501*

Υλικό	FIGRA (W/s)	SMOGRA	Πιθανή Κατηγορία
T02000	366	s2	C
T02001	111	s2	B
T02002	100	s2	B
T02007	424	s2	C
T02008	328	s2	C
T02009	377	s2	C
T02014	382	s2	C
T02015	459	s2	C
T02018	499	s2	C
T02020	446	s1	C
T02021	408	s2	C
T02022	458	s2	C
T02025	431	s2	C



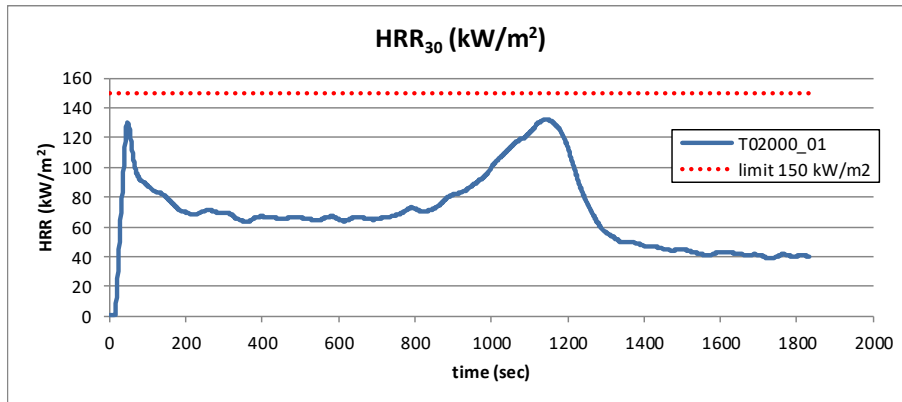
**Διάγραμμα 4.26: Συγκριτικά αποτελέσματα υλικών εκτίμησης δείκτη FIGRA**

#### **4.9 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΓΙΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗ ΦΩΤΙΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ EN 16755:2017 ΓΙΑ ΔΟΚΙΜΕΣ ΜΕ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ (ISO 5660).**

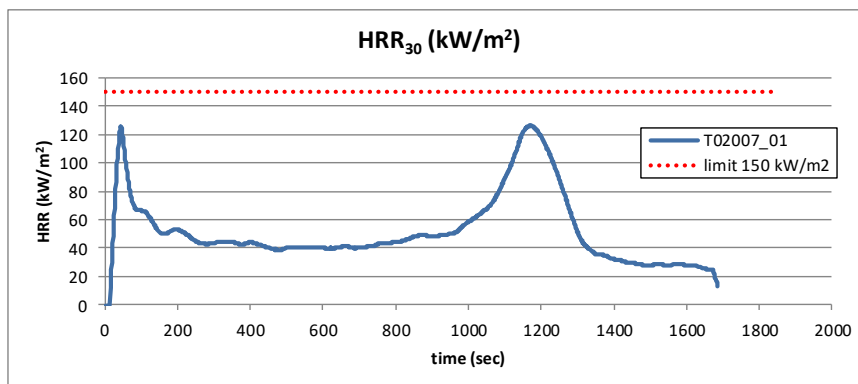
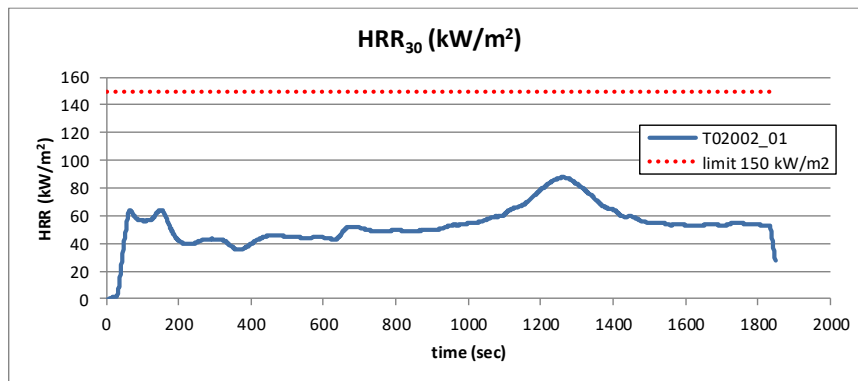
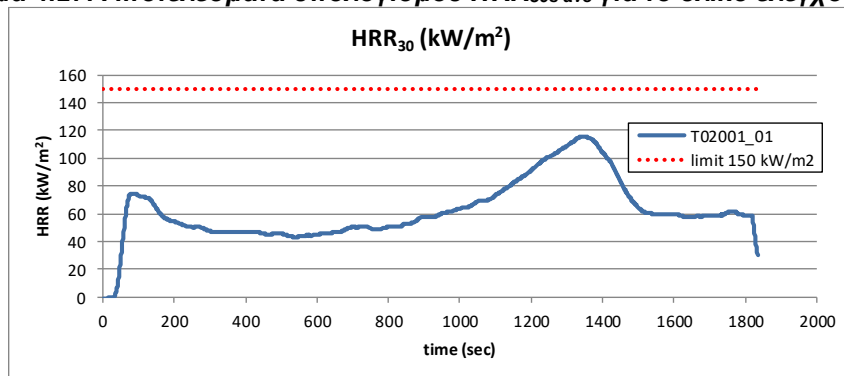
**Πίνακας 4.4: Εκτίμηση δεικτών απόδοσης των υλικών σε αντίδραση στη φωτιά, σύμφωνα με το πρότυπο EN 16755**

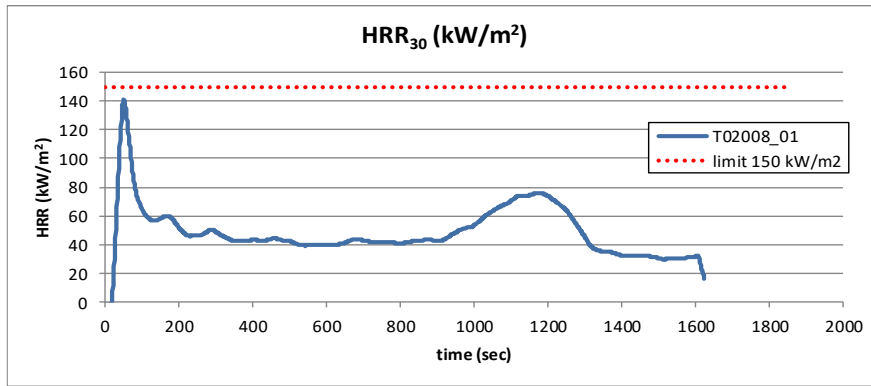
<b>Υλικό</b>	<b>HRR<sub>30s ave</sub> (kW/m<sup>2</sup>)</b>
T02000	132.0
T02001	74.7
T02002	64.3
T02007	125.3
T02008	141.1
T02009	99.9
T02014	139.7
T02015	139.1
T02018	95.8
T02020	102.2
T02021	137.2
T02022	107.5
T02025	133.4

\*Άνω όριο κατηγορίας B 150 kW/m<sup>2</sup>

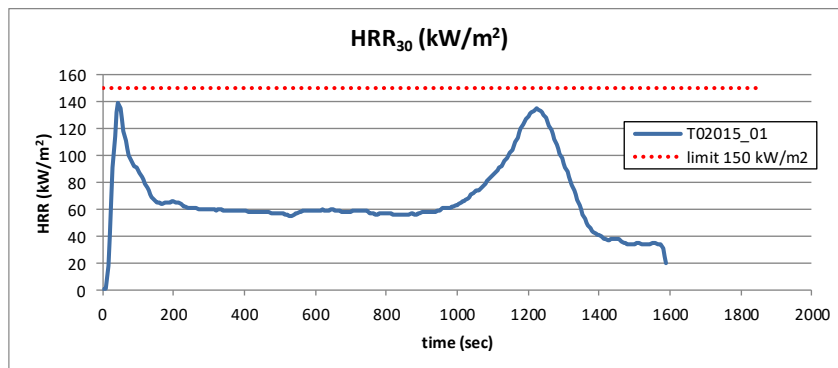
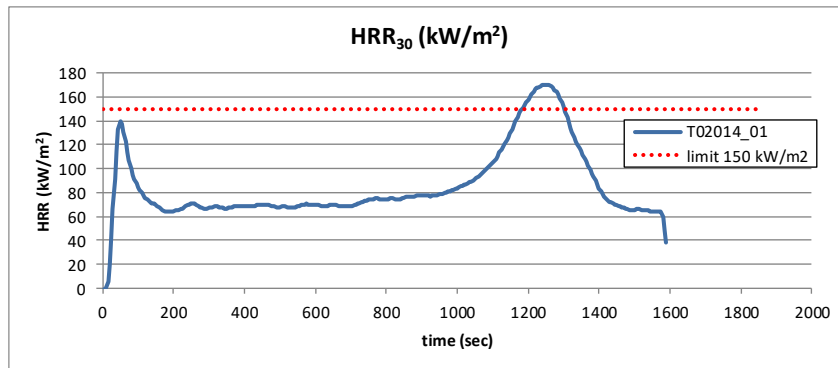
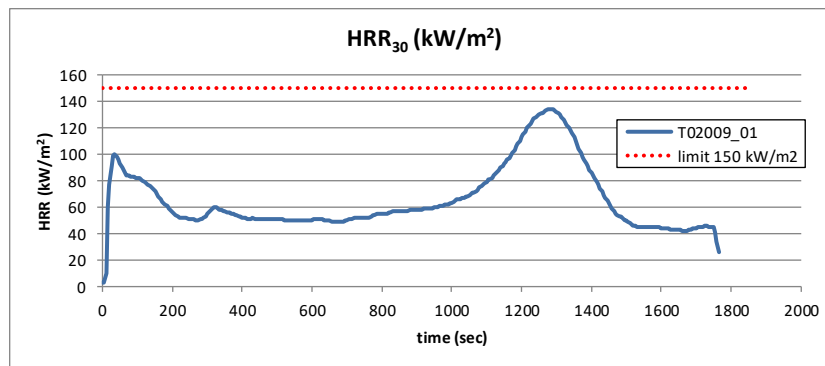


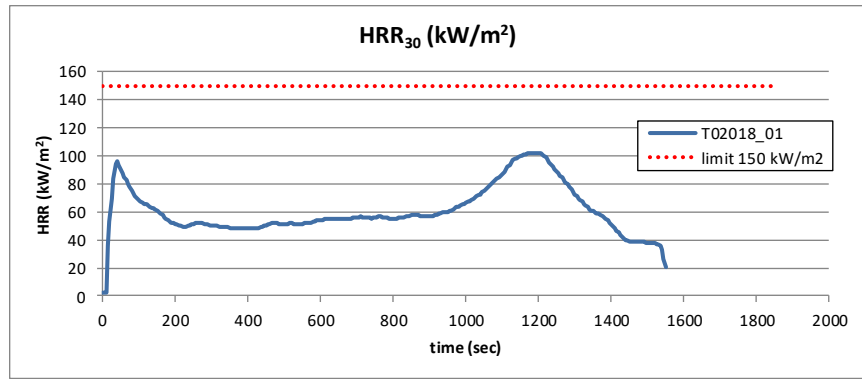
**Διάγραμμα 4.27: Αποτελέσματα υπολογισμού HRR<sub>30s ave</sub> για το υλικό ελέγχου (T02000)**



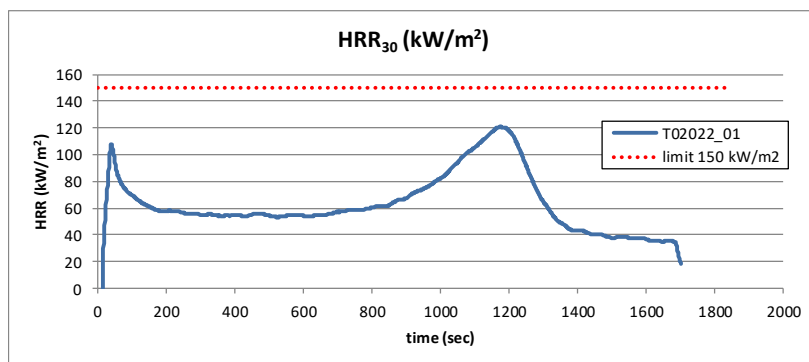
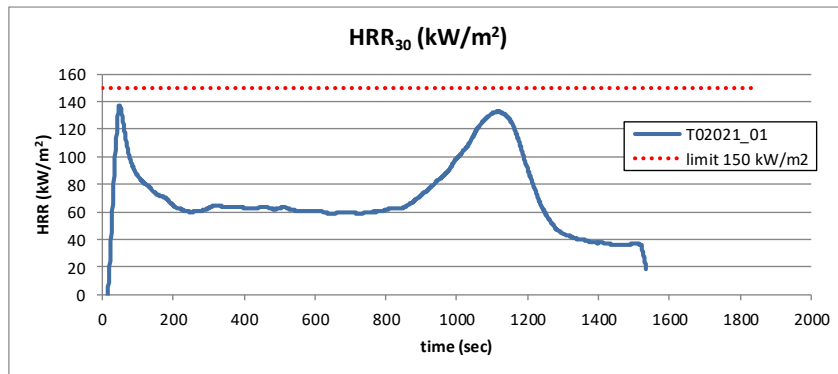
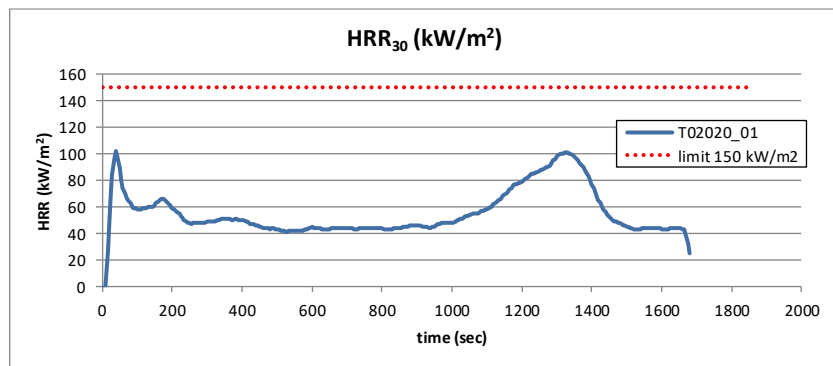


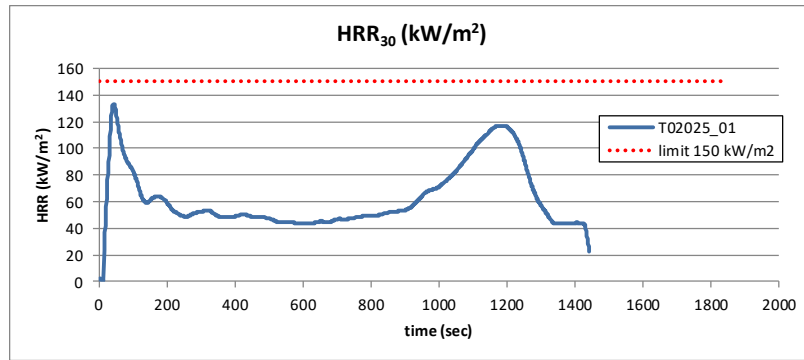
**Διάγραμμα 4.28: Αποτελέσματα υπολογισμού  $HRR_{30s\ ave}$  για τα υλικά (T02001-T02008)**





**Διάγραμμα 4.29: Αποτελέσματα υπολογισμού HRR<sub>30s ave</sub> για τα υλικά (T02009-T02018)**





**Διάγραμμα 4.30:** Αποτελέσματα υπολογισμού HRR<sub>30s</sub> ανε για τα υλικά (T02020-T02025)

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Blassi W., 2000