

**ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΟΥ**

**Πειραματικές Δοκιμές Αντοχής Πολυπροπυλενίου με Προσθήκη Επιβραδυντικών Καύσης σε Φωτιά Σύμφωνα με το Πρότυπο UL-94**

**Περίληψη**

Η αντοχή στη φωτιά ενός αντικειμένου αποτελεί τη συνάρτηση κυρίως των συστατικών που περιέχουν τα υλικά κατασκευής τους, καθώς επίσης και από τον τρόπο έκθεσής στη φωτιά. Για να αξιολογηθεί αν αυτά τα υλικά κατασκευής είναι πυράντοχα, προσδιορίζονται κατά κύριο λόγο από πειραματική σπουδή της συμπεριφοράς τους υπο την επιβολή φλόγας. Ο κύριος σκοπός του πειράματος αυτού είναι η κατηγοριοποίηση αυτών βάση των Ευρωπαϊκών προτύπων.

Στην παρούσα εργασία καταβάλλεται προσπάθεια για την εκπόνηση μελέτης της αναφλεξιμότητας σωλήνων, όπως αποτυπώνεται στα Ευρωπαϊκά πρότυπα. Αντικείμενό της αποτελεί η αφομοίωση των όρων της θεωρίας, ώστε να χρησιμοποιηθούν ως εργαλείο μελέτης και κατανόησης της συμπεριφοράς πραγματικών δοκιμίων σε φωτιά (αρχικά σε υλικά πλαστικών σωλήνων και στη συνέχεια πλαστικοί σωλήνες), με σκοπό την κριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Η χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία περιλαμβάνει την υλοποίηση ερευνητικής μεθόδου αξιοπιστίας της εφαρμογής δύο διαφορετικών μεθόδων, συγκεκριμένα κατακόρυφη και οριζόντια καύση, τρεις φορές για κάθε δοκίμιο.

Λέξεις κλειδιά: Ευφλεκτότητα, Καύση, Πυράντοχοι σωλήνες, Πυρκαγιά, UL94

# Δοκιμή καύσης Bunsen burner μικρής ανάπτυξης φλόγας και δοκιμές διάδοσης φλόγας

## 4.1 UL94 (ΕΝ 60695 11-10 και ASTM D 635-30 καιD 3801-00)

(BUNSEN BURNER TESTS - SMALL FLAME IGNITION AND FLAME SPREAD TESTS)

Πρόκειται για απλές, πρακτικές και ευρέως χρησιμοποιούμενες δοκιμές για την ανάφλεξη και την διάδοση φλόγας χρησιμοποιώντας ένα αρκετά ρεαλιστικό σετ σεναρίου φωτιάς. Παρέχουν τις συχνά αναφερόμενες βαθμολογίες V-0, V-2 και HB.

Το Underwriter εργαστήριο σχεδίασε αυτό το πρότυπο για να χρησιμεύσει ως προκαταρκτική ένδειξη της αποδοχής ενός πλαστικού, για χρήση ως μέρος μιας συσκευής ή όργανο σε σχέση με την ευφλεκτότητα του, και όχι τόσο για τους κινδύνους ενός υλικού υπό συνθήκες πραγματικής πυρκαγιάς. Η δοκιμή ευφλεκτότητας UL94 είναι το πρώτο βήμα προς την επίτευξη αναγνώρισης πλαστικού και την επακόλουθο καταχώρισή του στον “αναγνωρισμένο κατάλογο πλαστικών συστατικών” (πρώην γνωστός ως “κίτρινες κάρτες”).

Το “UL94” περιέχει τις ακόλουθες δοκιμές: 94HB και 94V, 94VTM, 94-5V, 94HBF και 94HF, και 94RP.

Η δοκιμή 94HB περιγράφει την μέθοδο οριζόντιας καύσης..

Η 94V χρησιμοποιείται για την μέθοδο κατακόρυφης καύσης ( προς τα κάτω) και είναι αυστηρότερη από την 94ΗΒ. Και οι δύο δοκιμές χρησιμοποιούνται για πλαστικά και ελαστικά και βασίζονται στην χρήση μικρής φλόγας αερίου.

Η 94VTM είναι γενικά παρόμοια με την 94V, αλλά χρησιμοποιείται για πολύ λεπτά υλικά ( φιλμ).

Οι 94HBF και HF είναι οριζόντια, μικρά τεστ φλόγας και χρησιμοποιούνται για μη δομικά αφρώδη υλικά, δηλαδή ακουστικό αφρό.

Η 94-5V δοκιμή είναι παρόμοια με την 94V αλλά πιο σοβαρή και χρησιμοποιεί μια μεγαλύτερη φλόγα για την κατάκορφη μέθοδο καύσης και ένα οριζόντια φύλλο για την δοκιμή διείσδυσης της φλόγας. Χρησιμοποιείται για περιβλήματα για προϊόντα που δεν μετακινούνται εύκολα ή είναι συνδεδεμένα ε ένα σύστημα αγωγών.

Η 94RP είναι μια βαθμολογία διάδοσης φλόγας που βασίζεται στην δοκιμή ακτινοβολίας πίνακα ASTME 162 (δεν είναι διαθέσιμο στο UClan).

|  |  |
| --- | --- |
| Παρακάτω παρουσιάζεται ένα σχηματικό διάγραμμα και μια σύντομη περιγραφή τριών δοκιμών που ισχύουν για προϊόντα μορφοποίησης (φύλλο, ράβδο, σωλήνα, μεμβράνη και αφρό) και τα συστήματα ταξινόμησης**.** | **Εικόνα 4.1**:Δοκιμές καύσης |

Για τις περισσότερες από αυτές τις δοκιμές, τα δείγματα κλιματίζονται στις τυπικές συνθήκες περιβάλλοντος και ξεραίνονται επίσης για επτά ημέρες στους 70οC.

## Δοκιμή καύσης πλαστικού δοκιμίου

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Μετά τη διαδικασία βαθμονόμησης της φλόγας, περιστρέφετε το φλόγιστρο κατά 45ο, τοποθετείτε το πλαστικό δοκίμιο στην συσκευή συγκράτησης και ακριβώς από κάτω ένα μεταλλικό πλαίσιο στο οποίο καλύπτετε την επιφάνεια του με λίγο βαμβάκι. | | **Εικόνα 6.1.1**: Διάταξη καύσης πλαστικών δοκιμίων. |
| Στη συνέχεια ο καυστήρας πλησιάζετε στο δοκίμιο έτσι ώστε η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ τους να είναι 10mm και κρατάτε την φλόγα των 20mm στο δοκίμιο για χρόνο 10 sec. | **Εικόνα 6.1.2**: Τοποθέτηση φλόγας στο πλαστικό δοκίμιο | |
| Μετά από 10sec ο καυστήρα απομακρύνεται από το δοκίμιο περιμένοντας να παρατηρηθεί η συμπεριφορά του πλαστικού δοκιμίου και των φλεγόμενων υπολειμμάτων της καύσης. | **Εικόνα 6.1.3**: Ανάφλεξη βαμβακιού. | |
| Τα φλεγόμενα υπολείμματα καθώς πέφτουν στο βαμβάκι το αναφλέγουν και το δοκίμιο πλέον καίγεται ολοσχερώς. | **Εικόνα 6.1.4**: Κάψιμο πλαστικού δοκιμίου. | |

Σύμφωνα με το τεστ καύσης UL 94 V το πλαστικό δοκίμιο που χρησιμοποιήσαμε δεν τηρεί καμία από τις τρεις προδιαγραφές που απατούνται για να το χαρακτηρίσουμε και πρέπει να βελτιωθεί όσον αφορά την αναφλεξιμότητα του.

## Δοκιμή καύσης σωλήνων PVC (κυρίως για αποχετεύσεις)

Στη δοκιμή αυτή χρησιμοποιήσαμε σωλήνα από πολυπροπυλένιο FASO PP (PP-H) χρώματος γκρι για δίκτυα κτιριακής αποχέτευσης που παράγεται  και ικανοποιεί πλήρως τις απαιτήσεις των Ευρωπαϊκών Προτύπων ΕΝ 1451. Οι σωλήνες αυτοί είναι αυτοσβενόμενο[17] .

Ευρωπαϊκό Πρότυπο ΕΝ 1451:

Συστήματα σωληνώσεων από πλαστικές ύλες για εκφόρτωση εδάφους και αποβλήτων (χαμηλή και υψηλή θερμοκρασία) εντός της δομής του κτιρίου.-Πολυπροπυλένιο (ΡΡ) (David Ford, 2006 ).

Βάση το ντοκουμέντο “An Investigation of the Vertical Bunsen Burner Test of Flammability of Plastics” που δημοσιεύτηκε τον Φεβρουάριο του 2012 τα PVC από άποψη ευφλεκτότητας κατατάσσονται στην κατηγορία V-0, όπως φαίνεται από τους πίνακες του ντοκουμέντου, οπότε η διαδικασία της δοκιμής μας είναι σωστή(Wiliam J., 2012, Hughes Technical Center ).

Διαδικασία δοκιμής:

|  |  |
| --- | --- |
| Τοποθετούνται το φλόγιστρο κατά 45οκαι φλόγα 20 mm, το πλαστικό δοκίμιο στην συσκευή συγκράτησης και το βαμβάκι στο μεταλλικό πλαίσιο. | **Εικόνα 6.2.1**: Διάταξη καύσης πλαστικών δοκιμίων |

Στη συνέχεια ο καυστήρας πλησιάζετε στο δοκίμιο έτσι ώστε η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ τους να είναι 10mm και κρατάτε την φλόγα των 20mm στο δοκίμιο για χρόνο 10 sec. Παρατηρείτε ότι το δοκίμιο παίρνει φωτιά.

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.2.2**: Τοποθέτηση φλόγας στο πλαστικό δοκίμιο | **Εικόνα 6.2.3**: Καύση δοκιμίου . |

|  |  |
| --- | --- |
| Μετά από 10sec ο καυστήρα απομακρύνεται από το δοκίμιο για 10 sec περιμένοντας να παρατηρηθεί η συμπεριφορά του πλαστικού δοκιμίου.Παρατηρείται πως παρόλο που κάηκε το δοκίμιο δεν υπάρχουνυπολείμματα καύσης. | **Εικόνα 6.2.4**: Κάψιμο πλαστικού δοκιμίου |

Καθώς δεν υπάρχουν φλεγόμενα υπολείμματα το βαμβάκι δεν αναφλέγετε και το δοκίμιο μπορεί να εφαρμοστεί ξανά σε φλόγα.

Ο καυστήρας πλησιάζετε ξανά στο δοκίμιο για χρόνο 10 sec και κατά της διάρκεια αυτών των 10sec παρατηρείτε ανάφλεξη του δοκιμίου. .

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.2.5**: Τοποθέτηση φλόγας στο πλαστικό δοκίμιο | **Εικόνα 6.2.6**: Ανάφλεξη βαμβακιού |

|  |  |
| --- | --- |
| Μετά από 10sec ο καυστήρα ξανά απομακρύνεται από το δοκίμιοδοκίμιο για 10 sec και παρατηρείται πως παρόλο που κάηκε το δοκίμιο δεν υπάρχουν υπολείμματα καύσης.  Καθώς δεν υπάρχουν φλεγόμενα υπολείμματα το βαμβάκι δεν αναφλέγετε. | **Εικόνα 6.2.7**: Κάψιμο πλαστικού δοκιμίου |

Σύμφωνα με το τεστ καύσης UL 94 V το πλαστικό δοκίμιο που χρησιμοποιήσαμε τηρεί την προδιαγραφή V-0 βάση την οποία η φλόγα των 20 mm εφαρμόζεται για δέκα δευτερόλεπτα στην βάση της κάθετης δοκιμαστικής ράβδου. Η καύση σταματά μέσα σε δέκα δευτερόλεπτα για την πρώτη εφαρμογή της φλόγας και φλόγα μετά από πύρωση μέσα σε 30 δευτερόλεπτα μετά την δεύτερη εφαρμογή της φλόγας. Ο συνολικός χρόνος καύσης σε όλες τις δοκιμές δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 50 δευτερόλεπτα. Τα δείγματα δεν πρέπει να καίγονται στον άνω σφιγκτήρα και δεν πρέπει να δημιουργούν σταγόνες καύσης (Emerson &Cuming).

## Δοκιμή καύσης υλικών σωλήνα από πολυπροπυλένιο ενισχυμένος με υαλονήματα και από PVC

Ο σωλήνας που χρησιμοποιήθηκε για αυτή τη δοκιμή ήταν τριστρωματικός σωλήνας από πολυπροπυλένιο RANDOM (PPR) ενισχυμένος με υαλονήματα. Οι σωλήνες αυτού του τύπου σχεδιάζονται, παράγονται και ελέγχονται για την ποιότητά τους, σύμφωνα με τα πρότυπα που ισχύουν για τους απλούς σωλήνες πολυπροπυλενίου (EN 15874 & DIN 8077 και 8078) και σε συμφωνία με την ειδική οδηγία HR 3.28 του Γερμανικού Ινστιτούτου SKZ. Η εξωτερική και εσωτερική στοιβάδα του σωλήνα αποτελείται από πολυπροπυλένιο Random, ενώ η εσωτερική αποτελείται από πολυπροπυλένιο Random ενισχυμένο με υαλονήματα προσδίδοντας μεγαλύτερη αντοχή σε πίεση μειώνοντας ταυτόχρονα την θερμική διαστολή [12], [16].

Βασικό πλεονέκτημα των σωλήνων με υαλονήματα είναι η μείωση της θερμικής γραμμικής διαστολής κατά 60%( 0,035mm/m/°C ) σε σχέση με τους απλούς σωλήνες Πολυπροπυλενίου [12].

Τα χαρακτηριστικά του σωλήνα από PVC έχουν είδη αναφερθεί στην προηγούμενη υποενότητα.

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.3:** Σωλήνες  πολυπροπυλενίου με  υαλονήματα | Το πολυπροπυλένιο που χρησιμοποιείται για τους τριστρωματικούς σωλήνες χαρακτηρίζεται ως πολυπροπυλένιο random ειδικής κρυσταλλικότητας (PP-R 112) και εξαιτίας των υψηλών μηχανικών αντοχών του (ιδιαίτερα σε υψηλές θερμοκρασίες) και της μεγάλης διάρκειας ζωής του, κατατάσσεται σύμφωνα με τα DIN 8077 και 8078 (έκδοση 2007) στην κατηγορία MRS 11,2.0 MPa (PP-R 112), σε αντίθεση με το απλό PP-R που βρίσκεται στην κατηγορία MRS 8.0 MPa (PP-R 80) [12]. |

Στον ακόλουθο πίνακα αναλύονται τα πρότυπα που αναφέρθηκαν παραπάνω (Deric Scott, 2000), [13]:

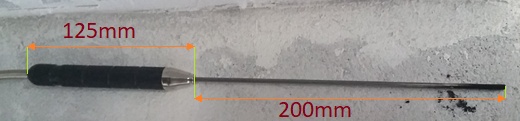
**Πίνακας 6.1**: Πρότυπα

|  |  |
| --- | --- |
| Πρότυπο | Επεξήγηση |
| EN ISO 15874 | Προσδιορίζει την γενική όψη των συστημάτων σωληνώσεων από πολυπροπυλένιο (PP) που προορίζονται να χρησιμοποιηθούν σε εγκαταστάσεις ζεστού και κρύου νερού εντός κτιρίων για την μεταφορά νερού |
| DIN 8077 | Σωλήνας πολυπροπυλενίου - Διαστασιολόγησησωλήνων και εξαρτημάτων |
| DIN 8078 | Σωλήνας πολυπροπυλενίου –απαιτήσεις ποιότητας και μέθοδοι δοκιμής |

Δοκιμή καύσης υλικών

Κατά την εκτέλεση αυτής της δοκιμής θα συλλέξουμε πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο που καίγετε το κάθε υλικό ξεχωριστά. Παράλληλα θα μετρήσουμε με τα δύο θερμόμετρα την θερμοκρασία που αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια της καύσης . Τα θερμόμετρα που θα χρησιμοποιήσουμε είναιτο θερμικό αισθητήρα με χάλκινο άκρο και θερμοστοιχείο και το θερμοστοιχείο TPK-03.Τα υλικά που θα εξετάσουμε είναι το πολυπροπυλένιο, το πολυπροπυλένιο ενισχυμένο με υαλονήματα και το PVC από σωλήνες ύδρευσης.

Τον θερμικό αισθητήρα με χάλκινο άκρο και θερμοστοιχείο τον έχουμε αναφέρει και στο προηγούμενο κεφάλαιο όπου και αναλύονται τα χαρακτηριστικά του. Το θερμοστοιχείο TPK-03που χρησιμοποιήσαμε είναι θερμοστοιχείο τύπου Κ από ασταθές χάλυβα με εύρος θερμοκρασίας από τους -50oC έως τους +800oC.

`

**Εικόνα 6.3.1**: θερμοστοιχείο τύπου Κ ΤΡΚ-03

Παρακάτω αναλύεται η κάθε δοκιμή καύσης για κάθε δοκίμιο αναλυτικά και ξεχωριστά.

Καύση πολυπροπυλενίου:

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.3.2**: Δοκιμή καύσης σωλήνα πολυπροπυλενίου | Τοποθετούνται το φλόγιστρο κατά 45οκαι φλόγα 20 mm, το πλαστικό δοκίμιο στην συσκευή συγκράτησης και μεταλλικό πλαίσιο κάτω από το δοκίμιο. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.3.3**: Τοποθέτηση φλόγας και αισθητήρων θερμότητας | Τα αισθητήρια θερμότητας τοποθετούνται όπως φαίνεται στη διπλανή εικόνα και συνδέονται στον ψηφιακό θερμόμετρο RS 615-8212. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.3.4**: Ανάφλεξη δοκιμίου | Ο καυστήρας πλησιάζεται στο δοκίμιο.  Παρατηρείτε ότι μετά από 6 δευτερόλεπτα επαφής του δοκιμίου με τη φλόγα και θερμοκρασία 32,6oC για τον θερμικό αισθητήρα με χάλκινο άκρο και θερμοστοιχείο και 186,1oC για TPK-03το δοκίμιό μας αρπάζει φωτιά. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.3.5**: Πτώση πρώτων υπολειμμάτων της καύσης | Μετά από 14 δευτερόλεπτα επαφής του δοκιμίου με τη φλόγα με θερμοκρασία στους 52,8oC για τον θερμικό αισθητήρα με χάλκινο άκρο και θερμοστοιχείο και στους 394,6 oCγια τον TPK-03παρατηρείται η πτώση των  πρώτον υπολειμμάτων της καύσης. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.3.6**: Ανάφλεξη ολόκληρου του δοκιμίου | Στα 35 δευτερόλεπτα με θερμοκρασία 175,5oC για τον θερμικό αισθητήρα με χάλκινο άκρο και θερμοστοιχείο και 668,6 oCγια τον TPK-03παρατηρείτε πως το δοκίμιό μας έχει αρπάξει όλο φωτιά. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.3.7**: Πτώση καιόμενων υπολειμμάτων καύσης | Στα 39 δευτερόλεπτα της δοκιμής μας με θερμοκρασία 238,7 oC για τον θερμικό αισθητήρα με χάλκινο άκρο και θερμοστοιχείο και 685,9 oC για τον TPK-03παρατηρούνται τα πρώτα καιόμενα υπολείμματα της καύσης. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.3.8**: Απομάκρυνση καυστήρα | Ακόμη κι όταν απομακρυνθεί ο καυστήρας από το φλεγόμενο δοκίμιο παρατείνεται ότι αυτό δεν σταματάει να καίγεται.  Παράλληλα σημειώνεται αύξηση της θερμοκρασίας στους 297,0 oC για τον θερμικό αισθητήρα με χάλκινο άκρο και θερμοστοιχείο και πτώση της θερμοκρασίας στους 682,0 oC για τον TPK-03. |

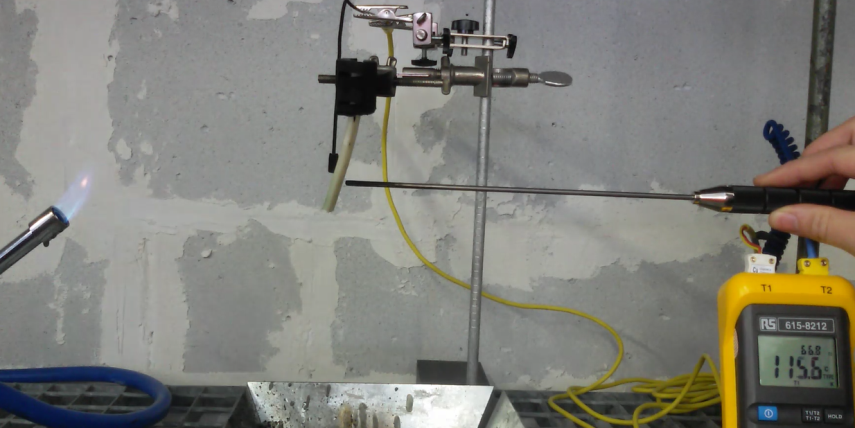
|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.3.9**: Καιόμενο δοκίμιο | Μετά την απομάκρυνση του καυστήρα συνεχίζουμε να έχουμε πτώση καιόμενων υπολειμμάτων.  Η θερμοκρασία του θερμικού αισθητηρίου με χάλκινο άκρο και θερμοστοιχείο συνεχίζει να αυξάνεται ενώ αντίστοιχα του TPK-03να μειώνεται. |

Η διαδικασία καύσης του δοκιμίου σωλήνα από πολυπροπυλένιο διήρκησε 2 λεπτά και 30 δευτερόλεπτα. Το δοκίμιο μας κάηκε ολοσχερώς.

Διεξάχθηκε κι άλλη δοκιμή καύσης του σωλήνα από πολυπροπυλένιο με αποτελέσματα όμοια με αυτά της προηγούμενης δοκιμής

Καύση πολυπροπυλενίου ενισχυμένο με υαλονήματα

Όπως και στην προηγούμενη δοκιμή τοποθετούνται το φλόγιστρο κατά 45ομε φλόγα 20 mm, το πλαστικό δοκίμιο στην συσκευή συγκράτησης και το μεταλλικό πλαίσιο κάτω από το δοκίμιο. Τα αισθητήρια θερμότητας τοποθετούνται όπως φαίνεται στη παρακάτω εικόνα και συνδέονται στον ψηφιακό θερμόμετρο RS 615-8212



**Εικόνα 6.3.10**: Δοκιμή καύσης σωλήνα πολυπροπυλενίου ενισχυμένου

με υαλονήματα

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.3.11**: Ανάφλεξη δοκιμίου | Ο καυστήρας πλησιάζεται στο δοκίμιο.  Παρατηρείτε ότι μετά από 3 δευτερόλεπτα επαφής του δοκιμίου με τη φλόγα και θερμοκρασία 132,5oC για τον θερμικό αισθητήρα με χάλκινο άκρο και θερμοστοιχείο και 106,7 oCγια TPK-03το δοκίμιό μας αρπάζει φωτιά. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.3.12**: Πτώση πρώτων υπολειμμάτων της καύσης | Μετά από 31 δευτερόλεπτα επαφής του δοκιμίου με τη φλόγα με θερμοκρασία στους 398,1oC για τον θερμικό αισθητήρα με χάλκινο άκρο και θερμοστοιχείο και στους 446,5oCγια τον TPK-03παρατηρείται ότι το δοκίμιο έχει πάρει όλο φωτιά και έχουμε την πτώση των πρώτον υπολειμμάτων της καύσης. |

Στη συνέχεια απομακρύνουμε τον καυστήρα για να δούμε πως θα συμπεριφερθεί το δοκίμιό μας.

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.3.13:** Πτώση καιόμενων υπολειμμάτων καύσης | Στα 41 δευτερόλεπτα της δοκιμής μας με θερμοκρασία 430,1oC για τον θερμικό αισθητήρα με χάλκινο άκρο και θερμοστοιχείο και 417,6oC για τον TPK-03παρατηρούνται τα πρώτα καιόμενα υπολείμματα της καύσης και η πτώση της θερμοκρασίας του αισθητηρίου TPK-03. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.3.14**: Θερμοκρασία αισθητήρων | Μετά την απομάκρυνση του καυστήρα το δοκίμιο συνεχίζει να καίγεται συνοδευόμενο από πτώση καιόμενων υπολειμμάτων.  Στα TPK-03δευτερόλεπτα καύσης εξακολουθεί ναυπάρχει άνοδος της θερμοκρασίας στους 502,2oC για τον θερμικό αισθητήρα με χάλκινο άκρο και θερμοστοιχείο και πτώση της θερμοκρασίας στους 374,7oC για τον TPK-03. |

Η διαδικασία καύσης του δοκιμίου σωλήνα από πολυπροπυλένιο ενισχυμένο με υαλονήματα διήρκησε 2 λεπτά και 8 δευτερόλεπτα. Το δοκίμιο μας κάηκε ολοσχερώς.

Καύση PVC

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Εικόνα 6.3.15**: Δοκιμή καύσης σωλήνα PVC | Όπως και στην προηγούμενη δοκιμή τοποθετούνται το φλόγιστρο κατά 45ομε φλόγα 20 mm, το πλαστικό δοκίμιο στην συσκευή συγκράτησης και το μεταλλικό πλαίσιο κάτω από το δοκίμιο. Τα αισθητήρια θερμότητας τοποθετούνται όπως φαίνεται στη παρακάτω εικόνα και συνδέονται στον ψηφιακό θερμόμετρο RS 615-8212 | |
| **Εικόνα 6.3.16**: Ανάφλεξη δοκιμίου | | Ο καυστήρας πλησιάζεται στο δοκίμιο.  Παρατηρείτε ότι με το που έρθει σε επαφή τη φλόγα και με θερμοκρασία 113,8oC για τον θερμικό αισθητήρα με χάλκινο άκρο και θερμοστοιχείο και 66.2oC για TPK-03το δοκίμιό μας αρπάζει φωτιά. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.3.17**: Αύξηση θερμοκρασίας | Όσο είναι το δοκίμιο έχει επαφή με τη φλόγα συνεχίζει να καίγεται και να ανεβάζει θερμοκρασία.  Σημειώνεται θερμοκρασία 180,7oC για τον θερμικό αισθητήρα με χάλκινο άκρο και θερμοστοιχείο και 99,7 oC για TPK-03. Μετά από 12 δευτερόλεπτα επαφής. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.3.18**: Απομάκρυνση καυστήρα | Ο καυστήρας απομακρύνεται.  Παρατηρείται πως μόλις απομακρυνθεί ο καυστήρας το δοκίμιο σταματάει να αναφλέγεται.  Δεν έχουν σημειωθεί ακόμα καιόμενα υπολείμματα καύσης. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.3.19**: Ανάφλεξη δοκιμίου | Όταν έρθει το δοκίμιο ξανά σε επαφή με τη φλόγα ξανά αναφλέγεται και η θερμοκρασία ανεβαίνει με θερμοκρασία στους 214,0 oC για τον θερμικό αισθητήρα με χάλκινο άκρο και θερμοστοιχείο και πτώση της θερμοκρασίας στους 117,4 oC για τον TPK-03. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.3.20**: Αύξηση θερμοκρασίας | Μετά από 44 δευτερόλεπτα καύσης δεν έχουμε ακόμα υπολείμματα καύσης.  Η θερμοκρασία έχει ανέβει στους 242,6 oC για τον θερμικό αισθητήρα με χάλκινο άκρο και θερμοστοιχείο και πτώση της θερμοκρασίας στους 325,1 oC για τον TPK-03. |

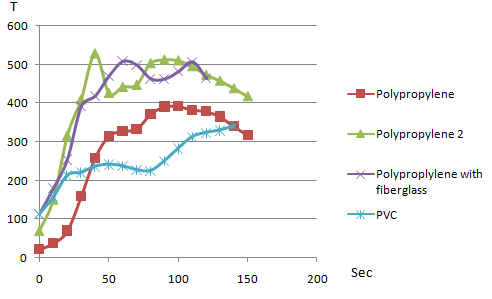
|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.3.21**: Απομάκρυνση καυστήρα | Όταν απομακρυνθεί ο καυστήρας το δοκίμιο σταματάει άμεσος να καίγεται. |

Όταν το δοκίμιο έρθει ξανά σε επαφή με την φλόγα έχουμε ξανά ανάφλεξη αυτού. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής αυτής δεν είχαμε καθόλου υπολείμματα καύσης. Η διαδικασία καύσης του δοκιμίου σωλήνα από PVC διήρκησε 2 λεπτά και 15 δευτερόλεπτα. Το δοκίμιό μας δεν κάηκε ολόκληρο, παρατηρήθηκε μόνο παραμόρφωση του υλικού.

Από τις παραπάνω δοκιμές παρατηρείται πως οι σωλήνες από πολυπροπυλένιο καθώς και ο σωλήνας από πολυπροπυλένιο ενισχυμένος με υαλονήματα όταν έρθουν σε επαφή με τη φωτιά αρχίζουν και καίγονται ακόμη κι όταν απομακρυνθεί η πηγή της φωτιάς από κοντά τους η καύση τους συνεχίζεται. Κατά τη διάρκεια της καύσης έχουν καιόμενα υπολείμματα τα οποία πέφτουν έως ότου καεί όλο το κομμάτι δείγματος του υλικού. Αντίθετα, το υλικό από σωλήνα PVC αρχίζει να καίγεται όταν έρθει σε επαφή με τη φλόγα και μόλις απομακρυνθεί αυτή από το υλικό, η ανάφλεξη του υλικού σταματάει. Αυτό σημαίνει ότι ο σωλήνας από PVC είναι αυτοσβενόμενος. Επίσης, κατά τη διάρκεια της καύσης δεν είχαμε καιγόμενα υπολείμματα.

Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις θερμοκρασίας – χρόνου των τεσσάρων δοκιμών για κάθε ένα από τα δύο αισθητήρια:

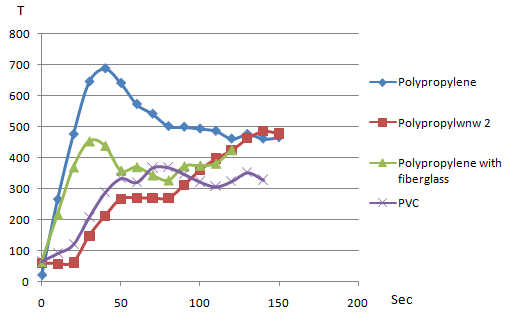
Θερμικός αισθητήρας με χάλκινο άκρο και θερμοστοιχείο:



**Διάγραμμα 6.1**: Θερμικό αισθητήριο με χάλκινο άκρο, διάγραμμα θερμοκρασίας χρόνου

`

Θερμοστοιχείο ΤΡΚ-03:

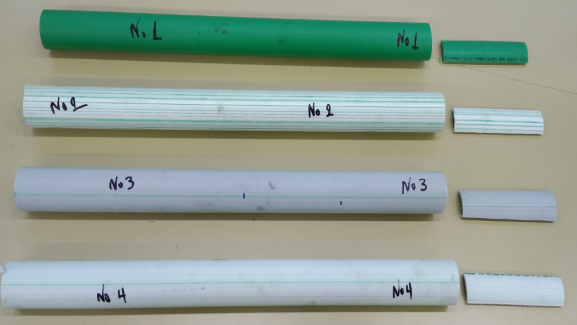


**Διάγραμμα 6.2**: Θερμοστοιχείο ΤΡΚ-03, διάγραμμα θερμοκρασίας χρόνου

Από τη διαδικασία των δοκιμών συμπεράνουμε πως όσο η φλόγα του καυστήρα μας ζέσταινε και έκαιγε τα δοκίμια η θερμοκρασία τους είχε άνοδο. Μετά την απομάκρυνση το καυστήρα όμως η θερμοκρασία των δοκιμίων σημείωνε κάθοδο.

Στα παραπάνω διαγράμματα απεικονίζεται η συμπεριφορά της θερμοκρασίας κατά την καύση των διάφορων δοκιμίων. Στο διάγραμμα 1 έχουμε την μέτρηση της θερμοκρασίας με τον θερμικό αισθητήρας με χάλκινο άκρο και θερμοστοιχείο, ο οποίος ήταν τοποθετημένων ακριβώς πάνω από την φλόγα του καυστήρα. Παρατηρείτε πως όσο είχαμε τον αναμμένο καυστήρα κάτω από το δοκίμιο μας η θερμοκρασία αυξανόταν και όταν τον απομακρύναμε έπεφτε. Στο διάγραμμα 2 έχουμε μέτρηση της θερμοκρασίας με το θερμοστοιχείο ΤΡΚ-03 το οποίο ήταν τοποθετημένο ακριβός μέσα στη φλόγα που δημιουργούσε το καιόμενο δοκίμιο. Παρατηρείτε πως όσο είχαμε τον αναμμένο καυστήρα κάτω από το δοκίμιο μας η θερμοκρασία αυξανόταν και όταν τον απομακρύναμε μειωνόταν. Επίσης στα τελευταία δευτερόλεπτα καύσης των δοκιμίων παρατηρείτε αύξηση της θερμοκρασίας της φλόγας.

## Δοκιμή καύσης τεσσάρων σωλήνων διαφορετικής σύνθεσης βάση το Πρότυπο UL94



**Εικόνα 6.4**:Δείγματα δοκιμής

Οι σωλήνες που χρησιμοποιήθηκε για αυτή τη δοκιμή ήταν τριστρωματικοί σωλήνες, ο κάθε ένας των οποίων είχε διαφορετική σύνθεση. Οι συγκεκριμένοι σωλήνες δόθηκαν από την εταιρία Interplast για δοκιμή.

Κατά την εκτέλεση αυτής της δοκιμής θα συλλέξουμε πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο που καίγετε ο κάθε σωλήνας ξεχωριστά. Παράλληλα θα μετρήσουμε με τα δύο θερμόμετρα την θερμοκρασία που αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια της καύσης και αναλύσουμε την συμπεριφορά της θερμοκρασίας σε σχέση με την καύση των υλικών μας.

Τα θερμόμετρα που θα χρησιμοποιήσουμε είναιτο θερμικό αισθητήρα με χάλκινο άκρο και θερμοστοιχείο και το θερμοστοιχείο TPK-03.

Κατά τη δοκιμή αυτή τοποθετούνται το φλόγιστρο κατά 45οκαι φλόγα 20 mm, το πλαστικό δοκίμιο στην συσκευή συγκράτησης, το μεταλλικό πλαίσιο κάτω από το δοκίμιο και τα αισθητήρια θερμότητας με τον ίδιο τρόπο όπως και στις προηγούμενες δοκιμές.

Κάθε σωλήνας θα δοκιμαστεί από τρείς φορές, σύμφωνα με το πρότυπο UL94, και θα ενταχθεί στην καταλύτη κατηγορία.

### 6.4.1 Δείγμα Νο 1ο

|  |
| --- |
| **Εικόνα 6.4.1:** Δείγμα Νο 1ο |
|  |

Το δείγμα Νο 1ο είναι τριστρωματικός σωλήνας πολυπροπυλενίου (PP-R) ενισχυμένο με υαλονήματα. Τα στρώματα από το οποίο αποτελείτε είναι κατά σειρά PP-R112/PP-R+FB/PP-R112.

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.4.1.1**: Καύση δοκιμίου | Ο καυστήρα πλησιάζεται στο δοκίμιο έτσι ώστε η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ τους να είναι 10 mm και η φλόγα κρατιέται στο δοκίμιο για χρόνο 10 sec.  Παρατηρείται πως το δοκίμιο κατά την διάρκεια αυτών των 10 sec αναφλέγεται. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.4.1.2**: Απομάκρυνση φλόγας | Μετά από 10 sec επαφής φλόγας-δοκιμίου ο καυστήρας απομακρύνεται από το δοκίμιο περιμένοντας να παρατηρηθεί η συμπεριφορά του δοκιμίου. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.4.1.3**: Πτώση υπολειμμάτων | Παρατηρείται πως υπάρχουν υπολείμματα καύσης μέσα στα πρώτα 5 sec μη επαφής με την φλόγα οπότε περιμένουμε συνολικά 30 sec πριν την δεύτερη εφαρμογή της φλόγας.  Επίσης παρατηρείται πως το δοκίμιο δεν σταματάει αν καίγεται μέσα σε αυτά τα 30 sec. |

### 6.4.2ΔείγμαΝο2ο

|  |
| --- |
| **Εικόνα 6.4.2:** Δείγμα Νο2ο |
|  |

Το δείγμα Νο 1ο είναι τριστρωματικός σωλήνας πολυπροπυλενίου (PP-R) ενισχυμένο με υαλονήματα. Τα στρώματα από το οποίο αποτελείτε είναι κατά σειρά PP-R112/PP-R+GF/PP-R112.

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.4.2.1**: Καύση δοκιμίου | Ο καυστήρα πλησιάζεται στο δοκίμιο έτσι ώστε η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ τους να είναι 10 mm και η φλόγα κρατιέται στο δοκίμιο για χρόνο 10 sec.  Παρατηρείται πως το δοκίμιο κατά την διάρκεια αυτών των 10 sec αναφλέγεται. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.4.2.2**: Απομάκρυνση φλόγας | Μετά από 10 sec επαφής φλόγας-δοκιμίου ο καυστήρας απομακρύνεται από το δοκίμιο περιμένοντας να παρατηρηθεί η συμπεριφορά του δοκιμίου. |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Εικόνα 6.4.2.3**: Πτώση υπολειμμάτων | Παρατηρείται πως υπάρχουν υπολείμματα καύσης μέσα στα πρώτα 15 sec μη επαφής με την φλόγα οπότε περιμένουμε συνολικά 30 sec πριν την δεύτερη εφαρμογή της φλόγας.  Επίσης παρατηρείται πως το δοκίμιο σταματάει να καίγεται μέσα σε αυτά τα 30 sec. | |
| **Εικόνα 6.4.2.4**: Δεύτερη επαφή με φλόγα | | Ξανά φέρνουμε το δοκίμιο σε επαφή με την φλόγα για άλλα 10 sec.  Παρατηρούμε ότι με το που έρθει σε επαφή το δοκίμιο με την φλόγα, αναφλέγεται. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.4.2.5**: Πτώση υπολειμμάτων | Μετά τα 10 sec επαφής, απομακρύνουμε την φλόγα.  Παρατηρούμε ότι το δοκίμιο συνεχίζει και καίγεται και υπάρχουν πάλι υπολείμματα καύσης. |

### 6.4.3ΔείγμαΝο3ο

|  |
| --- |
| **Εικόνα 6.4.3:** Δείγμα Νο3ο |
|  |

Το δείγμα Νο 1ο είναι τριστρωματικός σωλήνας πολυπροπυλενίου (PP-R) ενισχυμένο με υαλονήματα. Τα στρώματα από το οποίο αποτελείτε είναι κατά σειρά PP-R112/PP-R+GF/PP-R112.

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.4.3.1**: Καύση δοκιμίου | Ο καυστήρα πλησιάζεται στο δοκίμιο έτσι ώστε η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ τους να είναι 10 mm και η φλόγα κρατιέται στο δοκίμιο για χρόνο 10 sec.  Παρατηρείται πως το δοκίμιο κατά την διάρκεια αυτών των 10 sec αναφλέγεται. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.4.3.2**: Απομάκρυνση φλόγας | Μετά από 10 sec επαφής φλόγας-δοκιμίου ο καυστήρας απομακρύνεται από το δοκίμιο περιμένοντας να παρατηρηθεί η συμπεριφορά του δοκιμίου. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.4.3.3**: Πτώση υπολειμμάτων | Παρατηρείται πως υπάρχουν υπολείμματα καύσης μέσα στα πρώτα 10 sec επαφής με την φλόγα οπότε περιμένουμε συνολικά 30 sec πριν την δεύτερη εφαρμογή της φλόγας.  Επίσης παρατηρείται πως το δοκίμιο σταματάει ωα αναφλέγεται μόλις απομακρυνθεί η φλόγα. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.4.3.4**: Δεύτερη επαφή με φλόγα | Ξανά φέρνουμε το δοκίμιο σε επαφή με την φλόγα για άλλα 10 sec.  Παρατηρούμε ότι με το που έρθει σε επαφή το δοκίμιο με την φλόγα, αναφλέγεται και έχουμε πάλι υπολείμματα καύσης. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.4.3.5**: Απομάκρυνση φλόγας | Μετά τα 10 sec επαφής, απομακρύνουμε την φλόγα.  Παρατηρούμε ότι το δοκίμιο συνεχίζει να καίγεται καθώς συνεχίζουν και τα υπολείμματα καύσης. |

### 6.4.4ΔείγμαΝο3ο

|  |
| --- |
| **Εικόνα 6.4.4:** Δείγμα Νο4ο |
|  |

Το δείγμα Νο 1ο είναι τριστρωματικός σωλήνας πολυπροπυλενίου (PP-R) ενισχυμένο με υαλονήματα. Τα στρώματα από το οποίο αποτελείτε είναι κατά σειρά PP-R112/PP-R+GF/PP-R112.

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.4.4.1**: Καύση δοκιμίου | Ο καυστήρα πλησιάζεται στο δοκίμιο έτσι ώστε η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ τους να είναι 10 mm και η φλόγα κρατιέται στο δοκίμιο για χρόνο 10 sec.  . |

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.4.4.2**: Πτώση υπολειμμάτων | Παρατηρείται πως το δοκίμιο κατά την διάρκεια αυτών των 10 sec αναφλέγεται και υπάρχουν και υπολείμματα καύσης. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.4.4.3**: Απομάκρυνση φλόγας | Καθώς υπάρχουν υπολείμματα καύσης μέσα στα πρώτα 10 sec επαφής με την φλόγα οπότε περιμένουμε συνολικά 30 sec πριν την δεύτερη εφαρμογή της φλόγας.  Επίσης παρατηρείται πως το δοκίμιο σταματάει ωα αναφλέγεται μόλις απομακρυνθεί η φλόγα. |

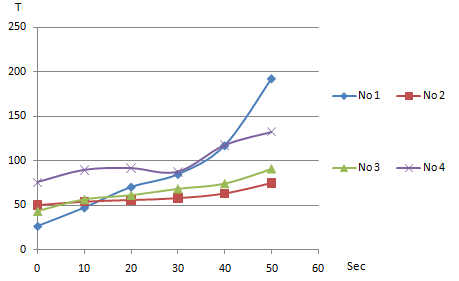
|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.4.4.4**: Δεύτερη επαφή με φλόγα | Ξανά φέρνουμε το δοκίμιο σε επαφή με την φλόγα για άλλα 10 sec.  Παρατηρούμε ότι με το που έρθει σε επαφή το δοκίμιο με την φλόγα, αναφλέγεται και έχουμε πάλι υπολείμματα καύσης. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Εικόνα 6.4.4.5**: Απομάκρυνση φλόγας | Μετά τα 10 sec επαφής, απομακρύνουμε την φλόγα.  Παρατηρούμε ότι το δοκίμιο σταματάει να αναφλέγεται. |

Από τις παραπάνω δοκιμές παρατηρείται πως οι τέσσερεις σωλήνες που δοκιμάστηκαν όταν έρθουν σε επαφή με τη φωτιά αρχίζουν.Εκτός από το δοκίμιο Νο 1, του οποίο η καύση συνεχίζεται και μετά την απομάκρυνση της φλόγας, τα υπόλοιπα τρία δοκίμια μέσα στο χρονικό διάστημα χωρίς φλόγα σταματούν να αναφλέγονται, είναι δηλαδή αυτοσβενόμενα όταν απομακρύνεται η φλόγα. .Κατά τη διάρκεια της καύσης έχουν σημειώνονται, επίσης, υπολείμματα καύσης

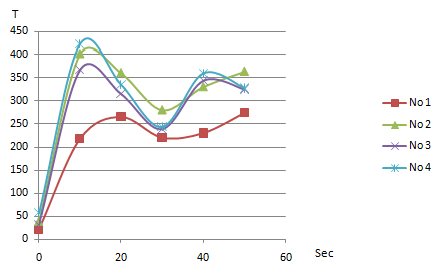
Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις θερμοκρασίας – χρόνου των τεσσάρων δοκιμών για κάθε ένα από τα δύο αισθητήρια:

Θερμικός αισθητήρας με χάλκινο άκρο και θερμοστοιχείο:



**Διάγραμμα 6.4.1**: Θερμικό αισθητήριο με χάλκινο άκρο, διάγραμμα θερμοκρασίας χρόνου

Θερμοστοιχείο ΤΡΚ-03:



**Διάγραμμα 6.4.2**: Θερμοστοιχείο ΤΡΚ-03, διάγραμμα θερμοκρασίας χρόνου

Από τη διαδικασία των δοκιμών συμπεράνουμε πως όσο η φλόγα του καυστήρα μας ζέσταινε και έκαιγε τα δοκίμια η θερμοκρασία τους είχε άνοδο. Μετά την απομάκρυνση το καυστήρα όμως η θερμοκρασία των δοκιμίων σημείωνε κάθοδο.

Στα παραπάνω διαγράμματα απεικονίζεται η συμπεριφορά της θερμοκρασίας κατά την καύση των διάφορων δοκιμίων. Στο διάγραμμα 1 έχουμε την μέτρηση της θερμοκρασίας με τον θερμικό αισθητήρας με χάλκινο άκρο και θερμοστοιχείο, ο οποίος ήταν τοποθετημένων ακριβώς πάνω από την φλόγα του καυστήρα. Παρατηρείτε άνοδος της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια του πειράματος και της καύσης των δοκιμίων. Στο διάγραμμα 2 έχουμε μέτρηση της θερμοκρασίας με το θερμοστοιχείο ΤΡΚ-03 το οποίο ήταν τοποθετημένο ακριβός μέσα στη φλόγα που δημιουργούσε το καιόμενο δοκίμιο. Παρατηρείτε πως όσο είχαμε τον αναμμένο καυστήρα κάτω από το δοκίμιο μας η θερμοκρασία αυξανόταν και όταν τον απομακρύναμε μειωνόταν