



Συμπεριφορά του EPS σε περίπτωση πυρκαγιάς



Εισαγωγή

Σκοπός αυτού του κειμένου είναι να ξεκαθαρίσει το μέγεθος των δυνατοτήτων αντοχής στην φωτιά της διογκωμένης πολυστερίνης (EPS), όταν χρησιμοποιείται σαν μονωτικό υλικό στα κτίρια. Αυτό το κείμενο θα λάβει υπόψη του όλες τις πλευρές των χαρακτηριστικών απόδοσης σε πυρκαγιά του EPS σε ότι αφορά, στην απελευθέρωση θερμότητας, την εξάπλωση της φλόγας, την παραγωγή καπνού, την τοξικότητα και τη συμβολή του στην διάδοση της φωτιάς. Παρατίθενται λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά του αφρού EPS οι οποίες χρησιμεύουν σαν βάση για την εκτίμηση της συμπεριφοράς του όταν εκτίθεται σε πηγές ανάφλεξης. Επίσης εκτιμάται και η απόδοση των πρόσθετων επιβραδυντών πυρκαγιάς. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση του κινδύνου, λαμβάνοντας υπόψη το σύνθετο χαρακτήρα μιας πραγματικής πυρκαγιάς και τη δυσκολία της προσομοίωσης σε δοκιμές υπό κλίμακα πραγματικών συνθηκών πυρκαγιάς.

Γενικά

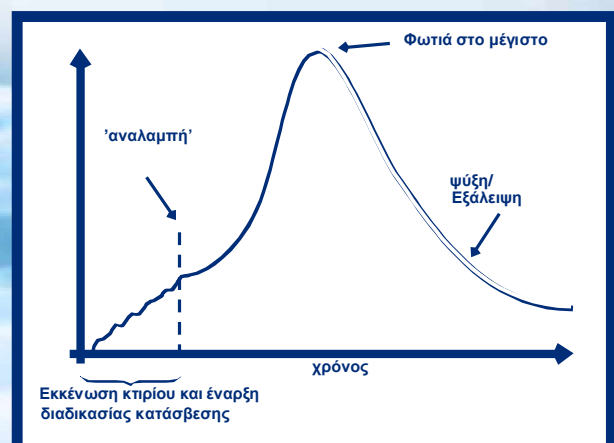
Η διογκωμένη πολυστερίνη προέρχεται κυρίως από το μονομερές στυρένιο και διογκώνεται για να σχηματίσει μια κυτταρική δομή ουσιαστικά από κλειστά κύτταρα.

Όταν εξετάζουμε την συμπεριφορά στην πυρκαγιά οποιουδήποτε οικοδομικού υλικού, είναι σημαντικό να συνειδητοποιήσουμε πως η αξιολόγηση πρέπει να βασίζεται στην απόδοση του σε συνθήκες τελικής χρήσης. Αυτή η απόδοση θα εξαρτηθεί, όχι μόνο από τη χημική φύση του υλικού αλλά, σε μεγαλύτερο βαθμό, από τη φυσική του κατάσταση. Συνεπώς, οι σημαντικοί παράγοντες οι οποίοι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τον καθορισμό του ενδεχομένου κινδύνου φωτιάς του EPS είναι:

- η πυκνότητα του αφρού και το σχήμα του προϊόντος
- η διαμόρφωση σχετικά με την πηγή ανάφλεξης
- η χρήση οποιουδήποτε συνδέσμου για πάτωμα ή όψη
- η τοποθεσία του προϊόντος (η οποία θα επηρεάσει τη μεταφορά της θερμότητας)
- η διαθεσιμότητα οξυγόνου (εξαερισμός)

Στάδια της πυρκαγιάς σε ένα κτίριο

(Πως εξαπλώνεται η πυρκαγιά σε ένα κτίριο)
Όταν ένα κτίριο χρησιμοποιείται καθημερινά σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας, υπάρχει μία φυσική ισορροπία μεταξύ των εύφλεκτων υλικών και του οξυγόνου στο περιβάλλον. Παρόλ' αυτά, στο αρχικό στάδιο μίας πυρκαγιάς, η ενέργεια της ανάφλεξης έρχεται σε επαφή με το εύφλεκτο υλικό. Σε μία θερμοκρασία πάνω από 200°C, το υλικό εκλύει εύφλεκτα αέρια, τα οποία θα αναφλεγούν είτε εξαιτίας της αρχικής ενέργειας ανάφλεξης είτε αυθόρμητα. Στην περίπτωση αερίων, η καύση μπορεί να οδηγήσει απευθείας σε φλόγες, ενώ όπου υπάρχουν συμπαγή υλικά, όπως έπιπλα, γίνονται αρχικά ακτινοβολούσες πηγές ανάφλεξης. Στο πρώτο στάδιο της πυρκαγιάς, υπάρχει σταδιακή συγκέντρωση της ενεργειακής θερμότητας με τη μορφή καυστικών αερίων. Μέχρι αυτό το σημείο, η θερμοκρασία είναι ακόμα σχετικά χαμηλή και η πυρκαγιά είναι ακόμα περιορισμένη μέσα στο κτίριο. Τότε, εντελώς ξαφνικά, μία εξέλιξη λαμβάνει χώρα, η οποία ονομάζεται «αναλαμπή», κατά την οποία η θερμοκρασία αυξάνεται δραματικά και η πυρκαγιά εξαπλώνεται ξαφνικά σε όλο το διαμέρισμα. Μετά από αυτήν την αναλαμπή, οι πιθανότητες διάσωσης ανθρώπων και εξοπλισμού μειώνονται σημαντικά. Τότε, η πυρκαγιά εξαπλώνεται σε όλο το κτίριο και τελικά θα σβήσει, χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση εξαιτίας της έλλειψης εύφλεκτων υλικών.



Η συμπεριφορά του EPS σε πυρκαγιά

Γενικά

Όπως σχεδόν όλα τα οργανικά οικοδομικά υλικά, ο αφρός της πολυστερίνης είναι εύφλεκτος. Παρόλ' αυτά, στην πράξη, η εύφλεκτη συμπεριφορά του εξαρτάται από τις συνθήκες υπό τις οποίες χρησιμοποιείται, κι επίσης από τις έμφυτες ιδιότητες του υλικού. Αυτές οι έμφυτες ιδιότητες διαφέρουν ανάλογα με το αν το κυτταρικό υλικό είναι φτιαγμένο από EPS με ή χωρίς πρόσθετους επιβραδυντές πυρκαγιάς. Ο σύνδεσμος άλλων υλικών στην κυτταρική πολυστερίνη επηρεάζει επίσης σημαντικά την συμπεριφορά της καύσης του. Για παράδειγμα, τα επικαλυμμένα με έλασμα προϊόντα έχουν εξελιγμένη απόδοση στην επιφάνεια εξάπλωσης της φλόγας. Όταν εγκατασταθούν σωστά, τα προϊόντα διογκωμένης πολυστερίνης δεν παρουσιάζουν αναίτιο κίνδυνο πυρκαγιάς. Συνιστάται η διογκωμένη πολυστερίνη να προστατεύεται πάντα από ένα υλικό όψης, ή από πλήρη συγκάλυψη.

Όταν καίγεται, η διογκωμένη πολυστερίνη συμπεριφέρεται όπως οι άλλοι υδρογονάνθρακες: το ξύλο, το χαρτί, κτλ. Τα βασικά προϊόντα της καύσης είναι το μονοξείδιο του άνθρακα και το στυρένιο: κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς, το στυρένιο μπορεί να υποστεί περαιτέρω αποσύνθεση, εκλύοντας οξείδια του άνθρακα, νερό και μια συγκεκριμένη ποσότητα καπνού.

Το EPS παράγεται σε δύο τύπους: την βασική ποιότητα και την τροποποιημένη ποιότητα με επιβραδυντές πυρκαγιάς, η οποία ορίζεται από τον κωδικό 'SE'. Οι τύποι με επιβραδυντές πυρκαγιάς ή τύποι SE, οι οποίοι καθιστούν το διογκωμένο προϊόν πιο δύσκολο στην ανάφλεξη, μειώνουν σημαντικά τους βαθμούς εξάπλωσης της φλόγας. Μερικές χώρες, όπως αυτές στη Σκανδιναβία, χρησιμοποιούν μόνο τον βασικό τύπο, ενώ άλλες, όπως η Γερμανία για παράδειγμα, χρησιμοποιούν μόνο τον τύπο SE. Σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες, χρησιμοποιούνται και οι δύο τύποι.

Αν το EPS εκτεθεί σε θερμοκρασίες πάνω από 100°C, αρχίζει να μαλακώνει, να συσπάται και τελικά, να λιώνει. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες, τα προϊόντα εύφλεκτων αερίων σχηματίζονται από την αποσύνθεση του λιωμένου προϊόντος. Το αν αυτά μπορούν να αναφλεγούν από μία φλόγα ή μία σπύθα εξαρτάται κυρίως από τη θερμότητα, τη διάρκεια έκθεσης στη θερμότητα και τον αέρα που φυσά γύρω από το υλικό (τη διαθεσιμότητα οξυγόνου)¹. Το λιωμένο EPS φυσιολογικά δεν αναφλέγεται από σπύθες συγκολλησεων ή από αναμμένα τσιγάρα.

Βέβαια, οι μικρές φλόγες θα αναφλέξουν εύκολα το EPS, εκτός και αν περιέχει πρόσθετους επιβραδυντές πυρκαγιάς (τύπος SE). Η θερμοκρασία μεταφοράς ανάφλεξης είναι 360°C. Στην περίπτωση του EPS-SE, είναι 370°C. Αυτές οι τιμές δηλώνουν πως αν το λιωμένο EPS αποσυντεθεί, τότε καυστικά αέρια σχηματίζονται μόνο πάνω από τους 350°C. Σε περίπτωση απουσίας πηγής ενέργειας (φλόγα ανάφλεξης) η θερμοκρασία αυτανάφλεξης του λιωμένου EPS στο βασικό του τύπο, είναι 450°C. Μετά την ανάφλεξη του EPS (βασικού τύπου), η καύση θα εξαπλωθεί αμέσως στην εκτεθειμένη επιφάνεια του EPS, και θα συνεχίσει να καίγεται ώσπου να καταναλωθεί όλο το EPS. Ενώ η χαμηλή πυκνότητα του αφρού συμβάλλει στην ευκολία της καύσης μέσα από ένα υψηλότερο ποσοστό αέρα (98%) στην πολυστερίνη (2%), η μάζα του παρόντος υλικού είναι χαμηλότερη κι έτσι, η ποσότητα της θερμότητας που απελευθερώνεται είναι επίσης χαμηλή.

Συμβολή στη διάδοση της πυρκαγιάς

Οι Οικοδομικοί Κανονισμοί σε όλη την Ευρώπη, ορίζουν ρητά κάποιες προϋποθέσεις σε ότι αφορά την κατασκευή και την εργασία, με βάση τον καθορισμό της συμβολής στη διάδοση της πυρκαγιάς, από την αντίδραση ως την πυκνότητα του φορτίου πυρκαγιάς στην επιφάνεια ενός δομικού μέρους. Αυτό ονομάζεται σύστημα ταξινόμησης «Αντίδραση στη φωτιά».

Τα συστήματα ταξινόμησης και οι δοκιμές πυρκαγιάς διαφέρουν σε ολόκληρη την Ευρώπη. Όμως, ήδη αναπτύσσεται ένα σύστημα «Ευρωκατηγοριών» και αναμένεται να είναι έτοιμο το 2000.

Επιβραδυντές φωτιάς

Η παρουσία πρόσθετων επιβραδυντών φωτιάς σε τύπους SE, οδηγεί σε σημαντικές προόδους στην συμπεριφορά του EPS σε πυρκαγιά. Παρόλο που ο σύνθετος χαρακτήρας της κατάστασης μιας πραγματικής πυρκαγιάς είναι δύσκολο να προβλεφθεί από την απόδοση της πυρκαγιάς σε εργαστηριακές δοκιμές, υπάρχουν διάφορες δοκιμές μικρής κλίμακας οι οποίες δείχνουν ξεκάθαρα ότι είναι πολύ πιο δύσκολο να αναφλεγεί το EPS που περιέχει επιβραδυντή πυρκαγιάς, από ότι ο βασικός τύπος.

Όταν υπάρχουν μεγάλες πηγές ανάφλεξης ή σημαντικές ροές θερμότητας, π.χ. μεγαλύτερες από 50 kW/m^2 , το EPS με τύπους SE θα καεί σταδιακά, σε αντίθεση με πυρκαγιές που περιλαμβάνουν άλλα υλικά, αντικατοπτρίζοντας την οργανική φύση της πολυστερίνης. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το κτίριο δε μπορεί πλέον να διασωθεί³.

Ο τύπος EPS-SE περιέχει μικρή ποσότητα επιβραδυντικού πυρκαγιάς (μέγιστο 0.5 %). Αυτός είναι ο επιβραδυντής πυρκαγιάς εξαβρωμοκυκλοδεκάνιο (HBCD). Έχει ευεργετικό αποτέλεσμα όταν το EPS εκτίθεται σε μία πηγή φωτιάς. Ο αφρός συρρικνώνεται γρήγορα μακριά από τη πηγή θερμότητας, κι έτσι μειώνεται η πιθανότητα ανάφλεξης. Τα προϊόντα αποσύνθεσης των πρόσθετων προκαλούν το σβήσιμο της φλόγας, ούτως ώστε όταν αφαιρεθεί η πηγή ανάφλεξης, το EPS δε θα συνεχίσει να καίγεται.

Το HBCD είναι το αποκαλούμενο σύνθετο κυκλοαλιφατικό οργανοβρωμίνης και δε συγκρίνεται με τους αρωματικούς επιβραδυντές (PBBs και PBBOs), των οποίων η χρήση είχε απαγορευτεί για κάποιο διάστημα. Πραγματικά, το HBCD δε σχηματίζει καθόλου τοξικές διοξίνες και φουράνες κατά την καύση. Αυτό ήταν το συμπέρασμα του Γερμανικού Υπουργείου Περιβάλλοντος το 1990, για την καύση της πολυστερίνης με περιεχόμενο HBCD η οποία ήταν πέντε φορές μεγαλύτερη από το κανονικό (3 τοις εκατό ανά βάρος). Βρήκαν πως το HBCD δεν αποτελεί πηγή για την ανάπτυξη των πολυβρωμοδιβενζοφουρανών και των διοξινών, όταν χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι κλίβανου καύσης σε μία κλίμακα θερμοκρασίας από 400 μέχρι $800 \text{ }^\circ\text{C}^2$. Στο ίδιο συμπέρασμα είχε καταλήξει προηγουμένως κι το Ολλανδικό Υπουργείο Περιβάλλοντος³ το 1989, για την πυρόλυση της πολυστερίνης με ένα περιεχόμενο 10 τοις εκατό HBCD (στο τροποποιημένο EPS με επιβραδυντές πυρκαγιάς μόνο 0.5%). Μία έρευνα το 1992 από το γνωστό Γερμανικό Ινστιτούτο Fresenius⁴, έδειξε πως στο HBCD δεν υπήρχαν βρωμιούχες διοξίνες ή φουράνες. Πρόσφατη έρευνα στον κλίβανο δοκιμών του Karlsruhe, τον 'Tamara', έδειξε ότι η καύση των πολυστερινών σε ένα σύγχρονο κλίβανο καύσης αποτελεί μία φιλική προς το περιβάλλον μέθοδο ανακύκλωσης σε ότι αφορά τις εκπομπές.

Επίσης, καθώς το HBCD δε διαλύεται στο νερό και δεν υπάρχει κίνδυνος μετανάστευσης στο νερό⁵.

Απελευθέρωση Θερμότητας

Ο ρυθμός της απελευθέρωσης θερμότητας θεωρείται μια σημαντική παράμετρος για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς των υλικών στην πυρκαγιά. Η μέθοδος δοκιμής που εμφανίστηκε ως ISO 5660, με τη χρήση ενός κωνικού θερμιδόμετρου, επιτρέπει στα δείγματα να καίγονται υπό μία κλίμακα εντυπωμένων ροών θερμότητας. Δοκιμές που έγιναν σε ένα βιομηχανικό εργαστήριο έδειξαν ότι η πλάκα του EPS συρρικνώθηκε γρήγορα μακριά από την πηγή θερμότητας και πήρε τη μορφή μίας λεπτής ταινίας λιωμένης πολυστερίνης. Δεν παρατηρήθηκε καμία ανάφλεξη φλόγας σε ροή θερμότητας έως και 20 kW/m^2 . Για μεγαλύτερες ροές θερμότητας, η συνολική αναλογία απελευθέρωσης θερμότητας (RHR) και η μέγιστη RHR ήταν χαμηλότερες από τους τύπους SE με πρόσθετο επιβραδυντή πυρκαγιάς, από ότι για τους βασικούς τύπους.

Η θερμαντική αξία των υλικών από διογκωμένη πολυστερίνη (40 MJ/kg) είναι περίπου διπλή από αυτήν του ξύλου (18.6 MJ/kg), αλλά λαμβάνοντας υπόψη τις συγκριτικές πυκνότητες των δύο προϊόντων, ο θερμαντικός όγκος ανά όγκο διογκωμένης πολυστερίνης είναι 540 MJ/m^3 έως και 1250 MJ/m^3 συγκριτικά με τις τιμές 7150 MJ/m^3 έως 10400 MJ/m^3 για τα κυτταρικά προϊόντα, όπως οι ίνες, η μονωτική σανίδα, ή το ξύλο.

Το συνολικό περιεχόμενο της θερμότητας των υλικών, επηρεάζει τη επικινδυνότητα της πυρκαγιάς, σε ότι αφορά την ανάπτυξη της φωτιάς και ο βαθμός απελευθέρωσης της περιεχομένης θερμότητας είναι μεγάλης σημασίας. Αυτό εξαρτάται κατά πολύ, από τις συνθήκες ανάφλεξης. Η θερμότητα που απελευθερώνεται από τα προϊόντα διογκωμένης πολυστερίνης είναι περίπου 3 φορές ταχύτερη από τις δοκούς ξυλόμαλλου, αλλά είναι πολύ μικρότερη σε διάρκεια^(6,7,8).

Το σημείο κι ο βαθμός της απελευθέρωσης θερμότητας περιορίζεται κυρίως από τον εξαερισμό. Για παράδειγμα, ένας αφρός πυκνότητας 16 kg/m^3 απαιτεί πάνω από 150 φορές τον όγκο του αέρα για να επιτευχθεί πλήρης καύση. Η πλήρης καύση της διογκωμένης πολυστερίνης είναι απίθανο να συμβεί, κι έτσι το σύνολο της θερμότητάς της σπάνια απελευθερώνεται.

Ένα παχύ στρώμα EPS 200mm με πυκνότητα 20 kg/m^3 αντιπροσωπεύει την ίδια ποσότητα ενέργειας όσο και ένα παχύ στρώμα 17mm ξύλου πεύκου. Αλλά ποιος διστάζει να χρησιμοποιήσει ένα πεύκο πάχους 17mm ως απροστάτευτη επιφάνεια σε ένα ταβάνι ή σε ένα τοίχο;

Καπνός

Ο καπνός είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην πυρκαγιά. Μία ενδεχόμενη υψηλή πυκνότητα καπνού, εμποδίζει την αναζήτηση εύρεσης εξόδου κινδύνου κι έτσι αυξάνονται οι κίνδυνοι για τους ενοίκους. Επίσης τα αέρια του καπνού μπορούν να είναι τοξικά ή να έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο, ενώ τα (ζεστά) μόρια καπνού μπορούν να εμποδίσουν και να επηρεάσουν αρνητικά τα αναπνευστικά όργανα.

Όταν γίνεται αξιολόγηση για μία ενδεχόμενη εκπομπή καπνού από υλικά διογκωμένης πολυστερίνης σε ένα κτίριο σε συνθήκες πυρκαγιάς, οι σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι το πιθανό σημείο εξάπλωσης της πυρκαγιάς σε οποιαδήποτε επιφάνεια που έχει σχεδιαστεί για την προστασία της διογκωμένης πολυστερίνης, οι συνθήκες εξαερισμού κι ο βαθμός αποσύνθεσης της πολυστερίνης. Η αποτελεσματική προστασία επιφανειών θα περιορίσει την εξάπλωση της πυρκαγιάς σε περιοχές όπου η επικάλυψη έχει φθαρεί κι όπου η λιωμένη πολυστερίνη ή τα παράγωγα από την καύση της αέρια έχουν διαφύγει μέσω ενώσεων και μικρών χαραμάδων.

Η πρόγνωση της ακριβούς αιτίας παραγωγής καπνού από την πολυστερίνη, είναι δύσκολη γιατί υπάρχει μία ευρεία ποικιλία συνθηκών καύσης που είναι πιθανό να συναντήσει κανείς μέσα σε μία πραγματική πυρκαγιά. Τα γενικευμένα συμπεράσματα από δοκιμές μικρής κλίμακας στηρίζονται σε στοιχεία από περιστατικά πυρκαγιάς. Σε μία ενεργή πυρκαγιά, τα προϊόντα της διογκωμένης πολυστερίνης παράγουν περισσότερο καπνό από μία δεδομένη μάζα υλικού από ότι τα περισσότερα υλικά. Θα πρέπει ωστόσο να σημειωθεί πως τα υλικά διογκωμένης πολυστερίνης περιέχουν μόνο 2 % ανά όγκο στερεών.

Στις πραγματικές πυρκαγιές, όπου παράγεται περισσότερος καπνός, λέγεται συχνά ότι προέρχεται από την καιγόμενη μόνωση του EPS στην οροφή. Σε ακραίες περιπτώσεις, αυτή η παραδοχή γίνεται ακόμα και για πυρκαγιές σε κτίρια χωρίς μόνωση EPS. Στην πραγματικότητα, ο περισσότερος καπνός προέρχεται από υλικά όπως το καιγόμενο ξύλο, το πίλημα της ασφάλτου και τα έπιπλα, ειδικά μετά την πρώτη φάση της πυρκαγιάς.

Επέκταση Φωτιάς

Η επέκταση της φωτιάς είναι η διαδικασία της αναπτυσσόμενης ανάφλεξης πάνω σε μια συνεχόμενη επιφάνεια. Η έκταση κι ο βαθμός της επέκτασης της φωτιάς εξαρτάται κυρίως από την αναφλεξιμότητα και το βαθμό απελευθέρωσης της θερμότητας ενός καύσιμου υλικού. Σε επιστρώματα, όπου το υλικό της διογκωμένης πολυστερίνης είναι προσαρτημένο με ένα δύσκαμπτο υπόστρωμα και παρέχεται με ένα προστατευτικό εξωτερικό επικάλυμμα, ο κίνδυνος επέκτασης της φλόγας επηρεάζεται επίσης κι από τις φυσικές και θερμικές ιδιότητες της επιφάνειας πάνω στην οποία το υλικό της διογκωμένης πολυστερίνης μπορεί να έχει λιώσει.

Η εγγύτητα του υποστρώματος και ο βαθμός ακεραιότητας του προστατευτικού επικαλύμματος (σε όποια σημεία έχει παραμείνει) ταυτόχρονα με την μορφή των στηρίξεων και των ενώσεων, επηρεάζουν τη διασπορά της όποιας λιωμένης πολυστερίνης και τον εφοδιασμό αέρα και θερμότητας στη ζώνη ανάφλεξης. Αν έχει χρησιμοποιηθεί κάποια κόλλα για την συγκόλληση της διογκωμένης πολυστερίνης στην επιφάνεια του επικαλύμματος, η τήξη θα καταλήξει άμεσα σε αυτήν την επιφάνεια, αλλά όπου έχουν εγκατασταθεί παχιά ελάσματα, ιδιαίτερα σε οριζόντια θέση, η μη ύπαρξη επικαλύμματος επιφάνειας μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό και την πτώση των λιωμένων σταγόνων, συνήθως φλεγόμενων.

Όπου υπάρξει αποτυχία του προστατευτικού επικαλύμματος, η ροή αέρα και ο προσανατολισμός του, καθώς και η επιφάνεια της εκτεθειμένης διογκωμένης πολυστερίνης είναι σημαντικά για τον καθορισμό του επερχόμενου κινδύνου επέκτασης της πυρκαγιάς (π.χ. σε ένα διπλό τοίχο μονωμένο με διογκωμένη πολυστερίνη), αν και η περαιτέρω επέκταση είναι απίθανη λόγω της έλλειψης κυκλοφορίας του αέρα καύσης^(9,10).

Πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει πως είναι πιθανό να μετρηθεί ποσοτικά η συμβολή, χωριστά του μονωτικού, στην ανάπτυξη της πυρκαγιάς σε περιβλήματα με ελεύθερο εξαερισμό, όπου το μονωτικό διογκωμένης πολυστερίνης χρησιμοποιείται σε πλαίσια τοίχου ή σε τοίχο και/ή σε επιστρώματα ταβανίων. Η έκταση της εμπλοκής του μονωτικού, μεταξύ άλλων παραγόντων, εξαρτάται και από το βαθμό αποτυχίας των προστατευτικών επικαλυμμάτων. Με καλό σχεδιασμό και προσεκτική επιλογή προστατευτικών επικαλυμμάτων, ο βαθμός στον οποίο το μονωτικό μετέπειτα συνεισφέρει θερμότητα, καπνό, κ.ά. στην ανάπτυξη της πυρκαγιάς μέσα σε ένα περίβλημα μπορεί να μειωθεί σημαντικά. Ο χρόνος της εμπλοκής μπορεί επίσης να καθυστερηθεί σημαντικά^(11,12).

Ένα ερευνητικό πρόγραμμα μεγάλης κλίμακας που διεξήχθη από το Ίδρυμα Οικοδομικών Ερευνών (BRE) στην Αγγλία, με πλήρη προσομοίωση των συνεπειών μιας πυρκαγιάς, σε δωμάτιο, σε μια μεγάλη περιοχή εξωτερικά μονωμένης τοιχοποιίας, προσδιόρισε τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την απόδοσή τους σε συνθήκες πυρκαγιάς⁽¹³⁾. Όπου χρησιμοποιούνται φύλλα διογκωμένης πολυστερίνης, με προσεκτική επιλογή των σοβάδων, με κατάλληλο σχεδιασμό και τοποθέτηση, ταυτόχρονα με κατάλληλα φράγματα πυρκαγιάς, είναι πιθανό να μειωθεί αισθητά η συμβολή ενός μονωτικού στην αναπτυσσόμενη κατακόρυφα επέκταση της πυρκαγιάς στο εξωτερικό τελείωμα ή μέσω του μονωτικού/σε κοιλότητα. Η επέκταση των ζημιών από την πυρκαγιά μπορεί επίσης να περιοριστεί. Η απόδοση της πυρκαγιάς των ομογενών ελαφρών επικαλυμμένων τοίχων που περιέχουν διογκωμένη πολυστερίνη ως προσμείγματα που εφαρμόζονται εξωτερικά σε συμπαγείς τοίχους τοιχοποιίας, έχει αποδειχθεί ικανοποιητική.

Τα μόρια καπνού που παράγονται σε μία φωτιά με φλόγες είναι μεγάλα, μαύρα και ακανόνιστα στο σχήμα. Η πυκνότητα του παραγόμενου καπνού αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και με την ένταση της ροής θερμότητας μέσα στο υλικό. Σε μία υποβόσκουσα φωτιά, π.χ. όπου τα υλικά διογκωμένης πολυστερίνης παραμένουν αποτελεσματικά προστατευμένα και η αποσύνθεση συμβαίνει σε συνθήκες όπου το οξυγόνο δεν είναι επαρκές, επικρατούν τα μικρά σφαιρικά γκρι μόρια κι οι συγκεκριμένες τιμές οπτικής πυκνότητας είναι χαμηλότερες από αυτές στις συνθήκες φωτιάς με φλόγες.

Όταν καίγεται το εκτεθειμένο EPS, παράγει μία σημαντική ποσότητα πυκνού, μαύρου καπνού ο οποίος είναι ανάλογος της μάζας που καταναλώνεται από την πυρκαγιά. Μερικές φορές, υπάρχει μία διαφωνία σχετικά με το αν η τοξικότητα των αερίων του καπνού θα είναι ανάλογη με την πυκνότητα του καπνού, αλλά αυτό δεν ισχύει.

Για τις εφαρμογές όπου το EPS χρησιμοποιείται χωρίς προστατευτικό επικάλυμμα, η ποσότητα του καπνού

περιορίζεται από την ευνοϊκή μάζα στην αναλογία της περιοχής της επιφάνειας του αφρού με χαμηλή πυκνότητα. Παρότι το εκτεθειμένο φλεγόμενο EPS στο βασικό του τύπο, παράγει πολύ καπνό, η συνολική ποσότητα του καπνού είναι μικρή εξαιτίας της χαμηλής πυκνότητας του EPS. Αλλά, δεδομένου ότι το EPS σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις δεν χρησιμοποιείται σε εκτεθειμένη μορφή ή σε δωμάτια χωρίς κανένα κίνδυνο φωτιάς και βρίσκεται ανάμεσα σε άλλα υλικά, είναι πιο ρεαλιστικό να αξιολογηθεί σε αυτές τις πρακτικές συνθήκες η παραγωγή καπνού. Φυσιολογικά, το EPS προστατεύεται από τη φωτιά από τα γύρω υλικά και θα πιάσει φωτιά μόνο αν ολόκληρο το κτίριο τυλιχτεί στις φλόγες. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το EPS συστέλλεται εξαιτίας της θερμότητας, αλλά δεν αναφλέγεται και δεν συμβάλλει στη διάδοση της φωτιάς και η ποσότητα του καπνού μπορεί να είναι περιορισμένη. Συνεπώς η παραγωγή καπνού είναι, επίσης αναλόγως μικρή. Άρα, μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι το EPS, όταν χρησιμοποιείται σωστά για τις προτεινόμενες εφαρμογές, δεν οδηγεί σε αυξημένο κίνδυνο πυκνού καπνού³.

Τοξικότητα

Όπως συζητήθηκε και νωρίτερα, είναι δύσκολο να προβλεφθεί η συμπεριφορά των πραγματικών πυρκαγιών με δοκιμές μικρής κλίμακας. Οι ίδιες μελέτες εφαρμόζονται για την αξιολόγηση των κινδύνων εκπομπών αερίων από φλεγόμενα υλικά. Στην πράξη, δύο οδοί προσέγγισης ακολουθούνται: πρώτον, ο καθορισμός των προϊόντων θερμικής αποσύνθεσης και, δεύτερον, μελέτες των βιολογικών τους συνεπειών. Είναι απαραίτητο να συγκριθούν οι δύο οδοί προσέγγισης για να βρεθεί ένας ρεαλιστικός συνολικός υπολογισμός των κινδύνων.

Παρόλο που το φλεγόμενο EPS αναδύει μαύρο καπνό, η τοξικότητα των απελευθερωμένων αερίων καπνού είναι σημαντικά μικρότερη από αυτή άλλων υλικών που χρησιμοποιούνται ευρέως. Αυτό έχει ήδη αποφασιστεί το 1980 από το TNO, το Κέντρο για την Ασφάλεια από Πυρκαγιές¹⁴ τόσο για το EPS στο βασικό του τύπο όσο και για το EPS ποιότητας SE. Η τοξικότητα των αερίων μετρήθηκε για υλικά όπως το ξύλο, το μαλλί, το μετάξι, το βαμβάκι, το ειδικά επεξεργασμένο βαμβάκι με επιβραδυντές πυρκαγιάς και για τρία είδη EPS (βλέπε πίνακα). Στη περίπτωση του EPS, η τοξικότητα του καπνού εμφανίστηκε να είναι σημαντικά μικρότερη από αυτή των άλλων υλικών.

Εκτεταμένη έρευνα, σχετικά με την τοξικότητα των αερίων του καπνού από φλεγόμενο EPS έχει πραγματοποιηθεί σύμφωνα με τη μέθοδο DIN 53436, η οποία είναι μία δοκιμή μικρής κλίμακας για την τοξικότητα της καύσης και η οποία δίνει αποτελέσματα σχετικά με πυρκαγιές μεγάλης κλίμακας.

Σε αυτό το πείραμα, τα δείγματα θερμαίνονται αντίστοιχα στους 300, 400, 500 και 600 °C. Ταυτόχρονα, με ποικίλους τύπους EPS, μελετήθηκαν και μεμονωμένα φυσικά προϊόντα όπως το ξύλο πεύκου, το νοβοπάν, τον διογκωμένο φελλό και το τρίπλεξ, τα ελαστικά, το πίλημα και το δέρμα.

Τα αποτελέσματα δίνονται περιληπτικά στον παρακάτω πίνακα. Τα αέρια του καπνού από το EPS στα περισσότερα προϊόντα εμφανίστηκαν να είναι εξίσου, ακόμη και λιγότερο τοξικά από τα φυσικά προϊόντα καθ' όλη την ποικιλία. Το EPS σημείωσε μεγάλη επιτυχία βασισμένο στους ίσους όγκους των δειγμάτων που τέθηκαν υπό δοκιμή, εξαιτίας της τρομερά χαμηλής του πυκνότητας και του ελαφρού του βάρους (98% αέρας). Επιπρόσθετα, δεν βρέθηκε κανένα αρνητικό αποτέλεσμα στην ανάπτυξη καπνού από τον επιβραδυντή πυρκαϊάς στο EPS-SE.

Ο πίνακας δείχνει ότι, όταν καίγεται το EPS αναδύονται σημαντικές ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα και μονομερούς στυρένιου. Η σχετική τους τοξικότητα μπορεί να υπολογιστεί από τα νούμερα για την ακριβή εισπνοή τοξικότητας (L/C₅₀ περίοδος εισπνοής 30 λεπτά) από 0.55% v/v για το μονοξείδιο του άνθρακα και 1% v/v για το στυρένιο. Συνεπώς, η ακριβής τοξικότητα εισπνοής του στυρένιου είναι μικρότερη από αυτή του μονοξειδίου του άνθρακα, και η συγκέντρωσή της στα συνθετικά προϊόντα του EPS είναι επίσης μικρότερη στις ανώτερες θερμοκρασίες που επικρατούν σε μία πυρκαγιά. Το μονοξείδιο του άνθρακα μπορεί να αποβεί μοιραίο αν το αναπνεύσει κανείς από 1 έως 3 λεπτά σε συγκεντρώσεις 10 000 p.p.m. έως 15 000 p.p.m. Το στυρένιο έχει μία μυρωδιά που μπορεί να εντοπιστεί στους 25 p.p.m. έως τους 50 p.p.m. και η οποία γίνεται ανυπόφορη μεταξύ των 200 p.p.m. και των 400 p.p.m. Αυτή η μυρωδιά προειδοποιεί για την άμεση εκκένωση της περιοχής. Ενόχληση στους οφθαλμούς και ναυτία μπορούν να προκληθούν στους 600 p.p.m. και κάποια νευρολογική βλάβη μπορεί να προκληθεί στους 800 p.p.m. Σε μία πυρκαγιά, το στυρένιο είναι πιθανό να αποσυντεθεί περαιτέρω, και να σχηματίσει μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα και νερό.

Η τοξικότητα των αερίων καπνού του EPS σε διάφορα 'φυσικά' υλικά.

Δείγμα	Αναδυόμενα κλάσματα (v/v) σε ppm σε διαφορετικές θερμοκρασίες				
		Αέρια Καπνού σε Πυρκαγιά	300 °C	400 °C	500 °C
EPS (standard grade)	Μονοξειδίο του άνθρακα	50*	200*	400*	1,000**
	Μονοστυρένιο	200	300	500	50
	Other aromatic compounds	fractions	10	30	10
	Hydrogen bromide	0	0	0	0
EPS-SE (τύπος επιβραδυν πυρκαγιάς)	Μονοξειδίο του άνθρακα	10*	50*	500*	1,000*
	Μονοστυρένιο	50	100	500	50
	Other aromatic compounds	fractions	20	20	10
	Hydrogen bromide	10	15	13	11
Deal	Μονοξειδίο του άνθρακα	400*	6,000**	12,000**	15,000**
	Aromatic compounds	--	--	--	300
Chip board	Carbon monoxide	14,000**	24,000**	59,000**	69,000*
	Aromatic compounds	fractions	300	300	1,000
Expanded cork	Μονοξειδίο του άνθρακα	1,000*	3,000**	15,000**	29,000**
	Aromatic compounds	fractions	200	1,000	1,000

* smouldering/glowing

** as a flame

-- not detected

Παρατηρήσεις: Test conditions specified in DIN 53 436; air flow rate 100 l/h;

300mm x 15mm 20mm test specimens compared at normal end-use conditions

Για τους τύπους SE, εντοπίστηκαν ίχνη (10 – 15 p.p.m.) υδροβρωμίου με τη μέθοδο DIN 53 436¹⁹. Η τιμή LC₅₀ του HBr είναι παρόμοια με αυτήν του μονοξειδίου του άνθρακα. Από τη στιγμή που η συγκέντρωσή του είναι τόσο χαμηλή, παρόμοια με το μονοξειδίο του άνθρακα, η παρουσία του στα αέρια που αναδύονται από καιγόμενο EPS τύπου SE, δεν επιβαρύνει σημαντικά τον κίνδυνο για την υγεία. Εξαιτίας των μικρών ποσοτήτων HBr που παράγονται, δεν αναμένονται διαβρωτικά αποτελέσματα.

Η καύση του EPS τύπου SE υπό συνθήκες που επιβάλλονται από το DIN 53 436 δεν αποδίδουν ίχνη βρωμιούχων διβενζοδιοξινίων, είτε στην αέρια κατάσταση, είτε στα συμπαγή υπολείμματα, παρά μόνο αμελητέες αναλογίες βρωμιούχων διβενζοφουρανών, από τις οποίες καμία δεν είναι τοξική, όπως ορίζεται από τον (Γερμανικό) Κανονισμό Απαγορευμένων Χημικών Ουσιών του 1994.

Η συμβολή του πεντανίου

Το πεντάνιο χρησιμοποιείται ως μέσο διόγκωσης, προκειμένου να διογκωθεί η πολυστερίνη μέσα στο EPS. Είναι ένας αγνός υδρογονάνθρακας, ο οποίος παρόλο που είναι εύφλεκτος, αποσπάται από το τελικό προϊόν του EPS μέσα σε μία μικρή χρονική περίοδο μετά την παραγωγή. Επιπλέον, το πεντάνιο είναι ασταθές και αποσυντίθεται στην ατμόσφαιρα μέσα σε λίγες ώρες με τη μορφή διοξειδίου του άνθρακα και με τη μορφή νερού. Συνεπώς, το πεντάνιο δεν παίζει σημαντικό ρόλο στις επακόλουθες ιδιότητες του EPS σε περίπτωση πυρκαγιάς ή στην πρόκληση και την ανάπτυξη πυρκαγιάς σε ένα κτίριο.

Το συμπέρασμα από όλες τις μελέτες είναι ξεκάθαρο και αδιαμφισβήτητο: απελευθερώνονται λιγότερα τοξικά αέρια και αναθυμιάσεις κατά τη διάρκεια της καύσης του EPS τόσο στο βασικό του τύπο όσο και στην ποιότητα SE, απ' ό,τι στην περίπτωση καύσης «φυσικών» προϊόντων όπως το ξύλο, το μαλλί κι ο φελλός καθώς και στην περίπτωση καύσης των περισσότερων πλαστικών.

Τήξη και σταγονίδια

Όπως ειπώθηκε και προηγουμένως, το EPS πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο προστατευόμενο, σε ένα δωμάτιο που ενέχει κίνδυνο πυρκαγιάς. Στα θερμοκήπια, χρησιμοποιείται συχνά EPS καλυμμένο με λεπτό έλασμα αλουμινίου. Η προσκόλληση αυτών των πλακών θεωρείται υπεύθυνη για την πρόκληση ζεστών σταγονιδίων λιωμένης πολυστερίνης (Σε μερικές χώρες, όπως η Δανία, αυτή η εφαρμογή θεωρείται παράνομη. Εδώ, ο τύπος SE πρέπει να χρησιμοποιείται πάντα). Γι' αυτόν τον λόγο, οι σχετικοί παραγωγοί διευκρινίζουν τους κανονισμούς και τις συνθήκες χρήσης. Επιπρόσθετα, ένας ξεκάθαρος παράγοντας πρόκλησης πυρκαγιάς είναι ότι σε περίπτωση λάθους, ο εξοπλισμός, ο οποίος μπορεί να παράγει σπίθες ή φωτιά, πρέπει να διατηρείται σε μία ασφαλή απόσταση (συνεπώς ποτέ σε άμεση επαφή). Μόνο σε αυτή την περίπτωση ενισχύεται η ασφάλεια πυρός και η πιθανότητα να υπάρξουν σταγονίδια λιωμένου EPS μειώνεται σημαντικά σε κάθε περίπτωση όμως ελαχιστοποιείται η πιθανότητα να χαθεί η φυτική παραγωγή στα θερμοκήπια

Υπολείμματα πυρκαγιάς του EPS και απόρριψη – Καθαρισμός ενός κτιρίου μετά από πυρκαγιά.

Οι εκπομπές που αναδύονται και τα υπολείμματα που απομένουν όταν το EPS (με ή χωρίς επιβραδυντή πυρκαγιάς) καίγεται δεν αποτελούν κίνδυνο για το περιβάλλον³. Το νερό των πυροσβεστήρων, από την καύση του EPS και τα υπολείμματα της πυρκαγιάς μπορούν να εναποτεθούν, χωρίς καμία ειδική επεξεργασία, σε δημοτικές εγκαταστάσεις για αποχετεύσεις και στέρα απορρίμματα, αντίστοιχα.

Στις περισσότερες περιπτώσεις πυρκαγιών, εμπλέκονται πολλά είδη υλικών (κατασκευαστικά, διακοσμητικά κλπ). Μετά από μία πυρκαγιά με EPS, το κτίριο πρέπει να καθαριστεί ως ακολούθως:

1. Αφαιρέστε σκόνη και την κάπνα με ηλεκτρική σκούπα, με τη βοήθεια μηχανικής βούρτσας.
2. Πετάξτε χοντρή άμμο σε πορώδεις επιφάνειες, όπως το μπετόν.
3. Κάντε υγρό καθαρίσμα όταν οι δύο ανωτέρω διαδικασίες αποδειχθούν ανεπαρκείς, για παράδειγμα με αλκαλικά καθαριστικά. Τα υπολείμματα από το καθαρίσμα πρέπει να μαζεύονται και να αποτεφρώνονται. Η ελάχιστη προτεινόμενη θερμοκρασία για τον αποτεφρωτή είναι 850 °C. Η διαδικασία αποτεφρωσης είναι προτιμότερο να γίνεται από εξειδικευμένες εταιρίες.

Προστατευτικά καλύμματα

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το EPS, όπως τα περισσότερα πλαστικά, είναι εύφλεκτο. Βασικός κανόνας: το EPS δε πρέπει ποτέ να εγκαθίσταται «απροστάτευτο», αν κάποιος χώρος ενέχει κίνδυνο πυρκαγιάς. Όταν η μόνωση EPS έχει εγκατασταθεί από επαγγελματίες, θα πιάσει φωτιά σε ένα κτίριο, μόνο στην περίπτωση που τα υλικά γύρω από αυτό είναι ήδη καμένα ή έχουν καταρρεύσει. Αυτό σημαίνει πως το κτίριο, και ό,τι υπήρχε μέσα σε αυτό είχαν ήδη τυλιχτεί στις φλόγες πριν ακόμα φτάσει η πυρκαγιά στο EPS. Αν το EPS πιάσει φωτιά στην αρχή της πυρκαγιάς, θα συμβεί μόνο ως αποτέλεσμα αδιαφορίας, άγνοιας ή απροσεξίας. Μια περιοχή η οποία είναι συχνά υπό την απειλή πυρκαγιάς, είναι π.χ. η επίπεδη μονωμένη οροφή. Όμως έχει ήδη αποδειχθεί ότι με ένα καλό σχεδιασμό και προσεκτική εφαρμογή η οποία διασφαλίζει ότι όλα τα προληπτικά μέτρα έχουν ληφθεί, μία ασφαλής στη φωτιά οροφή με μόνωση EPS μπορεί να κατασκευασθεί χωρίς καμία δυσκολία.

Συνιστάται συνεπώς οι τοποθετημένες πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης να καλύπτονται πάντα από κάποιο προστατευτικό επικάλυμμα, κατάλληλα στερεωμένο ώστε να προληφθεί η κατάρρευση σε περίπτωση πυρκαγιάς. Προστασία της επιφάνειας της διογκωμένης πολυστερίνης με 9 mm γυψοσανίδα ή με σοβά το λιγότερο 10 mm έχει αποδειχθεί ότι παρέχει αντίσταση στην ανάφλεξη, αν το προστατευτικό κάλυμμα είναι μηχανικά υποστηριζόμενο. Ένα μη υποστηριζόμενο επικάλυμμα, εφαρμοσμένο κατευθείαν στα υλικά της διογκωμένης πολυστερίνης, με επαρκή μόνωση για να διατηρηθεί η εσωτερική θερμοκρασία κάτω από 100 °C για μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο, θα παράσχει προστασία, αρκεί να διασφαλιστεί η ακεραιότητα της επικάλυψης. Τα λεπτά τελειώματα, όπως η γύψινη τελική επίστρωση, το λεπτό αλουμίνιο, οι βαφές με επιβραδυντές πυρκαγιάς ή οι διογκωμένες επικαλύψεις που εφαρμόζονται κατευθείαν στα υλικά της διογκωμένης πολυστερίνης μπορούν να καθυστερήσουν την ανάφλεξη σε περιορισμένο βαθμό, αλλά αν το κεκαλυμμένο υλικό μαλακώσει υπό την επίδραση της θερμότητας, μπορεί να επέλθει διάτρηση και σταδιακή αποτυχία της επικάλυψης.

Γενικές προφυλάξεις για τη φύλαξη του EPS στο εργοτάξιο.

Όπως συζητήθηκε και νωρίτερα, υπό κάποιες συγκεκριμένες συνθήκες, τα υλικά της διογκωμένης πολυστερίνης μπορούν να αναφλεγούν αμέσως αν εκτεθούν σε γυμνή φλόγα. Θα πρέπει να γίνει η κατάλληλη πρόληψη για να αποφευχθεί η επαφή με τέτοιες πηγές ανάφλεξης όταν μεταχειριζόμαστε και όταν αποθηκεύουμε το υλικό πριν και μετά την τοποθέτηση. Οι τύποι των επιβραδυντών πυρκαγιάς είναι διαθέσιμοι για χρήση όπου χρειάζεται και πρέπει να ληφθούν υπόψη στις προϋποθέσεις εξάπλωσης της πυρκαγιάς. Σε ότι αφορά την παραγωγή σκόνης κατά τη διάρκεια παραγωγής και επεξεργασίας του EPS, π.χ. με μηχανική επεξεργασία του αφρού, οι ίδιες διαδικασίες ασφαλείας πρέπει να τηρηθούν όπως τηρούνται γενικώς και για τη σκόνη άλλων οργανικών υλικών.

Συμπεράσματα

Το EPS είναι εύφλεκτο, όπως και πολλά άλλα οικοδομικά υλικά. Όμως αυτό είναι σχετικό αν αξιολογήσουμε το EPS ως ένα εκτεθειμένο μονωτικό υλικό. Ευτυχώς, η φιλοσοφία της πυρασφάλειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση, έχει αναπτυχθεί βασιζόμενη με σκοπό την αξιολόγηση δομών ή προϊόντων σε «συνθήκες τελικής χρήσης». Συνεπώς, θα υπάρχουν προϋποθέσεις απόδοσης ως όροι σχετικά με το πλήρες οικοδομικό στοιχείο.

Συνιστάται να προστατεύεται πάντα η διογκωμένη πολυστερίνη από ένα υλικό επικάλυψης, ή με πλήρη εγκιβωτισμό. Λαμβάνοντας υπόψη αυτούς τους παράγοντες, μπορεί κανείς να συμπεράνει πως τα υλικά διογκωμένης πολυστερίνης δε παρουσιάζουν κάποιον αναίτιο κίνδυνο πυρκαγιάς ή δεν οδηγούν σε ένα αυξημένο κίνδυνο δημιουργίας πυκνού καπνού όταν εγκαθίστανται σωστά σε προτεινόμενες εφαρμογές.

Δώσαμε επίσης λεπτομερώς τη φύση και τα χαρακτηριστικά του EPS. Αποδείξαμε, σε ότι αφορά την τοξικότητα σε περίπτωση πυρκαγιάς ή καύσης, ότι αυτό το πλαστικό σκοράρει το ίδιο καλά ή και καλύτερα όσο και τα φυσικά προϊόντα, όπως το ξύλο, το λινάρι, η γιούτα, κτλ..

Περιληπτικά: Είναι δυνατόν να χτίσει κανείς και να διασφαλίσει την πυρασφάλεια χρησιμοποιώντας EPS!

Βιβλιογραφία/Αναφορές

1. 'Fire behaviour of expanded polystyrene (EPS) foam', 18.12.1992, APME Association of Plastics Manufacturers in Europe.
2. 'Forschungsbericht nr. 104-03-362, Untersuchung der möglichen Freisetzung von polybromierten Dibenzodioxinen und Dibenzofuranen beim Brand flammgeschützter Kunststoffe' april 1990, Umweltbundesamtes.
3. Hoechst, informatie aangaande HBCD, 19 mei 1992, met bijlage 'Sachstand polybromierte Dibenzodioxine (PBDD) polybromierte Dibenzofurane, februari 1989, Umweltbundesamt.
4. Eurobrom bv, informatie aangaande FR-1206 HBCD/milieuaspecten en bijlage Bromine Ltd. FR-1206, Hexabromocyclododecane HBCD, 4 juni 1992.
5. 'Levenswegbilanz von EPS-Dämmstoff', 1 September 1993, Interdisziplinäre Forschungsgemeinschaft Info – Kunststoff e.V., Berlin.
6. 'Heat release rates from samples of polymethylmethacrylate and polystyrene burning in normal air', Tewarson, A., Fire and Mat. 1976:90-96.
7. 'Flammability of Polymers and organic liquids, Part 1, Burning intensity' Tewarson, A., Factory Mutual Research Corp. February 1975. Serial No. 22429.
8. 'Stored Plastics test program', Dean, R.K., Factory Mutual Research Corp. June 1975. Serial No. 20269.
9. 'Fire tests on expanded polystyrene lined cavity walls for EPPMA.', Redland Research and Development Ltd., August 1974. Report No. 775-01.
10. 'Fire performance of combustible insulation in masonry cavity walls.' Rogowski, B. F. W., Fire Safety Journal, Vol 8, p. 119 – 134.
11. 'Investigating the contribution to fire growth of combustible materials used in building components', Rogowski, B. F. W., New Technology to Reduce Fire Losses and Costs (Grayson and Smith Ed). Elsevier Applied Science Publishers 1986.
12. 'Fire performance of building elements incorporating cellular polymers.' Rogowski, B. F. W., Cellular Polymers 4 (1985)325-338
13. Fire performance of external thermal insulation for walls of multi-storey buildings. Rogowski, B. W. F., Ramaprasad, R.. and Southern J. R., BRE Report 1988.
14. 'De giftigheid van de bij verbanding van polystyreenschuim vrijkomende gassen', juni 1980, ir. H. Zorgman, TNO Delft, Centrum voor Brandveiligheid.

