

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μελέτη
Θερμικής Συμπεριφοράς
Δομικών Υλικών
και Τοιχοποιίας
σε Θερμοκρασίες Φωτιάς**

**Σπουδαστής : Γεώργιος Σεμιτέλος
Επιβλέπουσα Καθηγήτρια : Μαρία Φούντη**

Νοέμβριος 2013



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μελέτη Θερμικής Συμπεριφοράς Δομικών Υλικών
και Τοιχοποιίας σε Θερμοκρασίες Φωτιάς**

Σπουδαστής :

Γεώργιος Σεμιτέλος

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Μαρία Φούντη

Νοέμβριος 2013

Μελέτη Θερμικής Συμπεριφοράς Δομικών Υλικών
και Τοιχοποιίας σε Θερμοκρασίες Φωτιάς

Σεμιτέλος Γεώργιος

Νοέμβριος 2013

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτρια κ. Μαρία Φούντη, καθηγήτρια Ε.Μ.Π., για την ανάθεση της συγκεκριμένης εργασίας, τη στήριξη και την καθοδήγηση της. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Δήμο Κοντογεώργο, διδάκτορα Ε.Μ.Π., και τον κ. Γιάννη Μανδηλαρά, υποψήφιο διδάκτορα Ε.Μ.Π., για την συμπαράσταση και τις πολύτιμες υποδείξεις και συμβουλές τους καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας μου, όπως επίσης και το προσωπικό του Εργαστηρίου Ετερογενών Μειγμάτων και Συστημάτων Καύσης για την βοήθεια τους στο στήσιμο των πειραμάτων.

Περίληψη

Στατιστικά στοιχεία έχουν δείξει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό θανατηφόρων πυρκαγιών εντοπίζεται στους εσωτερικούς χώρους. Το κάθε κράτος έχει θεσπίσει ορισμένους νόμους οι οποίοι αφορούν στην πρόληψη στοχεύοντας στην εξάλειψη του φαινομένου της εμφάνισης πυρκαγιών στους εσωτερικούς χώρους. Η θυσία τόσων αθώων θυμάτων στο βωμό θανατηφόρων πυρκαγιών επιβάλλει την μελέτη και τον εντοπισμό των κατάλληλων δομικών υλικών τα οποία μπορούν να αποβούν σωτήρια σε τέτοιες περιπτώσεις.

Στόχο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη και καταγραφή των υλικών αυτών που θα βοηθήσουν στην μη επέκταση της φωτιάς σε περίπτωση πυρκαγιάς σε ένα κτίριο. Αρχικά, αντικείμενο της εργασίας αυτής αποτελεί η μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς σε υψηλές συνθήκες θερμοκρασίας της γυψοσανίδας με υαλονήματα, της διογκωμένης πολυστερίνης, του πετροβάμβακα και του θερμοσοβά. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Διαφορική Θερμιδομετρία Σάρωσης (Differential Scanning Calorimetry, DSC). Έτσι, σε επίπεδο μικρό-κλίμακας (micro-scale), δηλαδή για δείγματα της τάξης των μερικών mg, έγινε γνωστή η θερμική συμπεριφορά των παραπάνω υλικών σε υψηλές θερμοκρασίες.

Ωστόσο, βαθύτερο και σημαντικότερο στόχο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελούσε εξαρχής η μελέτη συνδυασμού δομικών υλικών ως μέρος μιας τοιχοποιίας. Αφού λοιπόν βγήκε το πρώτο συμπέρασμα για τη συμπεριφορά των συγκεκριμένων υλικών σε συνθήκες φωτιάς, στη συνέχεια διεξήχθησαν πειράματα σε επίπεδο μεσαίας κλίμακας (meso-scale). Τα δοκίμια των υλικών που μελετώνται ήταν διαστάσεων 200mm x 150mm, ενώ το πάχος επιλέχθηκε κατά περίπτωση. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε εργαστηριακό φούρνο. Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη σειρά πειραμάτων τοποθετήθηκαν στην είσοδο του φούρνου ώστε από την μία πλευρά των δοκιμίων να υπάρχουν συνθήκες περιβάλλοντος και από την άλλη να επικρατεί θερμοκρασία της τάξης των 900 °C. Πραγματοποιήθηκαν δύο πειράματα. Το πρώτο πείραμα συμπεριλάμβανε δύο δοκίμια γυψοσανίδας. Η διεξαγωγή του πειράματος αυτού οδήγησε στην περαιτέρω κατανόηση της θερμικής συμπεριφοράς της γυψοσανίδας ως μέρος μιας τοιχοποιίας. Στη συνέχεια, σχεδιάσθηκε και πραγματοποιήθηκε ένα πιο περίπλοκο πείραμα, στόχος του οποίου ήταν η καταγραφή της θερμομονωτικής ικανότητας ενός συνδυασμού δομικών και μονωτικών υλικών. Συγκεκριμένα, τα υλικά που συμπεριλήφθηκαν στο πείραμα αυτό ήταν τα εξής: i) γυψοσανίδα με υλικά αλλαγής φάσης, ii) πετροβάμβακας, iii) γυψοσανίδα με υαλονήματα, iv) διογκωμένη πολυστερίνη και v) θερμοσοβάς. Τα στοιχεία που προέκυψαν από το παραπάνω πείραμα είναι πολύ σημαντικά επειδή οδηγούν σε συμπεράσματα που αφορούν τη θερμική συμπεριφορά τόσο του συνολικού δοκιμίου όσο και του κάθε υλικού

ξεχωριστά που το απαρτίζει. Αυτό έγινε εφικτό από τη στιγμή που σε κάθε μια διατομή μεταξύ των υλικών τοποθετήθηκαν θερμοστοιχεία τα οποία κατέγραφαν τη θερμοκρασία σε κάθε θέση δίνοντας βασικές πληροφορίες για την θερμική συμπεριφορά του κάθε υλικού σε υψηλές θερμοκρασίες.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν, από την μελέτη των παραπάνω υλικών και την καταγραφή της θερμικής τους συμπεριφοράς στα πειράματα τα οποία διεξήχθησαν, μαρτυρούν την πορεία της εν λόγω έρευνας και αποτελούν ερεθίσματα για περαιτέρω μελέτη.

Abstract

Statistical elements have shown that the bigger percentage of lethal fires is located in the internal spaces. Each state has established certain laws which concern the prevention of fires in the internal spaces, aiming in the obliteration of fire phenomena. The sacrifice of so much innocent victims in the altar of lethal fires imposes the study and the tracking of suitable structural materials which can turn out redeeming in such cases.

The objective of this thesis constitutes the study and recording of the materials that can prevent the extension of a fire inside a building. The initial target of this work was the study of the thermal behavior of several structural materials, such as glass-fiber gypsum board, expanded polystyrene, mineral wool and thermal render under high temperatures conditions. For that reason, the well known Differential Scanning Calorimetry (DSC) method was used. Hence, studying these materials at a micro-scale level, i.e. samples of order of mg, its thermal behavior under high temperatures conditions became known.

However, the deeper and more important objective of this thesis constituted the study of the thermal behavior of a combination of structural materials as part of configuration. After concluding on the thermal behavior of the examined materials at the micro-scale level experiments at the meso-scale level were carried. The dimensions of the examined materials were 200mm x 150 mm. The experiments were performed by the utilization of a laboratorial oven. The specimens that were used in the particular line of experiments were placed in the entry of the oven so that the one side of the configuration to be unexposed (environmental temperature) and the other to be exposed to high temperatures, up to ca. Two experiments were performed. The first experiment included two gypsum board specimens. The result of this experiment led to the further understanding of thermal behavior of the gypsum board as part of a configuration. Afterwards, it was designed and performed a more complicated experiment, targeting on the thermal insulating capability of a combination of structural and insulating materials. Concretely, the materials that were included in this experiment were: i) gypsum board with phase change materials, ii) mineral wool, iii) glass fiber gypsum board, iv) expanded polystyrene and v) thermal render. The results of the above experiment were very important because they lead to very interesting conclusions concerning the thermal behavior of the total configuration, as well as of each material separately.

This became feasible due to the fact that in every cross-section between the materials several thermocouples were positioned which recorded the temperature providing the thermal behavior of each material under high temperatures conditions.

The concluding remark, provided from the study of the above materials and their thermal behavior, testify the course of research in question and stimulates for further study.

Πίνακας περιεχομένων :

Κεφάλαιο 1	1
1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Θερμομόνωση και θερμομονωτικά υλικά.....	3
1.1.1 Η έννοια της θερμότητας.....	3
1.1.2 Αντικείμενο και σημασία της θερμομόνωσης.....	4
1.1.3 Λειτουργία θερμομόνωσης	6
1.1.4 Βασικές έννοιες θερμομόνωσης.....	7
1.1.5 Βασικές αρχές θερμομόνωσης	8
1.1.6 Ο ρόλος των θερμομονωτικών υλικών.....	9
1.1.7 Θερμομόνωση δομικών στοιχείων.....	10
1.1.8 Στοιχεία κτιρίων ευάλωτα στη θερμοδιαφυγή	11
1.2 Φωτιές σε κτίρια	12
1.3 Νομοθεσία Πυροπροστασίας	13
1.4 Πυροπροστασία	15
1.4.1 Ενεργητική πυροπροστασία	15
1.4.2 Παθητική πυροπροστασία.....	16
Κεφάλαιο 2	19
2. Θερμική συμπεριφορά δομικών υλικών και κτιριακών κελύφων	19
2.1 Ιδιότητες δομικών υλικών	19
2.2.1 Χαρακτηριστικές ιδιότητες δομικών υλικών	20
2.3 Κριτήρια επιλογής δομικών υλικών βάσει προτύπων	21
2.4 Δομικά υλικά.....	22
2.4.1 Γυψοσανίδα	22

2.4.1.1 Συμπεριφορά γυψοσανίδας έναντι πυρκαγιάς.....	23
2.4.2 Μονωτικά Υλικά.....	25
2.4.2.1 Διογκωμένη Πολυστερίνη.....	25
2.6.2.2 Συμπεριφορά διογκωμένης πολυστερίνης σε υψηλές θερμοκρασίες	28
2.4.2.3 Θερμοσοβάς	28
2.4.2.4 Συμπεριφορά θερμοσοβά σε υψηλές θερμοκρασίες.....	29
2.4.2.5 Πολυουρεθάνη	29
2.4.2.6 Ινώδη μονωτικά υλικά	31
2.4.2.6.1 Πετροβάμβακας.....	32
2.4.3 Υλικά αλλαγής φάσης	36
2.5 Μελέτη θερμικής συμπεριφοράς δομικών υλικών και στοιχείων.....	38
2.5.1 Μικρο-κλίμακα	38
2.5.1.1 Αρχές θερμικής ανάλυσης και θερμοδομετρίας	38
2.5.1.2 Διαφορική Θερμιδομετρία Σάρωσης	38
2.5.1.3 Συσκευή θερμικής ανάλυσης και θερμοδομετρίας	39
2.5.1.4 Βασικές προϋποθέσεις για την διεξαγωγή των πειραματικών μετρήσεων	40
2.5.1.5 Μέτρηση θερμοχωρητικότητας.....	40
2.5.2 Μεσο-κλίμακα	41
2.5.3 Μακρο-κλίμακα	42
Κεφάλαιο 3	43
3. Περιγραφή πειραματικών διατάξεων και μεθοδολογία	43
3.1 Διαφορική Θερμιδομετρία Σάρωσης	43
3.1.1 Μελέτη Γυψοσανίδας.....	44
3.1.2 Μελέτη διογκωμένης πολυστερίνης (EPS).....	46
3.1.3 Μελέτη Πετροβάμβακα (Mineral Wool)	48

3.1.4 Μελέτη Θερμοσοβά.....	49
3.2 Πείραμα Μεσαίας Κλίμακας.....	50
3.2.1 Πείραμα Γυψοσανίδας	62
3.2.2 Πείραμα Πολυστρωματικής Τοιχοποιίας	64
Κεφάλαιο 4	72
4. Αποτελέσματα Πειραμάτων	72
4.1 Μετρήσεις DSC.....	72
4.1.1 Γυψοσανίδα	72
4.1.2 Διογκωμένη Πολυστερίνη.....	82
4.1.3 Θερμοσοβάς	84
4.2 Πειράματα Μεσαίας Κλίμακας.....	88
4.2.1 Πείραμα Γυψοσανίδας	88
4.2.2 Πείραμα συνδυασμού δομικών υλικών	95
Κεφάλαιο 5	111
5. Συμπεράσματα	111

Κατάλογος Εικόνων :

Κεφάλαιο 1.....	1
Εικόνα 1.1 Ποσοστό θανάτων (2004-2012).....	13
Εικόνα 1.2 Αυτόματο σύστημα ψεκασμού σταγονιδίων	16
Εικόνα 1.3 Χειροκίνητος φορητός πυροσβεστήρας	16
Κεφάλαιο 2.....	19
Εικόνα 2.1 Φύλλο γυψοσανίδας.....	22
Εικόνα 2.2 Διογκωμένη πολυστερίνη	25
Εικόνα 2.3 Σύσταση διογκωμένης πολυστερίνης (EPS).....	25
Εικόνα 2.4 Θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας με διογκωμένη πολυστερίνη	27
Εικόνα 2.5 Θερμομόνωση στοιχείων απο σκυρόδεμα με διογκωμένη πολυστερίνη	28
Εικόνα 2.6 Εφαρμογή θερμοσοβά με τη χρήση ψεκαστικού.....	29
Εικόνα 2.7 Πολυουρεθάνη	30
Εικόνα 2.8 Πετροβάμβακας (Mineral Wool)	32
Εικόνα 2.9 Αρχικό στρώμα πετροβάμβακα	33
Εικόνα 2.10 Τεμαχισμός πλακών πετροβάμβακα στις απαιτούμενες διαστάσεις.....	33
Εικόνα 2.11 Εφαρμογή στρώματος πετροβάμβακα σε στέγη	35
Εικόνα 2.12 Εφαρμογή στρώματος πετροβάμβακα σε οροφή.....	36
Εικόνα 2.13 Εφαρμογή πετροβάμβακα σε σωλήνωση	37
Εικόνα 2.14 Κατηγοριοποίηση των υλικών αλλαγής φάσης [Sharma et al., 2009]	38
Εικόνα 2.15 Σκαρίφημα της συσκευής θερμικής ανάλυσης ή θερμιδομετρίας	40
Εικόνα 2.16 Διάταξη δομικών υλικών σε επίπεδο μεσο-κλίμακας.....	42
Κεφάλαιο 3.....	43
Εικόνα 3.1 Όργανο Διαφορικής Θερμιδομετρίας Σάρωσης METTLER TOLEDO.....	44

Εικόνα 3.2 Βάση τοποθέτησης δοχείων στο πειραματικό όργανο (DSC) METTLER TOLEDO	44
Εικόνα 3.3 Ζυγαριά τύπου AB265-S/FACT της εταιρείας METTLER TOLEDO.....	45
Εικόνα 3.4 Φούρνος MJ33 της εταιρείας METTLER TOLEDO	46
Εικόνα 3.5 Χειροκίνητη πρέσα της εταιρείας Pellet Press	47
Εικόνα 3.6 Πειραματικός φούρνος B180 της εταιρείας Nabertherm	49
Εικόνα 3.7 Είσοδος φούρνου χωρίς πόρτα	49
Εικόνα 3.8 Θέσεις θερμοστοιχείων στην επιφάνεια του πλαισίου (1 ^η Δοκιμή).....	50
Εικόνα 3.9 Στερέωση πλαισίου και θερμοστοιχείων στην είσοδο του φούρνου	51
Εικόνα 3.10 Θερμοκάμερα τύπου FLIR THERMACAM PM595	52
Εικόνα 3.11 : α) Διόγκωση Κόλλας , β) Ρωγμές πλαισίου	52
Εικόνα 3.12 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας στην αρχή της μέτρησης	53
Εικόνα 3.13 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 15 λεπτά.....	53
Εικόνα 3.14 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 30 λεπτά.....	53
Εικόνα 3.15 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 45 λεπτά.....	54
Εικόνα 3.16 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 60 λεπτά.....	54
Εικόνα 3.17 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 85 λεπτά.....	54
Εικόνα 3.18 Διάγραμμα θερμοκρασιών στην εσωτερική επιφάνεια του φούρνου ...	55
Εικόνα 3.19 : α) Επένδυση πλακιδίων με κόκκινη σιλικόνη , β) Επένδυση πλαισίου με αφρώδη σιλικόνη.....	56
Εικόνα 3.20 Συνδεσμολογία – Διάταξη φούρνου.....	57
Εικόνα 3.21 Διάγραμμα θερμοκρασιών στην εσωτερική επιφάνεια του φούρνου ...	57
Εικόνα 3.22 Θέσεις θερμοστοιχείων στην επιφάνεια του πλαισίου(2 ^η Δοκιμή).....	58
Εικόνα 3.23 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας στην αρχή της μέτρησης	58
Εικόνα 3.24 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 15 λεπτά.....	58
Εικόνα 3.25 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 30 λεπτά.....	59
Εικόνα 3.26 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 45 λεπτά.....	59

Εικόνα 3.27 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 60 λεπτά.....	59
Εικόνα 3.28 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 75 λεπτά.....	60
Εικόνα 3.29 Δοκίμια Γυψοσανίδας.....	61
Εικόνα 3.30 Θέσεις θερμοστοιχείων στο πείραμα της γυψοσανίδας	62
Εικόνα 3.31 Οπή πλαισίου για εφαρμογή δοκιμίου	62
Εικόνα 3.32 Πλευρική μόνωση δοκιμίου με χρήση κεραμοκουβέρτας και κεραμικής πάστας	63
Εικόνα 3.33 Συνδεσμολογία θερμοστοιχείων στο πείραμα γυψοσανίδας	63
Εικόνα 3.34 Διάταξη δομικών υλικών στο πείραμα μεσαίας κλίμακας.....	64
Εικόνα 3.35 Καινούργιο πλαίσιο φούρνου	64
Εικόνα 3.36 α) Εσωτερική πλευρά comfortboard, β) Εξωτερική πλευρά comfortboard	65
Εικόνα 3.37 α) Εσωτερική πλευρά γυψοσανίδας με υαλονήματα, β) Εξωτερική πλευρά γυψοσανίδας με υαλονήματα.....	65
Εικόνα 3.38 Εξωτερική πλευρά διογκωμένης πολυστερίνης.....	66
Εικόνα 3.39 Θέσεις θερμοστοιχείων στο πείραμα πολυστρωματικής τοιχοποιίας ...	66
Εικόνα 3.40 Τοποθέτηση comfortboard στο κέντρο του πλαισίου	67
Εικόνα 3.41 Τοποθέτηση πετροβάμβακα στο κέντρο του πλαισίου	67
Εικόνα 3.42 Τοποθέτηση γυψοσανίδας με υαλονήματα στο κέντρο του πλαισίου ..	68
Εικόνα 3.43 Τοποθέτηση διογκωμένης πολυστερίνης στο κέντρο του πλαισίου	68
Εικόνα 3.44 Εφαρμογή θερμοσοβά με τη χρήση σπάτουλας.....	68
Εικόνα 3.45 Τοποθέτηση θερμοστοιχείων στην εξωτερική επιφάνεια του θερμοσοβά	69
Εικόνα 3.46 Τοποθέτηση πλαισίου στο φούρνο	69
Κεφάλαιο 4.....	72
Εικόνα 4.1 Διάγραμμα γυψοσανίδας τύπου GKF σε κλειστό δοχείο με τρύπα.....	74
Εικόνα 4.2 Διάγραμμα γυψοσανίδας τύπου GKF σε ανοιχτό δοχείο	74

Εικόνα 4.3 1 ^ο Στάδιο αφυδάτωσης στην γυψοσανίδα σε κλειστό δοχείο	78
Εικόνα 4.4 2 ^ο Στάδιο αφυδάτωσης στην γυψοσανίδα σε κλειστό δοχείο	78
Εικόνα 4.5 Αντίδραση αλλαγής κρυσταλλικής δομής γυψοσανίδας σε κλειστό δοχείο	79
Εικόνα 4.6 1 ^ο Στάδιο αφυδάτωσης στην γυψοσανίδα σε ανοιχτό δοχείο.....	79
Εικόνα 4.7 2 ^ο Στάδιο αφυδάτωσης στην γυψοσανίδα σε ανοιχτό δοχείο.....	80
Εικόνα 4.8 Αντίδραση αλλαγής κρυσταλλικής δομής γυψοσανίδας σε ανοιχτό δοχείο	80
Εικόνα 4.9 Διάγραμμα διογκωμένης πολυστερίνης (EPS) σε κλειστό δοχείο	82
Εικόνα 4.10 Αντίδραση στο υλικό της διογκωμένης πολυστερίνης.....	84
Εικόνα 4.11 Αντίδραση στο υλικό του θερμοσοβά	85
Εικόνα 4.12 Αφυδάτωση θερμοσοβά.....	87
Εικόνα 4.13 1 ^ο Στάδιο οξείδωσης διογκωμένης πολυστερίνης στο θερμοσοβά	88
Εικόνα 4.14 2 ^ο Στάδιο οξείδωσης διογκωμένης πολυστερίνης στο θερμοσοβά	89
Εικόνα 4.15 Εξωτερική πλευρά δοκιμίου (Όψη Α).....	90
Εικόνα 4.16 Ενδιάμεση διατομή δοκιμίου (Όψη Β)	90
Εικόνα 4.17 Εσωτερική πλευρά δοκιμίου (Όψη Γ).....	90
Εικόνα 4.18 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας στην αρχή της μέτρησης	91
Εικόνα 4.19 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 15 λεπτά.....	91
Εικόνα 4.20 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 30 λεπτά.....	92
Εικόνα 4.21 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 45 λεπτά.....	92
Εικόνα 4.22 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 60 λεπτά.....	93
Εικόνα 4.23 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 75 λεπτά.....	93
Εικόνα 4.24 Θέσεις θερμοστοιχείων στο πείραμα της γυψοσανίδας	94
Εικόνα 4.25 Διάγραμμα Θερμοκρασιών στην εσωτερική πλευρά του δοκιμίου της γυψοσανίδας	94

Εικόνα 4.26 Διάγραμμα Θερμοκρασιών στην ενδιάμεση πλευρά του δοκιμίου της γυψοσανίδας	95
Εικόνα 4.27 Διάγραμμα Θερμοκρασιών στην εξωτερική πλευρά του δοκιμίου της γυψοσανίδας	96
Εικόνα 4.28 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας στην αρχή της μέτρησης	97
Εικόνα 4.29 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 15 λεπτά.....	97
Εικόνα 4.30 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 30 λεπτά.....	98
Εικόνα 4.31 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 45 λεπτά.....	98
Εικόνα 4.32 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 60 λεπτά.....	98
Εικόνα 4.33 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 75 λεπτά.....	99
Εικόνα 4.34 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 90 λεπτά.....	99
Εικόνα 4.35 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 105 λεπτά.....	100
Εικόνα 4.36 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 120 λεπτά.....	100
Εικόνα 4.37 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 130 λεπτά.....	100
Εικόνα 4.38 Εξωτερική επιφάνεια θερμοσοβά ανά 3 λεπτά από τη στιγμή που εμφανίστηκε η πρώτη ρωγμή.....	102
Εικόνα 4.39 Διάγραμμα θερμοκρασίας στην εσωτερική πλευρά του comfortboard	103
Εικόνα 4.40 Θέσεις θερμοστοιχείων στην εσωτερική πλευρά του comfortboard ...	103
Εικόνα 4.41 Διάγραμμα θερμοκρασίας στην εξωτερική πλευρά του comfortboard	104
Εικόνα 4.42 Θέσεις θερμοστοιχείων στην εξωτερική πλευρά του comfortboard....	104
Εικόνα 4.43 Διάγραμμα θερμοκρασίας στην εσωτερική πλευρά της γυψοσανίδας με υαλονήματα.....	105
Εικόνα 4.44 Θέσεις θερμοστοιχείων στην εσωτερική πλευρά της γυψοσανίδας με υαλονήματα.....	105
Εικόνα 4.45 Διάγραμμα θερμοκρασίας στην εξωτερική πλευρά της γυψοσανίδας με υαλονήματα.....	106

Εικόνα 4.46 Θέσεις θερμοστοιχείων στην εξωτερική πλευρά της γυψοσανίδας με υαλονήματα.....	106
Εικόνα 4.47 Διάγραμμα θερμοκρασίας στην εξωτερική πλευρά της διογκωμένης πολυστερίνης.....	106
Εικόνα 4.48 Θέσεις θερμοστοιχείων στην εξωτερική πλευρά της διογκωμένης πολυστερίνης.....	106
Εικόνα 4.49 Διάγραμμα θερμοκρασίας στην εξωτερική πλευρά του θερμοσοβά...	107
Εικόνα 4.50 Θέσεις θερμοστοιχείων στην εξωτερική πλευρά του θερμοσοβά	107
Εικόνα 4.51 Μέτρηση υλικού θερμοσοβά σε αέρα και άζωτο	107
Εικόνα 4.52 Θερμοσοβάς κατά την εξαγωγή των δοκιμίων από το πλαίσιο του φούρνου.....	107
Εικόνα 4.53 Εξωτερική πλευρά γυψοσανίδας με υαλονήματα κατά την εξαγωγή των δοκιμίων από το πλαίσιο του φούρνου.....	108
Εικόνα 4.54 Εσωτερική πλευρά γυψοσανίδας με υαλονήματα κατά την εξαγωγή των δοκιμίων από το πλαίσιο του φούρνου.....	108
Εικόνα 4.55 Πετροβάμβακας κατά την εξαγωγή των δοκιμίων από το πλαίσιο του φούρνου.....	109
Εικόνα 4.56 Γυψοσανίδα με υλικά αλλαγής φάσης κατά την εξαγωγή των δοκιμίων από το πλαίσιο του φούρνου.....	109
Κεφάλαιο 5.....	111

Κατάλογος Πινάκων :

Κεφάλαιο 1.....	1
Πίνακας 1.1 Χώρος εκδήλωσης θανατηφόρων πυρκαγιών στην Αττική (2004-2012)	12
Κεφάλαιο 2.....	19
Κεφάλαιο 3.....	43
Πίνακας 3.1 Αρχικές μάζες δειγμάτων γυψοσανίδας σε περιβάλλον αζώτου	45
Πίνακας 3.2 Αρχικές μάζες δειγμάτων διογκωμένης πολυστερίνης σε περιβάλλον αζώτου	46
Πίνακας 3.3 Θερμοκρασίες έναρξης και λήξης στα πειράματα μέτρησης θερμοχωρητικότητας πετροβάμβακα	47
Πίνακας 3.4 Αρχικές μάζες δειγμάτων θερμοσοβά σε περιβάλλον αζώτου	48
Πίνακας 3.5 Τύπος θερμοστοιχείων σε κάθε θέση	50
Κεφάλαιο 4.....	72
Πίνακας 4.1 Τελικές μάζες δειγμάτων γυψοσανίδας σε περιβάλλον αζώτου.....	73
Πίνακας 4.2 Απώλεια μάζας και ενέργειας αφυδάτωσης στην γυψοσανίδα σε κλειστό δοχείο	75
Πίνακας 4.3 Απώλεια μάζας και ενέργειας αφυδάτωσης στην γυψοσανίδα σε ανοιχτό δοχείο	75
Πίνακας 4.4 Ενέργεια αντίδρασης αλλαγής κρυσταλλικής δομής στην γυψοσανίδα σε κλειστό δοχείο	75
Πίνακας 4.5 Ενέργεια αντίδρασης αλλαγής κρυσταλλικής δομής στην γυψοσανίδα σε ανοιχτό δοχείο	76
Πίνακας 4.6 Εξίσωση λογαριθμικής καμπύλης για τα onset, endset και peak της κάθε αντίδρασης της γυψοσανίδας στο κλειστό δοχείο	77
Πίνακας 4.7 Εξίσωση λογαριθμικής καμπύλης για τα onset, endset και peak της κάθε αντίδρασης της γυψοσανίδας στο ανοιχτό δοχείο	77
Πίνακας 4.8 Χαρακτηριστικές θερμοκρασίες αντιδράσεων γυψοσανίδας και διαφορές των μέσων τιμών τους σε κλειστό και ανοιχτό δοχείο	81

Πίνακας 4.9 Απώλεια ενέργειας στην διογκωμένη πολυστερίνη	83
Πίνακας 4.10 Εξίσωση λογαριθμικής καμπύλης για τα onset, endset και peak της κάθε αντίδρασης στην διογκωμένη πολυστερίνη.....	83
Πίνακας 4.11 Τελικές μάζες δειγμάτων θερμοσοβά σε περιβάλλον αζώτου	85
Πίνακας 4.12 Απώλεια μάζας και ενέργειας αφυδάτωσης στο θερμοσοβά	86
Πίνακας 4.13 Ενέργεια των δυο σταδίων αντίδρασης της οξείδωσης της διογκωμένης πολυστερίνης στο εσωτερικό του θερμοσοβά	86
Πίνακας 4.14 Εξίσωση λογαριθμικής καμπύλης για τα onset, endset και peak της κάθε αντίδρασης στο θερμοσοβά στο κλειστό δοχείο	87
Κεφάλαιο 5.....	111

Κεφάλαιο 1

1. Εισαγωγή

Ο Προμηθέας, σύμφωνα με τη μυθολογία σε μία κρίσιμη για την ανθρωπότητα στιγμή, έκλεψε τη φωτιά από τον Ήφαιστο και τη χάρισε στον άνθρωπο. Με την πρωτοβουλία του αυτή και την αποφασιστική του παρέμβαση έσωσε το ανθρώπινο γένος από τον κίνδυνο του αφανισμού. Στη συνέχεια βέβαια τιμωρήθηκε για αυτή του την πράξη αλλά από τότε ο άνθρωπος έγινε μέτοχος της θεϊκής φύσης.

Οι αρχαίοι πίστευαν ότι η φωτιά αποτελούσε ένα δυναμογόνο φυσικό στοιχείο και με την έννοια αυτή αναφέρεται στη φιλοσοφία του Ηράκλειτου (αείζων πυρ). Επειδή το στοιχείο αυτό της φύσης έχει τόσο μεγάλη μεταμορφωτική δύναμη, θεωρήθηκε ότι αποτελούσε αποκλειστικό κτήμα των θεών, στοιχείο δηλαδή της θεϊκής ουσίας και ένα από τα μυστικά της δύναμής τους.

Η απόκτηση της φωτιάς, επομένως, κατέστησε τον άνθρωπο <<συγγενή του θείου>>. Με την κατοχή της ο άνθρωπος πίστεψε σε θεούς, έγινε μέτοχος της θεϊκής ουσίας και δύναμης, ένας μικρός δημιουργός-θεός.

Το δώρο της φωτιάς του Προμηθέα έδωσε στον άνθρωπο τη δυνατότητα όχι μόνο να επιβιώσει αλλά και να ανέβει πρώτος στην ιεραρχία των όντων, να διαφοροποιηθεί από αυτά, να εξελιχθεί και να δημιουργήσει πολιτισμό. Χάρη στη φωτιά, ο άνθρωπος, παρ' όλη την αρχική του ανεπάρκεια, κατόρθωσε να κάνει τα αναγκαία μεγάλα βήματα για την πρόοδο:

- Φωτίσθηκε ο νους και η σκέψη του
- Δημιούργησε τους πρώτους θεμελιώδεις θεσμούς (θρησκεία, γλώσσα, επικοινωνία)
- Απέκτησε συνείδηση του κόσμου που τον περιέβαλλε
- Έφτιαξε κατοικίες και ξέφυγε από τις υπόγειες σπηλιές

- Ανακάλυψε τρόπους για να βελτιώσει τη ζωή του (ενδυμασία, υποδήματα , τροφές)
- Έμαθε την τέχνη της επεξεργασίας του ξύλου
- Αξιοποίησε τα χρήσιμα για αυτόν μέταλλα όπως ο χαλκός και ο σίδηρος και τα πολύτιμα όπως ο χρυσός και το ασήμι
- Ανέπτυξε τη μεταλλουργία και τις άλλες τέχνες

Είναι φανερό πως ο κατάλογος των προσφορών της φωτιάς είναι πολύ πιο εκτενής και αναλυτικός από τα στοιχεία που αναφέρονται στο σχετικό μύθο του Προμηθέα. Η ουσία όμως παραμένει ίδια. Η φωτιά θεωρήθηκε και θεωρείται ως βασική υποδομή και κινητήρια δύναμη της προόδου του ανθρώπινου πολιτισμού.

Μια ματιά αρκεί να ρίξει κανείς στα σύγχρονα επιτεύγματα της τεχνολογίας, απόρροια της ανακάλυψης της φωτιάς, για να επιβεβαιώσει την παραπάνω άποψη. Η τεχνολογία που έχει στη διάθεση του ο σύγχρονος άνθρωπος έχει φτάσει σε υψηλότερα επίπεδα και έχει κάνει τη ζωή πολύ πιο απλή και άνετη. Τα επιτεύγματα της τεχνικής εφαρμόζονται σε καθημερινή βάση μετατρέποντας επίπονες εργασίες σε ξεκούραστη απασχόληση. Οι εξυπηρετήσεις που προσφέρουν οι πάσης φύσεως συσκευές και τεχνολογικές εφαρμογές είναι απεριόριστες.

Παράλληλα η χρησιμοποίηση μηχανών στη βιομηχανία οδήγησε στη βελτίωση των τρόπων παραγωγής αγαθών μειώνοντας ταυτόχρονα σε μεγάλο βαθμό το χρόνο και τον κόπο στην εργασία με αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγικότητας, τη βελτίωση της ποιότητας και κατ' επέκταση τη γενικότερη οικονομική ανάπτυξη.

Η μεγάλη δύναμη λοιπόν της φωτιάς είναι μια πραγματικότητα. Οι ωφέλειες που μπορεί να προκύψουν από τη χρήση της είναι επίσης μια πραγματικότητα. Πραγματικότητα ωστόσο αποτελεί και η καταστροφική της δύναμη αν δεν προσέξει ο άνθρωπος. Οι μεγάλες πυρκαγιές που σημάδεψαν και συνεχίζουν να σημαδεύουν την ανθρωπότητα τα τελευταία χρόνια είναι μάρτυρες της καταστροφικής μανίας της φωτιάς.

Με μια διεισδυτική ματιά στη σύγχρονη πραγματικότητα μπορεί εύκολα να γίνει αντιληπτό το μέγεθος και η έκταση του προβλήματος. Μια πυρκαγιά συνεπάγεται οικολογική καταστροφή, διατάραξη της οικολογικής και περιβαλλοντικής ισορροπίας, εξάντληση των φυσικών πόρων, αλλαγή των κλιματολογικών συνθηκών. Μια πυρκαγιά μεταβάλλει τη χλωρίδα μιας περιοχής με άμεσο αποτέλεσμα την αλλαγή και της πανίδας αφού η κάλυψη και η τροφή των ζώων είναι άμεση συνάρτηση της βλάστησης. Μια πυρκαγιά μπορεί τέλος να κοστίζει τη ζωή χιλιάδων ανθρώπων και εμβίων όντων στον πλανήτη.

Οι συνέπειες που ενδέχεται να προκύψουν από μια ανεξέλεγκτη εκδήλωση πυρκαγιάς εντοπίζονται τόσο σε κοινωνικό όσο και σε οικονομικό επίπεδο. Συγκεκριμένα το πλέον οδυνηρό αποτέλεσμα μιας πυρκαγιάς είναι ο τραγικός απολογισμός σε αθώα θύματα. Σε δεύτερη μοίρα αλλά όχι μη υπολογίσιμη έρχονται οι οδυνηρές συνέπειες για την οικονομία μιας χώρας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το γεγονός ότι το συνολικό κόστος των πυρκαγιών των προηγμένων κρατών κυμαίνεται περίπου στο 1% του Ακαθάριστου Εθνικού Προϊόντος (ΑΕΠ) [Founti & Cox, 2000, Παπαϊωάννου, 2006, Quintiere, 2006]. Το κόστος μιας πυρκαγιάς αφορά και στις απώλειες που θα προκύψουν εξαιτίας της πυρκαγιάς και τις δαπάνες για την αποκατάσταση των απωλειών αυτών. Οι δαπάνες αυτές αφορούν πρώτα-πρώτα στο κόστος της αποζημίωσης των θυμάτων. Ακολουθεί η δαπάνη για την αποκατάσταση υλικών ζημιών και φυσικών πόρων. Τέλος, σημαντικό κομμάτι αποτελούν και οι δημόσιες δαπάνες για την πυροσβεστική υπηρεσία και τα μέσα πυροπροστασίας.

Η καταστροφή λοιπόν του περιβάλλοντος η οποία οφείλεται βέβαια και σε άλλους παράγοντες αλλά και στις πυρκαγιές που κατά καιρούς εκδηλώνονται αποτελεί μείζον πρόβλημα των σημερινών κοινωνιών και τις επηρεάζει με διάφορους τρόπους. Δεδομένου ότι επηρεάζει τις ανθρώπινες ζωές δημιουργεί πρόβλημα στην υγεία. Δεδομένου ότι επηρεάζει την ιδιοκτησία και τον πλούτο δημιουργεί πρόβλημα στην οικονομία. Δεδομένου ότι επηρεάζει τους ζώντες οργανισμούς δημιουργεί πρόβλημα στην ισορροπία της φύσης. Δεδομένου ότι επηρεάζει της αισθήσεις δημιουργεί πρόβλημα στην αισθητική.

1.1 Θερμομόνωση και θερμομονωτικά υλικά

1.1.1 Η έννοια της θερμότητας

Η θερμότητα είναι παρούσα σε κάθε μεταβολή και έκφραση της ζωής :

- Θερμότητα στην καθημερινότητα είναι η ενέργεια που εκπέμπει ο ήλιος, αυτή που εξασφαλίζει τη ζωή στη γη.
- Είναι, επίσης, η μεταβολή της θερμικής ενέργειας στο ανθρώπινο σώμα, αυτή που ευθύνεται για την αίσθηση της ζέστης ή του κρύου.
- Η θερμότητα σχετίζεται άμεσα με το λιώσιμο των πάγων
- Τα σώματα, άλλα περισσότερο και άλλα λιγότερο, αυξάνουν τον όγκο τους όταν θερμαίνονται και αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε πολλές εφαρμογές τους.

Θερμότητα τώρα στη φυσική είναι η μορφή ενέργειας η οποία μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο εξαιτίας της διαφοράς της θερμοκρασίας τους. Σύμφωνα με τον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής, η θερμότητα μεταφέρεται από τα θερμότερα σώματα, δηλαδή σώματα που χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη κινητική ενέργεια των μορίων τους, προς ψυχρότερα, δηλαδή σώματα με μικρή κινητική ενέργεια των μορίων τους, μέχρι τη στιγμή που θα αποκτήσουν την ίδια θερμοκρασία, ενώ μερικώς μόνο μπορεί να μετατραπεί σε έργο μέσω μιας θερμικής μηχανής.

Στα υγρά και στα αέρια η θερμότητα διαδίδεται με μεταφορά. Κατά την μεταφορά αυτή, ποσότητες υγρού ή αερίου θερμαίνονται και μεταφέρονται σε ψυχρότερη περιοχή όπου και προκαλούν τη θέρμανση της. Μπορεί να υπάρξει διάδοση μεταξύ στερεού και υγρού ή αερίου σώματος.

Η θερμότητα, λοιπόν, δεν διατηρείται εύκολα σ' ένα χώρο, αλλά μετακινείται. Αυτή η μετακίνηση έχει σαν αποτέλεσμα αυτό που ευρέως αναφέρεται ως θερμικές απώλειες.

Οι θερμικές απώλειες δεν είναι δυνατόν να εμποδιστούν τελείως, μπορούν όμως να περιοριστούν αν ληφθούν υπόψιν ορισμένοι σημαντικοί παράμετροι. Θα πρέπει, λοιπόν, να γίνονται γνωστοί οι παράγοντες οι οποίοι ενδέχεται να τις επηρεάσουν. Η γνώση αυτή μπορεί να συμβάλλει στη μείωση τους. Συγκεκριμένα, η γνώση αυτή μεταξύ άλλων αφορά και στα υλικά που θα επιλεγούν για να χρησιμοποιηθούν για την μείωση των θερμικών απωλειών σε κατασκευές, όπως στα κτίρια. Τα υλικά αυτά, που ονομάζονται θερμομονωτικά πρέπει να είναι κατάλληλα τοποθετημένα και εφοδιασμένα με φυσικές ιδιότητες ικανές να περιορίσουν τις θερμικές απώλειες.

1.1.2 Αντικείμενο και σημασία της θερμομόνωσης

Θερμική μόνωση ή επικρατέστερα θερμομόνωση χαρακτηρίζεται γενικά οποιοδήποτε μέτρο που λαμβάνεται για τη μείωση της μεταφοράς θερμότητας (ή θερμικής ενέργειας) μεταξύ αντικειμένων σε θερμική επαφή ή από θερμική ακτινοβολία. Η θερμομόνωση μπορεί να προστατεύσει αντικείμενα π.χ. ενδύματα, αγωγούς, λέβητες κλπ. ή (κυρίως) χώρους π.χ. κτίρια, βιομηχανικοί χώροι κλπ. Επιτυγχάνεται με διάφορες μεθόδους ή διαδικασίες καθώς και με προσθήκη (επένδυση, στρώση κλπ.) κατάλληλων αντικειμένων και υλικών καλούμενα θερμομονωτικά υλικά.

Η θερμομόνωση συμβάλλει σημαντικά στη σωστή λειτουργία ενός κτιρίου και στη συμπεριφορά του στις αλλαγές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Η κατάλληλη θερμομόνωση μπορεί να περιορίσει την μετάδοση θερμότητας από και προς το εσωτερικό του κτιρίου. Το χειμώνα μειώνει το ρυθμό με τον οποίο η θερμότητα

χάνεται από το κτίριο και το καλοκαίρι μειώνεται ο ρυθμός με τον οποίο η θερμότητα εισάγεται σε αυτό. Παρέχει, λοιπόν, στο κτίριο ένα <<προστατευτικό περίβλημα>>.

Σημαντικότεροι λόγοι που επιβάλλουν θερμομόνωση είναι τόσο η εξοικονόμηση ενέργειας (ηλεκτρικού, καυσίμων κλπ) όσο και η προστασία των εργαζομένων ή διακινούμενων κοντά σε θερμικές πηγές, από κίνδυνο ατυχημάτων.

Βεβαίως για να έχει αποτέλεσμα η θερμομόνωση πρέπει να συντρέχουν ορισμένοι παράγοντες. Η ορθολογική εφαρμογή της αποτελεί έναν τέτοιο σημαντικό παράγοντα. Παράλληλα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν οι απαιτήσεις του σχετικού διατάγματος το οποίο καθορίζει τους μέγιστους συντελεστές θερμοπερατότητας των επιμέρους δομικών στοιχείων του κελύφους.

Εκτός από το παραπάνω διάταγμα, ισχύουν εδώ και πολλά χρόνια σε χώρες με ψυχρότερα κλίματα κανονισμοί και τεχνικές προδιαγραφές που καθορίζουν τις απαιτήσεις, τις ιδιότητες και τον τρόπο σύνθεσης των υλικών. Οι κανονισμοί αυτοί θεωρούνται απαραίτητοι με το σκεπτικό ότι η εφαρμογή τους μπορεί να εξασφαλίσει την κατάλληλη από τεχνική και οικονομική πλευρά, θερμομόνωση. Τέτοια θεωρείται αυτή που μπορεί να ικανοποιήσει στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό τις παρακάτω ανάγκες :

- Να μην απαιτείται μεγάλο αρχικό κόστος εγκατάστασης
- Να εξοικονομείται ενέργεια αφού θα μειώνονται οι θερμικές απώλειες από το κέλυφος του κτιρίου
- Να εξασφαλίζεται σε βάθος χρόνου οικονομία στη γενικότερη χρήση του κτιρίου
- Να περιορίζεται στο ελάχιστο δυνατό η εφαρμογή ενεργοβόρων τεχνητών συστημάτων ελέγχου του εσωτερικού περιβάλλοντος
- Να μην προκαλούνται σοβαρές αλλαγές θερμοκρασίας μέσα στο χώρο, ικανές να διαταράξουν το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπινου σώματος και να προκαλέσουν δυσφορία στον άνθρωπο στερώντας απ' αυτόν μια υγιεινή και ευχάριστη διαβίωση
- Να προστατεύουν τον άνθρωπο από ενοχλητικούς θορύβους του περιβάλλοντος αφού τα θερμομονωτικά υλικά είναι στην πλειοψηφία τους και ηχομονωτικά
- Να συμβάλλουν γενικότερα στην προστασία του περιβάλλοντος αφού με τον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας μειώνονται αντίστοιχα και τα καυσαέρια που προκαλούν τη ρύπανση της ατμόσφαιρας

1.1.3 Λειτουργία Θερμομόνωσης

Είναι γνωστό από το επιστημονικό πεδίο της Μετάδοσης Θερμότητας πως όταν έρθουν σε επαφή δύο αντικείμενα με διαφορετικές θερμοκρασίες, τότε εμφανίζεται ροή θερμικής ενέργειας από το θερμότερο προς το ψυχρότερο σώμα. Η ροή αυτή χαρακτηρίζεται ως θερμοροή. Το φαινόμενο αυτό έχει ως επακόλουθο την μεταφορά ενέργειας. Στα κτίρια η θερμότητα μεταφέρεται με φυσικό τρόπο από θερμότερο περιβάλλον σε ψυχρότερο. Τους χειμερινούς μήνες η θερμότητα μεταφέρεται είτε άμεσα από τους θερμαινόμενους χώρους του κτιρίου προς τους μη θερμαινόμενους (αποθήκες, υπόγεια) και προς το εξωτερικό περιβάλλον, είτε έμμεσα, διαμέσου τοίχων, δαπέδων, εσωτερικών οροφών. Ωστόσο, τους θερινούς μήνες συμβαίνει το αντίθετο. Η θερμότητα κινείται από το εξωτερικό περιβάλλον προς το εσωτερικό του κτιρίου. Για να αποφευχθούν οι μεγάλες αλλαγές στη θερμοκρασία και να εξασφαλίζεται η άνετη παραμονή σ' ένα κτίριο χωρίς την υπερβολική κατανάλωση ενέργειας από τα μηχανικά συστήματα θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού, απαιτείται η κατάλληλη θερμομόνωση, αυτή που μπορεί να πετύχει μια αποτελεσματική αντίσταση στη ροή θερμότητας.

Με την πρόβλεψη θερμομόνωσης στις κτιριακές κατασκευές παίρνονται τα κατάλληλα μέτρα για την παρεμπόδιση της διαφυγής της θερμικής ενέργειας από ένα χώρο προς ένα άλλο ψυχρότερο γειτονικό χώρο. Σε παλαιότερες εποχές, η ανάγκη για μια τέτοια πρόβλεψη δεν ήταν τόσο επιτακτική. Στις πέτρινες παραδοσιακές κατασκευές το πρόβλημα αντιμετωπιζόταν μόνο του, συμπτωματικά και διαισθητικά. Τα μεγάλα πάχη των τοίχων, οι ξύλινες στέγες, τα φυσικά υλικά και, τέλος, τα ενστικτώδη κατασκευαστικά συστήματα που επινοούσε η διαίσθηση του δημιουργού πρωτομάστορα, εξασφάλιζαν στον εσωτερικό χώρο ενός κτιρίου τις συνθήκες εκείνες που θα έκαναν τη διαβίωση άνετη. Πρόβλημα ψύξης το καλοκαίρι δεν υπήρχε, γιατί οι κατασκευές αυτές ήταν κατά κανόνα δροσερές. Το χειμώνα πάλι, με τα τζάκια, τα μαγκάλια ή τις σόμπες και με φθηνά καύσιμα (ξύλο, κάρβουνο) η θέρμανση των χώρων εξασφαλιζόταν λίγο πολύ ικανοποιητικά. Άλλωστε, οι βαριές κατασκευές του περιβλήματος (τοίχοι, στέγες) ρύθμιζαν καθοριστικά τη θερμομονωτική ικανότητα αλλά και τη ροή θερμότητας. Αργότερα, όμως, όταν οι κατασκευές έγιναν λιγότερο ανθεκτικές στις καιρικές συνθήκες, την προστασία από τις θερμικές μεταβολές ανέλαβαν τα διάφορα τεχνητά συστήματα ελέγχου του μικροκλίματος, όπως η κεντρική θέρμανση και ο κλιματισμός. Η κατανάλωση ενέργειας για τη λειτουργία των συστημάτων αυτών δεν αποτελούσε πρόβλημα μέχρι τη στιγμή που η ενεργειακή κρίση έγινε για όλους μια σκληρή πραγματικότητα. Οι βασικές ενεργειακές πηγές όπως το πετρέλαιο έπαψαν να είναι φτηνές και όλοι, τότε, άρχισαν να συνειδητοποιούν τη μεγάλη σημασία που είχε η θερμομόνωση στην εξοικονόμηση ενέργειας.

1.1.4 Βασικές έννοιες θερμομόνωσης

Θερμομόνωση κτιρίου ή κατασκευής:

Με τη θερμομόνωση κτιρίου ή κατασκευής επιδιώκεται να μειωθεί η ταχύτητα ανταλλαγής θερμότητας μέσα από τα τοιχώματα που χωρίζουν χώρους διαφορετικής θερμοκρασίας. Η θερμομόνωση συνίσταται από ένα σύνολο κατασκευαστικών στοιχείων (υλικών, μελετών, διαδικασιών και μεθόδων κατασκευής) και συνδέεται άμεσα με το κόστος κατασκευής και λειτουργίας των κτιρίων, τμημάτων θερμικών μηχανών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

Μετάδοση θερμότητας με αγωγή:

Αυτή βασίζεται στην ιδιότητα των μορίων των υλικών σωμάτων να προσλαμβάνουν θερμότητα από γειτονικά μόρια υψηλότερης θερμοκρασίας και να την μεταδίδουν σε γειτονικά μόρια χαμηλότερης θερμοκρασίας.

Μετάδοση θερμότητας με μεταφορά (συναγωγή):

Βασίζεται στη δυνατότητα μεταβίβασης της θερμότητας σε υγρά ή αέρια σώματα μέσω της μετακίνησης των θερμών μορίων. Στα κτίρια, με τη φυσική κυκλοφορία του αέρα διακινούνται σημαντικά ποσά θερμότητας. Εκτός από τη φυσική κυκλοφορία του αέρα, μετακινήσεις του αέρα προκαλούν και οι κινήσεις των ανθρώπων, τα ανοίγματα θυρών και παραθύρων, η λειτουργία ανεμιστήρων και άλλα.

Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία:

Συμβαίνει μεταξύ στερεών σωμάτων που διαχωρίζονται από αέρα και μεταδίδεται με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Θερμοχωρητικότητα:

Είναι η ικανότητα ενός κατασκευαστικού στοιχείου να αποθηκεύει, κατά τη θέρμανση του, ποσότητες θερμότητας.

Θερμογέφυρα:

Είναι το τμήμα ενός κατασκευαστικού στοιχείου του οποίου η ποιότητα θερμομόνωσης είναι σημαντικά κατώτερη από τη μέση τιμή θερμομόνωσης του συνόλου του στοιχείου. Το πρόβλημα της θερμογέφυρας παρουσιάζεται συνήθως στις απολήξεις των πλακών, στα όρια της εξωτερικής τοιχοποιίας.

1.1.5 Βασικές αρχές θερμομόνωσης

Οι βασικές αρχές της θερμομόνωσης από τις οποίες εξαρτάται η μελέτη και η σωστή εφαρμογή της σε μια κατασκευή, είναι :

α) Η θερμομονωτική ικανότητα, δηλαδή η αντίσταση θερμοδιαφυγής των στοιχείων κατασκευής. Εξαρτάται από τις ιδιότητες των βασικών υλικών που συνθέτουν μια κατασκευή θερμομόνωσης, δηλαδή:

- τη θερμική τους αγωγιμότητα
- την περιεκτικότητα τους σε υγρασία
- το πάχος τους

β) Ο βαθμός διαπερατότητας του αέρα των στοιχείων κατασκευής που εξαρτάται από:

- το είδος της κατασκευής που διαμορφώνει το περίβλημα ενός χώρου
- την επιφάνεια των κουφωμάτων και τον τρόπο συναρμογής τους, τα μεγάλα ανοίγματα, για παράδειγμα παρουσιάζουν πολλές θερμικές απώλειες.

γ) Η θερμοχωρητικότητα των στοιχείων της κατασκευής που συμβάλλει στον περιορισμό της ταχύτητας μεταβολής της αρχικής κατάστασης της θερμοκρασίας. Ανάλογα με τη μόνωση οι τοίχοι και οι οροφές (στοιχεία κατασκευής) ενεργούν ως:

- Συσσωρευτές θερμότητας όταν η θερμική μόνωση τοποθετείται στην εξωτερική τους επιφάνεια. Στην περίπτωση αυτή, συσσωρεύουν επί ένα μεγάλο χρονικό διάστημα τη θερμότητα, για να την αποβάλλουν και πάλι με ακτινοβολία. Με τη διαδικασία αυτή αυξάνεται, αντίστοιχα, η διάρκεια μεταβολής των συνθηκών θερμοκρασίας σε χώρους στους οποίους είναι απαραίτητο να υφίσταται το αίσθημα της θερμικής άνεσης (κατοικίες, χώροι εργασίας)
- Φράγμα προστασίας, όταν η θερμική μόνωση τοποθετείται στην εσωτερική τους επιφάνεια, στις περιπτώσεις που δεν ενδιαφέρει η διάρκεια αποθέρμανσης ή απόψυξης των χώρων (θέατρα, εκκλησίες) αλλά αντίθετα, η προστασία των κατασκευών από τη θερμότητα ή την ψύξη που αναπτύσσεται μέσα στους χώρους αυτούς.

δ) Οι τιμές των συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας και αντίστασης θερμοδιαφυγής των διαφόρων υλικών που συγκροτούν μια κατασκευή. Οι τιμές αυτές είναι παγκόσμια αποδεκτές όπως τις έχει καθορίσει ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO) και αφορούν :

- τη θερμική αγωγιμότητα των πιο συνηθισμένων οικοδομικών υλικών
- την αντίσταση θερμοδιαφυγής των στρωμάτων αέρος ανάλογα με το πάχος τους

ε) Οι απαιτήσεις θερμομόνωσης που επιβάλλει ο Κανονισμός Θερμομόνωσης. Αυτές αφορούν τον καθορισμό:

- των ελάχιστων θερμοκρασιών χώρων με τις οποίες εξασφαλίζονται άνετες συνθήκες διαβίωσης μέσα σ' ένα κτίριο
- των ορίων των θερμικών απωλειών κτιρίων
- της οικονομικά βέλτιστης θερμομόνωσης ώστε να μειώνονται σημαντικά οι δαπάνες θέρμανσης

1.1.6 Ο ρόλος των θερμομονωτικών υλικών

Τα θερμομονωτικά υλικά καθορίζουν τη συμπεριφορά ενός κτιρίου από πλευράς δομικής φυσικής και στοχεύουν να μειώσουν το συντελεστή θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων για να περιοριστούν οι θερμικές απώλειες τη χειμερινή περίοδο και οι θερμικές εισοδοί τη θερινή περίοδο.

Τα θερμομονωτικά υλικά οφείλουν τη μονωτική τους ιδιότητα, κατά κύριο λόγο στον αέρα που περιέχεται ανάμεσά τους. Ο ακίνητος αέρας παρουσιάζει τη μικρότερη γνωστή τιμή θερμικής αγωγιμότητας γι' αυτό και θεωρείται <<κακός αγωγός της θερμότητας>>. Τα θερμομονωτικά υλικά επιτυγχάνουν το σκοπό τους ακριβώς επειδή διαθέτουν στην <<πορώδη>> δομή τους σημαντικό αριθμό κυψελίδων ακίνητου αέρα, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση μικρού φαινομένου βάρους. Το μικρό βάρος αποτελεί κοινό χαρακτηριστικό των θερμομονωτικών υλικών. Η θερμική τους αγωγιμότητα καθορίζεται πρωταρχικά από τον αριθμό και το μέγεθος των κυψελών που υπάρχουν στη δομή του υλικού τους και που περιέχουν τον ακίνητο αέρα.

Σε μικρότερο βαθμό επηρεάζεται από τη χημική σύσταση του υλικού, τη θερμοκρασία και την υγρασία στην οποία βρίσκονται. Ειδικά, η υγρασία αποτελεί σημαντικό πρόβλημα γιατί, εκτοπίζοντας τον αέρα, μπορεί να γεμίσει τους πόρους του μονωτικού υλικού, καταστρέφοντας έτσι, προσωρινά ή οριστικά, τις μονωτικές του ιδιότητες. Βέβαια, δεν αποτελεί ρεαλιστική λύση η αναζήτηση αδιάβροχων μονωτικών υλικών. Τις περισσότερες φορές αρκεί η χρήση υλικών που δεν εμφανίζουν έντονη τάση απορρόφησης νερού (υγροσκοπικότητα) ή χρησιμοποιούνται κατασκευαστικές λύσεις που εξασφαλίζουν την προστασία των μονωτικών υλικών από την υγρασία (υγρομόνωση).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχουν και άλλες ιδιότητες των μονωτικών υλικών, όπως η μηχανική αντοχή, η σταθερότητα του όγκου τους, η ανθεκτικότητά τους στις μεταβολές της θερμοκρασίας και η διάρκεια ζωής τους.

Ακόμα πρέπει να τονιστεί ότι η εκλογή ενός θερμομονωτικού υλικού σχετίζεται άμεσα και με παράγοντες που δεν περιλαμβάνονται στις φυσικές τους ιδιότητες, όπως το κόστος που απαιτείται για την αγορά του, η επάρκειά του στην αγορά, καθώς επίσης οι δυνατότητες μεταφοράς και σωστής τοποθέτησής του.

Τα μονωτικά υλικά χαρακτηρίζονται ως :

- ανόργανα ή οργανικά ανάλογα με την προέλευση και τη σύστασή τους
- φυσικής προέλευσης ή τεχνητά, ανάλογα με το βαθμό επεξεργασίας που υφίστανται πριν διατεθούν στην κατανάλωση
- ανοιχτών ή κλειστών κυψελών αέρα
- μεγάλου ή μικρού φαινόμενου βάρους

1.1.7 Θερμομόνωση δομικών στοιχείων

Πριν καταφύγει κανείς σε βοηθητικές οικοδομικές κατασκευές για τον έλεγχο των θερμικών απωλειών πρέπει κατά το σχεδιασμό, να έχει υπόψη του τους βασικότερους παράγοντες που τις προκαλούν. Τέτοιοι είναι :

- Ο προσανατολισμός του κτιρίου μέσα στον περιβάλλοντα χώρο. Ένα κτίριο εκτεθειμένο στους ανέμους θα παρουσιάζει και μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας
- Η θέση του κτιρίου στο χώρο. Ένα ελεύθερο στο χώρο κτίριο εμφανίζει πολύ μεγαλύτερες απώλειες από ένα άλλο που είναι ενταγμένο σ' ένα συνεχές σύστημα δόμησης
- Τα εξωτερικά κουφώματα τα οποία ανάλογα με το μέγεθος, τον αριθμό και την θέση τους στις όψεις ενός κτιρίου επηρεάζουν τη ροή της θερμότητας. Τα μεγάλα παράθυρα αυξάνουν σημαντικά τις απώλειες αφού ενδέχεται να επιτρέπουν τη διείσδυση ρευμάτων αέρα

Οι απαιτήσεις για θερμομόνωση ενός κτιρίου καθορίζονται στο περί Απαιτήσεων Ελάχιστης Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίου διάταγμα που εκδίδεται από τον Υπουργό Εμπορίου κάθε χώρας.

Το διάταγμα αυτό καθορίζει τους μέγιστους συντελεστές θερμοπερατότητας για :

- τους εξωτερικούς τοίχους

- τα εξωτερικά οριζόντια δομικά στοιχεία (στέγες, οροφές, δώματα)
- τα εξωτερικά κουφώματα

Η κατασκευή της θερμομόνωσης ενός κτιριακού έργου πρέπει να εκτελείται με ορισμένες προϋποθέσεις που τις καθορίζουν:

- η μελέτη θερμομόνωσης
- η θέση της επιφάνειας που πρόκειται να προστατευτεί
- η θέση της μονωτικής στρώσης μέσα στο σύνθετο δομικό στοιχείο (εσωτερικά ή εξωτερικά)
- οι απαιτήσεις προστασίας από την υγρασία

1.1.8 Στοιχεία κτιρίων ευάλωτα στη θερμοδιαφυγή

Τα στοιχεία που έχουν μεγαλύτερη ανάγκη θερμικής προστασίας είναι :

- η οροφή και η στέγη, επιφάνειες ιδιαίτερα εκτεθειμένες σ' όλες τις μεταβολές των καιρικών συνθηκών
- τα εξωτερικά τοιχώματα τα οποία δέχονται μια σειρά επιδράσεων και μπορεί να προκαλέσουν μεγάλες θερμικές απώλειες. Γι' αυτό χρειάζεται προσοχή στο τρόπο κατασκευής τους. Είναι αναγκαία δηλαδή η λήψη μέτρων που θα αποβλέπουν στην προστασία του θερμομονωτικού υλικού από συμπύκνωση και δρόσο, με φράγμα υδρατμών, στην παρεμπόδιση της διείσδυσης των νερών της βροχής και στην αποφυγή της δημιουργίας θερμογεφυρών που αυξάνουν τις θερμικές απώλειες.
- τα ανοίγματα επίσης από τα ευάλωτα στοιχεία ενός κτιρίου που προκαλούν θερμικές απώλειες. Για να περιοριστούν αυτές, πρέπει οι αρμοί συναρμογής των πλαισίων να είναι απόλυτα αδιαπέραστοι από τον αέρα. Επίσης, να είναι άριστης ποιότητας τα υλικά που συγκροτούν το κούφωμα (ξύλο, αλουμίνιο, πλαστικό). Στην περίπτωση του ξύλου, αυτό δεν είναι εύκολα εφικτό εξαιτίας της φύσης του υλικού. Ωστόσο, στην περίπτωση του αλουμινίου η πρόβλεψη ειδικών παρεμβυσμάτων στους αρμούς επαφής δίνει συνήθως άριστα αποτελέσματα
- τα στηθαία των παραθύρων επειδή λειτουργικοί λόγοι επιβάλλουν συχνά τη μείωση του πάχους του τοιχώματος στις θέσεις αυτές. Επίσης, η έντονη θερμική ακτινοβολία προκαλεί πιο γρήγορα συμπύκνωση στις θέσεις αυτές παρά στις υπόλοιπες επιφάνειες του χώρου

- το κατώτερο δάπεδο του κτιρίου ιδιαίτερα όταν είναι εκτεθειμένο προς το εξωτερικό περιβάλλον (π.χ. κτίριο σε πυλωτή)

1.2 Φωτιές σε κτίρια

Ένα ιδιαίτερα αρνητικό φαινόμενο που κάνει όμως έντονα αισθητή την παρουσία του στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια , είναι η εκδήλωση πυρκαγιών σε αστικές περιοχές. Συγκεκριμένα κατά το χρονικό διάστημα 2004-2012 εκδηλώθηκαν κατά μέσο όρο, ανά έτος, 31.438 συνολικά πυρκαγιές, προκαλούμενες από διάφορες αιτίες. Από αυτές, οι 20.353 ήταν αστικές πυρκαγιές. Οι ανωτέρω συνολικά 31.438 ανά έτος προκαλούμενες πυρκαγιές, είχαν το ίδιο διάστημα ως συνέπεια τον θάνατο, κατά μέσο όρο, ανά έτος 56 ιδιωτών και την πρόκληση σωματικών βλαβών σε 149 ιδιώτες.

Τραγικός απολογισμός των παραπάνω πυρκαγιών είναι , όπως προκύπτει και από τον πίνακα που ακολουθεί , ο χαμός ανυποψίαστων πολιτών οι οποίοι βρέθηκαν από τη μια στιγμή στην άλλη εγκλωβισμένοι μέσα στο ίδιο τους το σπίτι ή σε κάποιον άλλο εσωτερικό χώρο και έχασαν τη ζωή τους επειδή δεν πρόλαβαν να αντιδράσουν στη γρήγορη εξάπλωση της φωτιάς.

Πίνακας 1.1 Χώρος εκδήλωσης θανατηφόρων πυρκαγιών στην Αττική (2004-2012)¹

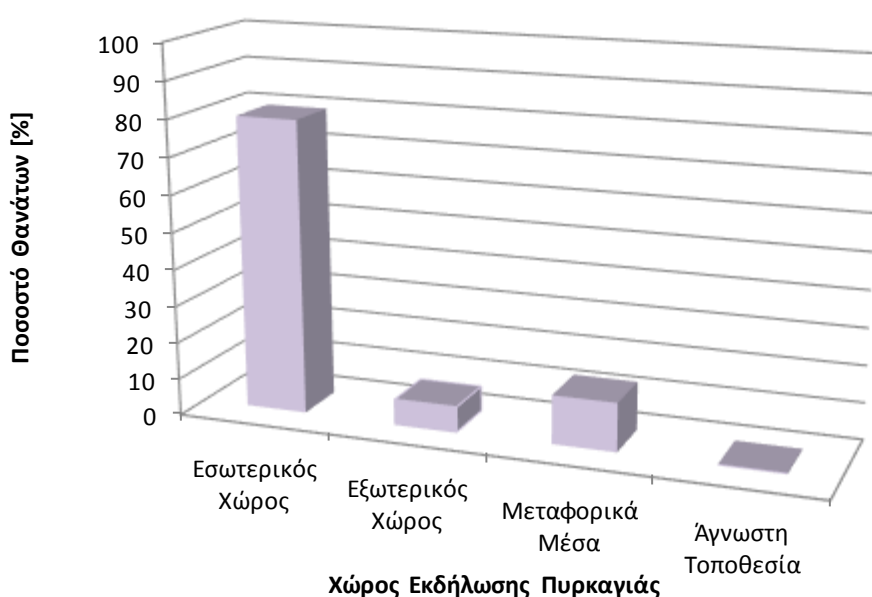
Έτος	Εσωτερικός Χώρος	Εξωτερικός Χώρος	Μεταφορικά Μέσα	Άγνωστη Τοποθεσία
2012	20	2	1	0
2011	10	0	0	0
2010	13	1	1	0
2009	32	2	2	1
2008	33	4	11	0
2007	36	2	6	0
2006	31	5	12	0
2005	35	3	5	0
2004	50	3	5	0
Σύνολο	260	22	43	1

Από τον παραπάνω πίνακα γίνεται αντιληπτό ότι σχεδόν τα 4 στα 5 περιστατικά θανάτων από πυρκαγιά λαμβάνουν χώρα σε εσωτερικούς χώρους . Πολλοί είναι οι λόγοι που οδηγούν σε αυτά τα αποτελέσματα. Ο κυριότερος όμως φαίνεται να

¹ Μελέτη: "Θάνατοι από αστικές πυρκαγιές" (www.scribd.com)

αφορά στον τρόπο και στο χρόνο εξάπλωσης της πυρκαγιάς σε κλειστούς χώρους. Παρατηρώντας το ποσοστό θανάτων την χρονική περίοδο 2004-2012 ανάλογα με την τοποθεσία που συνέβησαν οι πυρκαγιές (Εικόνα 1.1), μπορεί κάποιος να οδηγηθεί σε κρίσιμα συμπεράσματα όσο αφορά στην αναγκαιότητα λήψης άμεσων μέτρων για την εξάλειψη του φαινομένου. Συγκεκριμένα σημαντικό παράγοντα της εξέλιξης μιας φωτιάς μέσα σε ένα κτίριο αποτελεί το είδος των μονωτικών υλικών που χρησιμοποιείται.

Η θυσία τόσων αθώων θυμάτων στο βωμό θανατηφόρων πυρκαγιών επιβάλλει την μελέτη και τον εντοπισμό των κατάλληλων δομικών υλικών τα οποία μπορούν να αποβούν σωτήρια σε τέτοιες περιπτώσεις.



Εικόνα 1.1 Ποσοστό θανάτων (2004-2012)

1.3 Νομοθεσία Πυροπροστασίας

Για την αντιμετώπιση του φαινομένου των αστικών πυρκαγιών είναι απαραίτητη η λήψη ορισμένων μέτρων που θα οδηγούν στον χωρικό περιορισμό της πυρκαγιάς. Για το λόγο αυτό κάθε κράτος έχει θεσπίσει διάφορους κανόνες πυροπροστασίας με στόχο την αντιμετώπιση του κινδύνου μιας πυρκαγιάς , πρωτίστως για την ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής , αλλά και για την ασφάλεια της κατασκευής. Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά στην Ελλάδα η νομοθεσία πυροπροστασίας περιλαμβάνει τα εξής :

- Π.Δ. 71/88 (ΦΕΚ 32 Α' / 17.2.1988) « Κανονισμός Πυροπροστασίας Κτιρίων » .

- ΚΥΑ 5905/Φ15/839/1995 (ΦΕΚ 611 Β' /12.7.1995) « Λήψη μέτρων πυροπροστασίας στις βιομηχανικές – βιοτεχνικές εγκαταστάσεις και αποθήκες αυτών , καθώς και αποθήκες εύφλεκτων και εκρηκτικών υλών » .
- Π.Δ. 6/96 (ΦΕΚ 150Β της 13.3.96) « Λήψη μέτρων πυροπροστασίας σε αποθήκες » .
- Π.Δ. 3/81 « Λήψη βασικών μέτρων πυροπροστασίας σε αίθουσες συγκέντρωσης κοινού » .
- Π.Δ. 3α/81 «Περί τροποποίησης της υπ' αριθμόν 3/19.1.1981 Πυροσβεστικής Διατάξεως περί λήψεως βασικών μέτρων πυροπροστασίας σε αίθουσες συγκέντρωσης κοινού » .
- Π.Δ. 36/95 « Περί τροποποίησης και συμπλήρωσης της υπ' αριθμό 3/1981 Πυροσβεστικής Διατάξεως περί λήψεως βασικών μέτρων πυροπροστασίας σε αίθουσες συγκέντρωσης κοινού » .

Τα βασικά στοιχεία της μελέτης της πυροπροστασίας μιας κατασκευής , με βάση τους κανονισμούς πυροπροστασίας συνοψίζονται στην επίλυση πέντε βασικών θεμάτων [Purkiss , 1996 , Παπαϊωάννου , 2006] :

- πρόληψη έναρξης πυρκαγιάς , η οποία αφορά στον έλεγχο της ευφλεκτότητας των υλικών της κατασκευής , στη συντήρηση των επιχρισμάτων και , από τη νομοθετική πλευρά , στην επιβολή απαγόρευσης του καπνίσματος και γενικά ελεύθερων φλογών
- περιορισμός ανάπτυξης και διάδοσης πυρκαγιάς , ο οποίος μπορεί να αφορά στο ίδιο το κτίριο (διαμερισματοποίηση) , αλλά και σε γειτονικά , μέσω ελέγχου της απόστασης μεταξύ των κτιρίων
- παρεμπόδιση της κατάρρευσης , με την οποία επιβάλλεται η σταθερότητα (stability) και η ακεραιότητα (integrity) όλης της κατασκευής ή μέρος της κατά τη διάρκεια της φωτιάς
- οδεύσεις διαφυγής , όπου επιβάλλονται νομοθετικά , συγκεκριμένες ρυθμίσεις που αφορούν στις οδεύσεις διαφυγής και στην ενημέρωση των ενοίκων
- έλεγχος φωτιάς και κατάσβεση , το οποίο σχετίζεται με την εγκατάσταση συγκεκριμένων συστημάτων μέσα στο κτίριο για τον έλεγχο και για την κατάσβεση της πυρκαγιάς

Η επίλυση των παραπάνω προβλημάτων πραγματοποιείται μέσω δυο βασικών μέτρων πυροπροστασίας : τα ενεργητικά και τα παθητικά (πυρασφάλεια) μέτρα πυροπροστασίας. Τα ενεργητικά μέτρα πυροπροστασίας , τα οποία αφορούν κυρίως στον έλεγχο και στην κατάσβεση (πυρόσβεση) της φωτιάς , ενεργοποιούνται κατά την έναρξη ή τη διάρκεια της πυρκαγιάς , ενώ τα παθητικά , είναι προβλεπόμενα και ενσωματωμένα στη κατασκευή.

1.4 Πυροπροστασία

1.4.1 Ενεργητική πυροπροστασία

Η ενεργητική πυροπροστασία ενός κτιρίου αποβλέπει στην αντιμετώπιση και καταστολή της πυρκαγιάς σε περίπτωση που αυτή εκδηλωθεί. Στα πλαίσια της πραγματοποίησης του παραπάνω στόχου προχωρεί στη λήψη κάποιων μέτρων με τα οποία θα επιτευχθεί η έγκαιρη αυτόματη ανίχνευση της πυρκαγιάς και ο εντοπισμός των σημείων στα οποία αυτή εκδηλώθηκε. Φροντίζει επίσης για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος συναγερμού καθώς και για την τοποθέτηση αυτόματης ή χειροκίνητης κατάσβεσης.

Τα μέτρα αυτά θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικά καθώς ενεργοποιούνται άμεσα με την εκδήλωση της πυρκαγιάς και μπορούν έτσι να την θέσουν υπό έλεγχο από τα αρχικά ακόμη στάδια.

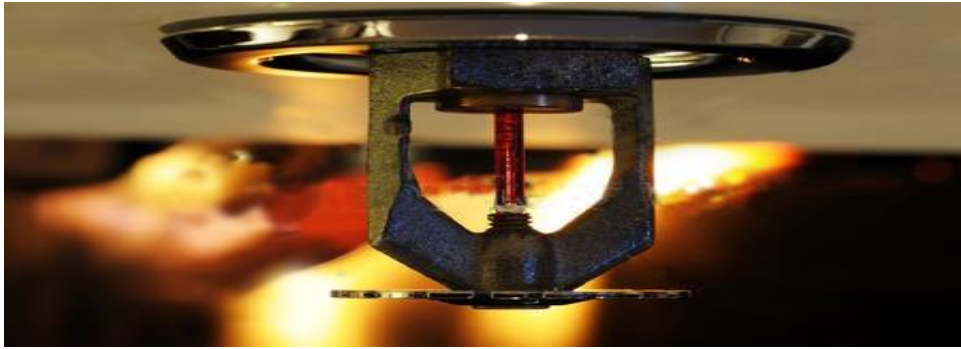
Τα μέτρα ενεργητικής πυροπροστασίας ποικίλουν ανάλογα με το μέγεθος και τις ανάγκες κάθε κτιρίου και διακρίνονται σε δυο κατηγορίες :

Συστήματα ανίχνευσης και έγκαιρης ειδοποίησης :

- αυτόματη πυρανίχνευση (ανιχνευτές , πίνακες πυρανίχνευσης , καλωδιώσεις κ.α.)
- σήμανση συναγερμού
 - σειρήνες για ηχητική ειδοποίηση
 - φλας για οπτική ειδοποίηση
 - διακόπτης ροής νερού σε υδροδοτικό δίκτυο με πυροσβεστικές φωλιές
- αυτόματη ειδοποίηση της πυροσβεστικής υπηρεσίας

Συστήματα πυρόσβεσης – κατάσβεσης :

- αυτόματο σύστημα καταιονισμού ύδατος , το οποίο διακρίνεται σε υγρού τύπου , ξηρού τύπου , προενέργειας , ολικής κατάκλισης και μικτό
- αυτόματο σύστημα ψεκασμού σταγονιδίων ή ομίχλης (Εικόνα 1.2)
- αυτόματο σύστημα κατάκλισης με αφρό



Εικόνα 1.2 Αυτόματο σύστημα ψεκασμού σταγονιδίων

- αυτόματο σύστημα κατάσβεσης με ξηρές σκόνες
- αυτόματο σύστημα κατάσβεσης με αέρια , όπως διοξείδιο του άνθρακα , αδρανή αέρια κ.α.
- υδροδοτικό πυροσβεστικό δίκτυο (πυροσβεστικές φωλιές) – χειροκίνητο
- φορητοί πυροσβεστήρες και άλλα μέσα (Εικόνα 1.3)



Εικόνα 1.3 Χειροκίνητος φορητός πυροσβεστήρας

1.4.2 Παθητική πυροπροστασία

Ανάμεσα στις διάφορες και πλέον σύγχρονες μορφές πυροπροστασίας ιδιαίτερα σημαντική θεωρείται η παθητική πυροπροστασία η οποία είναι άμεσα συνυφασμένη με το βαθμό επικινδυνότητας μιας κατασκευής. Αφορά στο σύνολο των μέτρων που ενσωματώνονται στην κατασκευή και είναι υπεύθυνα για την έμμεση προστασία της και κατά συνέπεια για την ασφάλεια των ενοίκων.

Χωρίζεται σε δύο κατηγορίες :

- την εκδήλωση φωτιάς από και προς ένα κτίριο
- την εκδήλωση φωτιάς μέσα σε ένα κτίριο

Και στις δύο κατηγορίες είναι αναγκαίο να λαμβάνονται υπόψη κατά την κατασκευή ενός κτιρίου κάποια βασικά χαρακτηριστικά. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα πιο σημαντικά από αυτά :

Φωτιά από και προς ένα κτίριο :

Ο πρώτος παράγοντας που πρέπει να εξεταστεί προσεκτικά είναι το σημείο ανέγερσης μιας οικοδομής. Ένα οικόπεδο για παράδειγμα, που βρίσκεται κοντά σε πυροσβεστικό σταθμό ή σε περιοχή με πλούσιο υδάτινο δυναμικό δεν απαιτεί αυξημένα μέτρα πυροπροστασίας.

Καλό θα είναι , επίσης , να ελεγχθούν οι συνθήκες κυκλοφορίας γύρω από το οικόπεδο. Η διευκόλυνση της διέλευσης των πυροσβεστικών οχημάτων , κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς , είναι ζωτικής σημασίας.

Θεωρείται βεβαίως αυτονόητο ότι θα πρέπει να τοποθετηθούν πυροσβεστικές αντλίες και υδροδοτικά σημεία σε κατάλληλες θέσεις μέσα στο κτίριο.

Παράλληλα για να καθυστερεί ή και να παρεμποδίζεται η εξάπλωση της φωτιάς από κτίριο σε κτίριο είναι απαραίτητη η ύπαρξη μιας εύλογης απόστασης ανάμεσα στα κτίρια. Στην κατεύθυνση αυτή μπορεί να βοηθήσει και η δημιουργία πυροφραγμών ανάμεσα στα κτίρια, όπως για παράδειγμα η αύξηση της πυραντίστασης των υλικών της εξωτερικής τοιχοποιίας.

Φωτιά μέσα στο κτίριο :

Σχετικά με τη δεύτερη κατηγορία της παθητικής πυροπροστασίας, τη φωτιά μέσα στο κτίριο , θεωρείται αναγκαίο να εξετάζονται κάποιες σημαντικές παράμετροι που θ' αποτρέψουν την εμφάνιση και την εξάπλωση της.

Πρώτα-πρώτα, τα δομικά στοιχεία που έχουν μια συγκεκριμένη λειτουργία σε μια κατασκευή θα πρέπει να έχουν την κατάλληλη πυραντίσταση. Κατάλληλη θεωρείται η πυραντίσταση ενός στοιχείου όταν χαρακτηρίζεται από τρία βασικά κριτήρια: την ευστάθεια, την ακεραιότητα και τη θερμομόνωση.

- ευστάθεια : το κριτήριο της ευστάθειας σηματοδοτεί την οριακή κατάσταση όπου το δομικό στοιχείο παρουσιάζει μη αποδεκτές παραμορφώσεις.
- ακεραιότητα : το κριτήριο της ακεραιότητας σηματοδοτεί την οριακή κατάσταση όπου το δομικό στοιχείο εμφανίζει ρωγμές ή κενά από όπου μπορούν οι φλόγες να εισχωρήσουν και να αναφλέξουν εύφλεκτα υλικά.
- θερμομόνωση : το κριτήριο της θερμομόνωσης σηματοδοτεί την οριακή κατάσταση όπου η θερμοκρασία στη μη εκτεθειμένη στη φωτιά πλευρά του δομικού στοιχείου ξεπερνάει προκαθορισμένα όρια.

Κατά δεύτερο λόγο εφιστάται η προσοχή στη διαμερισματοποίηση ενός κτιρίου η οποία θα πρέπει να στοχεύει στην κατασκευή διαμερισμάτων με υψηλό βαθμό πυραντίστασης εξασφαλίζοντας έτσι τα χρονικά περιθώρια για την εκκένωση του κτιρίου.

Πρόσθετο σωτήριο μέτρο αποτελούν οι τρόποι διαφυγής από το φλεγόμενο κτίριο προς άλλους ασφαλείς χώρους. Πρέπει, επομένως, να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στο σχεδιασμό τους. Συγκεκριμένα, είναι ζωτικής σημασίας η ύπαρξη επαρκών εξόδων κινδύνου με πρόβλεψη εύκολης προσπέλασης ` οι έξοδοι αυτοί θα πρέπει φυσικά να είναι προστατευμένες από φωτιά και καπνό και να διαθέτουν τον κατάλληλο φωτισμό.

Τέλος, καλό είναι να γίνονται, όπου αυτό είναι εφικτό, δοκιμαστικές εκκενώσεις κτιρίων για ενημέρωση και εξάσκηση των ενοίκων.

Κεφάλαιο 2

2. Θερμική συμπεριφορά δομικών υλικών και κτιριακών κελύφων

Στην σύγχρονη εποχή της ανάπτυξης και της εξέλιξης νέες συνθήκες δημιουργούν νέες ανάγκες. Στα πλαίσια, λοιπόν, της προσπάθειας για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου δημιουργούνται νέα δομικά υλικά ικανά να αντέχουν και σε χαμηλές και σε υψηλές θερμοκρασίες.

Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου γνωστή και ως Αποθήκευση Θερμικής Ενέργειας (ΑΘΕ) ασχολείται κυρίως με την αποθήκευση ενέργειας, την αποδοτική χρήση των διαθέσιμων πόρων αλλά και με την κατάλληλη αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Όσον αφορά στα δομικά υλικά, η κατεύθυνση είναι να μειωθεί η θερμική αγωγιμότητα τους ή να αυξηθεί η λανθάνουσα θερμότητα τους, πράγμα που μπορεί να επιτευχθεί αν ενσωματωθούν μέσα στα δομικά άλλα υλικά τα οποία μπορούν να αλλάζουν φάση (αύξηση της λανθάνουσας θερμότητας) χωρίς να επηρεάζεται η ακεραιότητα του συνολικού υλικού.

Ένας επιπλέον παράγοντας που πρέπει να εξετάζεται προσεκτικά είναι η διάρκεια αντοχής των δομικών υλικών αφού αυτά αποτελούν ζωτικό μέρος της κατασκευής ενός κτιρίου. Συγκεκριμένα, είναι σημαντικό να χαρακτηρίζονται από θερμικές και μηχανικές ιδιότητες τέτοιες που θα τα καθιστούν ανθεκτικά σε περιβάλλον υψηλών θερμοκρασιών. Στη μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς των δομικών υλικών συμβάλλει η γνώση κάποιων παραμέτρων όπως είναι η χημική κινητική των διάφορων φυσικο-χημικών διεργασιών που πραγματοποιούνται στο εσωτερικό του υλικού, οι φυσικές του ιδιότητες συναρτήσει της θερμοκρασίας, η συμπεριφορά του σαν ξεχωριστό υλικό αλλά και ως μέρος της συνολικής κατασκευής.

2.1 Ιδιότητες δομικών υλικών

Τα δομικά υλικά χαρακτηρίζονται από μια σειρά φυσικών ιδιοτήτων. Η πυκνότητα, για παράδειγμα, ενός υλικού θα του δώσει το χαρακτηρισμό ελαφρύ ή βαρύ. Επίσης, ανάλογα με τη θερμική του αγωγιμότητα ένα υλικό θα χαρακτηριστεί ως καλός ή κακός αγωγός θερμότητας. Αποδεικνύεται, λοιπόν, ότι ένα δομικό υλικό

είναι άμεσα συνυφασμένο με τις φυσικές του ιδιότητες, οι οποίες είναι σε θέση να δώσουν σημαντικές πληροφορίες για αυτό. Ταυτόχρονα, όμως, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι αυτές οι φυσικές ιδιότητες μπορούν να μεταβληθούν και να επηρεάσουν τη συμπεριφορά του υλικού σε περίπτωση που αυτό υποστεί κάποιες διεργασίες στο εσωτερικό του. Η χημική κινητική των παραπάνω διεργασιών είναι που θα καθορίσει και τον τρόπο μεταβολής των φυσικών ιδιοτήτων. Η άμεση μέτρηση της τιμής μιας φυσικής ιδιότητας πολλές φορές παρουσιάζει δυσκολίες. Ιδιαίτερα δύσκολη καθίσταται η μέτρηση σε περιβάλλον υψηλής θερμοκρασίας. Σε τέτοιες περιπτώσεις η συνήθης τακτική που ακολουθείται είναι να αφήνεται το δείγμα να ψυχθεί φυσικά μέχρι τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και στη συνέχεια να πραγματοποιείται η μέτρηση.

2.2.1 Χαρακτηριστικές ιδιότητες δομικών υλικών

Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες των δομικών στοιχείων που καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη θερμική συμπεριφορά του κτιριακού κελύφους είναι οι ακόλουθες :

1. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας , δηλαδή η ποσότητα θερμότητας που περνά σε ένα δευτερόλεπτο μέσα από τις απέναντι πλευρές ενός κύβου πλευράς 1m, όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο αυτών επιφανειών του στοιχείου είναι 1K . Αυτή εξαρτάται από τις ιδιότητες που έχουν τα υλικά που συνθέτουν την κατασκευή ενός δομικού στοιχείου , δηλαδή :
 - το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας
 - την περιεκτικότητα τους σε υγρασία
 - το πάχος τους
2. Ο βαθμός διαπερατότητας του αέρα διαμέσου των δομικών στοιχείων , που εξαρτάται από :
 - το είδος της κατασκευής που διαμορφώνει το περίβλημα ενός χώρου
 - την επιφάνεια των ανοιγμάτων και τον τρόπο συναρμογής των κουφωμάτων. Μεγάλες ποσότητες θερμότητας χάνονται από τις πόρτες και τα παράθυρα μιας όψης, ανάλογα με το μέγεθος του τζαμιού και τον τρόπο κατασκευής τους, καθώς και με τους αρμούς επαφής μεταξύ των φύλλων και του πλαισίου ενός κουφώματος. Το γεγονός αυτό κάνει τα παράθυρα και τις πόρτες να εμφανίζουν υπερβολικά μεγάλο συντελεστή θερμοπερατότητας, γιατί οι θερμικές απώλειες προκαλούνται όχι μόνο από θερμική αγωγιμότητα αλλά και από θερμική μεταφορά.
3. Η ειδική θερμότητα των δομικών στοιχείων του κτιρίου, που συμβάλλει στο περιορισμό του ρυθμού μεταβολής της θερμοπερατότητας των στοιχείων.

Όταν οι τοίχοι και οι οροφές έχουν μεγάλη θερμοχωρητική ικανότητα, τότε η θερμότητα που συγκεντρώνουν ενόσω λειτουργεί η θέρμανση, αποβάλλεται όταν αυτή σταματήσει με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η γρήγορη ψύξη των χώρων. Το αντίθετο συμβαίνει το καλοκαίρι όταν οι χώροι ψύχονται. Ανάλογα με την θέση της μόνωσης, στην εξωτερική ή εσωτερική επιφάνεια, οι τοίχοι και οι οροφές ενεργούν ως :

- συσσωρευτές θερμότητας, όταν η θερμική μόνωση τοποθετείται στην εξωτερική τους επιφάνεια. Στην περίπτωση αυτή, συσσωρεύουν επί ένα μεγάλο χρονικό διάστημα τη θερμότητα, για να την αποβάλουν και πάλι μέσα στο χώρο με ακτινοβολία. Με τη διαδικασία αυτή αυξάνεται αντίστοιχα η διάρκεια μεταβολής της θερμοκρασίας σε χώρους στους οποίους είναι απαραίτητο να δημιουργείται κλίμα άνεσης.
- φράγμα προστασίας, όταν η θερμική μόνωση τοποθετείται στην εσωτερική τους επιφάνεια, στις περιπτώσεις που το ζητούμενο δεν είναι η διάρκεια αποθέρμανσης ή απόψυξης των χώρων αλλά αντίθετα η γρήγορη θέρμανση ή ψύξη των χώρων αυτών.

2.3 Κριτήρια επιλογής δομικών υλικών

βάσει προτύπων

Τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον των ειδικών έχει επικεντρωθεί στη δημιουργία υλικών ανθεκτικών στη φωτιά. Η χρησιμοποίηση τέτοιων υλικών θα συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στην προστασία ενός κτιρίου και στην αποφυγή της κατάρρευσης του. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός θα πρέπει ο τύπος των υλικών από τη μια να μπορεί να αντισταθεί σε έντονη θερμότητα και από την άλλη να διαθέτει επαρκή μηχανική αντοχή. Στα πλαίσια αυτής της προσπάθειας οι ειδικοί σε όλο τον κόσμο έχουν επιλέξει ένα πλήθος κριτηρίων τα οποία περιορίζουν στο ελάχιστο την πιθανότητα κατάρρευσης ενός κτιρίου.

Αρχικά προτείνονται πινακοποιημένες τιμές θερμικής αντιστάσεως ή θερμικής αγωγιμότητας (Bjoern et al 2002, CIBSE 1986, prEN 13786) που υπάρχουν σε εναρμονισμένα Ευρωπαϊκά πρότυπα τόσο για απλά, όσο και για πιο σύνθετα και ανισότροπα υλικά. Ιδιαίτερη σημασία έχει το γεγονός ότι οι πίνακες αυτοί περιλαμβάνουν διορθωτικούς συντελεστές της θερμικής αγωγιμότητας, που σχετίζονται με την υγρασία, με την εφαρμοζόμενη πίεση κατά την τοποθέτηση, με τη διάτρηση τους από στηρίγματα μεταλλικά ή μη, με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και τέλος με τη γήρανση τους.

Η θερμική συμπεριφορά των υλικών τοιχοποιίας περιγράφεται αναλυτικά στο πρότυπο EN1745, το οποίο ήδη ισχύει στην Ελλάδα. Σύμφωνα λοιπόν με αυτό ενδέχεται :

- Να χρησιμοποιηθούν πινακοποιημένες τιμές θερμικής αγωγιμότητας του υλικού.
- Να χρησιμοποιηθούν πινακοποιημένες τιμές ισοδύναμης θερμικής αγωγιμότητας για πιο σύνθετα στοιχεία.
- Να γίνουν μετρήσεις θερμικής αγωγιμότητας των υλικών ή θερμικής αντίστασης των στοιχείων κατά μόνας.
- Να γίνουν μετρήσεις θερμικής αντίστασης των κτισμένων τοίχων.
- Με τη χρήση πινακοποιημένων ή μετρημένων τιμών θερμικής αγωγιμότητας της μάζας να γίνουν υπολογισμοί της θερμικής αντίστασης του στοιχείου ή της τοιχοποιίας. Αυτοί οι υπολογισμοί χωρίζονται σε δύο κατηγορίες , τους απλοποιημένους (EN ISO 6946) και αυτούς που χρησιμοποιούν αριθμητικές μεθόδους (π.χ. μεθόδους πεπερασμένων στοιχείων), οι απαιτήσεις πιστοποίησης των οποίων αναφέρονται στο πρότυπο EN 1745.

2.4 Δομικά υλικά

2.4.1 Γυψοσανίδα

Μια γυψοσανίδα αποτελείται από τον εσωτερικό πυρήνα, που είναι ασβεστοκονίαμα γύψου (η ημι-ένυδρη μορφή θειικού άλατος ασβεστίου) και νερού, συνθέτοντας τον τελικό εσωτερικό πυρήνα που είναι ο διυδρίτης θειικού ασβεστίου ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), και από δύο φύλλα χαρτονιού. Επίσης, μία γυψοσανίδα μπορεί να περιέχει κάποια ποσότητα ελεύθερης υγρασίας και διάφορες άλλες ανόργανες ενώσεις, όπως το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) και μαγνήσιο (MgCO_3). Τέλος, ανάλογα με την εφαρμογή τους μπορεί να περιέχουν και διάφορα άλλα πρόσμικτα που μειώνουν την υδροαπορροφητικότητα τους (για χώρους με υψηλά ποσοστά υγρασίας, π.χ. μπάνια) ή αυξάνουν την αντοχή τους στη φωτιά (για χώρους που απαιτούν αυξημένη παθητική πυροπροστασία).



Εικόνα 2.1 Φύλλο γυψοσανίδας

Η γυψοσανίδα χρησιμοποιείται ευρέως στον κατασκευαστικό κλάδο σε παγκόσμιο επίπεδο. Αυτό οφείλεται στην ευκολία κατασκευής της, στην ευρεία διαθεσιμότητα της πρώτης ύλης για την παραγωγή της, στην φιλικότητα προς το περιβάλλον, καθώς και στην ενδόθερμη διαδικασία αφυδάτωσης που λαμβάνει χώρα όταν εκτίθεται στη φωτιά. Το τελευταίο χαρακτηριστικό της γυψοσανίδας είναι και αυτό που παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την πυρασφάλεια των κτιρίων. Συγκεκριμένα, όταν η γυψοσανίδα είναι εκτεθειμένη σε φωτιά, το ελεύθερο νερό που περιέχει (υπό τη μορφή υγρασίας), καθώς και το κρυσταλλικό νερό εξατμίζονται και μετακινούνται απορροφώντας μεγάλα ποσά θερμότητας με αποτέλεσμα για ορισμένο χρονικό διάστημα η θερμοκρασία του τοίχου να παραμένει σχεδόν σταθερή ή να αυξάνεται με πολύ χαμηλό ρυθμό. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό από άποψη ασφάλειας, καθώς προσφέρει επαρκή χρόνο για την εκκένωση ενός κτιρίου (Axenpenko και Thorpe, 1995). Έτσι γίνεται αντιληπτό πως η ικανότητα μιας γυψοσανίδας να επιβραδύνει τη διείδυση της φωτιάς σε τοίχους και οροφές, όπου και χρησιμοποιείται, είναι ο κύριος λόγος για την ευρεία χρήση της σε κλασικές ελαφριές κατασκευές, όπως σε χαλύβδινα ή ξύλινα δοκάρια και σε τοίχους κατασκευασμένους από γυψοσανίδα. Οι κατασκευές αυτές αποτελούνται από δύο ή περισσότερα φύλλα γυψοσανίδων εκατέρωθεν των δύο πλευρών των δοκαριών, ενώ η μεταξύ τους κοιλότητα είναι μονωμένη ή έχει αφεθεί κενή.

Πλεονεκτήματα χρήσης γυψοσανίδας στις κατασκευές :

- Εύχρηστο υλικό (κόβεται, μεταφέρεται και τοποθετείται εύκολα)
- Δίνει λύσεις σε εφαρμογές όπου απαιτούνται ειδικές διαστάσεις και ειδικά σχήματα
- Χαμηλό βάρος, έτσι προτιμάται σε περιπτώσεις όπου πρέπει να διατηρηθεί το βάρος της κατασκευής σε χαμηλά επίπεδα
- Μικρός όγκος που οδηγεί σε εξοικονόμηση πολύτιμου χώρου ειδικά σε περιπτώσεις κατοικιών
- Πολύ καλή συμπεριφορά στη φωτιά
- Επίπεδες και ενιαίες επιφάνειες κατάλληλες για βάψιμο ή άλλο φινίρισμα
- Υψηλή σταθερότητα-ακαμψία
- Γρήγορη τοποθέτηση και οικονομική
- Εξαιρετική θερμομόνωση και ηχομόνωση

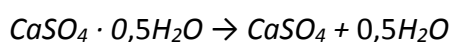
2.4.1.1 Συμπεριφορά γυψοσανίδας έναντι πυρκαγιάς

Η γυψοσανίδα αποτελείται κυρίως από γύψο, ενώ περιέχει επίσης ελεύθερο νερό υπό τη μορφή υγρασίας. Η συμπεριφορά του γύψου στις πυρκαγιές μελετάται από το 1960 περίπου (Ryan, 1962). Ο καθαρός γύψος στην φυσική του μορφή είναι ουσιαστικά ένα ορυκτό με κρυσταλλική μορφή, το οποίο περιέχει κρυσταλλικό νερό σε ποσοστό 21% κατά βάρος (Ang και Wang, 2004) και έχει χημικό τύπο $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (διυδρίτης θειικού ασβεστίου) (Thomas, 2002). Οι βιομηχανίες παραγωγής γυψοσανίδων προσθέτουν διάφορες χημικές ενώσεις (σε μικρές ποσότητες) για να αυξήσουν την απόδοσή του όταν είναι εκτεθειμένος σε υψηλές θερμοκρασίες.

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της γυψοσανίδας είναι η συμπεριφορά της έναντι πυρκαγιάς. Όταν μια γυψοσανίδα είναι εκτεθειμένη σε μία πηγή θερμότητας, το κρυσταλλικό νερό αποσπάται από το κρυσταλλικό πλέγμα και ατμοποιείται (Thomas, 2002). Κατά την θέρμανσή της, η γυψοσανίδα υφίσταται δύο ενδόθερμες αντιδράσεις αφυδάτωσης. Αυτές οι δύο αντιδράσεις, οι οποίες συνοδεύονται από απορρόφηση ενός μεγάλου ποσού ενέργειας, προκαλούν την επιβράδυνση του ρυθμού μεταφοράς θερμότητας μέσα στη γυψοσανίδα. Η πρώτη αντίδραση που λαμβάνει χώρα είναι η διάσπαση του διυδρίτη σε ημιυδρίτη:



Το προϊόν που προκύπτει ονομάζεται ημιυδρίτης θειικού ασβεστίου, το οποίο με την σειρά του αφυδατώνεται. Οι δύο αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα στο εύρος 80-250°C και εξαρτώνται κυρίως από τον ρυθμό θέρμανσης. Η δεύτερη αυτή αντίδραση περιγράφεται ως εξής:



Το προϊόν που προκύπτει ονομάζεται ανυδρίτης θειικού ασβεστίου και έχει τη μορφή μιας ξηρής και μη συνεκτικής σκόνης η οποία μετά αποσπάται από την γυψοσανίδα. Για την συγκράτηση της γυψοσανίδας ώστε να μην καταρρεύσει χρησιμοποιούνται υαλονήματα (fiberglass).

Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι σε θερμοκρασίες 600°C-800°C λαμβάνει χώρα η αποσύνθεση του ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) και του ανθρακικού μαγνησίου (MgCO_3).

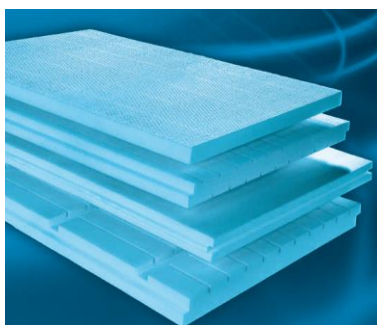


2.4.2 Μονωτικά Υλικά

Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς μονωτικών υλικών σε υψηλές θερμοκρασίες. Τα μονωτικά υλικά που μελετήθηκαν είναι τα εξής : i)Διογκωμένη πολυστερίνη, ii)Πολυουρεθάνη, iii)Πετροβάμβακας, iv) Θερμοσοβάς.

2.4.2.1 Διογκωμένη Πολυστερίνη

Η διογκωμένη πολυστερίνη (expanded polystyrene, EPS) είναι ένα άκαμπτο και σκληρό υλικό. Είναι συνήθως λευκό και φτιαγμένο από προεκτεταμένες χάντρες πολυστυρολίου και πολυστυρενίου. Λόγω των τεχνικών ιδιοτήτων του όπως το χαμηλό βάρος, η ακαμψία και η διαμορφωσιμότητα, το EPS μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών εφαρμογών, οι οποίες εκτείνονται από τη συσκευασία τροφίμων μέχρι την δημιουργία μονωτικών υλικών. Επίσης, με την προσθήκη υλικών πληρώσεως όπως γραφίτης, αλουμίνιο ή άνθρακες, η θερμική αγωγιμότητα του EPS φτάνει σε τιμές της τάξης των 0,030-0,034 W/mK. Στη περίπτωση αυτή το υλικό αποκτά ένα γκρίζο ή μαύρο χρώμα που το διαφοροποιεί από το τυποποιημένο EPS.



Εικόνα 2.2 Διογκωμένη πολυστερίνη

Ο αφρός πολυστερίνης παράγεται από διόγκωση πολυμερισμένου στυρολίου και αποτελείται σύμφωνα με το DIN 18164 από 1,5% ως 2% πολυστερίνη και 98% αέρα, ανάλογα με την πυκνότητα. Ο αέρας βρίσκεται εγκλωβισμένος μέσα σε μεγάλο αριθμό κυψελίδων.



Εικόνα 2.3 Σύσταση διογκωμένης πολυστερίνης (EPS)

Το πολυστυρόλιο είναι ένας υδρογονάνθρακας όπου τα κέντρα άνθρακα είναι συνδεδεμένα με τις φαινυλικές ομάδες. Αποτελείται από τα χημικά στοιχεία : άνθρακας και υδρογόνο. Οι ιδιότητες του υλικού καθορίζονται από τους περιορισμένου φάσματος δεσμούς Van der Waals μεταξύ των πολυμερών αλυσίδων. Δεδομένου ότι τα μόρια είναι μακριές αλυσίδες υδρογονανθράκων που αποτελούνται από χιλιάδες άτομα, η συνολική δύναμη έλξης μεταξύ των μορίων είναι μεγάλη. Όταν θερμανθούν οι αλυσίδες είναι σε θέση να πάρουν έναν υψηλότερο βαθμό διαμόρφωσης και να γλιστρήσουν η μία μετά την άλλη. Αυτή η διαμοριακή αδυναμία παρέχει την ευελιξία και την ελαστικότητα. Η δυνατότητα του συστήματος να παραμορφώνεται εύκολα πάνω από τη θερμοκρασία μετάβασης γυαλιού επιτρέπει στο πολυστυρόλιο και γενικά σε θερμοπλαστικά πολυμερή σώματα, να γίνονται εύκολα πιο μαλακά και να διαμορφώνονται κατά τη διαδικασία της θέρμανσης.

Η διογκωμένη πολυστερίνη (expanded polystyrene, EPS) ήταν από τα πρώτα θερμομονωτικά υλικά που εμφανίστηκαν και επί δεκαετίες υπήρξε ως το πλέον χρησιμοποιούμενο υλικό στις κτιριακές εφαρμογές της θερμομόνωσης. Στη συνέχεια, με την εμφάνιση της εξηλασμένης πολυστερίνης (extruded polystyrene, XPS) που υπερτερεί σαφώς ως υλικό σε όλες της τις ιδιότητες, αλλά και με την εξάπλωση των συστημάτων ξηράς δόμησης (όπου χρησιμοποιούνται τα ινώδη υλικά) η χρήση της έχει περιοριστεί.

Η διογκωμένη πολυστερίνη (περισσότερο γνωστή στην ελληνική αγορά ως φελιζόλ) ανήκει στα οργανικά τεχνητά θερμομονωτικά υλικά. Η πολυστερίνη, που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη είναι αρωματική ουσία της οικογένειας των βενζολίων προερχόμενη από την πετροχημική βιομηχανία. Με ειδική επεξεργασία πολυμερισμού η πρώτη ύλη παίρνει τη μορφή μικρών κόκκων με σταθερή χημική σύσταση και θερμοπλαστικές ιδιότητες. Οι κόκκοι διογκώνονται και μετατρέπονται σε σφαιρίδια διαμέτρου 5-6mm. Από εκεί και πέρα οδηγούνται σε ειδικές πρέσες για επιπλέον διόγκωση και συγκόλληση των σφαιριδίων και υπάρχουν δύο τρόποι παραγωγής:

- Με τον πρώτο τρόπο το προϊόν βγαίνει στην τελική του μορφή από το καλούπι με τυποποιημένες διαστάσεις και διαμορφωμένη επιφάνεια (η λεγόμενη καλουπωτή ή χυτή πολυστερίνη).
- Με τον δεύτερο τρόπο το προϊόν βγαίνει από την πρέσα σε μορφή μεγάλων blocks, τα οποία στη συνέχεια κόβονται σε κοπτικές μηχανές δίνοντας πλάκες ή ειδικά κομμάτια διαφόρων σχημάτων (π.χ. κυλίνδρων) και διαστάσεων.

Πλεονεκτήματα διογκωμένης πολυστερίνης :

- Εύχρηστο υλικό (κόβεται, μεταφέρεται και τοποθετείται εύκολα)
- Έχει χαμηλό κόστος, με αποδεκτές θερμομονωτικές ιδιότητες
- Καλή συνεργασία με όλα τα οικοδομικά υλικά
- Δίνει λύσεις σε εφαρμογές όπου απαιτούνται ειδικές διαστάσεις και ειδικά σχήματα

Μειονεκτήματα διογκωμένης πολυστερίνης :

- Εάν χρησιμοποιηθεί χωρίς να σταθεροποιηθεί, συρρικνώνεται και επίσης κρατά την υγρασία που εισχωρεί στη μάζα της
- Στις χαμηλές πυκνότητες δεν έχει μηχανικές αντοχές
- Αποκλείεται η εφαρμογή της σε χώρους όπου αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες
- Προσβάλλεται από την ηλιακή ακτινοβολία
- Προσβάλλεται από διαλύτες, έντομα και τρωκτικά
- Είναι εύφλεκτη (η καλουπωτή είναι αυτοσβενόμενη) και στη φωτιά εκλύει αέρια

Η διογκωμένη πολυστερίνη έχει ένα μεγάλο μέρος εφαρμογών στις κατασκευές, όπως :

- Θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας (Εικόνα 2.4.)
- Θερμομόνωση στοιχείων από σκυρόδεμα (Εικόνα 2.5)
- Θερμομόνωση στεγών
- Πλήρωση κενών μεγάλων αρμών διαστολής
- Καλούπια για κορνίζες ή σχήματα στις επιφάνειες σκυροδέματος



Εικόνα 2.4 Θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας με διογκωμένη πολυστερίνη



Εικόνα 2.5 Θερμομόνωση στοιχείων από σκυρόδεμα με διογκωμένη πολυστερίνη

2.6.2.2 Συμπεριφορά διογκωμένης πολυστερίνης σε υψηλές θερμοκρασίες

Πολλές είναι οι μεταβολές που παρατηρούνται κατά τη διάρκεια της θερμοκρασιακής μεταβολής της διογκωμένης πολυστερίνης. Σε πρώτο στάδιο εμφανίζεται κατάρρευση ορισμένων χαντρών και ταυτόχρονα οι χάντρες αυτές ουσιαστικά μειώνονται σε όγκο όταν το δείγμα θερμαίνεται σε θερμοκρασίες της τάξης των 100 με 120 βαθμών κελσίου (°C). Στη συνέχεια οι χάντρες που έχουν προκύψει αρχίζουν και λιώνουν στους 160 βαθμούς κελσίου (°C). Η εξατμίσση του πολυμερούς αρχίζει περίπου στους 275 βαθμούς κελσίου (°C). Έτσι σε θερμοκρασίες της τάξης των 460 με 500 βαθμών κελσίου (°C) το πολυμερές σώμα έχει σχεδόν συνολικά εξατμισθεί. Συγκεκριμένα τα μέγιστα ποσοστά αεριοποίησης παρατηρήθηκαν σε θερμοκρασίες ανάμεσα στο 400-420 βαθμούς κελσίου (°C).

Η πυκνότητα και η δομή της αρχικής χάντρας δεν έχει σημαντική επίδραση στις θερμοκρασίες κατάρρευσης και τήξης. Όσο πιο μεγάλο είναι το μέγεθος των χαντρών τόσο η έναρξη της αεριοποίησης πραγματοποιείται σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Η θερμοκρασία έναρξης και η θερμοκρασία λήξης της αεριοποίησης αυξάνεται όσο αυξάνεται η πυκνότητα του πολυμερούς.

2.4.2.3 Θερμοσοβάς

Ο θερμοσοβάς αποτελεί ένα εξαιρετικά ελαφρύ υλικό, εύκολο στην τοποθέτηση χωρίς να απαιτεί την χρήση στηριγμάτων ή κόλλας. Συγκεκριμένα, ο θερμοσοβάς μπορεί να εφαρμοστεί με δύο τρόπους. Είτε με σοβάτισμα, είτε με την χρήση ψεκαστικού (Εικόνα 2.6). Ο τελευταίος τρόπος είναι ο πιο εύκολος και γρήγορος και εξασφαλίζει ομοιομορφία σε όλη την επιφάνεια του τοίχου. Οι κύριες εφαρμογές του θερμοσοβά εντοπίζονται στην μόνωση νέων και παλαιών κτιρίων, σε εσωτερικούς και εξωτερικούς τοίχους. Έτσι, ενδείκνυται για την ανάπλαση και προστασία φθαρμένων όψεων, αλλά και για την ενίσχυση θερμικής μόνωσης σε

υφιστάμενους τοίχους. Συμπερασματικά, ο θερμοσοβάς χαρακτηρίζεται από μεγάλη θερμική αδράνεια και συντελεί στην καλή θερμομόνωση ενός κτιρίου.



Εικόνα 2.6 Εφαρμογή θερμοσοβά με τη χρήση ψεκαστικού

2.4.2.4 Συμπεριφορά θερμοσοβά σε υψηλές θερμοκρασίες

Ο θερμοσοβάς αποτελείται από τσιμέντο και από διογκωμένη πολυστερίνη. Έτσι, η θερμική του συμπεριφορά σε υψηλές θερμοκρασίες χαρακτηρίζεται από τις επιμέρους θερμικές συμπεριφορές της διογκωμένης πολυστερίνης και του τσιμέντου. Η συμπεριφορά της διογκωμένης πολυστερίνης (EPS) επεξηγήθηκε σε προηγούμενη ενότητα. Έτσι κρίνεται σκόπιμη η αναφορά στην θερμική συμπεριφορά που παρουσιάζει το τσιμέντο σε υψηλές θερμοκρασίες. Για την μελέτη του τσιμέντου σε υψηλές θερμοκρασίες έχουν ληφθεί μετρήσεις DSC (W. Sha et al., 1999), οι οποίες οδηγούν στην εξαγωγή των παρακάτω συμπερασμάτων. Αρχικά, σε θερμοκρασίες της τάξης των 100 βαθμών κελσίου παρατηρείται μια ενδόθερμη αντίδραση, η οποία αντιστοιχεί στην αφυδάτωση του νερού που εμπεριέχει το τσιμέντο. Στη συνέχεια, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία παρουσιάζονται άλλες ενδόθερμες αντιδράσεις. Συγκεκριμένα, σε θερμοκρασίες κοντά στους 450 βαθμούς κελσίου παρατηρείται αποσύνθεση του υδροξυλίου που υπάρχει στην σύσταση του τσιμέντου. Τέλος, παρατηρείται μια τελευταία ενδόθερμη αντίδραση σε θερμοκρασίες της τάξης των 650 βαθμών κελσίου. Αυτή η τρίτη αντίδραση αντιστοιχεί στην αποσύνθεση του ανθρακικού ασβεστίου, μαζί με πιθανούς μετασχηματισμούς φάσης που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό του υλικού.

2.4.2.5 Πολυουρεθάνη

Η πολυουρεθάνη ανήκει στην κατηγορία των ενώσεων που ονομάζονται πολυμερείς αντιδράσεις, η οποία περιλαμβάνει εποξικά, πολυεστέρες, καθώς και φαινόλες. Η πολυουρεθάνη παράγεται από την πολυπροσθετική αντίδραση ενός πολυισοκυανικού με πολυαλκοόλη (πολυόλης) παρουσία ενός καταλύτη και άλλων

πρόσθετων. Στην περίπτωση αυτή, ένα μόριο πολυισοκυανικού αποτελείται από δύο ή περισσότερες λειτουργικές ομάδες ισοκυανικού. Ενώ η πολυόλη είναι ένα



Εικόνα 2.7 Πολυουρεθάνη

μόριο με δύο ή περισσότερες λειτουργικές ομάδες υδροξυλίου. Τα μόρια ισοκυανικού θα αντιδράσουν με κάθε μόριο που περιέχει ένα ενεργό υδρογόνο. Είναι σημαντικό το ότι μόρια ισοκυανικού αντιδρούν με το νερό για να διαμορφωθεί μια σχέση ουρίας και αέριο διοξείδιο του άνθρακα. Αντιδρούν επίσης με πολυαιθεραμίνας με αποτέλεσμα τον σχηματισμό πολυουριών.

Εμπορικά, η πολυουρεθάνη παράγεται με αντίδραση υγρού ισοκυανικού με ένα υγρό μείγμα πολυολών, καταλύτη, και άλλων πρόσθετων. Αυτά τα δύο συστατικά μέρη αναφέρονται ως σύστημα πολυουρεθάνης. Το υγρό ισοκυανικό αναφέρεται συνήθως ως το «Α-μέρος» ή «Iso». Το μίγμα των πολυολών και των άλλων προσθέτων αναφέρεται συνήθως ως «Β-μέρος» ή «Poly». Το μίγμα αυτό μπορεί επίσης να ονομάζεται «ρητίνη» ή «μείγμα ρητίνης». Τα πρόσθετα του μείγματος ρητίνης μπορεί να περιλαμβάνουν διαλυτικά αλυσίδων, επιφανειοδραστικές ουσίες, επιβραδυντικά φλόγας, διογκωτικά, χρωστικές ουσίες και υλικά πληρώσεως.

Το πρώτο ουσιαστικό μέρος ενός πολυμερούς πολυουρεθάνης είναι τα ισοκυανικά. Μόρια που περιέχουν δύο ισοκυανικές ομάδες καλούνται διισοκυανικά. Αυτά τα μόρια αναφέρονται επίσης ως μονομερή ή μονομερείς μονάδες, δεδομένου ότι αυτά τα ίδια είναι που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή πολυμερών ισοκυανικών που περιέχουν τρεις ή περισσότερες λειτουργικές ομάδες ισοκυανικού. Ένα παράδειγμα πολυμερούς ισοκυανικού είναι το πολυμερικά διισοκυανικό διφαινυλομεθάνιο, το οποίο είναι ένα μίγμα μορίων με δύο, τρεις, τέσσερις ή και περισσότερες ισοκυανικές ομάδες.

Η δεύτερη βασική συνιστώσα ενός πολυμερούς πολυουρεθάνης είναι η πολυόλη. Τα μόρια που περιέχουν δύο ομάδες υδροξυλίου ονομάζονται διόλες, εκείνα με τρεις ομάδες υδροξυλίου καλούνται τριόλες, κλπ. Στην πράξη, οι πολυόλες διακρίνονται από μικρής αλυσίδας ή χαμηλού μοριακού βάρους διαλυτικά

αλυσίδας γλυκόλης και πολλαπλούς συνδέτες όπως η αιθυλενογλυκόλη (EG), η βουτανοδιόλη (BDO), η διαιθυλενογλυκόλη (DEG), η γλυκερίνη, και το τριμεθακρυλικό (TMP).

Ο σχηματισμός εύκαμπτης αφρώδους πολυουρεθάνης, περιλαμβάνει πολλές αντιδράσεις και σχηματισμούς. Δυο είναι όμως οι κυριότερες αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα και αυτές είναι η αντίδραση πολυμερισμού (polymerization reaction) και η αντίδραση παραγωγής αερίων (blow reaction). Απαιτείται να υπάρχει λεπτή ισορροπία μεταξύ των δύο αυτών αντιδράσεων προκειμένου να σχηματισθεί ένας ανοιχτός αφρός (open-celled) με μια σταθερή δομή και καλές ιδιότητες. Αν αυτό δεν επιτευχθεί, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα σημαντικές ατέλειες στην δομή του αφρού με αποτέλεσμα να επηρεάζονται οι τελικές ιδιότητες του υλικού. Η εμπορική επιτυχία των αφρών πολυουρεθάνης μπορεί να αποδοθεί μερικώς στους καταλύτες που χρησιμοποιούνται και βοηθούν στον ακριβή έλεγχο αυτών των δυο αντιδράσεων.

2.4.2.6 Ινώδη μονωτικά υλικά

Τα ινώδη μονωτικά υλικά αποτελούνται από δύο στοιχεία:

- Ίνες πολύ μικρής διαμέτρου (συνήθως $d < 15 \mu\text{m}$), οι οποίες είναι ορυκτής προέλευσης, π.χ. πετροβάμβακας και υαλοβάμβακας.
- Αέριο, που περιέχεται μεταξύ των ινών. Συνήθως, πρόκειται για ατμοσφαιρικό αέρα, εκτός από ορισμένες ειδικές εφαρμογές, κατά τις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί άλλο αέριο μέσο.

Οι ίνες μπορεί να είναι είτε κάθετα είτε οριζόντια διατεταγμένες, ως προς την προς μόνωση επιφάνεια, και είτε να είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους είτε όχι. Το μοντέλο που περιγράφει καλύτερα την δομή ενός ινώδους θερμομονωτικού υλικού είναι αυτό του συμπαγούς και άπειρου κυλίνδρου. Η παραδοχή του άπειρου κυλίνδρου είναι η πλέον κατάλληλη, διότι το μήκος των ινών (το οποίο είναι της τάξης των μερικών χιλιοστών), είναι κατά πολύ μεγαλύτερο της διαμέτρου (η οποία είναι της τάξης των μερικών μικρών).

Η μετάδοση θερμότητας στο εσωτερικό ενός ινώδους θερμομονωτικού υλικού πραγματοποιείται με τους παρακάτω μηχανισμούς:

- Με θερμική αγωγή μέσω στερεού σώματος (ίνες).
- Με θερμική αγωγή μέσω αερίου μέσου (αέρας στα διάκενα των ινών).
- Με συναγωγή από τον αέρα ανάμεσα στις ίνες.
- Με ακτινοβολία μεταξύ των ινών.

Όσον αφορά στη συνεισφορά του κάθε μηχανισμού μετάδοσης θερμότητας, ανάλογα με τις συνθήκες εφαρμογής του υλικού, μπορούν να προκύψουν ορισμένες παρατηρήσεις. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση υψηλών θερμοκρασιών οι ίνες ακτινοβολούν εντονότερα και η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται κυρίως με ακτινοβολία. Επιπλέον, η συναγωγή οφείλεται στην κίνηση του αερίου που περιέχεται εντός του υλικού μεταξύ των ινών. Επομένως, για χαμηλές πιέσεις, η συγκέντρωση του αέρα ανάμεσα στις ίνες είναι μικρή και η συνεισφορά της συναγωγής στη συνολική μετάδοση θερμότητας είναι αμελητέα.

2.4.2.6.1 Πετροβάμβακας

Πετροβάμβακας (Mineral Wool) ονομάζεται ένα ινώδες μονωτικό υλικό το οποίο χρησιμοποιείται στις οικοδομές αλλά και σε άλλες τεχνικές εφαρμογές. Ο πετροβάμβακας αποτελείται από ίνες οξειδίου πυριτίου - αλουμινίου και έχει θερμομονωτικές και ηχομονωτικές ιδιότητες.



Εικόνα 2.8 Πετροβάμβακας (Mineral Wool)

Οι κύριες χημικές ενώσεις που περιλαμβάνονται στον πετροβάμβακα είναι τα οξείδια του πυριτίου, αλουμινίου, ασβεστίου, μαγνησίου και σιδήρου. Σύμφωνα με αυστηρές προδιαγραφές, τα ακατέργαστα υλικά τοποθετούνται σε ένα κλίβανο όπου τήκονται σε θερμοκρασία πάνω από 1400°C. Σε αυτή τη φάση τήξης των ακατέργαστων υλικών, χρησιμοποιείται γαιάνθρακας ως ενεργειακή πηγή. Ως πρόσθετη πηγή ενέργειας, χρησιμοποιείται πετρέλαιο για την αποτέφρωση των αερίων του καπναγωγού. Με ένα σύστημα καθαρισμού των αερίων του καπναγωγού, σκόνη και μονοξείδιο του άνθρακα κατακρατούνται, ενώ ένα μεγάλο μέρος ενέργειας επιστρέφει στην διαδικασία παραγωγής. Η μάζα που παράγεται από τη διαδικασία τήξης στον κλίβανο καταλήγει σε διάταξη που δημιουργεί τις ίνες με μηχανισμό φυγοκέντρισης. Ο μηχανισμός διαλύει τη μάζα σε σταγόνες και διερχόμενος αέρας διασπά τις σταγόνες σε ίνες. Οι ίνες περνάνε μέσα σε ένα θάλαμο συγκέντρωσης και έτσι επιτυγχάνεται η δημιουργία ενός αρχικού στρώματος μονωτικού υλικού από πετροβάμβακα.



Εικόνα 2.9 Αρχικό στρώμα πετροβάμβακα

Στο στάδιο αυτό προστίθεται ένας συνδέτης, με σκοπό τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων των παραγόμενων πλακών πετροβάμβακα. Το αρχικό στρώμα καταλήγει σε ένα σύστημα εναπόθεσης το οποίο επιτρέπει την δημιουργία εξαιρετικών μονωτικών χαρακτηριστικών προσδίδοντας μια ομοιόμορφη κατανομή των ινών και υψηλά ποσοστά συνύφανσης. Έτσι παράγεται περισσότερος χώρος για την συγκράτηση του αέρα, που είναι από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του μονωτικού υλικού. Στον θάλαμο ξήρανσης, πραγματοποιείται η διαδικασία της ξήρανσης και ωρίμανσης η οποία μαζί με τη στερέωση των ινών παρέχουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μονωτικού υλικού. Η διαδικασία διεξάγεται στους 270°C με εξάτμιση του νερού και ωρίμανση του συνδέτη που είχε προστεθεί σε προηγούμενο στάδιο. Όλα τα απαέρια αποτεφρώνονται και φιλτράρονται και έτσι κλείνει ο κύκλος της χρήσης των απαερίων.

Μετά την διαδικασία της ξήρανσης ακολουθεί το κόψιμο των τελικών προϊόντων στις απαιτούμενες διαστάσεις (Εικόνα 2.10), το στοίβαγμα και το πακετάρισμα.



Εικόνα 2.10 Τεμαχισμός πλακών πετροβάμβακα στις απαιτούμενες διαστάσεις

Ο πετροβάμβακας έχει πυκνότητα (30 kg/m^3) και ιδιαίτερα καλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας που κυμαίνεται από 0,033 ως 0,045 W/mK. Ωστόσο, η υψηλή θερμομονωτική του ικανότητα επηρεάζεται σημαντικά στην περίπτωση προσβολής του από την υγρασία, έτσι ώστε να κρίνεται αναγκαία η λήψη μέτρων προστασίας από την υγρασία είτε με την προσθήκη οργανικών ενώσεων του πυριτίου είτε με την τοποθέτηση επικάλυψης φύλλων αλουμινίου ή γύψου. Η

Θερμομονωτική ικανότητα του πετροβάμβακα επηρεάζεται αρνητικά επίσης και από την αυξημένη παρουσία συμπαγών σφαιριδίων τήξης, χρώματος καφέ ή μαύρου, που δημιουργούνται παράλληλα με τις επιθυμητές ίνες στη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας.

Ο πετροβάμβακας διαθέτει ιδιαίτερα υψηλή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι οι πρώτες ύλες και τα πρόσθετα στον πετροβάμβακα κατά την παραγωγή λιώνουν σε μεγάλες θερμοκρασίες. Η ανώτερη θερμοκρασία εφαρμογής (750 βαθμοί Κελσίου) καθορίζει μέχρι ποια θερμοκρασία διατηρεί το μονωτικό υλικό τις ιδιότητες του. Για αυτό και ο πετροβάμβακας βρίσκει εφαρμογή σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, στη μόνωση λεβήτων, σε πόρτες πυρασφάλειας, σε κατασκευές που αφορούν στην πυρασφάλεια σε πλοία, καθώς και στην περιοχή της τεχνολογίας του εξαερισμού (αγωγοί εξαερισμού). Ο πετροβάμβακας διαθέτει πολύ καλή συμπεριφορά στην πυρκαγιά. Αντιθέτως, εμφανίζει μικρή αντοχή στον εφελκυσμό (0,005 N/mm²) και χαμηλό όριο θραύσης από 0,00012 έως 0,0075 N/mm³. Όσον αφορά στις ακουστικές ιδιότητες του παρουσιάζει χαμηλό βαθμό απορρόφησης του ήχου σε σχέση με άλλα υλικά, όπως ο υαλοβάμβακας στις χαμηλές συχνότητες. Ωστόσο στις υψηλές συχνότητες έχει πολύ καλό βαθμό απορρόφησης του ήχου. Επίσης δεν προσβάλλεται από έντομα και τρωκτικά, ούτε και από χημικές ενώσεις.

Πλεονεκτήματα πετροβάμβακα :

- Είναι άκαυστο υλικό
- Σε μεγάλες πυκνότητες, έχει υψηλές μηχανικές αντοχές
- Εφαρμόζεται σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών
- Δεν φθείρεται με το πέρασμα του χρόνου, διατηρώντας παράλληλα όλες τις ιδιότητες του και την σταθερότητα των διαστάσεων του
- Δεν προσβάλλεται από διαλύτες και δεν προσβάλλει τα μέταλλα
- Δεν προσβάλλεται από έντομα και παράσιτα
- Οι ιδιότητες του δεν επηρεάζονται από την ηλιακή ακτινοβολία
- Είναι άοσμος

Μειονεκτήματα Πετροβάμβακα:

- Η πορώδης φύση του επιτρέπει την είσοδο υδρατμών
- Δύσκολη και επικίνδυνη τοποθέτηση

Ο πετροβάμβακας έχει ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών, τόσο σε κτίρια όσο και σε βιομηχανικές μονώσεις. Συγκεκριμένα, ο πετροβάμβακας χρησιμοποιείται σε οικοδομικές και βιομηχανικές εφαρμογές για θερμο-ηχομόνωση, σε :

- Εσωτερική ή εξωτερική τοιχοποιία
- Στέγες (Εικόνα 2.11)



Εικόνα 2.11 Εφαρμογή στρώματος πετροβάμβακα σε στέγη

- Δάπεδα και οροφές (Εικόνα 2.12)



Εικόνα 2.12 Εφαρμογή στρώματος πετροβάμβακα σε οροφή

- Συστήματα ξηράς δόμησης και ψευδοροφές
- Αεραγωγούς θέρμανσης, κλιματισμού, καυσαερίων
- Σωληνώσεις και δεξαμενές με ρευστά πολύ υψηλών ή πολύ χαμηλών θερμοκρασιών (Εικόνα 2.13)



Εικόνα 2.13 Εφαρμογή πετροβάμβακα σε σωλήνωση

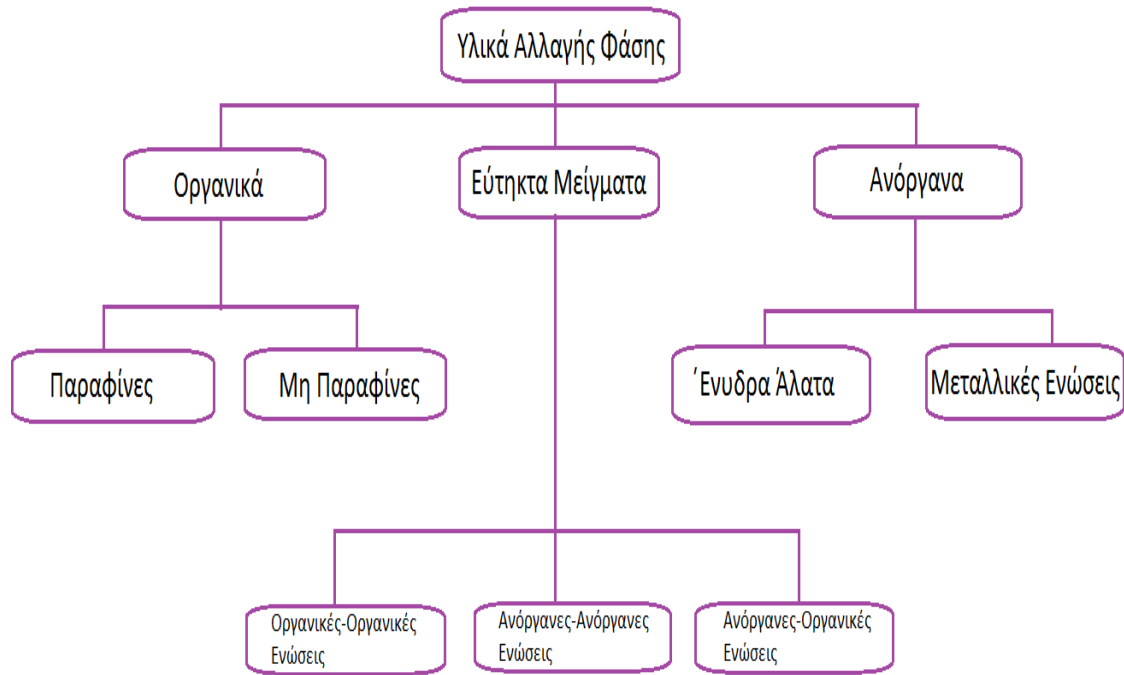
2.4.3 Υλικά αλλαγής φάσης

Τα Υλικά Αλλαγής Φάσης (ΥΑΦ) είναι υλικά τα οποία μπορούν να αλλάζουν φάση (από στερεά σε υγρή και αντίστροφα) όταν χρησιμοποιούνται σε μια εφαρμογή. Η αλλαγή φάσης μπορεί να γίνει με δύο τρόπους, είτε με την αποθήκευση θερμότητας σε λανθάνουσα μορφή είτε με την έκλυση θερμότητας σε αισθητή μορφή. Τα ΥΑΦ χάρη στην υφή τους και στα χαρακτηριστικά τους μπορούν να εισαχθούν μέσα σε δομικά υλικά και να συντελέσουν στη βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου. Στη διάρκεια της τήξης ή της στερεοποίησης των υλικών αλλαγής φάσης αποθηκεύεται ή απελευθερώνεται ποσότητα λανθάνουσας θερμότητας, με αποτέλεσμα να διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία των υλικών αλλαγής φάσης. Για τους παραπάνω λόγους η χρησιμοποίηση των υλικών αλλαγής φάσης μέσα σε δομικά υλικά διαθέτει πολλές αισιόδοξες προοπτικές.

Τα ΥΑΦ μπορούν λοιπόν να συμβάλλουν στη βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτιρίου. Ο στόχος αυτός καθίσταται περισσότερο εφικτός αν τα παραπάνω υλικά χαρακτηρίζονται από τις παρακάτω ιδιότητες:

- υψηλή αγωγιμότητα
- μεγάλη τιμή λανθάνουσας θερμότητας
- θερμοκρασία τήξεως σύμφωνη με το θερμοκρασιακό εύρος της εφαρμογής τους
- χημική σταθερότητα
- μικρό κόστος παραγωγής
- μη τοξικά, μη διαβρωτικά
- ανθεκτικά σε πυρκαγιές

Τα ΥΑΦ μπορούν να διακριθούν σε οργανικά σε ανόργανα και σε εύτηκτα (Εικόνα 2.14). Επειδή όμως κανένα μεμονωμένο υλικό δεν συγκεντρώνει όλα τα αναγκαία χαρακτηριστικά για το σχηματισμό ενός κατάλληλου αποθηκευτικού μέσου, συνήθως χρησιμοποιούνται συνδυασμοί των παραπάνω κατηγοριών.



Εικόνα 2.14 Κατηγοριοποίηση των υλικών αλλαγής φάσης [Sharma et al., 2009]

Οι παραφίνες αποτελούν ΥΑΦ που επιτρέπουν την αποθήκευση μεγάλων ποσών θερμότητας κατά την τήξη τους. Πρόκειται για μια ομάδα κορεσμένων υδρογονανθράκων με μεγάλο πλήθος ατόμων άνθρακα στην αλυσίδα τους. Όσο περισσότερα άτομα άνθρακα υπάρχουν στην αλυσίδα, τόσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία τήξης της παραφίνης. Αυτό ισχύει μόνο για τα n-αλκάνια με γραμμική μη διακλαδωμένη ανθρακική αλυσίδα. Για να χρησιμοποιηθούν οι παραφίνες ως ΥΑΦ για αποθήκευση θερμότητας, ειδικά σε υγρή μορφή, είναι απαραίτητο να αποφευχθεί η συσσώρευση της τηγμένης παραφίνης. Η λύση σε αυτό το πρόβλημα επιτυγχάνεται με την χρήση μικρο-κάψουλας για την ενσωμάτωση τους σε δομικά υλικά [Gschwander et al., 2005]. Οι παραφίνες είναι χημικά σταθερές κάτω από τους 500 βαθμούς Κελσίου (°C), παρουσιάζουν μικρές αλλαγές όγκου κατά την τήξη τους, χαμηλή πίεση ατμών μετά την τήξη, είναι ανθεκτικές στην διάβρωση και λιγότερο ακριβές σε σχέση με τα υπόλοιπα υλικά.

Τα τελευταία 40 χρόνια έχουν γίνει συστηματικές μελέτες σχετικά με τα ΥΑΦ. Οι δοκιμές έχουν επικεντρωθεί στη χρήση τους ως μέσα αποθήκευσης θερμότητας στις κατασκευές. Έχει αποδειχθεί, λοιπόν, ότι η εφαρμογή τους σε καλά μονωμένα κτίρια μπορεί να συμβάλει στην εξοικονόμηση θέρμανσης και ψύξης μέχρι κι 25%. Ωστόσο, οι δοκιμές έδειξαν και κάποια τεχνικά προβλήματα, όπως για παράδειγμα διαρροή των ΥΑΦ στην επιφάνεια τοίχων. Μια προσπάθεια για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα έγινε με τον μικροσκοπικό εγκλωβισμό τους σε μικρο-κάψουλες που διαθέτουν προστατευτικά περιβλήματα. Το μεγαλύτερο όμως πρόβλημα εντοπίζεται στην αυξημένη αναφλεξιμότητα των παραφινών που χρησιμοποιούνται τις περισσότερες φορές ως ΥΑΦ.

2.5 Μελέτη θερμικής συμπεριφοράς δομικών υλικών και στοιχείων

2.5.1 Μικρο-κλίμακα

Ένα μεγάλο μέρος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας σχετίζεται με τη μελέτη των χημικών ιδιοτήτων διαφόρων δομικών υλικών σε επίπεδο μικρο-κλίμακας, μιας κλίμακας δηλαδή τάξης μεγέθους nm ή μm. Αντικείμενο της παραπάνω κλίμακας είναι η μελέτη των διάφορων φυσικο-χημικών διεργασιών που εξελίσσονται στο εσωτερικό του υλικού. Παράλληλα ασχολείται με τον προσδιορισμό των φυσικών ιδιοτήτων του υλικού που περιγράφουν πλήρως τα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας και μάζας μέσα σε αυτό. Στην επίτευξη των παραπάνω στόχων συμβάλλει η εξακρίβωση μέσω πειραμάτων της θερμικής συμπεριφοράς δομικών υλικών. Τα πειραματικά όργανα που χρησιμοποιούνται ακολουθούν ορισμένες μεθόδους οι οποίες στηρίζονται σε συγκεκριμένες αρχές θερμικής ανάλυσης και θερμιδομετρίας.

2.5.1.1 Αρχές θερμικής ανάλυσης και θερμιδομετρίας

Η μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς ενός υλικού μπορεί να επιτευχθεί εύκολα με την έκθεση του σε ένα μεταβαλλόμενο θερμοκρασιακό περιβάλλον. Παρατηρώντας τη συμπεριφορά ενός υλικού κατά τη θέρμανση ή και τη ψύξη του αλλά και μετρώντας ποσοτικά τις διάφορες φυσικο-χημικές διεργασίες που μπορεί να λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό του, μπορούν να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα για το υλικό.

Ορισμένες ιδιότητες του υλικού μπορούν να επηρεαστούν από διάφορες μεταβολές στην κρυσταλλική δομή και στους χημικούς δεσμούς που συνθέτουν το υλικό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ειδική θερμοχωρητικότητα η οποία παρουσιάζει δυσκολίες στην μέτρηση της. Από την άλλη μεριά και ορισμένες φυσικές ιδιότητες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη χημική κινητική των διεργασιών που εξελίσσονται στο εσωτερικό του υλικού. Έτσι, κρίνεται αναγκαίος ο προσδιορισμός της χημικής κινητικής αυτών των διεργασιών. Η ανάγκη αυτή οδήγησε στην ανάπτυξη των μεθόδων θερμικής ανάλυσης και θερμιδομετρίας.

2.5.1.2 Διαφορική Θερμιδομετρία Σάρωσης

Η Διαφορική Θερμιδομετρία Σάρωσης (Differential Scanning Calorimetry, DSC) αποτελεί μια διαδεδομένη πειραματική τεχνική θερμικής ανάλυσης. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για τη μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς διάφορων υλικών όπως κεραμικά, πολυμερή, υγροκρυσταλλικά υλικά κ.ά. Η χρήση της συγκεκριμένης τεχνικής αποσκοπεί στη μέτρηση της ποσότητας της θερμότητας που παράγεται ή

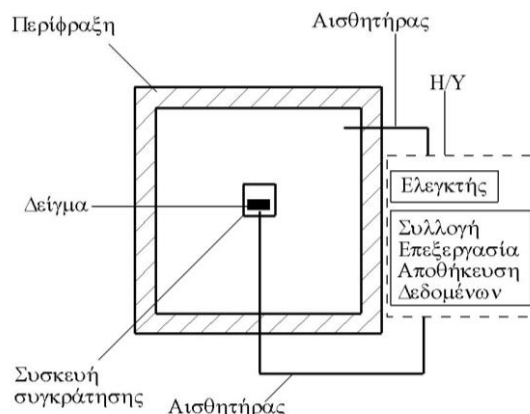
απορροφάται κατά τις θερμικές μεταβολές των σωμάτων και στον υπολογισμό της ειδικής θερμοχωρητικότητας αυτών. Στη θερμοδομετρία για την μέτρηση των ποσοτήτων της θερμότητας γίνεται η παραδοχή ότι το ποσό θερμότητας που παράγεται ή απορροφάται κατά τη μεταβολή της θερμοκρασίας είναι ανάλογο προς τη μάζα του σώματος και τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Επιπλέον, το ποσό θερμότητας που απορροφάται με την αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος κατά ορισμένους βαθμούς, θεωρείται ίσο με το ποσό της θερμότητας που αποδίδεται, όταν ψυχθεί το σώμα, κατά τον ίδιο αριθμό βαθμών.

Η μέθοδος DSC βασίζεται στη μέτρηση της διαφοράς ροής θερμότητας μιας ουσίας και μιας ουσίας αναφοράς σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας, τη στιγμή που το δοκίμιο υπόκειται σε ένα ελεγχόμενο πρόγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας. Κύριο χαρακτηριστικό της μεθόδου αυτής είναι ότι οι διάφορες χαρακτηριστικές θερμοκρασίες, η θερμοχωρητικότητα, η θερμότητα τήξης όπως και οι υπόλοιπες θερμικές παράμετροι μιας χημικής αντίδρασης μπορούν να προσδιοριστούν σε σταθερούς ρυθμούς θέρμανσης και ψύξης. Συγκεκριμένα μετράται η θερμοκρασία και όλα τα υπόλοιπα μεγέθη υπολογίζονται βάση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ δείγματος και ουσίας αναφοράς [Menzel and Prime 2009].

2.5.1.3 Συσσκευή θερμικής ανάλυσης και θερμοδομετρίας

Τα βασικά μέρη που αποτελούν τη συσκευή θερμικής ανάλυσης είναι τα εξής :

- Το δείγμα και η συσκευή συγκράτησης του δείγματος
- Το κάλυμμα του μετρητικού οργάνου, μέσα στο οποίο μπορούν να ρυθμιστούν οι συνθήκες του πειράματος
- Οι αισθητήρες οργάνων για τη μέτρηση της θερμοκρασίας ή κάποιας άλλης ιδιότητας
- ο ηλεκτρονικός υπολογιστής ο οποίος ελέγχει τις παραμέτρους του πειράματος, όπως τον τρόπο μεταβολής της θερμοκρασίας, συλλέγει, επεξεργάζεται και αποθηκεύει τα δεδομένα από τους αισθητήρες των οργάνων



Εικόνα 2.15 Σκαρίφημα της συσκευής θερμικής ανάλυσης ή θερμιδομετρίας

2.5.1.4 Βασικές προϋποθέσεις για την διεξαγωγή των πειραματικών μετρήσεων

Κάθε φορά που η έρευνα βασίζεται σε πειραματικά δεδομένα, λαμβάνουν χώρα διάφοροι παράγοντες οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό την πραγματοποίησή τους και την διεξαγωγή συμπερασμάτων. Ειδικά όταν πρόκειται για πειράματα μικρο-κλίμακας, όπως στην συγκεκριμένη περίπτωση, απαιτείται ακόμη μεγαλύτερη προσοχή σε διάφορες παραμέτρους. Αρχικά, όσον αφορά στο δείγμα θα πρέπει να είναι γνωστή η χημική σύστασή του και οι θερμικές αναλύσεις που ενδέχεται να έχει υποστεί αυτό. Σημαντικό ρόλο επίσης παίζει το σχήμα και το υλικό του δοχείου συγκράτησης. Για παράδειγμα, βαθιά δοχεία μπορεί να περιορίσουν την ροή του αερίου μέσα στο δοχείο, σε σχέση με άλλα δοχεία πιο επίπεδα και πλατιά. Το υλικό του δοχείου είναι σε θέση να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό τη μέτρηση. Συγκεκριμένα, ένα δοχείο κατασκευασμένο από πλατίνα είναι ικανό να καταλύσει αντιδράσεις περισσότερο από ένα άλλο δοχείο που είναι φτιαγμένο από αλουμίνιο. Ίσως ο πιο σημαντικός παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα μιας θερμικής ανάλυσης είναι ο ρυθμός θέρμανσης. Χρησιμοποιώντας έναν αρκετά χαμηλό ρυθμό θέρμανσης επιτυγχάνεται σχετική θερμοδυναμική ισορροπία με αποτέλεσμα να μειώνεται η θερμική υστέρηση στη συσκευή. Αντιθέτως, υψηλός ρυθμός θέρμανσης σημαίνει γρήγορα πειράματα, τα οποία όμως έχουν υψηλή θερμική υστέρηση.

2.5.1.5 Μέτρηση θερμοχωρητικότητας

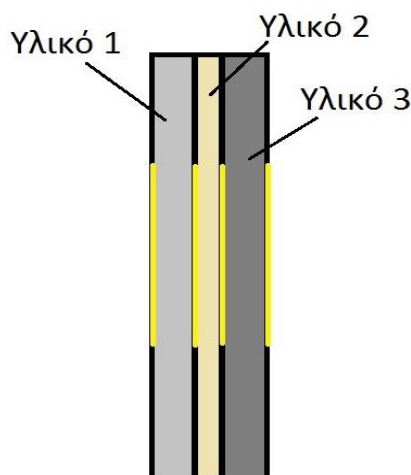
Με τη συσκευή θερμικής ανάλυσης και θερμιδομετρίας υπάρχει η δυνατότητα προσδιορισμού της θερμοχωρητικότητας ενός υλικού. Αρχικά, πραγματοποιείται ένα πείραμα χωρίς δείγμα, όπου δηλαδή στη συσκευή τοποθετούνται δύο κενά δοχεία. Το κελί της συσκευής DSC βρίσκεται αρχικά σε θερμοκρασία T_1 και στη συνέχεια θερμαίνεται με σταθερό ρυθμό μέχρι να φτάσει τη ζητούμενη θερμοκρασία T_2 . Η θερμοκρασία για ένα χρονικό διάστημα παραμένει σταθερή και

ίση με T_2 . Στη συνέχεια, αφού τελειώσει το πείραμα με κενά δοχεία, τοποθετείται στο ένα δοχείο δείγμα και αρχίζει το νέο πείραμα. Στις καμπύλες που προκύπτουν ως αποτέλεσμα από τις δύο παραπάνω μετρήσεις παρατηρείται μια περιοχή ανάμεσά τους η οποία μπορεί να οδηγήσει στον προσδιορισμό μιας μέσης τιμής θερμοχωρητικότητας για το θερμοκρασιακό εύρος $\Delta T = T_1 - T_2$. Ωστόσο, αυτός ο τρόπος υπολογισμού της θερμοχωρητικότητας θα απαιτούσε πολύ χρόνο για να μπορέσει να προκύψει μια συσχέτιση μεταξύ της θερμοχωρητικότητας και της θερμοκρασίας.

Από την άλλη πλευρά υπάρχουν πρότυπα υλικά για τα οποία είναι γνωστή η εξάρτηση της θερμοχωρητικότητας από την θερμοκρασία. Έτσι, αν η συσκευή βαθμονομηθεί με χρήση ενός πρότυπου υλικού, η θερμοχωρητικότητα του δείγματος μπορεί να μετρηθεί σε κάθε θερμοκρασία. Για το λόγο αυτό διεξάγεται και ένα τρίτο πείραμα, ένα πείραμα βαθμονόμησης. Το πιο σύνηθες πρότυπο υλικό που χρησιμοποιείται στη διαδικασία της βαθμονόμησης είναι το ζαφείρι (Sapphire, Al_2O_3).

2.5.2 Μεσο-κλίμακα

Η μεσο-κλίμακα είναι η κλίμακα στην οποία το δείγμα που μελετάται είναι της τάξης μερικών χιλιοστών ή εκατοστών. Το βασικό χαρακτηριστικό της μελέτης της θερμικής συμπεριφοράς του υλικού στην κλίμακα αυτή είναι ο προσδιορισμός της θερμοκρασιακής κατανομής στο εσωτερικό του υλικού, το οποίο εκτίθεται σε ένα μεταβαλλόμενο θερμοκρασιακό περιβάλλον. Η ανάλυση της θερμικής συμπεριφοράς του υλικού σε επίπεδο μεσο-κλίμακας μπορεί να δώσει σημαντικές πληροφορίες για τη βελτίωση του υλικού. Καθίσταται, έτσι, γνωστός ο τρόπος με τον οποίο πρέπει να μεταβληθούν οι φυσικές ιδιότητες του εκάστοτε υλικού, ώστε τελικά να επιτευχθεί το ζητούμενο αποτέλεσμα. Επιπλέον, βασικό πλεονέκτημα της μελέτης σε επίπεδο μεσο-κλίμακας αποτελεί η δυνατότητα ταυτόχρονης μελέτης διαφόρων δομικών υλικών. Συγκεκριμένα, μπορεί να γίνει συνδυασμός δύο ή περισσότερων υλικών με στόχο τον προσδιορισμό του καλύτερου δυνατού συνδυασμού που θα εξασφαλίσει τη βέλτιστη θερμική συμπεριφορά του συνολικού συστήματος (Εικόνα 2.16).



Εικόνα 2.16 Διάταξη δομικών υλικών σε επίπεδο μεσο-κλίμακας

2.5.3 Μακρο-κλίμακα

Η μακρο-κλίμακα (macro-scale), είναι η κλίμακα τάξης μεγέθους μερικών μέτρων, η οποία μελετά τη θερμική συμπεριφορά ενός δομικού υλικού ή ενός συστήματος υλικών, όντας μέρος μιας συνολικής κατασκευής ή ενός κτιρίου. Συγκεκριμένα, η μελέτη σε επίπεδο μακρο-κλίμακας αποτελεί το τελευταίο στάδιο μελέτης ενός δομικού υλικού ή στοιχείου και το πιο πρακτικό, αφού εξετάζεται, ακριβώς, πώς το υλικό που μελετάται, επηρεάζει τη γενικότερη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου. Και σε αυτήν την περίπτωση το πλαίσιο μελέτης που ακολουθείται αφορά τόσο στις πειραματικές μετρήσεις όσο και στην υπολογιστική προσομοίωση. Θα πρέπει, όμως, να σημειωθεί ότι οι πειραματικές μετρήσεις σε επίπεδο μακρο-κλίμακας έχουν μεγάλο οικονομικό κόστος, αλλά και εξαιρετικές δυσκολίες. Για παράδειγμα, η μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς ενός δομικού υλικού, σε επίπεδο μακρο-κλίμακας, το οποίο είναι εγκατεστημένο σε ένα κτίριο, για συνθήκες φωτιάς, θα απαιτούσε την πυρκαγιά του κτιρίου, κάτι το οποίο είναι εξαιρετικά δύσκολο έως ανέφικτο. Για το λόγο αυτό, έχουν αναπτυχθεί πλήθος υπολογιστικών εργαλείων τα οποία μπορούν με ευκολία να προσδιορίσουν την επίδραση ενός δομικού υλικού ή στοιχείου στη συνολική θερμική συμπεριφορά του κτιρίου, στο οποίο είναι εγκατεστημένο.

Κεφάλαιο 3

3. Περιγραφή πειραματικών διατάξεων και μεθοδολογία

3.1 Διαφορική Θερμιδομετρία Σάρωσης

Η μέθοδος DSC, όπως προαναφέρθηκε, βασίζεται στη μέτρηση της διαφοράς ροής θερμότητας μιας ουσίας και μιας ουσίας αναφοράς ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, τη στιγμή που το δοκίμιο υπόκειται σε ένα ελεγχόμενο πρόγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας.

Στην πειραματική συσκευή DSC του εργαστηρίου Ετερογενών Μειγμάτων και Συστημάτων Καύσης αντί να χρησιμοποιείται μόνο ένα θερμοστοιχείο, χρησιμοποιείται μια ομάδα θερμοστοιχείων, που καλείται θερμοσυστοιχία (thermopile). Έτσι, τα θερμοστοιχεία είναι συνδεδεμένα σε σειρά χρησιμοποιώντας συνδεσμολογία τεθλασμένου αέρα. Η διαφορά μεταξύ της θερμοσυστοιχίας του δείγματος και της ουσίας αναφοράς είναι ανάλογη της διαφοράς ροής θερμότητας του δείγματος και της ουσίας αναφοράς.

Συγκεκριμένα στη βάση τοποθέτησης των δοχείων (Εικόνα 3.2) ο δεξιός κύκλος αποτελεί τη θέση του δείγματος αναφοράς. Πρόκειται για ένα κενό μεταλλικό δοχείο τοποθέτησης δείγματος. Ταυτόχρονα στο αριστερό μέρος της βάσης τοποθετείται ένα δοχείο με το προς μέτρηση δείγμα προκειμένου το υλικό να μην έρχεται σε απευθείας επαφή με τα θερμοστοιχεία. Τα δοχεία αυτά είναι κατασκευασμένα από υψηλής θερμικής αγωγιμότητας υλικό, όπως το αλουμίνιο. Τέλος, στο περιβάλλον της βάσης τοποθέτησης δημιουργείται αδρανής ατμόσφαιρα με τη ροή αζώτου και ο θερμικός ελεγκτής αρχίζει να θερμαίνει τα δοχεία με προκαθορισμένο ρυθμό θέρμανσης.



Εικόνα 3.1 Όργανο Διαφορικής Θερμιδομετρίας Σάρωσης METTLER TOLEDO



Εικόνα 3.2 Βάση τοποθέτησης δοχείων στο πειραματικό όργανο (DSC) METTLER TOLEDO

3.1.1 Μελέτη Γυψοσανίδας

Η μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς της γυψοσανίδας σε υψηλές συνθήκες θερμοκρασίας πραγματοποιήθηκε στη συσκευή DSC. Για την πραγματοποίηση της μελέτης συλλέχτηκε δείγμα από ένα φύλλο γυψοσανίδας της τάξης των μερικών mg. Η ποσότητα αυτή πολτοποιήθηκε σε γουδί ώστε το τελικό δείγμα να πάρει τη μορφή σκόνης και να αποκτήσει ομοιόμορφη σύσταση.

Στην μεταβολή των ιδιοτήτων της γυψοσανίδας σε υψηλές θερμοκρασίες σημαντικό ρόλο αποτελεί η πίεση στην οποία βρίσκεται το δείγμα. Για το λόγο αυτό η μελέτη της γυψοσανίδας σε υψηλές συνθήκες θερμοκρασίας πραγματοποιήθηκε σε δύο σειρές πειραμάτων. Συγκεκριμένα οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τοποθετώντας το δείγμα σε κλειστό δοχείο με τρύπα στο καπάκι και σε ανοιχτό δοχείο. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις το δείγμα τοποθετήθηκε σε αλουμινένιο δοχείο 40 μl. Ο ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας ήταν σταθερός σε κάθε μέτρηση. Οι μετρήσεις έγιναν με ρυθμό μεταβολής ίσο με 5, 10, 15 και 20 βαθμούς κελσίου ανά λεπτό ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$). Η θερμοκρασία έναρξης τέθηκε στους 25 βαθμούς κελσίου ($^{\circ}\text{C}$) και η μέτρηση σταματούσε μόλις το περιβάλλον έφτανε σε θερμοκρασία 600 βαθμών κελσίου ($^{\circ}\text{C}$). Οι μετρήσεις στη συσκευή DSC έγιναν σε δείγματα της τάξης των 16-17

mg με χρήση αδρανούς περιβάλλοντος αζώτου (N₂). Η μάζα των δειγμάτων μετρήθηκε με ζυγαριά υψηλής ακρίβειας της εταιρείας METTLER TOLEDO (Εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.3 Ζυγαριά τύπου AB265-S/FACT της εταιρείας METTLER TOLEDO

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται με ακρίβεια οι μάζες των δειγμάτων γυψοσανίδας που μετρήθηκαν για κάθε ρυθμό θέρμανσης σε κλειστό και σε ανοιχτό δοχείο.

Πίνακας 3.1 Αρχικές μάζες δειγμάτων γυψοσανίδας σε περιβάλλον αζώτου

Ρυθμός θέρμανσης [K/min]	Ανοιχτό δοχείο (20μl)	Κλειστό δοχείο με τρύπα(40μl)
5	16,33	16,37
10	16,31	16,34
15	16,04	16,38
20	16,16	16,46

3.1.2 Μελέτη διογκωμένης πολυστερίνης (EPS)

Η μελέτη της διογκωμένης πολυστερίνης πραγματοποιήθηκε με χρήση της συσκευής DSC. Στο πρώτο στάδιο του πειράματος το δείγμα τοποθετήθηκε σε φούρνο τύπου MJ33 της εταιρείας METTLER TOLEDO (Εικόνα 3.4) ώστε να αφαιρεθεί κάθε ίχνος υγρασίας.



Εικόνα 3.4 Φούρνος MJ33 της εταιρείας METTLER TOLEDO

Στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν τα δείγματα ήταν της τάξης των 7-8 mg και τοποθετήθηκαν σε δοχεία αλουμινίου των 20μl. Λόγω της σύστασης του EPS υπήρξε η δυσκολία να συγκεντρωθεί η συγκεκριμένη ποσότητα μάζας μέσα σε δοχείο 20μl. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος χρησιμοποιήθηκε χειροκίνητη πρέσα της εταιρείας Pellet Press (Εικόνα 3.5). Έτσι συμπιέστηκε η μάζα της διογκωμένης πολυστερίνης και τοποθετήθηκε στο κατάλληλο δοχείο για να μετρηθεί στο όργανο του DSC. Ο ρυθμός μεταβολής του θερμοκρασιακού περιβάλλοντος ήταν σε κάθε μέτρηση σταθερός και ίσος με 5, 10, 15 και 20 βαθμούς κελσίου ανά λεπτό ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$). Η θερμοκρασία έναρξης τέθηκε στους 25 βαθμούς κελσίου ($^{\circ}\text{C}$) και η μέτρηση σταματούσε μόλις το περιβάλλον έφτανε σε θερμοκρασία 600 βαθμών κελσίου ($^{\circ}\text{C}$). Οι μετρήσεις στη συσκευή DSC έγιναν με χρήση αδρανούς περιβάλλοντος αζώτου (N_2). Στη συνέχεια παρουσιάζονται με ακρίβεια οι μάζες των δειγμάτων γυψοσανίδας που μετρήθηκαν για κάθε ρυθμό θέρμανσης.

Πίνακας 3.2 Αρχικές μάζες δειγμάτων διογκωμένης πολυστερίνης σε περιβάλλον αζώτου

Ρυθμός θέρμανσης [K/min]	Κλειστό δοχείο (20μl)
5	7,72
10	7.41
15	7,32
20	7,86



Εικόνα 3.5 Χειροκίνητη πρέσα της εταιρείας Pellet Press

3.1.3 Μελέτη Πετροβάμβακα (Mineral Wool)

Όσο αφορά στη μελέτη του πετροβάμβακα (Mineral Wool) με τη συσκευή DSC ακολουθήθηκε μια διαφορετική διαδικασία για την μέτρηση της θερμοχωρητικότητας. Αρχικά πραγματοποιήθηκε μια σειρά μετρήσεων χωρίς δείγμα. Έτσι, στη συσκευή DSC τοποθετήθηκαν δύο κενά δοχεία. Αφού εξετάστηκαν τα διαγράμματα που προέκυψαν από την κάθε μέτρηση παρατηρήθηκε ότι όσο επαναλαμβανόταν το πείραμα, κάτω από τις ίδιες συνθήκες και στα ίδια δοχεία, τα αποτελέσματα από κάθε μέτρηση σύγκλιναν σε μία καμπύλη. Στη συνέχεια η συσκευή βαθμονομήθηκε με τη χρήση ενός πρότυπου υλικού κατασκευασμένο από ζαφείρι. Το δείγμα αυτό είχε μάζα 24,29 mg και χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις μετρήσεις. Τέλος, πραγματοποιήθηκε μια τελευταία μέτρηση όπου στο ένα δοχείο εισαγόταν δείγμα πετροβάμβακα με μάζα περίπου ίση με 20 mg. Το δείγμα αυτό τοποθετήθηκε σε δοχείο αλουμινίου 20ml. Έτσι για να χωρέσει στο δοχείο μάζα πετροβάμβακα της τάξης των 20 mg χρειάστηκε πρώτα να συμπιεστεί το δείγμα στην πρέσα συμπίεσης της εταιρείας Pellet Press (Εικόνα 3.5). Οι μετρήσεις στη συσκευή DSC έγιναν με χρήση αδρανούς περιβάλλοντος αζώτου (N₂). Το πείραμα πραγματοποιήθηκε αρκετές φορές για θερμοκρασιακό εύρος ίσο με 20 βαθμούς κελσίου (°C). Συγκεκριμένα, οι θερμοκρασίες έναρξης και λήξης, όπως και οι αρχικές μάζες των δειγμάτων πετροβάμβακα για κάθε μια μέτρηση παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 3.3 Θερμοκρασίες έναρξης και λήξης στα πειράματα μέτρησης θερμοχωρητικότητας πετροβάμβακα

Θερμοκρασία έναρξης [°C]	Θερμοκρασία λήξης [°C]	Αρχική μάζα [mg]
30	50	21,68
50	70	22,06
160	180	21,89

240	260	21,71
310	330	21,84
380	400	21,68
480	500	21,89
560	580	21,74

3.1.4 Μελέτη Θερμοσοβά

Η μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς του θερμοσοβά σε υψηλές συνθήκες θερμοκρασίας πραγματοποιήθηκε στη συσκευή DSC. Για την πραγματοποίηση του πειράματος συλλέχθηκε δείγμα θερμοσοβά της τάξης των μερικών mg. Η ποσότητα αυτή πολτοποιήθηκε σε γουδί ώστε το τελικό δείγμα να πάρει τη μορφή σκόνης και να αποκτήσει ομοιόμορφη σύσταση. Το δείγμα τοποθετήθηκε σε αλουμινένιο δοχείο 40 μl. Ο ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας ήταν σταθερός σε κάθε μέτρηση. Οι μετρήσεις έγιναν με ρυθμό μεταβολής ίσο με 5, 10, 15 και 20 βαθμούς κελσίου ανά λεπτό (°C/min). Η θερμοκρασία έναρξης τέθηκε στους 25 βαθμούς κελσίου (°C) και η μέτρηση σταματούσε μόλις το περιβάλλον έφτανε σε θερμοκρασία 600 βαθμών κελσίου (°C). Οι μετρήσεις στη συσκευή DSC έγιναν σε δείγματα της τάξης των 14-15 mg με χρήση αδρανούς περιβάλλοντος αζώτου (N₂). Η μάζα των δειγμάτων μετρήθηκε με ζυγαριά υψηλής ακρίβειας της εταιρείας METTLER TOLEDO (Εικόνα 3-3). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται με ακρίβεια οι μάζες των δειγμάτων γυψοσανίδας που μετρήθηκαν για κάθε ρυθμό θέρμανσης.

Πίνακας 3.4 Αρχικές μάζες δειγμάτων θερμοσοβά σε περιβάλλον αζώτου

Ρυθμός θέρμανσης [K/min]	Κλειστό δοχείο με τρύπα(40μl)
5	14,27
10	14,69
15	14,29
20	14,21

3.2 Πείραμα Μεσαίας Κλίμακας

Εκτός από το πείραμα μικρής κλίμακας σχεδιάστηκε και πραγματοποιήθηκε πείραμα μεσαίας κλίμακας ώστε να προκύψουν εκτενέστερα συμπεράσματα για την θερμική συμπεριφορά των ως προς μελέτη δομικών υλικών σε υψηλές θερμοκρασίες. Έτσι, για την μελέτη της συμπεριφοράς των συγκεκριμένων δομικών υλικών σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε ο πειραματικός φούρνος B180 της εταιρείας Nabertherm (Εικόνα 3.6).



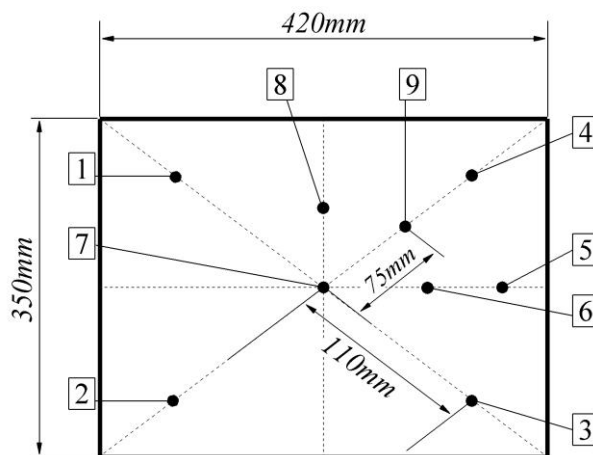
Εικόνα 3.6 Πειραματικός φούρνος B180 της εταιρείας Nabertherm

Για τη μελέτη των δομικών υλικών στο πείραμα μεσαίας κλίμακας στόχος ήταν η δημιουργία ενός περιβάλλοντος το οποίο θα ανταποκρίνεται επαρκώς σε πραγματικές συνθήκες φωτιάς μέσα σε ένα κτίριο. Συγκεκριμένα, κατά την διαδικασία του πειράματος είναι σημαντικό από την μία πλευρά του δοκιμίου να αναπτύσσονται συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και από την άλλη πλευρά συνθήκες περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό κατασκευάστηκε ένα πλαίσιο στήριξης των δομικών υλικών το οποίο αντικατέστησε την πόρτα σφραγίζοντας παράλληλα και την είσοδο του φούρνου. Έτσι, αφαιρέθηκε η πόρτα του φούρνου και το πλαίσιο σχεδιάστηκε έτσι ώστε να εφαρμόζει στις ίδιες υποδοχές με αυτές της πόρτας που προϋπήρχαν ώστε να μην χρειαστεί να τρυπηθεί ο φούρνος για να στερεωθεί το πλαίσιο (Εικόνα 3.7).



Εικόνα 3.7 Είσοδος φούρνου χωρίς πόρτα

Το πλαίσιο αυτό κατασκευάσθηκε από το ίδιο μονωτικό υλικό με αυτό του φούρνου και συγκρατούνταν από ένα μεταλλικό πλαίσιο το οποίο στηριζόταν στο φούρνο. Αρχικά, η πρώτη μέτρηση στο φούρνο έγινε χωρίς την τοποθέτηση κάποιου μονωτικού υλικού. Τοποθετήθηκαν σε ορισμένες θέσεις του πλαισίου θερμοστοιχεία διαφόρων τύπων έτσι ώστε να καταγραφούν οι θερμοκρασίες στην επιφάνεια του πλαισίου στο εσωτερικό του φούρνου (Εικόνα 3.8). Επίσης, η μέτρηση αυτή αποτελούσε μια πρώτη δοκιμή τόσο για την αντοχή των διαφόρων τύπων θερμοστοιχείων όσο και για τον τρόπο με τον οποίο θα έπρεπε αυτά να στηριχθούν πάνω στην επιφάνεια του πλαισίου.



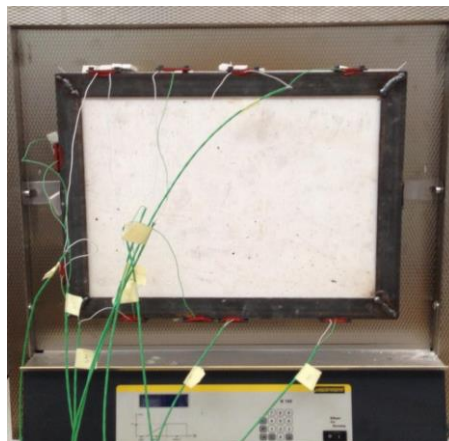
Εικόνα 3.8 Θέσεις θερμοστοιχείων στην επιφάνεια του πλαισίου (1^η Δοκιμή)

Η επιλογή της θέσης των θερμοστοιχείων δεν ήταν τυχαία. Στόχος ήταν να εξασφαλισθεί η ύπαρξη ομοιόμορφα κατανομημένης θερμοκρασίας στην επιφάνεια του πλαισίου. Για το λόγο αυτό τοποθετήθηκαν: ένα θερμοστοιχείο στο κέντρο της επιφάνειας του πλαισίου, τρία θερμοστοιχεία σε απόσταση εβδομήντα πέντε χιλιοστών και άλλα πέντε θερμοστοιχεία σε απόσταση εκατό δέκα χιλιοστών από αυτό. Ο Πίνακας 3.1 παρουσιάζει τον τύπο του κάθε θερμοστοιχείου που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση σε κάθε θέση.

Πίνακας 3.5 Τύπος θερμοστοιχείων σε κάθε θέση

Θέση	Τύπος Θερμοστοιχείου
1	0,01 BW
2	0,01 BW
3	0,01 BW
4	0,01 BW
5	0,003 BW
6	0,005 BW
7	0,005 BARE
8	0,005 BARE
9	0,003 BARE

Μια πρώτη δυσκολία υπήρξε στον τρόπο στήριξης των θερμοστοιχείων πάνω στην επιφάνεια του πλαισίου. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε κεραμική πάστα η οποία όμως δεν είχε συγκολλητικές ικανότητες. Έτσι, μόλις η πάστα στέγνωσε παρατηρήθηκε ότι τα θερμοστοιχεία ξεκολλούσαν από την επιφάνεια του υλικού. Στη συνέχεια, για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος δοκιμάστηκε κόλλα η οποία είχε αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. Έτσι, με την προσθήκη της κόλλας αυτής σε συνδυασμό και με λίγο νερό τα θερμοστοιχεία στηρίχθηκαν πάνω στο πλαίσιο. Τα θερμοστοιχεία συνδέθηκαν με τη συσκευή Agilent 34972A ώστε να προκύψουν οι θερμοκρασίες σε κάθε θέση. Το πλαίσιο βιδώθηκε στο φούρνο(Εικόνα 3.9) και πραγματοποιήθηκε η πρώτη μέτρηση.



Εικόνα 3.9 Στερέωση πλαισίου και θερμοστοιχείων στην είσοδο του φούρνου

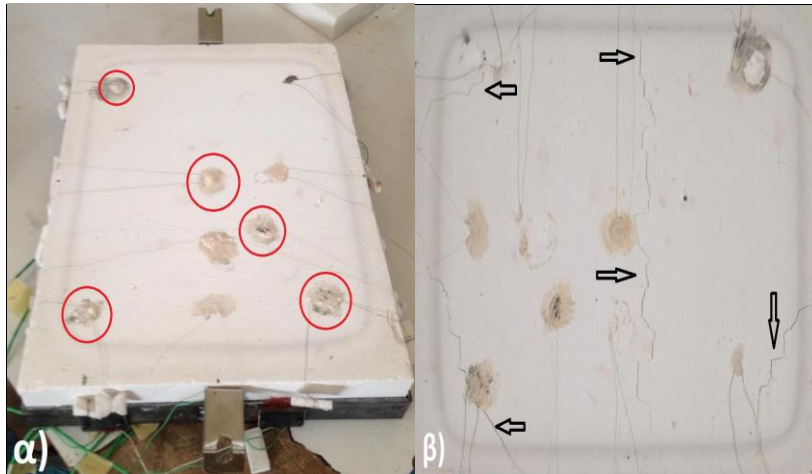
Ο φούρνος προγραμματίστηκε έτσι ώστε να χρειαστούν 15 λεπτά για να φτάσει τη θερμοκρασία των 900 βαθμών κελσίου ξεκινώντας από την θερμοκρασία των 25 βαθμών κελσίου. Ωστόσο, κατά τη διαδικασία της μέτρησης παρατηρήθηκε δυσκολία στην προσέγγιση της συγκεκριμένης θερμοκρασίας στο χρονικό διάστημα που είχε οριστεί. Συγκεκριμένα ο φούρνος χρειάστηκε μια ώρα και εικοσιπέντε λεπτά για να φτάσει τους 900 βαθμούς κελσίου (°C).

Ταυτόχρονα, σημαντική ήταν η καταγραφή της θερμοκρασίας και η εξέταση της ομοιομορφίας αυτής στην συνολική εξωτερική επιφάνεια του πλαισίου που αρχικά βρισκόταν σε συνθήκες περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε θερμοκάμερα τύπου FLIR THERMACAM PM595 (Εικόνα 3.10).



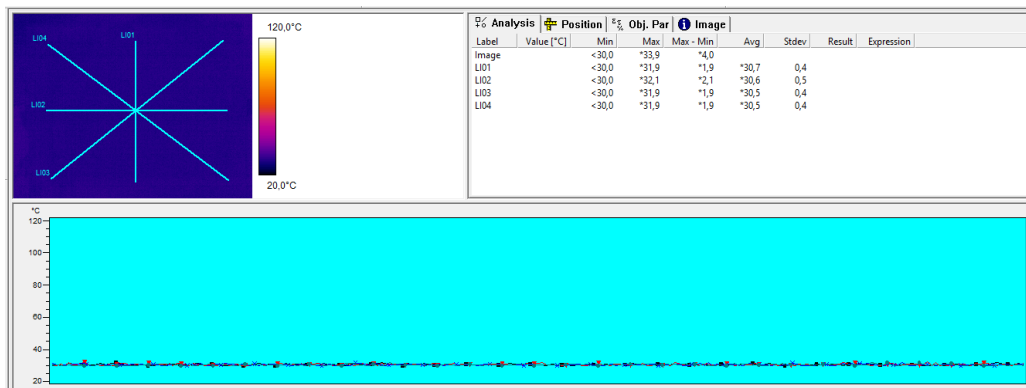
Εικόνα 3.10 Θερμοκάμερα τύπου FLIR THERMACAM PM595

Αφότου ολοκληρώθηκε η πρώτη δοκιμή προέκυψαν κάποια σημαντικά συμπεράσματα. Από την μέτρηση αυτή πρωτεύων στόχος ήταν να διαγνωσθεί ποια από τα θερμοστοιχεία αντέχουν σε τόσο υψηλές θερμοκρασίες, ώστε να αποφασισθεί ποια από αυτά θα χρησιμοποιηθούν στη μελέτη των δομικών υλικών. Το αποτέλεσμα έδειξε ότι όλοι οι τύποι θερμοστοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν αντέχουν μέχρι την θερμοκρασία των 900 βαθμών κελσίου (°C). Ωστόσο, τα συμπεράσματα δεν ήταν ανάλογα όσον αφορά τη κόλλα που χρησιμοποιήθηκε. Η κόλλα με την οποία στηρίχθηκαν τα θερμοστοιχεία είχε διογκωθεί (Εικόνα 3.11.α). Παρατηρήθηκαν φουσκάλες οι οποίες ενδέχεται να επηρέασαν την μέτρηση. Αυτό φάνηκε να οφείλεται τόσο στο νερό που χρησιμοποιήθηκε για την καλύτερη εφαρμογή της κόλλας όσο και σε μια συγκεκριμένη χημική ιδιότητα του υλικού της. Τέλος, στο πλαίσιο που χρησιμοποιήθηκε παρατηρήθηκαν σημαντικές ρωγμές (Εικόνα 3.11.β).

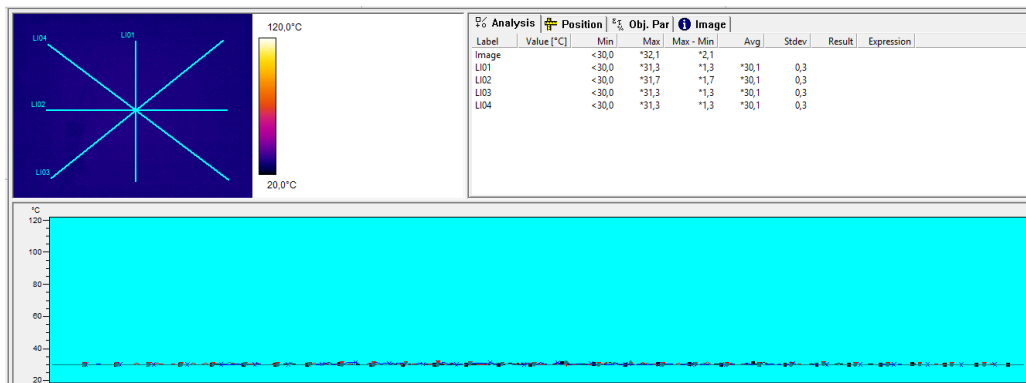


Εικόνα 3.11 : α) Διόγκωση Κόλλας , β) Ρωγμές πλαισίου

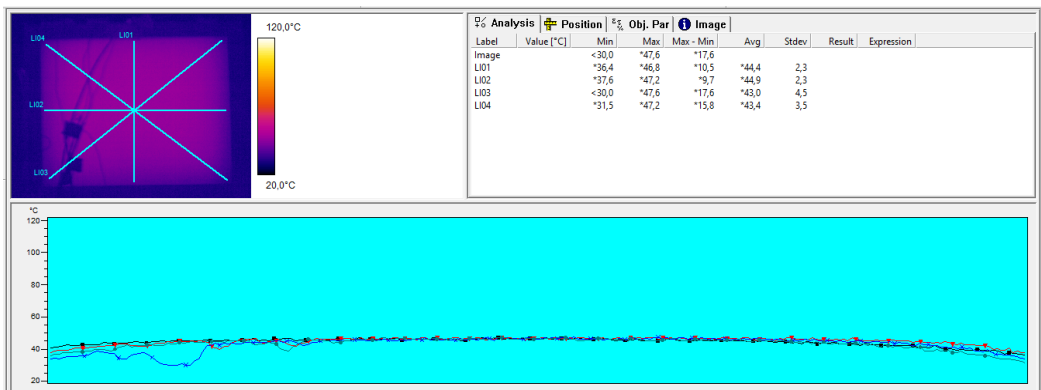
Επιπρόσθετα, σημαντικά ήταν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη χρήση της θερμοκάμερας. Τα στιγμιότυπα που κατέγραψε η κάμερα κατά την διαδικασία διεξαγωγής της μέτρησης οδηγούν στο συμπέρασμα της ομοιομορφίας της θερμοκρασίας σε όλη την επιφάνεια του πλαισίου. Τα στιγμιότυπα λαμβάνονταν κάθε 30 δευτερόλεπτα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένα από αυτά μαζί με το αντίστοιχο διάγραμμα που αναπαριστά τη θερμοκρασία κατά το μήκος των διαγώνιων και καθέτων ευθειών στην εξωτερική επιφάνεια του πλαισίου :



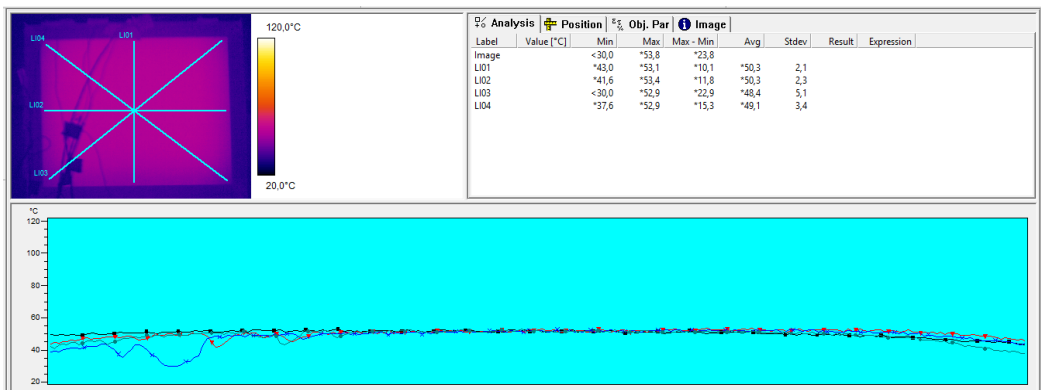
Εικόνα 3.12 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας στην αρχή της μέτρησης



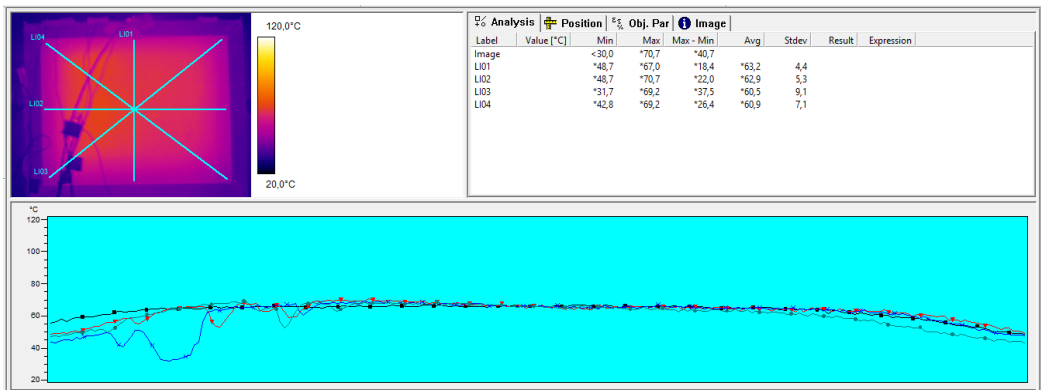
Εικόνα 3.13 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 15 λεπτά



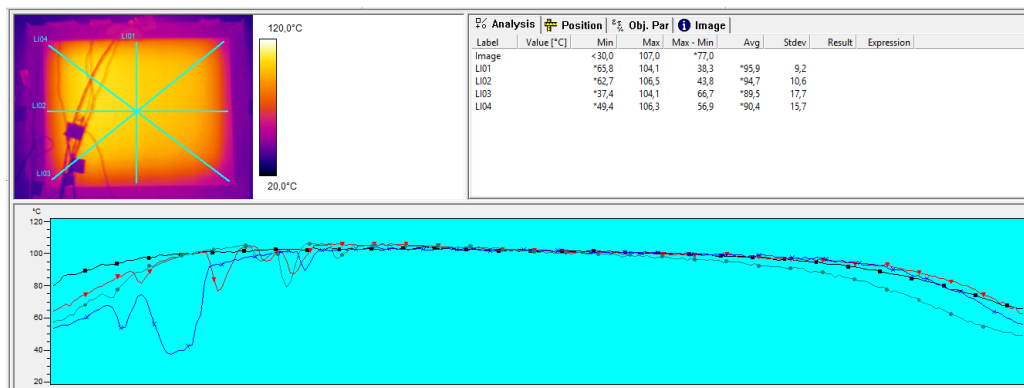
Εικόνα 3.14 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 30 λεπτά



Εικόνα 3.15 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 45 λεπτά



Εικόνα 3.16 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 60 λεπτά

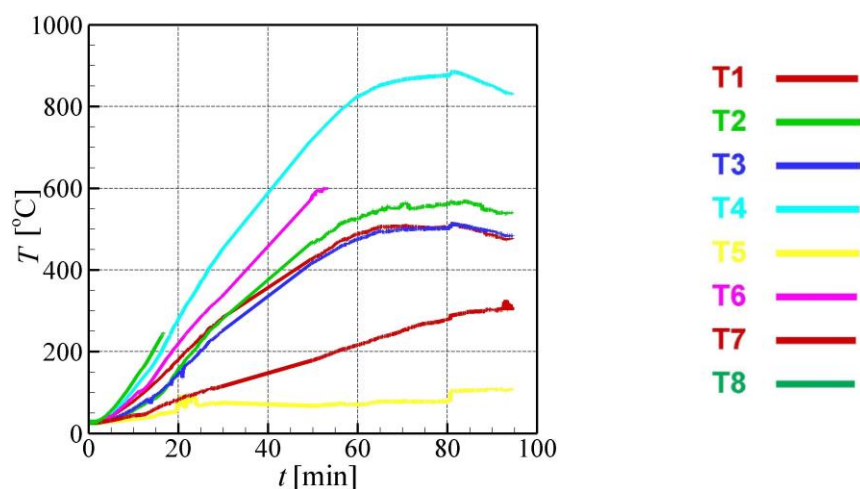


Εικόνα 3.17 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 85 λεπτά

Αρχικά παρατηρείται θερμοκρασία περιβάλλοντος 30 βαθμών κελσίου. Αφού πέρασαν 30 λεπτά από την έναρξη του πειράματος η εξωτερική επιφάνεια του πλαισίου έφτασε σε θερμοκρασία της τάξης των 40 βαθμών κελσίου (Εικόνα 3.14). Από τη χρονική αυτή στιγμή των 30 περίπου λεπτών στα διαγράμματα αρχίζουν να παρατηρούνται ορισμένες διακυμάνσεις οι οποίες δεν αφορούν αυτό καθ' αυτό το πείραμα αλλά οφείλονται στα καλώδια των θερμοστοιχείων τα οποία βρίσκονται αναπόφευκτα στο οπτικό πεδίο της θερμοκάμερας. Έτσι το συμπέρασμα που βγαίνει και από τα υπόλοιπα διαγράμματα που προέκυψαν από τα αποτελέσματα της θερμοκάμερας αποδεικνύει την ύπαρξη ομοιομορφίας καθ' όλο το μήκος και πλάτος του πλαισίου. Στο τέλος του πειράματος μόλις ο φούρνος έφτασε την θερμοκρασία των 900 βαθμών κελσίου, η θερμοκρασία στην εξωτερική επιφάνεια του πλαισίου έφτασε μόλις τους 100 βαθμούς κελσίου.

Το σημαντικότερο συμπέρασμα ωστόσο προέκυψε από το όργανο μέτρησης της θερμοκρασίας σε κάθε θέση. Ορισμένα από τα θερμοστοιχεία δεν κατέγραψαν τη θερμοκρασία που αναμενόταν και άλλα σταμάτησαν να καταγράφουν από κάποια χρονική στιγμή και μετά. Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται πως μόνο το θερμοστοιχείο 4 κατέγραψε τη θερμοκρασία που αναμενόταν σε κάθε χρονική στιγμή. Αντιθέτως, το θερμοστοιχείο 9 λόγω κακής συνδεσμολογίας δεν κατέγραψε θερμοκρασία για αυτό και δεν συμπεριλαμβάνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Επίσης, το θερμοστοιχείο 8 είναι το πρώτο το οποίο σταμάτησε να μετράει μετά από λίγη ώρα. Όσο αφορά στα υπόλοιπα θερμοστοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν, όπως προκύπτει από το διάγραμμα, κατέγραφαν πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία από αυτήν που υπήρχε στο εσωτερικό του φούρνου. Αυτό οφείλεται μερικώς, στη διόγκωσή της κόλλας που χρησιμοποιήθηκε για τη στήριξη των θερμοστοιχείων στην επιφάνεια του πλαισίου. Η υγρασία που εμπεριέχει η συγκεκριμένη κόλλα οδήγησε στη διόγκωση της μετά την θερμοκρασία των 300 περίπου βαθμών κελσίου, πράγμα που σίγουρα επηρέασε αρνητικά τις μετρήσεις. Η κόλλα αυτή λειτούργησε σαν μονωτικό ως προς τα θερμοστοιχεία και έτσι αυτά δεν ήταν σε θέση να καταγράψουν την ακριβή θερμοκρασία που αναπτυσσόταν στην

επιφάνεια. Τέλος, η διακοπή καταγραφής θερμοκρασίας ορισμένων θερμοστοιχείων οφείλεται κατά πάσα πιθανότητα στη συνδεσμολογία τους.

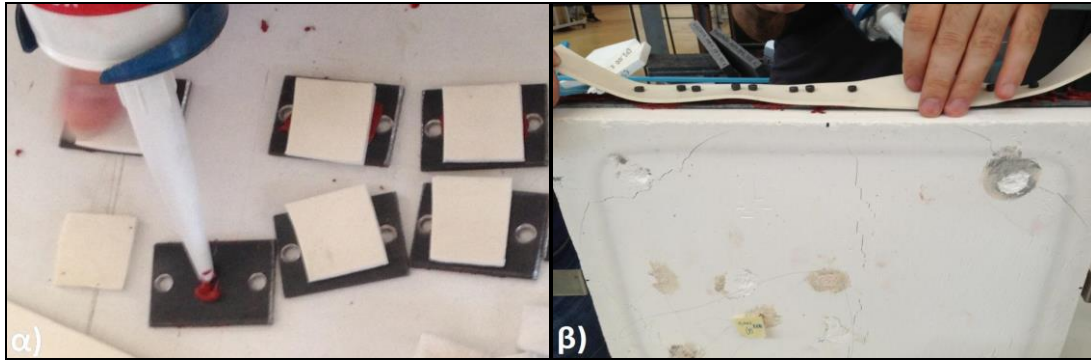


Εικόνα 3.18 Διάγραμμα θερμοκρασιών στην εσωτερική επιφάνεια του φούρνου

Έτσι, στην προετοιμασία του πειράματος για τη δεύτερη μέτρηση ιδιαίτερη σημασία δόθηκε τόσο στη συνδεσμολογία των θερμοστοιχείων όσο και στον τρόπο στήριξης των θερμοστοιχείων πάνω στην επιφάνεια του πλαισίου ώστε να μην δημιουργούνται διογκώσεις από την κόλλα στα σημεία μέτρησης.

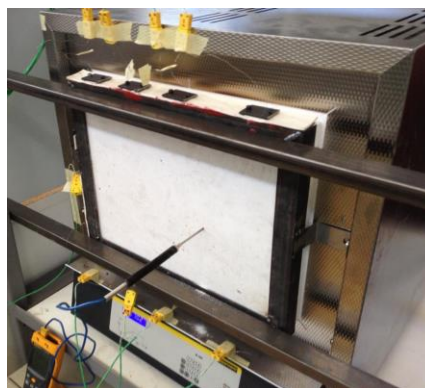
Συγκεκριμένα, όσον αφορά στη συνδεσμολογία του πειράματος δόθηκε απαραίτητη προσοχή στο να μην ακουμπήσουν τα θερμοστοιχεία στο μεταλλικό πλαίσιο. Για το λόγο αυτό κόπηκαν μεταλλικά πλακίδια τα οποία επενδύθηκαν πρώτα με κόκκινη σιλικόνη και στη συνέχεια με αφρώδη σιλικόνη. Επιπρόσθετα, το μεταλλικό πλαίσιο καλύφθηκε με μια στρώση αφρώδους σιλικόνης. Τα πλακίδια στερεώνονταν περιμετρικά του πλαισίου και ο ρόλος τους ήταν να κρατάνε ακίνητα τα θερμοστοιχεία ώστε να μην ακουμπήσουν κατά τη διάρκεια του πειράματος σε μεταλλική επιφάνεια και δημιουργηθεί βραχυκύκλωμα.

Επίσης ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στον τρόπο κόλλησης των θερμοστοιχείων πάνω στην επιφάνεια του πλαισίου. Έτσι, αυτή τη φορά η κόλλα δεν αραιώθηκε με νερό και τοποθετήθηκε πολύ μικρή ποσότητα έτσι ώστε να αποφευχθεί η διογκωση της η οποία ενδεχομένως να επηρεάζει την μέτρηση.



Εικόνα 3.19 : α) Επένδυση πλακιδίων με κόκκινη σιλικόνη , β) Επένδυση πλαισίου με αφρώδη σιλικόνη

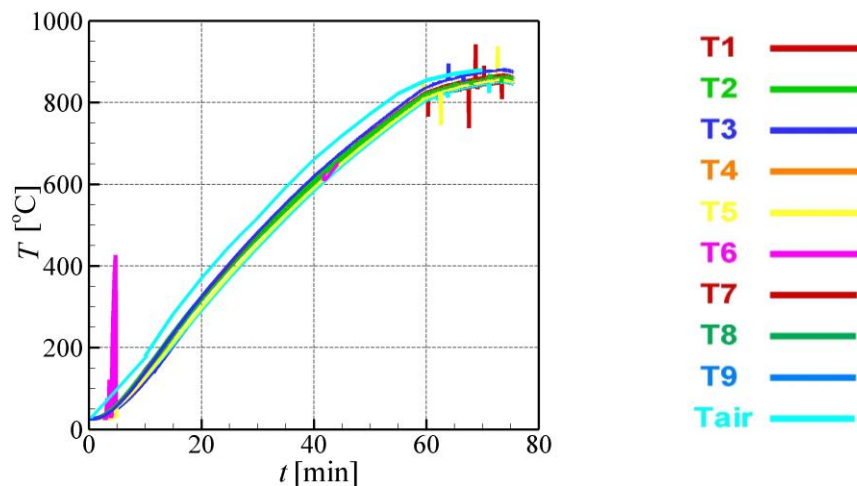
Μια άλλη διαφορά μεταξύ των πειραμάτων είναι η χρησιμοποίηση ενός θερμοστοιχείου για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του φούρνου. Συγκεκριμένα, ανοίχτηκε τρύπα στο πλαίσιο και περάστηκε ένα θερμοστοιχείο το οποίο κατέγραφε τη θερμοκρασία του αέρα σε βάθος δέκα εκατοστών από την είσοδο του φούρνου. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε η θερμοκάμερα για την καταγραφή της θερμοκρασίας στην εξωτερική επιφάνεια του πλαισίου η οποία λάμβανε στιγμιότυπα κάθε 30 δευτερόλεπτα. Αφού ελέγχθηκαν τα θερμοστοιχεία ώστε να μην ακουμπούν σε μεταλλική επιφάνεια, σφραγίστηκε η είσοδος του φούρνου με το πλαίσιο και προγραμματίστηκε έτσι ώστε να φτάσει κατά το δυνατόν ταχύτερα την θερμοκρασία των 900°C ξεκινώντας από την θερμοκρασία περιβάλλοντος (25°C).



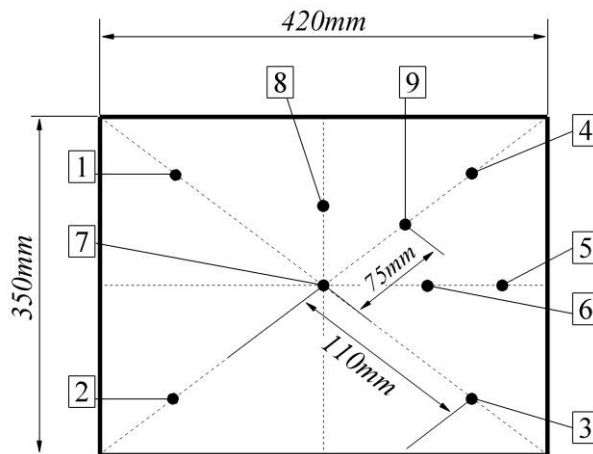
Εικόνα 3.20 Συνδεσμολογία – Διάταξη φούρνου

Αυτή τη φορά η μέτρηση έδωσε καλύτερα αποτελέσματα. Το πείραμα διήρκεσε μία ώρα και δέκα λεπτά. Τα θερμοστοιχεία παρουσίασαν αμελητέες διαφορές μεταξύ τους και όλα πλην ενός άντεξαν μέχρι τη θερμοκρασία των 900 βαθμών κελσίου (Εικόνα 3.21). Επίσης, ένας άλλος παράγοντας που έπαιξε σημαντικό ρόλο στην ομαλή διεξαγωγή του πειράματος ήταν η χρήση της κόλλας χωρίς την προσθήκη νερού. Παρατηρήθηκε ότι η κόλλα δεν διογκώθηκε, και έτσι δεν επηρεάστηκαν οι μετρήσεις. Συγκεκριμένα, στο διάγραμμα παρουσιάζεται το θερμοστοιχείο που μετρούσε την θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του φούρνου (Tair,in).

Παρατηρώντας κανείς την καμπύλη του T_{air} , in θα δει πως κατά τη διάρκεια της πρώτης ώρας του πειράματος καταγράφει σταθερά μεγαλύτερη θερμοκρασία από τα άλλα θερμοστοιχεία που είναι στηριγμένα στην επιφάνεια του πλαισίου. Η διαφορά αυτή στη θερμοκρασία είναι της τάξης των 50 βαθμών κελσίου. Ωστόσο μετά το πέρας της πρώτης ώρας παρατηρείται πως οι καμπύλες συγκλίνουν. Έτσι φαίνεται πως και τα υπόλοιπα θερμοστοιχεία μετρούν την ίδια θερμοκρασία με το θερμοστοιχείο του αέρα, ορίζοντας έτσι τη μόνιμη κατάσταση στο εσωτερικό του φούρνου.

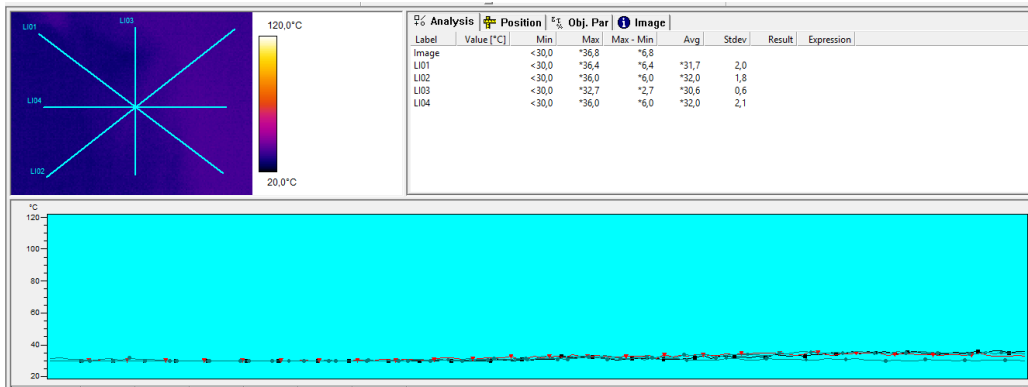


Εικόνα 3.21 Διάγραμμα θερμοκρασιών στην εσωτερική επιφάνεια του φούρνου

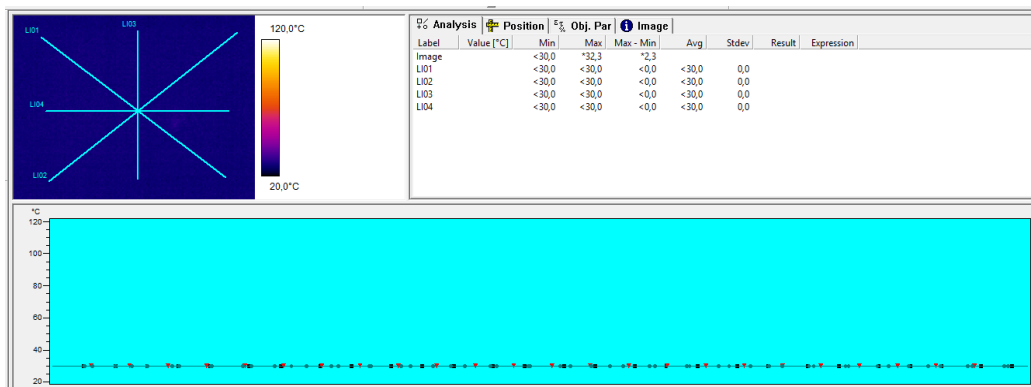


Εικόνα 3.22 Θέσεις θερμοστοιχείων στην επιφάνεια του πλαισίου(2^η Δοκιμή)

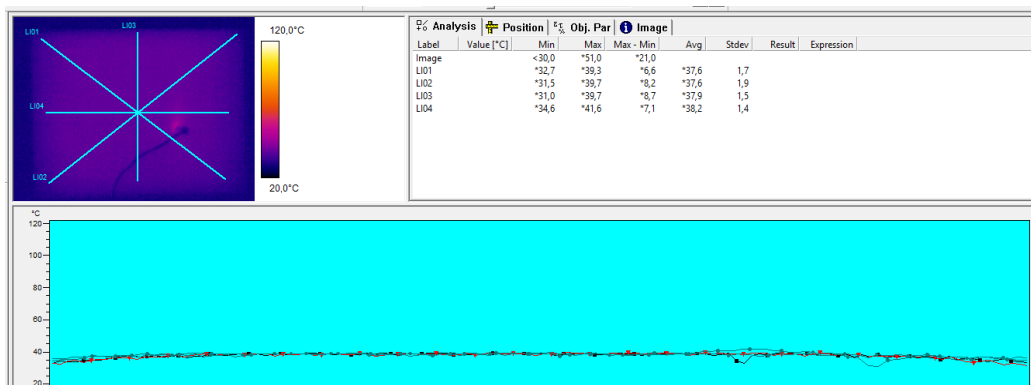
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από το πρόγραμμα της θερμοκάμερας που κατέγραφε την πορεία του πειράματος στην εξωτερική πλευρά του πλαισίου. Τα στιγμιότυπα που ακολουθούν έχουν ληφθεί με διαφορά 15 λεπτών το ένα από το άλλο.



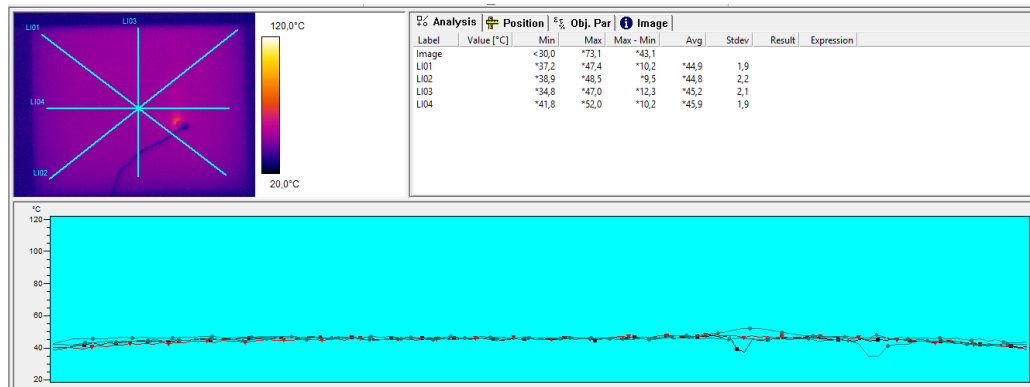
Εικόνα 3.23 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας στην αρχή της μέτρησης



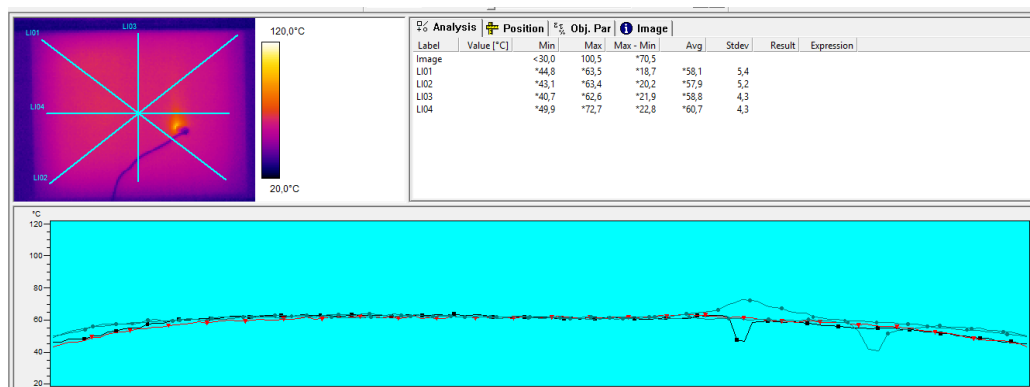
Εικόνα 3.24 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 15 λεπτά



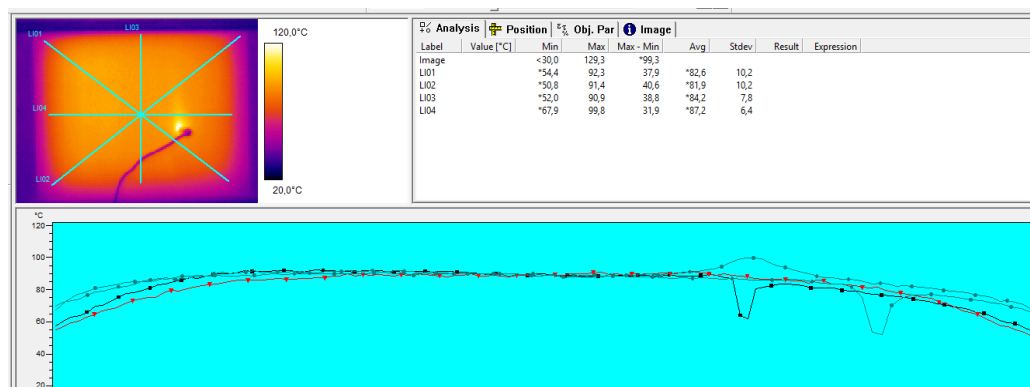
Εικόνα 3.25 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 30 λεπτά



Εικόνα 3.26 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 45 λεπτά



Εικόνα 3.27 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 60 λεπτά



Εικόνα 3.28 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 75 λεπτά

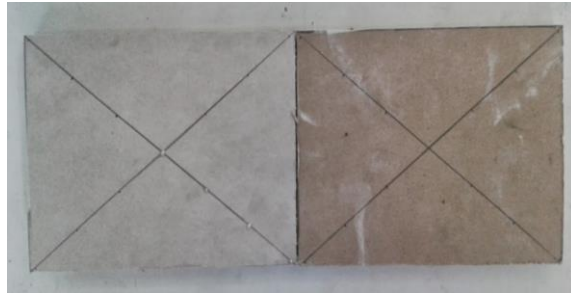
Αρχικά στα διαγράμματα της θερμοκάμερας μετά τα πρώτα 40 λεπτά αρχίζει και δημιουργείται μια κορυφή η οποία αντιστοιχεί στο σημείο όπου έχει τρυπηθεί το πλαίσιο ώστε να τοποθετηθεί το θερμοστοιχείο που καταγράφει τη θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του φούρνου. Έτσι εξηγείται η αυξημένη θερμοκρασία που παρατηρείται στο συγκεκριμένο σημείο αφού υπάρχουν απώλειες θερμότητας από το εσωτερικό του φούρνου στο σημείο αυτό. Οι άλλες δύο διακυμάνσεις στα διαγράμματα προέκυψαν από την καλωδίωση του θερμοστοιχείου αέρα. Στο

στήσιμο του πειράματος αυτού δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στη συνδεσμολογία και στήριξη των θερμοστοιχείων έτσι ώστε να μην βρίσκονται τα καλώδια τους στο οπτικό πεδίο της θερμοκάμερας επηρεάζοντας τη σωστή καταγραφή της κατανομής της θερμοκρασίας στην εξωτερική επιφάνεια του πλαισίου. Ωστόσο για το θερμοστοιχείο αέρα δεν μπορούσε να γίνει σύνδεση με το Agilent χωρίς να περνάει το καλώδιο από την πρόσοψη του φούρνου εφόσον βρίσκεται σχεδόν στο κέντρο της εξωτερικής επιφάνειας του πλαισίου. Έτσι, είναι το μόνο καλώδιο το οποίο βρίσκεται στο οπτικό πεδίο της θερμοκάμερας. Τέλος, ένα σημαντικό συμπέρασμα προκύπτει όσο αφορά στη σχέση της μέγιστης θερμοκρασίας στην εξωτερική επιφάνεια του πλαισίου, με το χρονικό διάστημα που χρειάστηκε ο φούρνος ώστε να φτάσει τη θερμοκρασία των 900 βαθμών κελσίου. Στο συγκεκριμένο πείραμα η μέγιστη θερμοκρασία που καταγράφηκε από τη θερμοκάμερα ήταν της τάξης των 90 βαθμών κελσίου και η διάρκεια του πειράματος ήταν 75 λεπτά.

Μια εξίσου σημαντική παρατήρηση που προέκυψε από τα αποτελέσματα του προγράμματος της θερμοκάμερας αφορούσε στη μέγιστη θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του πλαισίου στα δύο πειράματα που πραγματοποιήθηκαν. Συγκεκριμένα, στο πρώτο πείραμα που πραγματοποιήθηκε υπο τις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας ο φούρνος προγραμματίστηκε διαφορετικά και έφτασε την απαιτούμενη θερμοκρασία σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Στην περίπτωση αυτή η μέγιστη θερμοκρασία που κατέγραψε η θερμοκάμερα ήταν της τάξης των 100 βαθμών κελσίου. Παρατηρήθηκε λοιπόν μια διαφορά θερμοκρασίας 10 βαθμών κελσίου ανάμεσα στα δύο πειράματα. Η διαφορά αυτή φαίνεται να οφείλεται αρχικά στη χρονική διάρκεια της μέτρησης. Συγκεκριμένα, στο πρώτο πείραμα ο φούρνος βρισκόταν στα ίδια επίπεδα θερμοκρασίας με το δεύτερο πείραμα αλλά για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Έτσι, η εξωτερική πλευρά λογικό ήταν να επηρεαστεί περισσότερο από τη μεταβολή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του φούρνου. Για το λόγο αυτό η μέγιστη θερμοκρασία της εξωτερικής πλευράς του πλαισίου ήταν μεγαλύτερη στο πρώτο πείραμα.

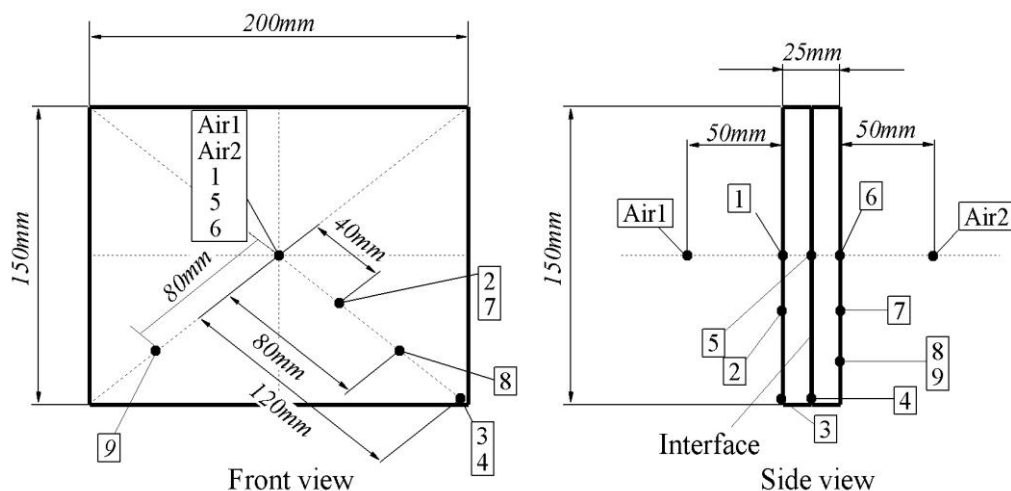
3.2.1 Πείραμα Γυψοσανίδας

Αφού λοιπόν η δεύτερη μέτρηση οδήγησε σε ασφαλή συμπεράσματα όσον αφορά στην αντοχή και στη συνδεσμολογία των θερμοστοιχείων, επόμενος στόχος ήταν η μέτρηση και καταγραφή της συμπεριφοράς των δομικών υλικών που εξετάζονται στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Για την επίτευξη του στόχου αυτού αρχικά έπρεπε να ληφθεί δείγμα του ως προς εξέταση δομικού υλικού. Το πρώτο δομικό υλικό που μελετήθηκε ήταν η γυψοσανίδα. Έτσι, κόπηκαν δύο όμοια δείγματα διαστάσεων 200mmx150mmx12,5mm (Εικόνα 3.2.29). Για τη μέτρηση στο φούρνο τα δυο αυτά δοκίμια ενώθηκαν μετωπικά μεταξύ τους και τοποθετήθηκαν θερμοστοιχεία και στις τρεις διατομές όπου υπάρχει διαφορετικό θερμοκρασιακό περιβάλλον.



Εικόνα 3.29 Δοκίμια Γυψοσανίδας

Σε πρώτο στάδιο, επιλέχθηκαν οι θέσεις όπου θα στηρίζονταν τα θερμοστοιχεία. Ορίσθηκε ως Α όψη η πλευρά του δοκιμίου που βρίσκεται σε συνθήκες περιβάλλοντος. Αντίστοιχα, ως Β όψη ορίσθηκε η ενδιάμεση διατομή και ως Γ όψη η όψη του δείγματος που βρίσκεται στο εσωτερικό του φούρνου. Συγκεκριμένα στην όψη Α χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση της θερμοκρασίας τέσσερα θερμοστοιχεία. Τα τρία από αυτά στηρίχθηκαν με την κατάλληλη κόλλα πάνω στη μία διαγώνιο σε απόσταση 40 χιλιοστών το ένα από το άλλο και το τέταρτο κολλήθηκε στην άλλη διαγώνιο σε απόσταση 80 χιλιοστών από το κέντρο του δοκιμίου. Στην όψη Β τοποθετήθηκαν δύο θερμοστοιχεία: ένα στο κέντρο και άλλο ένα σε απόσταση 120 χιλιοστών από αυτό. Τέλος, στην όψη Γ τοποθετήθηκαν συνολικά τρία θερμοστοιχεία πάνω στη διαγώνιο. Το πρώτο τοποθετήθηκε στο κέντρο, το δεύτερο σε απόσταση 40 χιλιοστών από το κέντρο και το τρίτο σε απόσταση 120 χιλιοστών από το κέντρο. Επιπρόσθετα ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσίαζε η καταγραφή της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό αλλά και στο εξωτερικό του φούρνου. Συγκεκριμένα, για την καταγραφή της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του φούρνου χρησιμοποιήθηκε ένα επιπλέον θερμοστοιχείο το οποίο μετρούσε σε βάθος 50 χιλιοστών από την είσοδο του φούρνου. Αντίστοιχα, για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα στην εξωτερική πλευρά του πλαισίου τοποθετήθηκε ένα θερμοστοιχείο σε απόσταση 50 χιλιοστών από την εξωτερική όψη του συνολικού δοκιμίου.



Εικόνα 3.30 Θέσεις θερμοστοιχείων στο πείραμα της γυψοσανίδας

Στη συνέχεια το πλαίσιο που χρησιμοποιήθηκε στις προηγούμενες μετρήσεις κόπηκε έτσι ώστε να τοποθετηθεί στο κέντρο του το δοκίμιο της γυψοσανίδας (Εικόνα 3.31). Συγκεκριμένα στο κέντρο του πλαισίου κόπηκε κομμάτι μήκους 200mmx150mm έτσι ώστε να υπάρχουν όσο το δυνατόν μικρότερα κενά μεταξύ δοκιμίου και πλαισίου.



Εικόνα 3.31 Οπή πλαισίου για εφαρμογή δοκιμίου

Το συνολικό πάχος του δοκιμίου είναι 25mm. Για να μην υπάρχουν απώλειες θερμότητας από το εσωτερικό του φούρνου προς το περιβάλλον, κάτι που θα δυσκόλευε ιδιαίτερα το φούρνο στο να προσεγγίσει τη θερμοκρασία των 900 βαθμών κελσίου, έπρεπε να διασφαλιστεί η σωστή εφαρμογή του δοκιμίου πάνω στο πλαίσιο. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε κεραμοκουβέρτα σε συνδυασμό με κεραμική πάστα ώστε να σφραγιστεί και το παραμικρό διάκενο που θα επέτρεπε την ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον (Εικόνα 3.32).

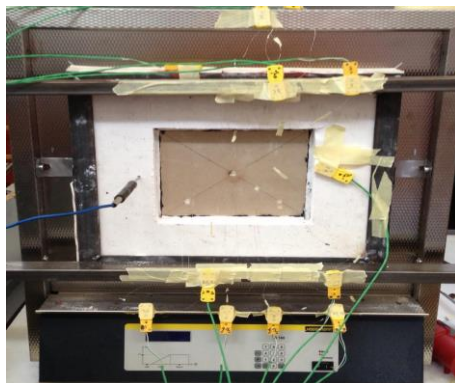


Εικόνα 3.32 Πλευρική μόνωση δοκιμίου με χρήση κεραμοκουβέρτας και κεραμικής πάστας

Ο φούρνος προγραμματίστηκε να δουλέψει στο μέγιστο της απόδοσης του έτσι ώστε να φτάσει όσο το δυνατόν ταχύτερα τη θερμοκρασία των 900°C ξεκινώντας από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος (25°C). Επίσης, δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή κατά τη στήριξη του πλαισίου στο φούρνο και τη σύνδεση των θερμοστοιχείων με το μηχάνημα καταγραφής των θερμοκρασιών. Συγκεκριμένα, τα καλώδια των θερμοστοιχείων στηρίχθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να μην βρίσκονται στο πεδίο

στο οποίο καταγράφει η θερμοκάμερα τη θερμοκρασία στην εξωτερική πλευρά του δοκιμίου της γυψοσανίδας (Εικόνα 3.33).

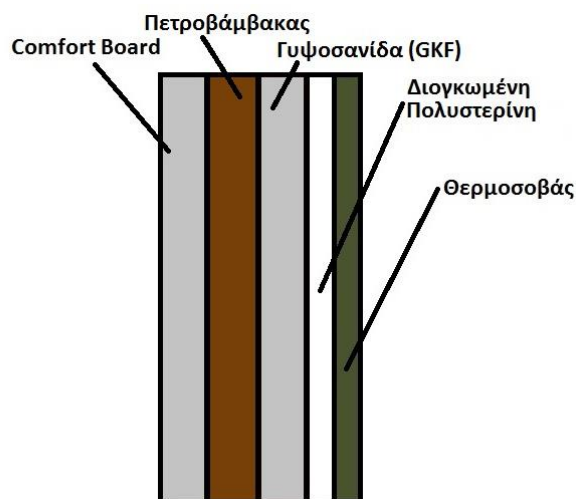
Το πείραμα διήρκησε μία ώρα και δέκα λεπτά και τόσο τα θερμοστοιχεία όσο και η θερμοκάμερα που χρησιμοποιήθηκαν οδήγησαν σε σημαντικά αποτελέσματα όσον αφορά στη μελέτη της γυψοσανίδας σε υψηλές συνθήκες θερμοκρασίας, τα οποία θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 3.33 Συνδεσμολογία θερμοστοιχείων στο πείραμα γυψοσανίδας

3.2.2 Πείραμα Πολυστρωματικής Τοιχοποιίας

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία μελετήθηκαν ως τώρα δομικά υλικά διαφόρων ειδών όπως: γυψοσανίδα, διογκωμένη πολυστερίνη, πετροβάμβακας και θερμοσοβάς ως προς τη θερμική τους συμπεριφορά σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας σε επίπεδο μικρό-κλίμακας στη συσκευή DSC. Έτσι, στόχος ήταν να μελετηθούν τα υλικά αυτά και σε επίπεδο μεσαίας κλίμακας. Για το λόγο αυτό σχεδιάστηκε ένα συνολικό δοκίμιο το οποίο θα αποτελούνταν από γυψοσανίδα με υλικά αλλαγής φάσης πάχους 12,5mm (comfort-board της εταιρίας KNAUF), γυψοσανίδα με υαλονήματα πάχους 12,5mm (GKF της εταιρίας KNAUF), πετροβάμβακα πάχους 12,5mm, διογκωμένη πολυστερίνη πάχους 6mm και θερμοσοβά πάχους 5mm (Εικόνα 3.34).



Εικόνα 3.34 Διάταξη δομικών υλικών στο πείραμα μεσαίας κλίμακας

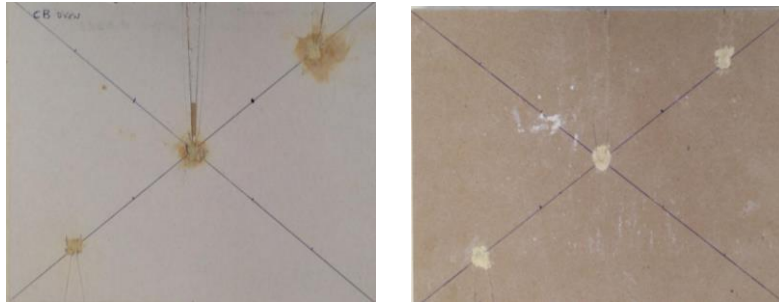
Το συνολικό αυτό δοκίμιο στηρίχθηκε όπως και στο προηγούμενο πείραμα σε πλαίσιο που ήταν κατασκευασμένο από το ίδιο μονωτικό υλικό με αυτό του φούρνου. Ωστόσο για τη μέτρηση αυτή κόπηκε καινούργιο πλαίσιο από το ίδιο μονωτικό υλικό εφόσον το προηγούμενο κομμάτι λόγω των τριών πειραμάτων που διεξήχθησαν, είχε παρουσιάσει σημαντικές ρωγμές και είχε αλλιωθεί έντονα η επιφάνεια του με την προσθήκη και αφαίρεση των δοκιμίων και των θερμοστοιχείων. Το πλαίσιο αυτό ήταν ίδιο με το προηγούμενο σε διαστάσεις, ενώ είχε και την ίδια οπή στο κέντρο διαστάσεων 200mm x 150mm (Εικόνα 3.35).



Εικόνα 3.35 Καινούργιο πλαίσιο φούρνου

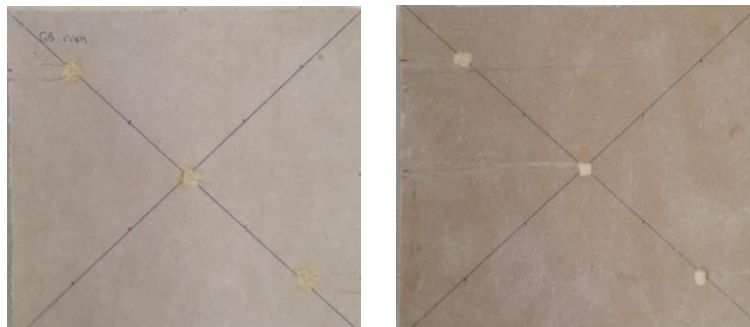
Στη συνέχεια, τα ως προς μελέτη υλικά κόπηκαν ακριβώς στις ίδιες διαστάσεις έτσι ώστε να χωρέσουν και να σφηνώσουν όσο αυτό είναι δυνατό στην οπή του πλαισίου. Επόμενο βήμα ήταν η επιλογή και τοποθέτηση των θερμοστοιχείων τα οποία θα κατέγραφαν τις θερμοκρασίες σε κάθε πλευρά των δομικών υλικών. Για το συγκεκριμένο πείραμα επιλέχθηκαν τα θερμοστοιχεία τύπου Chal-005 της εταιρείας Omega τα οποία είχαν επιτυχάνουν ακρίβεια $\pm 5\%$. Στις επιφάνειες των δομικών υλικών κολλήθηκαν τα θερμοστοιχεία με την ειδική κόλλα που αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες. Στην κόλληση των θερμοστοιχείων δεν χρησιμοποιήθηκε νερό έτσι ώστε να αποφευχθούν τυχόν διογκώσεις της κόλλας αυτής κατά τη διάρκεια της μέτρησης οι οποίες θα οδηγούσαν ενδεχομένως σε λανθασμένα αποτελέσματα κατά την καταγραφή των θερμοκρασιών. Συγκεκριμένα για να μην συμβεί αυτό,

αφού τοποθετούνταν ελάχιστη ποσότητα κόλλας για τη στήριξη του θερμοστοιχείου πάνω στην επιφάνεια του κάθε υλικού στη συνέχεια αυξανόταν η θερμοκρασία της κόλλας μέχρι τους 350 βαθμούς κελσίου με τη χρήση ενός ειδικού θερμοπίστολου. Έτσι η κόλλα διογκωνόταν λόγω της υγρασίας που είχε. Στη συνέχεια με ένα μικρό σφυρί αφαιρούνταν η διογκωση και πλέον το θερμοστοιχείο είχε κολλήσει σωστά πάνω στην επιφάνεια του υλικού. Συγκεκριμένα στο comfortboard τοποθετήθηκαν σε κάθε πλευρά τρία θερμοστοιχεία (Εικόνα 3.36).



Εικόνα 3.36 α) Εσωτερική πλευρά comfortboard, β) Εξωτερική πλευρά comfortboard

Με τον όρο εσωτερική πλευρά γίνεται αναφορά στην πλευρά που βρίσκεται πιο κοντά στο εσωτερικό του φούρνου ενώ με τον όρο εξωτερική αυτή που βρίσκεται πιο κοντά στις συνθήκες περιβάλλοντος. Ομοίως στη γυψοσανίδα με υαλονήματα τοποθετήθηκαν συνολικά έξι θερμοστοιχεία. Τρία σε κάθε πλευρά (Εικόνα 3.37).



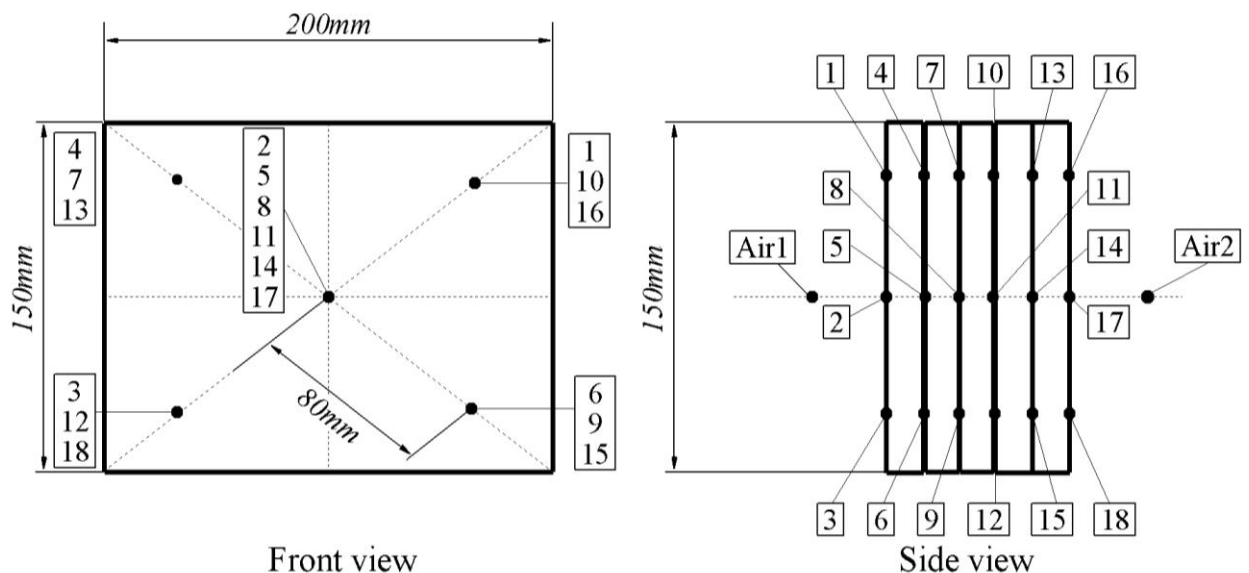
Εικόνα 3.37 α) Εσωτερική πλευρά γυψοσανίδας με υαλονήματα, β) Εξωτερική πλευρά γυψοσανίδας με υαλονήματα

Επίσης όσο αφορά στην διογκωμένη πολυστερίνη τοποθετήθηκαν τρία θερμοστοιχεία μόνο στη μία πλευρά. Στα δοκίμια της γυψοσανίδας είχαν τοποθετηθεί τα διπλάσια θερμοστοιχεία γιατί ανάμεσα στα δύο αυτά δοκίμια θα τοποθετούνταν ο πετροβάμβακας στον οποίο ήταν δύσκολο να κολληθούν θερμοστοιχεία. Για το λόγο αυτό προτιμήθηκε να τοποθετηθούν τα θερμοστοιχεία στις πλευρές των γυψοσανίδων όπου αυτές ακουμπούσαν με τον πετροβάμβακα. Συνεπώς στη διογκωμένη πολυστερίνη δεν δημιουργήθηκε αυτή η ανάγκη και τοποθετήθηκαν μόνο τα τρία θερμοστοιχεία που απαιτούνταν για τη μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς της ως κομμάτι της τοιχοποιίας (Εικόνα 3.38). Μια δυσκολία που παρατηρήθηκε στη διογκωμένη πολυστερίνη αφορούσε τη στήριξη

των θερμοστοιχείων πάνω στην επιφάνεια της. Για το λόγο αυτό αντί για την κόλλα που χρησιμοποιούταν μέχρι εκείνη τη στιγμή, χρησιμοποιήθηκε κόκκινη σιλικόνη η οποία αντέχει σε θερμοκρασίες της τάξης των 300 βαθμών κελσίου. Η χρήση αυτής της σιλικόνης επιτρεπόταν σε αυτό το επίπεδο του δοκιμίου αφού δεν αναμενόταν να αυξηθεί πολύ η θερμοκρασία στην επιφάνεια της διογκωμένης πολυστερίνης.

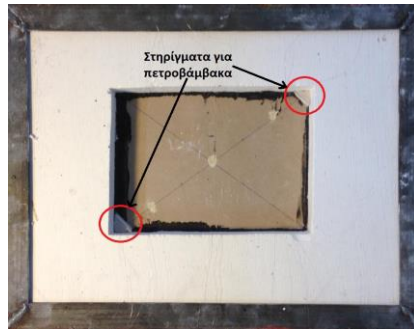


Εικόνα 3.38 Εξωτερική πλευρά διογκωμένης πολυστερίνης



Εικόνα 3.39 Θέσεις θερμοστοιχείων στο πείραμα πολυστρωματικής τοιχοποιίας

Ήταν πολύ σημαντικό να μην υπάρχουν μεγάλα διάκενα μεταξύ των μονωτικών υλικών και του πλαισίου έτσι ώστε να μην υπάρχουν απώλειες θερμότητας από το εσωτερικό του φούρνου στο περιβάλλον. Επιπρόσθετα για να καλυφθούν τα μικρά διάκενα που θα προέκυπταν κατά τη στήριξη των δοκιμίων στο πλαίσιο, επιλέχθηκε κεραμική πάστα η οποία αντέχει μέχρι θερμοκρασία της τάξης των 1250 βαθμών κελσίου. Έτσι, μετά την τοποθέτηση του κάθε δομικού υλικού ξεχωριστά στο πλαίσιο χρησιμοποιούνταν κεραμική πάστα η οποία τοποθετούνταν περιμετρικά του υλικού. Όλα τα δομικά υλικά που μελετήθηκαν είχαν περίπου ίδιες διαστάσεις με αυτές της οπής του πλαισίου (200mmx150mm). Πρώτα τοποθετήθηκε στο πλαίσιο το comfortboard το οποίο είχε πάχος 12,5mm (Εικόνα 3.40).



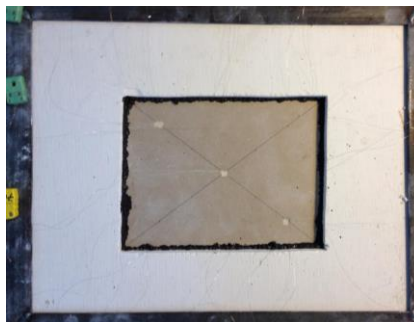
Εικόνα 3.40 Τοποθέτηση comfortboard στο κέντρο του πλαισίου

Στη συνέχεια αφού τοποθετήθηκε περιμετρικά του comfortboard κεραμική πάστα, ήταν η σειρά της τοποθέτησης του πετροβάμβακα (Εικόνα 3.41). Ο πετροβάμβακας λόγω της σύστασης του δεν έχει σταθερό όγκο. Αν συμπιεστεί αλλάζει σχήμα και μέγεθος. Στο συγκεκριμένο πείραμα ωστόσο υπήρχε η ανάγκη να διατηρηθούν σταθερές οι διαστάσεις των δομικών υλικών. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν δύο στηρίγματα από τη γυψοσανίδα τύπου GKF πάχους 12,5mm ώστε να μπορέσει να καθορισθεί το πάχος του πετροβάμβακα. Αυτά τα δύο στηρίγματα εξασφάλισαν ότι το πάχος του πετροβάμβακα θα παρέμενε σταθερό και ίσο με 12,5mm.

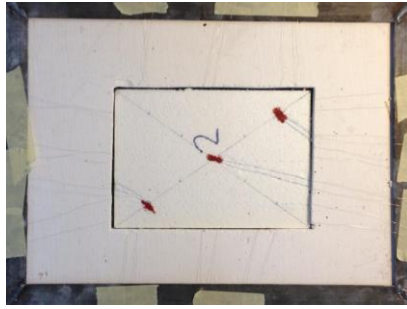


Εικόνα 3.41 Τοποθέτηση πετροβάμβακα στο κέντρο του πλαισίου

Μετά τον πετροβάμβακα τοποθετήθηκε η γυψοσανίδα με υαλονήματα πάχους 12,5mm (Εικόνα 3.42). Αφού επενδύθηκε περιμετρικά με κεραμική πάστα στη συνέχεια τοποθετήθηκε η διογκωμένη πολυστερίνη (Εικόνα 3.43). Η διογκωμένη πολυστερίνη ήταν πάχους 6mm.



Εικόνα 3.42 Τοποθέτηση γυψοσανίδας με υαλονήματα στο κέντρο του πλαισίου



Εικόνα 3.43 Τοποθέτηση διογκωμένης πολυστερίνης στο κέντρο του πλαισίου

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο τρόπος τοποθέτησης του θερμοσοβά στο πλαίσιο. Ο θερμοσοβάς ανακατεύθηκε με λίγο νερό και στη συνέχεια απλώθηκε με μια σπάτουλα πάνω από τη διογκωμένη πολυστερίνη (Εικόνα 3.44).



Εικόνα 3.44 Εφαρμογή θερμοσοβά με τη χρήση σπάτουλας

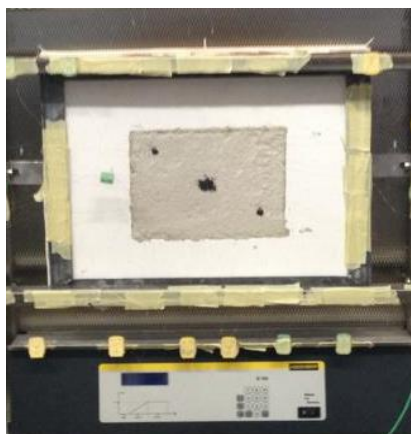
Ο θερμοσοβάς αφέθηκε μια μέρα μέχρι να στεγνώσει. Επόμενο βήμα ήταν η τοποθέτηση τριών θερμοστοιχείων στην εξωτερική επιφάνεια του η οποία αποτελεί και την τελική εξωτερική επιφάνεια όλου του δοκιμίου (Εικόνα 3.45). Έτσι μόλις ο θερμοσοβάς στέγνωνσε, έγινε μια πρώτη προσπάθεια να στηριχθούν τα θερμοστοιχεία με τη χρήση της κόκκινης σιλικόνης. Ωστόσο αυτό ήταν πολύ δύσκολο εφόσον η σιλικόνη ξεκόλλησε αμέσως μετά την τοποθέτηση της μαζί με μικρά κομμάτια από το θερμοσοβά. Έτσι για τη στήριξη των θερμοστοιχείων στη συγκεκριμένη επιφάνεια χρησιμοποιήθηκε μαύρη κεραμική πάστα η οποία κολλούσε στιγμιαία πάνω στο υλικό του θερμοσοβά. Τέλος, ο θερμοσοβάς είχε συνολικό πάχος 6mm.



Εικόνα 3.45 Τοποθέτηση θερμοστοιχείων στην εξωτερική επιφάνεια του θερμοσοβά

Αφού λοιπόν στηρίχθηκαν όλα τα δοκίμια στο κέντρο του πλαισίου ήρθε η ώρα για την τοποθέτηση του πλαισίου στην είσοδο του φούρνου (Εικόνα 3.46). Το πλαίσιο

βιδώθηκε στο φούρνο σφιχτά έτσι ώστε να μην υπάρχουν κενά τα οποία θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε απώλειες θερμότητας κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος. Στη συνέχεια, τα θερμοστοιχεία συνδέθηκαν στη συσκευή του Agilent έτσι ώστε να λαμβάνονται οι θερμοκρασίες σε κάθε στιγμή στις διάφορες πλευρές των δομικών υλικών.



Εικόνα 3.46 Τοποθέτηση πλαισίου στο φούρνο

Ο φούρνος προγραμματίστηκε να φτάσει όσο το δυνατόν ταχύτερα τη θερμοκρασία των 900 βαθμών κελσίου ξεκινώντας από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος (25 βαθμοί κελσίου) και στη συνέχεια να παραμείνει στη θερμοκρασία αυτή για 60 λεπτά. Επίσης, δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή κατά την στήριξη του πλαισίου στο φούρνο και τη σύνδεση των θερμοστοιχείων με το μηχάνημα καταγραφής των θερμοκρασιών έτσι ώστε να μην ακουμπήσουν τα θερμοστοιχεία πάνω στην μεταλλική επιφάνεια του πλαισίου ή του φούρνου. Σε μια τέτοια περίπτωση τα θερμοστοιχεία δεν θα κατέγραφαν τη ζητούμενη θερμοκρασία αλλά τη θερμοκρασία που θα επικρατούσε στο σημείο επαφής του καλωδίου με τη μεταλλική επιφάνεια. Συνολικά τα θερμοστοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν στο συγκεκριμένο πείραμα ήταν 20. Έτσι, απαιτείτο αρκετά μεγάλη προσοχή ώστε να μην ακουμπήσουν το ένα με το άλλο. Τα θερμοστοιχεία που στηρίχθηκαν στις πλευρές των διαφόρων δομικών υλικών που μελετώνται ήταν 18. Επιπλέον, όμως, χρησιμοποιήθηκαν δυο ακόμη θερμοστοιχεία τα οποία κατέγραφαν την θερμοκρασία του αέρα εντός και εκτός φούρνου. Για να περαστεί το θερμοστοιχείο που μετράει τη θερμοκρασία του αέρα εντός του φούρνου τρυπήθηκε το πλαίσιο. Η οπή που ανοίχτηκε ήταν διαμέτρου 5 χιλιοστών έτσι ώστε να χωρέσει ακριβώς εκεί ο κεραμικός κύλινδρος μέσα στο οποίο είχε περαστεί το θερμοστοιχείο έτσι ώστε να αντέξει στην θερμοκρασία των 900 βαθμών κελσίου.

Ο φούρνος χρειάστηκε μία ώρα και δέκα λεπτά για να φτάσει τη θερμοκρασία των 900 βαθμών κελσίου και παρέμεινε σε αυτήν για ακόμη μία ώρα. Τόσο τα θερμοστοιχεία όσο και η θερμοκάμερα που χρησιμοποιήθηκαν οδήγησαν σε σημαντικά αποτελέσματα όσον αφορά στη μελέτη της γυψοσανίδας σε υψηλές

συνθήκες θερμοκρασίας. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 4

4. Αποτελέσματα Πειραμάτων

4.1 Μετρήσεις DSC

4.1.1 Γυψοσανίδα

Όσο αφορά στη μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς της γυψοσανίδας σε υψηλές θερμοκρασίες οι μετρήσεις DSC πραγματοποιήθηκαν με δυο τρόπους. Η πρώτη σειρά πειραμάτων πραγματοποιήθηκε με κλειστό δοχείο με τρύπα και η δεύτερη σειρά με ανοιχτό δοχείο. Σύμφωνα με την εργασία των Paulik et al. [Paulik et al., 1992], η επίδραση της μερικής πίεσης των υδρατμών, που παράγονται κατά την αφυδάτωση της γύψου, εξαρτάται από το είδος του δοχείου και τη μάζα του δείγματος, που θα χρησιμοποιηθούν στη μέτρηση θερμικής ανάλυσης. Έτσι, λοιπόν, όταν χρησιμοποιούνται ανοιχτά δοχεία (δοχεία χωρίς καπάκι) με δείγματα μάζας μικρότερης των 20mg, η επίδραση της μερικής πίεσης των υδρατμών είναι αμελητέα, με αποτέλεσμα η αφυδάτωση της γύψου να γίνεται σε ένα στάδιο. Από την άλλη, όταν χρησιμοποιούνται σφραγισμένα δοχεία ή δοχεία στα οποία έχουν γίνει μικρές οπές στο καπάκι τους ή δείγματα με μάζα μεγαλύτερη από 20mg (είτε σε δοχεία με καπάκι είτε σε δοχεία χωρίς καπάκι), τότε αυξάνεται η μερική πίεση των υδρατμών μέσα στο δοχείο, με αποτέλεσμα η αφυδάτωση της γύψου να γίνεται σε δύο στάδια.

Για την εξάλειψη της επίδρασης της μερικής πίεσης των υδρατμών στη διαδικασία της αφυδάτωσης της γύψου, αφού ολοκληρώθηκαν οι μετρήσεις με κλειστά δοχεία με τρύπα, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε ανοιχτά δοχεία, χρησιμοποιώντας δείγματα από συμβατική γυψοσανίδα του εμπορίου, μάζας μεταξύ 16 και 16,5 mg, για ρυθμούς θέρμανσης 5, 10, 15 και 20 K/min. Το θερμοκρασιακό εύρος των μετρήσεων ήταν 25°C μέχρι 600 °C. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι πίνακες που περιέχουν τις τελικές μάζες των δειγμάτων της γυψοσανίδας που μετρήθηκαν κατά την λήξη των πειραμάτων.

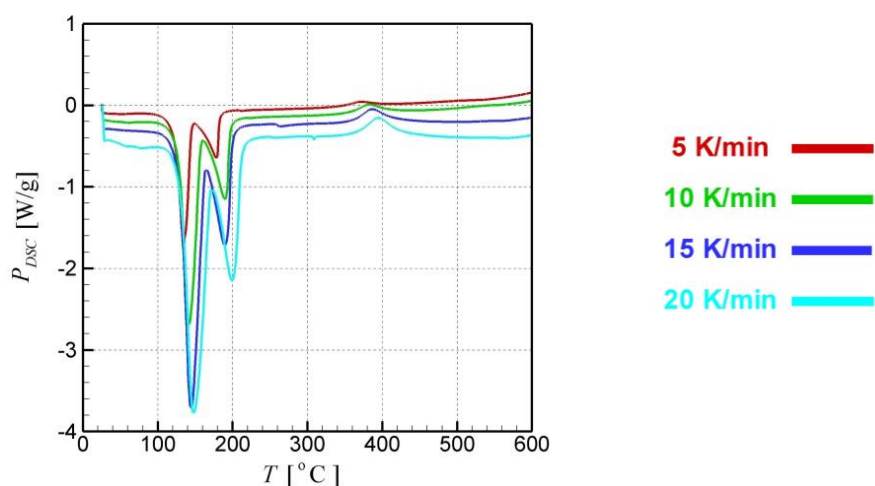
Πίνακας 4.1 Τελικές μάζες δειγμάτων γυψοσανίδας σε περιβάλλον αζώτου

Heating Rate [K/min]	Ανοιχτό δοχείο (20μl)	Κλειστό δοχείο με τρύπα(40μl)
5	13,8	13,74
10	13,73	13,57
15	13,56	13,78
20	13,62	13,91

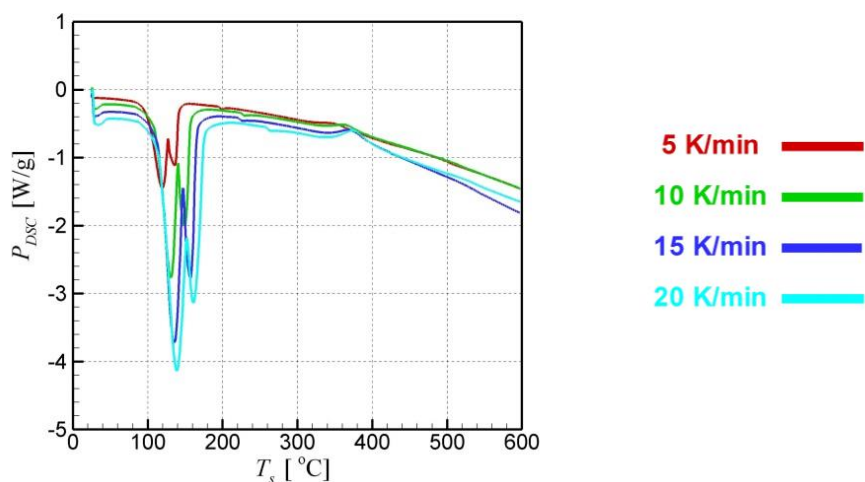
Οι καμπύλες που προέκυψαν από τις μετρήσεις στη συσκευή DSC κατά τη θέρμανση των δειγμάτων της εμπορικής γυψοσανίδα με διαφορετικούς ρυθμούς θέρμανσης, έχουν μεταξύ τους παρόμοια μορφή. Έτσι προκύπτει το συμπέρασμα πως ο φυσικό-χημικός μηχανισμός της αντίδρασης είναι ανεξάρτητος του ρυθμού θέρμανσης. Ο ρυθμός θέρμανσης απλά επηρεάζει την ταχύτητα με την οποία θα λάβει χώρα ο μηχανισμός της αντίδρασης.

Είναι φανερό ότι η αύξηση της μερικής πίεσης των υδρατμών που παράγονται κατά την αφυδάτωση στην περίπτωση των κλειστών δοχείων με τρύπα, επιδρά σε μεγάλο βαθμό στη θερμοχημεία της γύψου, με αποτέλεσμα να διακρίνονται ξεκάθαρα δύο αντιδράσεις αφυδάτωσης (Εικόνα 4.1). Αντίθετα, στην περίπτωση όπου η μερική πίεση των υδρατμών μέσα στο δοχείο είναι αμελητέα, η διαδικασία της αφυδάτωσης παρουσιάζεται με τέτοιο τρόπο που μπορεί κανείς να αποδεχτεί πως να λαμβάνει χώρα σε ένα στάδιο (Εικόνα 4.2). Επιπλέον, παρατηρείται ότι η επίδραση της μερικής πίεσης των παραγόμενων υδρατμών λειτουργεί καταλυτικά στη συνολική αντίδραση της αφυδάτωσης της γύψου, αυξάνοντας το χρόνο και τη θερμοκρασία εκκίνησής της.

Τέλος, σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 300 βαθμών κελσίου, παρατηρούνται μικρές εξώθερμες αντιδράσεις, οι οποίες αντιστοιχούν στην αλλαγή της κρυσταλλικής δομής της γύψου και τον μετασχηματισμό του ανυδρίτη III θειικού ασβεστίου σε ανυδρίτη II θειικού ασβεστίου.



Εικόνα 4.1 Διάγραμμα γυψοσανίδας τύπου GKF σε κλειστό δοχείο με τρύπα



Εικόνα 4.2 Διάγραμμα γυψοσανίδας τύπου GKF σε ανοιχτό δοχείο

Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των πειραμάτων, τα δείγματα ζυγίζονταν πριν και μετά τη θέρμανσή τους, ώστε να προσδιοριστεί το ποσοστό απώλειας μάζας κατά την αφυδάτωση του κρυσταλλικού νερού. Οι πίνακες 4.1 και 4.2 παρουσιάζουν τις τιμές της απώλειας μάζας των δειγμάτων της γυψοσανίδας στο κλειστό και ανοιχτό δοχείο αντίστοιχα, που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις DSC και την ενέργεια αφυδάτωσης, όπως υπολογίστηκε από τις καμπύλες της DSC. Το γεγονός ότι η απώλεια μάζας είναι διαφορετική για κάθε δείγμα, παρόλο που τα δείγματα προέρχονταν από την ίδια γυψοσανίδα, οφείλεται πιθανότατα στην ανομοιογένεια της γυψοσανίδας. Ωστόσο παρατηρείται πως τόσο η απώλεια μάζας όσο και η απώλεια ενέργειας λόγω της αφυδάτωσης κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα για όλους τους ρυθμούς θέρμανσης και στο κλειστό δοχείο και στο ανοιχτό.

Πίνακας 4.2 Απώλεια μάζας και ενέργειας αφυδάτωσης στην γυψοσανίδα σε κλειστό δοχείο

Ρυθμός Θέρμανσης [K/min]	δm [%]	δE [kJ/kg]
5	16,08	447,59
10	16,98	446,72
15	15,88	446,07
20	15,49	420,95

Πίνακας 4.3 Απώλεια μάζας και ενέργειας αφυδάτωσης στην γυψοσανίδα σε ανοιχτό δοχείο

Ρυθμός Θέρμανσης [K/min]	δm [%]	δE [kJ/kg]
5	15,58	440,65
10	15,80	446,51
15	15,46	446,04
20	15,71	444,32

Επίσης από το πρόγραμμα της συσκευής DSC προέκυψε και η ενέργεια της αντίδρασης της αλλαγής κρυσταλλικής δομής. Στους Πίνακες 4.3 και 4.4 παρουσιάζεται η ενέργεια αυτή σε σχέση με το ρυθμό θέρμανσης σε κλειστό και ανοιχτό δοχείο αντίστοιχα. Συγκεκριμένα, παρατηρώντας τους παρακάτω πίνακες παρατηρείται ότι τόσο στο κλειστό όσο και στο ανοιχτό δοχείο η ενέργεια είναι σταθερή για κάθε ρυθμό θέρμανσης. Ομοίως, το ίδιο παρατηρείται και όσο αφορά στην ενέργεια της αντίδρασης της κρυσταλλικής δομής στην γυψοσανίδα.

Πίνακας 4.4 Ενέργεια αντίδρασης αλλαγής κρυσταλλικής δομής στην γυψοσανίδα σε κλειστό δοχείο

Ρυθμός Θέρμανσης [K/min]	Heating Rate [K/min]
5	20,71
10	20,52
15	20,40
20	20,06

Πίνακας 4.5 Ενέργεια αντίδρασης αλλαγής κρυσταλλικής δομής στην γυψοσανίδα σε ανοιχτό δοχείο

Ρυθμός Θέρμανσης [K/min]	Heating Rate [K/min]
5	20,28
10	20,54
15	20,36
20	20,57

Οι συγκεκριμένες μετρήσεις στη συσκευή του DSC μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικά συμπεράσματα όσο αφορά στη θερμοκρασία όπου ξεκινούν να συμβαίνουν οι αντιδράσεις (onset). Όπως επίσης καταγράφονται η μέγιστη αιχμή της αντίδρασης (peak) και η θερμοκρασία στην οποία αυτή λαμβάνει τέλος (endset). Από τα πειράματα που διεξήχθησαν λαμβάνονται οι παραπάνω τιμές για τους εξής ρυθμούς θέρμανσης: 5, 10, 15 και 20 K/min. Ωστόσο σκοπό της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας αποτελεί η εξαγωγή ενός γενικότερου συμπεράσματος για τα onset, endset και peak της κάθε αντίδρασης. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε μια συγκεκριμένη διαδικασία ώστε να γίνουν γνωστά τα παραπάνω στοιχεία για κάθε τιμή του ρυθμού θέρμανσης. Συγκεκριμένα για κάθε ρυθμό θέρμανσης που μελετήθηκε στη συγκεκριμένη σειρά πειραμάτων το πρόγραμμα της συσκευής του DSC έδινε μια προσέγγιση για τα onset, endset και peak. Στη συνέχεια τα δεδομένα αυτά εισήχθησαν σε ένα διάγραμμα και από τα αντίστοιχα σημεία πέρασε μια λογαριθμική καμπύλη συσχέτισης. Αφού λοιπόν έγινε γνωστή η τιμή της συγκεκριμένης καμπύλης στη συνέχεια λήφθηκαν οι συντελεστές που την χαρακτηρίζουν. Η καμπύλη αυτή ήταν προφανώς της μορφής :

$$y = a \ln x + b$$

Οι συντελεστές που προέκυψαν για κάθε μία λογαριθμική καμπύλη παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

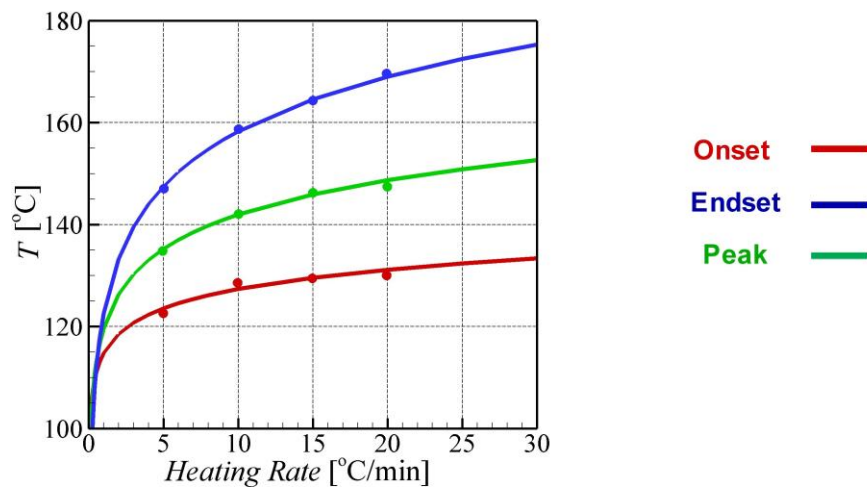
Πίνακας 4.6 Εξίσωση λογαριθμικής καμπύλης για τα onset, endset και peak της κάθε αντίδρασης της γυψοσανίδας στο κλειστό δοχείο

Αντίδραση	Onset	Peak	Endset
1 ^ο Στάδιο Αφυδάτωσης	$y = 5,48 \ln x + 114,74$	$y = 9,70 \ln x + 119,60$	$y = 15,52 \ln x + 122,50$
2 ^ο Στάδιο Αφυδάτωσης	$y = 14,05 \ln x + 135,43$	$y = 15,60 \ln x + 153,43$	$y = 20,61 \ln x + 148,43$
Αλλαγή κρυσταλλικής δομής	$y = 12,66 \ln x + 362,99$	$y = 14,41 \ln x + 348,25$	$y = 13,85 \ln x + 377,80$

Πίνακας 4.7 Εξίσωση λογαριθμικής καμπύλης για τα onset, endset και peak της κάθε αντίδρασης της γυψοσανίδας στο ανοιχτό δοχείο

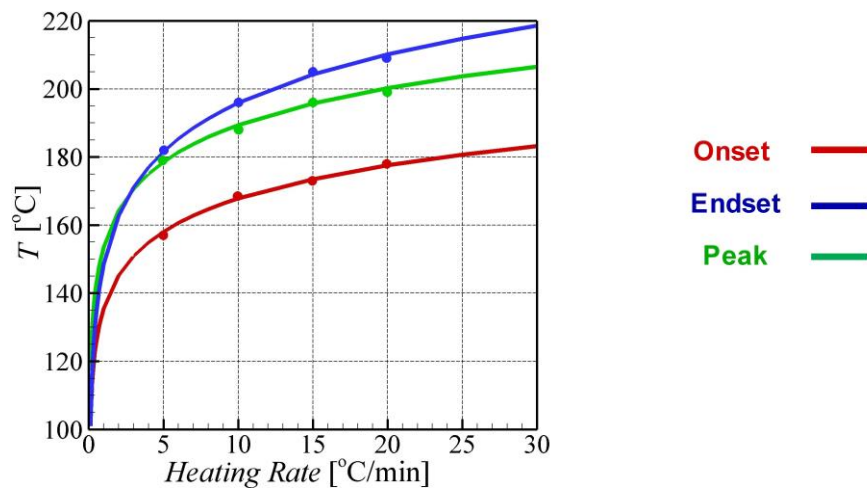
Αντίδραση	Onset	Peak	Endset
1 ^ο Στάδιο Αφυδάτωσης	$y = 11,41 \ln x + 82,73$	$y = 13,59 \ln x + 98,53$	$y = 20,14 \ln x + 96,82$
2 ^ο Στάδιο Αφυδάτωσης	$y = 18,12 \ln x + 98,43$	$y = 19,28 \ln x + 105,57$	$y = 23,97 \ln x + 101,61$
Αλλαγή κρυσταλλικής δομής	$y = 11,17 \ln x + 311,31$	$y = 18,07 \ln x + 322,00$	$y = 24,78 \ln x + 338,87$

Έτσι για τιμές του x (ρυθμός θέρμανσης) από 0 μέχρι 30 χαραχτήκαν οι καμπύλες που αντιστοιχούν στην παραπάνω μορφή της εξίσωσης για κάθε αντίδραση για τα onset, endset και peak και παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα. Η εξαρτημένη μεταβλητή y αντιστοιχεί στις τιμές τις θερμοκρασίας για κάθε τιμή του ρυθμού θέρμανσης.

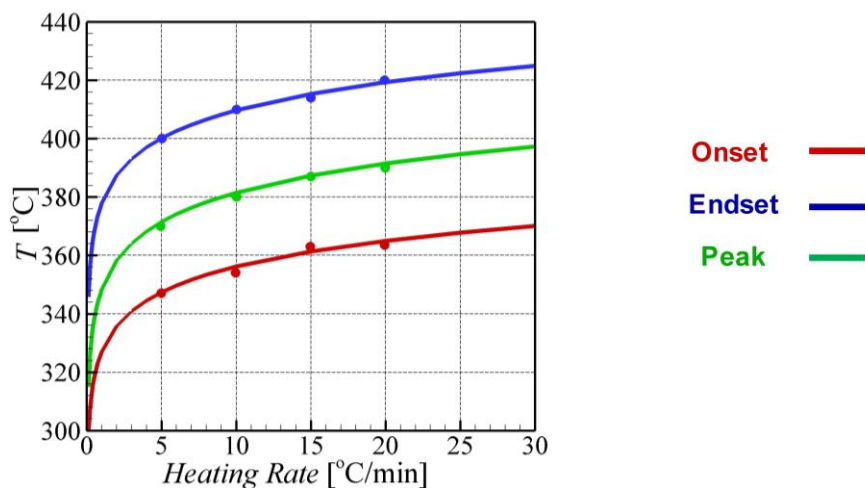


Εικόνα 4.3 1^ο Στάδιο αφυδάτωσης στην γυψοσανίδα σε κλειστό δοχείο

Η Εικόνα 4.3 αφορά στο πρώτο στάδιο της αφυδάτωσης που εξελίσσεται στο υλικό της γυψοσανίδας στην περίπτωση του κλειστού δοχείου, όπου δηλαδή οι συνθήκες πίεσης είναι αυξημένες. Παρατηρείται πως όσο αυξάνεται ο ρυθμός θέρμανσης οι αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες. Αφού ολοκληρωθεί το πρώτο στάδιο ξεκινά να εξελίσσεται το δεύτερο στάδιο της αφυδάτωσης, όπως αυτό παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.4.



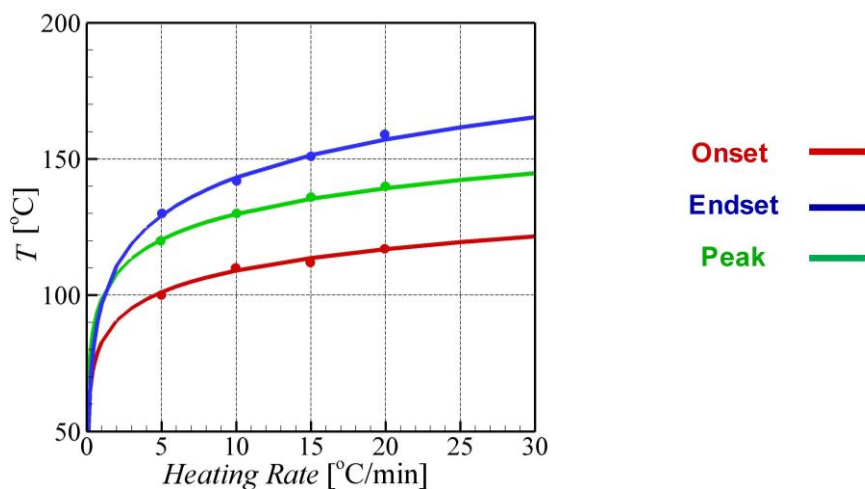
Εικόνα 4.4 2^ο Στάδιο αφυδάτωσης στην γυψοσανίδα σε κλειστό δοχείο



Εικόνα 4.5 Αντίδραση αλλαγής κρυσταλλικής δομής γυψοσανίδας σε κλειστό δοχείο

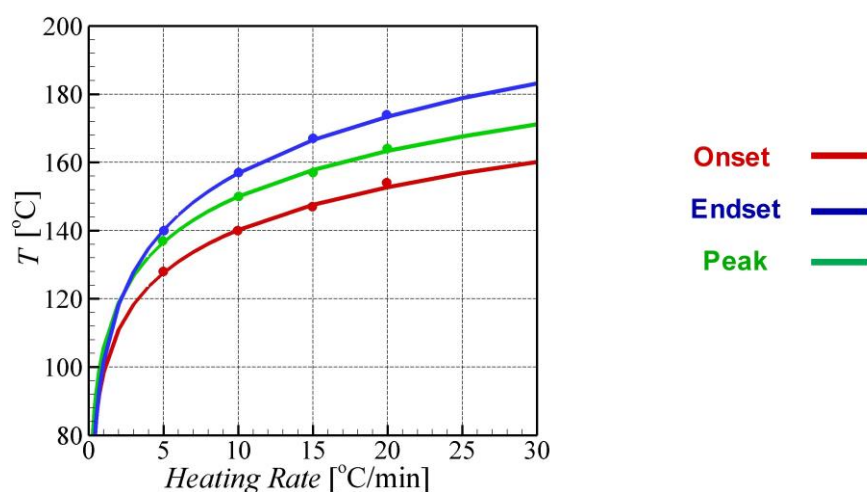
Όπως παρατηρείται στα παραπάνω διαγράμματα οι θερμοκρασίες στις οποίες ξεκινούν, τελειώνουν και αναπτύσσονται τα μέγιστα της κάθε αντίδρασης επηρεάζονται από το ρυθμό θέρμανσης. Συμπερασματικά όσο αυξάνεται ο ρυθμός με τον οποίο θερμαίνεται το υλικό τόσο αυξάνονται οι θερμοκρασίες στις οποίες εξελίσσονται οι αντιδράσεις.

Στη συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα που αφορούν στις αντιδράσεις που εξελίσσονται στο εσωτερικό της γυψοσανίδας σε συνθήκες χαμηλότερης πίεσης από πριν. Συγκεκριμένα οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν σε ανοιχτό δοχείο. Για την διεξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων από τις μετρήσεις του DSC αποφασίσθηκε να διαχωριστεί η αντίδραση της αφυδάτωσης σε δύο στάδια, όπως και στην περίπτωση του κλειστού δοχείου. Το πρώτο διάγραμμα (Εικόνα 4.6) αντιστοιχεί στο πρώτο στάδιο της αφυδάτωσης. Από τα διαγράμματα βγαίνει το συμπέρασμα πως όταν ο ρυθμός θέρμανσης είναι μεγαλύτερος από 10 K/min φαίνεται πως οι θερμοκρασίες στις οποίες εξελίσσεται το πρώτο στάδιο της αφυδάτωσης παραμένουν σχεδόν σταθερές. Παρουσιάζουν δηλαδή μια διαφορά της τάξης των 10 βαθμών κελσίου.

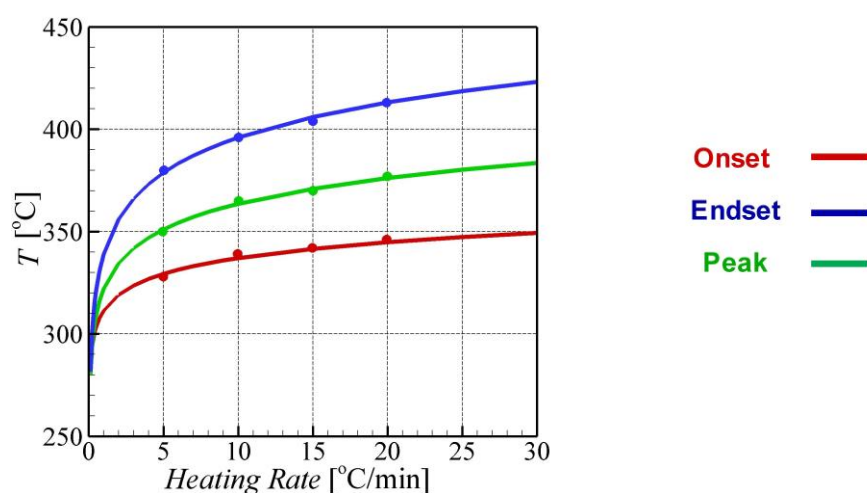


Εικόνα 4.6 1^ο Στάδιο αφυδάτωσης στην γυψοσανίδα σε ανοιχτό δοχείο

Με τη σειρά του, το δεύτερο στάδιο με το οποίο ολοκληρώνεται η αντίδραση που αντιστοιχεί στην αφυδάτωση της γυψοσανίδας, απεικονίζεται με βάση τις θερμοκρασίες στις οποίες εξελίσσεται στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 4.7). Συγκεκριμένα, το στάδιο αυτό ξεκινά ακριβώς εκεί που σταματάει το πρώτο. Όπως προκύπτει από αυτό το διάγραμμα, στο δεύτερο στάδιο της αφυδάτωσης οι θερμοκρασίες στις οποίες συμβαίνουν η αρχή, η λήξη αλλά και η μέγιστη αιχμή του φαινομένου παρουσιάζουν πιο έντονες διαφορές από ότι στο πρώτο στάδιο, όπου κυμαίνονταν στα ίδια επίπεδα. Συμπερασματικά όσο αυξάνεται ο ρυθμός θέρμανσης από 5 σε 30 K/min παρατηρούνται όσο αφορά στα onset, endset και peak θερμοκρασιακές διαφορές της τάξης των 30 βαθμών.



Εικόνα 4.7 2^ο Στάδιο αφυδάτωσης στην γυψοσανίδα σε ανοιχτό δοχείο



Εικόνα 4.8 Αντίδραση αλλαγής κρυσταλλικής δομής γυψοσανίδας σε ανοιχτό δοχείο

Ένα γενικό συμπέρασμα το οποίο μπορεί να εξαχθεί από τα παραπάνω διαγράμματα, τα οποία αφορούν στις θερμοκρασίες στις οποίες εξελίσσονται οι αντιδράσεις στο εσωτερικό του υλικού της γυψοσανίδας σε συνθήκες διαφορετικών

πιέσεων, είναι ότι στην περίπτωση του κλειστού δοχείου (συνθήκες υψηλής πίεσης) οι θερμοκρασίες στις οποίες εξελίσσονται οι αντιδράσεις είναι εμφανώς μεγαλύτερες. Οι διαφορές αυτές που εμφανίζονται στο κλειστό και στο ανοιχτό δοχείο είναι της τάξης των 10 με 20 βαθμών κελσίου. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται συγκεντρωμένες οι θερμοκρασίες οι οποίες χαρακτηρίζουν την κάθε αντίδραση και οι διαφορές αυτών για το κλειστό και το ανοιχτό δοχείο. Για την καταγραφή των διαφορών για τις δύο διαφορετικές συνθήκες πίεσης χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές από το κάθε θερμοκρασιακό εύρος.

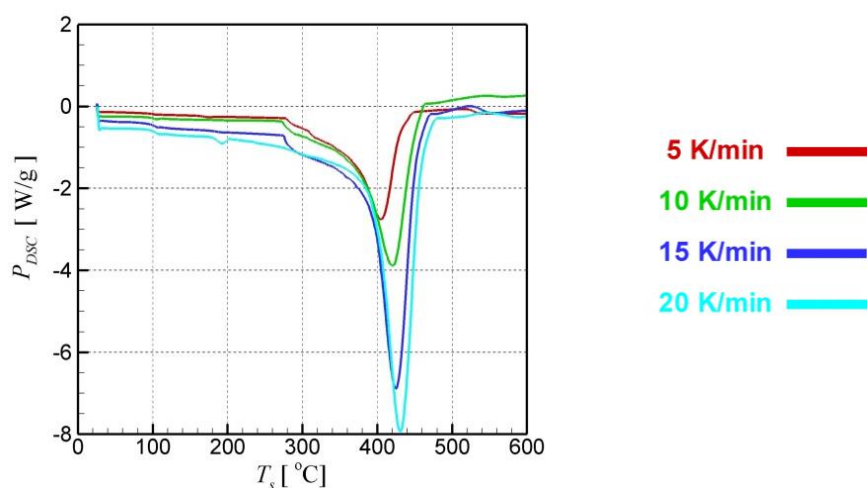
Πίνακας 4.8 Χαρακτηριστικές θερμοκρασίες αντιδράσεων γυψοσανίδας και διαφορές των μέσων τιμών τους σε κλειστό και ανοιχτό δοχείο

Τύπος Δοχείου	Αντίδραση	Onset[°C]	Peak[°C]	Endset[°C]
Κλειστό Δοχείο	1 ^ο Στάδιο Αφυδάτωσης	120-130	120-150	120-180
	2 ^ο Στάδιο Αφυδάτωσης	130-180	140-200	140-220
	Αλλαγή κρυσταλλικής δομής	330-370	360-400	380-420
Ανοιχτό Δοχείο	1 ^ο Στάδιο Αφυδάτωσης	90-120	100-140	110-160
	2 ^ο Στάδιο Αφυδάτωσης	110-160	110-170	110-180
	Αλλαγή κρυσταλλικής δομής	320-350	340-380	350-420
Διαφορές Θερμοκρασιών	1 ^ο Στάδιο Αφυδάτωσης	20	15	15
	2 ^ο Στάδιο Αφυδάτωσης	20	30	35
	Αλλαγή κρυσταλλικής δομής	15	20	15

4.1.2 Διογκωμένη Πολυστερίνη

Στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για τη διογκωμένη πολυστερίνη τα δείγματα ήταν της τάξης των 7-8 mg. Ο ρυθμός θέρμανσης ήταν σε κάθε μέτρηση σταθερός και ίσος με 5, 10, 15 και 20 K/min. Η θερμοκρασία έναρξης τέθηκε στους 25 βαθμούς κελσίου και η μέτρηση σταματούσε μόλις το περιβάλλον έφτανε σε θερμοκρασία 600 βαθμών κελσίου.

Οι καμπύλες που προέκυψαν από τις μετρήσεις στη συσκευή DSC κατά τη θέρμανση των δειγμάτων της διογκωμένης πολυστερίνης με διαφορετικούς ρυθμούς θέρμανσης, έχουν μεταξύ τους παρόμοια μορφή. Έτσι προκύπτει το συμπέρασμα πως ο φυσικό-χημικός μηχανισμός της αντίδρασης είναι ανεξάρτητος του ρυθμού θέρμανσης. Ο ρυθμός θέρμανσης απλά επηρεάζει την ταχύτητα με την οποία θα λάβει χώρα ο μηχανισμός της αντίδρασης.



Εικόνα 4.9 Διάγραμμα διογκωμένης πολυστερίνης (EPS) σε κλειστό δοχείο

Τα συγκεκριμένα πειράματα έγιναν σε περιβάλλον αδρανές (άζωτο). Οι αντιδράσεις που παρουσιάζονται στο παραπάνω διάγραμμα αφορούν στα σπασίματα των δεσμών στο υλικό της διογκωμένης πολυστερίνης. Οι παραπάνω αντιδράσεις είναι ενδόθερμες. Συγκεκριμένα, όπως προκύπτει και από το διάγραμμα της συσκευής DSC όταν το δείγμα θερμαίνεται σε θερμοκρασίες της τάξης των 100 βαθμών κελσίου αρχίζει να εμφανίζεται η πρώτη κατάρρευση ορισμένων χαντρών. Στη συνέχεια οι χάντρες που έχουν προκύψει αρχίζουν και λιώνουν στους 160 βαθμούς κελσίου. Η αεριοποίηση του πολυμερούς αρχίζει περίπου στους 275 βαθμούς κελσίου. Έτσι σε θερμοκρασίες της τάξης των 460 με 500 βαθμών κελσίου το πολυμερές σώμα έχει σχεδόν συνολικά εξατμισθεί. Συγκεκριμένα τα μέγιστα ποσοστά αεριοποίησης παρατηρήθηκαν σε θερμοκρασίες ανάμεσα στους 400 με 420 βαθμούς κελσίου.

Η πυκνότητα και η δομή της αρχικής χάντρας δεν έχει σημαντική επίδραση στις θερμοκρασίες κατάρρευσης και τήξης. Όσο πιο μεγάλο είναι το μέγεθος των

χαντρών τόσο η έναρξη της αεριοποίησης πραγματοποιείται σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Η θερμοκρασία έναρξης και η θερμοκρασία λήξης της αεριοποίησης αυξάνεται όσο αυξάνεται η πυκνότητα του πολυμερούς.

Στον παρακάτω πίνακα συγκεντρώνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη συσκευή DSC για τη διογκωμένη πολυστερίνη όσο αφορά στην ενέργεια που ελκύεται για το σπάσιμο των δεσμών στο εσωτερικό του υλικού

Πίνακας 4.9 Απώλεια ενέργειας στην διογκωμένη πολυστερίνη

Heating Rate [K/min]	ΔΕ [kJ/kg]
5	1994,71
10	1546,76
15	1328,58
20	1152,43

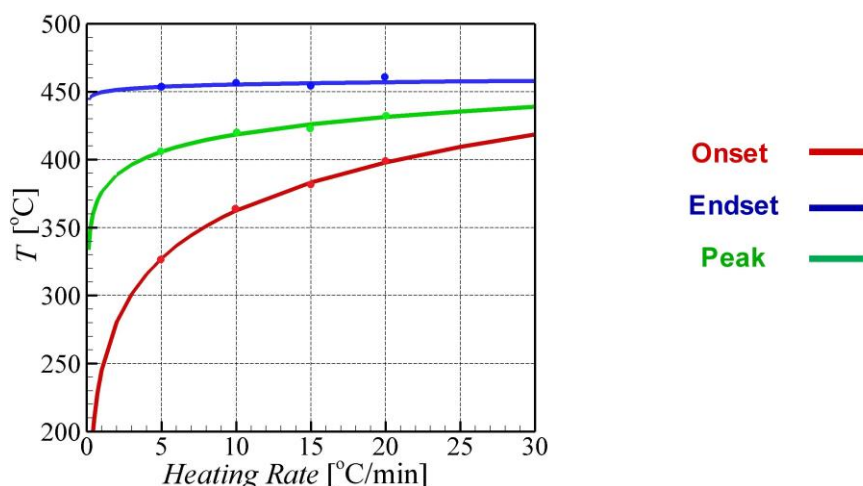
Οι συγκεκριμένες μετρήσεις στη συσκευή του DSC μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικά συμπεράσματα όσο αφορά στη θερμοκρασία όπου ξεκινούν να συμβαίνουν οι αντιδράσεις (onset). Όπως επίσης καταγράφονται η μέγιστη αιχμή της αντίδρασης (peak) και η θερμοκρασία στην οποία αυτή λαμβάνει τέλος (endset). Συγκεκριμένα, για κάθε ρυθμό θέρμανσης που μελετήθηκε στη συγκεκριμένη σειρά πειραμάτων το πρόγραμμα της συσκευής του DSC έδινε μια προσέγγιση για τα onset, endset και peak. Στη συνέχεια τα δεδομένα αυτά εισήχθησαν σε ένα διάγραμμα και από τα αντίστοιχα σημεία πέρασε μια λογαριθμική καμπύλη. Αφού λοιπόν έγινε γνωστή η τιμή της συγκεκριμένης καμπύλης στη συνέχεια λήφθηκαν οι συντελεστές που την χαρακτηρίζουν. Η καμπύλη αυτή ήταν προφανώς της μορφής :

$$y = a \ln x + b$$

Οι συντελεστές που προέκυψαν για κάθε μία λογαριθμική καμπύλη παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 4.10 Εξίσωση λογαριθμικής καμπύλης για τα onset, endset και peak της κάθε αντίδρασης στην διογκωμένη πολυστερίνη

Onset	$y = 51,03 \ln x + 245,08$
Peak	$y = 18,42 \ln x + 376,14$
Endset	$y = 2,45 \ln x + 449,59$



Εικόνα 4.10 Αντίδραση στο υλικό της διογκωμένης πολυστερίνης

Όπως προκύπτει από το παραπάνω διάγραμμα η θερμοκρασία όπου ξεκινάει να εξελίσσεται το φαινόμενο του σπασίματος των δεσμών στο εσωτερικό της διογκωμένης πολυστερίνης αυξάνεται όσο αυξάνεται ο ρυθμός θέρμανσης του υλικού. Συγκεκριμένα παίρνει τιμές από 250 ως και 400 βαθμούς κελσίου. Η μέγιστη αιχμή της αντίδρασης φαίνεται να επηρεάζεται λιγότερο από τον ρυθμό θέρμανσης. Έτσι, δεν παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις και παίρνει τιμές από 370 ως 440 βαθμούς κελσίου. Τέλος, η θερμοκρασία στην οποία επέρχεται η λήξη της αντίδρασης στο εσωτερικό της διογκωμένης πολυστερίνης φαίνεται να παραμένει σταθερή και ίση με 450 βαθμούς κελσίου για οποιαδήποτε τιμή του ρυθμού θέρμανσης.

4.1.3 Θερμοσοβάς

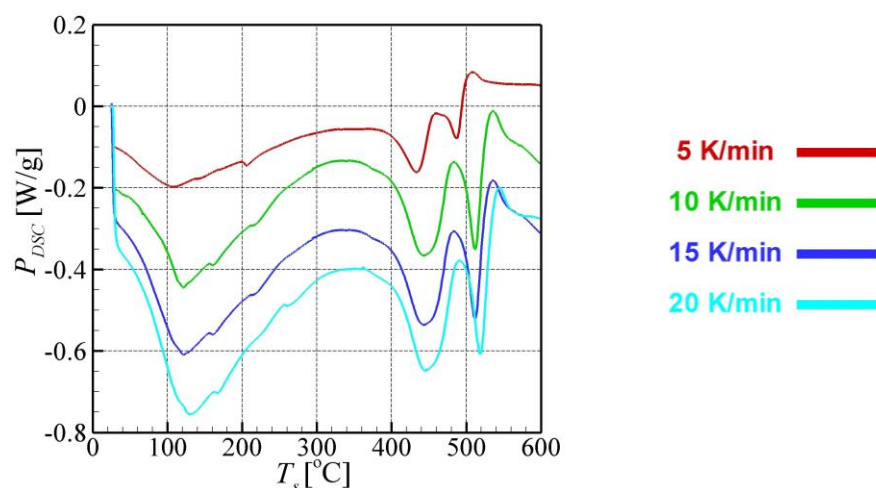
Στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για το θερμοσοβά τα δείγματα ήταν της τάξης των 14 mg. Ο ρυθμός θέρμανσης ήταν σε κάθε μέτρηση σταθερός και ίσος με 5, 10, 15 και 20 K/min. Η θερμοκρασία έναρξης τέθηκε στους 25 βαθμούς κελσίου και η μέτρηση σταματούσε μόλις το περιβάλλον έφτανε σε θερμοκρασία 600 βαθμών κελσίου.

Οι καμπύλες που προέκυψαν από τις μετρήσεις στη συσκευή DSC κατά τη θέρμανση των δειγμάτων του θερμοσοβά με διαφορετικούς ρυθμούς θέρμανσης, έχουν μεταξύ τους παρόμοια μορφή. Έτσι προκύπτει το συμπέρασμα πως ο φυσικό-χημικός μηχανισμός της αντίδρασης είναι ανεξάρτητος του ρυθμού θέρμανσης. Ο ρυθμός θέρμανσης απλά επηρεάζει την ταχύτητα με την οποία θα λάβει χώρα ο μηχανισμός της κάθε αντίδρασης. Στη συνέχεια στον πίνακα που ακολουθεί καταγράφονται οι αρχικές και οι τελικές μάζες των δειγμάτων του θερμοσοβά που μετρήθηκαν κατά την λήξη των πειραμάτων. Στο σημείο αυτό υπενθυμίζεται ότι η

κάθε μέτρηση πραγματοποιήθηκε τρεις φορές, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η ορθότητα των αποτελεσμάτων.

Πίνακας 4.11 Μάζες δειγμάτων θερμοσοβά σε περιβάλλον αζώτου σε κλειστό δοχείο με τρύπα

Heating Rate [K/min]	Αρχικές Μάζες	Τελικές Μάζες
5	14,27	11,35
10	14,69	11,89
15	14,29	11,58
20	14,21	11,73



Εικόνα 4.11 Αντίδραση στο υλικό του θερμοσοβά

Όπως προκύπτει από το διάγραμμα της συσκευής του DSC στο εσωτερικό του θερμοσοβά λαμβάνουν χώρα τρεις σημαντικές αντιδράσεις. Αρχικά, όπως έχει ήδη αναφερθεί το υλικό του θερμοσοβά αποτελείται από τσιμέντο και από διογκωμένη πολυστερίνη. Έτσι, η πρώτη ενδόθερμη αντίδραση αντιστοιχεί στην αφυδάτωση του νερού που περιέχει το τσιμέντο. Η αφυδάτωση αυτή πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες της τάξης των 100 βαθμών κελσίου. Στη συνέχεια, οι επόμενες δύο αιχμές αποτελούν τα δύο στάδια της αντίδρασης που αντιστοιχεί στην οξείδωση της διογκωμένης πολυστερίνης.

Ο πίνακας 4.10 παρουσιάζει τις τιμές της απώλειας μάζας ως ποσοστό επί τις εκατό των δειγμάτων του θερμοσοβά που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις DSC και την ενέργεια αφυδάτωσης του νερού, όπως υπολογίστηκε από τις καμπύλες της συσκευής DSC. Το γεγονός ότι η απώλεια μάζας είναι διαφορετική για κάθε δείγμα, παρόλο που τα δείγματα προέρχονταν από το ίδιο υλικό, οφείλεται πιθανότατα στην ανομοιογένεια που παρουσιάζει ο θερμοσοβάς.

Πίνακας 4.12 Απώλεια μάζας και ενέργειας αφυδάτωσης στο θερμοσοβά

Heating Rate [K/min]	δm [%]	δE [kJ/kg]
5	20,51	85,79
10	19,09	85,63
15	18,96	85,40
20	17,47	84,57

Ομοίως, προκύπτει ο αντίστοιχος πίνακας (Πίνακας 4.11) και για τα δύο στάδια της αντίδρασης που εξελίσσεται λόγω της ύπαρξης της διογκωμένης πολυστερίνης στο εσωτερικό του θερμοσοβά.

Πίνακας 4.13 Ενέργεια των δυο σταδίων αντίδρασης της οξείδωσης της διογκωμένης πολυστερίνης στο εσωτερικό του θερμοσοβά

Heating Rate [K/min]	δE1 [kJ/kg]	δE2 [kJ/kg]
5	43,50	23,00
10	43,87	21,42
15	44,52	20,19
20	42,77	19,09

Οι συγκεκριμένες μετρήσεις στη συσκευή του DSC μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικά συμπεράσματα όσο αφορά τη θερμοκρασία όπου ξεκινούν να συμβαίνουν οι αντιδράσεις (onset). Όπως επίσης καταγράφονται η μέγιστη αιχμή της αντίδρασης (peak) και η θερμοκρασία στην οποία αυτή λαμβάνει τέλος (endset). Από τα πειράματα που διεξήχθησαν λαμβάνονται οι παραπάνω τιμές για τους εξής ρυθμούς θέρμανσης : 5, 10, 15 και 20 K/min. Ωστόσο, σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας αποτελεί η εξαγωγή ενός γενικότερου συμπεράσματος για τα onset, endset και peak της κάθε αντίδρασης. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε μια συγκεκριμένη διαδικασία ώστε να γίνουν γνωστά τα παραπάνω στοιχεία για κάθε τιμή του ρυθμού θέρμανσης. Συγκεκριμένα, για κάθε ρυθμό θέρμανσης που μελετήθηκε στη συγκεκριμένη σειρά πειραμάτων το πρόγραμμα της συσκευής του DSC έδινε μια προσέγγιση για τα onset, endset και peak. Στη συνέχεια τα δεδομένα αυτά εισήχθησαν σε ένα διάγραμμα και από τα αντίστοιχα σημεία πέρασε μια λογαριθμική καμπύλη. Αφού λοιπόν έγινε γνωστή η τιμή της συγκεκριμένης

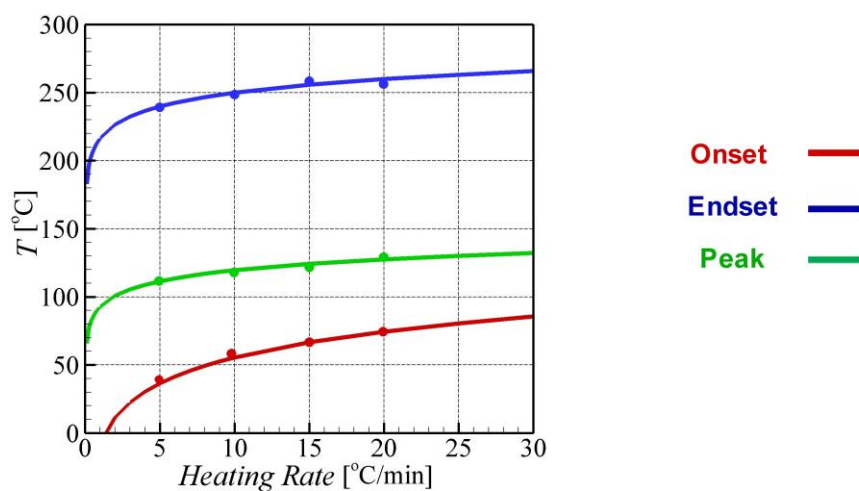
καμπύλης στη συνέχεια λήφθηκαν οι συντελεστές που την χαρακτηρίζουν. Η καμπύλη αυτή ήταν προφανώς της μορφής :

$$y = a \ln x + b$$

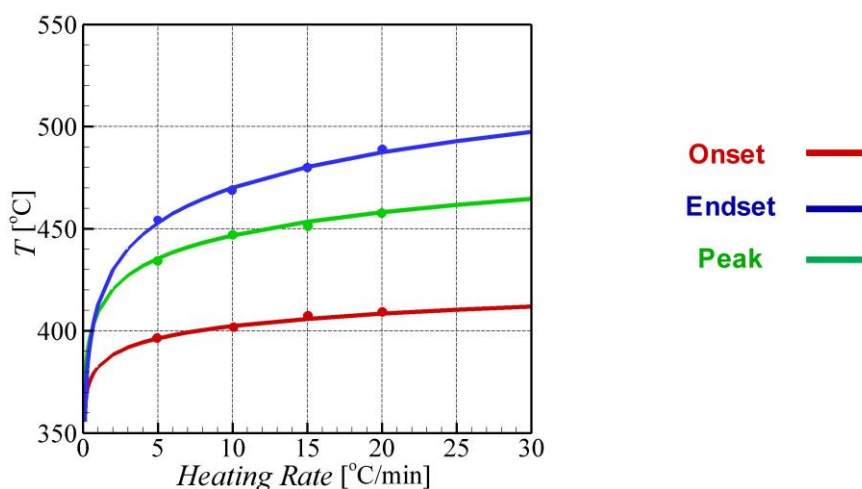
Οι συντελεστές που προέκυψαν για κάθε μία λογαριθμική καμπύλη παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 4.14 Εξίσωση λογαριθμικής καμπύλης για τα onset, endset και peak της κάθε αντίδρασης στο θερμοσοβά στο κλειστό δοχείο

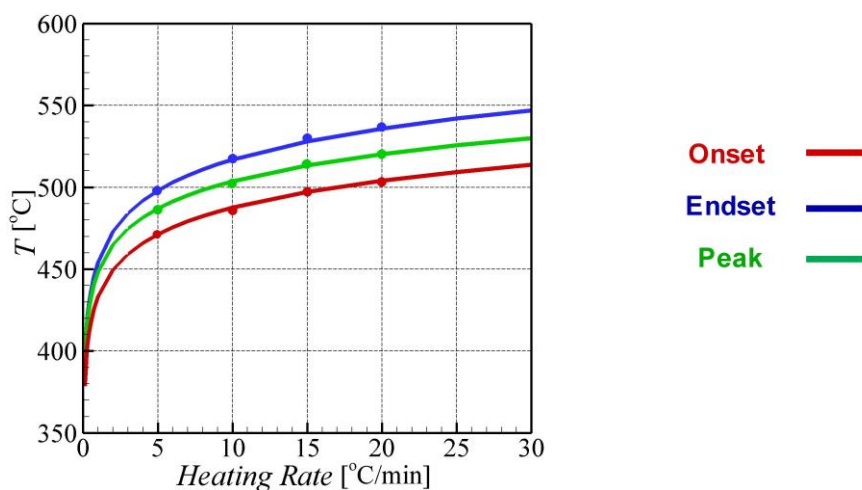
Αντίδραση	Onset	Peak	Endset
Αφυδάτωση	$y = 14,53 \ln x + 216,35$	$y = 11,62 \ln x + 92,75$	$y = 27,36 \ln x - 7,52$
1 ^ο Στάδιο οξειδωσης (EPS)	$y = 8,71 \ln x + 382,34$	$y = 16,3 \ln x + 409,24$	$y = 24,88 \ln x + 412,82$
2 ^ο Στάδιο οξειδωσης (EPS)	$y = 27,3 \ln x + 454,13$	$y = 24,04 \ln x + 448,3$	$y = 23,68 \ln x + 433,17$



Εικόνα 4.12 Αφυδάτωση στο θερμοσοβά



Εικόνα 4.13 1^ο Στάδιο οξείδωσης της διογκωμένης πολυστερίνης στο εσωτερικό του θερμοσοβά



Εικόνα 4.14 2^ο Στάδιο οξείδωσης της διογκωμένης πολυστερίνης στο εσωτερικό του θερμοσοβά

4.2 Πειράματα Μεσαίας Κλίμακας

4.2.1 Πείραμα Γυψοσανίδας

Το συγκεκριμένο πείραμα διήρκησε μία ώρα και δέκα λεπτά και τόσο τα θερμοστοιχεία όσο και η θερμοκάμερα που χρησιμοποιήθηκαν οδήγησαν σε σημαντικά αποτελέσματα όσον αφορά στη μελέτη της γυψοσανίδας σε υψηλές συνθήκες θερμοκρασίας.

Αρχικά, σημαντικά συμπεράσματα για το πείραμα αυτό μπορούν να προκύψουν με μια ματιά σε κάθε μία από τις πλευρές των δοκιμών γυψοσανίδας. Συγκεκριμένα παρακάτω παρουσιάζονται τα δοκίμια γυψοσανίδας τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα.

Παρατηρώντας την εξωτερική πλευρά του δοκιμίου μετά την διεξαγωγή και ολοκλήρωση του πειράματος μέσης κλίμακας μπορεί κάποιος να διακρίνει την έντονη οξείδωση του χαρτιού της γυψοσανίδας (Εικόνα 4.15). Η πλευρά αυτή του δοκιμίου βρισκόταν σε συνθήκες περιβάλλοντος όπου υπήρχε όπως είναι λογικό η παρουσία οξυγόνου. Έτσι εξηγείται το μαύρο χρώμα που προκλήθηκε στο χαρτί της γυψοσανίδας λόγω της οξείδωσης.



Εικόνα 4.15 Εξωτερική πλευρά δοκιμίου (Όψη Α)

Όσο αφορά στην όψη Β, όπου είναι η θέση όπου ενώθηκαν τα δύο δοκίμια γυψοσανίδας, το χαρτί και στις δύο πλευρές κατά ένα μεγάλο ποσοστό είχε καεί αλλά δεν παρουσίασε μαύρο χρώμα λόγω της έλλειψης οξυγόνου (Εικόνα 4.16).



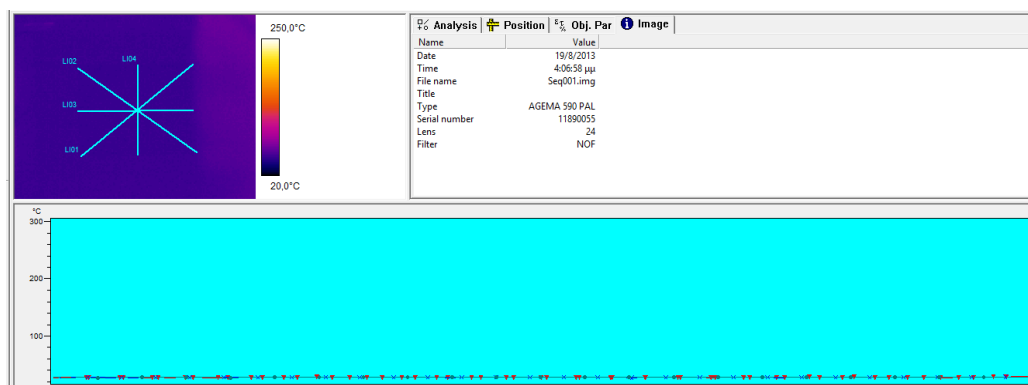
Εικόνα 4.16 Ενδιάμεση διατομή δοκιμίου (Όψη Β)

Εν συγκρίσει με την όψη Α στην όψη Γ, όταν αφαιρέθηκε το πλαίσιο από το φούρνο, αν και το χαρτί είχε καεί δεν παρατηρήθηκε μαύρο χρώμα. Αυτό φαίνεται να οφείλεται στην έλλειψη οξυγόνου που υπήρχε στο εσωτερικό του φούρνου. Επιπρόσθετα, η πλευρά αυτή του δοκιμίου είχε παρουσιάσει έντονες ρωγμές και όλη η ποσότητα χαρτιού είχε καεί (Εικόνα 4.17).

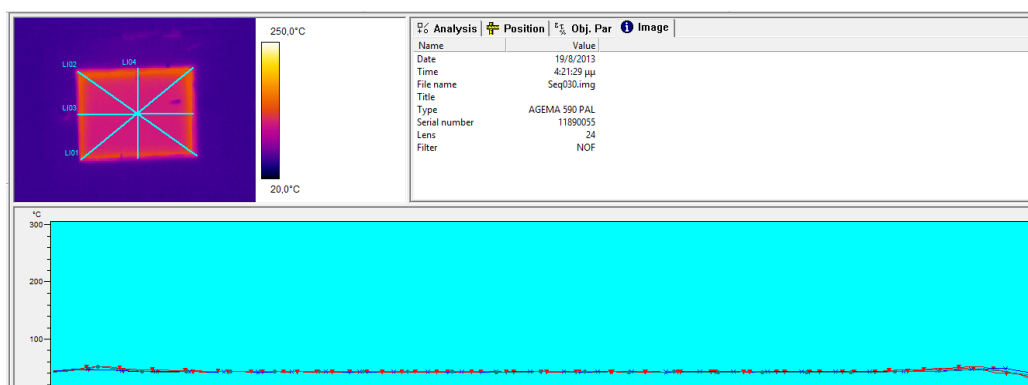


Εικόνα 4.17 Εσωτερική πλευρά δοκιμίου (Όψη Γ)

Κατά την διάρκεια του πειράματος παρατηρήθηκε ότι η εξωτερική πλευρά άρχισε να μαυρίζει από τις άκρες προς το κέντρο και όχι ομοιόμορφα όπως θα περίμενε κανείς. Έτσι φάνηκε πως η θερμοκρασία του δοκιμίου ανέβηκε πιο γρήγορα στα άκρα του. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα του προγράμματος της θερμοκάμερας. Φαίνεται από τα στιγμιότυπα που ελήφθησαν πως στα άκρα η θερμοκρασία είναι αυξημένη σε σχέση με το κέντρο. Το κύριο αίτιο που οδήγησε σε αυτήν την αύξηση εντοπίζεται στην κεραμοκουβέρτα που χρησιμοποιήθηκε για την άψογη εφαρμογή των δοκιμίων στο πλαίσιο. Συμπερασματικά, όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα των μετρήσεων το υλικό αυτό λειτουργεί ως θερμογέφυρα και οδηγεί σε ανομοιομορφία της θερμοκρασίας πάνω στην επιφάνεια του υλικού.



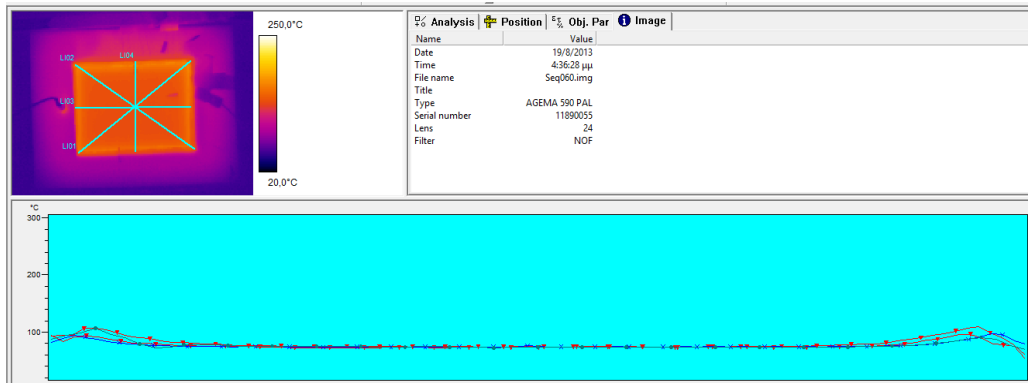
Εικόνα 4.18 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας στην αρχή της μέτρησης



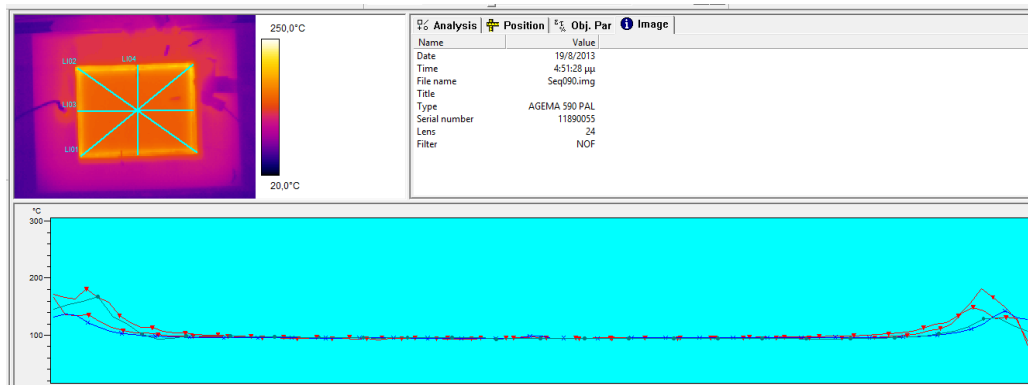
Εικόνα 4.19 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 15 λεπτά

Βλέποντας τα στιγμιότυπα της θερμοκάμερας μετά τα πρώτα 30 λεπτά (Εικόνα 4.2.6) θα μπορούσε κανείς να παρατηρήσει ορισμένες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας στα άκρα του δοκιμίου της γυψοσανίδας. Συγκεκριμένα στην σύνδεση δοκιμίου-πλαισίου όπου χρησιμοποιήθηκε κεραμοκουβέρτα φαίνεται η θερμοκρασία να ανεβαίνει πιο γρήγορα σε σχέση με το κέντρο του δοκιμίου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το υλικό αυτό έχει μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα από

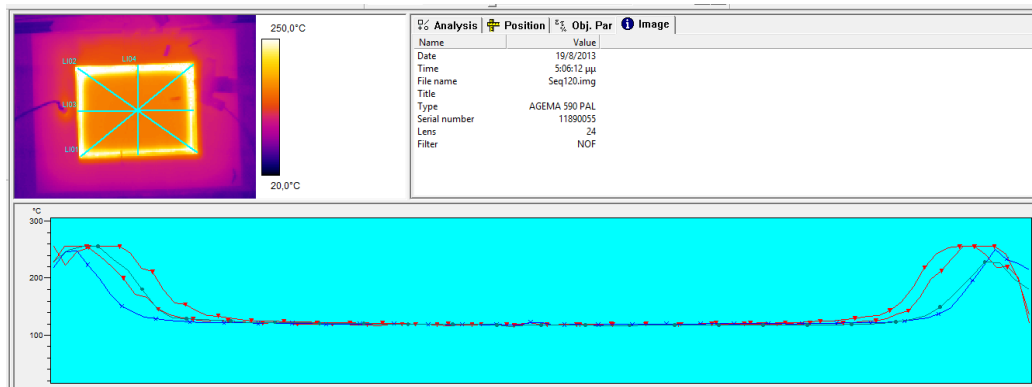
τη γυψοσανίδα και έτσι αυξάνει πιο γρήγορα η θερμοκρασία του. Επιπρόσθετα η απότομη αύξηση της θερμοκρασίας του υλικού της κεραμοκουβέρτας επηρεάζει και την αύξηση της θερμοκρασίας στο δοκίμιο της γυψοσανίδας. Έτσι, παρατηρείται ότι στα άκρα του δοκιμίου έχουμε αυξημένη θερμοκρασία σε σχέση με τα κεντρικά σημεία του. Για αυτόν το λόγο στα διαγράμματα που προέκυψαν από τη θερμοκάμερα παρουσιάζονται διακυμάνσεις οι οποίες δηλώνουν αυξημένη θερμοκρασία στα άκρα του συνολικού δοκιμίου γυψοσανίδας.



Εικόνα 4.20 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 30 λεπτά

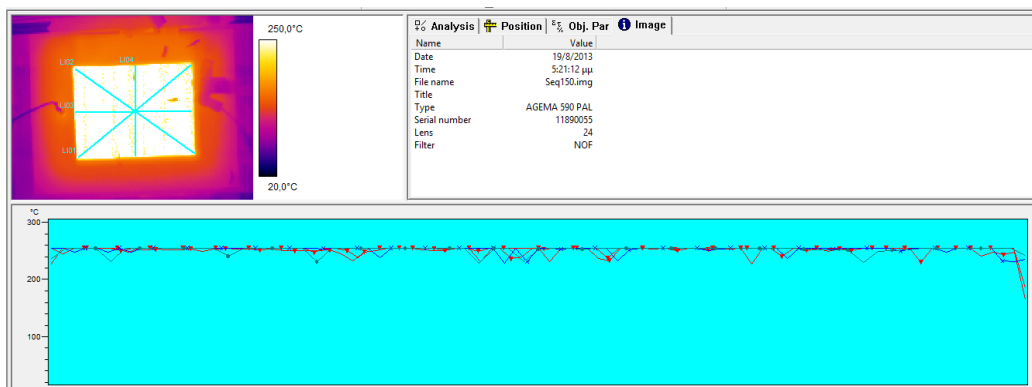


Εικόνα 4.21 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 45 λεπτά



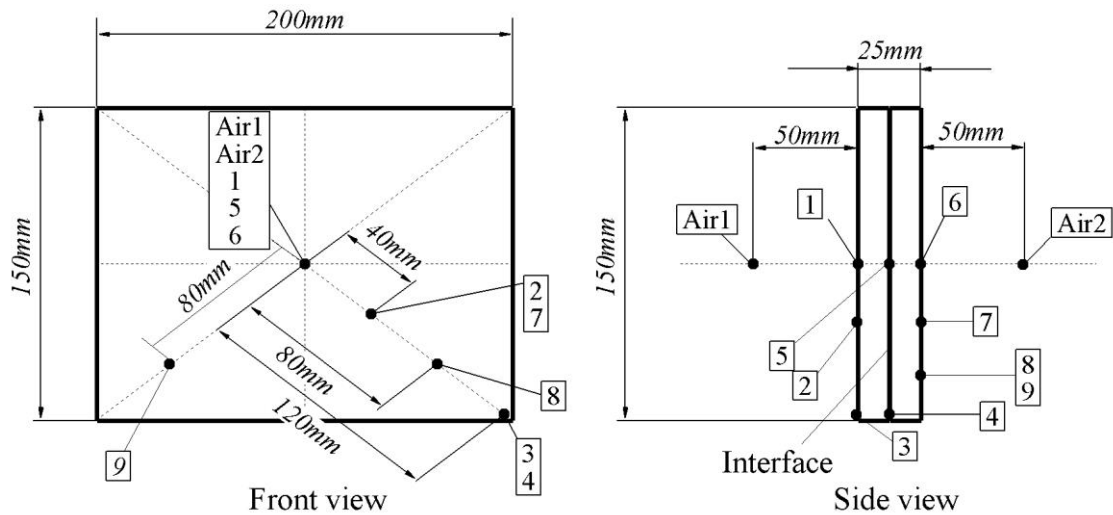
Εικόνα 4.22 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 60 λεπτά

Στο διάγραμμα της θερμοκάμερας κατά την στιγμή της λήξης του πειράματος η θερμοκρασία σταθεροποιείται σε όλη την επιφάνεια του δοκιμίου και είναι της τάξης των 250 βαθμών κελσίου.

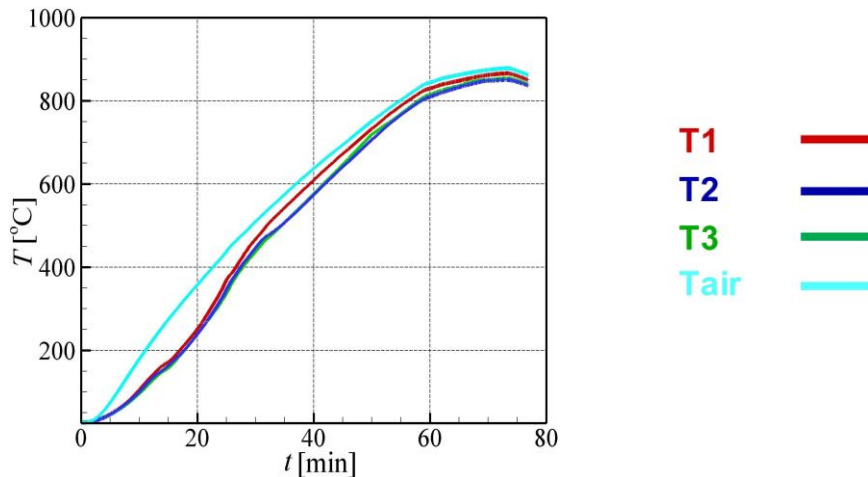


Εικόνα 4.23 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 75 λεπτά

Από τα θερμοστοιχεία, τα οποία είχαν τοποθετηθεί σε κάθε μια από τις τρεις διατομές όπου επικρατούσαν διαφορετικές θερμοκρασιακές συνθήκες λήφθηκαν ορισμένα διαγράμματα τα οποία βοηθούν στην καταγραφή και κατανόηση της θερμικής συμπεριφοράς του υλικού της γυψοσανίδας σε υψηλές συνθήκες θερμοκρασίας. Το πρώτο διάγραμμα (Εικόνα 4.25) περιλαμβάνει συνολικά τέσσερα θερμοστοιχεία. Το ένα από αυτά αφορούσε την θερμοκρασία του αέρα μέσα στο φούρνο και τα υπόλοιπα τρία είχαν στηριχθεί στην εσωτερική επιφάνεια του δοκιμίου όπου η θερμοκρασία έφτασε τα επίπεδα των 900 βαθμών κελσίου.



Εικόνα 4.24 Θέσεις θερμοστοιχείων στο πείραμα της γυψοσανίδας

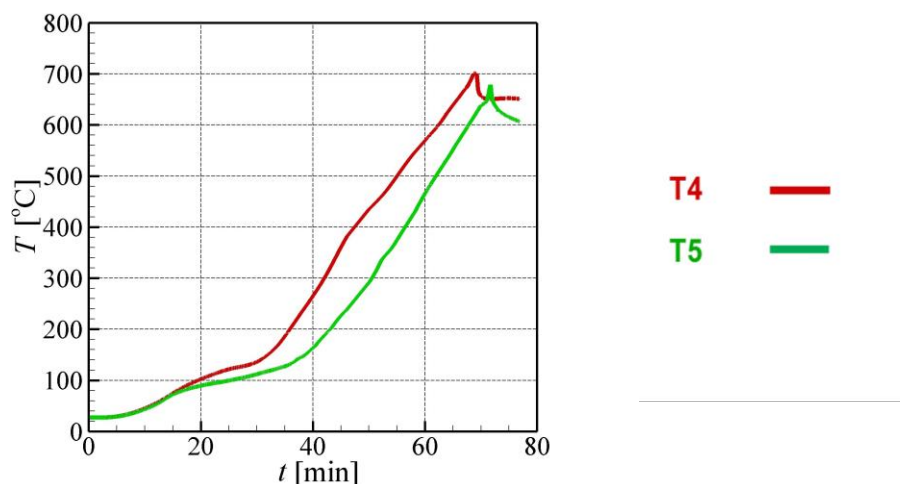


Εικόνα 4.25 Διάγραμμα Θερμοκρασιών στην εσωτερική πλευρά του δοκιμίου της γυψοσανίδας

Όπως προκύπτει από το παραπάνω διάγραμμα το θερμοστοιχείο που κατέγραφε την θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του φούρνου κατέγραψε μεγαλύτερη θερμοκρασία από αυτήν που κατέγραφαν τα θερμοστοιχεία που είχαν στηριχθεί στην επιφάνεια του δοκιμίου της γυψοσανίδας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το δοκίμιο έχει μεγαλύτερη θερμική μάζα (γινόμενο πυκνότητας επί ειδική θερμοχωρητικότητα) από τον αέρα, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία στην επιφάνεια του δοκιμίου να αργεί να αυξηθεί σε σχέση με την θερμοκρασία του αέρα. Επίσης, σε θερμοκρασίες της τάξης των 180 βαθμών κελσίου παρατηρείται μια μικρή αλλαγή στην κλίση των καμπυλών των θερμοστοιχείων. Η συγκεκριμένη αλλαγή στη κλίση μαρτυρά μια ενδόθερμη αντίδραση. Συγκεκριμένα, στο σημείο αυτό αρχίζει η αφυδάτωση της γυψοσανίδας.

Όσο αφορά στο διάγραμμα θερμοκρασιών στην ενδιάμεση πλευρά του πειράματος της γυψοσανίδας παρατηρείται αρχικά απόκλιση μεταξύ των θερμοκρασιών που καταγράφουν τα δύο θερμοστοιχεία μετά τα πρώτα 20 λεπτά. Αυτό οφείλεται στο

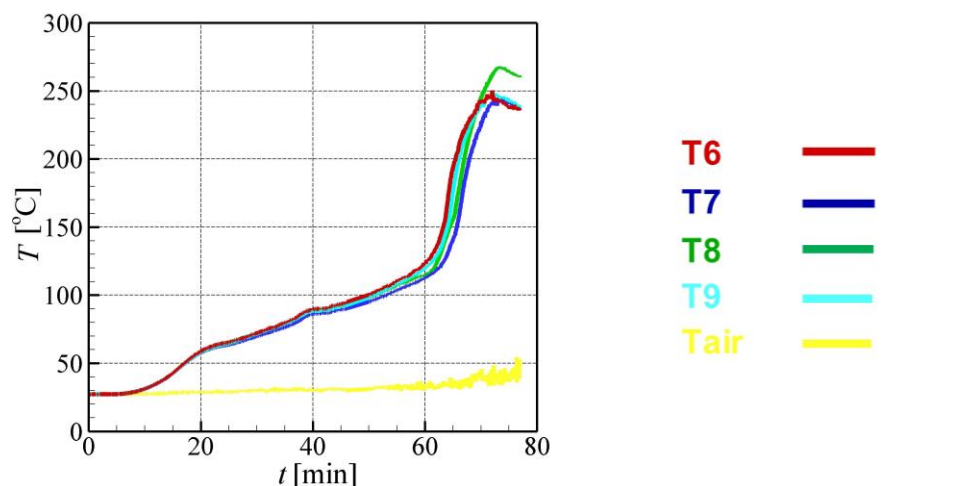
γεγονός ότι το θερμοστοιχείο T4 βρισκόταν στην άκρη του δοκιμίου, γεγονός που οδήγησε στο να επηρεαστεί από την εντονότερη αύξηση της θερμοκρασίας στα άκρα, την οποία προκάλεσε η κεραμοκουβέρτα. Έτσι, φαίνεται πως λόγω της κεραμοκουβέρτας δεν επιτυγχάνεται τόσο καλή προσέγγιση του μονοδιάστατου στο συγκεκριμένο πείραμα. Ωστόσο, όσο αφορά ένα ικανοποιητικό ποσοστό της επιφάνειας των δοκιμίων το πείραμα κρίνεται μονοδιάστατο. Επιπλέον, με την συμπλήρωση του πρώτου εικοσαλέπτου παρατηρείται το πρώτο πλατό το οποίο αντιστοιχεί στην αφυδάτωση της γυψοσανίδας. Έτσι, το αποτέλεσμα της αφυδάτωσης είναι η επίτευξη ενός μικρότερου ρυθμού θέρμανσης του δοκιμίου της γυψοσανίδας. Στη συνέχεια, σε θερμοκρασίες της τάξης των 350 °C παρατηρείται μικρή αύξηση της θερμοκρασίας, η οποία αντιστοιχεί στην καύση του χαρτιού που περιβάλλει το φύλλο γυψοσανίδας. Τέλος, σε θερμοκρασίες της τάξης των 650 βαθμών κελσίου παρατηρείται μια απότομη μείωση της θερμοκρασίας η οποία οφείλεται στην αποκόλληση των δύο δοκιμίων γυψοσανίδας και στην είσοδο αέρα ανάμεσα τους, ο οποίος λειτουργεί ως μονωτικό με αποτέλεσμα να μειώνεται η θερμοκρασία.



Εικόνα 4.26 Διάγραμμα Θερμοκρασιών στην ενδιάμεση πλευρά του δοκιμίου της γυψοσανίδας

Το τελευταίο διάγραμμα αφορά την θερμοκρασία που κατέγραψαν τα θερμοστοιχεία στην εξωτερική επιφάνεια του συνολικού δοκιμίου της γυψοσανίδας (Εικόνα 4.27). Αρχικά, παρατηρείται πως το θερμοστοιχείο του αέρα καταγράφει θερμοκρασία της τάξης των 30 βαθμών κελσίου μέχρι την χρονική στιγμή 50 λεπτά. Από την στιγμή αυτή και μετά, φαίνεται πως η θερμοκρασία αυξάνεται και φτάνει μέχρι και τους 50 βαθμούς κελσίου. Στο τελευταίο σημείο του δοκιμίου της γυψοσανίδας, όπου καταγράφουν τις θερμοκρασίες τα συγκεκριμένα θερμοστοιχεία παρατηρείται το πρώτο πλατό, το χρονικό διάστημα 20 έως 40 λεπτών, το οποίο αντιστοιχεί στην αφυδάτωση που λαμβάνει μέρος στα προηγούμενα κατά σειρά σημεία του δοκιμίου της γυψοσανίδας. Στη συνέχεια, μετά τα 40 πρώτα λεπτά και μέχρι περίπου τα 60, παρατηρείται ένα πιο μικρό πλατό

το οποίο οφείλεται στην αφυδάτωση του ίδιου του τελευταίου σημείου της γυψοσανίδας. Τέλος, σε θερμοκρασίες της τάξης των 250 βαθμών κελσίου παρατηρείται μια απότομη μείωση της θερμοκρασίας που όπως προαναφέρθηκε οφείλεται στην αποκόλληση των δύο δοκιμίων γυψοσανίδας και στην είσοδο αέρα ανάμεσα τους.



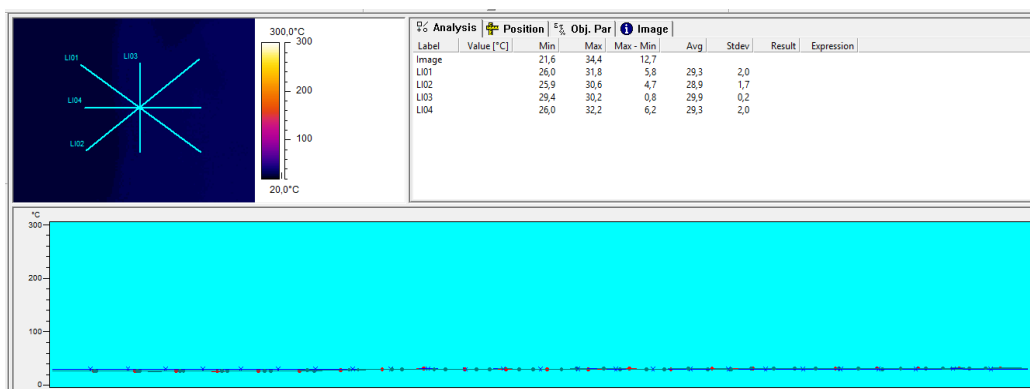
Εικόνα 4.27 Διάγραμμα Θερμοκρασιών στην εξωτερική πλευρά του δοκιμίου της γυψοσανίδας

4.2.2 Πείραμα Πολυστρωματικής Τοιχοποιίας

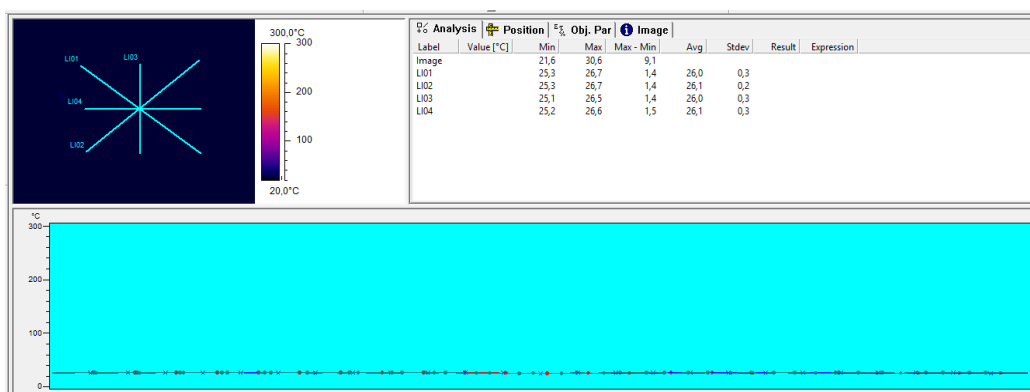
Εφόσον ολοκληρώθηκε το πείραμα για τη μελέτη της γυψοσανίδας στόχος ήταν η μελέτη ενός συνδυασμού διαφόρων δομικών υλικών τα οποία θα αποτελούσαν μία ενιαία τοιχοποιία. Έτσι στήθηκε το συγκεκριμένο πείραμα στο οποίο μελετήθηκαν τα εξής υλικά : γυψοσανίδα με υλικά αλλαγής φάσης (comfortboard), γυψοσανίδα με υαλονήματα, πετροβάμβακας, διογκωμένη πολυστερίνη και θερμοσοβάς.

Στο πείραμα συνδυασμού δομικών υλικών αποφεύχθηκε η χρήση κεραμοκουβέρτας για τη στήριξη των δοκιμίων, ώστε να μην επηρεαστεί η καταγραφή των θερμοκρασιών στα ακριανά σημεία των δοκιμίων. Έτσι, τα δοκίμια στηρίχθηκαν στο πλαίσιο πετυχαίνοντας σφικτή συναρμογή. Στη συγκεκριμένη μέτρηση ο φούρνος χρειάστηκε μία ώρα και δέκα λεπτά για να φτάσει την θερμοκρασία των 900 βαθμών κελσίου και παρέμεινε σε αυτήν για ακόμη μία ώρα. Τόσο τα θερμοστοιχεία όσο και η θερμοκάμερα που χρησιμοποιήθηκαν οδήγησαν σε σημαντικά αποτελέσματα όσον αφορά στη μελέτη της γυψοσανίδας σε υψηλές συνθήκες θερμοκρασίας. Συγκεκριμένα, ορισμένα από τα θερμοστοιχεία μετά από κάποια θερμοκρασία σταμάτησαν να καταγράφουν. Αυτό συνέβαινε τη στιγμή όπου τα θερμοστοιχεία κατέγραφαν θερμοκρασίες της τάξης των 750 με 800 βαθμών κελσίου. Συμπερασματικά ο συγκεκριμένος τύπος θερμοστοιχείων δεν είναι ο κατάλληλος για επιφάνειες στις οποίες η θερμοκρασία ξεπερνά τους 700 βαθμούς

κελσίου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα στιγμιότυπα που κατέγραψε η θερμοκάμερα με διαφορά 15 λεπτών.

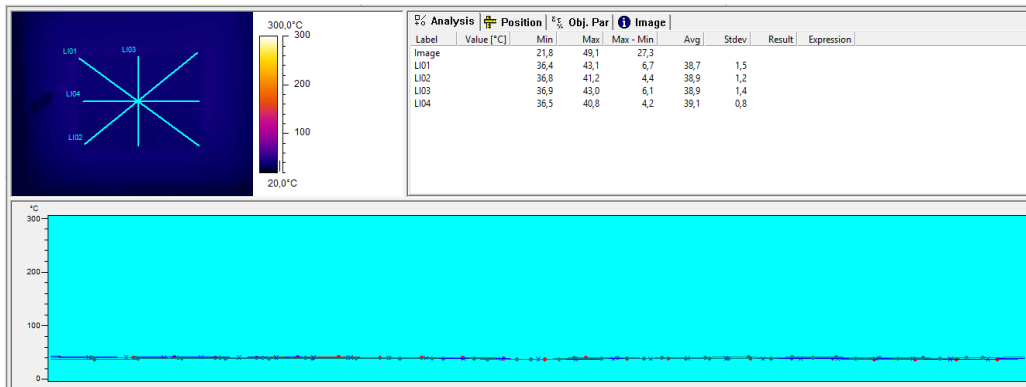


Εικόνα 4.28 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας στην αρχή της μέτρησης



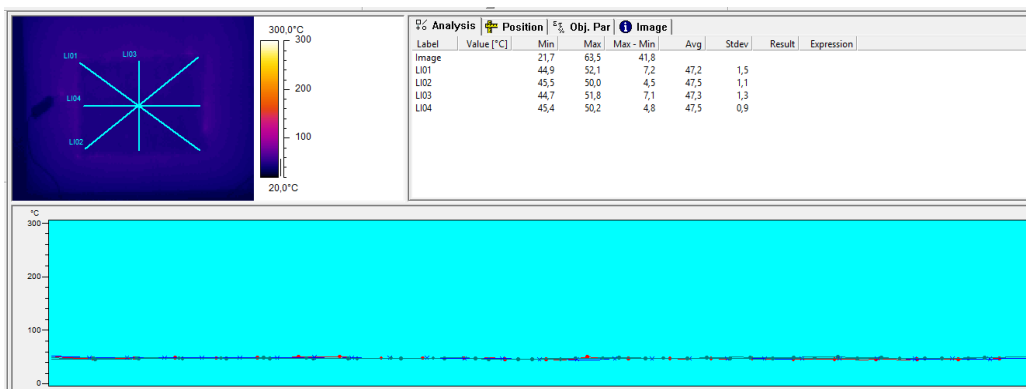
Εικόνα 4.29 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 15 λεπτά

Τα πρώτα 15 λεπτά του πειράματος η κατανομή της θερμοκρασίας στην εξωτερική επιφάνεια του συνολικού δοκιμίου είναι ομοιόμορφη και ίση με 27 βαθμούς κελσίου. Στην συνέχεια αφού έχουν περάσει 30 λεπτά από την έναρξη του πειράματος παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας της εξωτερικής επιφάνειας μέχρι την τιμή των 40 βαθμών κελσίου (Εικόνα 4.30).

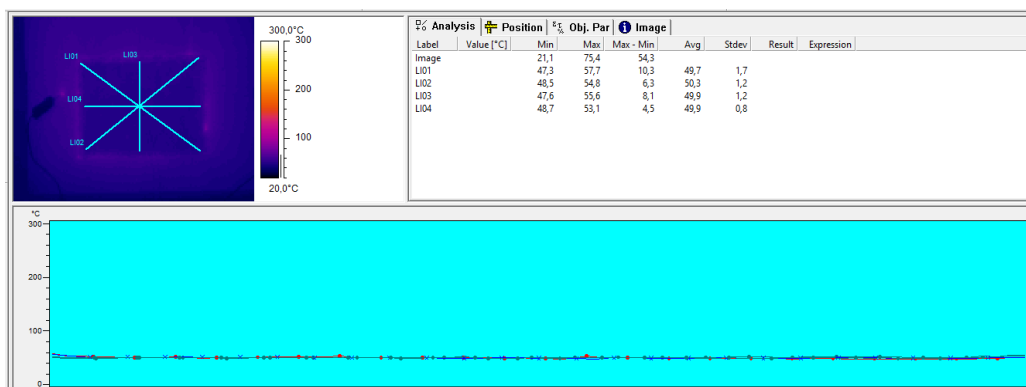


Εικόνα 4.30 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 30 λεπτά

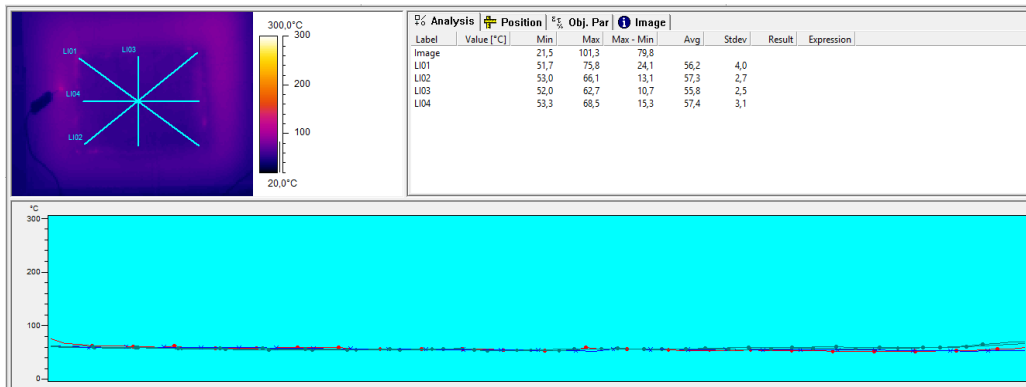
Στα επόμενα 15 λεπτά η θερμοκρασία παρέμεινε στα ίδια επίπεδα, ενώ μόλις συμπληρώθηκε μια ώρα από την έναρξη της μέτρησης η θερμοκρασία είχε φτάσει τους 60 βαθμούς κελσίου (Εικόνα 4.31). Ο φούρνος στα 75 λεπτά έφτασε την θερμοκρασία των 900 βαθμών κελσίου. Τη στιγμή αυτή η θερμοκρασία στην εξωτερική επιφάνεια του συνολικού δοκιμίου ήταν ακόμη της τάξης των 60 βαθμών κελσίου (Εικόνα 4.33).



Εικόνα 4.31 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 45 λεπτά

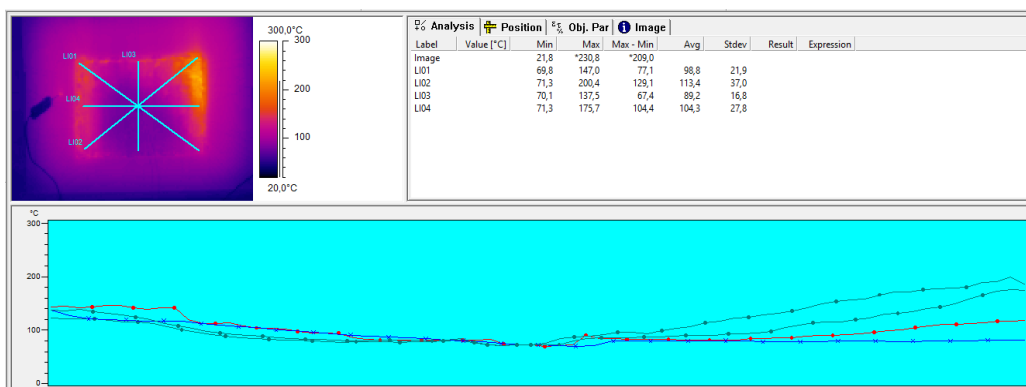


Εικόνα 4.32 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 60 λεπτά

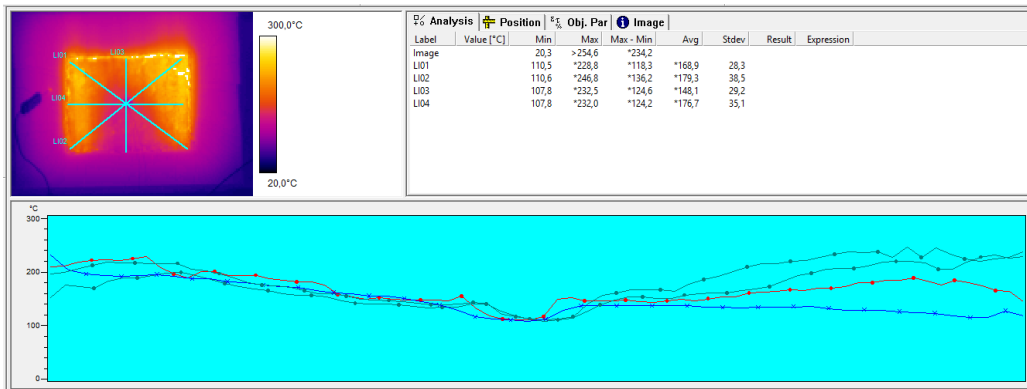


Εικόνα 4.33 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 75 λεπτά

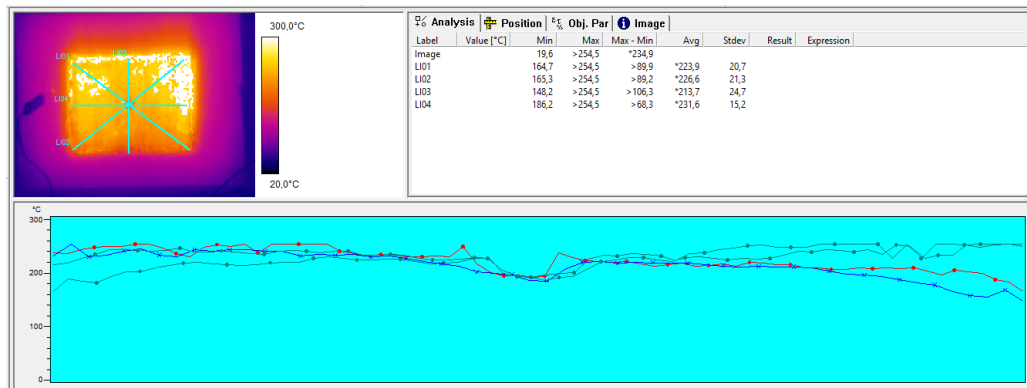
Στη συνέχεια ο φούρνος συνέχισε να κρατάει την θερμοκρασία σταθερή στο εσωτερικό του στους 900 βαθμούς κελσίου. Έτσι μετά από τα πρώτα 75 λεπτά η θερμοκρασία στην εξωτερική επιφάνεια άρχισε να αυξάνεται έντονα γιατί δεχόταν για αρκετό χρονικό διάστημα υψηλές θερμοκρασίες. Συγκεκριμένα, μετά από μιάμιση ώρα από την αρχή της μέτρησης η θερμοκρασία στην εξωτερική επιφάνεια του θερμοσοβά ήταν της τάξης των 100 βαθμών κελσίου. Ωστόσο, τη χρονική αυτή στιγμή φαίνεται πως αρχίζει και χάνεται η ομοιομορφία της θερμοκρασίας πάνω στην επιφάνεια. Σημαντικό ρόλο σε αυτήν την εξέλιξη έπαιξαν οι ρωγμές που παρουσίασε ο θερμοσοβάς. Αρχικά παρατηρήθηκαν έντονες ρωγμές στην δεξιά πλευρά του θερμοσοβά όπου αυτός στηριζόταν στο πλαίσιο. Και στην συνέχεια οι ρωγμές μεγάλωσαν και δημιουργήθηκαν και στο αριστερό τμήμα του δοκιμίου. Η πιο έντονη ρωγμή ωστόσο υπήρξε στο επάνω τμήμα όπου εκεί παρατηρήθηκαν και τα πρώτα σημάδια καπνού. Μετά από μία ώρα και εικοσιπέντε λεπτά άρχισαν να δημιουργούνται οι πρώτες ρωγμές και να βγαίνει καπνός. Η μυρωδιά ήταν πολύ έντονη και για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε το σύστημα του απορροφητήρα που διαθέτει το εργαστήριο. Η λειτουργία και η ταχύτητα αναρρόφησης του απορροφητήρα ελέγχθηκαν έτσι ώστε να μην επηρεάζει την μέτρηση των θερμοστοιχείων που βρίσκονται στην εξωτερική επιφάνεια. Το δοκίμιο του θερμοσοβά με το πέρασμα του χρόνου άρχισε να διογκώνεται, να παρουσιάζει ένα βέλος κάμψης και να μαυρίζει.



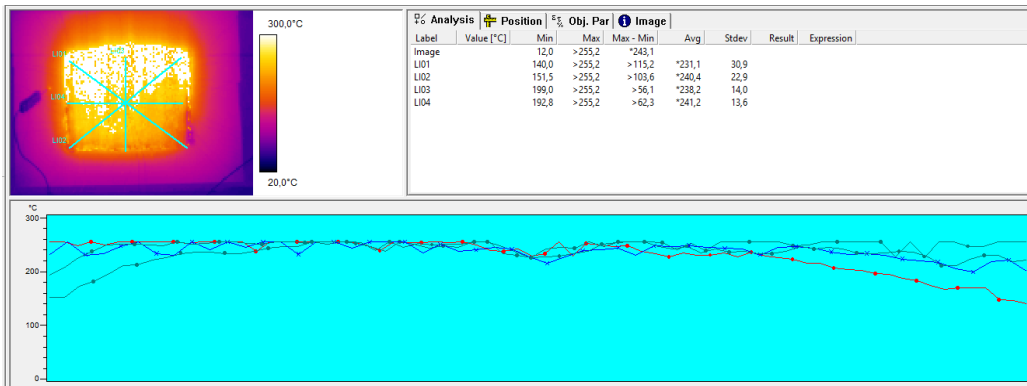
Εικόνα 4.34 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 90 λεπτά



Εικόνα 4.35 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 105 λεπτά



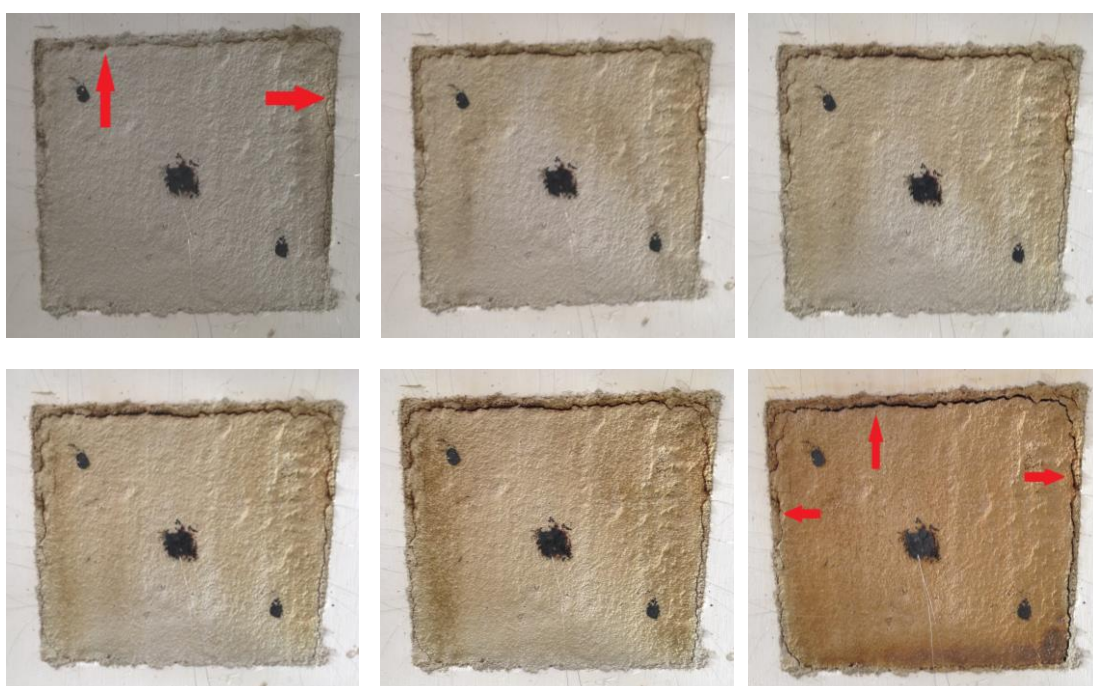
Εικόνα 4.36 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 120 λεπτά



Εικόνα 4.37 Στιγμιότυπο θερμοκάμερας μετά από 130 λεπτά

Ο φούρνος αφού κράτησε σταθερή την θερμοκρασία στους 900 βαθμούς κελσίου για μία ολόκληρη ώρα στην συνέχεια έκλεισε. Η μέγιστη θερμοκρασία που καταγράφηκε από τη κάμερα ήταν της τάξης των 250 βαθμών κελσίου. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως οι ρωγμές άρχισαν να παρουσιάζονται μετά από μιάμιση ώρα από την έναρξη του πειράματος. Στις επόμενες εικόνες απεικονίζεται η μορφή του θερμοσοβά από την στιγμή που αυτός άρχισε να μαυρίζει και να παρουσιάζει ρωγμές. Οι φωτογραφίες αυτές τραβήχτηκαν με διαφορά τριών λεπτών η μία από την άλλη (Εικόνα 4.38). Στις φωτογραφίες αυτές παρατηρείται η έντονη αλλαγή στο χρώμα της εξωτερικής επιφάνειας του θερμοσοβά και οι ρωγμές οι οποίες δημιουργούνται στα άκρα του. Ακόμη και από τα στιγμιότυπα που

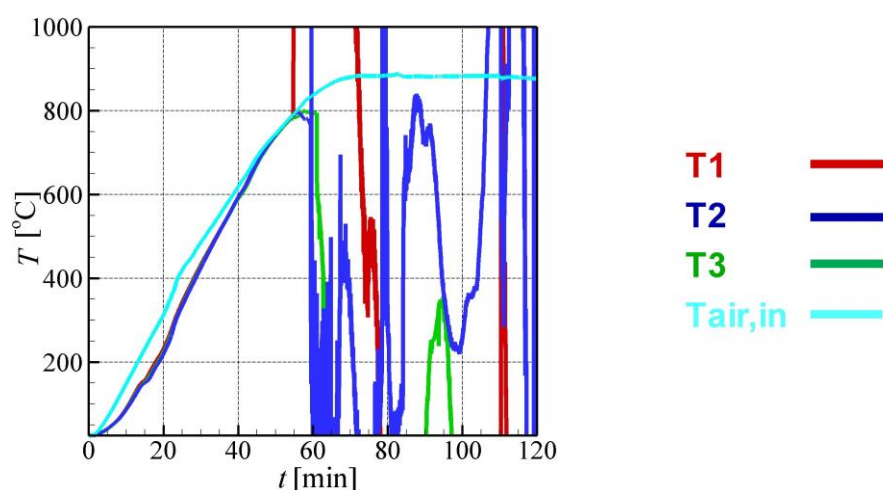
λήφθηκαν από τη θερμοκάμερα μετά τα πρώτα ενενήντα λεπτά παρατηρείται πως στο κέντρο του δοκιμίου επικρατεί πιο χαμηλή θερμοκρασία από αυτή των άκρων. Αυτό συμβαίνει επειδή στα άκρα λόγω των ρωγμών που αρχίζουν και δημιουργούνται, υπάρχουν απώλειες θερμότητας. Το ίδιο φαινόμενο συνεχίζει μέχρι και την συμπλήρωση δύο ωρών από την έναρξη του πειράματος. Τέλος, τη χρονική στιγμή που κλείνει ο φούρνος φαίνεται πως πλέον η θερμοκρασία είναι ομοιόμορφη πάνω στην επιφάνεια του θερμοσοβά. Ταυτόχρονα, όταν έκλεισε ο φούρνος είχε σταματήσει να βγαίνει καπνός από το εσωτερικό του κάτι που δηλώνει πως οι αντιδράσεις στο εσωτερικό των δομικών υλικών είχαν κατά ένα μεγάλο ποσοστό ολοκληρωθεί.



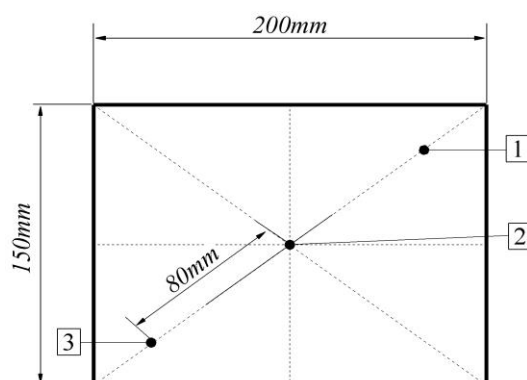
Εικόνα 4.38 Εξωτερική επιφάνεια θερμοσοβά ανά 3 λεπτά από τη στιγμή που εμφανίστηκε η πρώτη ρωγμή

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα θερμοστοιχεία που είχαν τοποθετηθεί σε κάθε διατομή μεταξύ των διαφορετικών υλικών. Ως εσωτερική πλευρά θα αναφέρεται η πλευρά που είναι πιο κοντά στο εσωτερικό του φούρνου, όπου επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες. Στο πρώτο διάγραμμα παρουσιάζονται οι συνθήκες θερμοκρασίας στην εσωτερική πλευρά της γυψοσανίδας με υλικά αλλαγής φάσης (comfortboard). Επίσης, στο συγκεκριμένο διάγραμμα, εμπεριέχεται η καμπύλη που αντιστοιχεί στο θερμοστοιχείο που κατέγραφε την θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του φούρνου. Όσο αφορά στα θερμοστοιχεία που καταγράφουν τις θερμοκρασίες στην επιφάνεια της γυψοσανίδας, με την συμπλήρωση 18 περίπου λεπτών από την έναρξη της μέτρησης παρατηρείται μια ενδόθερμη αντίδραση η οποία αντιστοιχεί στην

αφυδάτωση που λαμβάνει χώρα στο εσωτερικό της γυψοσανίδας. Η αφυδάτωση αυτή, φαίνεται να ξεκινάει στους 180 βαθμούς κελσίου. Στη συνέχεια, η καμπύλη των θερμοστοιχείων που βρίσκονται στην επιφάνεια της γυψοσανίδας προσεγγίζει την καμπύλη που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία του αέρα με την συμπλήρωση των πρώτων 40 λεπτών. Τέλος, από το συγκεκριμένο διάγραμμα βγαίνει το συμπέρασμα πως τα θερμοστοιχεία αστοχούν και σταματάνε να καταγράφουν τη σωστή θερμοκρασία όταν τα επίπεδα θερμοκρασίας φτάσουν τους 800 βαθμούς κελσίου. Μόνο το θερμοστοιχείο του αέρα συνέχισε να καταγράφει μέχρι την λήξη του πειράματος. Έτσι, όταν η θερμοκρασία στο εσωτερικό του φούρνου φτάσει τους 900 βαθμούς κελσίου και παραμένει στα ίδια επίπεδα για μία ώρα, το θερμοστοιχείο καταγράφει σταθερά την ίδια θερμοκρασία.



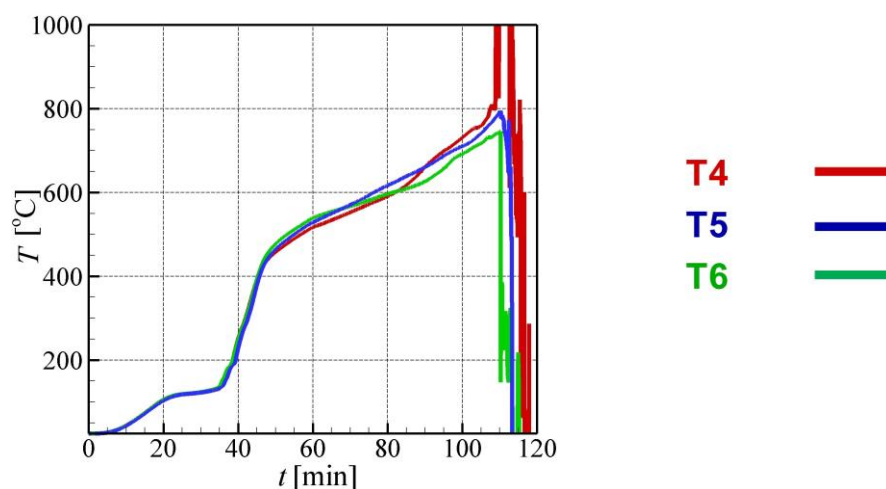
Εικόνα 4.39 Διάγραμμα θερμοκρασίας στην εσωτερική πλευρά του comfortboard



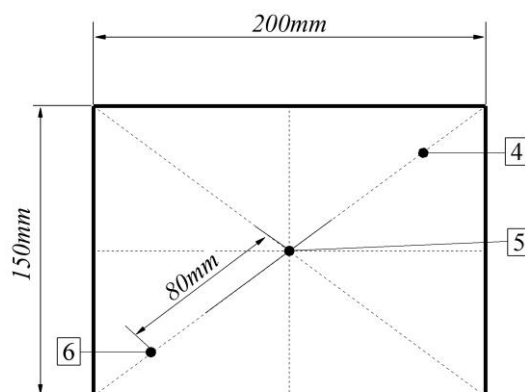
Εικόνα 4.40 Θέσεις θερμοστοιχείων στην εσωτερική πλευρά του comfortboard

Στο διάγραμμα θερμοκρασίας στην εξωτερική πλευρά του comfortboard, το χρονικό διάστημα από 20 έως 40 λεπτά, παρατηρείται το πρώτο στάδιο της αφυδάτωσης της γυψοσανίδας. Επιπρόσθετα, με τη συμπλήρωση 39 λεπτών από την έναρξη της μέτρησης παρατηρείται το δεύτερο στάδιο αφυδάτωσης της γυψοσανίδας. Το

δεύτερο αυτό στάδιο είναι σαφώς μικρότερο από το πρώτο, έτσι διαρκεί μόλις ένα λεπτό.

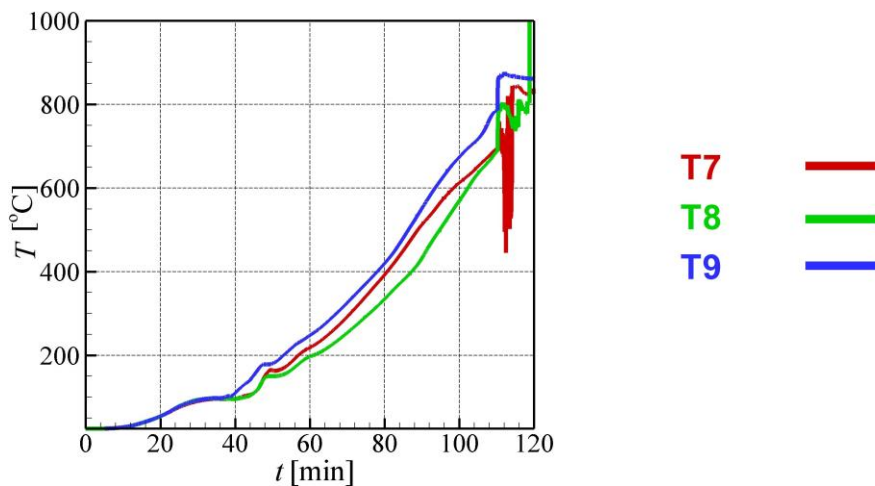


Εικόνα 4.41 Διάγραμμα θερμοκρασίας στην εξωτερική πλευρά του comfortboard

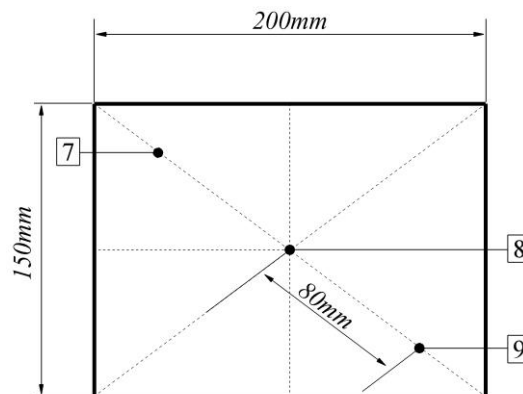


Εικόνα 4.42 Θέσεις θερμοστοιχείων στην εξωτερική πλευρά του comfortboard

Στη συνέχεια ακολουθεί το διάγραμμα θερμοκρασίας στην εσωτερική πλευρά της γυψοσανίδας με υαλονήματα. Στην περίπτωση αυτή, τα θερμοστοιχεία, στο χρονικό διάστημα μεταξύ 20 έως 40 λεπτά, καταγράφουν τόσο την αφυδάτωση της γυψοσανίδας με υλικά αλλαγής φάσης (comfortboard) όσο και το πρώτο στάδιο της αφυδάτωσης του πρώτου σημείου της γυψοσανίδας με υαλονήματα (GKF). Με την συμπλήρωση των πρώτων 50 λεπτών παρατηρείται το δεύτερο στάδιο της αφυδάτωσης που αντιστοιχεί στο πρώτο σημείο της γυψοσανίδας με υαλονήματα.

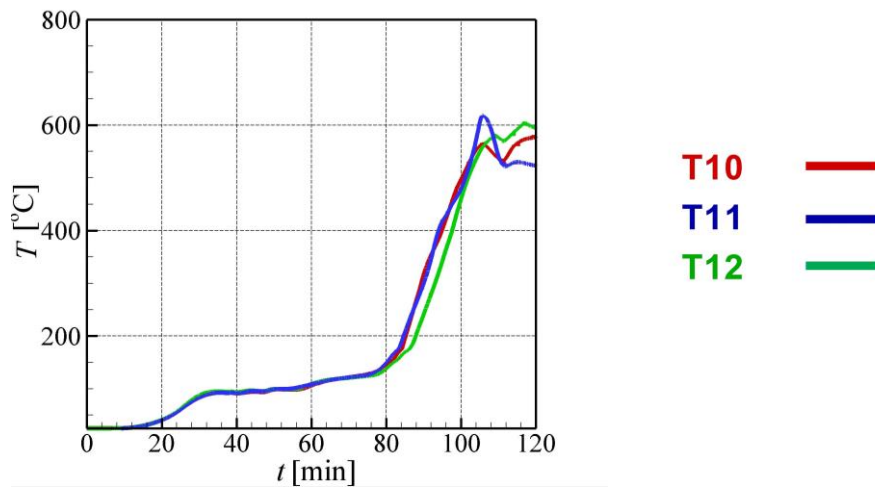


Εικόνα 4.43 Διάγραμμα θερμοκρασίας στην εσωτερική πλευρά της γυψοσανίδας με υαλονήματα

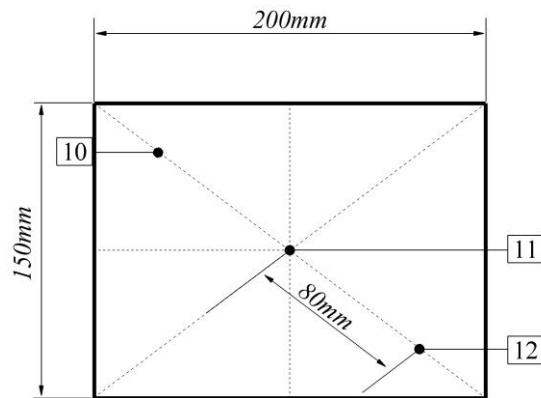


Εικόνα 4.44 Θέσεις θερμοστοιχείων στην εσωτερική πλευρά της γυψοσανίδας με υαλονήματα

Βασική παρατήρηση για το παραπάνω διάγραμμα αποτελεί η ερμηνεία της απόκλισης που παρουσιάζουν τα τρία θερμοστοιχεία μεταξύ τους. Τα θερμοστοιχεία T7 και T9 όπως προκύπτει από το διάγραμμα φαίνεται πως αρχίζουν να καταγράφουν υψηλότερες θερμοκρασίες πιο γρήγορα σε σχέση με το θερμοστοιχείο T8. Έτσι, φαίνεται να τελειώνουν πιο γρήγορα οι αντιδράσεις αφυδάτωσης και να προσεγγίζουν σχετικά σύντομα τις υψηλές συνθήκες θερμοκρασίας. Το φαινόμενο αυτό γίνεται αντιληπτό παρατηρώντας τις θέσεις που έχουν τα δύο αυτά θερμοστοιχεία στην επιφάνεια της γυψοσανίδας. Συγκεκριμένα τα θερμοστοιχεία T7 και T9 βρίσκονται στα δύο άκρα της μιας διαγώνιου στο δοκίμιο της γυψοσανίδας με υαλονήματα. Έτσι, είναι λογικό στα άκρα του δοκιμίου να παρατηρείται πιο έντονη διαφυγή υδρατμών προς το περιβάλλον, κατά το φαινόμενο της αφυδάτωσης. Το γεγονός αυτό συντελεί στην συντομότερη εξέλιξη των φαινομένων αφυδάτωσης που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό της γυψοσανίδας.

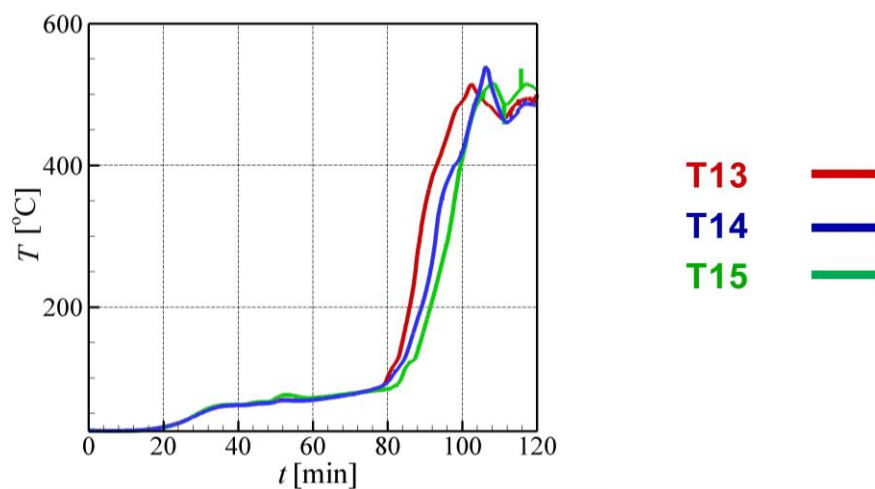


Εικόνα 4.45 Διάγραμμα θερμοκρασίας στην εξωτερική πλευρά της γυψοσανίδας με υαλονήματα

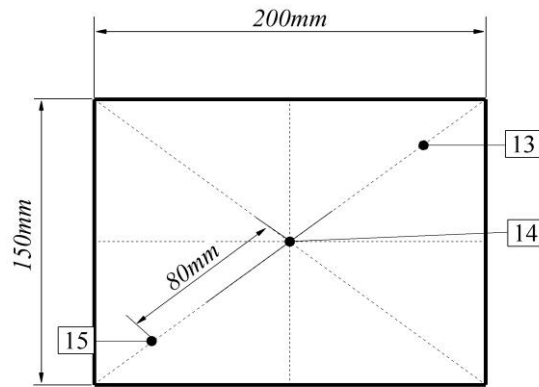


Εικόνα 4.46 Θέσεις θερμοστοιχείων στην εξωτερική πλευρά της γυψοσανίδας με υαλονήματα

Στο διάγραμμα θερμοκρασίας στην εξωτερική πλευρά της γυψοσανίδας με υαλονήματα παρατηρείται ένα μεγάλο πλατό από τα 30 μέχρι τα 80 λεπτά, το οποίο αντιστοιχεί σε παραπάνω από μία αντιδράσεις αφυδάτωσης. Συγκεκριμένα, είναι συνδυασμός της αφυδάτωσης που λαμβάνει χώρα και στους δύο τύπους γυψοσανίδας.

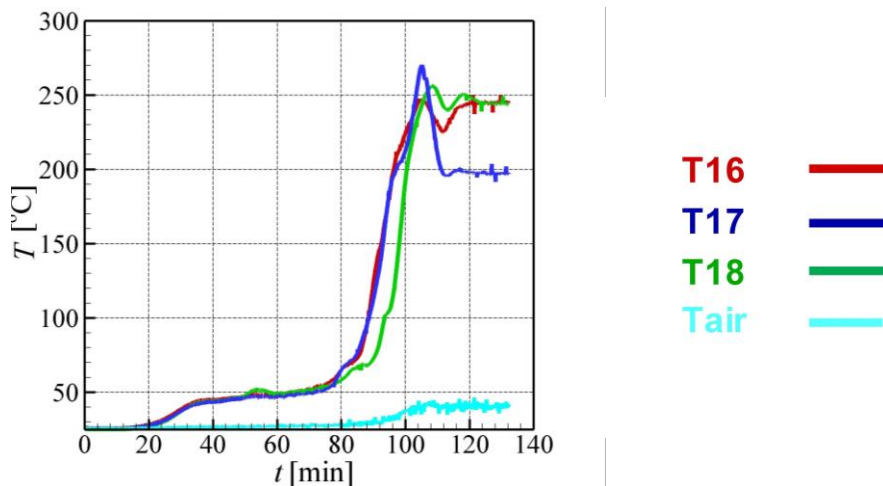


Εικόνα 4.47 Διάγραμμα θερμοκρασίας στην εξωτερική πλευρά της διογκωμένης πολυστερίνης

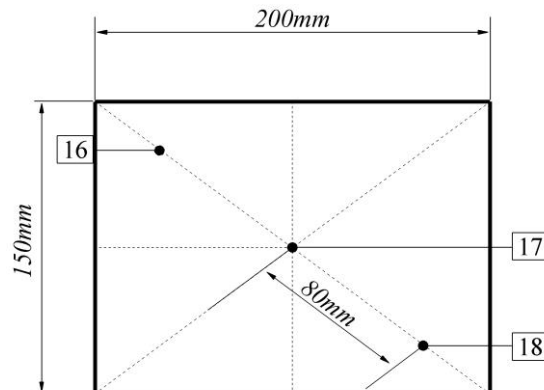


Εικόνα 4.48 Θέσεις θερμοστοιχείων στην εξωτερική πλευρά της διογκωμένης πολυστερίνης

Τα επόμενα διαγράμματα είναι εμφανώς επηρεασμένα από τα προηγούμενα. Έτσι, καταγράφεται ο συνδυασμός των αντιδράσεων αφυδάτωσης που εξελίσσεται στις γυψοσανίδες. Ωστόσο, στο διάγραμμα θερμοκρασίας στην εξωτερική πλευρά της διογκωμένης πολυστερίνης παρατηρείται μια απότομη αύξηση και στην συνέχεια μείωση σε θερμοκρασίες της τάξης των 500 βαθμών κελσίου. Αυτή η αιχμή φαίνεται να οφείλεται στην οξείδωση της διογκωμένης πολυστερίνης.

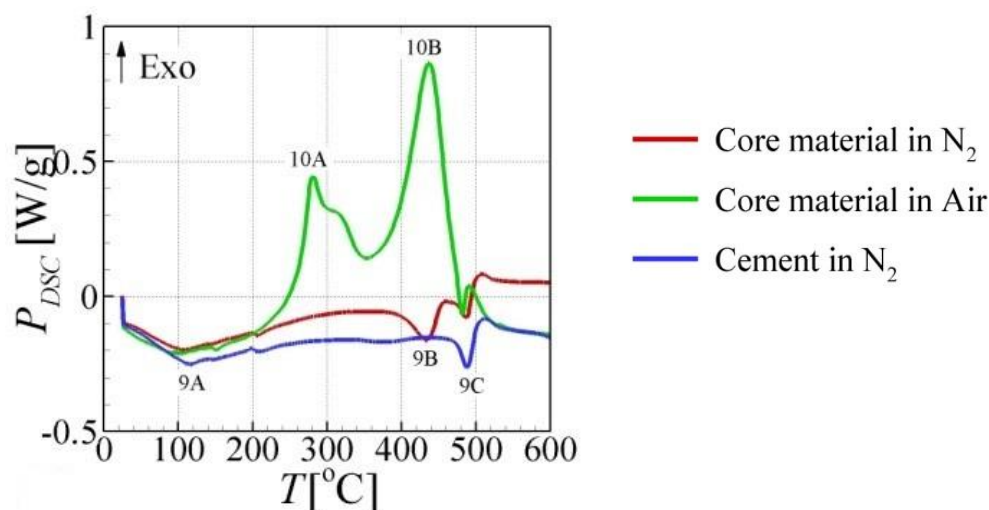


Εικόνα 4.49 Διάγραμμα θερμοκρασίας στην εξωτερική πλευρά του θερμοσοβά



Εικόνα 4.50 Θέσεις θερμοστοιχείων στην εξωτερική πλευρά του θερμοσοβά

Τέλος, στο διάγραμμα θερμοκρασίας στην εξωτερική επιφάνεια του θερμοσοβά, η οποία αποτελεί και την τελευταία επιφάνεια του συνολικού δοκιμίου που μελετήθηκε, στις αντιδράσεις αφυδάτωσης εμπεριέχεται και η αφυδάτωση του τσιμέντου το οποίο υπάρχει σε μεγάλο ποσοστό στο υλικό του θερμοσοβά. Επίσης, όπως και στο προηγούμενο διάγραμμα έτσι και σε αυτό σε θερμοκρασίες της τάξης των 270 βαθμών κελσίου παρατηρείται έντονη αιχμή. Η αιχμή αυτή αντιστοιχεί στην οξείδωση της διογκωμένης πολυστερίνης η οποία περιέχεται και στο υλικό του θερμοσοβά. Λόγω της πολυπλοκότητας της σύστασης του θερμοσοβά ακολουθεί διάγραμμα που αναπαριστά την θερμική συμπεριφορά του θερμοσοβά σε υψηλές θερμοκρασίες. Στην μέτρηση η οποία πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον αέρα παρατηρούνται δύο έντονες αιχμές οι οποίες αντιστοιχούν σε εξώθερμες αντιδράσεις. Συγκεκριμένα, οι δύο αυτές αντιδράσεις επιβεβαιώνουν την ύπαρξη διογκωμένης πολυστερίνης στο υλικό του θερμοσοβά. Έτσι, η διογκωμένη πολυστερίνη αρχίζει να λιώνει και παράγει πτητικά τα οποία οξειδώνονται.



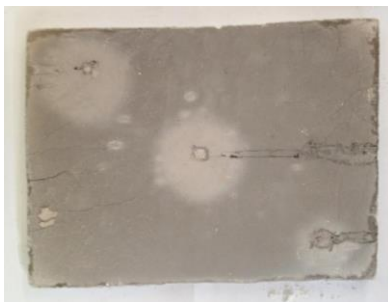
Εικόνα 4.51 Μέτρηση υλικού θερμοσοβά σε αέρα και άζωτο

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι εικόνες που δείχνουν την κατάσταση των δοκιμίων που συμμετείχαν στο συγκεκριμένο πείραμα. Αρχικά, το δοκίμιο που ήταν σε επαφή με τις συνθήκες περιβάλλοντος ήταν ο θερμοσοβάς (Εικόνα 4.52).



Εικόνα 4.52 Θερμοσοβάς κατά την εξαγωγή των δοκιμίων από το πλαίσιο του φούρνου

Στο δοκίμιο του θερμοσοβά δημιουργήθηκαν ρωγμές οι οποίες επέτρεψαν την είσοδο αέρα στο δοκίμιο που βρισκόταν εσωτερικά του θερμοσοβά. Έτσι, το δοκίμιο της διογκωμένης πολυστερίνης ήρθε σε επαφή με τον αέρα. Μόλις βγήκαν τα δοκίμια από το πλαίσιο του φούρνου παρατηρήθηκε πως η διογκωμένη πολυστερίνη είχε λιώσει. Έτσι, ο αέρας εισήλθε μέχρι και την εξωτερική πλευρά της γυψοσανίδας με υαλονήματα. Στην Εικόνα 4.53 παρατηρείται το μαύρο χρώμα του φύλλου της γυψοσανίδας, το οποίο οφείλεται στην έντονη οξείδωση του λόγω της παρουσίας αέρα στην εξωτερική πλευρά του δοκιμίου.



Εικόνα 4.53 Εξωτερική πλευρά γυψοσανίδας με υαλονήματα κατά την εξαγωγή των δοκιμίων από το πλαίσιο του φούρνου

Αντιθέτως, η εσωτερική πλευρά του δοκιμίου της γυψοσανίδας με υαλονήματα δεν παρουσίασε μαύρο χρώμα. Αυτό οφείλεται στην έλλειψη αέρα στην εσωτερική πλευρά. Ωστόσο, παρατηρούνται έντονες ρωγμές στην γυψοσανίδα. Παρά τις έντονες αυτές ρωγμές το δοκίμιο παρέμεινε ενιαίο τόσο σε όλη τη διάρκεια του πειράματος όσο και κατά την εξαγωγή του από το πλαίσιο του φούρνου (Εικόνα 4.54). Αυτό φαίνεται να οφείλεται κατά μεγάλο μέρος στα υαλονήματα που εμπεριέχονται στο υλικό αυτού του τύπου γυψοσανίδας.



Εικόνα 4.54 Εσωτερική πλευρά γυψοσανίδας με υαλονήματα κατά την εξαγωγή των δοκιμίων από το πλαίσιο του φούρνου

Όσο αφορά στο δοκίμιο του πετροβάμβακα, αυτό φαίνεται να έλιωσε και συρρικνώθηκε. Έτσι, μετατράπηκε σε συμπαγές υλικό. Η μορφή που πήρε κατά τη διάρκεια του πειράματος παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.55.



Εικόνα 4.55 Πετροβάμβακας κατά την εξαγωγή των δοκιμίων από το πλαίσιο του φούρνου

Τέλος, το τελευταίο δοκίμιο το οποίο βρέθηκε στις μεγαλύτερες θερμοκρασίες στην είσοδο του φούρνου ήταν η γυψοσανίδα με υλικά αλλαγής φάσης (comfortboard). Κατά την εξαγωγή του πλαισίου από την είσοδο του φούρνου το συγκεκριμένο δοκίμιο ξεκόλλησε από το πλαίσιο (Εικόνα 4.56). Δεν παρουσίαζε καμία δυναμική αντοχή και κατά την μεταφορά του θρυμματίστηκε.



Εικόνα 4.56 Γυψοσανίδα με υλικά αλλαγής φάσης κατά την εξαγωγή των δοκιμίων από το πλαίσιο του φούρνου

Κεφάλαιο 5

5. Συμπεράσματα

Κατόπιν ενδελεχούς μελέτης της συμπεριφοράς των δομικών υλικών σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών, τόσο σε επίπεδο μικρο-κλίμακας όσο και σε επίπεδο μεσαίας κλίμακας, τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι πολυάριθμα και ποικίλα. Αρχικά, σε επίπεδο μικρο-κλίμακας, η μελέτη της γυψοσανίδας με υαλονήματα ανέδειξε τη θερμομονωτική της ικανότητα, η οποία οφείλεται στο φαινόμενο της αφυδάτωσης που λαμβάνει χώρα στο εσωτερικό της σε θερμοκρασίες της τάξης των 100 με 200°C. Ομοίως, μελετώντας τη συμπεριφορά της διογκωμένης πολυστερίνης παρατηρήθηκε η θερμομονωτική της ικανότητα σε θερμοκρασίες μεταξύ των 300-450 °C. Στη συνέχεια, μελετήθηκε ο θερμοσοβάς ο οποίος αποτελείται από τσιμέντο και από διογκωμένη πολυστερίνη. Όπως ήταν αναμενόμενο τα πειράματα επιβεβαίωσαν την ύπαρξη της διογκωμένης πολυστερίνης στο υλικό του θερμοσοβά και παρουσίασαν το ρόλο αυτής στη θερμομονωτική ικανότητα του θερμοσοβά σε υψηλές θερμοκρασίες. Εκτός όμως από την αντίδραση που οφείλεται στη διογκωμένη πολυστερίνη, στο υλικό του θερμοσοβά λαμβάνει χώρα και η αφυδάτωση του νερού που περιέχεται στο τσιμέντο, η οποία συμβάλλει σημαντικά στη θερμομονωτική ικανότητα του θερμοσοβά.

Επίσης, σημαντικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα πειράματα μεσαίας κλίμακας και η συσχέτιση αυτών με τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα πειράματα μικρο-κλίμακας. Ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στο στήσιμο του πειράματος, έτσι ώστε να επιτευχθεί ο βασικός στόχος ο οποίος δεν ήταν άλλος από τη δημιουργία ενός πειράματος στο οποίο από τη μία πλευρά των δοκιμίων που μελετώνται να υπάρχουν συνθήκες περιβάλλοντος και από την άλλη πλευρά να αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες της τάξης των 900 °C. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνονταν με αρκετή ακρίβεια προσομοίωση συνθηκών φωτιάς μέσα σε ένα κτίριο με τα δοκίμια που μελετώνται να αποτελούν διαφορετικούς πιθανούς συνδυασμούς τοιχοποιίας. Πρώτα-πρώτα, η δημιουργία τοιχοποιίας από δύο δοκίμια γυψοσανίδας με υαλονήματα επιβεβαίωσε τα πειράματα μικρο-κλίμακας και ανέδειξε την εξαιρετική ικανότητα του υλικού αυτού για

θερμομόνωση. Το φαινόμενο της αφυδάτωσης που λαμβάνει χώρα στο εσωτερικό του υλικού της γυψοσανίδας έχει ως συνέπεια τη διατήρηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στα ίδια επίπεδα στην εξωτερική πλευρά του συνολικού δοκιμίου για μία περίπου ώρα. Το χρονικό αυτό διάστημα είναι σαφώς αρκετό για την εκκένωση ενός κτιρίου, ενώ στα επόμενα είκοσι λεπτά η θερμοκρασία στην εξωτερική πλευρά του δοκιμίου παρουσίασε μία αύξηση της τάξης των 20 °C. Το επόμενο πείραμα είχε ως στόχο τη μελέτη της θερμομονωτικής ικανότητας μιας τοιχοποιίας η οποία θα αποτελείται από ένα συνδυασμό διαφορετικών δομικών υλικών. Στο συγκεκριμένο πείραμα μελετήθηκαν δυο διαφορετικά είδη γυψοσανίδων σε συνδυασμό με πετροβάμβακα, διογκωμένη πολυστερίνη και θερμοσοβά. Τα αποτελέσματα ως προς τη θερμομονωτική ικανότητα της συγκεκριμένης τοιχοποιίας ήταν πολύ ικανοποιητικά. Η θερμοκρασία στη μη εκτεθειμένη πλευρά του συνολικού δοκιμίου παρέμεινε σταθερή για ογδόντα λεπτά και στη συνέχεια αυξήθηκε μόλις δέκα βαθμούς σε διάρκεια τριάντα λεπτών. Συμπερασματικά, ο συνδυασμός των συγκεκριμένων δομικών υλικών παρουσιάζει σαφώς καλύτερη θερμική ικανότητα από την τοιχοποιία που αποτελούνταν από δύο δοκίμια γυψοσανίδας. Ωστόσο, η συγκεκριμένη τοιχοποιία παρουσίασε κάποια άλλα προβλήματα. Συγκεκριμένα, μετά από ογδόντα πέντε περίπου λεπτά άρχισαν να βγαίνουν καπνοί με έντονη μυρωδιά. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην οξείδωση της διογκωμένης πολυστερίνης και πρέπει να ληφθεί υπόψη στην περίπτωση που συμπεριληφθεί ως κομμάτι της τοιχοποιίας ενός κτιρίου.

Κατά τη διάρκεια διεξαγωγής των πειραμάτων αναπτύχθηκαν ορισμένες ιδέες και προτάσεις για νέα πειράματα. Συγκεκριμένα, ιδιαίτερη αξία παρουσιάζει η εκμετάλλευση της μονωτικής ικανότητας του αέρα. Για το λόγο αυτό κρίνεται σκόπιμη η μελέτη των αποτελεσμάτων της χρήσης του αέρα στο εσωτερικό μιας τοιχοποιίας ανάμεσα σε δύο ή περισσότερα δομικά υλικά. Επιπρόσθετα, τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν με τα συγκεκριμένα δομικά υλικά θα μπορούσαν να επαναληφθούν τοποθετώντας τα ίδια δομικά υλικά σε διαφορετική σειρά.

Εν κατακλείδι, η πλειοψηφία των πειραμάτων παρουσίασε ικανοποιητικά αποτελέσματα και η μελέτη αρκετών παραμέτρων οδήγησε στη βαθύτερη κατανόηση των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα κατά την έκθεση των δομικών υλικών σε συνθήκες φωτιάς. Ωστόσο, ευρύ πεδίο παραμένει εύφορο για περαιτέρω διερεύνηση, καθώς και για βελτιστοποίηση των πειραματικών μεθόδων και αποτελεσμάτων.

Βιβλιογραφία

Ali Ergün, Gökhan Kürklü, Başpınar M. Serhat, Mohamad Y. Mansour, The effect of cement dosage on mechanical properties of concrete exposed to high temperatures, *Fire Safety Journal*, 55 (2013) 160-167.

Axenenko O. and Thorpe G., The modelling of dehydration and stress analysis of gypsum plasterboards exposed to fire, *Computational Materials Science*, 6 (1996) 281-294.

Gerd Hauser, Matthias Kersken, Herbert Sinnesbichler, Almuth Schade, Experimental and numerical investigations for comparing the thermal performance of infrared reflecting insulation and of mineral wool, *Energy and Buildings*, 58 (2013), 131-140.

Ghazi Wakili K., Hugi E., Wullschleger L., Frank Th., Gypsum Board in Fire-Modeling and Experimental Validation, *Journal of Materials Science*, 25 (2007) 267-282.

Ghazi Wakili K. and Hugi E., Four Types of Gypsum Plaster Boards and their Thermophysical Properties Under Fire Condition, *Journal of Fire Sciences*, 27 (2009) 27-43.

Guido Grause, Jun Ishibashi, Tomohito Kameda, Thallada Bhaskar, Toshiaki Yoshioka, Kinetic studies of the decomposition of flame retardant containing high-impact polystyrene, *Polymer Degradation and Stability*, 95 (2010) 1129-1137.

Ivan Gnip, Sigitas Vėjelis, Saulius Vaitkus, Thermal conductivity of expanded polystyrene (EPS) at 10 °C and its conversion to temperatures within interval from 0 to 50 °C, *Energy and Buildings*, 52 (2012) 107-111.

Kontogeorgos D. and Founti M., Gypsum board dehydration kinetics at autogenous water vapour partial pressure, *Thermochimica Acta*, 545 (2012) 141-147.

Kontogeorgos D. and Founti M., Gypsum board reaction kinetics at elevated temperatures, *Thermochimica Acta*, 529 (2012) 6-13.

Kontogeorgos D. and Founti M., Numerical investigation of simultaneous heat and mass transfer mechanisms occurring in a gypsum board exposed to fire conditions, *Applied Thermal Engineering*, 30 (2010) 1461-1469.

Lingling Jiao, Guangdong Xu, Qingsong Wang, Qiang Xu, Jinhua Sun, Kinetics and volatile products of thermal degradation of building insulation materials, *Thermochimica Acta*, 547 (2012) 120-125.

M.M. Shapi, A. Hesso, Thermal decomposition of polysterene: Volatile compounds from large-scale pyrolysis, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 18 (1990) 143-161.

Morten M. Smedskjaer, Mette Solvang, Yuanzheng Yue, Crystallisation behaviour and high-temperature stability of stone wool fibres, *Journal of the European Ceramic Society*, 30 (2010) 1287-1295.

Norman Grassie, Polymer degradation and the fire hazard, *Polymer Degradation and Stability*, 30 (1990) 3-12.

Pravin Kannan, Joseph J. Biernacki, Donald P. Visco Jr., A review of physical and kinetic models of thermal degradation of expanded polystyrene foam and their application to the lost foam casting process, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 78 (2007) 162–171.

Pravin Kannan, Joseph J. Biernacki, Donald P. Visco Jr., William Lambert, Kinetics of thermal decomposition of expandable polystyrene in different gaseous environments, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 84 (2009) 139–144.

Pin-Sheng Wang, Wen-Yen Chiu, Leo-Wang Chen, Bar-Long Denq, Trong-Ming Don, Yie-Shun Chiu, Thermal degradation behavior and flammability of polyurethanes blended with poly (bispropoxyphosphazene), *Polymer Degradation and Stability*, 66 (1999) 307-315.

S. Mehta, S. Biederman, S. Shivkumar, Thermal degradation of foamed polystyrene, *Journal of Materials Science*, 30 (1995) 2944-2949.

W. Sha, E.A. O'Neill, Z. Guo, Differential scanning calorimetry study of ordinary Portland cement, *Cement and Concrete Research*, 29 (1999) 1487–1489.

Ασημακοπούλου Ε., Υπολογιστική Προσομοίωση Διάδοσης Φωτιάς σε Κτίριο με Συστήματα Ξηράς Δόμησης και με Υλικά Αλλαγής Φάσης, Μεταπτυχιακή Εργασία, Αθήνα (2011).

Κοντογεώργος Δ., Ανάπτυξη υπολογιστικών εργαλείων προσομοίωσης φαινομένων μεταφοράς σε στερεά όρια (δομικά υλικά) για συνθήκες καύσης/φωτιάς, Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα (2012).

Κουντούρης Α., Πειραματική Μελέτη των Μηχανικών Ιδιοτήτων και των Μορφών Αστοχίας Σύνθετων Δομικών Πάνελ (τύπου Sandwich) υπο Σύνθετη Καταπόνηση, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα (2009).

Μυρωδιά Α., Μοντελοποίηση Μεταφοράς Θερμότητας Γυψοσανίδας σε Συνθήκες Φωτιάς, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα (2010).

Φούντη Μ., “Θεωρία Καύσης και Συστήματα Καύσης”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα (2005).

