

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

**Μ.ΓΡ. ΒΡΑΧΟΠΟΥΛΟΣ, ΕΛ. Δ. ΚΡΑΒΒΑΡΙΤΗΣ, Μ.Κ. ΚΟΥΚΟΥ, Δ. Γ. ΣΤΑΥΛΑΣ,
Β. Ν. ΣΤΑΜΑΤΟΠΟΥΛΟΣ, Α. Φ. ΓΟΝΙΑΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ,
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΧΑΛΚΙΔΑΣ, ΨΑΧΝΑ, 34400
e-mail: mvrachop@teihal.gr**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι πρώτες προσπάθειες για την εφαρμογή των υλικών αλλαγής φάσης στον κλιματισμό ξεκίνησαν το 1920. Έναυσμα για την περαιτέρω ανάπτυξη των εφαρμογών τους αποτέλεσε η συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη για εξοικονόμηση της καταναλισκόμενης ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι ενεργειακές κρίσεις που ξεκίνησαν τη δεκαετία του '70 και συνεχίζονται μέχρι και σήμερα, οδήγησαν στην ανάγκη άμεσης λήψης μέτρων για τη μείωση της ενεργειακής απαίτησης. Παράλληλα η επβεβαίωση της σχέσης μεταξύ ποιότητας περιβάλλοντος και εξοικονόμησης ενέργειας διαμορφώνει ένα ασφυκτικό περιβάλλον για την ταχύτατη διάδοση των συστημάτων ενέργειας, με σκοπό τη μείωση του παραγόμενου CO₂ και των άλλων χημικών ρύπων. Η μέθοδος της ενεργειακής αποθήκευσης προστίθεται στα ήδη υπάρχοντα συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας. Η αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας αποτελεί έναν από τους πλέον αποτελεσματικούς τρόπους αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. Σε αντίθεση με εκείνη της αισθητής θερμότητας, η μέθοδος αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας παρέχει αρκετά υψηλότερη πυκνότητα αποθήκευσης με μικρότερη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του υλικού αποθήκευσης και του μέσου συναλλαγής θερμότητας. Ως PCM χαρακτηρίζονται τα φιλικά προς το περιβάλλον υλικά που αλλάζουν φάση, συνήθως από τη στερεή στην υγρή κατάσταση. Οι εφαρμογές που σχετίζονται με τον κτιριακό και το βιομηχανικό τομέα χρησιμοποιούν PCM με θερμοκρασία αλλαγής φάσης από -40 °C έως 110 °C. Στην παρούσα εργασία προσδιορίζονται πειραματικά οι θερμοφυσικές ιδιότητες των υλικών αλλαγής φάσης και μελετάται, επίσης πειραματικά, μια παθητική εφαρμογή τους. Ο προσδιορισμός των θερμοφυσικών ιδιοτήτων διαφόρων PCMs γίνεται με τη “μέθοδο του δοχείου”, όπου λαμβάνοντας μια σειρά μετρήσεων και με τη χρήση απλών εξισώσεων, προσδιορίζονται η λανθάνουσα θερμότητα τήξης και η ειδική θερμότητα του υλικού. Με την κατασκευή πρότυπου θαλάμου (παθητική εφαρμογή) μελετάται η ικανότητα απορρόφησης φορτίων κλιματισμού με τη χρήση των υλικών αλλαγής φάσης. Αναπτύσσεται υπολογιστικό μοντέλο το οποίο συγκρίνεται με τις πειραματικές μετρήσεις.

Λέξεις-Κλειδιά : pcm; λανθάνουσα θερμότητα; ηλιακοί συλλέκτες; ενεργειακή αποθήκευση

1. Εισαγωγή

Οι μελέτες που έχουν διεξαχθεί τα τελευταία χρόνια με αντικείμενο την ενεργειακή κατάσταση στη χώρα μας, εκτιμούν ότι η ενεργειακή κατανάλωση θα αυξάνεται με ετήσιο ρυθμό 2.1 % έως το 2010 [1]. Στις προσπάθειες μείωσης του ρυθμού αυτού πιθανότατα να βοηθήσουν τα υλικά αλλαγής φάσης ή «PCMs» όπως αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία. Σαν ιδανικό PCM, θεωρείται ένα υλικό, που παρουσιάζει μεγάλη τιμή λανθάνουσας θερμότητας, υψηλή αγωγιμότητα, θερμοκρασία τήξης μέσα στο θερμοκρασιακό εύρος της εφαρμογής, τήκεται με την ελάχιστη εμφάνιση του φαινομένου « supercooling », είναι χημικά σταθερό, είναι φθινό στην παραγωγή του και δέν είναι

τοξικό, διαβρωτικό και εύφλεκτο. Η αποθήκευση θερμότητας με τη χρήση των υλικών αλλαγής φάσης αποτελεί έναν από τους πλέον αποτελεσματικούς τρόπους αποθήκευσης θερμικής ενέργειας.

Τα τελευταία χρόνια τα συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας αναπτύσσονται σε πολλές εγκαταστάσεις, όπως συστήματα ηλιακής ενέργειας, συστήματα κεντρικού κλιματισμού και σε ενεργειακά κτίρια, λόγω της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας και ισόθερμης συμπεριφοράς κατά τη διάρκεια της φόρτισης και αποφόρτισης τους. Ως ένα βαθμό, η επιλογή ή η προετοιμασία του κατάλληλου υλικού αλλαγής φάσης για ένα σύστημα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας είναι αρκετά δύσκολη αλλά εξίσου σημαντική. Σε κάθε περίπτωση ο προσδιορισμός των θερμοφυσικών χαρακτηριστικών των εκάστοτε υλικών αλλαγής φάσης (pcm) είναι ιδιαίτερα σημαντικός.

Οι μέθοδοι οι οποίες είναι διαθέσιμες για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας αλλαγής φάσης, της ειδικής θερμότητας μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις ομάδες.

- Διαφορική θερμική ανάλυση [Differential Thermal Analysis (DTA)] [2]
- Θερμιδομετρία διαφορικής ανίχνευσης [Differential Scanning Calorimetry (DSC)] [3]
- T – History [4]
- Συμβατική μέθοδος θερμιδομετρίας

Στην παρούσα εργασία εφαρμόζεται μια νέα μέθοδος, η «μέθοδος του δοχείου» που προσδιορίζει τη λανθάνουσα θερμότητα και την ειδική θερμότητα υπό ατμοσφαιρική στερεών ή υγρών υλικών. Σε σχέση με τις προαναφερθείσες, η μέθοδος αυτή είναι μια μέθοδος χαμηλού κόστους και ικανοποιητικής ακρίβειας. Σημαντικά πλεονεκτήματα είναι η απλότητα της κατασκευής της πειραματικής διάταξης, η μέτρηση μεγάλης ποσότητας δείγματος υλικού, που απλοποιεί τη διαδικασία εκλογής χαρακτηριστικού δείγματος και η εφαρμογή της δεν περιορίζεται μόνο στα υλικά αλλαγής φάσης. Επιπλέον, πλεονέκτημα είναι αυτό της πειραματικής διαδικασίας.

2. Προσδιορισμός των θερμοφυσικών ιδιοτήτων διαφόρων PCM

2.1 Πειραματική Διάταξη του δοχείου-Αρχή λειτουργίας

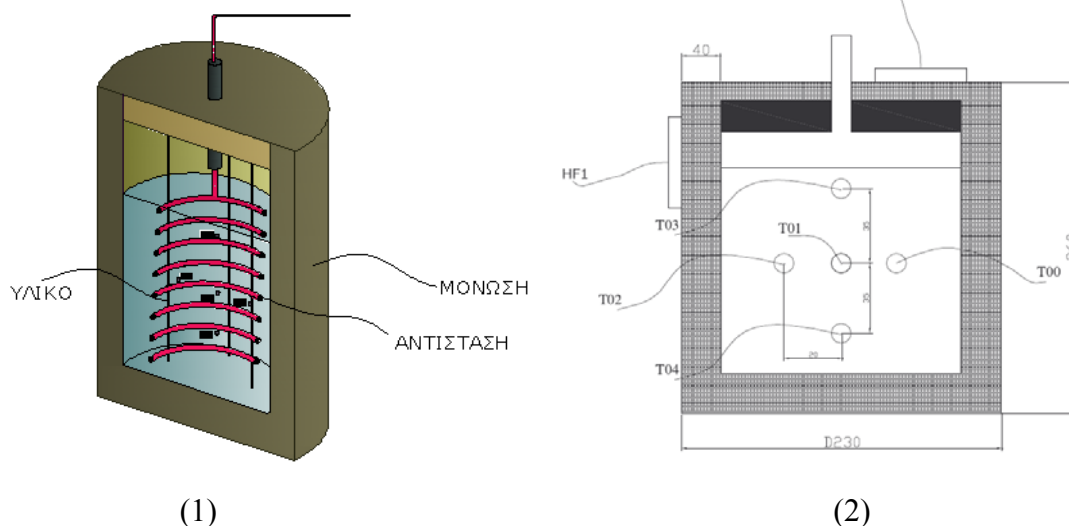


Το εικονιζόμενο δοχείο (φώτο1) σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε με σκοπό τον πειραματικό προσδιορισμό της θερμοχωρητικότητας υπό ατμοσφαιρική πίεση και της λανθάνουσας θερμότητας τήξης – στερεοποίησης ομογενών υλικών και υλικών σε μορφή κόκκων ανεξαρτήτου κοκκομετρίας όπως π.χ εμπορική παραφίνη και εργοστασιακά υλικά αλλαγής φάσης. Το μεταλλικό δοχείο είναι χωρητικότητας 3,5 lt ύψους 200 mm και εξωτερικής διαμέτρου 150 mm.

Φωτο 1 «Δοχείο Μέτρησης»

Για τον περιορισμό της συναλλαγής θερμότητας με το περιβάλλον το δοχείο μονώθηκε κατάλληλα με πάπλωμα πετροβάμβακα πάχους 90 mm. Για την προσθήκη θερμότητας στο σύστημα χρησιμοποιήθηκε εμβαπτιζόμενη αντίσταση σιλικόνης χαμηλών θερμοκρασιών, συνολικής ισχύος 75 Watt και μήκους 1,4 m. Η αντίσταση τοποθετήθηκε καθ' ύψος και περιμετρικά του μεταλλικού δοχείου και σταθεροποιήθηκε με τη χρήση κατάλληλων μεταλλικών στηριγμάτων (Σχήμα 1). Η ισχύς της αντίστασης ρυθμίζεται

πλήρως με τη χρήση ροοστάτη τύπου Variac και καταγράφεται μέσω ψηφιακού βατομέτρου. Επιπλέον, για τον υπολογισμό των απωλειών θερμότητας του δοχείου χρησιμοποιούνται δυο θερμορροόμετρα που τοποθετούνται εξωτερικά του δοχείου. Για τη μέτρηση των θερμοκρασιών χρησιμοποιήθηκαν θερμοζεύγη τύπου T τα οποία τοποθετήθηκαν όπως φαίνεται στο Σχήμα 2. Τα αισθητήρια θερμοκρασίας και θερμοροής συνδέθηκαν σε Data logger 8 θέσεων. Η καταγραφή των τιμών των θερμοκρασιών και των θερμοροών έγινε με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού.



Σχ. 1 & 2 : (1) Τριδιάστατη απεικόνιση δοχείου (2) Τοποθέτηση αισθητήρων στο δοχείο

Το προς μέτρηση υλικό εισάγεται στο δοχείο αφού προηγουμένως έχει μετρηθεί σε ογκομετρικό σωλήνα και έχει ζυγιστεί σε ζυγαριά ακριβείας. Δίνεται η επιθυμητή τιμή στο ροοστάτη για τη ρύθμιση της αντίστασης και αρχίζει η καταχώρηση των τιμών των αισθητηρίων. Γνωρίζοντας τη θερμοκρασία του δείγματος, την ενέργεια που προσδίδεται και το χρόνο που απαιτείται για δεδομένο θερμοκρασιακό εύρος υπολογίζεται η αποθηκευμένη θερμότητα στο δείγμα σε αισθητή και λανθάνουσα μορφή.

2.2 Διαδικασία υπολογισμού αποθηκευμένης θερμότητας

Για την πραγματοποίηση της μέτρησης κάποιου υλικού ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία. Γίνεται ρύθμιση της τάσης στα άκρα της αντίστασης μέσω του Variac και μέτρηση της απορροφουμένης ισχύος από την αντίσταση σε (W). Επιπλέον, γίνεται καταγραφή του χρόνου που διαρκεί η μέτρηση. Η διαδικασία υπολογισμού της αποθηκευμένης θερμότητας είναι η εξής: Στην καμπύλη μέσης τιμής θερμοκρασίας δείγματος – χρόνου λαμβάνονται οι δύο τιμές των θερμοκρασιών που καθορίζουν το θερμοκρασιακό εύρος που ενδιαφέρει ,ανάλογα με το θερμοκρασιακό εύρος της εφαρμογής,ο προσδιορισμός της θερμοχωρητικότητας ή της λανθάνουσας θερμότητας.Από το διάγραμμα γίνεται ανάγνωση του χρονικού διαστήματος για την πραγματοποίηση της θερμοκρασιακής μεταβολής. Η εκλυόμενη από την αντίσταση θερμότητα προσδιορίζεται πλέον ως εξής:

$$Q_R = \int_{t_1}^{t_2} P_R \cdot \Delta t \quad (\text{J}) \quad [1]$$

όπου :

Q_R : Εκλυόμενη θερμότητα από ηλεκτρική αντίσταση

P_R : Ισχύς ηλεκτρικής αντίστασης

Δt : Χρονικό βήμα

Αλλά επειδή η ισχύς της ηλεκτρικής αντίστασης είναι σταθερή η [1] γίνεται :

$$Q_R = P_R \cdot \Delta t \quad (\text{J}) \quad [2]$$

Η αποδιδόμενη από την αντίσταση θερμότητα καταναλίσκεται ως εξής :

1. Αποθήκευση θερμότητας στο μετρούμενο υλικό
2. Αποθήκευση θερμότητας στο υλικό του δοχείου
3. Αποθήκευση θερμότητας στο υλικό της μόνωσης του δοχείου
4. Απώλειες προς το περιβάλλον

Άρα η θερμότητα που αποθηκεύεται στο υλικό είναι :

$$Q_c = Q_R - m_{\text{δοχείου}} \cdot c_{p \text{δοχείου}} \cdot \Delta T_{\text{δοχείου}} - m_{\text{μόνωσης}} \cdot c_{p \text{μόνωσης}} \cdot \Delta T_{\text{μόνωσης}} - h \cdot A_{\text{δοχείου}} \cdot (T_{\text{επιφ}} - T_{\text{περιβ}})$$

όπου:

$m_{\text{δοχείου}}$: μάζα δοχείου (kg)

$m_{\text{μόνωσης}}$: μάζα μόνωσης (kg)

$C_{p \text{δοχείου}}$: ειδική θερμότητα υλικού δοχείου (kJ/kg·K)

$C_{p \text{μόνωσης}}$: ειδική θερμότητα υλικού μόνωσης (kJ/kg·K)

$\Delta T_{\text{δοχείου}}$: θερμοκρασιακή διαφορά υλικού δοχείου (K)

$\Delta T_{\text{μόνωσης}}$: θερμοκρασιακή διαφορά υλικού μόνωσης (K)

h : συντελεστής ειδικής συναγωγιμότητας (W / m²K)

A : εμβαδό διατομής δοχείου (m²)

$T_{\text{επιφ}}$: θερμοκρασία επιφάνειας δοχείου (K)

$T_{\text{περιβ}}$: θερμοκρασία περιβάλλοντος (K)

Q_R : Εκλυόμενη θερμότητα από ηλεκτρική αντίσταση

Q_c : Αποθηκευόμενη θερμότητα στο μετρούμενο υλικό

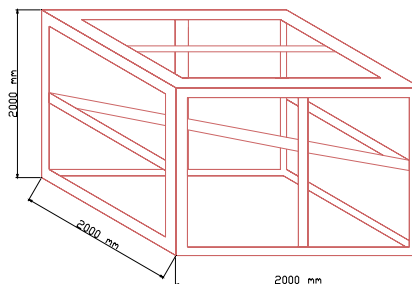
3. Παθητική εφαρμογή PCM

3.1 Πρότυπος Θάλαμος

Για τις ανάγκες της πειραματικής διαδικασίας σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ένας πρότυπος θάλαμος του οποίου οι διαστάσεις είναι 2 m x 2m x 2 m(Φώτο 2). Ο θάλαμος αυτός τοποθετήθηκε στην οροφή του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος της Χαλκίδας, σε θέση τέτοια ώστε να μη δημιουργούνται σκιάσεις από παρακείμενα αντικείμενα. Η κατασκευή του πρότυπου θαλάμου ολοκληρώθηκε σε δύο μέρη. Το πρώτο μέρος αποτελεί η κατασκευή του μεταλλικού σκελετού ενώ το δεύτερο μέρος η κατασκευή της ενισχυμένης τοιχοποιίας με υλικό αλλαγής φάσης και η τοποθέτηση τους επάνω στο μεταλλικό σκελετό.



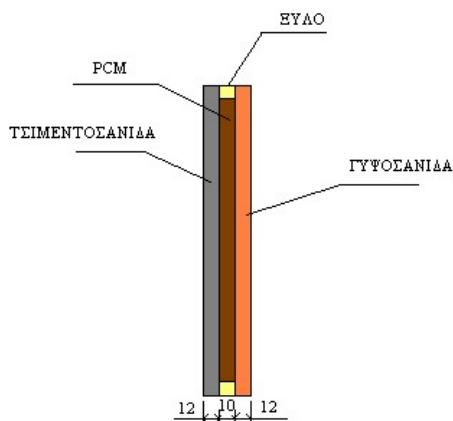
Φωτο 2 Πρότυπος Θάλαμος PCM



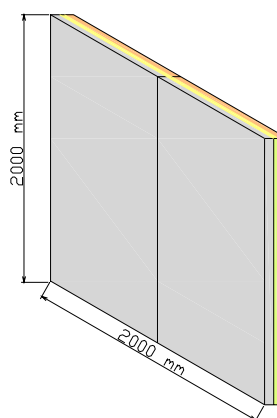
Σχήμα 3 Μεταλλικός σκελετός πρότυπου Θαλάμου

Ο μεταλλικός σκελετός αποτελείται από ελάσματα σιδήρου τύπου γωνίας, τα οποία συγκολλήθηκαν έτσι όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3. Το κάθε πάνελ είχε ύψος 2 m, πλάτος 1 m και πάχος 0.034 m. Όπως διακρίνεται από το Σχήμα 4 το τοίχωμα αποτελείται από τσιμεντοσανίδα και γυψοσανίδα πάχους 12 mm η καθεμία. Για τη δημιουργία του κενού χώρου πάχους ενός εκατοστού, στον οποίο τοποθετήθηκε το υλικό αλλαγής φάσης, χρησιμοποιήθηκαν ξύλινα πηγάκια. Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική αυτή διάταξη είναι το GR 27 της εταιρείας Rubitherm.

Σε κάθε τέτοιο πάνελ τοποθετήθηκαν 15 kg υλικού, για ολόκληρο το θάλαμο χρειάστηκαν 150 kg, εφ' όσον τοποθετήθηκαν σε κάθε προσανατολισμό δύο τέτοια πανελ, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5 που ακολουθεί.

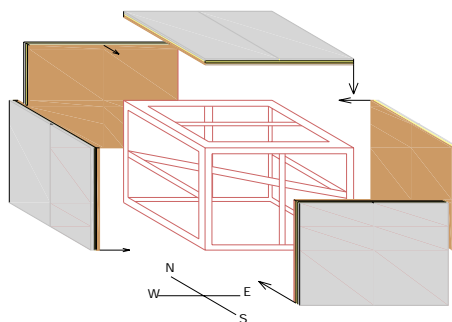


Σχήμα 4
Τομή Πάνελ



Σχήμα 5
Τρισδιάστατη Απεικόνιση Τοιχώματος

Το τελευταίο στάδιο ήταν η τοποθέτηση των πάνελ πάνω στο μεταλλικό σκελετό, η οποία απεικονίζεται στο Σχήμα 6.



Σχήμα 6 Τοποθέτηση Πάνελ

3.2 Λήψη & καταγραφή δεδομένων

Η απόκτηση των δεδομένων χωρίστηκε σε δύο επιμέρους τμήματα, ένα για τις θερμοκρασίες και ένα για τις καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν εκτός του θαλάμου κατά τη διάρκεια διεξαγωγής των μετρήσεων. Μετρήσεις ελήφθησαν από το Φεβρουάριο του 2007 έως το Σεπτέμβριο του ίδιου έτους. Για τη μέτρηση των θερμοκρασιών τα 21 συνολικά θερμοστοιχεία (4 ανα πανελ και ένα στο εσωτερικό του θαλάμου) συνδέθηκαν σε τρία modules, τα οποία με τη σειρά τους μετέφεραν τα σήματα σε ένα μετατροπέα, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με τον Η/Υ. Ο μετεωρολογικός σταθμός ο οποίος είναι τοποθετημένος σε απόσταση 4 m από το θάλαμο παρείχε τις ενδείξεις της εξωτερικής θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας, της ποσότητας της άμεσης και διάχυτης

ακτινοβολίας, της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου και τέλος της συνολικής διάρκειας ηλιοφάνειας ανά ημέρα. Όλα τα όργανα του μετεωρολογικού ήταν συνδεδεμένα με τον Η/Υ και με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού ήταν δυνατόν να αναγνωσθούν οι ενδείξεις.

3.3 Ανάπτυξη υπολογιστικού μοντέλου

Το υπολογιστικό μοντέλο που αναπτύχθηκε λύνει το πρόβλημα της μεταβατικής μονοδιάστατης αγωγής θερμότητας με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών [5]. Στόχος του προγράμματος είναι η αριθμητική προσομοίωση της θερμικής συμπεριφοράς κτιρίου, γεγονός που θα επιτρέψει την πρόβλεψη ή έστω μια πρώτη εκτίμηση, της θερμοκρασιακής κατάστασης του εσωτερικού αέρα αλλά και των δομικών στοιχείων που το αποτελούν. Τα δεδομένα εισαγωγής στον κώδικα είναι τα παρακάτω :

1. Πάχη στρωμάτων που αποτελούν την εξωτερική & την εσωτερική τοιχοποιία, καθώς & την οροφή.
2. Θερμοφυσικές ιδιότητες υλικών που αποτελούν τα στρώματα της εξωτερικής & της εσωτερικής τοιχοποιίας, καθώς & της οροφής.
3. Πάχος στρώματος PCM & διαστάσεις θαλάμου
4. Αρχικές θερμοκρασίες εσωτερικού αέρα & εξωτερικών τοιχωμάτων.
5. Θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος ενός 24 ώρου & ημέρες υπολογισμού

Όσον αφορά στη σύγκριση του κώδικα με τις μετρήσεις από τον πρότυπο θάλαμο, αναφέρεται πως οι θερμοφυσικές ιδιότητες των υλικών (Πίνακας 1) ελήφθησαν από τη βιβλιογραφία και η θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος προέκυψε από το μέσο όρο των θερμοκρασιών των 24ώρων του χρονικού διαστήματος που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.

Πίνακας 1 Θερμοφυσικές Ιδιότητες Υλικών

ΙΔΙΟΤΗΤΑ ΥΛΙΚΟ	Θερμική Αγωγιμότητα k $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$	Πυκνότητα ρ $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$	Ειδική Θερμότητα Cp $\left(\frac{kJ}{kg \cdot K}\right)$
Τσιμεντοσανίδα	0.58	1920	0.80
PCM	0.20	750	1.50
Γυψοσανίδα	0.17	800	1.09

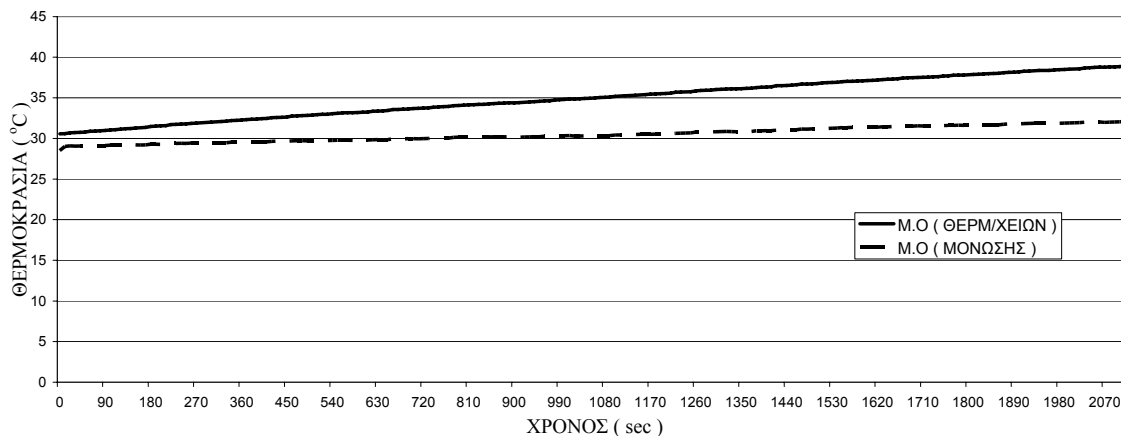
4. Αποτελέσματα - Συζήτηση

4.1 Προσδιορισμός των θερμοφυσικών ιδιοτήτων διαφόρων PCM

Για την πιστοποίηση της πειραματικής διάταξης διεξήχθησαν μετρήσεις διπλά απεσταγμένου νερού. Στο παρακάτω διάγραμμα 1 παρουσιάζεται η αύξηση της θερμοκρασίας, του διπλά απεσταγμένου νερού κατά τη διάρκεια μέτρησης με τη μέθοδο του δοχείου. Ακολουθώντας στη συνέχεια τη διαδικασία που αναλύθηκε στην παράγραφο 2.2 υπολογίζεται η ειδική θερμότητα του νερού σε 4.19 kJ/kg·K. Στους πίνακες που υπάρχουν στη διεθνή βιβλιογραφία η ειδική θερμότητα του νερού υπολογίζεται σε 4.18 kJ / kg·K στους 20 °C. Το επόμενο υλικό που μετρήθηκε είναι χώμα από τον περιβάλλοντα χώρο του εργαστηρίου, του οποίου η ειδική θερμότητα προσδιορίστηκε στα 0.83 kJ/kg·K. Ένα ακόμη υλικό που μετρήθηκε είναι το GR27 (Διάγραμμα 2) της εταιρείας

Rubitherm, του οποίου η αποθηκευόμενη θερμότητα τήξης προσδιορίστηκε σε 73.3 kJ/kg ενώ ο κατασκευαστής το υπολογίζει σε 72 kJ/kg για θερμοκρασιακό εύρος 20°C έως 35°C.

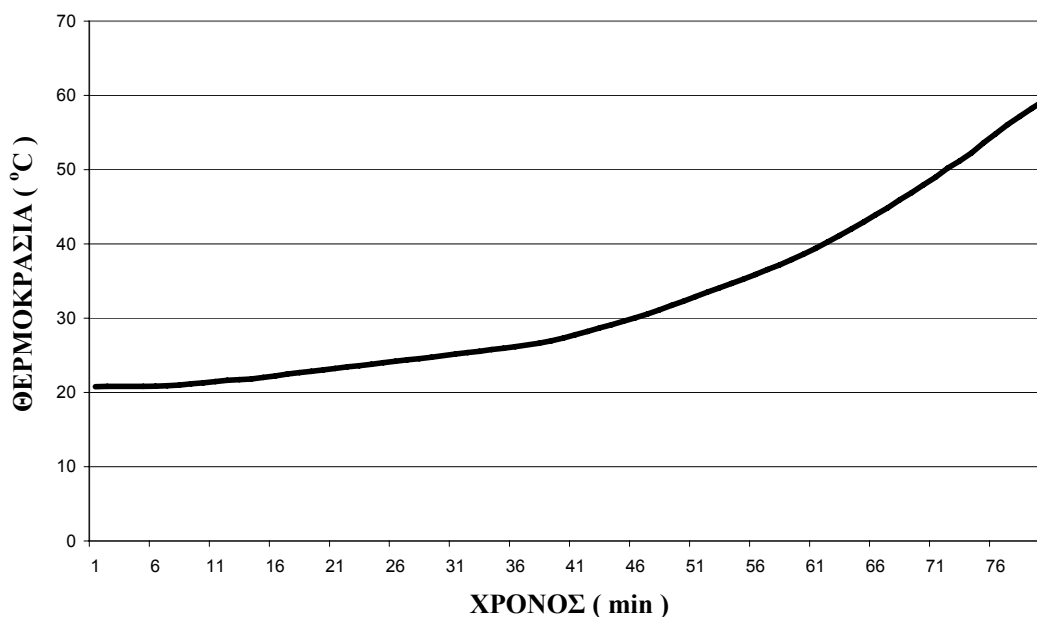
ΝΕΡΟ ΔΙΠΛΗΣ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ



Διάγραμμα 1

Μέτρηση νερού διπλής απόσταξης με ρύθμιση της αντίστασης στα 55 Watt

pcm GR 27



Διάγραμμα 2

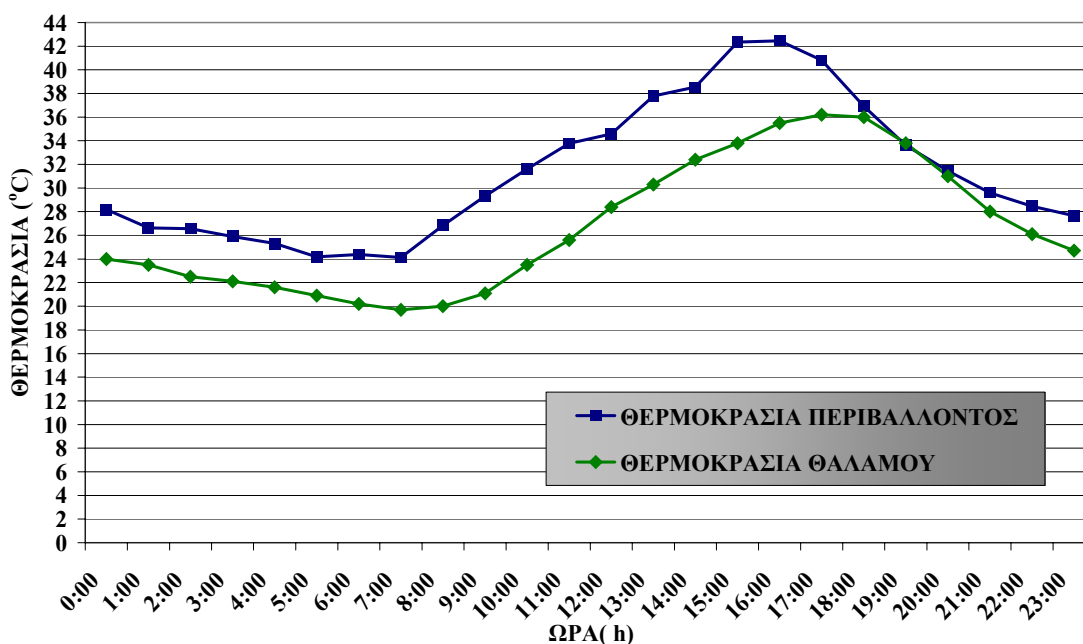
Μέτρηση GR 27 με ρύθμιση της αντίστασης στα 40 Watt

Από την ικανοποιητική συμφωνία που παρατηρείται μεταξύ των πειραματικών δεδομένων, των υπολογιστικών αποτελεσμάτων και των τιμών της διεθνούς βιβλιογραφίας, η μέθοδος κρίνεται αξιόπιστη και με αρκετά καλή ακρίβεια. Το χαρακτηριστικό της προτεινόμενης μεθόδου είναι η ιδιαίτερη απλότητα της κατασκευής σε σύγκριση με τα πολυπλόκωτα θερμιδόμετρα (calorimeters). Επιπλέον, η μέθοδος αυτή δίνει τη δυνατότητα μέτρησης υλικών σε μορφή κόκκων καθώς η ποσότητα του δείγματος είναι τέτοια ώστε να εγγυάται την ανεξαρτησία από τη διαδικασία λήψης

αυτού. Το φαινόμενο της μη επίτευξης θερμοκρασιακής ισορροπίας που θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως πρόβλημα της μεθόδου υφίσταται και στις μεθόδους που χρησιμοποιούν θερμοδόμετρα. Για τον περιορισμό του προβλήματος χρησιμοποιούνται χαμηλότεροι ρυθμοί φόρτισης. Το πρόβλημα αυτό στα θερμοδόμετρα εντείνεται εξαιτίας του γεγονός ότι η μέτρηση της θερμοκρασίας του δείγματος γίνεται από ένα σημείο. Στην περίπτωση της προτεινόμενης μεθόδου εντός του δείγματος παρουσιάζονται μεγαλύτερες θερμοκρασιακές διαφορές αλλά δίνεται η δυνατότητα μέτρησης της θερμοκρασίας σε πολλά σημεία ταυτόχρονα, παρέχοντας τη δυνατότητα προσδιορισμού μιας μέσης τιμής της θερμοκρασίας με αποτέλεσμα τη μείωση της πιθανότητας σφάλματος. Όσο περισσότερα είναι τα σημεία μέτρησης θερμοκρασίας στο δείγμα τόσο πιο αντιπροσωπευτική είναι η μέση τιμή που προκύπτει για τη θερμοκρασιακή κατάσταση του δείγματος.

4.2 Παθητική εφαρμογή των PCM

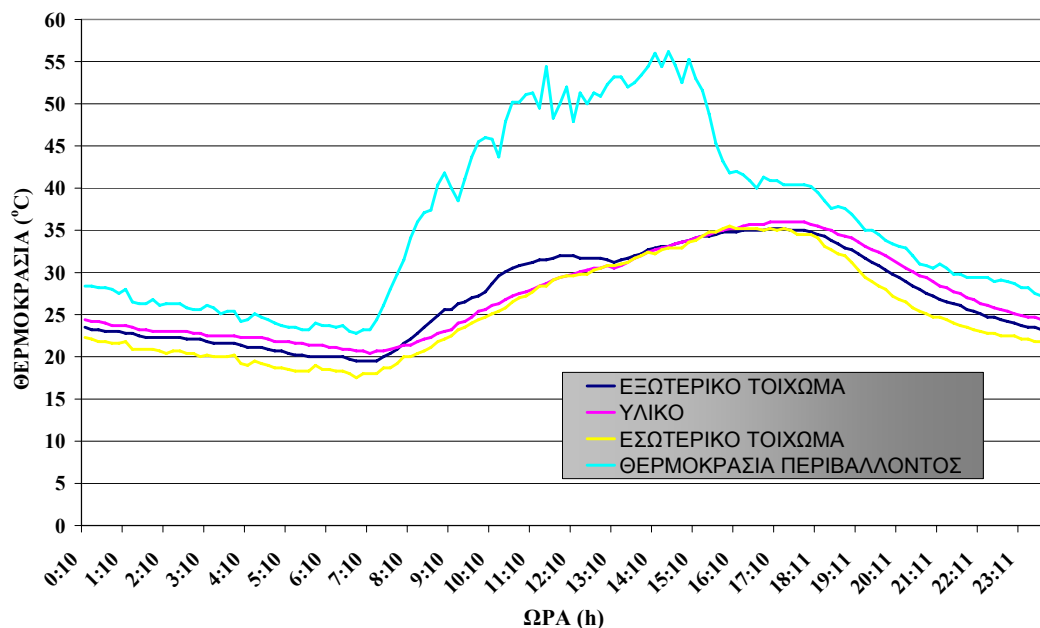
Στο Διάγραμμα 3 απεικονίζονται οι θερμοκρασιακές καμπύλες του αέρα περιβάλλοντος και του αέρα του θαλάμου. Διακρίνεται μια μετατόπιση του μέγιστου φορτίου κατά περίπου δύο ώρες και μια διαφορά θερμοκρασίας περίπου 6 °C. Κατά τη διάρκεια αύξησης της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και απο τη στιγμή που το υλικό φορτίστηκε, άρχισε να αποθηκεύει θερμότητα σε λανθάνουσα μορφή, ενώ ταυτόχρονα η θερμοκρασία του θαλάμου ήταν περίπου 6 °C χαμηλότερη. Όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος άρχισε να μειώνεται, το υλικό απελευθέρωσε την αποθηκευμένη θερμότητα διατηρώντας τη θερμοκρασία του θαλάμου μέσα στα επίπεδα θερμικής άνεσης.



Διάγραμμα 3

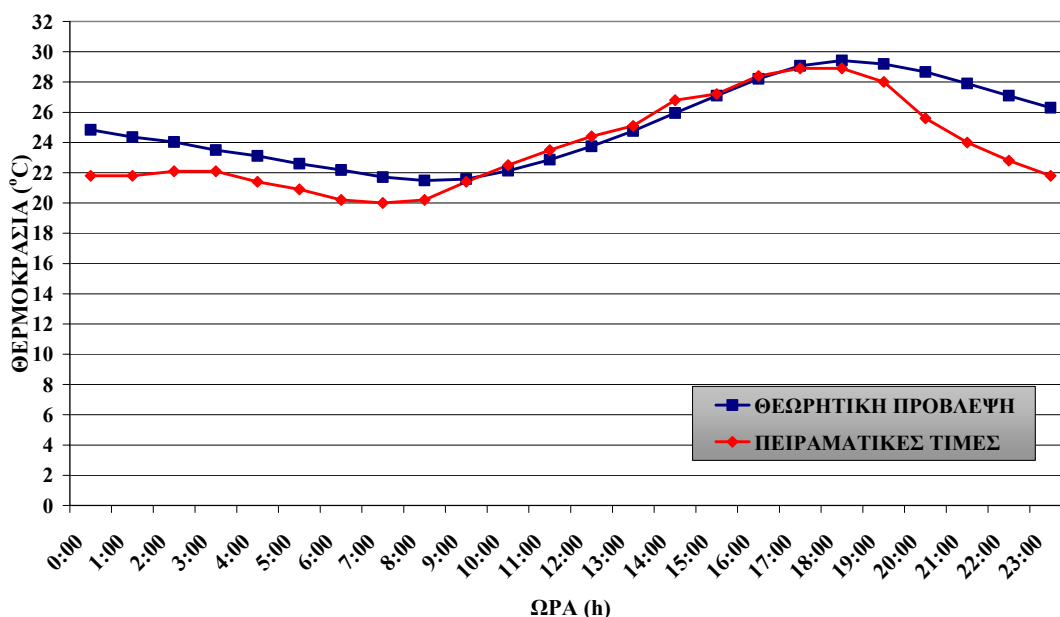
Ημερήσια θερμοκρασιακή καμπύλη αέρα περιβάλλοντος & αέρα θαλάμου

Η διαδικασία που αναλύθηκε παραπάνω φαίνεται καλύτερα στο Διάγραμμα 4, όπου απεικονίζονται οι θερμοκρασιακές καμπύλες των στρωμάτων που αποτελούν το τοίχωμα, καθώς και εκείνη του αέρα περιβάλλοντος. Παρατηρείται ότι ενώ η θερμοκρασία περιβάλλοντος μεγιστοποιείται στις τρεις, εκείνη του υλικού και ταυτοχρόνως του εσωτερικού τοιχώματος μεγιστοποιείται δυο ώρες αργότερα.



Διάγραμμα 4
 Ημερήσιο Θερμοκρασιακό προφίλ τοιχώματος οροφής

Στο παρακάτω Διάγραμμα 5 απεικονίζεται η πειραματική 24ωρη καμπύλη της θερμοκρασίας του θαλάμου όπως αυτή προέκυψε από τις μετρήσεις και η αντίστοιχη θεωρητική καμπύλη όπως αυτή προέκυψε από το υπολογιστικό μοντέλο που αναπτύχθηκε. Διαπιστώνεται πολύ ικανοποιητική συμφωνία των αποτελεσμάτων μεταξύ του πειράματος και του μοντέλου εφ' όσον η τυπική απόκλιση είναι 1,35. Οι αποκλίσεις που παρουσιάζονται μεταξύ θεωρητικού μοντέλου & πειραματικών μετρήσεων οφείλονται κυρίως στους εξής λόγους :



Διάγραμμα 5
 Θεωρητική & Πειραματική 24ωρη θερμοκρασιακή καμπύλη θερμοκρασιών θαλάμου

1. Στο θεωρητικό μοντέλο το δάπεδο του θαλάμου θεωρείται αδιαβατικό όριο.
2. Ακρίβεια προσδιορισμού ιδιοτήτων των υλικών του κελύφους. Οι ιδιότητες των υλικών ελήφθησαν από την βιβλιογραφία και οι τιμές τους δεν είναι πιστοποιημένες από τον κατασκευαστή.
3. Σφάλματα οργάνων μέτρησης. Ο κατασκευαστής των modules δίνει σφάλμα μέτρησης έως ± 1 °C. Αν συνυπολογίσουμε το λάθος των θερμοστοιχείων, τότε η απόκλιση του μοντέλου από τις πειραματικές μετρήσεις μικραίνει ακόμη περισσότερο.
4. Στον κώδικα δεν εισάγουμε προσανατολισμούς λόγω έλλειψης δεδομένων ακτινοβολίας
5. Χρήση μέσης τιμής μετρήσεων θερμοκρασίας αέρα περιβάλλοντος, ώστε να εξαλειφθεί το σφάλμα που προκύπτει από την 24ώρη διακύμανση, που διαφοροποιείται από μέρα σε μέρα, καθώς στον υπολογιστικό κώδικα θεωρείται σταθερό τυπικό 24ωρο που προκύπτει από τη μέση ωριαία τιμή των μετρήσεων.
6. Ο συντελεστής ειδικής συναγωγιότητας εξωτερικής & εσωτερικής επιφάνειας δεν προσδιορίστηκε πειραματικά αλλά στον κώδικα εισήχθη μια τυπική τιμή.
7. Στον κώδικα δε λαμβάνεται υπ' όψιν το φαινόμενο της υστέρησης του υλικού, έτσι θεωρείται ότι η φόρτιση και η αποφόρτιση του υλικού ακολουθούν την ίδια καμπύλη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] European Union Energy Outlook to 2020, Directorate General for Energy
- [2] Bhuddi D. et al., A simplification of the differential thermal analysis method to determine the latent heat of fusion of phase change materials, J. Phys. D: Appl. Phys. 20 1987 (1601-1605)
- [3] Bhadesia H., Differential Scanning Calorimetry, University of Cambridge, Materials Science & Technology,
- [4] Zhang Jinping et al., A simple Method- The T- History Method, Meas. Sci. Technol. 10 (1999), 201-205
- [5] Rubinsky B., A finite element method for the solution of one dimensional phase change problems, Int. Journal of Heat & Mass Transfer, Vol. 24 No 12 pp 1987-1989.