



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ
ΦΑΣΗΣ (PCM) ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΟΥΣ ΣΕ
ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ
ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΑΝΩ ΤΩΝ 30⁰ C ΠΡΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ
ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΝΗΣΙΔΑΣ.**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΡΙΣΤΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

A.M. : 200635

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Μ.ΣΑΝΤΑΜΟΥΡΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2012

Περίληψη

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε με σκοπό τη μελέτη των δυνατοτήτων και της αποτελεσματικότητας των υλικών αλλαγής φάσης (PCM) για αποθήκευση θερμότητας σε λανθάνουσα μορφή κατά την εφαρμογή τους σε επιφάνειες υλικών που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στο αστικό περιβάλλον.

Για το σκοπό αυτό μελετήθηκαν είκοσι (20) διαφορετικές επικαλύψεις οι οποίες δύναται να χρησιμοποιηθούν για τη βαφή του κελύφους κτιρίων όπως επίσης και σε άλλες επιφάνειες εξωτερικού περιβάλλοντος. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις επιφανειακής θερμοκρασίας των επικαλύψεων και εν συνεχεία έγινε στατιστική επεξεργασία και ανάλυση των αποτελεσμάτων από όπου και προκύπτουν συγκεκριμένα συμπεράσματα.

Αθήνα 11 / 9 / 2012

Περιεχόμενα

ΠΡΩΤΟ ΜΕΡΟΣ – ΘΕΩΡΙΑ

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

1.1 Το ενεργειακό πρόβλημα.....	7
1.2 Το περιβαλλοντικό πρόβλημα.....	8
1.3 Η ηλιακή ενέργεια.....	9
1.4 Τα υλικά αλλαγής φάσης.....	10

Κεφάλαιο 2 – Εισαγωγικές έννοιες

2.1 Ηλιακή ακτινοβολία.....	11
2.2 Αλληλεπίδραση ακτινοβολίας και ύλης.....	13
2.3 Θερμοδυναμική και μετάδοση θερμότητας.....	17
2.4 Μηχανισμοί μετάδοσης θερμότητας.....	20
2.5 Ταυτόχρονοι μηχανισμοί μετάδοσης θερμότητας.....	25

Κεφάλαιο 3 – Ψυχρά υλικά

3.1 Ορισμός-Γενικές γνώσεις.....	30
3.2 Πλεονεκτήματα χρήσης ψυχρών υλικών.....	30
3.3 Μειονεκτήματα χρήσης ψυχρών υλικών.....	31

Κεφάλαιο 4 – Υλικά αλλαγής φάσης

4.1 Ορισμός-Γενικές γνώσεις.....	32
4.2 Ταξινόμηση των PCM.....	36
4.2.1 Οργανικά υλικά.....	38
4.2.2 Ανόργανα υλικά.....	41
4.2.3 Εύτηκτα μίγματα οργανικών και ανόργανων υλικών.....	43
4.3 Απαιτήσεις ως προς τις ιδιότητες των PCM.....	44
4.4 Προβλήματα και τρόποι αντιμετώπισης.....	46

Κεφάλαιο 5 – Τομείς χρήσης των PCM

5.1 Γενικά.....	53
5.2 Συστήματα αποθήκευσης θερμότητας μη άμεσης επαφής με το μέσο μεταφοράς.....	53
5.3 Συστήματα αποθήκευσης θερμότητας άμεσης επαφής με το μέσο μεταφοράς.....	54
5.4 Κτιριακές εφαρμογές με PCM.....	54
5.4.1 Δομικά υλικά.....	55
5.4.2 Τοιχοποιία.....	57
5.4.2.1 Τοίχος Trombe.....	58
5.4.2.2 Γυψοσανίδα.....	58
5.4.3 Οροφές με PCM.....	59
5.4.4 Εφαρμογή PCM σε παντζούρια.....	60
5.4.5 Ενδοδαπέδια θέρμανση με PCM.....	61
5.4.6 Γενική χρήση των PCM.....	62
Κεφάλαιο 6 – Συμπεράσματα.....	63

ΔΕΥΤΕΡΟ ΜΕΡΟΣ – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

1.1 Στόχος εργασίας – περίληψη.....	67
1.2 Περιγραφή και παρασκευή των επικαλύψεων.....	67
1.3 Πειραματική διαδικασία.....	72
1.4 Πειραματικός εξοπλισμός.....	73

Κεφάλαιο 2 – Επεξεργασία μετρήσεων

2.1 Σύγκριση μέσων , μέσων μέγιστων και μέσων ελάχιστων θερμοκρασιών.....	75
2.1.1 Επικαλύψεις μαύρου χρώματος.....	77
2.1.2 Επικαλύψεις καφέ χρώματος.....	81
2.1.3 Επικαλύψεις μπλε χρώματος.....	85
2.1.4 Επικαλύψεις πράσινου χρώματος.....	89
2.1.5 Συμπεράσματα.....	93
2.2 Σύγκριση ρυθμών μεταβολής θερμοκρασιών.....	96
2.2.1 Επικαλύψεις μαύρου χρώματος.....	97
2.2.2 Επικαλύψεις καφέ χρώματος.....	104

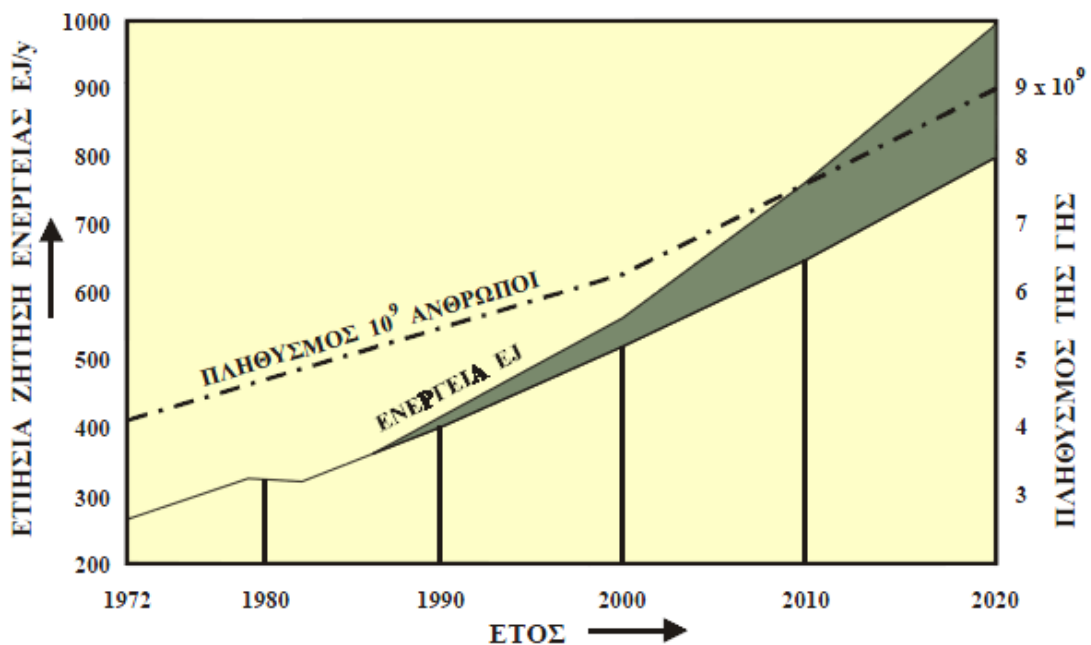
2.2.3	Επικαλύψεις μπλε χρώματος.....	110
2.2.4	Επικαλύψεις πράσινου χρώματος.....	116
2.2.5	Συμπεράσματα.....	122
2.3	Επίλογος.....	128
Πηγές – Βιβλιογραφία.....		129

ΠΡΩΤΟ ΜΕΡΟΣ - ΘΕΩΡΙΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Η ραγδαία τεχνολογική εξέλιξη, σε παγκόσμιο επίπεδο, κυρίως κατά τον 20^ο αιώνα, στηρίχθηκε αλλά και συνέβαλλε στην επίσης ραγδαία αύξηση κατανάλωσης ενέργειας. Μια εικόνα της αναμενόμενης εξέλιξης στη ζήτηση ενέργειας στο άμεσο μέλλον σε σχέση και με την προβλεπόμενη αύξηση του πληθυσμού της Γης φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα :



Σχήμα 1.1 : Προβλεπόμενη αύξηση ζήτησης ενέργειας ($1\text{EJ} = 10^{18}\text{ Joule} = 23,884\text{ τόνοι πετρελαίου}$)

Εξ' άλλου από πλήθος μελετών έχει διαπιστωθεί ότι υφίσταται σχεδόν πλήρης αναλογία μεταξύ κατανάλωσης ενέργειας και βιοτικού επιπέδου ανάμεσα στις διάφορες χώρες. Είναι χαρακτηριστικό για παράδειγμα ότι η κατά κεφαλή καταναλισκόμενη ενέργεια στην Ελλάδα είναι περίπου 5 φορές μικρότερη από την αντίστοιχη στις Η.Π.Α. και 2,5 έως 3 φορές μικρότερη από τις χώρες της Δυτικής Ευρώπης τη στιγμή που η ίδια σχεδόν αναλογία παρατηρείται και στο κατά κεφαλή Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν (Α.Ε.Π.) αυτών των χωρών. Γενικά, η οικονομική ανάπτυξη μιάς χώρας συνδέεται στενά και εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την ενεργειακή της κατανάλωση και αντίστροφα.

Όλες οι βιομηχανικά αναπτυγμένες χώρες, αλλά και άλλες χώρες λιγότερο αναπτυγμένες ή αναπτυσσόμενες, στηρίχθηκαν και εξακολουθούν να στηρίζονται στην παραγωγή και κατανάλωση

ενέργειας που προέρχεται κατά μέγιστο ποσοστό από τα ορυκτά καύσιμα δηλαδή το πετρέλαιο και τους γαιάνθρακες. Έτσι μέρα με τη μέρα, τα αποθέματα των ορυκτών καυσίμων ελαττώνονται και μάλιστα με γοργούς ρυθμούς, καθώς οι παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες αυξάνονται και σύμφωνα με μελέτες θα εξαντληθούν στο άμεσο μέλλον με εκτιμήσεις να θεωρούν ότι αυτό θα συμβεί στα προσεχή 120-150 έτη.

1.2 ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Η ραγδαία αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας από ορυκτά καύσιμα τον 20^ο αιώνα δεν οδήγησε μόνο στην εξάντληση των εν λόγω ενεργειακών πόρων και στις επακόλουθες πετρελαικές κρίσεις του 1973 και του 1979 αλλά επιπρόσθετα εκτόξευσε τις εκπομπές των θερμοκηπικών αερίων, του μονοξειδίου του άνθρακα, των σωματιδίων, των οξειδίων του αζώτου και του διοξειδίου του θείου σε ανησυχητικά επίπεδα, με αποτέλεσμα την καταστροφή του στρώματος του όζοντος και την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας και του φυσικού περιβάλλοντος.

Η κακή ποιότητα της ατμόσφαιρας, η αιθαλομίχλη και το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας σύμφωνα με το οποίο η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των ακραίων περιοχών και του κέντρου των μεγαλουπόλεων μπορεί να φτάσει και να ξεπεράσει τους 3-4 °C πλήττουν περίπου 70.000.000 πολίτες στα αστικά κέντρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Εκτός από τη βιομηχανία και τις αστικές μεταφορές σημαντική πηγή ρύπανσης αποτελεί η οικιακή θέρμανση και γενικότερα η παραγωγή ρύπων οφειλόμενη στην κατανάλωση συμβατικών καυσίμων στον κτιριακό τομέα. Συγκεκριμένα στην Ευρώπη κατά μέσο όρο σχεδόν το 25% της καταναλισκόμενης ενέργειας αντιστοιχεί στον κτιριακό τομέα ενώ στη χώρα μας αγγίζει το 24%. Το ποσοστό αυτό στην Ελλάδα συμβάλλει σημαντικά στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος, τόσο άμεσα λόγω χρήσης λεβήτων και κλιματιστικών όσο και έμμεσα λόγω της αυξημένης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από τα ιδιαίτερα ρυπογόνα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια της ΔΕΗ. Στον επόμενο πίνακα φαίνεται η κατανάλωση ενέργειας ανα τομέα στην Ελλάδα και την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Τομέας	Ελλάδα	ΕΕ-27
Μεταφορές	40,1%	32,6%
Βιομηχανία	20,9%	27,9%
Νοικοκυριά	24%	24,6%
Άλλο	15%	14,9%

Πίνακας 1.1 : Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα. Στοιχεία: Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2007

Λαμβάνοντας υπ' όψη τα παραπάνω, γίνεται κατανοητή η σημασία που έχει σήμερα η λήψη μέτρων για τη μείωση των απωλειών ενέργειας, θερμικών ή ψυκτικών φορτίων ανάλογα με την περίπτωση, και η λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση των απωλειών αυτών.

Ειδικά στη χώρα μας όπου επικρατούν ήπιες κλιματικές συνθήκες και παρουσιάζεται υψηλή ηλιοφάνεια δεν δικαιολογείται τέτοιο υψηλό ποσοστό ενεργειακής κατανάλωσης στον κτιριακό τομέα. Το υψηλό αυτό ποσοστό είναι δυνατόν να μειωθεί κατά πολύ, με τη λήψη κατάλληλων μέτρων και με την εφαρμογή του ενεργειακού σχεδιασμού και της οικολογικής δόμησης.

1.3 Η ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Τις τελευταίες δεκαετίες λόγω της επικείμενης εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων και της αλλόγιστης μόλυνσης και καταστροφής του φυσικού περιβάλλοντος μεγάλη ανάπτυξη και ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι εναλλακτικές μορφές ενέργειας με εφαρμογές όπως οι ηλιακοί συλλέκτες, τα φωτοβολταϊκά συστήματα τα αιολικά πάρκα και οι υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις.

Η ηλιακή ενέργεια για παράδειγμα, έχει σπουδαίες προοπτικές όσον αφορά στη χρήση της στα κτίρια, αφού η ηλιακή ακτινοβολία μετρούμενη σε ενεργειακές μονάδες υπολογίζεται να είναι 30000 φορές περισσότερη από αυτήν που πραγματικά έχει ανάγκη ο άνθρωπος. Είναι επίσης καθαρή πηγή ενέργειας, χωρίς εκπομπές ρύπων, και φυσικά δωρεάν, άφθονη και ανανεώσιμη.

Παρ' όλα αυτά υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί στη χρήση της. Είναι απρόβλεπτη πηγή ενέργειας, από την άποψη της ηλιοφάνειας, είναι διακοπτόμενη και μάλιστα πολλές φορές για μεγάλα χρονικά διαστήματα (συννεφιά, χιόνι, βροχή).

Εξ' αιτίας αυτών των απολύτως φυσικών λόγων, καθώς επίσης και λόγω του γεγονότος ότι από τις 8760 ώρες του έτους οι μισές περίπου είναι νύχτα για οποιοδήποτε μέρος στον πλανήτη, γίνεται προφανής η ανάγκη δημιουργίας ενός συστήματος ικανού να παράγει τέτοια χρονική καθυστέρηση στο φαινόμενο, ώστε η παροχή ενέργειας να μπορεί να ικανοποιήσει τη ζήτηση ανά πάσα στιγμή.

1.4 ΤΑ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM)

Από όλα τα συστήματα αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας που προτάθηκαν για την αντιμετώπιση του προβλήματος, τα συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας έτυχαν μεγάλης απήχησης λόγω κυρίως της ικανότητάς τους στην αποθήκευση μεγάλων ποσών ενέργειας σε σχετικά μικρό χώρο.

Τα συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας παρέχουν έναν πρακτικό και φυσικό τρόπο χρονικής καθυστέρησης και επιτρέπουν τη χρήση της θερμότητας που αποθηκεύτηκε την ημέρα, κατά τη διάρκεια της νύχτας, όποτε και αν αυτή χρειάζεται. Τα συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας τα οποία συνδυάζουν τη χρήση υλικών αλλαγής φάσης, θεωρούνται ιδιαίτερος σημαντικά για την έρευνα, λόγω της μεγάλης αποθηκευτικής (από ενεργειακή άποψη) ικανότητάς τους.

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

2.1 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Οι διάφορες διεργασίες που συντελούνται στα διάφορα στρώματα του ήλιου έχουν ως αποτέλεσμα την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που έχει μεγάλο φασματικό εύρος (από $10^{-4}\mu\text{m}$ έως μερικά δέκατα του μέτρου). Εκτός της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ο ήλιος εκπέμπει και σωματιδιακή ακτινοβολία η οποία αποτελείται από φορτισμένα σωματίδια (ηλιακός άνεμος) που απορροφούνται στην ανώτερη ατμόσφαιρα (πάνω από τα 100km) και επηρεάζουν τα διάφορα ατμοσφαιρικά (κυρίως οπτικά) φαινόμενα.

Επειδή η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο υφίσταται απορρόφηση από τις ατμόσφαιρες του ήλιου και της γής, και επειδή οι ατμόσφαιρες αυτές είναι πηγές ακτινοβολιών, η σύνθεση του ηλιακού φάσματος στην επιφάνεια της γης είναι αρκετά πολύπλοκη.

Ειδική ένταση ακτινοβολίας

Ως ειδική ένταση ακτινοβολίας ορίζεται η ενέργεια ακτινοβολίας μήκους κύματος λ που προσπίπτει σε στοιχειώδη επιφάνεια dA σε χρόνο dt , από μια διεύθυνση μέσα σε στερεή γωνία $d\omega$, δια του εμβαδού της προβολής της επιφάνειας dA σε επίπεδο κάθετο προς την διεύθυνση. θ είναι η γωνία μεταξύ της καθέτου της επιφάνειας dA και της διεύθυνσης. Μετριέται σε Wm^{-2} ή lymin^{-1} .

$$I_{\lambda} = \frac{dQ_{\lambda}}{dt d\omega dA \sin\theta} \quad (2.1)$$

Ροή ακτινοβολίας

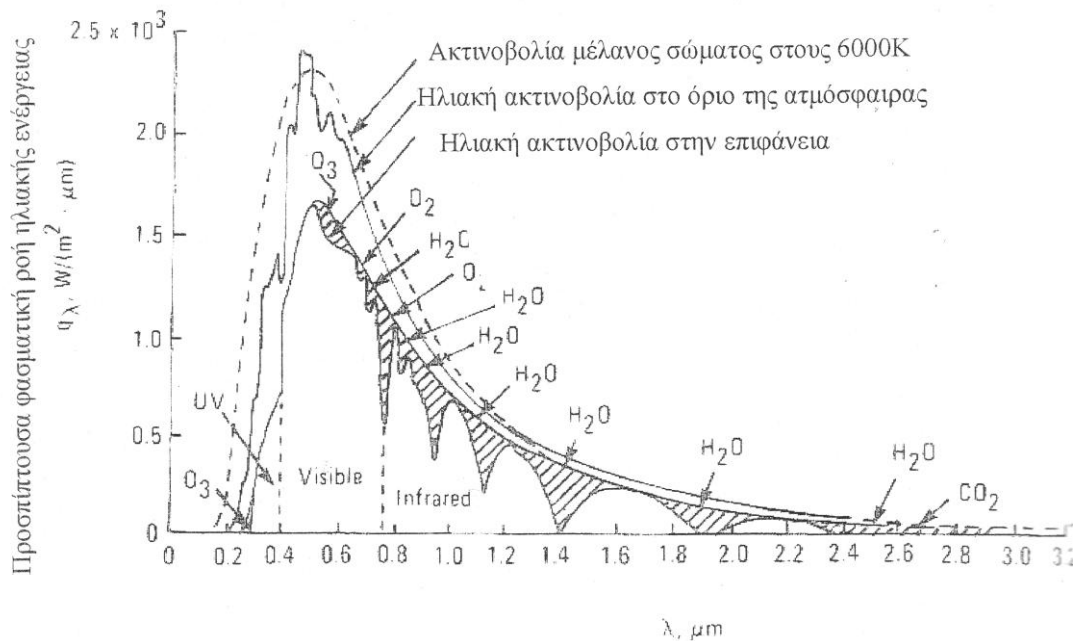
Ως ροή ακτινοβολίας F_{λ} ορίζεται η ενέργεια ακτινοβολίας μήκους κύματος λ που διέρχεται, ανά μονάδα χρόνου και επιφανείας, δια μιας στοιχειώδους επιφάνειας dA που προέρχεται από όλες τις διευθύνσεις μέσα σ' ένα ημισφαίριο και μετριέται σε Wm^{-2} ή lymin^{-1} .

Για ισότροπο μέσο διάδοσης ισχύει : $F_{\lambda} = \pi I_{\lambda}$

Ενώ για παράλληλη δέσμη ακτινοβολίας : $F_{\lambda} = \pi I_{\lambda} \sin\theta$, όπου θ η γωνία που σχηματίζεται από την κάθετη στην επιφάνεια και την διεύθυνση της δέσμης.

Στο παρακάτω σχήμα δίνεται η φασματική διανομή της ειδικής έντασης της Ηλιακής ακτινοβολίας στα όρια της γήινης ατμόσφαιρας (1), στην επιφάνεια της γης (2) και της ακτινοβολίας μέλανος σώματος θερμοκρασίας 6000°K (3). Δίνεται επίσης η διορθωμένη ειδική

ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης αν αγνοηθεί η απορρόφηση από το οξυγόνο, το όζον και τους υδρατμούς.



Σχήμα 2.1 : Φασματική διανομή της ειδικής έντασης της Ηλιακής ακτινοβολίας

Το σύνολο, σχεδόν, της ενέργειας του ηλιακού φάσματος (98%) βρίσκεται στην περιοχή από 0.25 έως 3 μm και διανέμεται ως εξής : 9% υπεριώδες, 45% ορατό και 46% υπέρυθρο. Αναλυτικά οι περιοχές της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

Μήκος κύματος (μm)	Ονομασία
$<10^{-3}$	Ακτίνες x και ακτίνες γ
$10^{-3} - 0.2$	Απώτερο υπεριώδες
0.2 – 0.315	Μέσο υπεριώδες
0.315 – 0.38	Εγγύτερο υπεριώδες
0.38 – 0.72	Ορατό
0.72 – 1.5	Εγγύτερο υπέρυθρο
1.5 – 5.6	Μέσο υπέρυθρο
5.6 – 1000	Απώτερο υπέρυθρο
>1000	μικροκύματα

Πίνακας 2.1 : Περιοχές της ηλιακής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

2.2 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΙ ΥΛΗΣ

Όλα τα υλικά στα οποία προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία ανάλογα με τα οπτικά τους χαρακτηριστικά απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία και θερμαίνονται με αποτέλεσμα να επανεκπέμπουν ακτινοβολία στο υπέρυθρο. Η υπέρυθρη ακτινοβολία είναι αόρατη ακτινοβολία για τον άνθρωπο και εκπέμπεται σε μήκη κύματος από 0.7-1000 μm. Η περιοχή του υπέρυθρου χωρίζεται σε τρεις επιμέρους περιοχές ανάλογα με το μήκος κύματος : το εγγύς , το μέσο (θερμικό) και το μακρινό (απώτερο) υπέρυθρο.

Ειδικότερα όποτε προσπίπτει ακτινοβόλος ενέργεια σε μια επιφάνεια, ένα μέρος της μπορεί να απορροφηθεί, ένα μέρος να ανακλαστεί και ένα μέρος να μεταδοθεί μέσω του σώματος που δέχεται την ακτινοβολία.

Ορίζοντας :

α = το κλάσμα της απορροφούμενης-προσπίπτουσας ακτινοβολίας = απορροφητικότητα.

p = το κλάσμα της ανακλώμενης-προσπίπτουσας ακτινοβολίας = ανακλαστικότητα.

τ = το κλάσμα της μεταδιδόμενης-προσπίπτουσας ακτινοβολίας = περατότητα

είναι φανερό ότι :

$$\alpha + p + \tau = 1 \quad (2.2)$$

Πολλά στερεά, εκτός από εκείνα που είναι διαφανή ή ημιδιαφανή, δεν επιτρέπουν την διέλευση της ακτινοβολίας μέσα από τη μάζα τους και η (2.2) ανάγεται στην :

$$\alpha + p = 1 \quad (2.3)$$

Συχνά, η (2.3) εφαρμόζεται στα υγρά, αν και η περατότητα ενός υγρού εξαρτάται πολύ από το πάχος. Τα αέρια γενικά ανακλούν πολύ λίγη ακτινοβόλο θερμική ενέργεια, και η (2.2) απλοποιείται στην :

$$\alpha + \tau = 1 \quad (2.4)$$

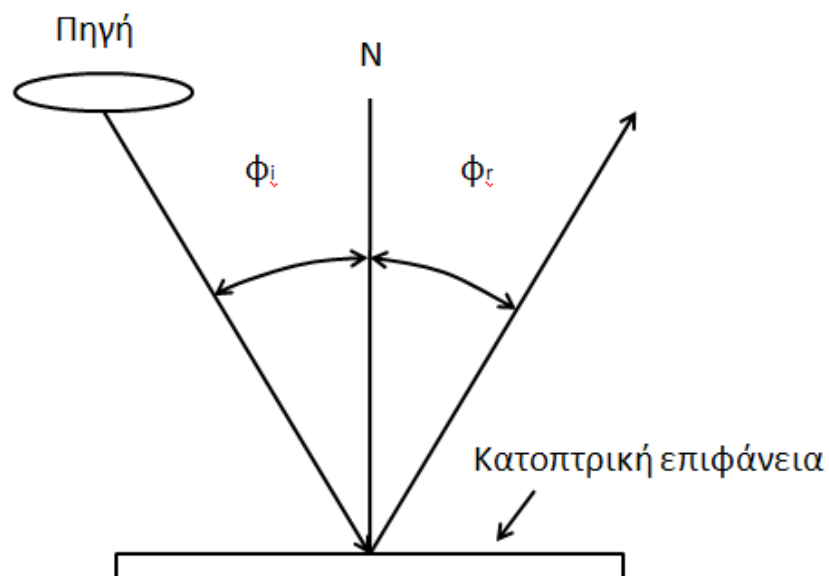
Απορρόφηση

Οι φυσικοί μηχανισμοί που είναι υπεύθυνοι για το φαινόμενο της απορρόφησης στις διάφορες περιοχές του φάσματος, είναι οι μηχανικές ταλαντώσεις των μορίων (6-40 μm), οι ταλαντώσεις μορίων και ατόμων (κυρίως του υδρογόνου) (1-6 μm), οι μεταπτώσεις δέσμινων ηλεκτρονίων (0.2-3 μm) και οι μεταπτώσεις ελεύθερων ηλεκτρονίων.

Ο συντελεστής απορρόφησης α είναι αδιάστατος αριθμός και παίρνει τιμές από 0-1 (ή από 0-100%). Η προσπίπτουσα ενέργεια στο σώμα εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της πηγής ενώ είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας και της φύσης της επιφάνειας στην οποία προσπίπτει.

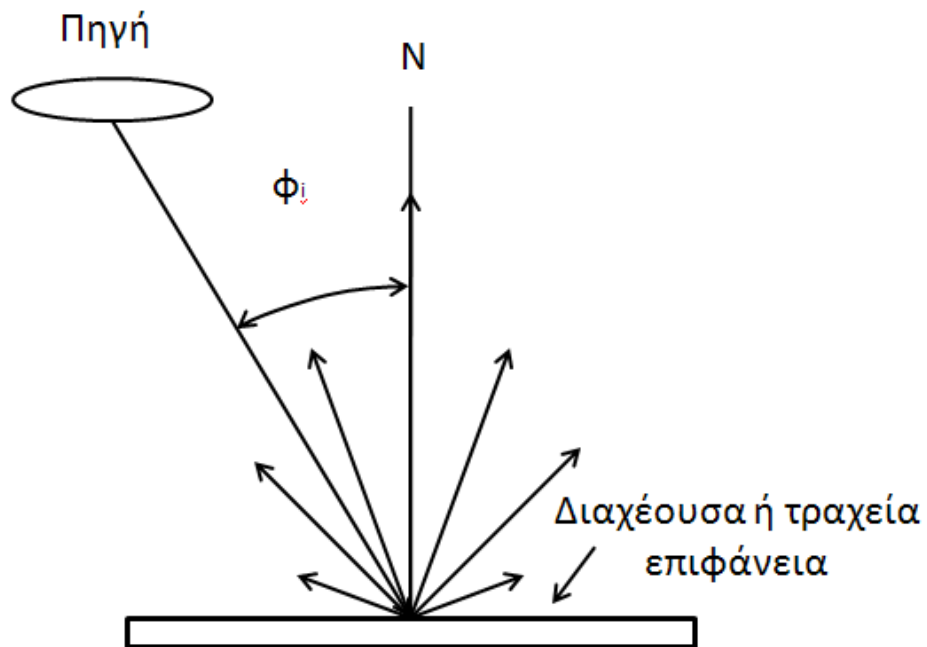
Ανάκλαση

Η ανάκλαση της ακτινοβόλου θερμικής ενέργειας από μια επιφάνεια μπορεί να περιγραφεί με τη βοήθεια δύο ιδανικών μοντέλων (προτύπων). Ο τέλειος κατοπτρικός ανακλαστήρας όπου η γωνία πρόσπτωσης ϕ_1 είναι ίση με τη γωνία ανακλάσεως ϕ_2 . (σχήμα α).



Σχήμα α : Κατοπτρική ανάκλαση

Ο διαχέων ανακλαστήρας όπου το μέγεθος της ανακλώμενης ενέργειας σε ορισμένη κατεύθυνση ϕ_r είναι ανάλογο προς το συνημίτονο της γωνίας ανακλάσεως ϕ_r . Η μέτρηση του ϕ_r μετράται από την κάθετη, N, στην επιφάνεια. (σχήμα b).



Σχήμα b : Διάχυση

Εάν η διάσταση της τραχύτητας (ύψος) μίας πραγματικής επιφάνειας είναι σημαντικά μικρότερη από το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, η επιφάνεια συμπεριφέρεται σαν κατοπτρική. Εάν η διάσταση της τραχύτητας είναι μεγάλη σε σχέση με το μήκος κύματος, η επιφάνεια ανακλά διάχυτα.

Λευκαύγεια

Στην περίπτωση της διάχυτης ανάκλασης ως λευκαύγεια ορίζεται ο λόγος της ανακλώμενης προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία σε όλα τα μήκη του ηλιακού φάσματος και αποτελεί μέτρο της ανακλαστικότητας μιας επιφάνειας. Η λευκαύγεια είναι αδιάστατο μέγεθος και δεν εξαρτάται από τη διεύθυνση της ανακλώμενης ακτινοβολίας.

Διάθλαση

Στην γενική περίπτωση όπου η προσπίπτουσα ακτινοβολία περνά από ένα μέσο διάδοσης, που χαρακτηρίζεται από έναν δείκτη διάθλασης m_1 , σ' ένα άλλο μέσο, με δείκτη διάθλασης m_2 , τότε ένα μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ανακλάται από τη διαχωριστική επιφάνεια επιστρέφοντας στο μέσο διάδοσης με δείκτη διάθλασης m_1 . Το υπόλοιπο μέρος διαθλάται περνώντας στο μέσο με δείκτη διάθλασης m_2 . Οι γωνίες θ_1 και θ_2 της προσπίπτουσας και διαθλώμενης ακτίνας συνδέονται με το νόμο του Snell :

$$m_1 \eta \mu \theta_1 = m_2 \eta \mu \theta_2 \quad (2.5)$$

Εκπομπή

Ο φυσικός μηχανισμός στον οποίο οφείλεται το φαινόμενο της εκπομπής ακτινοβολίας από ένα σώμα περιλαμβάνει τη διέγερση των μορίων του υλικού, η οποία προκαλεί ενεργειακές μεταπτώσεις στα δομικά του σωματίδια. Συγκεκριμένα ένα υλικό που απορροφά ηλιακή ακτινοβολία θερμαίνεται και η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί διέγερση των μορίων του υλικού που ευνοεί την επιτάχυνση των ηλεκτρικά φορτισμένων δομικών του σωματιδίων και κατά συνέπεια την εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Ο συντελεστής εκπομπής ε ενός υλικού είναι ένα μέτρο της ικανότητας του να εκπέμπει θερμική ακτινοβολία και ορίζεται ως το πηλίκο της θερμικής ενέργειας που εκπέμπει ένα σώμα θερμοκρασίας T , σε μήκος κύματος λ προς αυτή που θα εξέπεμπε ένα μέλαν σώμα της ίδιας θερμοκρασίας. Δηλαδή :

$$\varepsilon(\lambda, T) = \frac{e_\lambda(\lambda, T)}{e_{\lambda,b}(\lambda, T)} \quad (2.6)$$

Ο συντελεστής εκπομπής είναι ένας αδιάστατος αριθμός που κυμαίνεται από 0-1 και εκφράζει την ικανότητα ενός υλικού να εκπέμπει θερμότητα μέσω υπέρυθρης ακτινοβολίας στο περιβάλλον.

Νόμος Kirchhoff

Σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας η ενέργεια που εκπέμπεται από ένα σώμα σε μήκος κύματος λ πρέπει να είναι ίση με την ενέργεια που απορροφά και άρα θα πρέπει να ισχύει :

$$\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda \quad (2.7)$$

Όπου ε_λ και α_λ είναι ο συντελεστής εκπομπής και απορρόφησης αντίστοιχα.

2.3 ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Η επιστήμη της Θερμοδυναμικής συσχετίζεται με το ποσό της μεταφερόμενης ενέργειας (έργου ή θερμότητας) από ένα σύστημα προς ένα άλλο ή το περιβάλλον του, όταν αυτό υπόκειται σε μια διεργασία ανάμεσα σε δυο καταστάσεις ισορροπίας, χωρίς να παρέχεται καμία πληροφορία για τη χρονική διάρκεια πραγματοποίησης της. Αντιθέτως, η επιστήμη της Μετάδοσης Θερμότητας συσχετίζεται, κυρίως, με το ρυθμό της μεταφερόμενης ποσότητας της θερμικής ενέργειας (θερμότητας).

Η Θερμοδυναμική και η Μετάδοση Θερμότητας αναφέρονται, πολύ συχνά, ως Θερμικές Επιστήμες, επειδή συσχετίζονται με την ευρεία έννοια της Θερμότητας, η οποία ορίζεται ως η μορφή της ενέργειας, που μπορεί να μεταφέρεται από ένα σύστημα σε ένα άλλο, ως αποτέλεσμα της θερμοκρασιακής τους διαφοράς και συμβολίζεται με Q .

Θερμότητα

Η επιστήμη της Μετάδοσης Θερμότητας συσχετίζεται με τον προσδιορισμό του ρυθμού, με τον οποίο μεταφέρεται θερμότητα, ο οποίος ονομάζεται και ροή θερμότητας και συμβολίζεται ως \dot{Q} . Η τελεία επάνω στο Q υποδηλώνει τη χρονική παράγωγο της θερμότητας στη μονάδα του χρόνου. Η ροή θερμότητας έχει μονάδες Joule/sec ή Watt ή BTU/s και η ολοκλήρωση της σε καθορισμένο διάστημα, Δt , προσδιορίζει το ποσό της μεταφερόμενης θερμότητας, δηλαδή :

$$Q = \int_0^{\Delta t} \dot{Q} dt \quad (2.8)$$

Η ροή θερμότητας μπορεί, επιπλέον, να συναντάται και ως ανηγμένη στη μονάδα της επιφάνειας, η οποία είναι κάθετη στη διεύθυνση της μεταφοράς θερμότητας και συμβολίζεται ως :

$$\dot{Q}'' = \frac{\dot{Q}}{A} \quad (2.9)$$

με μονάδες Watt/m^2 ή $\text{BTU/sec}\cdot\text{ft}^2$ και συναντάται πολύ συχνά σε εφαρμογές, οι οποίες αναλύονται με βάση τις καρτεσιανές συντεταγμένες.

Νόμος θερμιδομετρίας – Ειδική θερμότητα

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως θερμότητα ονομάζεται η ενέργεια που μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο λόγω διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ των δυο σωμάτων . Η θερμότητα μεταφέρεται από το σώμα μεγαλύτερης προς το σώμα μικρότερης θερμοκρασίας ενώ όταν οι θερμοκρασίες των δυο σωμάτων που αλληλεπιδρούν εξισωθούν τότε λέμε ότι επέρχεται θερμική ισορροπία και οι θερμοκρασίες των δυο σωμάτων παραμένουν σταθερές .

Σύμφωνα με το νόμο της θερμιδομετρίας ισχύει ότι :

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \quad (2.10)$$

Όπου Q : η θερμότητα που μεταφέρεται από ή προς σώμα που έχει μάζα m

$\Delta\theta$: η μεταβολή της θερμοκρασίας του σώματος

c : μια σταθερά που εξαρτάται από το υλικό του σώματος και ονομάζεται ειδική θερμότητα .

Ως ειδική θερμότητα ή ειδική θερμοχωρητικότητα ορίζεται η ποσότητα της θερμότητας που χρειάζεται για να μεταβληθεί η θερμοκρασία 1 kg κάποιου υλικού κατά 1°C . Στην πραγματικότητα η ειδική θερμότητα c εξαρτάται και από τη θερμοκρασία, αλλά η μεταβολή της, για αρκετά μεγάλη μεταβολή της θερμοκρασίας, είναι πολύ μικρή. Μονάδα μετρήσεως της ειδικής θερμότητας είναι cal/gr.grad ή J/ gr.grad. (1 cal = 4,18 Joule)

Σύμφωνα με τη σχέση (2.6) προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

A . Η μεταβολή της θερμοκρασίας ενός σώματος είναι ανάλογη της ποσότητας της θερμότητας που μεταφέρεται προς ή από αυτό . Επομένως για διπλάσια αύξηση της θερμοκρασίας απαιτείται η μεταφορά προς το σώμα διπλάσιας ποσότητας θερμότητας κτλ .

B . Η ποσότητα της θερμότητας που απαιτείται για συγκεκριμένη μεταβολή της θερμοκρασίας ενός σώματος είναι ανάλογη της μάζας του .

Γ . Η ποσότητα της θερμότητας που απαιτείται για συγκεκριμένη μεταβολή της θερμοκρασίας δυο σωμάτων ίδιας μάζας εξαρτάται από το είδος του υλικού των δυο σωμάτων δηλαδή εξαρτάται από την ειδική θερμότητα c του κάθε σώματος.

Θερμοχωρητικότητα

Ως θερμοχωρητικότητα ορίζεται η ποσότητα της θερμότητας που χρειάζεται για να αυξηθεί η θερμοκρασία ενός σώματος κατά 1°C και ισχύει ότι :

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad (2.11)$$

και κατ' επέκταση θα ισχύει ότι :

$$C = m \cdot c \quad (2.12)$$

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι ειδικές θερμότητες c ορισμένων στερεών και υγρών σε θερμοκρασία 25°C .

Στερεά		Υγρά	
υλικό	c (cal/gr.grad)	υλικό	c (cal/gr.grad)
αλουμίνιο	0.215	βενζόλιο	0.415
γραφίτης	0.170	μεθανόλη	0.609
υδράργυρος	0.0331	αιθανόλη	0.587
χαλκός	0.092	οξικό οξύ	0.490
σίδηρος	0.106	κυκλοεξάνιο	0.433
μόλυβδος	0.038	χλωροφόρμιο	0.231

Πίνακας 2.2 : Ειδικές θερμότητες ορισμένων στερεών και υγρών

Συμπερασματικά , από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι , δεδομένης προσφοράς θερμότητας Q στο σύστημα και δεδομένης μάζας υλικού , μεγαλύτερη τιμή θερμοχωρητικότητας για ένα υλικό συνεπάγεται μικρότερη αυξομείωση της θερμοκρασίας του . Δηλαδή υλικά με μεγάλη τιμή θερμοχωρητικότητας παρουσιάζουν μεγαλύτερη αδράνεια στις μεταβολές της θερμοκρασίας.

2.4 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία και, ακόμη, λόγω της πολυπλοκότητας του φαινομένου, τρεις μηχανισμοί μελέτης της μεταφοράς θερμότητας διακρίνονται, όπως παρακάτω :

- Αγωγιμότητα
- Συναγωγιμότητα
- Ακτινοβολία

Έχοντας υπόψη το γενικό ορισμό της Μεταφοράς Θερμότητας, δηλαδή θεωρώντας την εμφάνιση του φαινομένου, υπό την προϋπόθεση της ύπαρξης δυναμικής θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ συστημάτων, μόνο η θερμική αγωγιμότητα μπορεί να ταξινομηθεί ως διεργασία καθαρής μεταφοράς θερμότητας, ενώ η θερμική συναγωγιμότητα προϋποθέτει την ύπαρξη ροής μάζας και η ακτινοβολία τη θερμοκρασία του συστήματος.

Παρόλα αυτά και επειδή υφίσταται μεταφορά ενέργειας από σύστημα υψηλής θερμοκρασίας σε σύστημα χαμηλής θερμοκρασίας, έχει, το γεγονός αυτό, γίνει αποδεκτό, να μελετάται και ως ένας μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας.

Θερμική αγωγιμότητα

Θερμική Αγωγιμότητα ορίζεται, ως ο μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας από μια περιοχή ή σύστημα υψηλής θερμοκρασίας σε μια άλλη ή άλλο χαμηλότερης θερμοκρασίας, μέσω ενός μέσου (στερεού, υγρού ή αερίου σε ηρεμία), υπο την προϋπόθεση της φυσικής επαφής.

Η μεταφορά αυτή επιτυγχάνεται είτε με μοριακή αλληλεπίδραση, δηλαδή μεταφορά ενέργειας από τα περισσότερο ενεργητικά μόρια στα γειτονικά τους, με χαμηλότερο επίπεδο ενέργειας, είτε μέσω της συγκέντρωσης των ελευθέρων ηλεκτρονίων στα, καθαρώς, μεταλλικά στερεά. Ειδικότερα, όταν τα μόρια μιας περιοχής της ύλης αποκτούν μια μέση κινητική ενέργεια, μεγαλύτερη αυτής των μορίων της γειτονικής περιοχής, αυτό εκδηλώνεται υπό τη μορφή της θερμοκρασιακής διαφοράς. Οπότε, η ενέργεια, ή μέρος της, μεταφέρεται στα μόρια της περιοχής της μικρότερης θερμοκρασίας, γεγονός το οποίο επαληθεύει τον ορισμό της θερμικής αγωγιμότητας.

Η μεταφορά της θερμικής ενέργειας, μέσω αγωγιμότητας, λαμβάνει χώρα μέσω ελαστικών κρούσεων ή μέσω διάχυσης των μορίων, κατά την τυχαία κίνηση τους, στα αέρια και τα ρευστά. Στην περίπτωση των στερεών μέσων, η αντίστοιχη θερμική ενέργεια μεταφέρεται, μέσω των ταλαντώσεων των μορίων του πλέγματος και των κινούμενων ηλεκτρονίων, από περιοχές υψηλής, σε περιοχές χαμηλής θερμοκρασίας.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα μετάδοσης θερμότητας με αγωγιμότητα είναι το φαινόμενο απώλειας θερμότητας, που παρατηρείται σε κλειστούς θερμαινόμενους χώρους κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου, το οποίο οφείλεται κυρίως στην αγωγιμότητα των τοίχων, των παραθύρων, της οροφής κ.λ.π.

Ο ρυθμός μεταβολής της θερμικής αγωγιμότητας, μέσω ενός μέσου, εξαρτάται από τη γεωμετρία του μέσου, το πάχος του, το υλικό του και από τη θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στα όρια του. Πειράματα που έλαβαν μέρος στο παρελθόν, έδειξαν, ότι η ροή θερμότητας, \dot{Q} , μέσω ενός τοιχώματος, όπως στο σχήμα 2.1, είναι ανάλογη της θερμοκρασιακής διαφοράς Δt , των ορίων του μέσου και της κάθετης επιφάνειας, A , στην κατεύθυνση της μεταφοράς θερμότητας, ενώ είναι αντιστρόφως ανάλογη του πάχους του μέσου, Δx . Επομένως προκύπτει ότι :

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2.13)$$

όπου, η σταθερή ποσότητα, k , είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του μέσου και είναι η χαρακτηριστική φυσική ιδιότητα του υλικού, υποδηλώνοντας την ικανότητα του να μεταφέρει θερμότητα. Τυπικές τιμές του, k , δίνονται στον πίνακα 2.1. Στην οριακή περίπτωση, όπου το πάχος του μέσου τείνει στο μηδέν ($\Delta x \rightarrow 0$) η εξίσωση 2.6 μπορεί να γραφεί σε διαφορική μορφή :

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.14)$$

η οποία καλείται και νόμος του Fourier, προς τιμή του Γάλλου μαθηματικού και φυσικού, ο οποίος την παρουσίασε το 1822.

Υλικό	K
Υγρά μέταλλα	0.004 – 0.03
Αέρια	0.7 – 1.0
Νερό	1.7 – 13.7
Μέταλλα	3 – 450
Μονωτικά υλικά	0.001 – 0.07
Δομικά υλικά	0.2 – 1.1

Πίνακας 2.3 : Τυπικές χαρακτηριστικές τιμές k υλικών.

Ο όρος, dT/dx , είναι η πρώτη παράγωγος της θερμοκρασίας ως προς τη χωρική μεταβολή x , ή αλλιώς θερμοκρασιακή κλίση. Το αρνητικό πρόσημο της εξίσωσης 2.10 είναι η συνέπεια του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου, όπου εξασφαλίζει, ότι η θερμότητα μεταφέρεται, κατά αντίθετη κατεύθυνση, με τη θερμοκρασιακή κλίση.

Θερμική συναγωγιμότητα

Θερμική συναγωγιμότητα ορίζεται, ως ο μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας μεταξύ μιας στερεής επιφάνειας και ενός παρακείμενου κινούμενου ρευστού (υγρού ή αερίου) και είναι ένας συνδυασμός αγωγιμότητας και κίνησης του ρευστού. Ο μηχανισμός λειτουργίας της μεταφοράς θερμότητας με συναγωγιμότητα δεν εξαρτάται, κυρίως, από τη θερμοκρασιακή διαφορά, και μόνο, αλλά ακολουθεί μια σειρά φυσικών διεργασιών.

Αρχικά η ροή θερμότητας διενεργείται μέσω αγωγιμότητας από μια στέρεη επιφάνεια στα γειτονικά μόρια του ρευστού. Η μεταφερόμενη ενέργεια, κατ' αυτόν τον τρόπο, συντελεί στην αύξηση της θερμοκρασίας και της εσωτερικής ενέργειας των μορίων του ρευστού. Στη συνέχεια, τα μόρια του ρευστού κινούνται προς την περιοχή της χαμηλότερης θερμοκρασίας και αναμειγνύονται με το υπόλοιπο μέρος των μορίων του ρευστού. Η θερμική ενέργεια, λοιπόν, αποθηκεύεται στα μόρια του ρευστού και μεταφέρεται, σαν αποτέλεσμα, στην κινούμενη μάζα του. Η διαδικασία αυτού του είδους της μεταφοράς θερμότητας, ορίζεται θερμική συναγωγιμότητα.

Επομένως, όσο μεγαλύτερη είναι η κίνηση του ρευστού, τόσο αυξάνει και η ροή θερμότητας μέσω συναγωγιμότητας. Εάν το ρευστό είναι στάσιμο (δεν κινείται), τότε η μεταφορά θερμότητας πραγματοποιείται, μόνο, μέσω αγωγιμότητας. Η παρουσία της κίνησης του ρευστού ενδυναμώνει τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ του στερεού τοιχώματος και του ρευστού, αλλά περιπλέκει τον υπολογισμό του ρυθμού μεταβολής της.

Η θερμική συναγωγιμότητα ταξινομείται, σύμφωνα με τη φύση της κίνησης του ρευστού. Εξαναγκασμένη θερμική συναγωγιμότητα συντελείται στις περιπτώσεις, όπου το ρευστό κινείται επι μιας επιφάνειας, λόγω εξωτερικών παραγόντων, όπως υπό την επίδραση ενός ανεμιστήρα, μιας αντλίας ή εξ αιτίας του ανέμου. Αντιθέτως, ελεύθερη ή φυσική θερμική συναγωγιμότητα συντελείται, όταν η κίνηση του ρευστού οφείλεται σε δυνάμεις άνωσης, που προκαλούνται από τις διαφορετικές τιμές πυκνότητας, λόγω της θερμοκρασιακής διανομής, του ρευστού.

Παρόλη την πολυπλοκότητα του φαινομένου της θερμικής συναγωγιμότητας, ο ρυθμός μεταφοράς της εκφράζεται μέσω του νόμου του Νεύτωνα, ο οποίος προτάθηκε από το γνωστό Βρετανό επιστήμονα Is. Newton το 1701, ως εξής :

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = hA(T_w - T_{\infty}) \quad (2.15)$$

όπου, A είναι το εμβαδόν της επιφάνειας, μέσω της οποίας μεταφέρεται θερμική συναγωγιμότητα, ενώ, T_w και T_{∞} είναι η επιφανειακή θερμοκρασία του στερεού τοιχώματος και η θερμοκρασία του ελεύθερου ρεύματος του γειτονικού ρευστού, αντίστοιχα.

Ο όρος h , της εξίσωσης (2.11) είναι ο συντελεστής θερμικής συναγωγιμότητας και δεν είναι ιδιότητα του ρευστού, αλλά εξαρτάται από τις συνθήκες του οριακού στρώματος, οι οποίες επηρεάζονται από τη γεωμετρία της επιφάνειας, τις θερμοδυναμικές ιδιότητες του ρευστού και από το είδος της ροής. Τυπικές χαρακτηριστικές τιμές της ποσότητας h , δίνονται στον πίνακα 2.4.

Είδος ροής	h
Ελεύθερη συναγωγιμότητα αερίων	2 – 25
Ελεύθερη συναγωγιμότητα υγρών	10 – 1000
Εξαναγκασμένη συναγωγιμότητα αερίων	25 – 250
Εξαναγκασμένη συναγωγιμότητα υγρών	50 – 20000
Βρασμός και συμπύκνωση	2500 – 100000

Πίνακας 2.4 : Τυπικές χαρακτηριστικές τιμές h

Η χρήση της εξίσωσης (1.5) γίνεται υπό την προϋπόθεση, ότι η μεταφορά θερμότητας πραγματοποιείται από την ψηλότερη θερμοκρασία της επιφάνειας προς τη χαμηλότερη του ρευστού. Οπότε η ροή θερμότητας έχει θετικό πρόσημο. Στην περίπτωση, όπου η μεταφορά θερμότητας πραγματοποιείται από το ρευστό προς την επιφάνεια, δηλαδή $T_{\infty} > T_w$, τότε πολύ απλά ο νόμος του Νεύτωνα μπορεί, να εκφραστεί, ως εξής :

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = hA(T_{\infty} - T_w) \quad (2.16)$$

έτσι, ώστε η ροή θερμότητας να παραμένει θετική.

Θερμική ακτινοβολία

Θερμική ακτινοβολία ορίζεται, ως το φαινόμενο της ροής θερμότητας από την ύλη, μέσω του χώρου ή ακόμη, μέσω του κενού, υπό τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, ως αποτέλεσμα μεταβολών στην ηλεκτρονική διάταξη των ατόμων ή και των μορίων, η οποία οφείλεται αποκλειστικά στη θερμοκρασία της ύλης ή του μέσου. Το φαινόμενο θερμικής ακτινοβολίας διαφέρει από όλα τα άλλα φαινόμενα ακτινοβολίας, τα οποία συσχετίζονται με τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. (π.χ. μικροκύματα, ακτίνες Χ κ.λ.π.)

Η μεταφερόμενη ποσότητα ενέργειας με την αναφερόμενη μορφή ορίζεται ακτινοβολούμενη θερμότητα, μεταφέρεται υπό την μορφή κβάντα, το μέγεθος της οποίας, εξαρτάται, κυρίως, από τη φύση της επιφάνειας.

Όλα τα σώματα, στερεά, υγρά ή και αέρια, τα οποία βρίσκονται σε θερμοκρασία υψηλότερη του απόλυτου μηδενός, εκπέμπουν θερμική ακτινοβολία, ενώ σε αντίθεση με τα φαινόμενα της θερμικής αγωγιμότητας και συναγωγιμότητας δεν είναι απαραίτητη η παρουσία μέσου μεταφοράς της θερμότητας. Αντιθέτως, η μετάδοση θερμότητας μέσω ακτινοβολίας είναι αποδοτικότερη στο κενό και εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τη φύση της επιφάνειας εκπομπής της ακτινοβολίας.

Η ακτινοβολούμενη θερμότητα μεταφέρεται με την ταχύτητα του φωτός και αντικαθιστά, φαινομενολογικά, την ακτινοβολία του φωτός, ενώ σύμφωνα με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία, η φωτεινή και θερμική ακτινοβολία διαφέρουν, μόνο, κατά την αντιστοιχία του μήκους των κυμάτων. Η θερμότητα, που μεταφέρεται (ακτινοβολείται) από ένα σώμα, πραγματοποιείται υπό τη μορφή των κβάντα και όσο η θερμοκρασία του αυξάνει, τόσο η ακτινοβολούμενη ποσότητα αυξάνει. Η κίνηση της ακτινοβολούμενης θερμότητας στο χώρο παρουσιάζει τα ίδια χαρακτηριστικά και παραμετρικά γνωρίσματα του φωτός και προς τούτο μπορεί, να περιγραφεί από την κυματική θεωρία.

Επομένως, ο μέγιστος ρυθμός μεταφοράς θερμικής ακτινοβολίας, που εκπέμπει μια επιφάνεια, εμβαδού, A , και απόλυτης θερμοκρασίας, T_w (σε K), μπορεί να προσδιορισθεί από την εξίσωση :

$$\dot{Q}_{\text{rad,max}} = \sigma AT_w^4 \quad (2.17)$$

η οποία ορίζεται ως νόμος Stefan – Boltzmann, προς τιμή των δύο Αυστριακών επιστημόνων J.Stefan και L.Boltzmann, οι οποίοι ανακάλυψαν (1879) και επέλυσαν θεωρητικά (1884) την εξίσωση (2.13). Η παράμετρος σ είναι η σταθερά Stefan – Boltzmann και ισούται με 5.67×10^{-8} (W/m^2K^4).

Η ιδανική επιφάνεια, η οποία εκπέμπει το μέγιστο ρυθμό μεταφοράς θερμικής ακτινοβολίας ορίζεται μαύρο ή μέλαν σώμα, ενώ οι πραγματικές επιφάνειες, που βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία, εκπέμπουν με μικρότερο ρυθμό, όπως :

$$\dot{Q}_{\text{rad,max}} = \epsilon \sigma AT_w^4 \quad (2.18)$$

όπου η παράμετρος, ϵ , που ορίζεται, ως συντελεστής εκπομπής, είναι ιδιότητα της επιφανείας και λαμβάνει τιμές μεταξύ 0 και 1.

2.5 ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως οι μηχανισμοί μελέτης της μεταφοράς θερμότητας διακρίνονται σε τρείς, οι οποίοι, όμως, δεν συνυπάρχουν, ποτέ, ταυτόχρονα. Έτσι, στα αδιαφανή μέσα, η μεταφορά θερμότητας πραγματοποιείται μέσω αγωγιμότητας, ενώ στα ημιδιαφανή, μέσω συναγωγιμότητας και ακτινοβολίας. Επομένως, στην περίπτωση ενός στερεού σώματος, η θερμότητα μεταφέρεται, μέσω αγωγιμότητας, ενώ στις εκτιθέμενες, σε ρευστό ή κενό, επιφάνειες του, μέσω συναγωγιμότητας ή/και ακτινοβολίας.

Σε μία πρακτική εφαρμογή, η εξωτερική επιφάνεια του τοιχώματος μιας οικίας, τη θερινή περίοδο, θερμαίνεται, από το εξωτερικό περιβάλλον, στο οποίο βρίσκεται, μέσω θερμικής συναγωγιμότητας, λόγω του περιβάλλοντος αέρα, και μέσω ακτινοβολίας, λόγω του ήλιου και των θερμότερων επιφανειών, που περιβάλλεται. Με τη σειρά τους, οι εσωτερικές επιστρώσεις των υλικών, από τις οποίες αποτελείται το τοίχωμα, θερμαίνονται, καθώς η θερμότητα μεταφέρεται από την εξωτερική επιφάνεια προς τα μέσα, μέσω αγωγιμότητας, όπως φαίνεται στο σχήμα :

Στην προκειμένη περίπτωση, η αρχή διατήρησης της ενέργειας θα πρέπει να ισχύει στην εξωτερική επιφάνεια του τοιχώματος, ως εξής :

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = 0 \quad (2.19)$$

Όπου, η θερμική ενέργεια, που εισέρχεται στην επιφάνεια του μέσου, οφείλεται στους μηχανισμούς της συναγωγιμότητας και ακτινοβολίας, ενώ αυτή που εξέρχεται, στο μηχανισμό της αγωγιμότητας διά μέσου του υλικού του μέσου. Επομένως, η εξίσωση (2.12) μετασχηματίζεται σε όρους ανηγμένους στη μονάδα επιφάνειας, ως εξής :

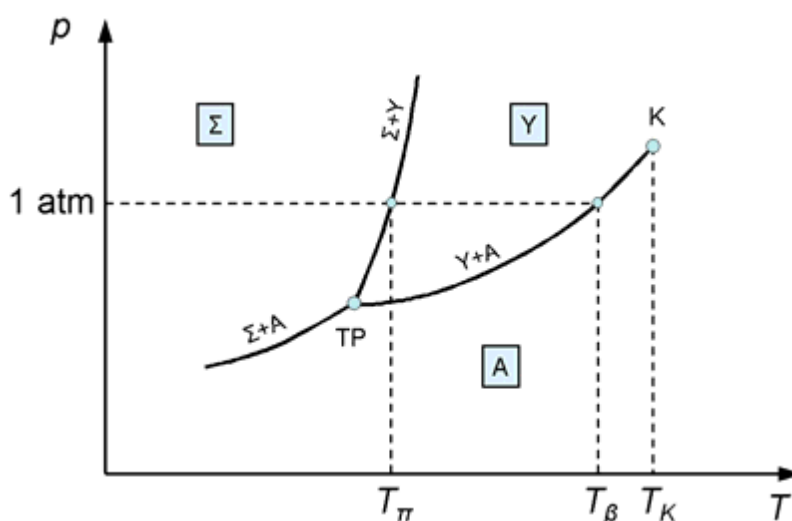
$$(\dot{Q}''_{conv} + \dot{Q}''_{rad}) - \dot{Q}''_{cond} = 0 \quad (2.20)$$

οι οποίοι μπορούν να εκφραστούν με τις κατάλληλες εκφράσεις.

2.6 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ ΦΑΣΕΩΝ

Φάσεις

Μια ουσία μπορεί να βρεθεί σε τρεις διαφορετικές καταστάσεις (συνήθως η έννοια καταστάσεις ταυτίζεται με την έννοια φάσεις, πράγμα που ισχύει σε πολλές περιπτώσεις, όχι όμως πάντα), την αέρια (A), την υγρή (Y), και τη στερεά (Σ) ανάλογα με τις συνθήκες θερμοκρασίας T και πίεσης p . Οι τρεις φάσεις χαρακτηρίζονται από διαφορετικές φυσικές ιδιότητες και μπορούν να συνυπάρχουν σε δυναμική ισορροπία, δηλ. να έχουν κοινή διαχωριστική επιφάνεια. Το διάγραμμα (T, p) στο οποίο καθορίζονται οι περιοχές ύπαρξης και συνύπαρξης των τριών φάσεων σε ισορροπία ονομάζεται διάγραμμα φάσεων. Η τυπική του μορφή για μια καθαρή ουσία που αποτελείται από δομικές μονάδες (άτομα, μόρια) ενός μόνο είδους (ενός συστατικού) απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα :



Σχήμα 2.2 : Διάγραμμα φάσεων

Σύμφωνα με το σχήμα η στερεά φάση (Σ) συνορεύει με την αέρια (A) με τη καμπύλη Σ+Α. Κατά μήκος της καμπύλης Σ+Α που ονομάζεται καμπύλη εξάχνωσης συνυπάρχουν η στερεά και η αέρια φάση. Αντίστοιχα , κατά μήκος της καμπύλης Σ+Υ (καμπύλη τήξης) συνυπάρχουν η στερεά και η υγρή φάση. Κατ' αναλογία, κατά μήκος της καμπύλης Υ+Α (καμπύλη εξαέρωσης) συνυπάρχουν η υγρή και η αέρια φάση. Η καμπύλη αυτή τερματίζεται στο κρίσιμο σημείο με συντεταγμένες (T_c, P_c) που αντιστοιχεί στη υψηλότερη θερμοκρασία ύπαρξης της υγρής φάσης. Οι τρεις καμπύλες συνύπαρξης τέμνονται στο ονομαζόμενο τριπλό σημείο. Αυτό είναι το μοναδικό σημείο (T_{tr}, P_{tr}), στο οποίο συνυπάρχουν και οι τρεις φάσεις (Σ+Υ+Α) σε ισορροπία.

Αλλαγή φάσης

Μετατροπή ή αλλαγή φάσεως ονομάζουμε τη διαδικασία κατά την οποία έχουμε πέρασμα από τη μια φάση σε μια άλλη. Κάθ' όλη τη διάρκεια μιας μετατροπής φάσεως σε σταθερή πίεση η θερμοκρασία παραμένει επίσης σταθερή. Κοινότυπες ονομασίες συνήθων μετατροπών για $p = 1\text{atm}$ είναι η τήξη ($\Sigma \rightarrow \Upsilon$) και ο βρασμός ($\Upsilon \rightarrow \text{Α}$). Τα παραπάνω συνοψίζονται στον πίνακα :

Από	Σε			
	Στερεό	Υγρό	Αέριο	Πλάσμα
Στερεό	-	Τήξη	Εξάχνωση	-
Υγρό	Στερεοποίηση	-	Βρασμός/Ατμοποίηση	-
Αέριο	Εναπόθεση	Συμπύκνωση	-	Ιονισμός
Πλάσμα	-	-	Ανασυνδυασμός	-

Πίνακας 2.5 : Ονομασίες μετατροπών φάσεων

Λανθάνουσα θερμότητα

Για την πραγματοποίηση των μετατροπών φάσης που λαμβάνουν χώρα απαιτείται να προσφερθεί (π.χ. $\Upsilon \rightarrow \text{Α}$) ή να απαχθεί (π.χ. $\text{Α} \rightarrow \Upsilon$) θερμότητα. Αυτή η θερμότητα ΔQ ονομάζεται λανθάνουσα θερμότητα, ενώ όταν αναφέρεται στη μονάδα μάζας της μετατρεπόμενης ουσίας ονομάζεται ειδική λανθάνουσα θερμότητα :

$$L = \Delta Q / m \quad (2.21)$$

Ο όρος «λανθάνουσα» (=κρυμμένη) δικαιολογείται επειδή αυτή η θερμότητα δεν συνοδεύεται από μεταβολή της θερμοκρασίας του υλικού σε αντίθεση με ότι συμβαίνει στις άλλες διαδικασίες. Η θερμότητα αυτή δαπανάται αποκλειστικά για να μετατρέψει τους δεσμούς μεταξύ των δομικών μονάδων της αρχικής φάσης σε δεσμούς της προκύπτουσας φάσης.

Τόσο η θερμοκρασία μιας μετατροπής όσο και η αντίστοιχη λανθάνουσα θερμότητα είναι ανεξάρτητες της φοράς της. Δηλαδή, για δοσμένη πίεση p η εξαέρωση ($\Upsilon \rightarrow \text{Α}$) και η υγροποίηση ($\text{Α} \rightarrow \Upsilon$) έχουν ίδιο L και αυστηρά καθορισμένη θερμοκρασία εξαέρωσης και υγροποίησης T . Το ίδιο ισχύει και για την τήξη ($\Sigma \rightarrow \Upsilon$) και τη πήξη ($\Upsilon \rightarrow \Sigma$) όλων των κρυσταλλικών ουσιών.

Στον πίνακα δίνονται οι λανθάνουσες θερμότητες τήξης διαφόρων ουσιών :

Ουσία	Λανθάνουσα Θερμότητα(kJ/kg)
Μεθάνιο	58.41
Αιθάνιο	95.10
Προπάνιο	79.96
Μεθανόλη	99.16
Αιθανόλη	108.99
Γλυκερόλη	200.62
Μυρμηγκικό Οξύ	276.35
Οξικό Οξύ	192.09
Ακετόνη	97.99
Βενζόλιο	127.40
Μυριστικό Οξύ	198.70
Παλμιτικό Οξύ	163.93
Στεατικό Οξύ	198.91
Νερό	334.5

Πίνακας 2.6 : Λανθάνουσες θερμότητες τήξης διάφορων ουσιών

Υπέρψυξη - Υπερθέρμανση

Κατα τη μετατροπή φάσεων υπάρχει η δυνατότητα ύπαρξης μετασταθών καταστάσεων ή διαφορετικά ύπαρξη φαινομένου υστέρησης. Είναι δηλαδή δυνατόν το θερμοδυναμικό σύστημα να διέλθει τα όρια αλλαγής φάσης χωρίς να παρατηρείται η αλλαγή αυτή κάθε αυτή. Για παράδειγμα είναι δυνατόν η υγρή φάση να συνεχίσει να υπάρχει σε θερμοκρασίες χαμηλότερες της θερμοκρασίας πήξης, για δοσμένη πίεση. Η υστέρηση αυτής της μετατροπής ονομάζεται υπέρψυξη.

Η εξήγηση μπορεί να δοθεί ως εξής:

Για να πραγματοποιηθεί σε μακροσκοπικό επίπεδο η μετατροπή $Y \rightarrow \Sigma$ πρέπει να σχηματισθούν μικροσκοπικά σωμάτια (π.χ ≈ 1000 άτομα) της στερεάς φάσης (κρυσταλλίτες) που ονομάζονται «πυρήνες» κρυστάλλωσης. Με τη προϋπόθεση αυτή η στερεοποίηση της ουσίας εξαπλώνεται σε μακροσκοπική κλίμακα, αυξάνοντας απλά το μέγεθος των κρυσταλλιτών. Ο σχηματισμός των «πυρήνων» κρυστάλλωσης είναι τυχαίος και βασίζεται σε τοπικές ενεργειακές διακυμάνσεις υποβοηθείται όμως από διάφορες ανομοιογένειες π.χ. τις ακαθαρσίες της ουσίας ή και τις επιφάνειες του δοχείου. Εάν όμως παρόλα αυτά δεν σχηματισθούν πυρήνες η μετατροπή $Y \rightarrow \Sigma$ δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί, με αποτέλεσμα να υπάρχει η υγρή φάση για $T < T_p$.

Είναι ευνόητο ότι αυτή η κατάσταση είναι ασταθής (μετασταθής). Η παραμικρή εξωτερική διαταραχή μπορεί να αποτελέσει έναυσμα για τη καταστροφή της. Αντίστοιχες καταστάσεις έχουμε και κατά τις μετατροπές $Y \leftrightarrow A$ (Υπέρκορος ατμός και υπέρθερμο υγρό).

ΨΥΧΡΑ ΥΛΙΚΑ

3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ – ΓΕΝΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

Ψυχρά υλικά ονομάζονται τα υλικά που χαρακτηρίζονται από υψηλή ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία και από υψηλό συντελεστή εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας. Τα ψυχρά υλικά που μπορούν να εφαρμοστούν τόσο στο κέλυφος του κτιρίου όσο και σε άλλες επιφάνειες (π.χ. πεζοδρόμια, εξωτερικοί χώροι κ.λ.π.).

Με την εφαρμογή τους εξασφαλίζονται χαμηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες συγκριτικά με άλλα υλικά επιστρώσεων και έτσι δύναται να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας σύμφωνα με το οποίο η θερμοκρασία των μεγαλουπόλεων βρίσκεται συμφωνα με μετρήσεις να είναι κατά μέσο όρο 5 – 7°C υψηλότερη συγκριτικά με τις περιαστικές περιοχές.

3.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΨΥΧΡΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

1. Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για δροσισμό.

Η χρήση ψυχρών υλικών σε ένα κτίριο έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας του και κατά συνέπεια μικρότερο ποσοστό θερμότητας μεταδίδεται στο εσωτερικό του κτιρίου. Εφόσον η θερμική ενέργεια που μεταφέρεται στο εσωτερικό του κτιρίου είναι μικρότερη η κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται για δροσισμό θα είναι μικρότερη. Σύμφωνα με πειραματικές μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί αποδεικνύεται ότι αύξηση της ανακλαστικότητας της οροφής του κτιρίου από 0.1-0.2 σε 0.6 οδηγεί σε μείωση κατανάλωσης ενέργειας για δροσισμό κατά 20%. Οι πειραματικές μετρήσεις έχουν επιβεβαιωθεί και από μοντέλα προσομοίωσης που επιβεβαιώνουν το γεγονός ότι η χρήση ψυχρών υλικών στα κτίρια έχει ως συνέπεια την εξοικονόμηση ενέργειας για δροσισμό, για διάφορους τύπους κτιρίων.

2. Μείωση του φορτίου αιχμής.

Η χρήση των ψυχρών υλικών έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των φορτίων αιχμής κατά τη θερινή περίοδο. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί βρέθηκε ότι για τα κτίρια με ψυχρά υλικά στις οροφές η μείωση του φορτίου αιχμής κυμαίνεται κατά μέσο όρο μεταξύ 10% - 30% , αν και έχουν παρατηρηθεί και ακραίες τιμές των τάξεων 2% και 40%.

3. Βελτίωση των συνθηκών θερμικής άνεσης

Η εφαρμογή ψυχρών υλικών στα κτίρια εφόσον μειώνει την επιφανειακή θερμοκρασία και κατά συνέπεια την εσωτερική θερμοκρασία συμβάλλει στη βελτίωση των συνθηκών θερμικής άνεσης των ενοίκων. Κατά αυτό τον τρόπο στο εσωτερικό ενός κτιρίου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού παρουσιάζονται χαμηλότερες θερμοκρασίες πιο κοντά στις συνθήκες θερμικής άνεσης σε σύγκριση με κτίρια που έχουν κατασκευαστεί με συμβατικά υλικά είτε αυτά κλιματίζονται είτε όχι.

4. Μείωση του κόστους συντήρησης

Τα ψυχρά απορροφούν την υπεριώδη ακτινοβολία και παρουσιάζουν μικρότερη θερμική καταπόνηση εφόσον οι ημερήσιες θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ ημέρας και νύχτας είναι μικρότερες και επομένως το φαινόμενο διαστολής – συστολής έχει μικρότερη έκταση. Σύμφωνα με αυτό οι επιφάνειες όπου έχουν χρησιμοποιηθεί ψυχρά υλικά έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

3.3 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΨΥΧΡΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η χρήση ψυχρών υλικών στα κτίρια παρουσιάζει ένα βασικό μειονέκτημα το οποίο γίνεται εμφανές κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Τα ψυχρά υλικά λόγω της μεγάλης ανακλαστικότητας που παρουσιάζουν δεν επιτρέπουν στην ηλιακή ακτινοβολία να θερμάνει τα υλικά κατασκευής και κατά συνέπεια τον εσωτερικό χώρο όσο δίνονται να κάνουν τα συμβατικά υλικά με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση.

Παρόλα αυτά η αύξηση αυτή δεν είναι ιδιαίτερα σημαντική ώστε να εξουδετερώσει την εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται κατά τους θερινούς μήνες για τους εξής λόγους :

- A) Η διάρκεια της ημέρας είναι μικρότερη το χειμώνα
- B) Η γωνία του ήλιου είναι μικρότερη
- Γ) Το ποσοστό νεφοκάλυψης είναι μεγαλύτερο

ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ

4.1 ΟΡΙΣΜΟΣ – ΓΕΝΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

Όλα τα υλικά που είναι γνωστά σήμερα, ανάλογα με τις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης που επικρατούν, μπορούν να βρίσκονται σε μία από τις τρεις γνωστές καταστάσεις, στερεή, υγρή, αέρια. Αν χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο ταξινόμησης ο μηχανισμός αποθήκευσης ενέργειας μέσα στο υλικό, ο οποίος χαρακτηρίζει σε μεγάλο βαθμό τη γενικότερη θερμική συμπεριφορά του υλικού, δημιουργούνται δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Τα υλικά που αποθηκεύουν θερμότητα σε μορφή αισθητής θερμότητας σε όλο το θερμοκρασιακό εύρος χρήσης τους και η αποθηκευτική ικανότητα τους για ένα υλικό που θερμαίνεται από θερμοκρασία T_1 σε T_2 δίνεται από τη σχέση :

$$Q = m c (T_2 - T_1) \quad (3.1)$$

- Τα υλικά που αποθηκεύουν θερμότητα με τη μορφή λανθάνουσας θερμότητας σε ένα τμήμα του θερμοκρασιακού εύρους χρήσης τους, ενώ στο υπόλοιπο τμήμα συναλλάσσουν θερμότητα με τη μορφή αισθητής θερμότητας και η αποθηκευτική τους ικανότητα για ένα υλικό που θερμαίνεται από θερμοκρασία T_1 σε T_2 , αν υφίσταται αλλαγή φάσης σε θερμοκρασία T^* δίνεται από τη σχέση :

$$Q = m [c_s (T^* - T_1) + \lambda + c_l (T_2 - T^*)] \quad (3.2)$$

Όπου c_s και c_l είναι οι θερμοχωρητικότητες της στερεής και της υγρής φάσης αντίστοιχα και λ είναι η λανθάνουσα θερμότητα.

Για την πρώτη κατηγορία χαρακτηριστικό μέγεθος για τη θερμική συμπεριφορά αποτελεί η θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση ή όγκο, ενώ για τη δεύτερη, η λανθάνουσα θερμότητα που απαιτείται για τη μετάβαση από τη μία φάση στην άλλη. Βασική παρατήρηση είναι ότι η τιμή της λανθάνουσας θερμότητας είναι πολλαπλάσια της θερμοχωρητικότητας υπό σταθερή πίεση ή όγκο.

Τα PCM (Phase Change Materials – Υλικά Αλλαγής Φάσης) είναι υλικά αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας και ανήκουν στη δεύτερη κατηγορία υλικών. Τα PCM δεν αποτελούν κάποια ανατρεπτική ανακάλυψη εφόσον όπως είναι ευρέως γνωστό όλα τα υλικά αλλάζουν φάση, όμως το καινοτόμο χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης ομάδας υλικών είναι ότι δίνουν τη δυνατότητα να εκμεταλλευτεί κανείς αυτή τους τη φυσική ιδιότητα ώστε να βελτιώσει τη θερμική συμπεριφορά πληθώρας συστημάτων και κατασκευών.

ΥΛΙΚΟ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ρ (kg/m ³)	ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ C_p (J/kg K)	ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ C_v (MJ/m ³ K)
Πηλός	1458	879	1,28
Τούβλο	1800	837	1,51
Αμμόπετρα	2200	712	1,57
Ξύλο	700	2390	1,67
Σκυρόδεμα	2000	880	1,76
Αλουμίνιο	2710	837	2,27
Σίδηρο	7900	452	3,57
Ατσάλι	7840	465	3,68
Πετρώματα	2050	1840	3,77
Μαγνητίτης	5177	752	3,89
Νερό	988	4182	4,17

Πίνακας 4.1 : Ιδιότητες υλικών αποθήκευσης

Στα πλαίσια του θερμοκρασιακού εύρους της θερμικής άνεσης (20 – 30°C) τα υλικά αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας είναι ιδιαίτερως αποδοτικά. Αποθηκεύουν περίπου 5 με 14 φορές περισσότερη ενέργεια κατ' όγκο απ' ότι τα υλικά αποθήκευσης αισθητής θερμότητας όπως η πέτρα , το τούβλο και άλλα.

Πολλά PCM έχουν θερμοκρασίες τήξεων στην επιθυμητή περιοχή παρόλα αυτά για να χρησιμοποιηθούν ως υλικά αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας θα πρέπει να έχουν ορισμένες θερμοδυναμικές , κινητικές και χημικές ιδιότητες ενώ θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη το κόστος και η ευκολία ανεύρεσης τους.

Ως υποψήφια PCM θεωρούνται συνήθως τα υλικά που αλλάζουν φάση μεταξύ στερεής και υγρής κατάστασης διότι αυτά που μεταπίπτουν από την υγρή στην αέρια κατάσταση κατά την αλλαγή φάσης παρουσιάζουν πρακτικές δυσκολίες που οφείλονται στη μεγάλη αλλαγή της πυκνότητας τους αλλά και της ίδιας της φύσης των αερίων. Τα στερεά – υγρά PCM αρχικά συμπεριφέρονται ως κλασσικά υλικά αποθήκευσης. Όσο θερμαίνονται απορροφούν θερμότητα και η θερμοκρασία τους αυξάνεται. Όταν όμως φτάσουν το θερμοκρασιακό επίπεδο αλλαγής φάσης (σημείο τήξης) τότε απορροφούν μεγάλα ποσά θερμότητας χωρίς παράλληλη αύξηση της θερμοκρασίας τους. Αντίστοιχα , όταν η περιβάλλουσα θερμοκρασία ελαττωθεί , τότε το PCM στερεοποιείται απελευθερώνοντας το ποσό θερμότητας που είχε απορροφήσει κατά την υγροποίηση του . Σύμφωνα με τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι τα PCM απορροφούν και εκλύουν θερμότητα έχοντας τη δυνατότητα να διατηρούν μια σχεδόν σταθερή θερμοκρασία για ένα μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος.

Το πλέον γνωστό PCM είναι το νερό που κατά την αλλαγή φάσης του σε πάγο μπορεί να αποθηκεύσει πολύ μεγάλα ποσά θερμότητας (περίπου 80 φορές περισσότερη ενέργεια απ' όταν βρίσκεται σε υγρή κατάσταση). Παρόλα αυτά η χρήση του πάγου παρουσιάζει διάφορα προβλήματα λόγω των ιδιαίτερων ιδιοτήτων του νερού κοντά στους 0°C και έτσι αναπτύχθηκαν υλικά με βάση το νερό που διατηρούν τα πλεονεκτήματα του αλλά δεν παρουσιάζουν τα υπόλοιπα προβλήματα χρήσης του πάγου ως PCM και κυρίως τη χαμηλή θερμοκρασία τήξης του .

Υλικό	Σημείο τήξης (°C)	Λανθάνουσα θερμότητα (W/mK)	Θερμική αγωγιμότητα (W/mK) (κατάσταση°C)	Πυκνότητα (kg/m ³)
Ανόργανα Υλικά				
H ₂ O	0	333	0.612(υγρό,20)	998(υγρό,20) 917(στερεό,0)
MgCl ₂ *6H ₂ O	117	168.6	0.570(υγρό,120) 0.694(στερεό,90)	1450(υγρό,120) 1569(στερεό,20)
Mg(NO ₃)*6H ₂ O	89	162.8	0.490(υγρό,95) 0.611(στερεό,37)	1550(υγρό,94) 1636(στερεό,25)
Zn(NO ₃) ₂ *6H ₂ O	36	146.9	0.464(υγρό,39.9)	1828(υγρό,94) 1937(στερεό,24)
CaCl ₂ *6H ₂ O	27	190.8	0.540(υγρό,38.7) 1.088(στερεό,23)	1562(υγρό,32) 1802(στερεό,24)
Na ₂ SO ₄ *H ₂ O	32	254	0.544	1485(στερεό)
Οργανικά Υλικά				
Παραφίνη	64	173.6	0.164(υγρό,63.5) 0.346(στερεό,33.6)	790(υγρό,65) 916(στερεό,24)
Πολυγλυκόλη E400	8	99.6	0.187(υγρό,38.6)	1125(υγρό,25) 1228(στερεό,3)
Πολυγλυκόλη E600	22	127.2	0.189(υγρό,38.6)	1126(υγρό,25) 1232(στερεό,4)
Παραφίνη C ₁₈	28	244	0.148(υγρό,40) 0.358(στερεό,25)	774(υγρό,70) 814(στερεό,20)
Λιπαρά οξέα				
Στεαρικό οξύ	69	202.5	0.172(υγρό,70)	848(υγρό,70)
Παλμεατικό οξύ	64	185.4	0.162(υγρό,68.4)	850(υγρό,65) 989(στερεό,24)
Capric Acid	32	152.7	0.153(υγρό,38.5)	850(υγρό,65) 989(στερεό,24)
Caprylic Acid	16	148.5	0.149(υγρό,38.6)	901(υγρό,30) 981(στερεό,13)

Πίνακας 4.2 : Ιδιότητες ενδεικτικών PCM

Το ιδανικό PCM θα ήταν ένα υλικό που θα παρουσίαζε μεγάλη τιμή λανθάνουσας θερμότητας , υψηλή θερμική αγωγιμότητα , θερμοκρασία τήξης σύμφωνη με το θερμοκρασιακό εύρος της εκάστοτε εφαρμογής , να τήκεται με ελάχιστη εμφάνιση υπέρψυξης (supercooling) , να είναι χημικά σταθερό , άφθονο , φθινό στην παραγωγή και να μην είναι τοξικό , διαβρωτικό και εύφλεκτο . Τα υλικά που έχουν μελετηθεί τα τελευταία χρόνια είναι τα ένυδρα άλατα , οι παραφίνες , τα λιπαρά οξέα και εύτηκτα μίγματα οργανικών και μη οργανικών συστατικών .



Εικόνα 4.1 : Παραφίνες



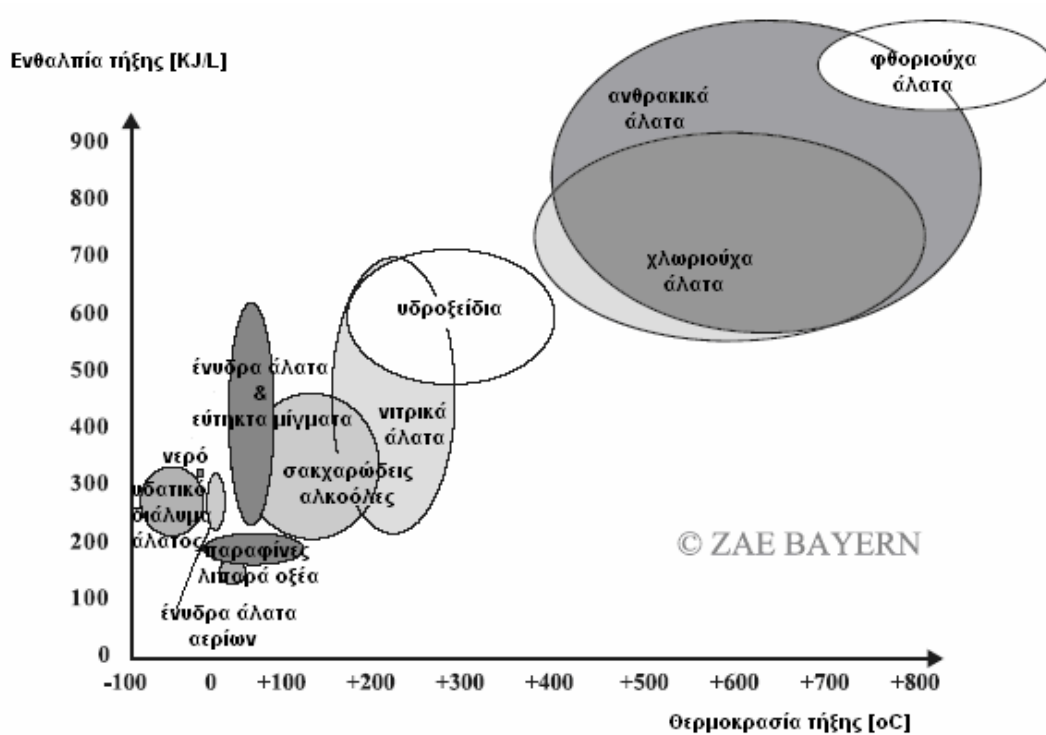
Εικόνα 4.2 : Ένυδρα άλατα

Κύριο πλεονέκτημα των PCM έναντι του πάγου είναι η δυνατότητα ρύθμισης της θερμοκρασίας τήξης σε ένα μεγάλο εύρος από -40 έως 110°C . Το χαρακτηριστικό αυτό είναι και το κύριο πλεονέκτημα των PCM διότι ανάλογα με την εφαρμογή η επιθυμητή θερμοκρασία αλλαγής φάσης είναι διαφορετική . Για παράδειγμα η εφαρμογή στον κτιριακό τομέα ζητά θερμοκρασίες αλλαγής φάσης από 25 έως 27°C ενώ για αποθήκευση ψύξης σε εφαρμογές κλιματισμού το αντίστοιχο εύρος κυμαίνεται από 2 έως 5°C .

4.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ PCM

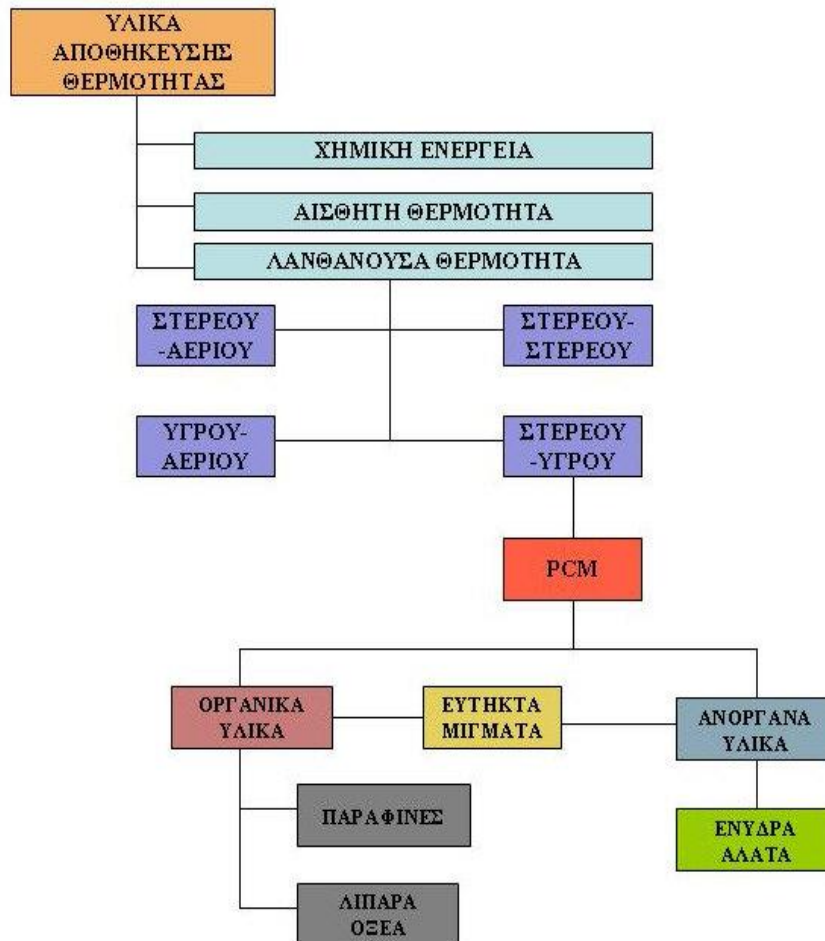
Ο συνηθέστερος τρόπος ομαδοποίησης των υλικών αλλαγής φάσης γίνεται με βάση τη σύστασή τους και κατηγοριοποιούνται σε οργανικά και ανόργανα. Άλλος τρόπος ομαδοποίησης είναι το εύρος των θερμοκρασιών που λαμβάνει χώρα η αλλαγή φάσης όμως θεωρείται δευτερεύον και δεν θα επεκταθούμε.

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται το τυπικό εύρος της ενθαλπίας κατά την τήξη συναρτήσει της θερμοκρασίας τήξης για τις πιο διαδεδομένες κατηγορίες PCM.



Σχήμα 4.1 : Κατηγορίες υλικών που χρησιμοποιούνται ως PCM σύμφωνα με το τυπικό εύρος της θερμοκρασίας και της ενθαλπίας τήξης τους.

Στο σχήμα 4.2 φαίνεται εποπτικά ένα διάγραμμα κατηγοριοποίησης των υλικών αλλαγής φάσης με βάση τη σύστασή τους ενώ στις επόμενες ενότητες αναπτύσσονται με λεπτομέρειες οι διαφορές και οι ιδιαιτερότητες τους.



Σχήμα 4.2 : Κατηγοριοποίηση PCM βάση της σύστασής τους.

4.2.1 Οργανικά υλικά

Τα οργανικά υλικά , όπως φαίνεται από το σχήμα 4.1 καλύπτουν μικρό θερμοκρασιακό εύρος , περίπου από 0 έως 150°C. Περιλαμβάνουν κυρίως τις παραφίνες , τα λιπαρά οξέα και τις σακχαρώδεις αλκοόλες. Στις περισσότερες περιπτώσεις εμφανίζουν μικρές πυκνότητες , μικρότερες από 1g/cm³. Για το λόγο αυτό , έχουν μικρές τιμές λανθάνουσας θερμότητας ανά όγκο σε σύγκριση με τα ανόργανα. Επίσης παρουσιάζουν χαμηλή θερμική αγωγιμότητα και είναι εύφλεκτα.

Παρόλα αυτά υπερτερούν ως προς τη συμβατότητα τους με άλλα υλικά γιατί δεν είναι τοξικά , εμφανίζουν λίγο ή καθόλου υπόψυξη , έχουν χημική και θερμική σταθερότητα ενώ παράλληλα είναι αρκετά φθηνότερα. Κύριοι εκπρόσωποι της κατηγορίας είναι οι παραφίνες και τα λιπαρά οξέα.

Παραφίνες

Οι παραφίνες αποτελούν τις απλούστερες οργανικές ενώσεις και ανήκουν στην ομάδα των αλκανικών υδρογονανθράκων με μεγάλο μοριακό βάρος. Χαρακτηρίζονται από το γενικό μοριακό τύπο C_nH_{2n+2} , όπου n ο αριθμός των ατόμων άνθρακα που περιέχονται στο μόριο κάθε ένωσης. Εκτός από τις απλές παραφίνες , υπάρχουν τα ισοαλκάνια (ισοπαραφίνες) , δηλαδή αλκάνια των οποίων οι ανθρακικές αλυσίδες περιέχουν διακλαδώσεις και τα κεριά παραφίνης που είναι αλκάνια στερεής μορφής με 20 ≤ n ≤ 40.

Η πιο απλή παραφίνη που συναντάται είναι το μεθάνιο (CH₄) με ένα άτομο άνθρακα , το οποίο σε θερμοκρασία δωματίου βρίσκεται σε αέρια φάση. Τα βαρύτερα μόρια παραφινών (όπου 5 ≤ n ≤ 19) εμφανίζονται ως υγρά σε συνήθεις θερμοκρασίες ενώ για μόρια ακόμα βαρύτερα (20 ≤ n ≤ 40) έχουμε στερεά υλικά όπως για παράδειγμα τα κεριά παραφίνης.

Η φυσική ιδιότητα των παραφινών που ενδιαφέρει κυρίως τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας είναι το σημείο τήξης τους κι αυτό γιατί πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να εξασφαλίζεται η αλλαγή φάσης μέσα στο θερμοκρασιακό εύρος που απαιτείται για την εκάστοτε εφαρμογή. Το σημείο αλλαγής φάσης (σημείο τήξης – πήξης) για τις παραφίνες ακολουθεί ένα είδος γραμμικής μεταβολής καθώς εξαρτάται από το μοριακό βάρος του στοιχείου και είναι τόσο υψηλότερα όσο μεγαλύτερο είναι το μόριο της ένωσης.

Επίσης , ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει το σημείο τήξης είναι η σταθερότητα της μοριακής ένωσης . Αλκάνια με περιττό αριθμό ατόμων άνθρακα σχηματίζουν χαλαρές δομές στη στερεή τους φάση , σε αντίθεση με αλκάνια άρτιου αριθμού που σχηματίζουν καλά οργανωμένες στερεές δομές . Για το λόγο αυτό , κατά τη μετάβαση τους από την στερεή στην υγρά φάση απαιτούν λιγότερη ενέργεια για τη διάσπαση της δομής τους και κατ' επέκταση παρουσιάζουν χαμηλότερα σημεία τήξης.

Οι παραφίνες , ως οργανικές ενώσεις , είναι φθηνές και άφθονες. Παρουσιάζουν άριστη συμπεριφορά στην κυκλική καταπόνηση και επαναφόρτιση χωρίς καμία υποβάθμιση των ιδιοτήτων τους . Δεν εμφανίζουν προβλήματα διάβρωσης με κανένα ευρέως χρησιμοποιούμενο μέταλλο και δεν πλήττονται από φαινόμενα όπως η υπόψυξη ή ο διαχωρισμός φάσεων άρα έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Επιπρόσθετα χαρακτηρίζονται από χημική και θερμική σταθερότητα ενώ η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα που εμφανίζουν μπορεί εύκολα να ξεπεραστεί μέσω εμπλουτισμού του υλικού με μεταλλικά αντικείμενα ή με χρήση ειδικά διαμορφωμένων πτερυγίων.

Για τους παραπάνω λόγους οι παραφίνες αποτελούν ιδανικά υλικά αλλαγής φάσης σε συστήματα αποθήκευσης θερμότητας όμως θα πρέπει να δοθεί προσοχή στο γεγονός ότι πραγματοποιούν ολοκληρωμένα την αλλαγή φάσης τους σε θερμοκρασιακό εύρος 10K ($\approx 9K$ πριν το σημείο τήξης και $\approx 1K$ μετά) , φαινόμενο που αν δεν ληφθεί υπόψη μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένη επιλογή υλικού με αποτέλεσμα μεγάλες αποκλίσεις σε σχέση με τις αναμενόμενες τιμές. Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι είναι απαραίτητο να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή κατά τη χρήση τους καθώς είναι εύφλεκτα υλικά και μπορούν να προκαλέσουν πυρκαγιά.

ΥΛΙΚΟ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΗΞΗΣ (°C)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΗΞΗΣ (KJ/Kg)	ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (W/mK)	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (Kg/m ³)
Παραφίνη C14	4	165	Μη διαθέσιμη	Μη διαθέσιμη
Παραφίνη C15-C16	8	153	Μη διαθέσιμη	Μη διαθέσιμη
Παραφίνη C16-C18	20-22	152	Μη διαθέσιμη	Μη διαθέσιμη
Παραφίνη C18	28	244	0.148 (υγρό,40°C)	774 (υγρό,70°C)
Παραφίνη C18	28	244	0.358 (στερεό,25°C)	814 (στερεό,20°C)
Ερυθριτόλη	118	340	0.326 (υγρό,140°C)	1300 (υγρό,140°C)
Ερυθριτόλη	118	340	0.733 (στερεό,20°C)	1480 (στερεό,20°C)
Πολυαιθυλαίνιο υψηλής πυκνότητας (HDPE)	100-150	200	Μη διαθέσιμη	Μη διαθέσιμη

Πίνακας 4.3 : Παραδείγματα παραφινών και σακχαρωδών αλκοολών για χρήση ως PCM.

Λιπαρά οξέα

Λιπαρά οξέα είναι τα καρβοξυλικά οξέα , με μακρά , μη διακλαδισμένη , ανθρακική αλυσίδα , η οποία είναι κορεσμένη ή ακόρεστη. Γενικότερα , τα λιπαρά οξέα προέρχονται από φυσικά λίπη ή έλαια με τουλάχιστον 8 άτομα άνθρακα στην αλυσίδα τους , όπως το καπριλικό οξύ. Στα παραπάνω οξέα συμπεριλαμβάνονται και μερικά με μικρό μοριακό βάρος , όπως το βουτυρικό (με 4 άτομα άνθρακα).

Τα περισσότερα από τα φυσικά λιπαρά οξέα εμφανίζουν άρτιο αριθμό ατόμων στην ανθρακική τους αλυσίδα, καθώς η βιοσύνθεση τους περιλαμβάνει ακετυλικό CoA , συνένζυμο που φέρει μια δυατομική ανθρακική ομάδα. Τα λιπαρά οξέα παράγονται από την υδρόλυση των εστερικών δεσμών ενός λιπαρού ή βιολογικού ελαίου , με αφαίρεση της γλυκερόλης και μπορεί να είναι είτε κορεσμένα είτε ακόρεστα. Η βασική διαφορά των δύο κατηγοριών είναι ότι τα κορεσμένα οξέα δεν περιέχουν καθόλου διπλούς δεσμούς ή άλλα λειτουργικά σύνολα κατά μήκος της ανθρακικής τους αλυσίδας , αντίθετα με τα ακόρεστα που περιέχουν. Παραδείγματα κορεσμένων λιπαρών οξέων είναι το βουτυρικό , το μυρυστικό , το παλμιτικό , το στεαρικό κλπ. Αντίστοιχα , ορισμένα παραδείγματα ακόρεστων οξέων είναι το άλφα-λινολεϊκό , το λινολεϊκό , το ολεϊκό κλπ.

Ως προς την αποθήκευση θερμότητας, τα λιπαρά οξέα εμφανίζουν καλές προοπτικές , καθώς συγκεντρώνουν όλα τα πλεονεκτήματα των οργανικών υλικών αλλαγής φάσης. Το μεγάλο εύρος θερμοκρασιών τήξης , η έλλειψη φαινομένου υπόψυξης και διαχωρισμού των φάσεων , η αποθηκευτική ικανότητα , η χημική σταθερότητα , η μη τοξικότητα και η συμβατότητα τους με τα περισσότερα υλικά είναι μερικές μόνο από τις αξιοσημείωτες πτυχές τους.

Βεβαίως , οι συγκεκριμένες ενώσεις χαρακτηρίζονται και από ορισμένα μειονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι η αυτό – οξείδωση , μια χημική αντίδραση που υπόκεινται , όταν βρίσκονται σε θερμοκρασία δωματίου . Αποτέλεσμα της αντίδρασης αυτής είναι η διάσπαση του αρχικού οξέος σε υδατάνθρακες , κετόνες , αλδεΐδες και μικρότερες ποσότητες αλκοολών και εποξικών.

Άλλο μειονέκτημα είναι η κακοσμία , ιδιότητα που περιορίζει δραματικά τη χρησιμότητα του χώρου στον οποίο εγκαθίστανται τα υλικά όπως επίσης ότι τα γενικότερα τα λιπαρά οξέα είναι ακριβότερα από τις παραφίνες.

4.2.2 Ανόργανα Υλικά

Ένυδρα άλατα

Τα ένυδρα άλατα είναι ο κύριος εκπρόσωπος ανόργανων υλικών και παρουσιάζουν αρκετά καλές ιδιότητες (τιμή λανθάνουσας θερμότητας περίπου 250 kJ/kg και αγωγιμότητας 0.6 W/mK περίπου), μέτριο κόστος παραγωγής σε σχέση με τις παραφίνες αλλά υψηλό κόστος πώλησης σε σχέση με τις τιμές πώλησης των παραφινών λόγω της επιβεβλημένης ενσωμάτωσής τους σε προστατευτικό κάλυμμα και χρήση πρόσθετων ουσιών σταθεροποίησης των ιδιοτήτων τους.

Τα ένυδρα άλατα έλαβαν μέρος σε αναρίθμητες μελέτες γύρω από τη χρησιμοποίησή τους σαν PCM. Ο κύριος λόγος είναι το σχετικά μεγάλο εύρος σημείων τήξης που διαθέτουν, σχεδόν από 0 έως 120°C, πράγμα που τα κάνει κατάλληλα για πολλές θερμικές εφαρμογές και όχι μόνο για κτίρια. Ο χημικός τύπος (γενικός) είναι $M \cdot nH_2O$, όπου M είναι μία ανόργανη ουσία, ενυδατωμένη με n μόρια νερού, και σχηματίζει μία σύνθετη ουσία ικανή να αποθηκεύσει μεγάλο ποσό θερμότητας υπό μορφή λανθάνουσας.

Η αρχή λειτουργίας των ένυδρων αλάτων, βασίζεται στην αποβολή του κρυσταλλικού νερού, το οποίο αποβάλλεται όταν προσδοθεί θερμότητα στο άλας σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία. Με τον τρόπο αυτό, αποθηκεύεται θερμότητα στο PCM, η οποία αποβάλλεται με επανακρυστάλλωση του νερού του άλατος.

Βασικά μειονεκτήματα των ανόργανων PCM είναι - κυρίως για τα ένυδρα άλατα - η ασυμβατότητα του PCM με τα υλικά συσκευασίας, γεγονός που οδηγεί σε διαβρωτικά φαινόμενα στο δοχείο, καθώς τα ένυδρα άλατα είναι ιδιαίτερα διαβρωτικά.

Τα ένυδρα άλατα εμφανίζουν και άλλα προβλήματα όπως για παράδειγμα η αφυδάτωση του ένυδρου άλατος, λόγω συνεχούς και μακράς χρήσης, κατά την οποία οι φάσεις του PCM διαχωρίζονται κυρίως λόγω της πίεσης των ατμών του νερού, φαινόμενο το οποίο αντιμετωπίζεται με τη χρήση αεροστεγών δοχείων αποθήκευσης. Το φαινόμενο της αποσύνθεσης του PCM ή αλλιώς του διαχωρισμού των φάσεών του, είναι σοβαρό πρόβλημα και συμβαίνει λόγω της ανομοιομορφίας στην τήξη του υλικού, διαδικασία η οποία είναι μη αντιστρεπτή.

Το άλας του Glauber ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$), με τυπική κατά βάρος σύσταση 44% Na_2SO_4 και 56% H_2O είναι ένα από τα πλέον μελετημένα υλικά με θερμοκρασία τήξης 32,4 °C και λανθάνουσα θερμότητα 254 kJ/kg. Αν και είναι ένα από τα φθηνότερα υλικά που κυκλοφορούν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αποθήκευση ενέργειας, τα προβλήματα διαχωρισμού των φάσεων, ο σχηματισμός ιζήματος και το φαινόμενο supercooling περιορίζουν το εύρος των εφαρμογών.

Ερευνητές προτείνουν την προσθήκη επιπλέον ύδατος, για την αποφυγή δημιουργίας ιζήματος, όμως κάτι τέτοιο θα μείωνε την αποθηκευτική ικανότητα του υλικού. Αντί αυτού έχει χρησιμοποιηθεί πληθώρα υλικών για την σταθεροποίηση του PCM, προσπαθώντας παράλληλα να αυξηθεί η ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας.

Συμπερασματικά, τα κυριότερα προβλήματα που εμφανίζει η χρήση των ένυδρων αλάτων δημιουργούνται λόγω της ανεπάρκειας σταθερότητας της χημικής σύνθεσης του υλικού και του φαινομένου διάβρωσης μεταξύ του υλικού και του υλικού συσκευασίας. Προφανώς, βασικό πλεονέκτημα των ένυδρων αλάτων έναντι των παραφινών όσον αφορά στις κτηριακές κυρίως εγκαταστάσεις είναι η μη αναφλεξιμότητα τους.

Στο πλαίσιο αναφοράς των ιδιοτήτων δεν θα πρέπει να παραλειφθεί ο ρόλος της πυκνότητας των υλικών, σημαντικός παράγοντας όταν τα υλικά χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις ή εφαρμογές που από τη φύση τους απαιτούν οικονομία χώρου.

Σε γενικές γραμμές τα ένυδρα άλατα είναι πυκνότερα υλικά από τα υπόλοιπα PCM και παρουσιάζουν ιδιαίτερα αυξημένες τιμές αποθήκευσης ενέργειας ανά μονάδα όγκου υλικού.

Ενδεικτικές τιμές πυκνότητας των βασικών κατηγοριών PCM:

Ένυδρα άλατα περίπου 1500 kg/m^3

Λιπαρά οξέα περίπου 900 kg/m^3

Παραφίνες περίπου 800 kg/m^3

4.2.3 Εύτηκτα μίγματα οργανικών και ανόργανων υλικών

Εύτηκτο ονομάζεται ένα μίγμα δύο ή περισσότερων συστατικών , το οποίο έχει σημείο τήξης χαμηλότερο από οποιοδήποτε από τα συστατικά του. Τέτοιου είδους μίγματα δεν εμφανίζουν διαχωρισμό φάσεων ούτε κατά την τήξη αλλά ούτε κατά την πήξη τους , λόγω της σύνθετης κρυσταλλικής δομής που αναπτύσσουν στις διεργασίες αυτές.

Τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να μελετάται η ανάμιξη οργανικών και ανόργανων υλικών για τη δημιουργία εύτηκτων μιγμάτων για χρήση ως PCM με βελτιωμένες ιδιότητες. Τα μίγματα αυτά συμπεριφέρονται και αντιμετωπίζονται σαν ένυδρα άλατα. Συγκεντρώνουν πολλά μειονεκτήματα ως υλικά αλλαγής φάσης . Το βασικό τους μειονέκτημα όμως είναι το κόστος τους , το οποίο μπορεί να είναι έως και τριπλάσιο από αυτό των οργανικών και ανόργανων PCM. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει ορισμένα μίγματα που χρησιμοποιούνται κυρίως σε κτιριακές εφαρμογές.

ΥΛΙΚΟ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΗΞΗΣ (°C)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΗΞΗΣ (KJ/Kg)
66.6% CaCl ₂ *6H ₂ O + 33.3% MgCl ₂ *6H ₂ O	25	127
48% CaCl ₂ + 4.3% NaCl + 0.4% KCl + 47.3% H ₂ O	26.8	188
47% Ca(NO ₃) ₂ *4H ₂ O + 53% Mg(NO ₃) ₂ *6H ₂ O	30	136
60% Na(CH ₃ COO)*3H ₂ O + 40% CO(NH ₂) ₂	30	200.5

Πίνακας 4.4 : Παραδείγματα εύτηκτων μιγμάτων για χρήση ως PCM.

4.3 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ PCM

Η αποτελεσματική χρήση των PCM στις διάφορες τεχνολογικές εφαρμογές προϋποθέτει την επιλογή υλικών με μεγάλες τιμές λανθάνουσας θερμότητας και με κατάλληλη θερμοκρασία αλλαγής φάσης ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή. Παρόλα αυτά υπάρχουν και άλλες προϋποθέσεις που θα πρέπει να πληρούνται οι οποίες αναφέρονται αναλυτικά στη συνέχεια.

Φυσικές απαιτήσεις :

- Κατάλληλη θερμοκρασία αλλαγής φάσης ώστε να επιτυγχάνεται αποθήκευση και εξαγωγή θερμότητας με συγκεκριμένο θερμοκρασιακό εύρος.
- Μεγάλη μεταβολή ενθαλπίας κατά την αλλαγή φάσης ώστε να επιτυγχάνεται υψηλή ενεργειακή πυκνότητα αποθήκευσης σε σχέση με συστήματα αποθήκευσης αισθητής θερμότητας.
- Υψηλή θερμική αγωγιμότητα ώστε να εξασφαλίζεται μεγάλη ροή θερμότητας κατά την φόρτιση και την αποφόρτιση.
- Σταθερότητα κατά την κυκλική καταπόνηση με αποτέλεσμα τη δυνατότητα χρήσης του αποθηκευτικού υλικού πολλές φορές.
- Ελαχιστοποίηση του φαινομένου υπόψυξης / υπέρψυξης ώστε η τήξη και η στερεοποίηση του υλικού να συμβαίνουν στην ίδια θερμοκρασία.

Τεχνικές απαιτήσεις :

- Μικρή τάση ατμών ώστε να επιτυγχάνονται όσο το δυνατόν λιγότερες απαιτήσεις σταθερότητας του δοχείου που περιέχει το PCM.
- Μικρές μεταβολές όγκου ώστε να επιτυγχάνονται λιγότερες απαιτήσεις του δοχείου που θα περιέχει το PCM.
- Χημική και φυσική σταθερότητα που θα εγγυάται μεγάλο κύκλο ζωής του υλικού.
- Συμβατότητα με άλλα υλικά ώστε να εξασφαλίζεται μεγάλος χρόνος ζωής του δοχείου που περιέχει το PCM όπως επίσης και των περιβαλλόντων υλικών σε περίπτωση διαρροής.

Οικονομικές απαιτήσεις :

- Χαμηλή τιμή ώστε τα PCM να είναι ανταγωνιστικά για τη μέθοδο ψύξη και θέρμανσης σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους.
- Να μην είναι τοξικά ώστε να είναι ασφαλή και περιβαλλοντολογικά αποδεκτά.
- Τα υλικά που χρησιμοποιούνται να είναι ανακυκλώσιμα ώστε να εξυπηρετούν περιβαλλοντικούς και οικονομικούς λόγους.

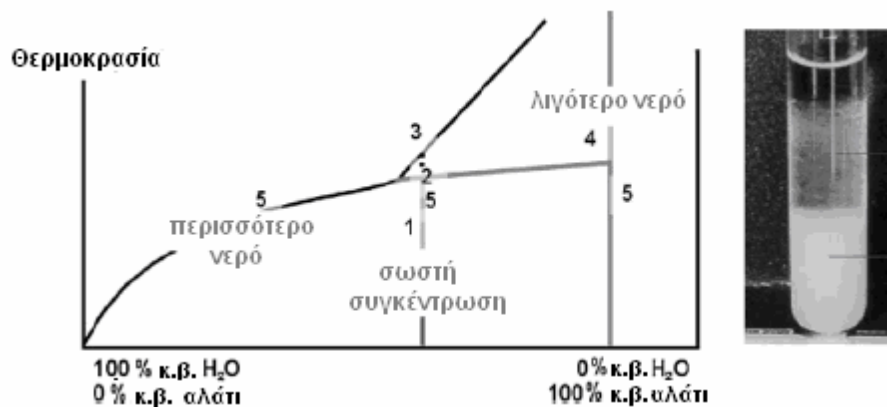
Συνήθως ένα υλικό δεν πληροί όλες τις παραπάνω προϋποθέσεις και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται ειδικές τεχνικές και προσεγγίσεις για την αντιμετώπιση του εκάστοτε προβλήματος λαμβάνοντας υπ όψη τις παραμέτρους και τις ιδιαιτερότητες της κάθε εφαρμογής.

4.4 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ

Όπως ήδη αναφέρθηκε , ένα υλικό που χρησιμοποιείται ως PCM σπάνια συγκεντρώνει όλες τις απαραίτητες ιδιότητες ώστε να είναι πλήρως αποδεκτό. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι επίλυσης ή αποφυγής των ενδεχόμενων προβλημάτων που παρουσιάζονται. Στις επόμενες ενότητες αναπτύσσονται διάφοροι πιθανοί τρόποι επίλυσης.

Διαχωρισμός φάσεων

Ο διαχωρισμός φάσεων (δυσαρμονική τήξη) είναι πρόβλημα για τα PCM που αποτελούνται από διαφορετικά συστατικά . Στο επόμενο σχήμα εξηγείται το φαινόμενο με παράδειγμα ένα ένυδρο άλας.

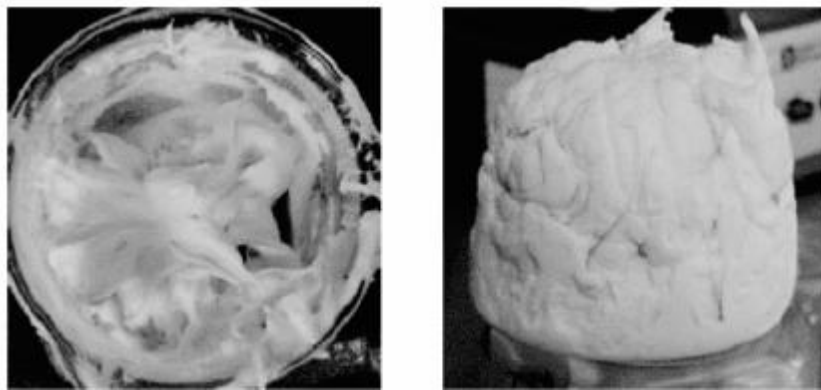


Σχήμα 4.3 : Διαχωρισμός φάσεων ένυδρου αλάτος σε τρεις διακριτές φάσεις με διαφορετική συγκέντρωση νερού.

Το ένυδρο άλας αποτελείται από δύο συστατικά , το αλάτι και το νερό. Αρχικά η απλή φάση του αλάτος θερμαίνεται από το σημείο 1 (στερεό) έως το 2. Από το σημείο 3 και πάνω , όπου η γραμμή του υγρού ξεπερνιέται , το υλικό είναι εξ ολοκλήρου υγρό. Ανάμεσα στα σημεία 2 και 3 έχουμε το σχηματισμό 2 φάσεων , της υγρής και μιας μικρής ποσότητας φάσης με λιγότερο νερό (σημείο 4). Το αποτέλεσμα της διαφορετικής πυκνότητας των δύο αυτών φάσεων είναι ο μακροσκοπικός διαχωρισμός τους , άρα και οι διαφορές στις συγκεντρώσεις των χημικών που σχηματίζουν το PCM. (σημείο 5).

Μειώνοντας τη θερμοκρασία του μίγματος τόσο ώστε να φτάσει κάτω από τη θερμοκρασία τήξης , η λανθάνουσα θερμότητα που στερεοποιεί το PCM πολλές φορές δεν απελευθερώνεται. Αντιθέτως , για να απελευθερωθεί και να σχηματιστεί ξανά το στερεό PCM , θα χρειαζόταν σωστή συγκέντρωση των χημικών συστατικών σε ολόκληρο το μίγμα. Αυξάνοντας τη θερμοκρασία του μίγματος τόσο ώστε να μεταπέσει εξ ολοκλήρου στην υγρή περιοχή (σημείο 3) , οι διαφορετικές φάσεις αναμιγνύονται μεταξύ τους ξανά μέσω του φαινομένου της μοριακής διάχυσης . Η ανάμιξη του μίγματος μπορεί να πραγματοποιηθεί μετά από ώρες ή ακόμα και μέρες , αν δεν γίνει με τεχνητό τρόπο.

Ο διαχωρισμός φάσεων , τις περισσότερες φορές , μπορεί να ξεπεραστεί με τη χρήση ειδικών πρόσθετων υλικών υελοειδούς μορφής. Τα τελευταία σχηματίζουν λεπτά πλέγματα μέσα στο PCM χτίζοντας έτσι μικρούς θαλάμους που περιορίζουν το μακροσκοπικό διαχωρισμό των φάσεων με διαφορετικές πυκνότητες. Μίγματα αυτού του είδους όταν θερμανθούν σε θερμοκρασία υψηλότερη της απαιτούμενης για τήξη , ομογενοποιούνται κανονικά μέσω μοριακής διάχυσης . Σε κάποιες άλλες περιπτώσεις το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την προσθήκη χημικών στο αρχικό PCM. Τα χημικά αυτά αλλάζουν το διάγραμμα φάσεων του PCM με τέτοιο τρόπο ώστε τελικά να αποτρέπουν εντελώς την εμφάνιση διαφορετικών φάσεων .

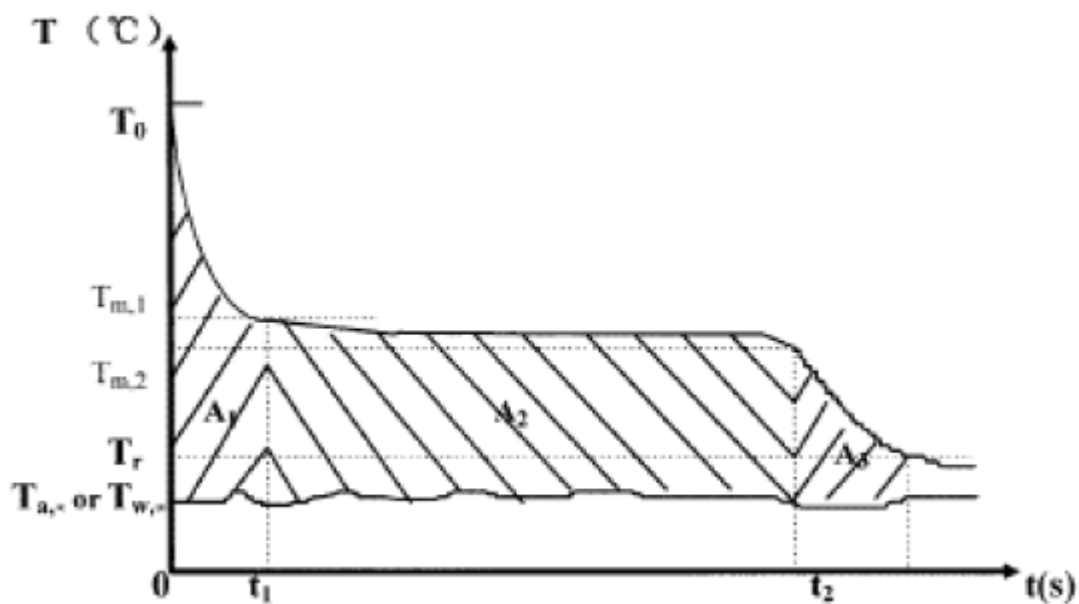


Εικόνα 4.3 : Υέλη ένυδρου άλατος για την αντιμετώπιση του διαχωρισμού φάσεων $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ με κυτταρίνη

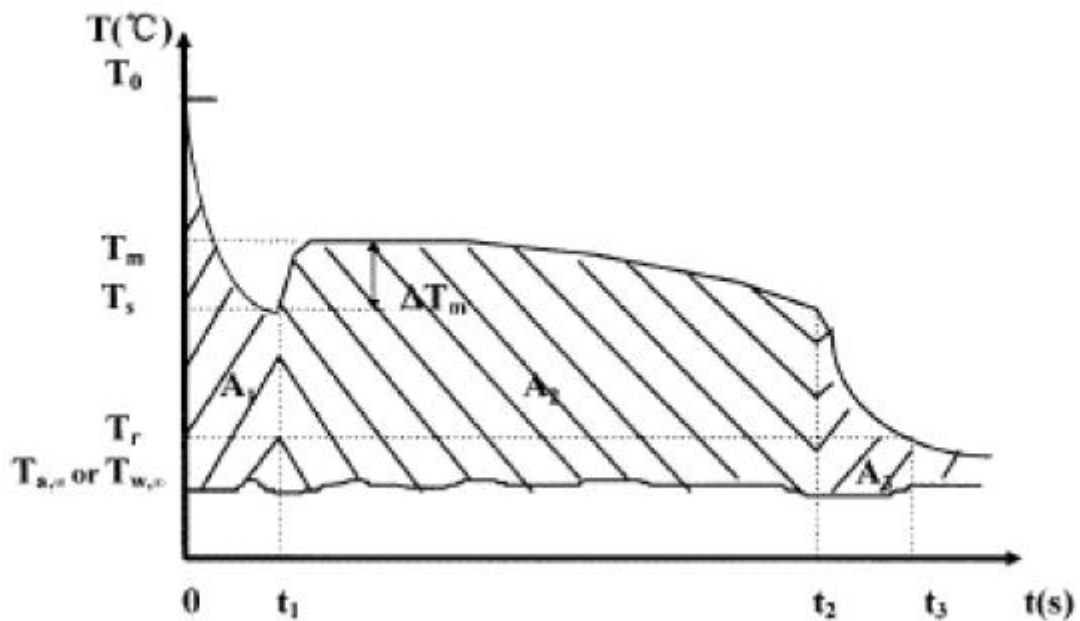
Υπόψυξη / Υπέρψυξη

Θεωρητικά , η θερμοκρασία τήξης και η θερμοκρασία στερεοποίησης ενός ιδανικού υλικού αλλαγής φάσης ταυτίζονται. Πρακτικά όμως , πολλά PCM δεν στερεοποιούνται αμέσως , όταν η θερμοκρασία γίνει μικρότερη από αυτήν της στερεοποίησης. Το φαινόμενο αυτό , κατά το οποίο ένα ρευστό ψύχεται σε θερμοκρασία χαμηλότερη από τη θερμοκρασία στερεοποίησης του χωρίς να στερεοποιείται , ονομάζεται υπόψυξη και κατά τη διάρκεια του φαινομένου το PCM είναι σχετικά ασταθές , δηλαδή δεν βρίσκεται σε θερμοδυναμική ισορροπία.

Γενικά , ένα υγρό κάτω από το σημείο στερεοποίησης του διαμορφώνει κρυσταλλική δομή γύρω από έναν παράγοντα διαμόρφωσης κρυσταλλικής δομής (πυρήνα κρυστάλλου). Στην περίπτωση που αυτοί οι παράγοντες λείπουν , το υγρό παραμένει στην ίδια φάση μέχρι τη θερμοκρασία που παρατηρείται η ομογενής κρυσταλλική δομή της στερεής φάσης , δηλαδή πολύ χαμηλότερα από τη θερμοκρασία στερεοποίησης του. Η υπόψυξη εμφανίζεται κυρίως στα ανόργανα υλικά αλλαγής φάσης . Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται ενδεικτικά διαγράμματα υλικών αλλαγής φάσης χωρίς και με υπόψυξη.



Σχήμα 4.4 : Τυπική καμπύλη ψύξης PCM χωρίς υπόψυξη.



Σχήμα 4.5 : Τυπική καμπύλη ψύξης PCM με υπόψυξη.

Ερμηνεύοντας την καμπύλη ψύξης του PCM με υπόψυξη, παρατηρείται σαφώς η πτώση της θερμοκρασίας του υλικού κάτω από την αντίστοιχη θερμοκρασία στερεοποίησης του, πριν ακόμα ξεκινήσει η διαδικασία αλλαγής φάσης.

Η μερική ή πλήρης καταστολή του φαινομένου επιτυγχάνεται με την προσθήκη ενός μέσου πυρήνωσης στο PCM, ο οποίος εξασφαλίζει το σχηματισμό της στερεής φάσης με ελάχιστη υπόψυξη. Οι πιθανοί προς χρήση πυρήνες μπορεί να είναι :

- *Εγγενείς πυρήνες* : Σωματίδια στερεού PCM που πρέπει να διατηρούνται ξεχωριστά από το PCM γιατί διαφορετικά θα λιώσουν μαζί του κατά την τήξη και θα γίνουν αναποτελεσματικά.
- *Ξένοι πυρήνες* : Χημικά που έχουν παρόμοια κρυσταλλική δομή με το στερεό PCM. Αυτό σημαίνει ότι έχουν παραπλήσια θερμοκρασία τήξης και απενεργοποιούνται σε θερμοκρασίες κοντά σε αυτή.

Για τα περισσότερα, καλά μελετημένα PCM έχουν βρεθεί κατάλληλοι πυρήνες που περιορίζουν το φαινόμενο της υπόψυξης, για τα νεότερα όμως υλικά, η αναζήτηση ενός πυρήνα είναι συνήθως

χρονοβόρα και ανεπιτυχής . Αυτό οφείλεται στο ότι δεν έχει αναπτυχθεί ακόμα καμία αξιόπιστη προσέγγιση για τον τρόπο αναζήτησης τους.

Χαμηλή θερμική αγωγιμότητα

Η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα είναι γενικότερα μια φυσική ιδιότητα των αμέταλλων υγρών. Κατά τη χρήση όμως τέτοιων υλικών ως PCM είναι απαραίτητη η επίτευξη μεγάλων τιμών θερμικής αγωγιμότητας. Μεγάλη θερμική αγωγιμότητα έχει ως συνέπεια η θερμότητα που αποθηκεύεται στα PCM σε μικρό όγκο να μεταφέρεται γρήγορα από την επιφάνεια στο εξωτερικό περιβάλλον σύστημα και αντίστροφα , χαρακτηριστικό που είναι θεμελιώδες για τη γρήγορη φόρτιση - αποφόρτιση . Σε περιπτώσεις όπως τα αμέταλλα υγρά χρησιμοποιούνται κυρίως δύο τρόποι βελτίωσης της μεταφοράς θερμότητας :

- Με χρήση μεταφοράς μάζας , δηλαδή συναγωγής. Η συναγωγή συμβαίνει κατά την υγρή φάση και γι αυτό ενεργεί μόνο όταν η θερμότητα μεταφέρεται στο PCM. Όταν αφαιρείται , η στερεοποίηση συμβαίνει στην επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας.
- Με αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη αντικειμένων μεγαλύτερης αγωγιμότητας στο PCM . Παραδείγματα αποτελούν τα πτερύγια , τα μεταλλικά πλέγματα , οι μεταλλικές πλάκες κλπ. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα τέτοιο παράδειγμα.



Εικόνα 4.4 : Βελτίωση μετάδοσης θερμότητας με προσθήκη κομματιών χαλκού.

Συσκευασία PCM και παράγωγα υλικά.

Τόσο η συσκευασία όσο και τα παράγωγα υλικά αποτελούν πολύ σημαντικά ζητήματα της τεχνολογίας των PCM. Η χρήση των PCM στις περισσότερες εφαρμογές απαιτεί τη συσκευασία τους προς αποφυγή διαρροής της υγρής φάσης από το σημείο τοποθέτησης τους. Διακρίνονται δύο είδη συσκευασίας :

- Ενσωμάτωση σε κάψουλες διαμέτρου μεγαλύτερης του 1cm (macro encapsulation). Είναι η πιο δημοφιλής μέθοδος συσκευασίας των PCM. Εκτός από τη συγκράτηση του υγρού υλικού και την προστασία του από την επαφή με το περιβάλλον , η ενσωμάτωση αυτή έχει και άλλα πλεονεκτήματα. Βελτιώνει τη συμβατότητα υλικού – περιβάλλοντος , διευκολύνει τη μεταχείριση του PCM σε μια παραγωγή και περιορίζει τις εξωτερικές μεταβολές όγκου , πράγματα πολύ σημαντικά στις τεχνικές εφαρμογές.
- Ενσωμάτωση σε κάψουλες διαμέτρου μικρότερης από 1mm (micro encapsulation) . Η τεχνική αυτή αναπτύχθηκε πρόσφατα και εκτός από τα πλεονεκτήματα της προηγούμενης εμφανίζει επιπρόσθετη βελτίωση μετάδοση της αποθηκευμένης θερμότητας προς το περιβάλλον και σταθερότητα του υλικού ως προς την κυκλική καταπόνηση.

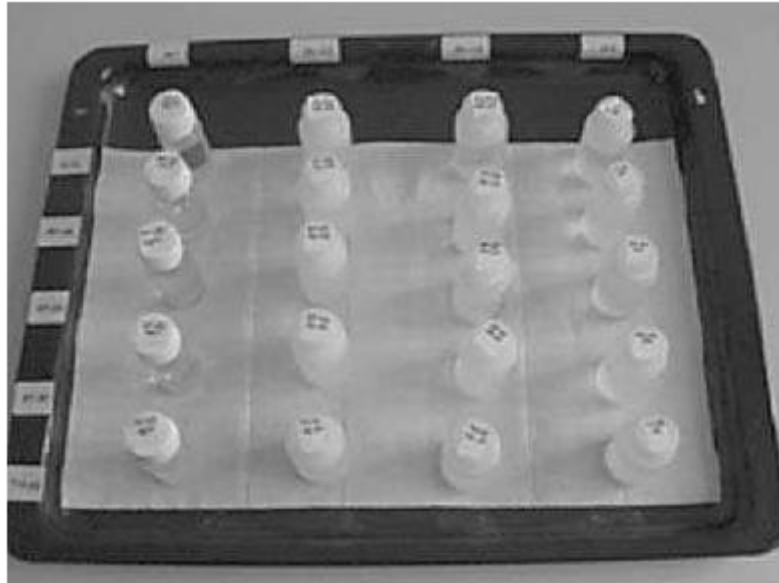
Τα παράγωγα υλικά αποτελούνται από ένα PCM και τουλάχιστον ένα ακόμα συστατικό. Το δεύτερο αυτό συστατικό χρησιμοποιείται για να βελτιώσει κάποια από τις ιδιότητες του υλικού αλλαγής φάσης. Συνήθως συμβάλλει στην καλύτερη μεταφορά του PCM όμως μπορεί επίσης να βελτιώσει τη συμπεριφορά του στην κυκλική καταπόνηση και τη μεταφορά της θερμότητας με την προσθήκη υλικών μεγάλης θερμικής αγωγιμότητας.

Συμβατότητα με άλλα υλικά.

Η συμβατότητα των υλικών αλλαγής φάσης με άλλα υλικά αποτελεί μια πολύ σημαντική παράμετρο τόσο ως προς τη διάρκεια ζωής της συσκευασίας (δοχείο) που περιέχει το PCM , όσο και ως προς την πιθανή καταστροφή που δύναται να προκληθεί στο γειτονικό περιβάλλον σε περίπτωση διαρροής της. Τα συνηθέστερα προβλήματα που εμφανίζονται είναι :

- Η διάβρωση των μετάλλων που έρχονται σε επαφή με ανόργανα PCM.
- Η αποσταθεροποίηση των πλαστικών που έρχονται σε επαφή με οργανικά PCM.
- Η μετακίνηση υγρών και αερίων μέσω των πλαστικών , η οποία επηρεάζει την απόδοση του περιεχόμενου PCM με το περιβάλλον.

Η επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος βασίζεται σε καθαρά εμπειρικές τεχνικές. Αυτό σημαίνει ότι ο έλεγχος της συμβατότητας προέρχεται από πειράματα που διεξάγονται σε συνθήκες τυπικές της εκάστοτε εφαρμογής. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων αυτών καθορίζουν την τελική επιλογή των χρησιμοποιούμενων υλικών.



Εικόνα 4.5 : Πείραμα συμβατότητας πλαστικού-ανόργανου και πλαστικού-οργανικού PCM.

ΤΟΜΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΩΝ PCM

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η πρώτη χρήση των PCM έγινε με τη χρήση του πάγου στις διάφορες εφαρμογές της ιατρικής αλλά και της συντήρηση τροφίμων. Η χρησιμοποίηση άλλων PCM , εκτός πάγου – νερού , σε ενεργητικά και παθητικά συστήματα ξεκίνησε ήδη , αν και σε πρώιμο στάδιο , από τη δεκαετία του 1940. Οι εφαρμογές των συστημάτων αποθήκευσης θερμότητας σε λανθάνουσα μορφή είναι αρκετά εκτεταμένες.

Τα πλεονεκτήματα είναι η μεγάλη πυκνότητα αποθήκευσης ενέργειας με μικρότερη διακύμανση κατά την ανάκτηση της , με μικρότερη θερμοκρασιακή διαφορά από την πηγή θερμότητας. Επιπλέον , η ελευθερία που δίνει το εύρος θερμοκρασιών ενεργοποίησης των υλικών που παράγονται δίνει την ευχέρεια εφαρμογής των PCM σε πλήθος περιπτώσεων έμμεσης και άμεσης αποθήκευσης θερμότητας.

Οι πρακτικές δυσκολίες που ανακύπτουν οφείλονται στην χαμηλή τιμή του συντελεστή αγωγιμότητας , στην μεταβολή της πυκνότητας , στην αξιοπιστία – σταθερότητα των ιδιοτήτων σε μακροχρόνια χρήση καθώς και στο διαχωρισμό των φάσεων με πιθανή αλλαγή χημικής σύστασης των υλικών και εμφάνιση του φαινομένου supercooling. Η ανεπάρκεια της σταθερότητας οφείλεται είτε σε μικρής χημικής σταθερότητας είτε στην ενδεχόμενη διάβρωση μεταξύ του PCM και του υλικού που έρχεται σε επαφή.

5.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΕΠΑΦΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΕΣΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Εκτενείς προσπάθειες έχουν γίνει και γίνονται στο τμήμα εφαρμογών των PCM με συστήματα αξιοποίησης ηλιακής ενέργειας όπου η απαιτούμενη θερμότητα αποθηκεύεται την ημέρα για να χρησιμοποιηθεί τη διάρκεια της νύχτας ή σε ώρες μη ηλιοφάνειας.

Η χαμηλή τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας δεν βοηθάει την ταχεία απορρόφηση της προσφερόμενης θερμότητας και για αυτό το λόγο εφαρμόζονται πλήθος τεχνικών ενίσχυσης της.

Οι εναλλακτές που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως οι εξής :

1. Το PCM τοποθετείται μεταξύ παράλληλων πλακών σε λεπτά και διαδοχικά στρώματα αφήνοντας μεταξύ τους ικανό κενό για τη ροή του μέσου (συνήθως αέρας , νερό , διαλύμα νερού γλυκόλης , λάδι κλπ.).

2. Το PCM τοποθετείται εντός σωληνώσεων μικρής διαμέτρου , σχηματίζοντας δέσμη σωληνώσεων και το ρευστό κινείται κατά μήκος ή κάθετα της δέσμης. Οι σωληνώσεις πολλές φορές είναι και πτερυγιοφόροι.
3. Το PCM τοποθετείται στο κέντρο ενός δοχείου αποθήκευσης διπλού κελύφους και το ρευστό κυκλοφορεί περιφερειακά.
4. Σε μικρή κλίμακα μόνο έχουν χρησιμοποιηθεί και διατάξεις παρόμοιες του πλακοειδή εναλλακτική. Στην κυψελοειδή διάταξη αντιμετωπίζονται προβλήματα από τις τάσεις που δημιουργούνται με την αύξηση του όγκου κατά την τήξη του υλικού , φαινόμενο που θέτει όρια στις εφαρμογές της.
5. Το PCM τοποθετείται σε δοχείο το οποίο το διαπερνούν πτερυγιοφόροι σωλήνες. Κατά αυτή τη διάταξη το υλικό καλύπτει όλη την περιοχή μεταξύ δοχείου και σωλήνα καθώς και την απόσταση μεταξύ των πτερυγίων. Τέτοιου είδους διάταξη είναι αρκετά αποδοτική αν το ρευστό που ρέει εντός των σωληνώσεων είναι υγρό και όχι αέριο.
6. Το PCM βρίσκεται σε μορφή μικρής σφαίρας (συνήθως σε πλαστικό κέλυφος) και τοποθετείται εντός δοχείου. Το ρευστό που μεταφέρει θερμότητα , εισέρχεται και εξέρχεται από το δοχείο μέσω μίας σωλήνωσης εισαγωγής και εξαγωγής αντίστοιχα ή ένας αεραγωγός εισόδου και εξόδου στην περίπτωση αερίου μέσου. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι η μεγάλη πτώση πίεσης που παρουσιάζεται μεταξύ εισόδου και εξόδου.

5.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΜΕΣΗΣ ΕΠΑΦΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΕΣΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Η ιδέα έχει πραγματοποιηθεί μόνο σε ερευνητικό επίπεδο χρησιμοποιώντας ένυδρο άλας για PCM και λάδι για μέσο μεταφοράς της θερμότητας από την πηγή στο σύστημα αποθήκευσης. Στην πειραματική διάταξη φυσαλίδες λαδιού διαπερνούν το PCM μεταφέροντας την απαιτούμενη θερμότητα. Αξιοσημείωτο είναι ότι η αναταραχή που δημιουργούν οι φυσαλίδες μειώνουν και το φαινόμενο του supercooling και του διαχωρισμού των φάσεων.

5.4 ΚΤΙΡΙΑΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕ PCM

Τα υλικά αλλαγής φάσης βρίσκουν εφαρμογές τόσο σε ενεργητικά όσο και σε παθητικά συστήματα αποθήκευσης. Σε οποιοδήποτε όμως σύστημα είναι απαραίτητη η αποθήκευση θερμότητας ή ψύχους προκειμένου να επέλθει ισορροπία μεταξύ διαθεσιμότητας και ζήτησης. Τα PCM μπορούν να τοποθετηθούν στην τοιχοποιία , σε άλλα μέρη του κτιρίου εκτός των τοίχων ή σε μονάδες αποθήκευσης θερμότητας και ψύχους.

Οι δύο πρώτες εφαρμογές αποτελούν παθητικά συστήματα αφού η αποθήκη θερμότητας (ή ψύχους) γίνεται αυτόματα αναφορικά πάντα με το σημείο τήξης του υλικού. Το τρίτο είναι ενεργητικό σύστημα αφού η αποθηκευμένη θερμότητα βρίσκεται σε δεξαμενή χωρισμένη από το κτίριο και προσδίδεται κατόπιν ζήτησης.

5.4.1 ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Η ικανότητα αποθήκης θερμότητας σε πέτρα είναι γνωστή από τα αρχαία ακόμη χρόνια και έχει αξιοποιηθεί στην κατασκευή σπιτιών. Η χρήση όμως υλικών που αποθηκεύουν με τη μορφή αισθητής θερμότητας παρουσιάζει διάφορα προβλήματα με κυριότερα την υπερβολική ποσότητα υλικού που απαιτείται και τις ανεπιθύμητες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις που παρουσιάζονται στη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου.

Τα δομικά υλικά από τα οποία χρησιμοποιούνται στα κτίρια παραμένουν στη στερεή κατάσταση σε ολόκληρο το εύρος των θερμοκρασιών χρήσης τους. Ομοίως συμπεριφέρονται και τα συμβατικά μονωτικά υλικά τα οποία ως χαρακτηριστικό γνώρισμα έχουν την αντίσταση που παρουσιάζουν στη διάβαση θερμότητας μέσα από το σώμα τους. Αντίθετα με αυτή την προσέγγιση μόνωσης των κτιρίων θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν υλικά που θα αποθήκευαν τη θερμότητα που εισέρχεται στο κτίριο από το κέλυφος κατά την καλοκαιρινή περίοδο, ώστε να μην αυξηθεί η θερμοκρασία των χώρων ή να αποθηκεύουν τη θερμότητα που προσπίπτει στο κτίριο με μορφή ηλιακής ακτινοβολίας ώστε να μην υπάρχουν απώλειες θερμότητας κατά την χειμερινή περίοδο.

Η βασική ιδέα των συστημάτων αποθήκευσης ως μέσα εξοικονόμησης ενέργειας είναι η μετατόπιση των μέγιστων ενεργειακών απαιτήσεων της εγκατάστασης σε ώρες εκτός των περιόδων μέγιστης ζήτησης του συστήματος διανομής ενέργειας ή η εξομάλυνση της καμπύλης ενεργειακής απαίτησης της εγκατάστασης ώστε να μην παρουσιάζονται σημεία αιχμής κατά την εικοσιτετράωρη λειτουργία της. Οι έρευνες που έχουν γίνει και γίνονται καθώς οι εφαρμογές που έχουν πραγματοποιηθεί αποδεικνύουν ότι τα δομικά υλικά τα οποία έχουν εμποτιστεί με PCM ή δομικές κατασκευές που εμπεριέχουν PCM, μπορούν να αποθηκεύσουν 5 – 14 φορές περισσότερη ενέργεια ανά μονάδα όγκου σε σχέση με τα συμβατικά δομικά υλικά.

Η εφαρμογή τους στις κτιριακές εγκαταστάσεις μπορεί να γίνει είτε με χρήση των PCM αυτούσια ως στρώμα υλικού μέσα στην τοιχοποιία ή σαν συστατικό σύνθετου υλικού με κύριο συστατικό το γύψο ή το τσιμέντο (π.χ. γυψοσανίδα με πρόσθετο συστατικό το PCM ή σοβάς με PCM). Η χρήση των PCM σε συνδυασμό με γυψοσανίδα συνήθως γίνεται σε αναλογία 20 – 30 % PCM κατά βάρος. Ειδικά όταν χρησιμοποιούνται οργανικά PCM η ενσωμάτωση τους σε υλικά με υψηλό δείκτη πυραντίστασης εξασφαλίζει εν μέρει τη μη ανάφλεξη των PCM σε περίπτωση πυρκαγιάς. Η ενσωμάτωση των PCM σε υλικά όπως ο γύψος ή το τσιμέντο εξασφαλίζει σε μεγάλο βαθμό τη συγκράτηση του υλικού ακόμη και μετά την πλήρη υγροποίηση του, καθώς και τη μη πρόσληψη υγρασίας από τον αέρα του περιβάλλοντος. Σε πολλές περιπτώσεις ανάλογα με την κατηγορία του υλικού (όπως λιπαρά οξέα, ένυδρα άλατα) είναι απαραίτητη η ενσωμάτωση του PCM σε προστατευτικό κάλυμμα πριν την ενσωμάτωση τους σε δομικό υλικό. Για την κατηγορία των παραφινών πειραματικά αποτελέσματα έχουν δείξει τη συμβατότητα τους με το γύψο, καθώς και με το τσιμέντο και γι αυτό το λόγο έχουν χρησιμοποιηθεί δομικά υλικά εμποτισμένα με παραφίνες.

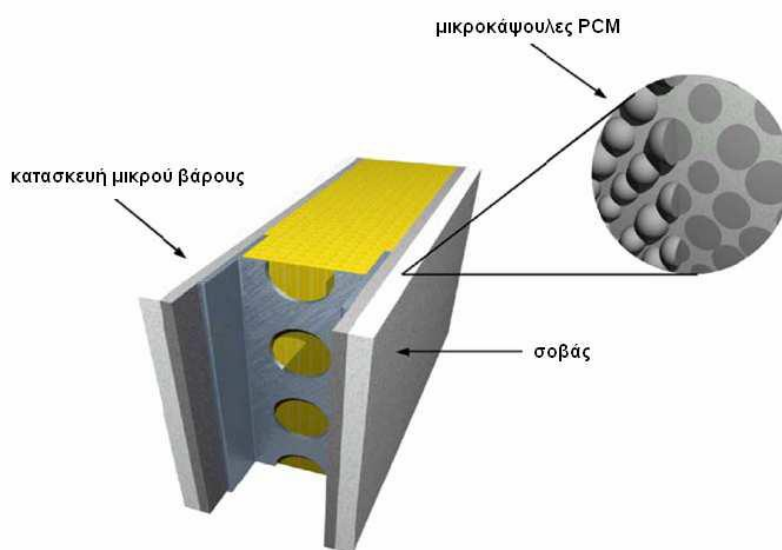
Το πλέον προσιτό δείγμα χρήσης των PCM ώστε να γίνει κατανοητή η λειτουργία τους είναι η εφαρμογή τους στην τοιχοποιία . Κατά την καλοκαιρινή περίοδο η θερμότητα από το εξωτερικό περιβάλλον εισέρχεται στο κέλυφος του κτιρίου διαπερνώντας τα στρώματα του σοβά και του τούβλου και αντιμετωπίζει τη θερμική αντίσταση της μόνωσης. Στην κοινή κατασκευή τοιχοποιίας όσο ποσό θερμότητας διαπεράσει το στρώμα της μόνωσης θα εισέλθει στο χώρο μέσω των στρωμάτων του τούβλου και του σοβά. Στην περίπτωση της ενισχυμένης τοιχοποιίας με PCM το επιπλέον ποσό θερμότητας αποθηκεύεται στο υλικό και δεν περνά προς τον εσωτερικό χώρο.

Κατά την χειμερινή περίοδο ο αέρας του εσωτερικού χώρου έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία από το εξωτερικό περιβάλλον. Σ αυτή την περίπτωση η θερμότητα από τον εσωτερικό χώρο διαπερνά τα στρώματα του σοβά και του τούβλου και εγκλωβίζεται στο PCM μην αφήνοντας να διαφύγει θερμότητα προς το περιβάλλον. Στη συμβατική περίπτωση όσο ποσό θερμότητας διαφεύγει από το στρώμα της μόνωσης καταλήγει στο περιβάλλον.

Κατά τα τελευταία 30 χρόνια , η τεχνολογία επέτρεψε τη δημιουργία και την ανάπτυξη μικροσυσκευασμένων PCM σε κάψουλες , μορφή η οποία είναι κατάλληλη για τη χρήση σε συνεργασία με δομικά υλικά οποιασδήποτε μορφής. Πλέον η χρήση τέτοιων υλικών είναι διαδεδομένη στα κτίρια τα οποία σχεδιάζονται ώστε να είναι υψηλής ενεργειακής απόδοσης και χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης.

5.4.2 ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ

Αν και έχουν γίνει αρκετές μελέτες για χρήση διάφορων PCM σε διαφορετικούς τοίχους, δεν έχει καθιερωθεί μέχρι τώρα μια καθολική μέθοδος χρήσης των υλικών αυτών σε τοίχους, βάσει της οποίας να παρέχονται γενικές κατευθύνσεις χρήσης και εγκατάστασης, τεχνικά και θερμικά μεγέθη και γενικές οδηγίες αναφορικά με την τελική επιλογή του είδους, της ποσότητας και του τρόπου εφαρμογής του PCM στον τοίχο συναρτήσει των κλιματικών συνθηκών.



Εικόνα 5.1 :Σχηματική απεικόνιση τοίχου με PCM..

Καθίσταται πάρα πολύ σημαντικό το γεγονός ότι η θερμοκρασία τήξης του PCM καθορίζει την βέλτιστη ικανότητα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας του τοίχου κατά την διάρκεια μιας ημέρας. Σύμφωνα με πειράματα αποδεικνύεται ότι ο αποδοτικότερος τρόπος ρύθμισης του τοίχου επιτυγχάνεται με κατάλληλη επιλογή PCM τέτοια ώστε η θερμοκρασία τήξης του να είναι πολύ κοντά στην μέση ημερήσια θερμοκρασία του τοίχου και όχι του περιβάλλοντος. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μέγιστη αποθηκευτική ικανότητα του PCM καθώς και την εξομάλυνση των εσωτερικών θερμοκρασιών.

Τα συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα (π.χ. υπερθέρμανση) που προκύπτουν από τις κλασικές εγκαταστάσεις παθητικών ηλιακών συστημάτων. Τα PCM απορροφούν ή αποβάλλουν σημαντικό ποσό θερμότητας διατηρώντας τη θερμοκρασία πρακτικά σταθερή με αποτέλεσμα τη χρήση μικρότερων, και συνεπώς αποδοτικότερων, θερμαντικών ή κλιματιστικών συσκευών. Επιπλέον,

δεδομένου ότι η αποθηκευτική ικανότητα των PCM είναι μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερη από τα παραδοσιακά δομικά υλικά , είναι εφικτή η ίδια αποθηκευτική ικανότητα με πολύ λιγότερη μάζα.

5.4.2.1 ΤΟΙΧΟΣ TROMBE

Ο τοίχος Trombe ενισχυμένος με PCM θεωρείται ένα παράδειγμα βελτίωσης της απόδοσης της ενέργειας. Ο κλασικός τοίχος Trombe αποτελείται από ένα συμπαγή τοίχο μεγάλης θερμοχωρητικότητας από σκυρόδεμα πάχους 30 – 40 cm , βαμμένο με σκούρο χρώμα , συνήθως μαύρο , στην εξωτερική πλευρά. Σε απόσταση 3 cm υπάρχει γυάλινη επιφάνεια με μονό ή διπλό στρώμα και ενίοτε πλαστική. Στο πάνω και κάτω μέρος του τοίχου υπάρχουν θυρίδες που διευκολύνουν την κίνηση του αέρα , ενώ θυρίδα υπάρχει και στο πάνω μέρος του υαλοστασίου.

Η ηλιακή θερμότητα συλλέγεται στο χώρο μεταξύ τοίχου και του υαλοστασίου και διανέμεται στο εσωτερικό μετά από ένα διάστημα αρκετών ωρών. Όταν η εσωτερική θερμοκρασία πέσει κάτω από τη θερμοκρασία επιφάνειας του τοίχου , η θερμότητα αρχίζει και απελευθερώνεται στον εσωτερικό χώρο. Η απώλεια θερμότητας μπορεί να ελεγχθεί με μια μονωτική κουρτίνα κατά την διάρκεια της νύχτας μεταξύ του τοίχου και του υαλοστασίου ώστε να μην διαφύγει η θερμότητα προς το εξωτερικό περιβάλλον. Ενώ οι απλοί τοίχοι Trombe στην αποθήκευση αισθητής θερμότητας , οι ενισχυμένοι με PCM έχουν μεγαλύτερη δυνατότητα αποθήκευσης θερμότητας ανά μονάδα μάζας και συνεπώς καλύτερα αναμενόμενα αποτελέσματα.

Ένας τοίχος Trombe με PCM κατασκευάζεται στην νότια πλευρά του σπιτιού. Για μια δεδομένη ποσότητα αποθήκευσης θερμότητας οι τοίχοι με PCM απαιτούν λιγότερο χώρο και είναι πιο ελαφριές και συνεπώς πιο εύχρηστες κατασκευές . Ενδεικτικά αναφέρεται πως ένας τοίχος με PCM πάχους 8,1 cm έχει ελαφρώς καλύτερη θερμική απόδοση από τοίχο με μπετό πάχους 40 cm. Τα συνηθέστερα υλικά αλλαγής φάσης που χρησιμοποιούνται σε τοίχους Trombe είναι οι παραφίνες και τα ένυδρα άλατα.

5.4.2.2 ΓΥΨΟΣΑΝΙΔΑ

Στα επενδυτικά υλικά της τοιχοποιίας είναι δυνατόν να προστεθούν διάφορα PCM , συνήθως παραφίνες , δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο ένα είδος δομικού υλικού που λειτουργεί σαν αποθηκευτικό μέσο θερμότητας. Όταν υπάρχουν διαθέσιμες ψυκτικές πηγές το PCM στερεοποιείται ελευθερώνοντας θερμότητα ενώ όταν απαιτείται ψύξη υγροποιείται και απορροφά θερμότητα. Τα PCM επιδρούν σημαντικά στη θερμοχωρητικότητα της εγκατάστασης και οι καθαρές ουσίες αποθηκεύουν την θερμότητα με μηδενική αλλαγή της θερμοκρασίας τους και συνεπώς του δωματίου. Η αυξημένη αποθηκευτική ικανότητα της γυψοσανίδας μπορεί , χωρίς βοηθητικό σύστημα κλιματισμού , να διατηρήσει τη θερμοκρασία του χώρου κοντά στο ανώτατο όριο θερμικής άνεσης. Σε περιοχές με μεγάλες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας , μπορεί να χρησιμοποιηθεί σύστημα εξαερισμού κατά τη διάρκεια της νύχτας προκειμένου να απομακρυνθεί η αποθηκευμένη θερμότητα της γυψοσανίδας.

Υπάρχουν δύο τρόποι ενσωμάτωσης των PCM σε γυψοσανίδα :

- Η γυψοσανίδα βυθίζεται σε λεκάνη με υγρό PCM , ώστε το πορώδες της γυψοσανίδας να απορροφήσει το PCM . Σημειώνεται ότι η τυπική γυψοσανίδα απορροφά το 30% του βάρους της σε λιγότερο από δέκα λεπτά.
- Η γυψοσανίδα περιλαμβάνει μικροσυσκευασία του PCM σε σφαιρικής μορφής κάψουλες , διαμέτρου 3μm , σκοπός της οποίας είναι η συγκράτηση του PCM κατά την υγρή φάση.

Από μελέτες αποδείχθηκε ότι ο περιορισμός του κατά βάρος ποσοστού του PCM στο 15 – 20 % καθώς επίσης και η επίστρωση πυροπροστατευτικού υλικού ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο ανάφλεξης.

5.4.3 ΟΡΟΦΕΣ ΜΕ PCM

Ένα σύστημα θέρμανσης χώρου με ενσωματωμένα PCM στην οροφή σχεδιάστηκε από τους Gutherz και Schiler. Η ηλιακή ενέργεια κατευθύνεται από ηλιακούς ανακλαστήρες μέσω των παραθύρων στα υλικά αλλαγής φάσης. Το κύριο πλεονέκτημα του συστήματος είναι ότι επιτρέπεται σε μια μεγάλη επιφάνεια να αποτελέσει αποθηκευτικό μέσο χωρίς να απαιτούνται μεγάλοι όγκοι αποθηκευτικού μέσου. Η χρήση ενός τέτοιου συστήματος ανακτά το 16 – 36 % των θερμικών απωλειών. Οι ταβανοσανίδες χρησιμοποιούνται για θέρμανση και ψύξη. Η χρήση PCM σε ταβανοσανίδα είναι ικανή να μειώσει το φορτίο αιχμής σε ένα σύστημα κλιματισμού.

Συγκεκριμένα , τη χειμερινή περίοδο , ο ψυχρός αέρας από τους αεραγωγούς διέρχεται από το κενό στο θάλαμο οροφής για να αποθηκεύσει την ψύξη. Η ψύξη ανακτάται κατά την διάρκεια δύο ωρών αιχμής. Έχει αποδειχθεί ότι η αύξηση στη θερμοκρασία του δωματίου ήταν 2°C ενώ αν ήταν μια τυπική γυψοσανίδα θα αυξανόταν κατά 6°C.

5.4.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ PCM ΣΕ ΠΑΝΤΖΟΥΡΙΑ

Η τοποθέτηση των PCM γίνεται στο εξωτερικό μέρος των παραθυρόφυλλων. Με τον τρόπο αυτό καθώς τα παντζούρια ανοίγουν προς τα έξω η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από τα PCM και ενεργοποιούνται. Κατά τη διάρκεια της νύχτας το υλικό αλλαγής φάσης στερεοποιείται με αποτέλεσμα θερμότητα να εκπέμπεται στο εσωτερικό της κατοικίας. Σύμφωνα με μελέτη που έγινε (H.Mehling) , η θερμοκρασία του δωματίου μειώθηκε έως και 2°C συγκριτικά με το αντίστοιχο παντζούρι χωρίς PCM.



Εικόνα 5.2 : Γρίλιες παραθύρων με PCM.

5.4.5 ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΜΕ PCM

Η ενδοδαπέδια θέρμανση από πολλούς θεωρείται καινοτομία στο πεδίο των εφαρμογών θέρμανσης , αποτελεί όμως τεχνική που εμφανίζεται για πρώτη φορά στην αρχαιότητα με βασική καύσιμη ύλη τα καυσόξυλα και μέσο μετάδοσης τον αέρα , ο οποίος διαχεόταν σε υπόγεια κανάλια κάτω από το δάπεδο.

Τα τελευταία τριάντα σχεδόν χρόνια και σχεδόν παράλληλα με την εμφάνιση των πλαστικών σωλήνων , ξανακάνει έντονη την παρουσία της με εξελιγμένες τεχνικές μεθόδους εφαρμογής. Η ενδοδαπέδια θέρμανση παρουσιάζει το μεγάλο πλεονέκτημα της ομοιόμορφης θερμικής άνεσης σε ολόκληρο το χώρο που θερμαίνεται για ένα εύρος θερμοκρασιών από 25 - 28 °C . Το περιβάλλον που διαμορφώνει είναι πολύ φιλικό προς τον άνθρωπο , δεν παρουσιάζει προβλήματα ή κινδύνους για τους χρήστες και δεν παρεμβαίνει στην ήδη υπάρχουσα αισθητική του χώρου , κάτι που την καθιστά εύχρηστη σε οποιονδήποτε εσωτερικό χώρο.

Η ενδοδαπέδια θέρμανση είναι δυνατόν να εφαρμοστεί με δύο τρόπους :

- Με συστήματα ύδατος (θερμά – υγρά)
- Με ηλεκτρικά συστήματα (ξηρά)

Ο πρώτος τρόπος εφαρμογής γίνεται κατά βάση με χρήση πετρελαίου ή φυσικού αερίου με αποτέλεσμα η χρήση PCM να μην προσφέρει ιδιαίτερα πλεονεκτήματα συγκριτικά με τα υπάρχοντα συμβατικά καύσιμα. Στην περίπτωση όμως , που για την θέρμανση του νερού χρησιμοποιείται κάποια άλλη πηγή ενέργειας , όπως η ηλιακή , τότε αυτή πρέπει σε ώρες αιχμής να μπορεί να αποθηκευτεί και να αποδοθεί σε άλλη χρονική περίοδο. Η αποθήκευση θερμότητας μπορεί να επιτευχθεί μέσω των PCM που βρίσκονται στο δάπεδο.

Στο δεύτερο τρόπο εφαρμογής της ενδοδαπέδιας θέρμανσης τα PCM μπορούν να χρησιμοποιηθούν καταναλώνοντας τα φορτία αιχμής κατά τη διάρκεια της νύχτας όπου το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος είναι μικρότερο. Στο σύστημα αυτό τα PCM τοποθετούνται σε σφαιρίδια τα οποία καλύπτουν τις ηλεκτρικές αντιστάσεις.

Η λειτουργία της εγκατάστασης προορίζεται κυρίως για τις ώρες μη αιχμής , προσφέροντας θερμότητα στις ηλεκτρικές αντιστάσεις. Η θερμότητα αυτή πρώτα απορροφάται από το PCM και αφού φτάσει στο σημείο τήξης του και έχει ήδη αποθηκεύσει θερμότητα (αισθητή θερμότητα) συνεχίζει να απορροφά θερμική ενέργεια με τη μορφή λανθάνουσας θερμότητας. Πρακτικά ένα μικρό ποσό θερμότητας διαφεύγει από το PCM και κατευθύνεται προς τη βάση του πατώματος πριν ακόμα το PCM αποκτήσει την ονομαστική λανθάνουσα θερμότητα. Η ροή θερμότητας προς την αντίθετη κατεύθυνση συναντά τη μεγάλη θερμική αντίσταση της θερμομόνωσης και είναι ανεπιθύμητη. Η λειτουργία του συστήματος συνεχίζει φορτίζοντας το PCM μέχρι να αποθηκευτεί η μέγιστη λανθάνουσα θερμότητα στο σύστημα. Από τη στιγμή εκείνη και μετά ότι ενέργεια παράγεται από τις ηλεκτρικές αντιστάσεις κατευθύνεται στο χώρο , αφού έχει πρώτα αποθηκευτεί στη βάση του δαπέδου. Η παραπάνω διαδικασία εμφανίζει ως χρονική καθυστέρηση το χρονικό διάστημα από τη στιγμή που μπαίνει σε λειτουργία η εγκατάσταση θέρμανσης μέχρι την πλήρη

φόρτιση του PCM. Αυτή τη χρονική καθυστέρηση πρέπει να την χρησιμοποιήσουμε προκειμένου να επιτευχθεί μείωση του κόστους λειτουργίας της εγκατάστασης.

Όταν οι ηλεκτρικές αντιστάσεις παύουν να λειτουργούν , το σύστημα συνεχίζει να προσφέρει θερμότητα από την αποφόρτιση του PCM. Προσφέροντας την αποθηκευμένη λανθάνουσα θερμότητα το σύστημα λειτουργεί χωρίς την περαιτέρω κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε εφαρμογή ενδοδαπέδιας θέρμανσης με χρήση κεριού παραφίνης σε στρώμα πάχους 30mm μεταξύ της θερμαινόμενης επιφάνειας και των πλακιδίων του δαπέδου βρέθηκε πως η θερμότητα που προέρχεται από το έδαφος μπορεί να αυξηθεί από 30 – 75 W/m² όταν γίνεται χρήση του PCM.

5.4.6 ΓΕΝΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ PCM

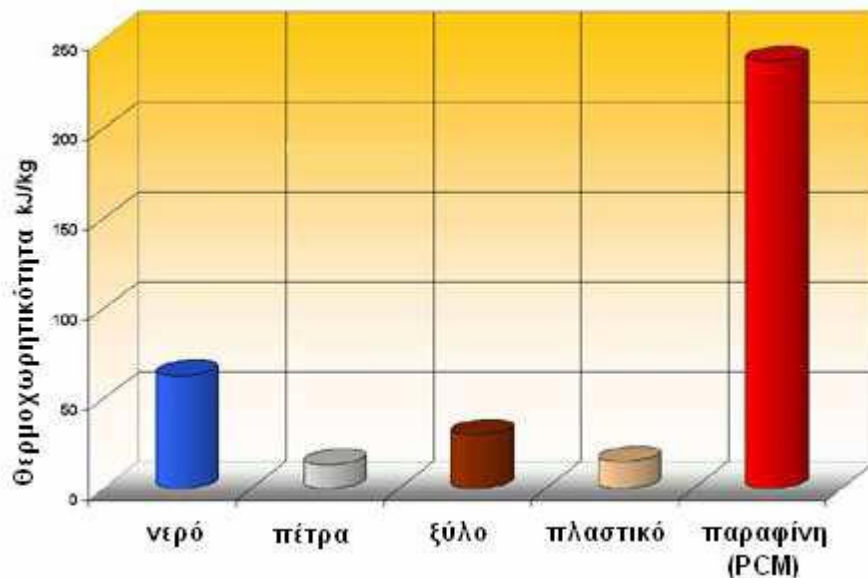
Θα ήταν λάθος να θεωρήσει κανείς ότι τα PCM χρησιμοποιούνται και εξελίσσονται μόνο γύρω από την οικοδομική με σκοπό την επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης σε συνδυασμό με την μείωση κατανάλωσης κλασικών πηγών ενέργειας. (πετρέλαιο , ηλεκτρικό ρεύμα , φυσικό αέριο) . Η χρήση των PCM λαμβάνει χώρα σε πληθώρες εφαρμογές και σε διάφορους τομείς . Ενδεικτικά αναφέρεται ότι τα υλικά αλλαγής φάσης έχουν πειραματικά μελετηθεί και χρησιμοποιηθεί σε :

- Συστήματα τηλεπικοινωνίας
- Συστήματα ψύξης ηλεκτρονικών υπολογιστών
- Διαστημικές εφαρμογές
- Ειδικό ρουχισμό
- Ηλεκτρονικά εξαρτήματα
- Μονάδες επείγουσας ψύξης
- Οχήματα
- Ιατρικά προϊόντα
- Ηλιακά μαγειρικά σκεύη
- Ηλιακά θερμοκήπια

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

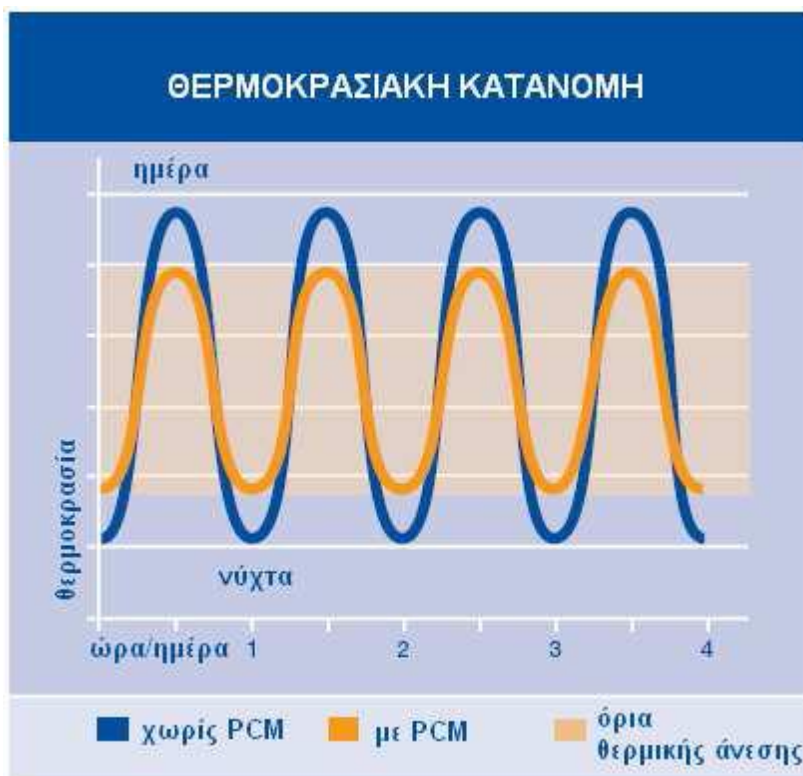
Η αναζήτηση νέων τεχνολογιών για την αντιμετώπιση των αυξανόμενων περιβαλλοντικών προβλημάτων αλλά και της επικείμενης ενεργειακής κρίσης είναι τα βασικά ζητήματα που απασχολούν τους επιστήμονες τις τελευταίες τρεις δεκαετίες. Η ανάγκη αποθήκευσης της περισσευούμενης ενέργειας καθώς και η αποφυγή σπατάλης οδήγησε στη μελέτη και αξιοποίηση της λανθάνουσας θερμότητας με τη βοήθεια των υλικών αλλαγής φάσης. Η εφαρμογή τους επεκτάθηκε σε πολλούς τεχνικούς τομείς με σημαντικότερο εξ αυτών τις κτιριακές εγκαταστάσεις. Στις μέρες μας η διαχείριση συστημάτων με PCM στην αγορά γίνεται από λίγες εταιρείες οι οποίες εδρεύουν στο εξωτερικό. Η ανάπτυξη γενικά της συγκεκριμένης τεχνολογίας βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο για αυτό και στην Ελλάδα δεν είναι διαδεδομένη πέρα των επιστημονικών κύκλων.

Σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα αποθήκευσης αισθητής θερμότητας η χρήση των PCM παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα. Σημαντικότερο εξ αυτών είναι η υψηλότερη πυκνότητα ενεργειακής αποθήκευσης που παρουσιάζουν με αποτέλεσμα για την αποθήκευση της ίδιας ποσότητας ενέργειας να χρειάζονται μικρότερο βάρος και μικρότερο όγκο υλικού.



Σχήμα 7.2 : Θερμοχωρητικότητες διάφορων υλικών.

Επιπρόσθετα , τα υλικά αλλαγής φάσης χαρακτηρίζονται από την ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας με καθόλου ή ελάχιστη μεταβολή της θερμοκρασίας τους κατά την ενεργοποίησή τους η οποία επέρχεται στην θερμοκρασία αλλαγής φάσης του εκάστοτε χρησιμοποιούμενου PCM. Με τον τρόπο αυτό η θερμοκρασία του συστήματος δεν παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται θερμική άνεση.



Σχήμα 7.2 : Θερμοκρασιακή κατανομή με και χωρίς χρήση PCM.

Εν κατακλείδι γίνεται κατανοητό πως η συμβολή των συστημάτων αποθήκευσης θερμότητας με PCM στον τομέα της ενέργειας ανοίγει νέους ορίζοντες , συμβάλλοντας καθοριστικά στην επίλυση των ενεργειακών προβλημάτων που προκύπτουν από την εξάντληση του πετρελαίου ή τη χρήση της ριψοκίνδυνης πυρηνικής ενέργειας ενώ εμπίπτει στην γενικότερη στροφή της κοινωνίας προς της εναλλακτικές – καθαρές μορφές ενέργειας.

Μια πιθανή εκτεταμένη χρήση των PCM θα βοηθούσε στην ορθότερη κατανομή του ενεργειακού φορτίου ανάμεσα στις ώρες αιχμής και τις ώρες χαμηλής ζήτησης , με αποτέλεσμα την καλύτερη διανομή της παραγόμενης ενέργειας. Η μειωμένη ενεργειακή κατανάλωση , κυρίως για λόγους ψύξης , θα μπορούσε επίσης να περιορίσει τη χρήση κλιματιστικών συμβάλλοντας στη μείωση της έντασης του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας.

Βεβαίως πέρα από τα πλεονεκτήματα , η χρήση των υλικών αλλαγής φάσης παρουσιάζει και αρκετά μειονεκτήματα. Σε αυτά οφείλεται κυρίως ο περιορισμός της μελέτης τους σε πειραματικό ή πιλοτικό επίπεδο, εμποδίζοντας προς το παρόν την ενσωμάτωσή τους σε πληθώρα πραγματικών εφαρμογών. Στις κτιριακές εφαρμογές τροχοπέδη αποτελεί η εκλογή του κατάλληλου PCM για την εκάστοτε εφαρμογή ώστε να ταιριάζουν στις απαιτήσεις των κτιρίων σε διαφορετικές κλιματικές περιοχές και κατά τη διάρκεια διαφορετικών εποχών του χρόνου. Επιπρόσθετο πρόβλημα στη χρήση των PCM είναι η χρήση κυρίως εμπειρικών μεθόδων υπολογισμού των ιδιοτήτων των PCM ενώ τα διαθέσιμα βιβλιογραφικά στοιχεία παρουσιάζουν αποκλίσεις. Τελευταίος και ίσως σημαντικότερος ανασταλτικός παράγοντας εφαρμογής των υλικών αλλαγής φάσης είναι το υψηλό κόστος , τόσο της κατασκευής όσο και της συσκευασίας τους με χρονοδιάγραμμα απόσβεσης του αρχικού κόστους εγκατάστασης το πέρασ αρκετών δεκαετιών.

Συμπερασματικά , τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με τη χρήση υλικών αλλαγής φάσης αποτελούν μια ανερχόμενη τεχνολογία με σημαντικές δυνατότητες μελλοντικής ανάπτυξης. Με τη συνέχιση των ερευνών τα υπάρχοντα προβλήματα μπορούν να ξεπεραστούν ώστε η εφαρμογή τους σε πραγματική κλίμακα να αποτελεί γεγονός στις επόμενες δεκαετίες.

ΔΕΥΤΕΡΟ ΜΕΡΟΣ – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ - ΠΕΡΙΛΗΨΗ

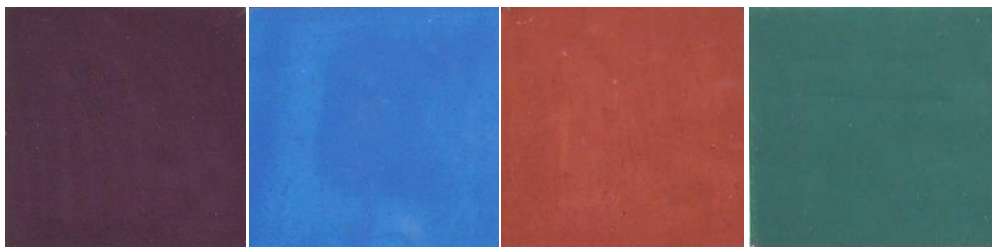
Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε με σκοπό τη μελέτη των δυνατοτήτων και της αποτελεσματικότητας των υλικών αλλαγής φάσης (PCM) για αποθήκευση θερμότητας σε λανθάνουσα μορφή κατά την εφαρμογή τους σε επιφάνειες υλικών που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στο αστικό περιβάλλον.

Κατά την πειραματική διαδικασία μελετήθηκαν είκοσι (20) επικαλύψεις οι οποίες δύναται να χρησιμοποιηθούν για τη βαφή του κελύφους κτιρίων όπως επίσης και σε άλλες επιφάνειες εξωτερικού περιβάλλοντος. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις επιφανειακής θερμοκρασίας των επικαλύψεων και εν συνεχεία έγινε στατιστική επεξεργασία και ανάλυση των αποτελεσμάτων ώστε να προκύψουν συγκεκριμένα συμπεράσματα.

Το σύστημα μέτρησης των επιφανειακών θερμοκρασιών λειτούργησε σε 24ωρη βάση κατά τη διάρκεια του Αυγούστου του 2010 και συγκεκριμένα την περίοδο 6/8/2010 – 28/8/2010. Οι επικαλύψεις PCM , cool όπως και οι κοινές που χρησιμοποιήθηκαν τοποθετήθηκαν πάνω σε πλάκες τσιμέντου , λευκού χρώματος και ίδιων διαστάσεων.

1.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΩΝ

Για την πειραματική διάταξη μετρήσεων παρασκευάστηκαν συνολικά 20 διαφορετικές επικαλύψεις που τοποθετήθηκαν σε πλάκες λευκού τσιμέντου διαστάσεων 33x33 cm. Εξ αυτών 12 επικαλύψεις περιείχαν pcm υλικό και ψυχρά πιγμέντα σε αναλογία 2 : 1 , 4 επικαλύψεις περιείχαν εξ ολοκλήρου ψυχρά πιγμέντα και οι υπόλοιπες 4 περιείχαν κοινά χρώματα καθημερινής χρήσης. Χρησιμοποιήθηκαν 4 διαφορετικές αποχρώσεις (μαύρο , μπλέ , καφέ , πράσινο) (Εικόνα 1.1) σε κάθε μια από τις τρεις διαφορετικές συστάσεις των μιγμάτων των επιστρώσεων που χρησιμοποιήθηκαν. Τέλος για τις επικαλύψεις που περιείχαν PCM χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλα υλικά αλλαγής φάσης ώστε να παρουσιάζονται τα σημεία τήξης στους 32 , 43 και 52 °C.



Εικόνα 1.1 : Πραγματικές αποχρώσεις επικαλύψεων.

Στον επόμενο πίνακα φαίνονται συνοπτικά οι επικαλύψεις που χρησιμοποιήθηκαν :

		ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ				
		ΚΟΙΝΟ	COOL	PCM 32	PCM 43	PCM 52
ΧΡΩΜΑ	ΜΑΥΡΟ					
	ΚΑΦΕ					
	ΜΠΛΕ					
	ΠΡΑΣΙΝΟ					

Πίνακας 1.1 : Χρησιμοποιούμενες επικαλύψεις.

Οι χρησιμοποιούμενες επικαλύψεις περιείχαν νερό (διαλύτης) σε αναλογία 27,7% , ψυχρό πιγμέντο (χρωστική) σε αναλογία 13,7% , PCM (υλικό αλλαγής φάσης) σε αναλογία 27,4%, ακρυλικό (συνδετικό μέσο) σε αναλογία 27,4% καθώς και αντιαφριστικό , διαβρέκτες και διασπορείς , πηκτικό , σταθεροποιητές και αντισκωριακό. Για κάθε επικάλυψη χρησιμοποιήθηκε η ίδια ποσότητα από τα επιπρόσθετα συστατικά που αναφέρονται και αλλάζει μόνο το είδος του pcm που χρησιμοποιείται ώστε να επιτυγχάνεται διαφορετική θερμοκρασία λειτουργίας.

Τα προαναφερθέντα συστατικά που χρησιμοποιήθηκαν προσδίδουν στις επικαλύψεις τις απαιτούμενες ιδιότητες ώστε να είναι εφαρμόσιμα σε οικοδομικά υλικά όπως επίσης λειτουργικά και ανθεκτικά σε συνθήκες εξωτερικών χώρων. Ακολούθως παρατίθενται αναλυτικά οι ιδιότητες που πρέπει να ικανοποιούνται :

1. Να έχουν καλή ροή ώστε να επιτυγχάνεται ομοιόμορφη κάλυψη των επικαλύψεων.
2. Να παραμένουν αναλλοίωτα στην επαναποθήκευση θερμότητας και να είναι ανθεκτικά σε απότομες θερμοκρασιακές αλλαγές.
3. Να επιτυγχάνουν καλή διαβροχή των επιφανειών αλλά και χαμηλό αφρισμό . (κατάλληλη επιφανειακή τάση)
4. Να διασπούν τα συσσωματώματα και να σταθεροποιούν τόσο τα υδρόφυλλα ανόργανα όσο και τα υδρόφοβα οργανικά πιγμέντα.
5. Να στεγνώνουν γρήγορα αλλά να επιτυγχάνουν σωστή επικάλυψη σε ολόκληρη την προς βαφή επιφάνεια.

Αναλυτικά ο ρόλος του κάθε συστατικού που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των επικαλύψεων αναφέρονται παρακάτω :

A. Ψυχρά πιγμέντα (cool pigment)

Τα πιγμέντα είναι η χρωστική ύλη (φυσική ή συνθετική / οργανική ή ανόργανη) σε μορφή λεπτών σωματιδίων , η οποία παραμένει πρακτικά αδιάλυτη στον φορέα στον οποίο διασπείρεται και χρησιμοποιείται για τις οπτικές , προστατευτικές και διακοσμητικές του ιδιότητες. Τα πιγμέντα χρησιμοποιούνται σε ανάμιξη με άλλες ουσίες για την επικάλυψη , προσφέροντας χρωματισμό , αδιαφάνεια , σκληρότητα και άλλες ιδιότητες.

B. Συνδετικό μέσο (Binder) , Γαλάκτωμα πολυμερούς.

Το γαλάκτωμα πολυμερούς αποτελεί σημαντικό συστατικό μιας επικάλυψης διότι δημιουργεί στον συνεχή υμένα που περιβάλλει τους κόκκους των πιγμέντων και που προσφύεται στην υπο επικάλυψη επιφάνεια. Θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα διαφανές (μεγάλη διαπερατότητα και μικρή απορρόφηση) συνδετικό μέσο ώστε να μην αντισταθμίζει τις οπτικές ιδιότητες των πιγμέντων. Αποτελεί μια λεπτόκοκκο διασπορά ενός πολυμερούς σε υγρή φάση , συνήθως νερό. Συμβάλλει στον συνδυασμό των αντίθετων ιδιοτήτων που πρέπει να έχει μια επικάλυψη λόγω της ιδιάζουσας συμπεριφοράς του , διότι το ιξώδες του δεν εξαρτάται από το μοριακό βάρος του πολυμερούς. Το γαλάκτωμα (binder) της επικάλυψης προστίθεται συνήθως για να μην καταπονείται , στην τελευταία φάση της παραγωγής του χρώματος , υπο χαμηλόστροφη ανάδευση.

Γ. Διαβρέκτες και διασπορείς των πιγμέντων .

Οι διασπορείς βοηθούν στη διασπορά των πιγμέντων (στερεά φάση) , δηλαδή την ενσωμάτωση τους μέσα σε μια υγρή φάση , με την βοήθεια ειδικών μηχανημάτων. Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή έγινε χρήση οργανικού διασπορέα αλλά και διασπορέων ανόργανης βάσης όπως το εξαμεταφωσφορικό Na.

Δ. Αντιαφριστικό (defoamer)

Κατά την παραγωγή , κατά το γέμισμα ή κατά την εφαρμογή της επικάλυψης είναι δυνατόν να δημιουργηθεί αφρός και να προκαλέσει προβλήματα στο χρώμα. Τα αντιαφριστικά επενεργούν και αυτά επί της επιφανειακής τάσης αλλά διαμετρικά αντίθετα ως προς τους διαβρέκτες και τους διασπορείς. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε η ελάχιστη δυνατή ποσότητα ώστε να μην διακυβευτεί η σταθερότητα του χρώματος.

Ε. Πηκτικό – Βελτιωτικό ροής

Χρησιμοποιήθηκε πηκτικό – βελτιωτικό ροής (παράγωγο κυτταρίνης) επειδή λειτουργώντας ως συνδετικό υλικό , βοηθά στο να κρατηθούν τα στερεά σε αιώρηση βελτιώνοντας αισθητά τις ιδιότητες του χρώματος. Επίσης διευκολύνουν ιδιαίτερα τη βαφή με πινέλο.

Τα παράγωγα κυτταρίνης παρουσιάζουν δυο μειονεκτήματα :

1. Ελαττώνουν την αντοχή του υμένα του στεγνού χρώματος στο νερό γιατί είναι επαναδιογκώσιμα.
2. Είναι ευπρόσβλητα από μύκητες.

ΣΤ. Σταθεροποιητής κατά των κινδύνων απότομης εναλλαγής θερμοκρασίας.

Για να προστατευθεί το γαλάκτωμα μέσα στην επικάλυψη από την απότομη εναλλαγή θερμοκρασίας ενσωματώθηκαν στο χρώμα γλυκόλες και συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε μονοπροπυλενογλυκόλη (Μ.Ρ.Γ.).

Η. Αντισκωριακό

Τα χρώματα υδατικής διασποράς και τα γαλακτώματα έχουν την τάση να οξειδώνουν τα μεταλλικά δοχεία , με αποτέλεσμα τη δημιουργία στο χρώμα κηλίδων σκουριάς , την αλλαγή της απόχρωσης του , πολλές σε τέτοιο βαθμό ώστε η επικάλυψη πρακτικά να αχρηστεύεται . Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε αντισκωριακό (βενζοϊκό νάτριο).

Όλες οι επικαλύψεις που κατασκευάστηκαν είναι υδατικής διασποράς . Τα βασικά συστατικά ενός χρώματος υδατικής διασποράς είναι ο διαλύτης , η χρωστική ουσία (πιγμέντα) και το συνδετικό υλικό (γαλάκτωμα πολυμερούς).

Στην συγκεκριμένη περίπτωση ως διαλύτης χρησιμοποιήθηκε το νερό και ακρυλικό γαλάκτωμα ως συνδετικό υλικό . Η χρωστική είναι αυτή που προσδίδει στην επικάλυψη τα χαρακτηριστικά της φασματικής ανακλαστικότητας καθορίζοντας έτσι το χρώμα καθώς και την επιθυμητή , για τις ψυχρές επικαλύψεις , ιδιότητα της υψηλής ανακλαστικότητας στο υπέρυθρο.

1.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Για την επίτευξη της πειραματικής διάταξης χρησιμοποιήθηκε μια εξέδρα επιφάνειας 20m² σε εξωτερικό ασκίαστο χώρο. Η εξέδρα κατασκευάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε τα υλικά που θα τοποθετηθούν πάνω σε αυτή να βρίσκονται σε οριζόντιο επίπεδο και κατά αυτό τον τρόπο η ηλιακή ακτινοβολία να προσπίπτει υπο την ίδια γωνία σε κάθε χρονική στιγμή. Πάνω στην εξέδρα τοποθετήθηκαν θερμομονωτικές πλάκες εξηλασμένης πολυστερίνης (φελιζόλ) ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα διάδοσης θερμότητας μέσω αγωγής και κατά συνέπεια τα ποσά θερμότητας που χάνονται από την πλευρά της εξέδρας θεωρούνται αμελητέα.

Οι επικαλύψεις που μελετήθηκαν εφαρμόστηκαν σε λευκές πλάκες από τσιμέντο μεγέθους 33 x 33 cm. Η χρωματική επίστρωση έγινε με πινέλο σε δυο στάδια ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή κάλυψη της επιφάνειας των πλακών. Τα εξεταζόμενα υλικά τοποθετήθηκαν επάνω στην εξέδρα χωρίς το ένα να βρίσκεται σε επαφή με το άλλο ώστε να μην υπάρχει μεταξύ τους μεταφορά θερμότητας. Για τη μέτρηση των επιφανειακών θερμοκρασιών χρησιμοποιήθηκε κατάλληλο καταγραφικό σύστημα συνδεδεμένο με υπολογιστή όπου και αποθηκεύονταν οι μετρήσεις . Μετρήσεις επιφανειακής θερμοκρασίας λαμβάνονταν κάθε 10 λεπτά . Οι αισθητήρες του καταγραφικού συστήματος τοποθετήθηκαν στο κέντρο κάθε δείγματος και για την τοποθέτησή τους χρησιμοποιήθηκε θερμοαγώγιμη πάστα ώστε να εξασφαλίζεται η θερμική τους επαφή.

Η πειραματική διάταξη φαίνεται στην παρακάτω εικόνα :



Εικόνα 1.2 : Πειραματική διάταξη.

Ο χώρος διεξαγωγής των πειραμάτων ήταν στην Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου. Για τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών.

1.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Για τη συλλογή και καταγραφή των δεδομένων της επιφανειακής θερμοκρασίας σε εικοσιτετράωρη βάση δημιουργήθηκε καταγραφικό σύστημα θερμοκρασιών το οποίο αποτελείται από κάρτες συλλογής δεδομένων (8 καναλιών αναλογικής εισόδου) τύπου ADAM4018 (της εταιρίας ADVANTECH).



Εικόνα 1.3 : Η κάρτα συλλογής δεδομένων (ADAM4018) που χρησιμοποιήθηκε στο καταγραφικό σύστημα επιφανειακών θερμοκρασιών

Το εύρος εισόδου είναι $\pm 20\text{mA}$ ενώ η ακρίβεια 0.2%. Οι κάρτες αυτές συνδέθηκαν με μετασχηματιστή ADAM 4520 (RS-232 σε RS-422/485) και με υπολογιστή όπου αναπτύχθηκε ειδική εφαρμογή (Advantech Studio) για την καταγραφή και απεικόνιση των θερμοκρασιών που λαμβάνονται από τους αισθητήρες. Οι αισθητήρες που επιλέχθηκαν ήταν θερμοζεύγη τύπου K (SA1 Fast Response Thermocouples, της Omega Engineering) και συνδέθηκαν με τις κάρτες συλλογής αναλογικής εισόδου. Τα θερμοζεύγη αυτά επιλέχθηκαν ειδικά για τη μέτρηση επιφανειακών θερμοκρασιών λόγω του επίπεδου σχήματος του αισθητήρα και της ειδικής αυτοκόλλητης ταινίας που διαθέτουν στην περιοχή του αισθητήρα η οποία εξασφαλίζει καλή θερμική επαφή μεταξύ του δείγματος και του αισθητήρα από την κάτω πλευρά, ενώ από την πάνω διαθέτει μονωτικό υλικό από Teflon.

Το εύρος θερμοκρασιών των αισθητήρων κυμαίνεται από -60°C έως 175°C ενώ η ακρίβεια τους είναι 0.1°C . Οι αισθητήρες ήταν βαθμονομημένοι από την εταιρεία κατασκευής τους ενώ έγινε συμπληρωματική βαθμονόμηση/έλεγχος βαθμονόμησης με τη βοήθεια ειδικού φούρνου βαθμονόμησης (WTC BINDER 78532) (Εικόνα 1.4) που πραγματοποιήθηκε μετά τη σύνδεση τους στο καταγραφικό σύστημα.



Εικόνα 1.4 : Ο ειδικός φούρνος βαθμονόμησης (WTC BINDER 78532).

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

2.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΣΩΝ , ΜΕΣΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΣΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

Με βάση τις πειραματικές μετρήσεις επιφανειακής θερμοκρασίας των πλακών υπολογίστηκε η μέση , η μέση μέγιστη και η μέση ελάχιστη επιφανειακή θερμοκρασία για κάθε δείγμα κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου. Για την εύρεση της μέσης θερμοκρασίας για κάθε πλάκα υπολογίστηκε η μέση θερμοκρασία της για κάθε ημέρα και από αυτές υπολογίστηκε η μέση τιμή τους. Για την μέση μέγιστη και τη μέση ελάχιστη θερμοκρασία κάθε πλάκας υπολογίστηκε αντίστοιχα η μέγιστη / ελάχιστη θερμοκρασία της για κάθε ημέρα και από αυτές υπολογίστηκε η μέση τιμή .

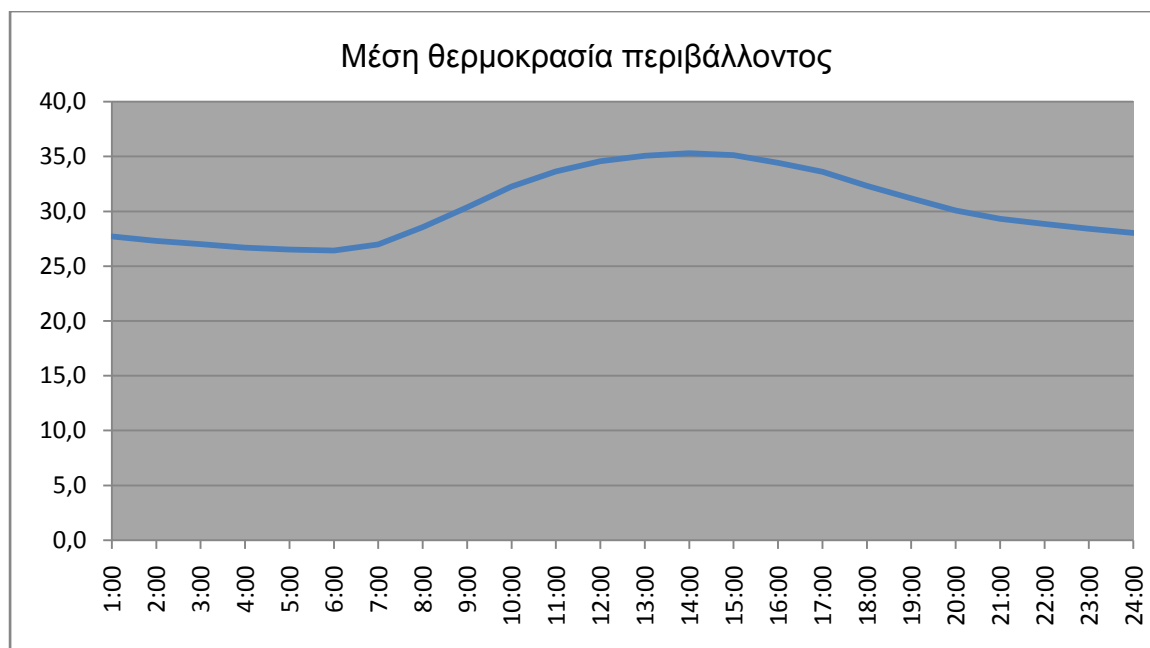
Επίσης κατασκευάστηκε η καμπύλη εξέλιξης της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας για κάθε επίστρωση σε κάθε απόχρωση ξεχωριστά ώστε να δοθεί μια εποπτική εικόνα των μετρήσεων και να πραγματοποιηθεί μια πρώτη αξιολόγηση των βασικών χαρακτηριστικών κάθε δείγματος. Στην καμπύλη εξέλιξης της μέσης θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές των θερμοκρασιών για κάθε προκαθορισμένο δεκάλεπτο μέτρησης.

Τέλος κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ κοινής και pcm καθώς και μεταξύ cool και pcm επικαλύψεων σε συνάρτηση με το χρόνο ώστε να διαπιστωθεί η χρονική διάρκεια που επιτυγχάνεται η μέγιστη μείωση επιφανειακής θερμοκρασίας σε κάθε περίπτωση. Ως θερμοκρασιακές διαφορές θεωρήθηκαν οι διαφορές μεταξύ των μέσων τιμών που υπολογίστηκαν για κάθε προκαθορισμένο δεκάλεπτο μέτρησης για κάθε πλάκα.

Κάθε χρώμα (μαύρο , καφέ , μπλέ πράσινο) περιλαμβάνει 5 διαφορετικά είδη επικαλύψεων. Αναλυτικά για κάθε απόχρωση χρησιμοποιήθηκαν τρεις επιστρώσεις με pcm διαφορετικού σημείου τήξεως (32 , 43 και 52 °C) , μια επίστρωση με cool υλικό και μια επίστρωση με κοινό χρώμα του εμπορίου.

Για λόγους ευκολίας κάθε χρώμα μελετήθηκε σε ξεχωριστό κεφάλαιο ώστε να συγκριθούν απροβλημάτιστα οι επιστρώσεις. Στο εξής όποτε θα γίνεται αναφορά σε επικάλυψη pcm – cool θα αναφέρεται απλά ως pcm και θα συνοδεύεται με την θερμοκρασία τήξης του υλικού του , π.χ. pcm 43 σημαίνει επικάλυψη pcm – cool σε αναλογία 2 : 1 με θερμοκρασία τήξης στους 43°C.

Η μέση , μέση μέγιστη και μέση ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος σύμφωνα με μετρήσεις του εθνικού αστεροσκοπείου για το μήνα Αύγουστο του 2010 ήταν 30,4 36,7 και 26,2 °C αντίστοιχα ενώ οι μέγιστες θερμοκρασίες περιβάλλοντος παρουσιάστηκαν μεταξύ των ωρών 12:00 – 3:00 μ.μ. Αναλυτικά οι μετρήσεις και η εξέλιξη της μέσης θερμοκρασίας περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου φαίνονται παρακάτω.



Μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος για το μήνα Αύγουστο .

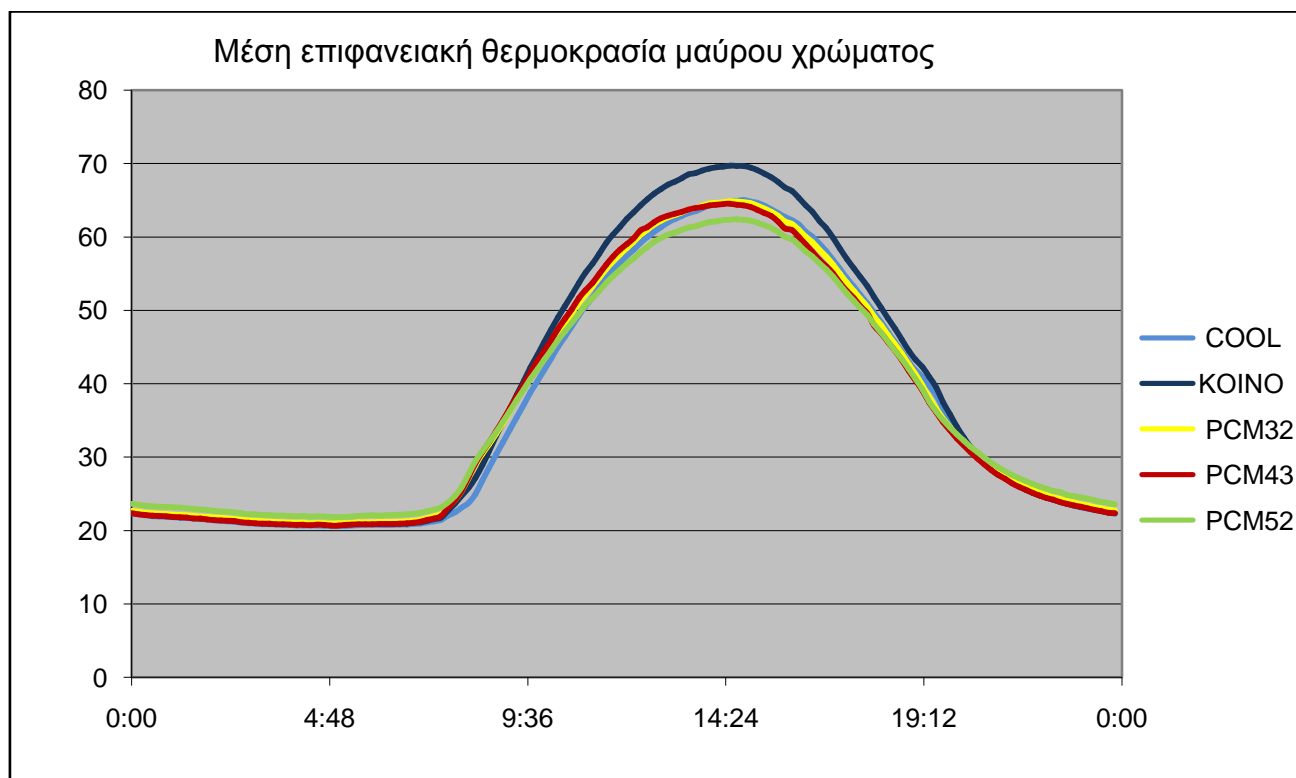
Ωρα	Μέση θερμοκρασία	Μέση μέγιστη θερμοκρασία	Μέση ελάχιστη θερμοκρασία
1:00	27,7	31,0	25,1
2:00	27,3	30,6	24,7
3:00	27,0	30,3	24,3
4:00	26,7	29,7	23,9
5:00	26,5	29,6	23,5
6:00	26,4	29,4	23,1
7:00	27,0	30,2	23,5
8:00	28,5	31,8	25,1
9:00	30,4	33,6	26,3
10:00	32,3	35,4	27,8
11:00	33,6	38,0	29,2
12:00	34,6	38,5	30,3
13:00	35,1	39,4	30,3
14:00	35,3	39,4	30,8
15:00	35,1	39,2	31,3
16:00	34,4	38,7	29,8
17:00	33,6	38,1	28,8
18:00	32,3	36,3	28,0
19:00	31,2	34,9	27,3
20:00	30,1	33,8	26,7
21:00	29,3	32,6	26,2
22:00	28,8	31,6	25,5
23:00	28,4	31,0	25,2
24:00	28,0	30,9	25,4

Μέση, μέση μέγιστη και μέση ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος για το μήνα Αύγουστο .

2.1.1 ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ ΜΑΥΡΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

ΜΑΥΡΟ			
	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΜΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΜΕΣΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
ΚΟΙΝΟ	38,7	70,3	20,1
COOL	37,8	65,4	19,9
PCM 52	37,1	62,9	20,0
PCM 43	37,1	65,0	19,9
PCM 32	37,3	65,3	20,2

Πίνακας 1.2 : Μέσες θερμοκρασίες.



Διάγραμμα 1.1 : Εξέλιξη μέσης θερμοκρασίας.

Από τον πίνακα 1.2 γίνεται φανερό ότι για το μαύρο χρώμα η μέση επιφανειακή θερμοκρασία που παρουσιάζει η κοινή επικάλυψη είναι υψηλότερη από τη μέση επιφανειακή θερμοκρασία που παρουσιάζουν τόσο οι cool όσο και οι PCM επικαλύψεις. Οι επικαλύψεις PCM παρουσιάζουν μικρή αλλά επιπρόσθετη μείωση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας συγκρινόμενες με την cool επικάλυψη.

Επίσης η μέση μέγιστη επιφανειακή θερμοκρασία που παρουσιάζει η κοινή επικάλυψη είναι υψηλότερη από τη μέση μέγιστη επιφανειακή θερμοκρασία που παρουσιάζουν τόσο οι cool όσο και οι PCM επικαλύψεις. Οι επικαλύψεις PCM παρουσιάζουν χαμηλότερες μέσες μέγιστες θερμοκρασίες από την cool επικάλυψη με την μέγιστη διαφορά να εμφανίζεται ανάμεσα στην cool και την PCM 52 επικάλυψη όπου ξεπερνά τους 2°C.

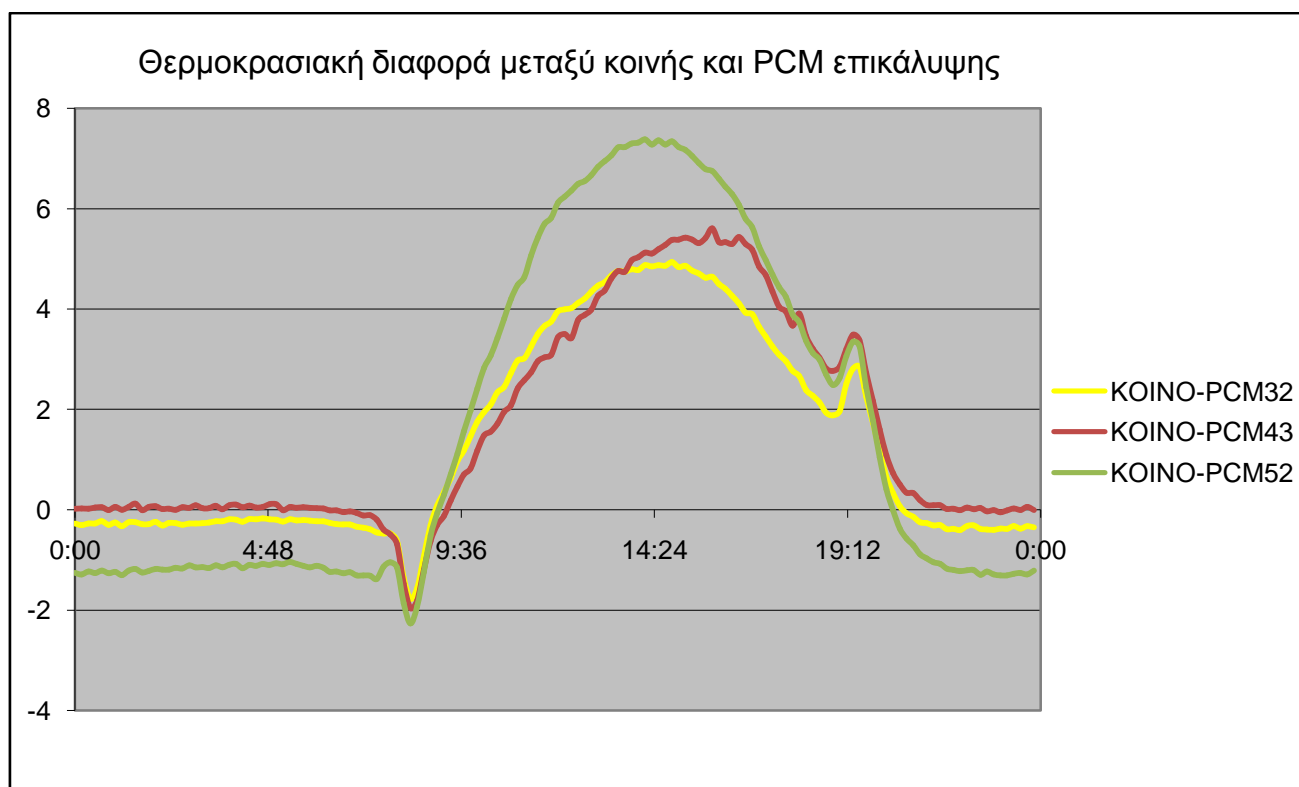
Τέλος σε ότι αφορά τις μέσες ελάχιστες επιφανειακές θερμοκρασίες οι διαφορές που εμφανίζονται για όλες τις επικαλύψεις είναι πολύ μικρές και πρακτικά αμελητέες.

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό πως οι PCM επικαλύψεις για την απόχρωση του μαύρου παρουσιάζουν χαμηλότερες μέσες επιφανειακές και μέσες μέγιστες επιφανειακές θερμοκρασίες σε σύγκριση με την κοινή επικάλυψη. Το γεγονός αυτό ήταν αναμενόμενο εφόσον οι PCM επικαλύψεις φτάνοντας το εκάστοτε σημείο τήξης τους απορροφούν λανθάνουσα θερμότητα χωρίς να αυξάνουν τη θερμοκρασία τους. Η διαφορά θερμοκρασίας που εμφανίζεται σε σχέση με την κοινή επικάλυψη μαύρου χρώματος εξαρτάται από την θερμοκρασία τήξεως του PCM. Αυτή η διαφορά θερμοκρασίας δεν γίνεται αισθητή κατά τον υπολογισμό των μέσων ελάχιστων επιφανειακών θερμοκρασιών γεγονός που οφείλεται στο ότι οι ελάχιστες θερμοκρασίες των πλακών παρουσιάζονται αργά το βράδυ όπου δεν υπάρχει ηλιοφάνεια και τα PCM έχουν ήδη αποφορτιστεί οπότε και συμπεριφέρονται ως κοινές επικαλύψεις.

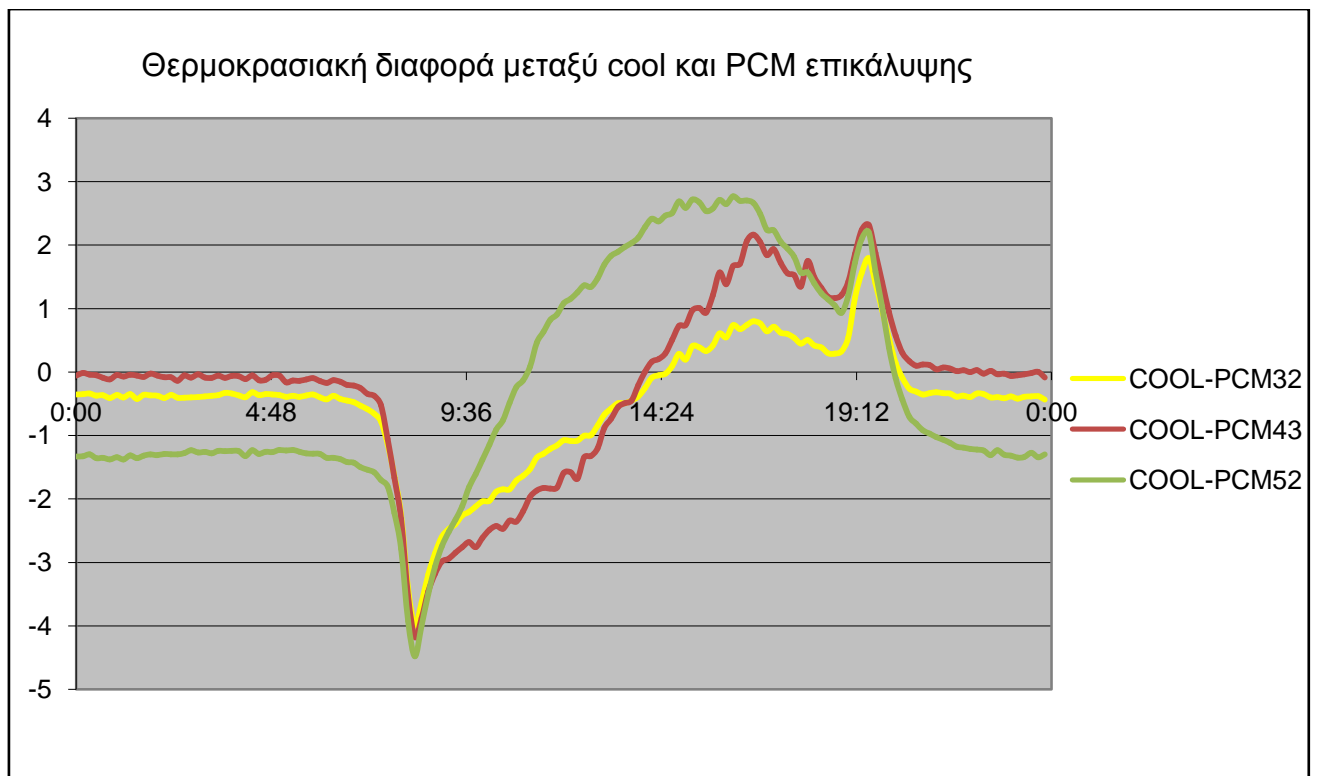
Συγκρίνοντας τις PCM με τις cool επικαλύψεις εύκολα διαπιστώνει κανείς πως οι PCM επικαλύψεις προσφέρουν επιπρόσθετη μείωση τόσο στις μέσες επιφανειακές όσο και στις μέγιστες επιφανειακές θερμοκρασίες. Ειδικότερα σε ότι αφορά τις μέσες μέγιστες επιφανειακές θερμοκρασίες για την επικάλυψη PCM 52 η μείωση φτάνει τους 2,5°C σε σχέση με την αντίστοιχη cool. Στις μέσες επιφανειακές θερμοκρασίες η θερμοκρασιακή διαφορά κυμαίνεται μεταξύ 0,5 – 0,7°C με τις μέσες επιφανειακές θερμοκρασίες των PCM να είναι οριακά χαμηλότερες γεγονός που οφείλεται στο ότι κατά τον υπολογισμό των μέσων θερμοκρασιών συνυπολογίζεται και η αποφόρτιση των PCM όπου και η θερμοκρασία τους για κάποιο χρονικό διάστημα είναι μεγαλύτερη από αυτή της cool επικάλυψης. Στον υπολογισμό για τις μέσες μέγιστες επιφανειακές θερμοκρασίες η αποφόρτιση των PCM « αποκρύπτεται » και έτσι οι PCM επικαλύψεις επιτυγχάνουν εντονότερα μικρότερες τιμές.

Από το διάγραμμα 1.1 που παρουσιάζει την εξέλιξη της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας για όλα τα δείγματα μαύρου χρώματος γίνεται φανερό ότι ουσιαστική διαφοροποίηση εμφανίζεται στην κοινή επίστρωση μετά τις 9:30 το πρωί και διατηρείται μέχρι τις 8:30 αργά το απόγευμα κατά τη δύση του ηλίου. Δυσδιάκριτη είναι η διαφοροποίηση ανάμεσα στη θερμοκρασιακή εξέλιξη της cool με τις PCM επικαλύψεις τις πρώτες πρωινές ώρες όπου και οι επιστρώσεις με PCM δεν έχουν φτάσει στο σημείο τήξης τους και κατά συνέπεια παρουσιάζουν υψηλότερη επιφανειακή θερμοκρασία από την cool επίστρωση αλλά μικρότερη από την κοινή, μιας και η παρουσία cool υλικού στις PCM επιστρώσεις προσδίδει αυξημένη ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία. Αντίστροφα κατά την αποφόρτιση η cool επίστρωση παρουσιάζει μικρότερη επιφανειακή θερμοκρασία από τις PCM επιστρώσεις γεγονός που θα ήταν ακόμα εντονότερο αν αυτές δεν περιείχαν cool υλικό. Ουσιαστική σύγκριση ανάμεσα στις PCM επικαλύψεις δεν είναι εφικτή μέσω του διαγράμματος αν και το PCM 52 δείχνει να διατηρεί χαμηλότερη επιφανειακή θερμοκρασία κατά τις μεσημβρινές ώρες.

Τέλος κατασκευάστηκαν και παρουσιάζονται τα διαγράμματα θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ κοινής και PCM επικαλύψεων καθώς και μεταξύ cool και PCM επικαλύψεων ώστε να εξεταστεί η χρονική εξέλιξη της θερμοκρασιακής διαφοράς κατά τη διάρκεια της ημέρας.



Διάγραμμα 1.2 : Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ κοινής και PCM επικάλυψης.



Διάγραμμα 1.3 : Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ cool και PCM επικάλυψης.

Από τα διάγραμμα 1.2 παρατηρούμε ότι θερμοκρασιακή διαφορά αρχίζει να εμφανίζεται λίγο μετά την ανατολή του ηλίου και αποσβένει αργά το απόγευμα. Η μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της κοινής και των PCM επικαλύψεων εμφανίζεται τις μεσημβρινές ώρες όπου και έχει επιτευχθεί πλήρως η φόρτιση των PCM.

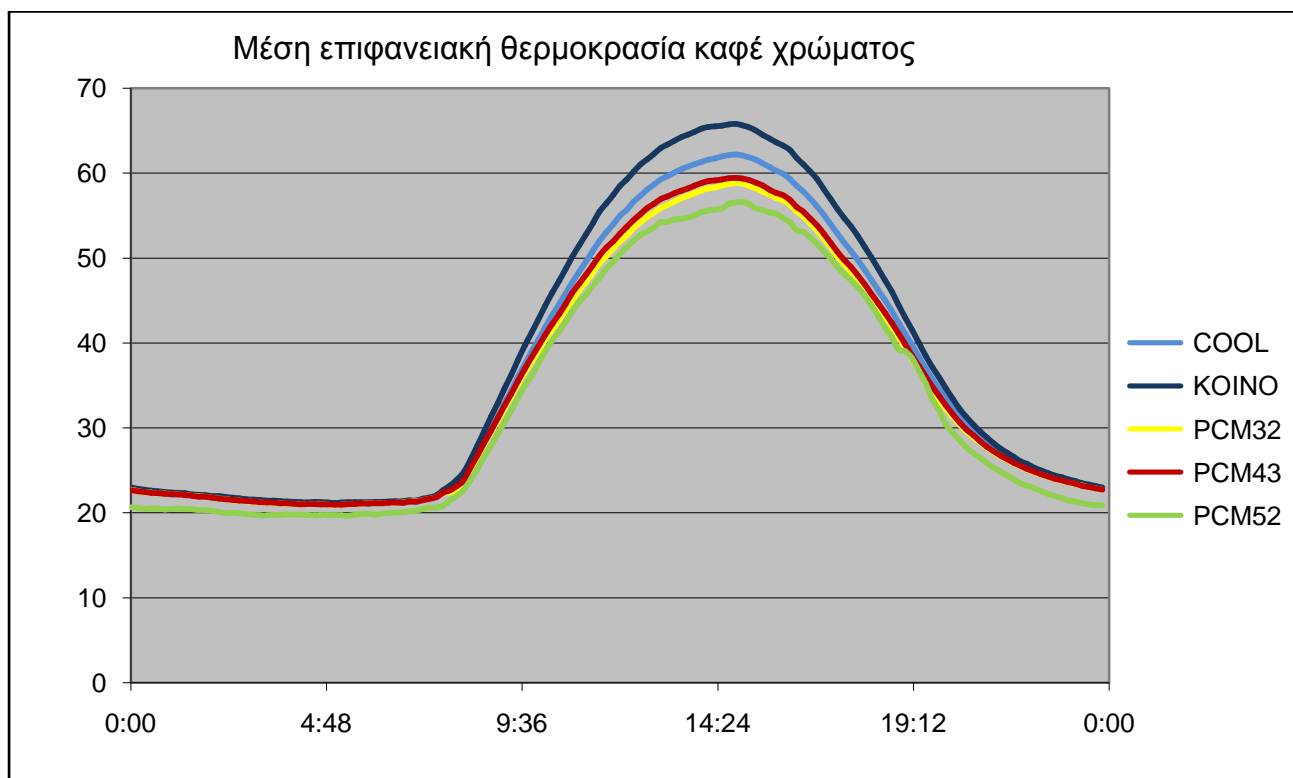
Στο διάγραμμα 1.3 όπου παρουσιάζεται η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της cool και των PCM επικαλύψεων το μέγιστο της καμπύλης είναι μετατοπισμένο προς τις πρώτες απογευματινές ώρες ενώ τις πρωινές ώρες η θερμοκρασιακή διαφορά εμφανίζει αρνητικές τιμές.

Συμπερασματικά από όλα τα παραπάνω διαπιστώνουμε πως για την απόχρωση μαύρου χρώματος οι επικαλύψεις με PCM συνεισφέρουν στη μείωση τόσο της μέσης όσο και της μέσης μέγιστης επιφανειακής θερμοκρασίας συγκρινόμενες τόσο με την κοινή όσο και με την cool επικάλυψη. Μεταξύ των PCM pcm επικαλύψεων η επικάλυψη PCM 52 παρουσίασε τη μικρότερη μέση και μέση μέγιστη επιφανειακή θερμοκρασία και έπονται η PCM 43 και η PCM pcm 32. Η μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά της κοινής με τις PCM επικαλύψεις εμφανίζεται τις μεσημβρινές ώρες (περίπου στις 2:30 μ.μ.) ενώ η μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά της cool με τις PCM επικαλύψεις παρουσιάζεται τις πρώτες απογευματινές ώρες.

2.1.2 ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ ΚΑΦΕ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

ΚΑΦΕ			
	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΜΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΜΕΣΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
ΚΟΙΝΟ	37,7	66,1	20,4
COOL	36,2	62,4	20,1
PCM 52	35,0	57,0	20,2
PCM 43	35,3	59,7	20,1
PCM 32	34,9	59,1	20,1

Πίνακας 1.3 : Μέσες θερμοκρασίες.



Διάγραμμα 1.4 : Εξέλιξη μέσης θερμοκρασίας.

Από τον πίνακα 1.3 φαίνεται ότι για το καφέ χρώμα η μέση επιφανειακή θερμοκρασία που παρουσιάζει η κοινή επικάλυψη είναι υψηλότερη από τη μέση επιφανειακή θερμοκρασία που παρουσιάζουν τόσο οι cool όσο και οι PCM επικαλύψεις. Οι επικαλύψεις PCM διατηρούν χαμηλότερες μέσες επιφανειακές θερμοκρασίες από την cool επικάλυψη.

Επίσης η μέση μέγιστη θερμοκρασία που παρουσιάζει η κοινή επικάλυψη είναι υψηλότερη από τη μέση μέγιστη επιφανειακή θερμοκρασία που παρουσιάζουν τόσο οι cool όσο και οι PCM επικαλύψεις. Οι επικαλύψεις PCM παρουσιάζουν χαμηλότερες μέσες μέγιστες θερμοκρασίες από την cool επικάλυψη με την PCM 52 επικάλυψη να παρουσιάζει τη μέγιστη επιφανειακή θερμοκρασιακή διαφορά που ξεπερνά τους 5°C.

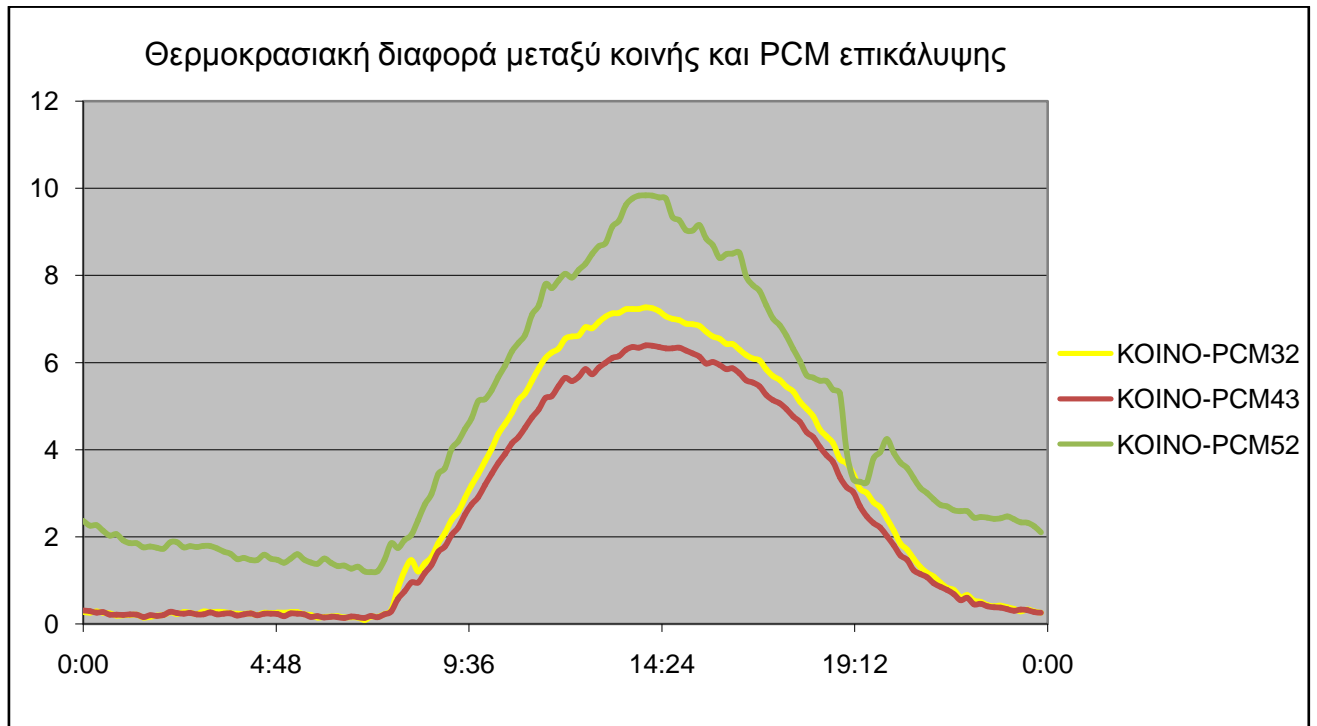
Τέλος σε ότι αφορά τις μέσες ελάχιστες επιφανειακές θερμοκρασίες οι διαφορές που εμφανίζονται για όλες τις επικαλύψεις είναι πολύ μικρές και πρακτικά αμελητέες .

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό πως οι PCM επικαλύψεις για την απόχρωση του καφέ παρουσιάζουν χαμηλότερες μέσες επιφανειακές και μέσες επιφανειακές μέγιστες θερμοκρασίες σε σύγκριση με την κοινή επικάλυψη. Αυτή η διαφορά θερμοκρασίας δεν γίνεται αισθητή κατά τον υπολογισμό των μέσων ελάχιστων επιφανειακών θερμοκρασιών γεγονός που οφείλεται στο ότι οι ελάχιστες θερμοκρασίες των πλακών παρουσιάζονται αργά το βράδυ όπου δεν υπάρχει ηλιοφάνεια και τα PCM έχουν ήδη αποφορτιστεί οπότε και συμπεριφέρονται ως κοινές επικαλύψεις.

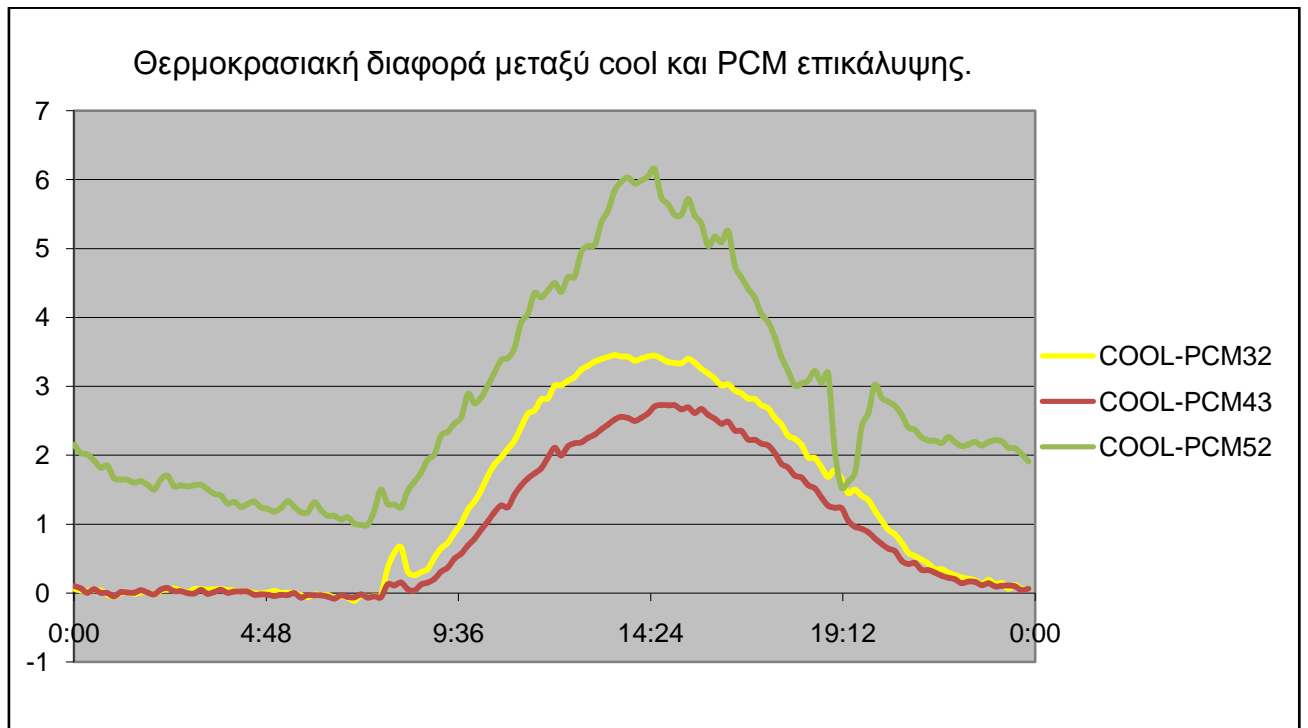
Συγκρίνοντας τις PCM με τις cool επικαλύψεις φαίνεται πως οι PCM επικαλύψεις προσφέρουν επιπρόσθετη μείωση τόσο στις μέσες μέγιστες όσο και στις μέσες επιφανειακές θερμοκρασίες. Ειδικότερα σε ότι αφορά τις μέσες μέγιστες επιφανειακές θερμοκρασίες μειωμένη θερμοκρασία παρατηρείται για την επικάλυψη PCM 52 όπου η μείωση φτάνει τους 5,4°C σε σχέση με την αντίστοιχη cool.

Παρατηρώντας το διάγραμμα 1.4 όπου φαίνεται η εξέλιξη της μέσης θερμοκρασίας όλων των επιστρώσεων γίνεται και πάλι αντιληπτό πως η διαφοροποίηση στην επιφανειακή θερμοκρασία των επικαλύψεων ουσιαστικά ξεκινά στις 9:30 το πρωί και διατηρείται περίπου έως τη δύση του ηλίου . Σε αντίθεση με το διάγραμμα 1.1 στο διάγραμμα 1.4 είναι ξεκάθαρο ότι τις μεσημβρινές ώρες η κοινή επικάλυψη αναπτύσσει υψηλότερη θερμοκρασία από τις υπόλοιπες αλλά και οι PCM επικαλύψεις διατηρούν σταθερά χαμηλότερη θερμοκρασία από την cool. Επίσης στο διάγραμμα 1.4 είναι εμφανές ότι χαμηλότερη επιφανειακή θερμοκρασία ανάμεσα στις PCM επιστρώσεις διατηρεί η επιστρώση PCM 52 και έπονται η PCM 32 και τέλος η PCM 43.

Για το καφέ όπως και για το μαύρο χρώμα παραθέτουμε τα διαγράμματα 1.5 και 1.6 που παρουσιάζονται οι θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ κοινής και PCM καθώς και μεταξύ cool και PCM επικαλύψεων κατά τη διάρκεια της ημέρας.



Διάγραμμα 1.5 : Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ κοινής και PCM επικάλυψης.



Διάγραμμα 1.6 : Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ cool και PCM επικάλυψης.

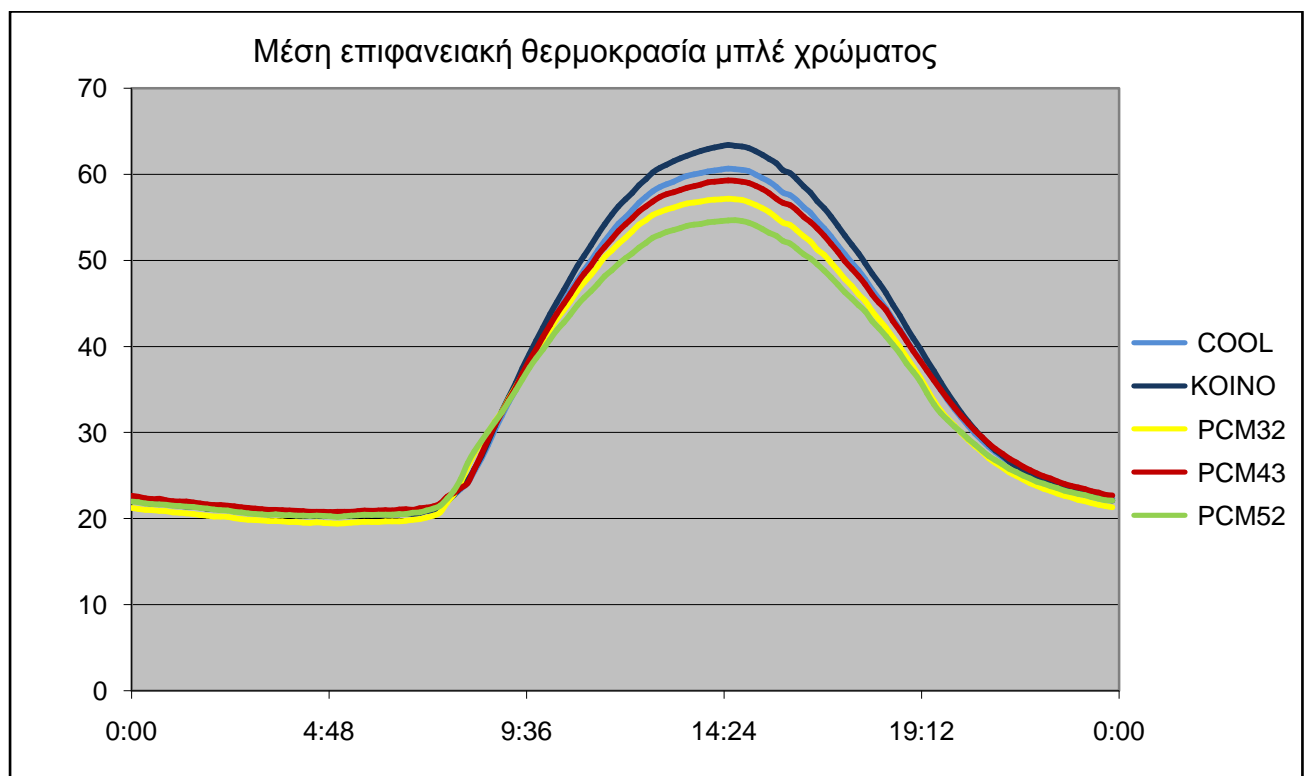
Από τα παραπάνω διαγράμματα συμπεραίνουμε ότι η μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά τόσο μεταξύ της κοινής και των PCM όσο και μεταξύ της cool και των PCM επικαλύψεων για την καφέ απόχρωση παρουσιάζεται το μεσημέρι περίπου στις 2:30 μ.μ. Η θερμοκρασιακή διαφορά εμφανίζεται και εδώ τις πρώτες πρωινές ώρες μετά την ανατολή του ηλίου και αποσβένει το βράδυ μετά τη δύση .

Συνοψίζοντας για την καφέ απόχρωση όπως και για την μαύρη το PCM 52 παρουσίασε την μικρότερη μέση και μέση μέγιστη θερμοκρασία από όλες τις επικαλύψεις ακολουθούμενο από το PCM 32 και εν συνεχεία το PCM 43. Η μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά τόσο ανάμεσα στην κοινή και τις PCM όσο και ανάμεσα στην cool και τις PCM εμφανίστηκε το μεσημέρι περί τις 2:30 μ.μ.

2.1.3 ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ ΜΠΛΕ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

ΜΠΛΕ			
	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΜΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΜΕΣΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
ΚΟΙΝΟ	36,4	63,6	19,5
COOL	35,5	60,5	19,6
PCM 52	33,5	55,0	19,3
PCM 43	35,4	59,5	19,9
PCM 32	34,0	57,5	19,5

Πίνακας 1.4 : Μέσες θερμοκρασίες.



Διάγραμμα 1.7 : Εξέλιξη μέσης θερμοκρασίας.

Από τον πίνακα 1.4 γίνεται αντιληπτό ότι για την μπλε απόχρωση η κοινή επικάλυψη παρουσιάζει υψηλότερη μέση επιφανειακή θερμοκρασία τόσο από τις PCM επιστρώσεις όσο και από την cool επικάλυψη. Μεταξύ των PCM και της cool επικάλυψης οι PCM επικαλύψεις διατηρούν χαμηλότερη μέση επιφανειακή θερμοκρασία με εξαίρεση την PCM 43 που παρουσιάζει οριακά μικρότερη θερμοκρασία κατά $0,1^{\circ}\text{C}$.

Σε ότι αφορά τις μέσες μέγιστες θερμοκρασίες η θερμοκρασιακή κατανομή δεν μεταβάλλεται με τις χαμηλότερες μέγιστες επιφανειακές θερμοκρασίες να αντιστοιχούν στις PCM επιστρώσεις. Μάλιστα η διαφορά εδώ είναι εντονότερη από τις υπολογιζόμενες μέσες τιμές.

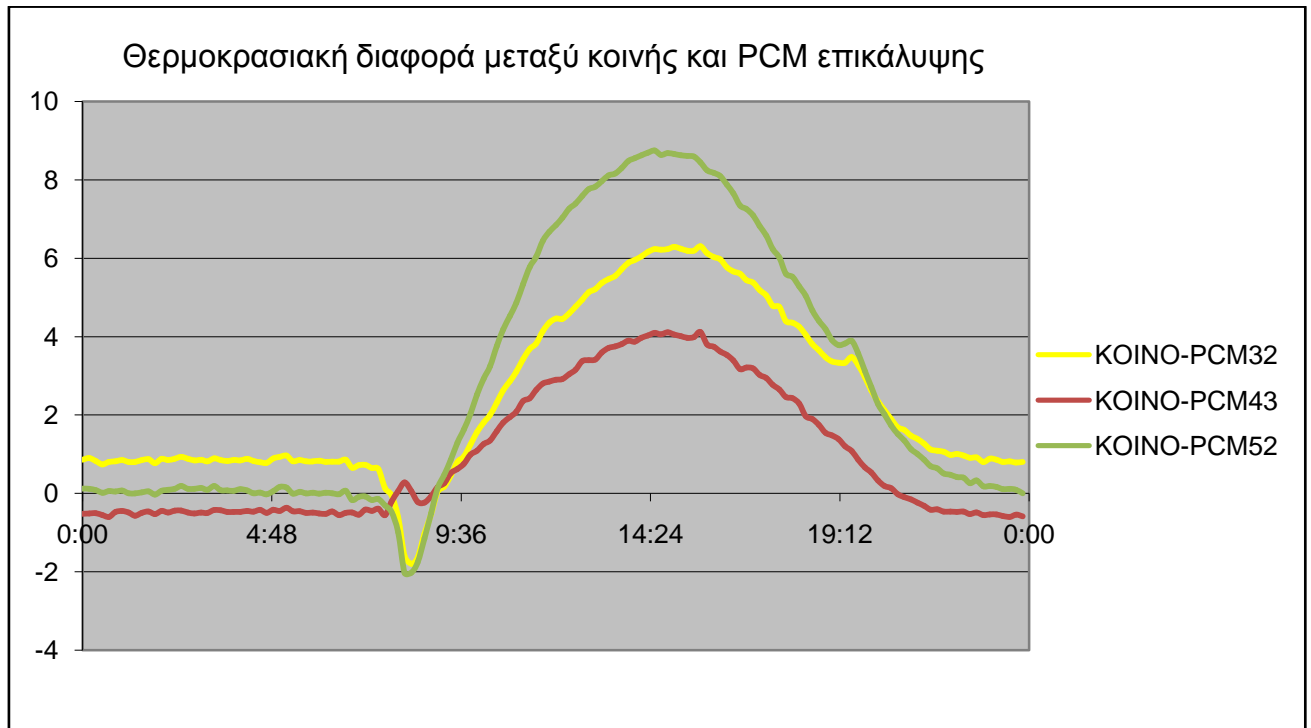
Οι μέσες ελάχιστες επιφανειακές θερμοκρασίες όπως στο μαύρο και στο καφέ χρώμα έτσι και στο μπλε χρώμα δεν έχουν ουσιαστικές διαφορές γιατί όπως προαναφέρθηκε παρουσιάζονται τις βραδινές ώρες όπου και η έλλειψη της ηλιακής ακτινοβολίας καθιστά τις επιστρώσεις ταυτόσημες στην θερμοκρασιακή τους συμπεριφορά.

Από τα προηγούμενα γίνεται κατανοητό πως οι PCM επικαλύψεις για την απόχρωση του μπλε παρουσιάζουν χαμηλότερες μέσες επιφανειακές και μέσες επιφανειακές μέγιστες θερμοκρασίες σε σύγκριση με την κοινή επικάλυψη γεγονός που παρατηρήθηκε τόσο στο μαύρο όσο και στο καφέ χρώμα.

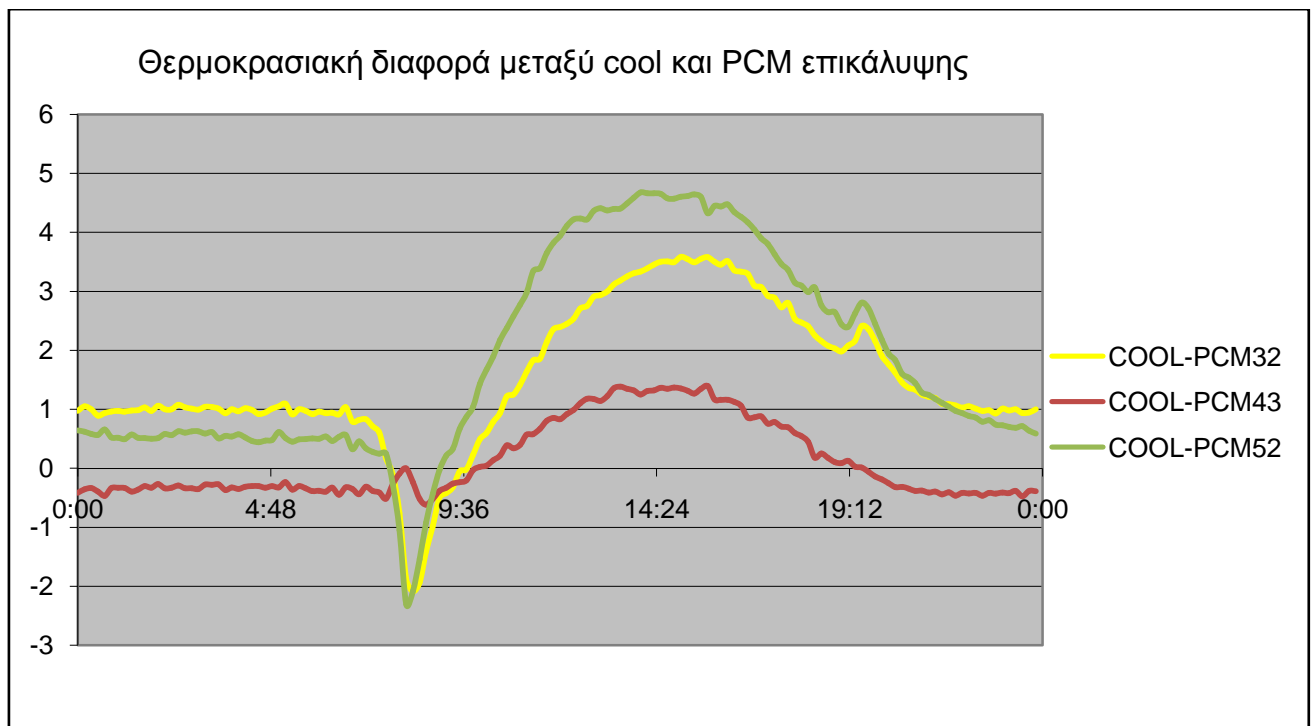
Στο μπλε χρώμα συγκρίνοντας τις PCM με τις cool επικαλύψεις και πάλι διαπιστώνει κανείς πως οι PCM επικαλύψεις προσφέρουν επιπρόσθετη μείωση τόσο στις μέσες επιφανειακές όσο και στις μέσες μέγιστες επιφανειακές θερμοκρασίες. Ειδικότερα σε ότι αφορά τις μέσες μέγιστες επιφανειακές θερμοκρασίες η επικάλυψη PCM 52 παρουσιάζει μείωση 9°C σε σχέση με την αντίστοιχη cool. Στις μέσες επιφανειακές θερμοκρασίες η μείωση είναι σαφώς μικρότερη από τις μειώσεις που εμφανίζονται στις μέσες μέγιστες θερμοκρασίες γεγονός που όπως εξηγήθηκε οφείλεται στο ότι κατά τον υπολογισμό των μέσων θερμοκρασιών συνυπολογίζεται και η αποφόρτιση των PCM όπου και η θερμοκρασία τους για κάποιο μικρό χρονικό διάστημα είναι μεγαλύτερη από αυτή της cool επικάλυψης.

Το διάγραμμα 1.7 είναι εξίσου ευκρινές με το διάγραμμα 1.4 και διατηρεί αναλογικά τα ίδια χαρακτηριστικά με την PCM 52 επίστρωση να παρουσιάζει τη χαμηλότερη επιφανειακή θερμοκρασία κατά τις μεσημβρινές ώρες. Ακολουθεί το PCM 32 και τέλος το PCM 43. Υψηλότερη μέση θερμοκρασία από αυτά παρουσιάζει το μεσημέρι η επικάλυψη cool ενώ η κοινή επικάλυψη διατηρεί και εδώ την πρωτιά της υψηλότερης επιφανειακής θερμοκρασίας κατά τις μεσημβρινές ώρες.

Οι θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ κοινής και PCM καθώς και μεταξύ cool και PCM επικαλύψεων για την μπλε απόχρωση κατά τη διάρκεια της ημέρας παρουσιάζονται στα διαγράμματα 1.8 και 1.9.



Διάγραμμα 1.8 : Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ κοινής και PCM επικάλυψης.



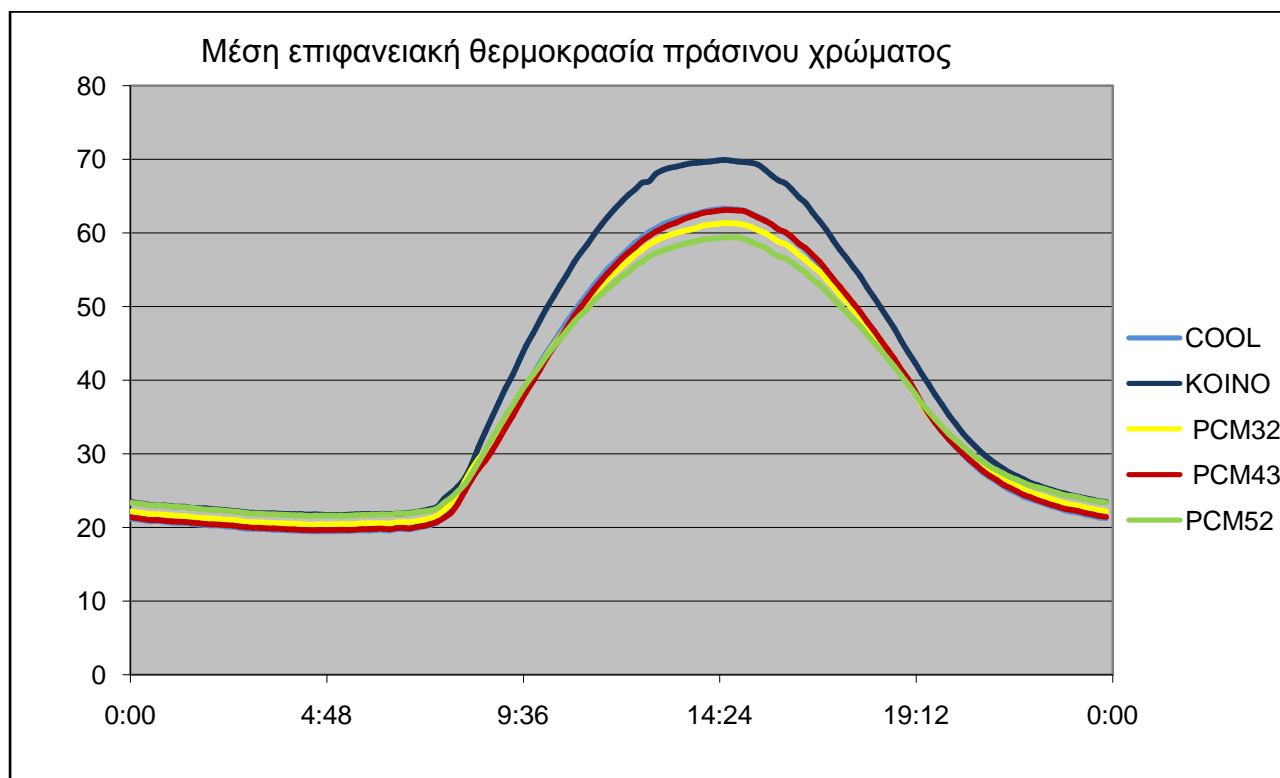
Διάγραμμα 1.9 : Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ cool και PCM επικάλυψης.

Συνοψίζοντας , για την μπλέ απόχρωση τα συμπεράσματα είναι ανάλογα με αυτά που παρατηρήθηκαν στην μαύρη και στην καφέ απόχρωση . Και πάλι το PCM 52 ήταν αυτό που διατήρησε τη χαμηλότερη επιφανειακή θερμοκρασία τόσο σε επίπεδο μέσων αλλά και σε μέσων μέγιστων επιφανειακών θερμοκρασιών και ακολούθησαν τα PCM 32 και PCM 43. Η μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά εντοπίστηκε και πάλι τις μεσημβρινές ώρες (περίπου στις 2:30 μ.μ.) τόσο ανάμεσα στην κοινή και τις pcm όσο και στην cool και τις PCM επικαλύψεις.

2.1.4 ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ ΠΡΑΣΙΝΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

ΠΡΑΣΙΝΟ			
	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΜΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΜΕΣΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
ΚΟΙΝΟ	38,0	70,0	20,9
COOL	36,8	63,5	19,6
PCM 52	33,9	59,8	20,6
PCM 43	35,8	63,5	19,8
PCM 32	34,8	61,6	19,5

Πίνακας 1.5 : Μέσες θερμοκρασίες.



Διάγραμμα 1.10 : Εξέλιξη μέσης θερμοκρασίας.

Για το πράσινο χρώμα η κοινή επικάλυψη παρουσιάζει επίσης υψηλότερη μέση επιφανειακή θερμοκρασία τόσο από τις PCM επιστρώσεις όσο και από την cool επικάλυψη. Μεταξύ των PCM και της cool επικάλυψης οι PCM επικαλύψεις διατηρούν χαμηλότερη μέση επιφανειακή θερμοκρασία με εξαίρεση και πάλι την επίστρωση PCM 43 που είναι οριακά χαμηλότερη.

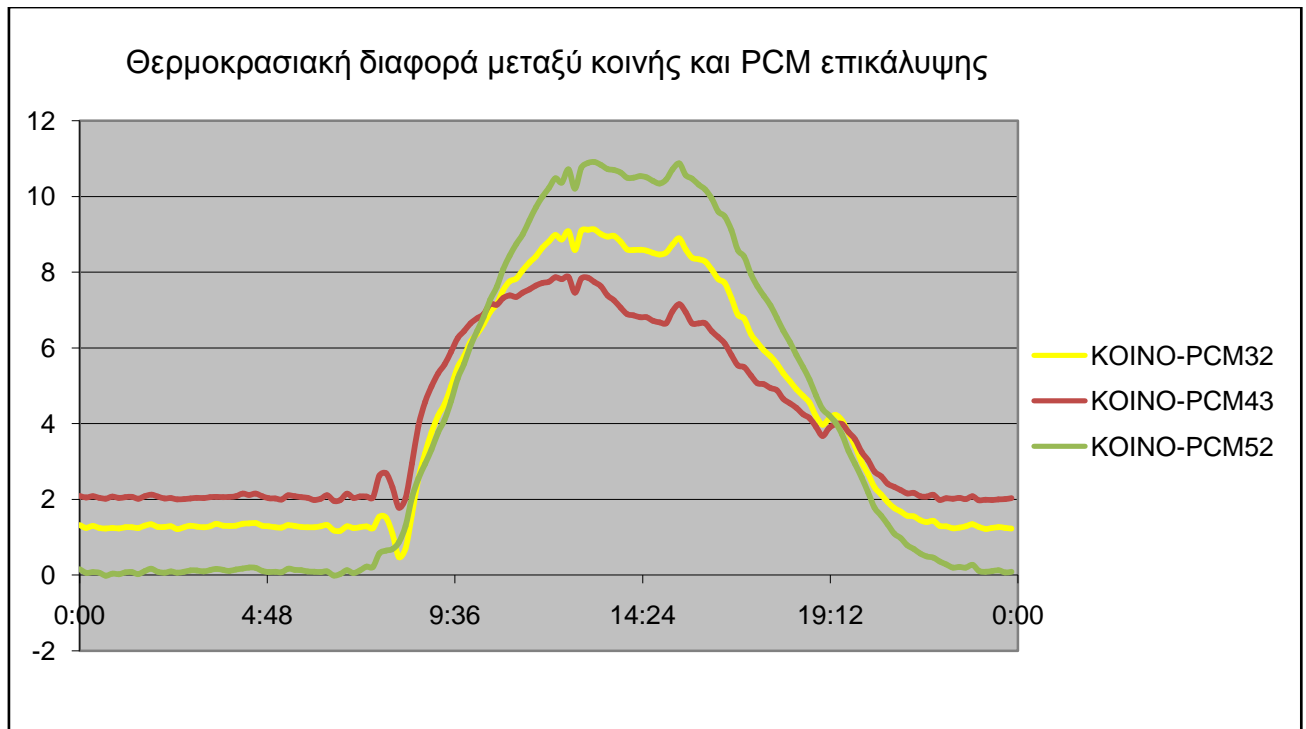
Στις μέσες μέγιστες θερμοκρασίες η θερμοκρασιακή κατανομή δεν μεταβάλλεται με τις χαμηλότερες μέγιστες επιφανειακές θερμοκρασίες να αντιστοιχούν στις PCM επιστρώσεις . Η θερμοκρασιακή διαφορά στις μέγιστες επιφανειακές θερμοκρασίες όπως και στα προηγούμενα χρώματα είναι εντονότερη από τις μέσες τιμές.

Οι μέσες ελάχιστες επιφανειακές θερμοκρασίες είναι και εδώ σχεδόν όμοιες χωρίς καμία αξιόλογη διαφοροποίηση.

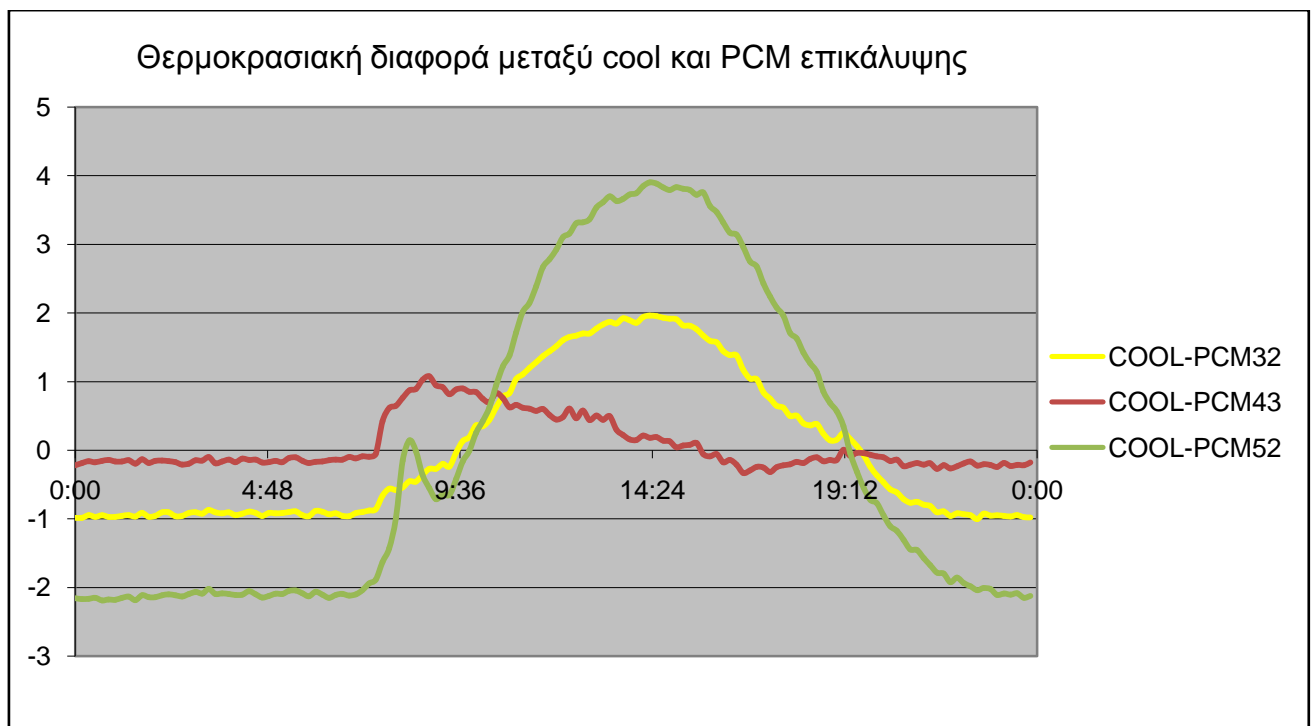
Οι PCM επικαλύψεις και για την απόχρωση πράσινου παρουσιάζουν χαμηλότερες μέσες επιφανειακές και μέσες επιφανειακές μέγιστες θερμοκρασίες σε σύγκριση με την κοινή επικάλυψη όπως ακριβώς συνέβαινε και στα προηγούμενα χρώματα.

Στο πράσινο χρώμα συγκρίνοντας τις PCM με τις cool επικαλύψεις πανομοιότυπα με το μαύρο, το καφέ και το μπλε διαπιστώνει κανείς πως οι PCM επικαλύψεις προσφέρουν επιπρόσθετη μείωση τόσο στις μέσες επιφανειακές όσο και στις μέσες μέγιστες επιφανειακές θερμοκρασίες. Η επικάλυψη PCM 52 παρουσιάζει και πάλι τη μέγιστη μείωση των 9°C σε σχέση με την αντίστοιχη cool. Στις μέσες επιφανειακές θερμοκρασίες και στην περίπτωση του πράσινου χρώματος η μείωση είναι σαφώς μικρότερη από τις μειώσεις που εμφανίζονται στις μέσες μέγιστες θερμοκρασίες.

Το διάγραμμα 1.10 αν και δεν προσφέρει ιδιαίτερη ευκρίνεια διατηρεί τα ίδια χαρακτηριστικά και τη μορφή των προηγούμενων διαγραμμάτων που απεικονίζουν την εξέλιξη της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας.



Διάγραμμα 1.11 : Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ κοινής και PCM επικάλυψης.



Διάγραμμα 1.12 : Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ cool και PCM επικάλυψης.

Ολοκληρώνοντας την επεξεργασία των μετρήσεων των μέσων , μέσων μέγιστων και μέσων ελάχιστων επιφανειακών θερμοκρασιών με τις επικαλύψεις πράσινου χρώματος διαπιστώνουμε πως και σε αυτή την περίπτωση η επίστρωση PCM 52 διατήρησε τη χαμηλότερη μέση και μέση μέγιστη θερμοκρασία ακολουθούμενη από τις PCM 32 και PCM 43. Η θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στην κοινή και τις PCM και στην cool και τις PCM επικαλύψεις αναπτύσσεται και σε αυτή την περίπτωση όπως φαίνεται από τα διαγράμματα 1.11 και 1.12 τις πρώτες πρωινές ώρες και κορυφώνεται τις πρώτες μεσημβρινές. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί η θερμοκρασιακή διαφορά που εμφανίζει το PCM 43 συγκρινόμενο με την cool επικάλυψη όπου η μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά εμφανίζεται στις περι τις 9:00 π.μ. και ολόκληρη την υπόλοιπη ημέρα διατηρείται σε επίπεδα μικρότερα του 1 °C. Οι αριθμητικές πράξεις επαναλήφθηκαν εξ αρχής προς εύρεση λάθους όμως εφόσον δεν διαπιστώθηκε κάτι τέτοιο και εφόσον το PCM 43 δεν έχει επιδείξει διαφορετική συμπεριφορά στις υπόλοιπες αποχρώσεις συγκρινόμενο με την cool επίστρωση και καθώς συγκρινόμενο με τα υπόλοιπα PCM της πράσινης απόχρωσης έδωσε τα αναμενόμενα γραφικά αποτελέσματα , καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως κάποιο τεχνικό σφάλμα οδήγησε στην αμφιλεγόμενη καμπύλη θερμοκρασιακής διαφοράς του διαγράμματος 1.12.

2.1.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στον επόμενο πίνακα συνοψίζονται οι μέσες , οι μέσες μέγιστες και μέσες ελάχιστες θερμοκρασίες των επικαλύψεων για όλες τις αποχρώσεις που χρησιμοποιήθηκαν ώστε να είναι εποπτικά εύκολη η σύγκριση κάθε χρώματος για κάθε είδους επικάλυψη.

	ΧΡΩΜΑ	ΚΟΙΝΟ	COOL	PCM 52	PCM 43	PCM 32
ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΜΑΥΡΟ	38,7	37,8	37,1	37,1	37,3
	ΚΑΦΕ	37,7	36,2	35,0	35,3	34,9
	ΜΠΛΕ	36,4	35,5	33,5	35,4	34,0
	ΠΡΑΣΙΝΟ	38,0	36,8	33,9	35,8	34,8
ΜΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΜΑΥΡΟ	70,3	65,4	62,9	65,0	65,3
	ΚΑΦΕ	66,1	62,4	57,0	59,7	59,1
	ΜΠΛΕ	63,6	60,5	55,0	59,5	57,5
	ΠΡΑΣΙΝΟ	70,0	63,5	59,8	63,5	61,6
ΜΕΣΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΜΑΥΡΟ	20,1	19,9	20,0	19,9	20,2
	ΚΑΦΕ	20,4	20,1	20,2	20,1	20,1
	ΜΠΛΕ	19,5	19,6	19,3	19,9	19,5
	ΠΡΑΣΙΝΟ	20,9	19,6	20,6	19,8	19,5

Πίνακας 1.6 : Μέσες , μέσες μέγιστες , μέσες ελάχιστες θερμοκρασίες.

Με μια πρώτη ανάλυση και επεξεργασία των μετρήσεων διαπιστώθηκαν και επιβεβαιώθηκαν τα εξής συμπεράσματα :

1. Οι καμπύλες θερμοκρασιακής εξέλιξης των PCM επικαλύψεων δεν παρουσιάζουν το θεωρητικό σκαλοπάτι (σταθεροποίηση θερμοκρασίας κατά την αλλαγή φάσης) γεγονός αναμενόμενο εφόσον ο ήλιος δεν είναι μια σταθερή πηγή προσφοράς θερμότητας.
2. Ανεξαρτήτως της χρωματικής επιλογής τα υλικά αλλαγής φάσης διατηρούν χαμηλότερη μέση αλλά και χαμηλότερη μέση μέγιστη επιφανειακή θερμοκρασία τόσο από την cool όσο και από την κοινή επικάλυψη.
3. Η θερμοκρασιακή διαφοροποίηση των δειγμάτων ξεκινά το πρωί περί τις 9:30 και αποσβένει σχεδόν με τη δύση του ηλίου παρουσιάζοντας τη μέγιστη τιμή της τις πρώτες μεσημβρινές ώρες όπου και σύμφωνα με τις μετρήσεις του εθνικού αστεροσκοπείου παρουσιάστηκαν οι μέγιστες θερμοκρασίες περιβάλλοντος.
4. Το δείγμα PCM 52 διατήρησε σε όλες τις χρωματικές επιλογές την χαμηλότερη επιφανειακή θερμοκρασία. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι το PCM 52 φορτίζεται χρονικά αργότερα από τα υπόλοιπα δείγματα, πλησιέστερα στις μέγιστες θερμοκρασίες. Έτσι αποθηκεύει λανθάνουσα θερμότητα διατηρώντας σταθερή θερμοκρασία την ώρα που τα υπόλοιπα δείγματα έχουν ολοκληρώσει τη φάση φόρτισης και αποθηκεύουν λανθάνουσα θερμότητα αυξάνοντας την επιφανειακή τους θερμοκρασία.
5. Ενώ αναμενόταν η cool επικάλυψη να διατηρεί χαμηλότερη επιφανειακή θερμοκρασία από τις PCM επικαλύψεις έως ότου αυτές να φτάσουν το σημείο τήξης τους κάτι τέτοιο δεν έγινε ξεκάθαρο από τα διαγράμματα εξέλιξης της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας.
6. Σε αναλογία με το προηγούμενο συμπέρασμα δεν διαπιστώθηκε ξεκάθαρα η αυξημένη επιφανειακή θερμοκρασία των PCM επιστρώσεων που θα έπρεπε να παρατηρηθεί κατά τη φάση της αποφόρτισης τους.

Συνοψίζοντας στο κεφάλαιο αυτό βρέθηκε ότι για κάθε χρώμα που χρησιμοποιήσαμε όλες οι επικαλύψεις που περιείχαν PCM , οποιασδήποτε θερμοκρασίας τήξης , έχουν την δυνατότητα να μειώνουν τη μέση επιφανειακή θερμοκρασία τόσο σε σχέση με την κοινή επικάλυψη όσο και σε σχέση με την cool. Σε σχέση με την κοινή παρατηρήσαμε μειώσεις από 1 έως 4,1^οC στις μέσες επιφανειακές θερμοκρασίες και μειώσεις από 4,1 έως 10,2^οC στις μέσες μέγιστες επιφανειακές θερμοκρασίες. Σε σχέση με την cool παρατηρήσαμε μειώσεις από 0,1 έως 2,9^οC στις μέσες επιφανειακές θερμοκρασίες και μειώσεις από 0,1 έως 5,5^οC στις μέσες μέγιστες επιφανειακές θερμοκρασίες.

Επίσης από τα διαγράμματα θερμοκρασιακής διαφοράς συναρτήσεως της ώρας διαπιστώσαμε πως οι εν λόγω μέγιστες θερμοκρασιακές διαφορές λαμβάνουν χώρα τις πρώτες μεσημβρινές ώρες γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό μιας και εκείνες τις ώρες παρουσιάζονται οι μέγιστες θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Συγκρίνοντας τις θερμοκρασιακές διαφορές που εμφανίζουν μεταξύ τους οι χρωματικές αποχρώσεις στη σύγκριση με το κοινό πιο αποδοτική δείχνει να είναι η πράσινη απόχρωση ενώ στη σύγκριση με την cool η καφέ απόχρωση. Αναλυτικά οι θερμοκρασιακές διαφορές φαίνονται στους πίνακες 1.7 και 1.8 παρακάτω :

	ΧΡΩΜΑ	PCM 32	PCM 43	PCM 52
ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΟΙΝΟ - PCM	ΜΑΥΡΟ	1,4	1,6	1,6
	ΚΑΦΕ	2,8	2,4	2,7
	ΜΠΛΕ	2,4	1,0	2,9
	ΠΡΑΣΙΝΟ	3,2	2,2	4,1
ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΣΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΟΙΝΟ - PCM	ΜΑΥΡΟ	5,0	5,3	7,2
	ΚΑΦΕ	7,0	6,4	9,1
	ΜΠΛΕ	6,1	4,1	8,6
	ΠΡΑΣΙΝΟ	8,4	6,5	10,2

Πίνακας 1.7 : Θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ κοινής και PCM επικαλύψεων.

	ΧΡΩΜΑ	PCM 32	PCM 43	PCM 52
ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ COOL - PCM	ΜΑΥΡΟ	0,5	0,7	0,7
	ΚΑΦΕ	1,3	0,9	1,2
	ΜΠΛΕ	1,5	0,1	2,0
	ΠΡΑΣΙΝΟ	2,0	1,0	2,9
ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΣΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ COOL - PCM	ΜΑΥΡΟ	0,1	0,4	2,5
	ΚΑΦΕ	2,5	2,7	5,4
	ΜΠΛΕ	3,0	1,0	5,5
	ΠΡΑΣΙΝΟ	1,9	0,0	3,7

Πίνακας 1.8 : Θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ cool και PCM επικαλύψεων.

2.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΡΥΘΜΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

Στην προηγούμενη ενότητα υπολογίστηκαν οι μέσες , οι μέσες μέγιστες και οι μέσες ελάχιστες επιφανειακές θερμοκρασίες των δειγμάτων , παρουσιάστηκε η μέση θερμοκρασιακή εξέλιξη κατά τη διάρκεια της ημέρας και αποδόθηκε γραφικά η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ κοινής - PCM καθώς και cool - PCM επικαλύψεων από τη μελέτη των οποίων προέκυψαν σημαντικά συμπεράσματα αλλά και ερωτήματα τα οποία επιχειρείται να απαντηθούν με περαιτέρω ανάλυση στην ενότητα αυτή.

Αναλυτικότερα στην προηγούμενη ενότητα από τα διαγράμματα εξέλιξης της μέσης θερμοκρασίας δεν διαπιστώθηκαν ξεκάθαρα οι φάσεις προφόρτισης και αποφόρτισης των pcm επιστρώσεων όπου και οι επιφανειακές τους θερμοκρασίες αναμενόταν να είναι υψηλότερες από τις αντίστοιχες cool επικαλύψεις. Θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί πως η μελέτη των διαγραμμάτων της θερμοκρασιακής διαφοράς θα αποκάλυπτε τις φάσεις φόρτισης και αποφόρτισης των PCM. Όσο το PCM φορτίζεται και απορροφά λανθάνουσα θερμότητα τόσο η θερμοκρασιακή διαφορά αυξάνεται. Σταθεροποίηση της θερμοκρασιακής διαφοράς συνεπάγεται την πλήρη φόρτιση (αλλαγή φάση) του PCM και εν συνεχεία απορροφώντας αισθητή θερμότητα αυξάνει τη θερμοκρασία του και έτσι η θερμοκρασιακή διαφορά μειώνεται.

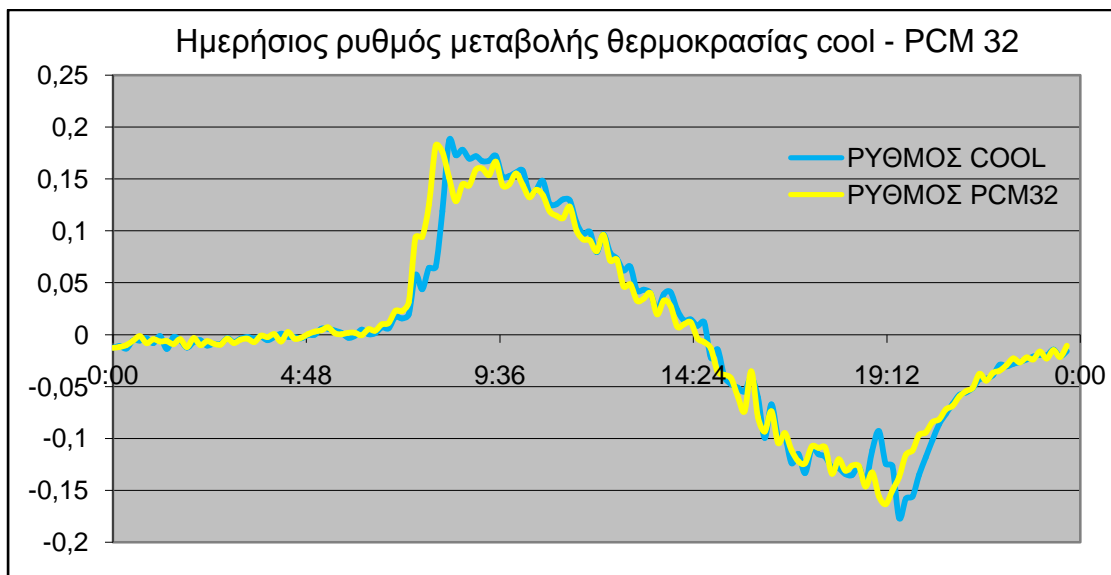
Στη λογική αυτή αλληλουχία παρουσιάστηκαν τα εξής προβλήματα και έτσι αποφεύχθηκε μια τέτοιου είδους μελέτη :

1. Η μελέτη της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ κοινής – PCM επικαλύψεων δεν δίνει ξεκάθαρα συμπεράσματα για τη φόρτιση των PCM μιας και όπως αναφέρθηκε αυτά περιέχουν και cool υλικό επομένως εμφανίζουν αυξημένη ανακλαστικότητα και κατά συνέπεια παρουσιάζουν θερμοκρασιακή διαφορά με την ανατολή του ήλιου πριν ακόμα τα pcm φτάσουν την εκάστοτε θερμοκρασία λειτουργίας τους.
2. Συγκρίνοντας τη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ cool – PCM επικαλύψεων να μην μπορούμε να προσδιορίσουμε το χρονικό διάστημα φόρτισης των pcm θέτοντας ως όριο φόρτισης τη χρονική στιγμή που παρουσιάζεται σταθεροποίηση στη θερμοκρασιακή διαφορά όμως είναι αδύνατο να μελετήσουμε την αποφόρτιση εφόσον αυτή μπορεί να ξεκινά πριν την θερμοκρασιακή εξίσωση και μάλιστα αν συμβαίνει κάτι τέτοιο να την επιταχύνει.

Για τους δυο παραπάνω λόγους αποφύγαμε να μελετήσουμε τις φάσεις φόρτισης και αποφόρτισης βάση της θερμοκρασιακής διαφοράς και εργαστήκαμε εναλλακτικά υπολογίζοντας τους ρυθμούς μεταβολής της επιφανειακής θερμοκρασίας των δειγμάτων. Κατασκευάστηκαν και παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα η μελέτη των οποίων οδηγεί σε ιδιαίτερως ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Στις επόμενες παραγράφους συγκρίνουμε τους ρυθμούς μεταβολής της επιφανειακής θερμοκρασίας των επικαλύψεων PCM με την cool αντίστοιχου χρώματος. Για λόγους ευκολίας κάθε χρώμα εξετάζεται ξεχωριστά όπως έγινε και στην πρώτη ενότητα.

2.2.1 ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ ΜΑΥΡΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

PCM 32



Διάγραμμα 1.13 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 32.

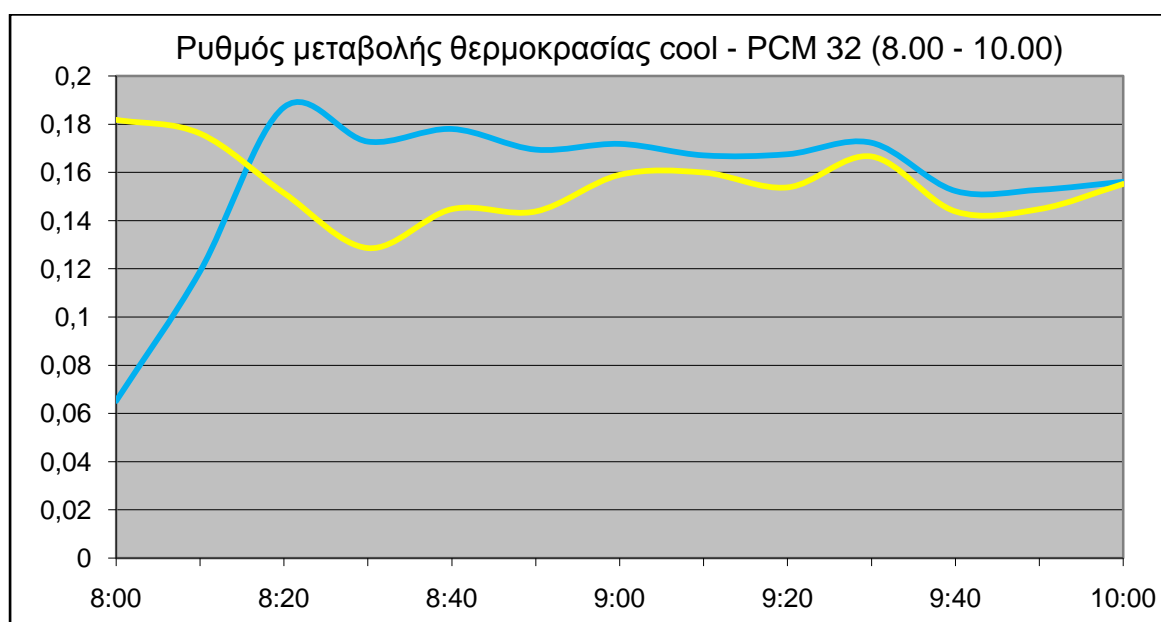
Αρχικά παρατηρώντας το διάγραμμα 1.13 διαπιστώνουμε ότι ο ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας που εκφράζει το πόσο γρήγορα αυξάνεται η επιφανειακή θερμοκρασία σε κάθε δείγμα είναι θετικός μέχρι περίπου τις 14:30 τόσο για την cool όσο και για την PCM επικάλυψη. Ο θετικός ρυθμός εκφράζει την άνοδο της θερμοκρασίας. Από τις 14:30 και μετά οι ρυθμοί μεταβολής της θερμοκρασίας γίνονται αρνητικοί γεγονός που καταδεικνύει ότι εκλύεται θερμότητα προς το περιβάλλον και κατά συνέπεια η θερμοκρασία των δειγμάτων ελαττώνεται.

Επιπρόσθετα τις πρώτες πρωινές ώρες και μέχρι περίπου τις 8:00 οι ρυθμοί μεταβολής της θερμοκρασίας αυξάνουν επομένως τα δείγματα αυξάνουν την θερμοκρασία τους με αυξανόμενο ρυθμό. Περίπου στις 9:30 οι ρυθμοί αύξησης της επιφανειακής θερμοκρασίας αρχίζουν να ελαττώνονται άρα η επιφανειακή θερμοκρασία των δειγμάτων συνεχίζει να αυξάνει με ελαττούμενο όμως ρυθμό.

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα 1.13 ο ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας του PCM 32 πριν την ανατολή του ηλίου ακολουθεί πιστά το ρυθμό μεταβολής του cool και για το λόγο αυτό δεν εμφανίζεται θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ των δειγμάτων.

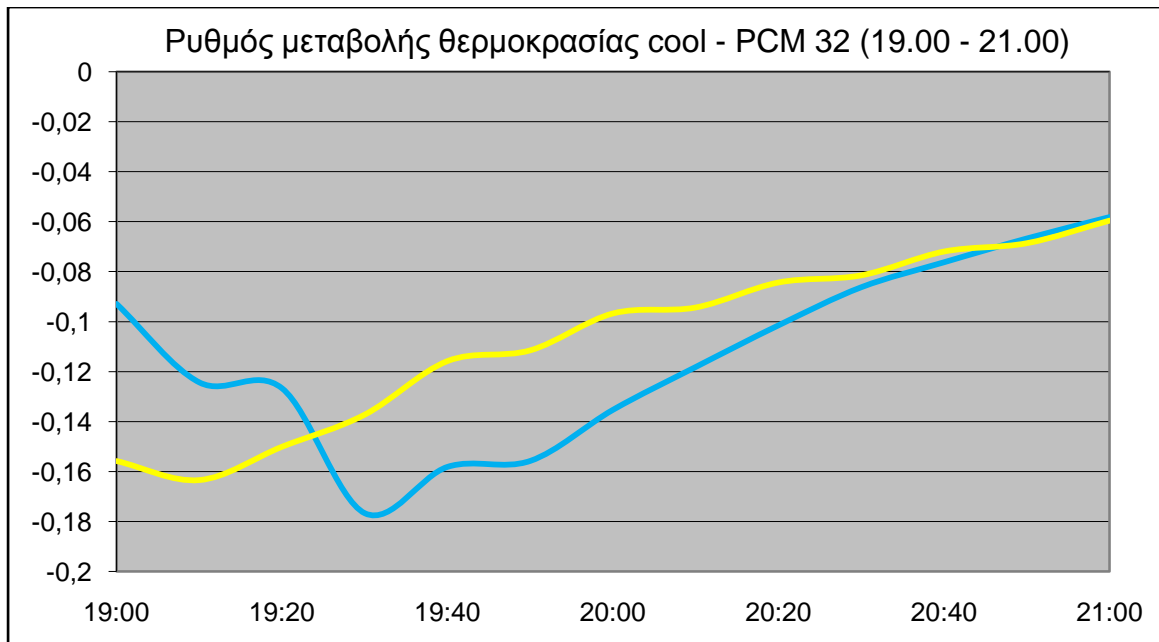
Με την ανατολή του ηλίου και γύρω στις 7:30 ο ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας του PCM 32 παίρνει μεγαλύτερες τιμές από αυτές της cool επικάλυψης φαινόμενο που διατηρείται μέχρι τις 8:10. Ο μεγαλύτερος ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας του PCM 32 που εμφανίζεται με την ανατολή του ηλίου πιθανότατα οφείλεται στο μικρότερο ποσοστό cool υλικού που υπάρχει στις PCM επικαλύψεις σε σχέση με την αμιγώς cool επικάλυψη.

Μετά τις 8:10 ο ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας του PCM 32 γίνεται μικρότερος από αυτόν του cool δείγματος. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει και την έναρξη φόρτισης του PCM 32. Κατά τη φόρτιση το PCM 32 αρχίζει να απορροφά θερμότητα (λανθάνουσα) αλλάζοντας φάση και έτσι αυξάνει τη θερμοκρασία του με μικρότερο ρυθμό . Το φαινόμενο της φόρτισης του PCM 32 διαρκεί έως ότου οι ρυθμοί μεταβολής των θερμοκρασιών εξισωθούν. Το φαινόμενο κατ' εκτίμηση ολοκληρώνεται στις 10:00 όπως φαίνεται ευκρινέστερα στο επόμενο διάγραμμα.



Διάγραμμα 1.14 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool- PCM 32 για το χρονικό διάστημα 8:00-10:00.

Από τις 10:00 και μέχρι περίπου στις 19:20 οι ρυθμοί μεταβολής της θερμοκρασίας του PCM 32 και του cool δείγματος σχεδόν ταυτίζονται. Από τις 19:20 και μέχρι τις 20:40 το PCM 32 παρουσιάζει μικρότερο ρυθμό μείωσης θερμοκρασίας συγκρινόμενο με την cool επικάλυψη. Με βάση αυτό γίνεται αντιληπτό πως το παραπάνω χρονικό διάστημα είναι εκείνο στο οποίο το PCM 32 αποφορτίζεται. Κατά την αποφόρτιση και την επαναστερεοποίηση του PCM 32 η θερμοκρασία του μεταβάλλεται με αργότερο ρυθμό συγκρινόμενο με την cool επικάλυψη εφόσον κατά την αλλαγή φάσης σε θεωρητικό επίπεδο η θερμοκρασία παραμένει σταθερή.



Διάγραμμα 1.15 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 32 για το χρονικό διάστημα 19:00-21:00.

Μετά τις 21:00 και μέχρι την ανατολή του ηλίου τα δυο δείγματα παρουσιάζουν σχεδόν ταυτόσημους ρυθμούς μεταβολής επιφανειακής θερμοκρασίας γεγονός που αποδεικνύει ότι η αποφόρτιση του PCM 32 έχει ολοκληρωθεί και ελλείψη ηλιακής ακτινοβολίας συμπεριφέρεται όπως και η cool επικάλυψη ως κοινό χρώμα εμπορίου.

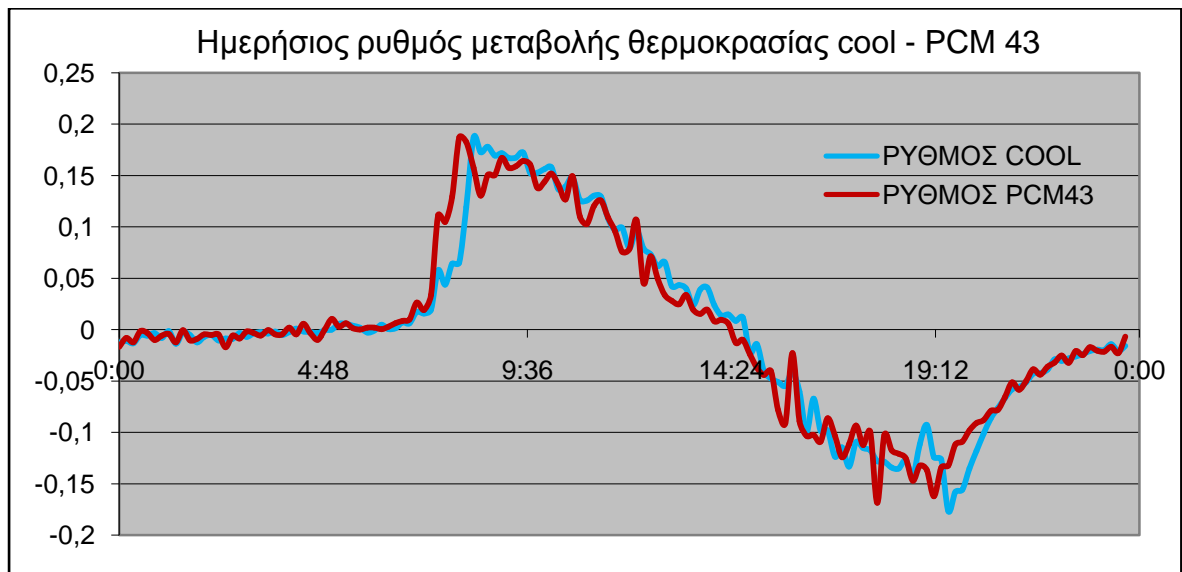
Συνοψίζοντας τα παραπάνω για το δείγμα με PCM 32 καταλήξαμε στα εξής συμπεράσματα :

	Χρονική διάρκεια φόρτισης	Χρονική διάρκεια αποφόρτισης
PCM 32	8:10 – 10:00	19:20 – 20:40

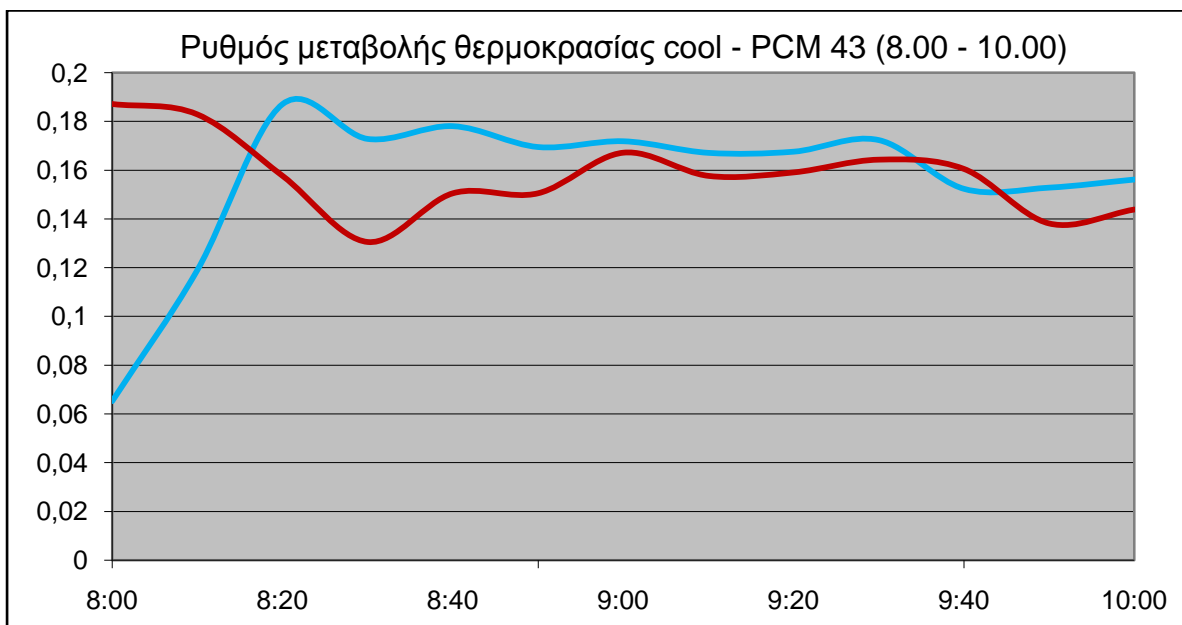
Σημαντικό είναι να σημειώσουμε ότι η λήξη του φαινομένου της φόρτισης των PCM επικαλύψεων δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί επ’ ακριβώς εφόσον και μετά την φόρτιση οι ρυθμοί μεταβολής δεν ταυτίζονται πλήρως.

Κατά αναλογία με τη μελέτη που έγινε για το PCM 32 μαύρου χρώματος η διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τα PCM 43 και PCM 52 μαύρου χρώματος καθώς και για τις υπόλοιπες αποχρώσεις. Στις επόμενες σελίδες παραθέτονται συνοπτικά τα συμπεράσματα και οι αντίστοιχοι πίνακες με τις χρονικές περιόδους φόρτισης και αποφόρτισης των PCM.

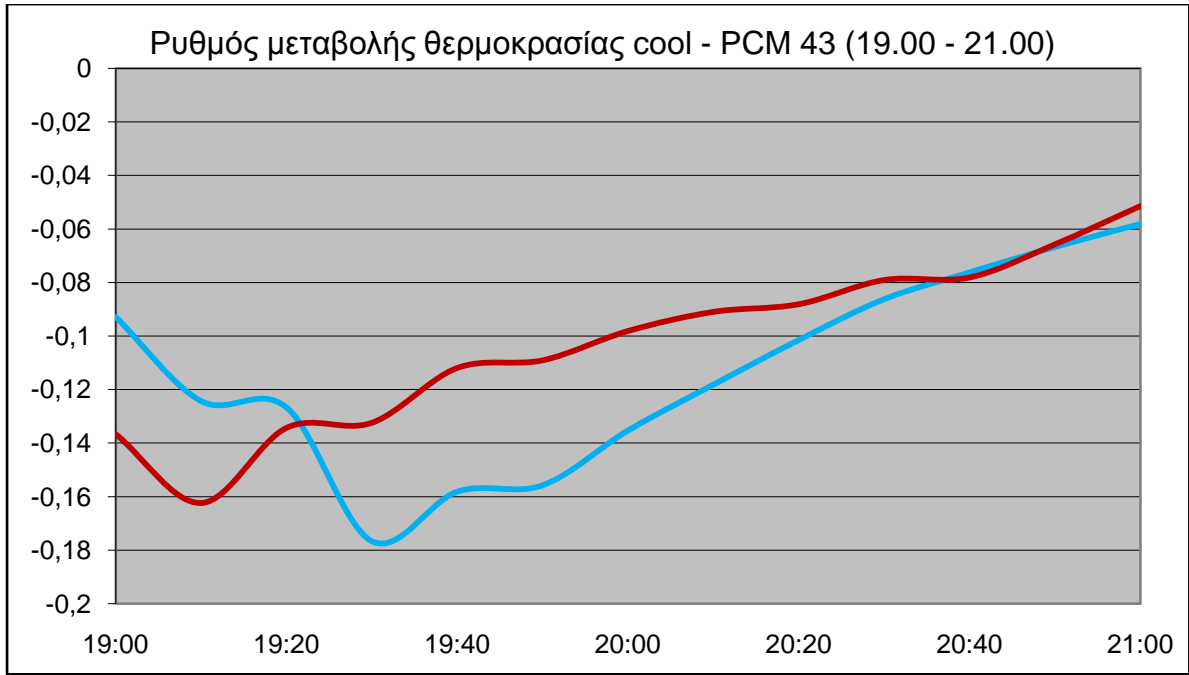
PCM 43



Διάγραμμα 1.16 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 43.



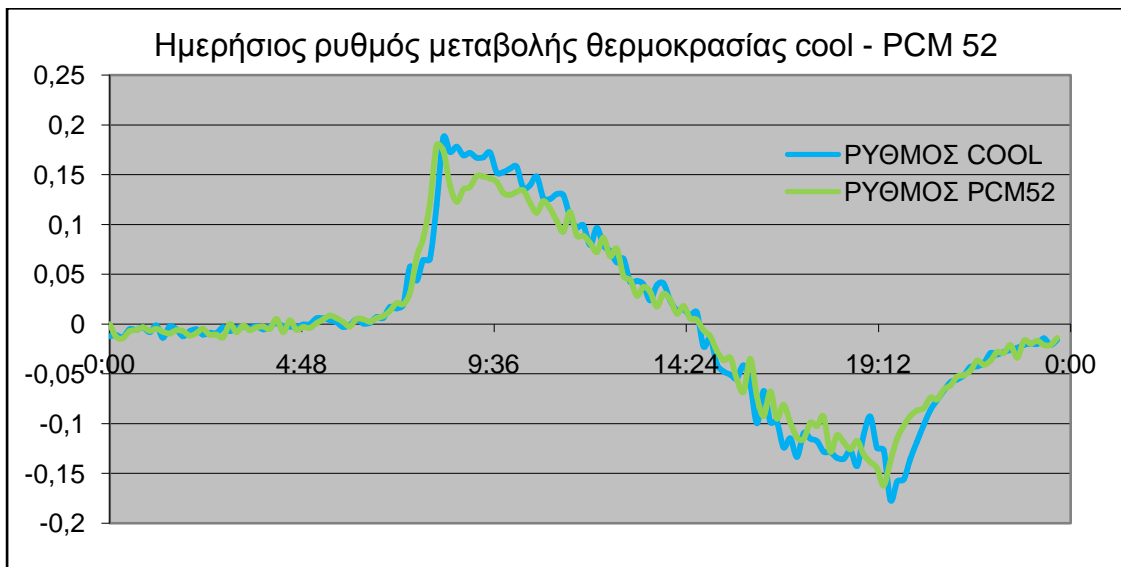
Διάγραμμα 1.17 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 43 για το χρονικό διάστημα 8:00-10:00.



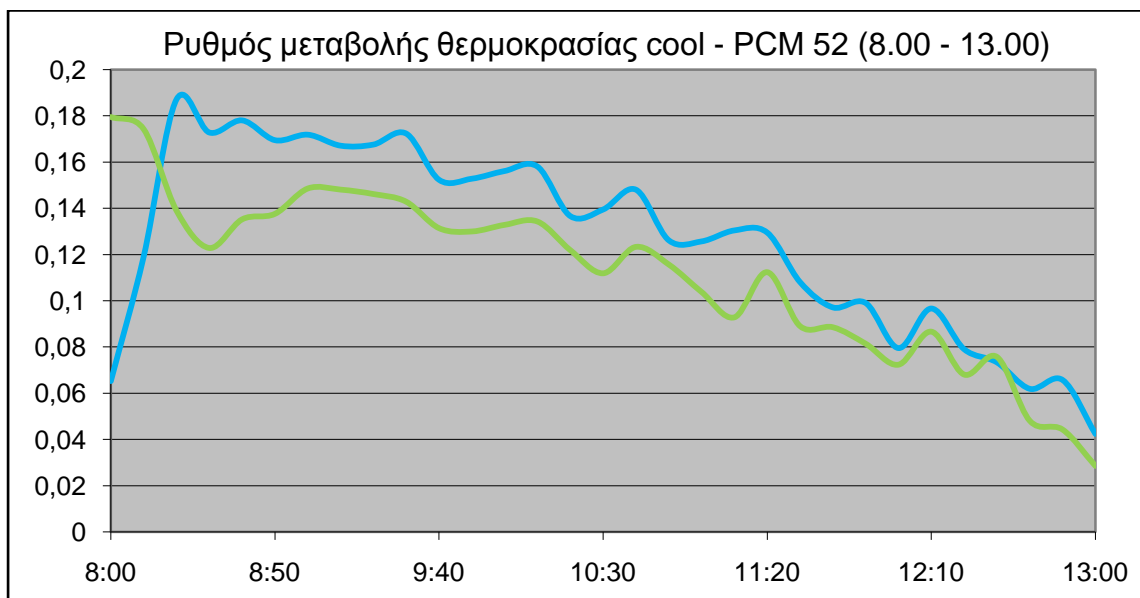
Διάγραμμα 1.18 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 43 για το χρονικό διάστημα 19:00-21:00.

	Χρονική διάρκεια φόρτισης	Χρονική διάρκεια αποφόρτισης
PCM 43	8:10 – 9:30	19:20 – 20:30

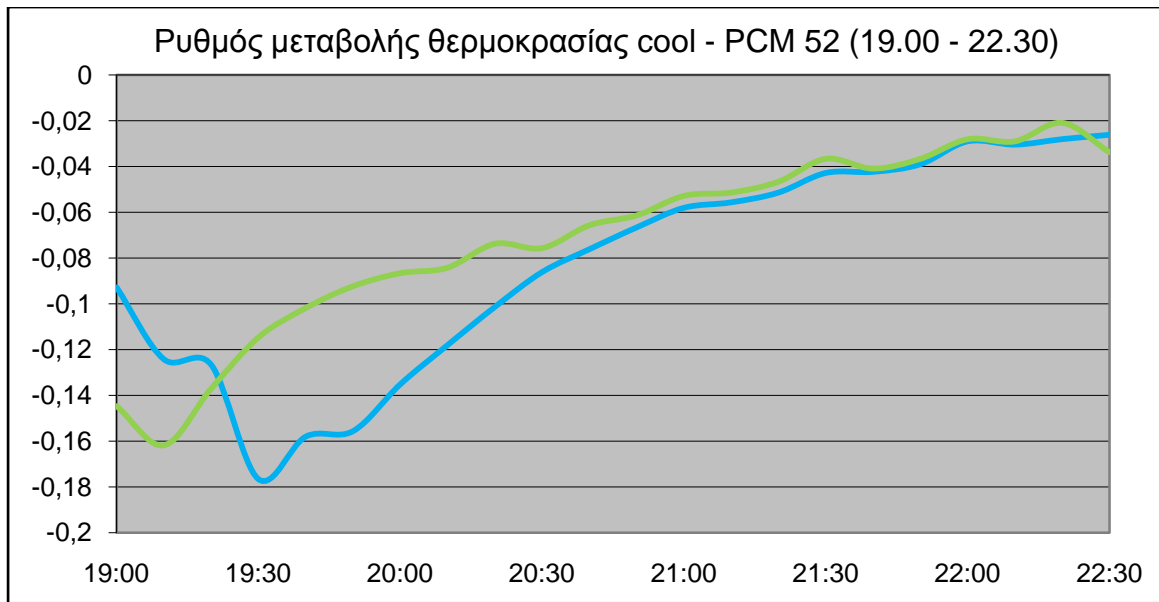
PCM 52



Διάγραμμα 1.19 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 52.



Διάγραμμα 1.20 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 52 για το χρονικό διάστημα 8:00-13:00.

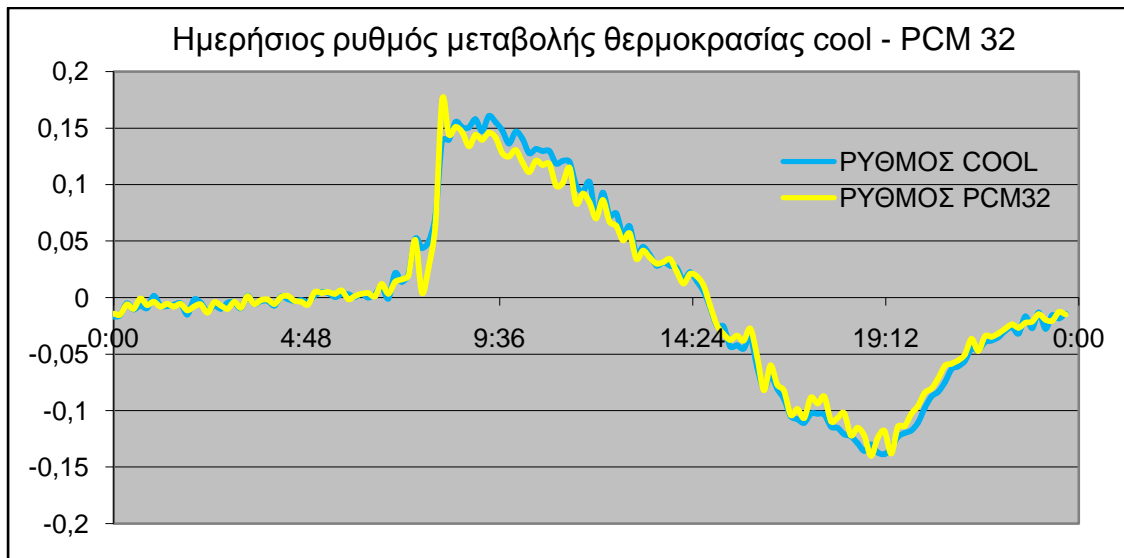


Διάγραμμα 1.21 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 52 για το χρονικό διάστημα 19:00-22:30.

	Χρονική διάρκεια φόρτισης	Χρονική διάρκεια αποφόρτισης
PCM 52	8:10 – 12:30	19:20 – 21:40

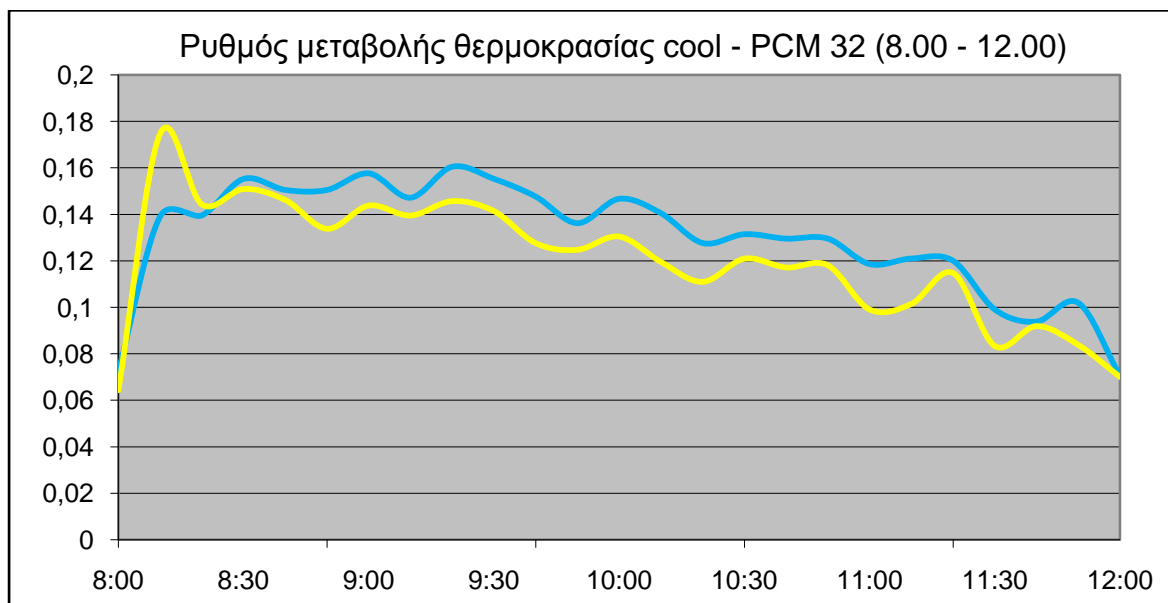
2.2.2 ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ ΚΑΦΕ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

PCM 32

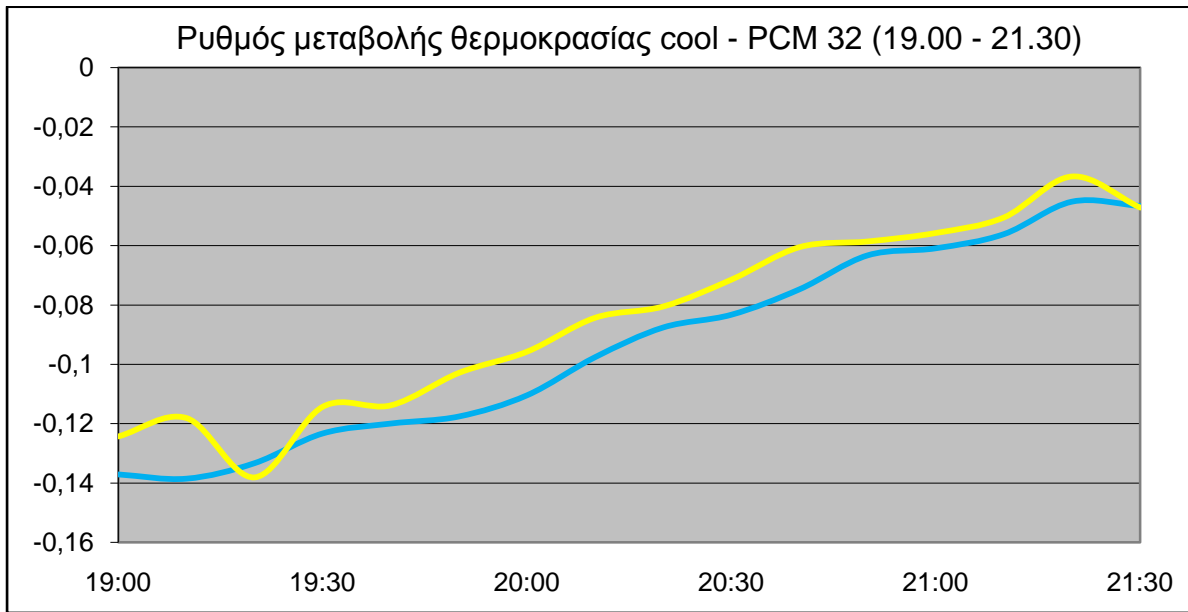


Διάγραμμα 1.22 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 32.

Για το καφέ χρώμα η σύγκριση ανάμεσα στους ρυθμούς μεταβολής της θερμοκρασίας της cool και της PCM 32 επικάλυψης δείχνει ότι το PCM 32 ξεκινά να φορτίζεται στις 8:20 και κατ' εκτίμηση ολοκληρώνει την αλλαγή φάσης στις 12:00. Η αποφόρτιση λαμβάνει χώρα στο χρονικό διάστημα 17:20 – 21:30 όπως φαίνεται αναλυτικότερα στα διαγράμματα 1.23 και 1.24.



Διάγραμμα 1.23 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 32 για το χρονικό διάστημα 8:00-12:00.

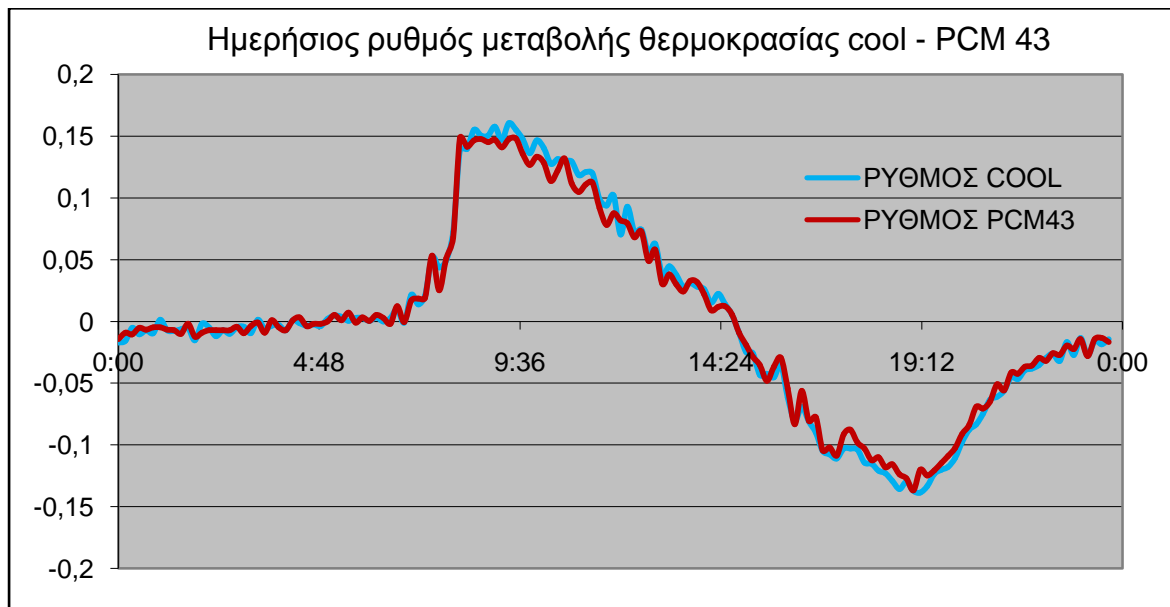


Διάγραμμα 1.24 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 32 για το χρονικό διάστημα 19:00-21:30.

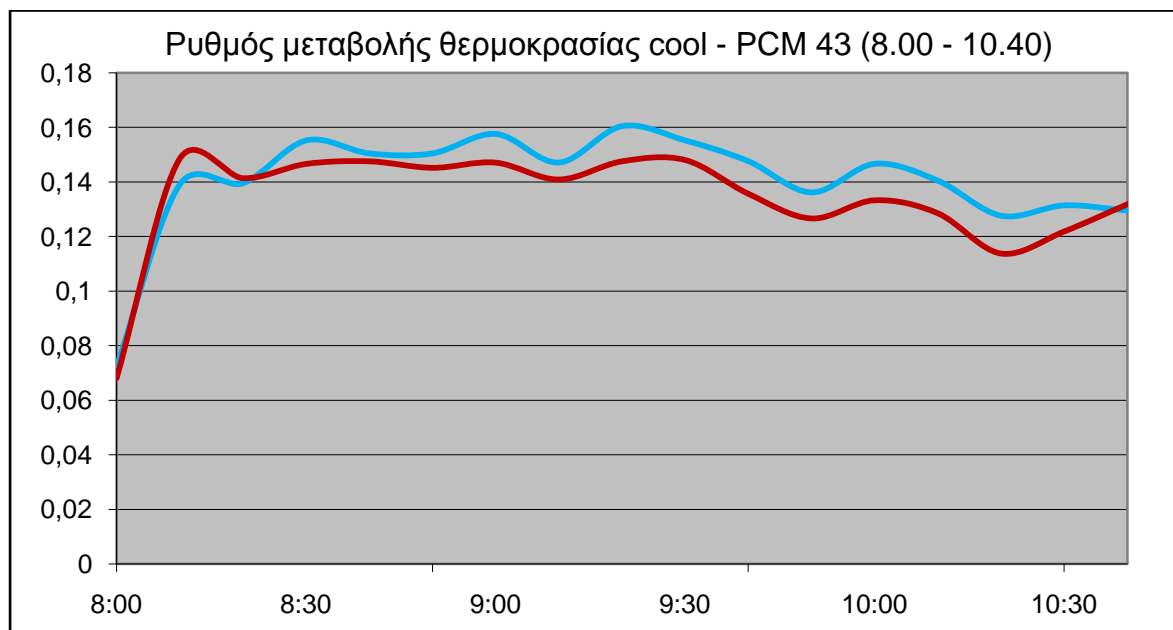
Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τα συμπεράσματα της μελέτης για το PCM 32 καφέ απόχρωσης :

	Χρονική διάρκεια φόρτισης	Χρονική διάρκεια αποφόρτισης
PCM 32	8:20 – 12:00	19:20 – 21:30

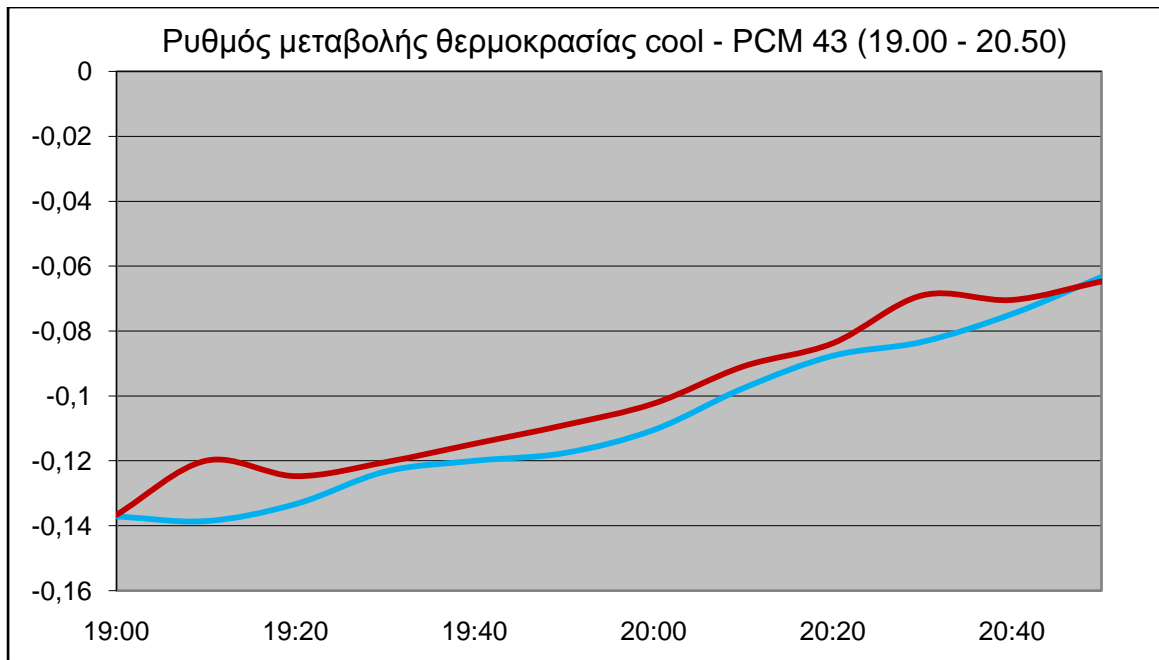
PCM 43



Διάγραμμα 1.25 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 43.



Διάγραμμα 1.26 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 43 για το χρονικό διάστημα 8:00-10:40.

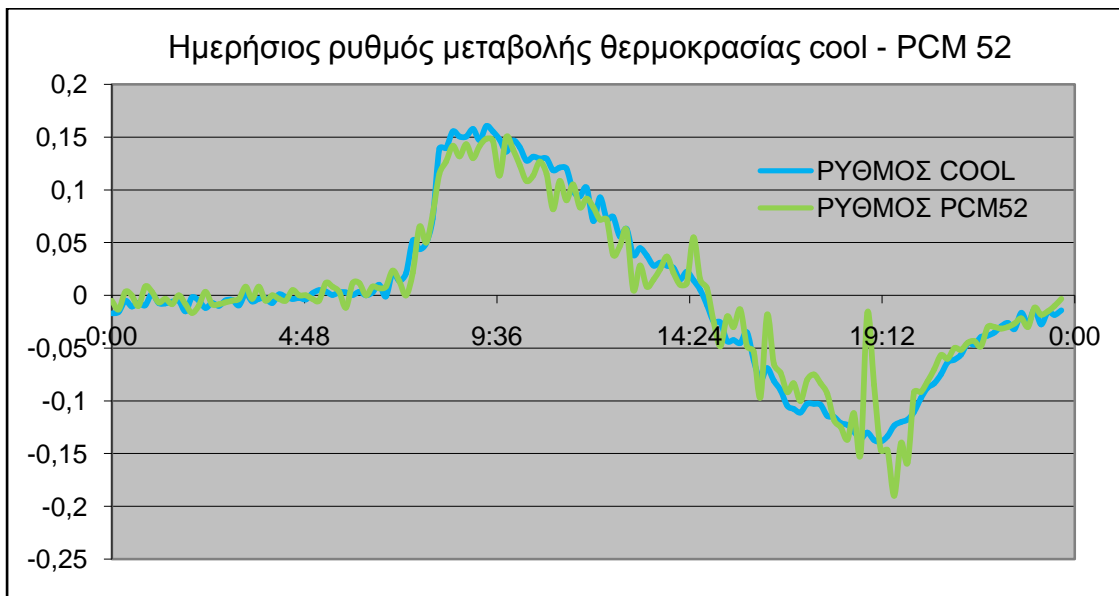


Διάγραμμα 1.27 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 43 για το χρονικό διάστημα 19:00-20:50.

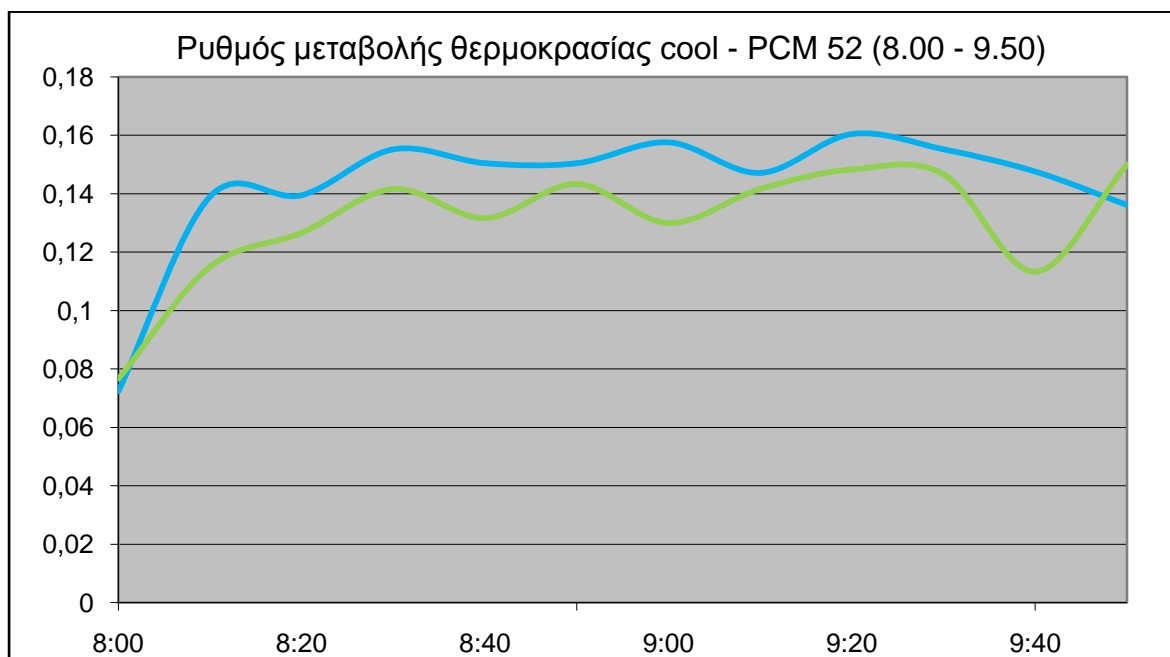
Για το PCM 43 καφέ απόχρωσης έχουμε :

	Χρονική διάρκεια φόρτισης	Χρονική διάρκεια αποφόρτισης
PCM 43	8:20 – 10:30	19:00 – 20:50

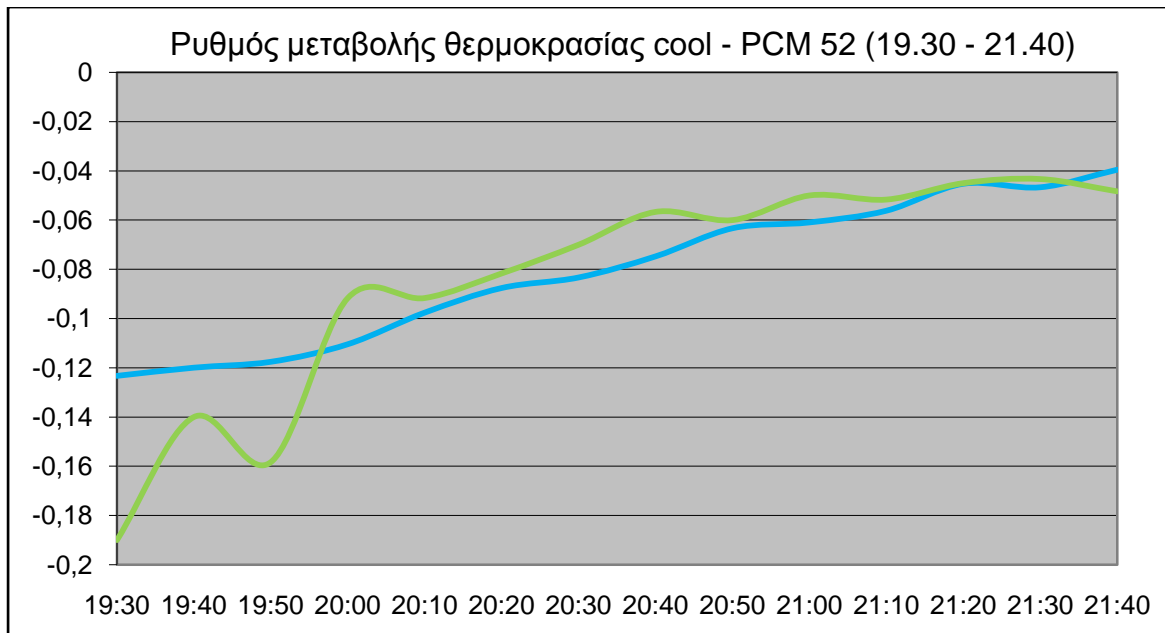
PCM 52



Διάγραμμα 1.28 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 52.



Διάγραμμα 1.29 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 52 για το χρονικό διάστημα 8:00-9:50.



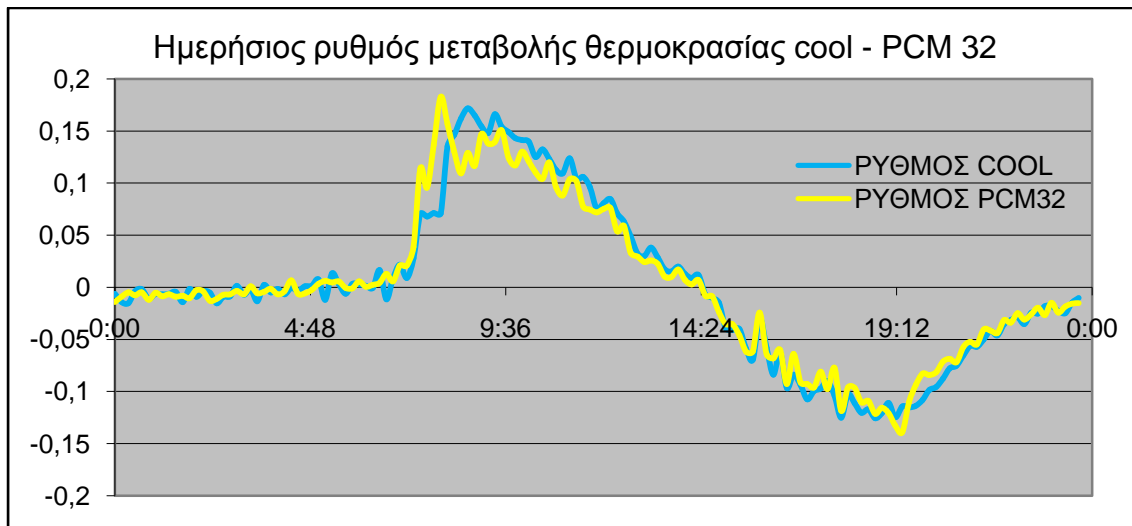
Διάγραμμα 1.30 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 52 για το χρονικό διάστημα 19:30-21:40.

Τέλος για το PCM 52 καφέ χρώματος καταλήξαμε στα εξής χρονικά διαστήματα :

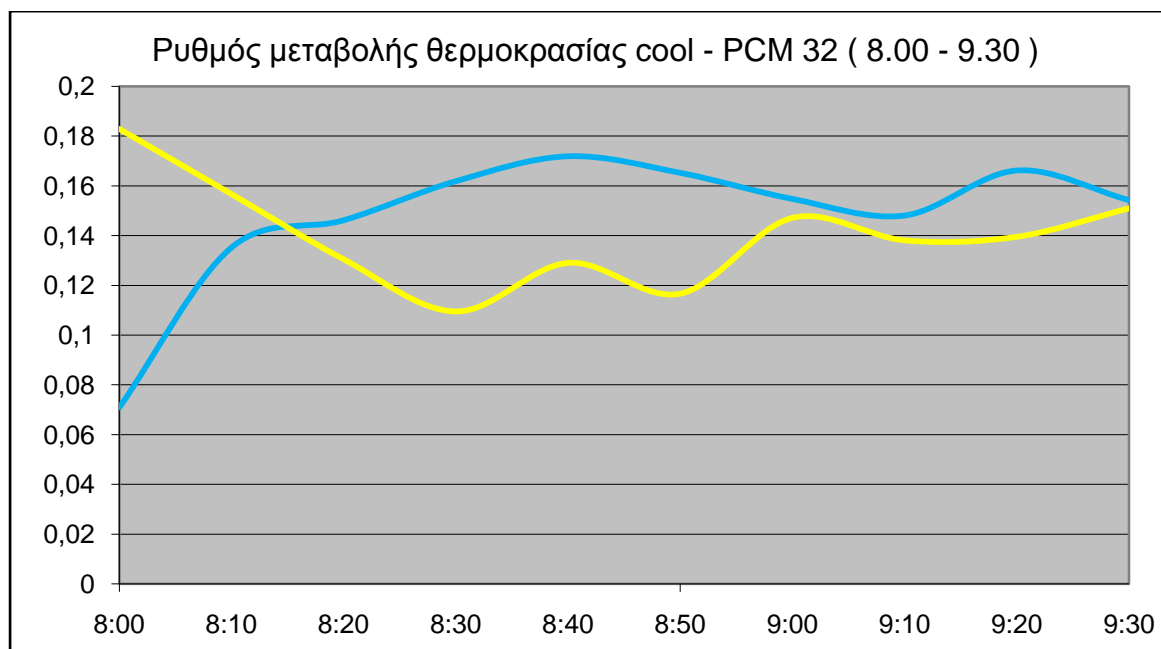
	Χρονική διάρκεια φόρτισης	Χρονική διάρκεια αποφόρτισης
PCM 52	8:10 – 9:40	19:50 – 21:30

2.2.3 ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ ΜΠΛΕ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

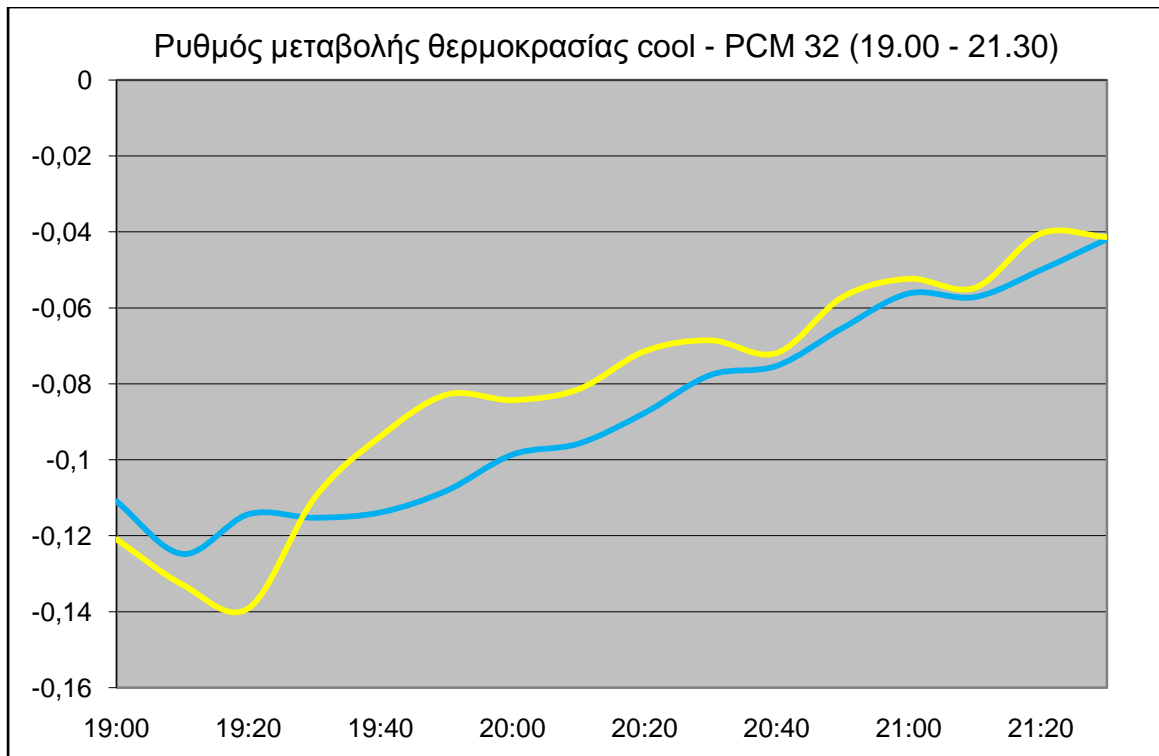
PCM 32



Διάγραμμα 1.31 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 32.



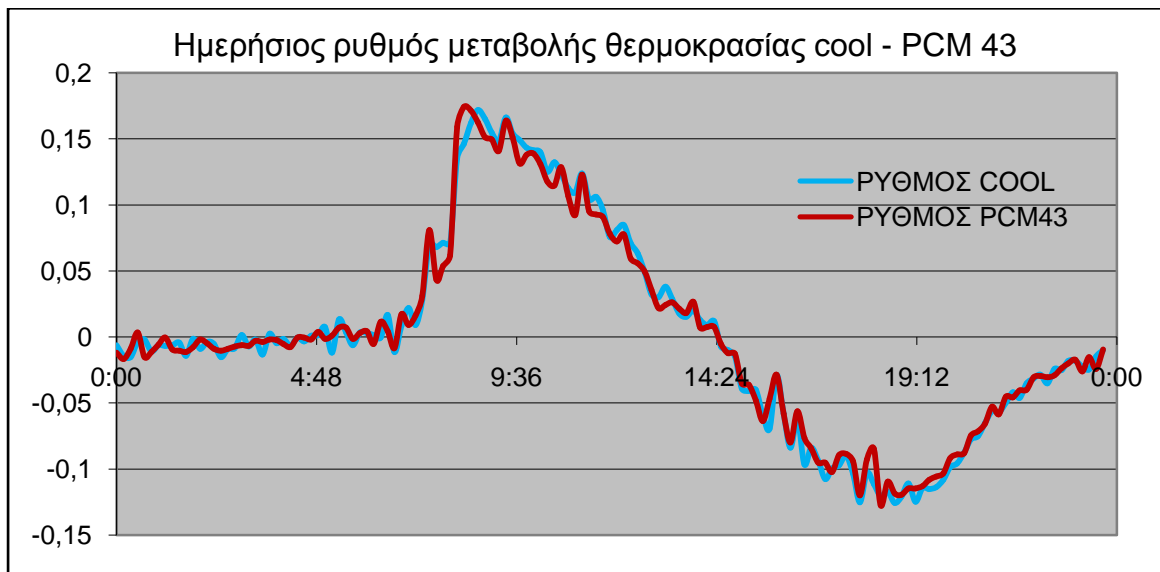
Διάγραμμα 1.32 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 32 για το χρονικό διάστημα 8:00-9:30.



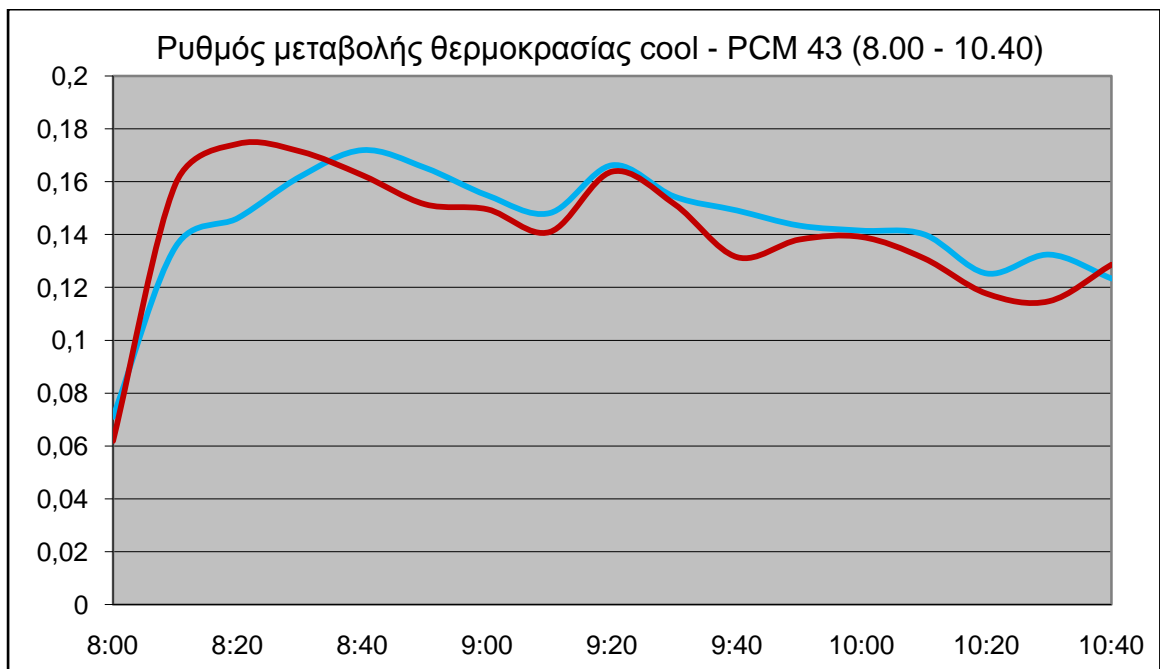
Διάγραμμα 1.33 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 32 για το χρονικό διάστημα 19:00-21:30.

	Χρονική διάρκεια φόρτισης	Χρονική διάρκεια αποφόρτισης
PCM 32	8:10 – 9:30	19:20 – 21:30

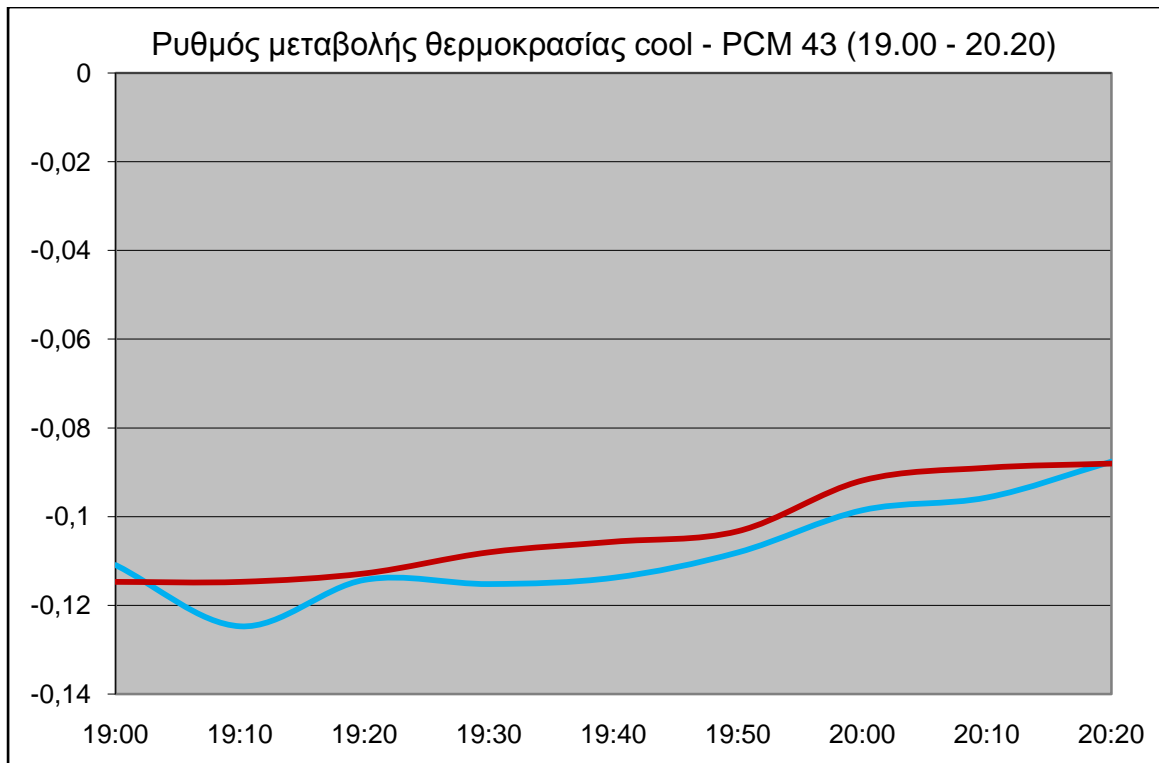
PCM 43



Διάγραμμα 1.34 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 43.



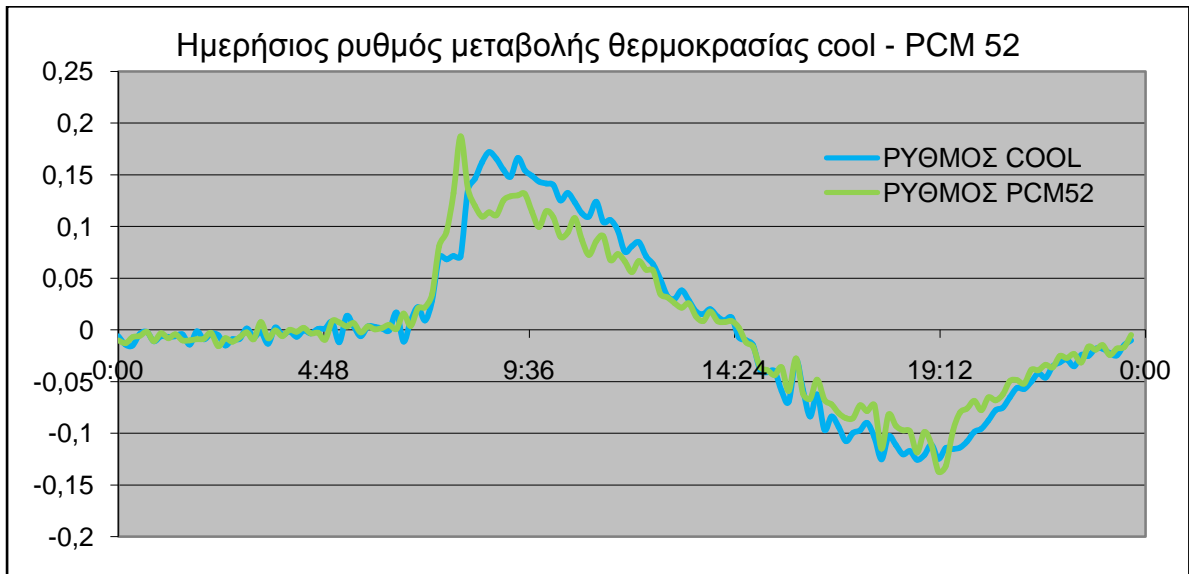
Διάγραμμα 1.35 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 43 για το χρονικό διάστημα 8:00-10:40.



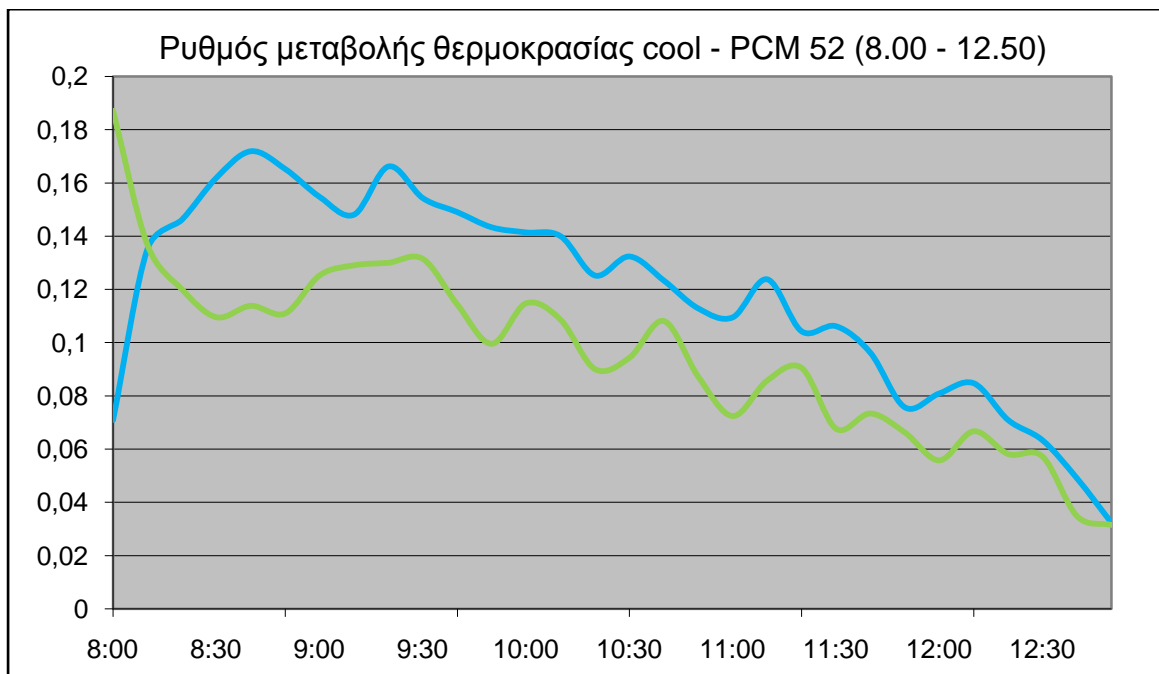
Διάγραμμα 1.36 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 43 για το χρονικό διάστημα 19:00-20:20.

	Χρονική διάρκεια φόρτισης	Χρονική διάρκεια αποφόρτισης
PCM 43	8:30 – 10:30	19:10 – 20:20

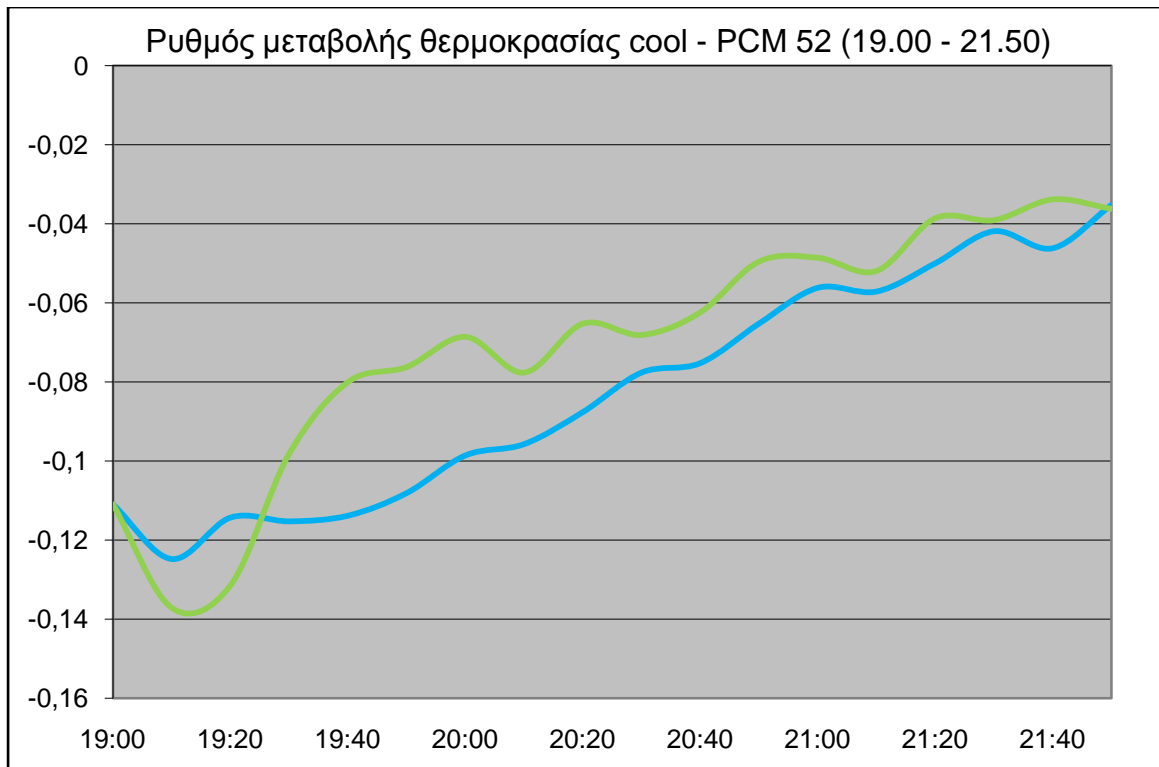
PCM 52



Διάγραμμα 1.37 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 52.



Διάγραμμα 1.38 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 52 για το χρονικό διάστημα 8:00-12:50.

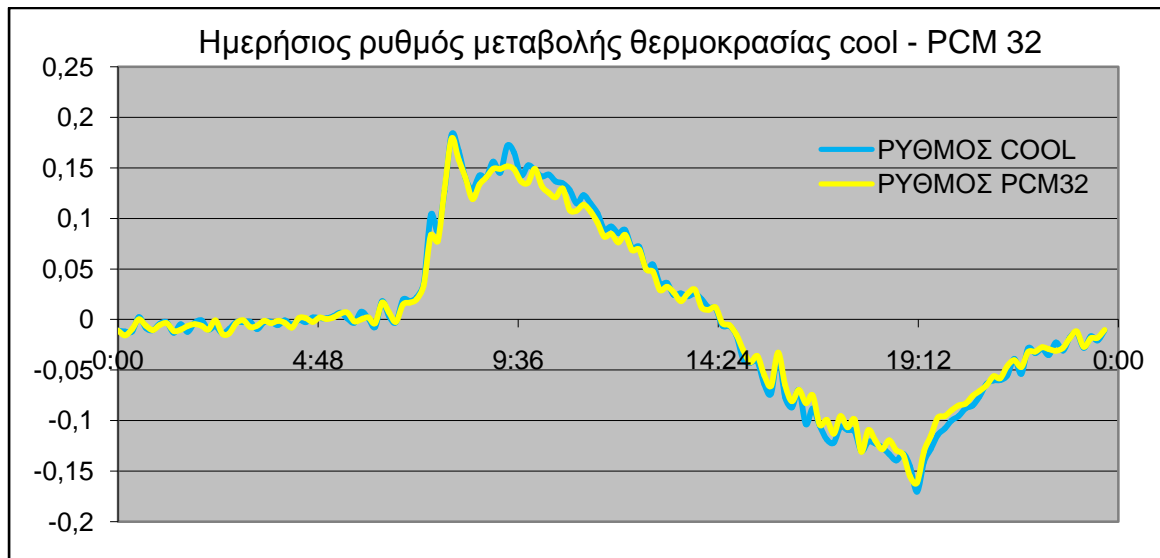


Διάγραμμα 1.39 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 52 για το χρονικό διάστημα 19:00-21:50.

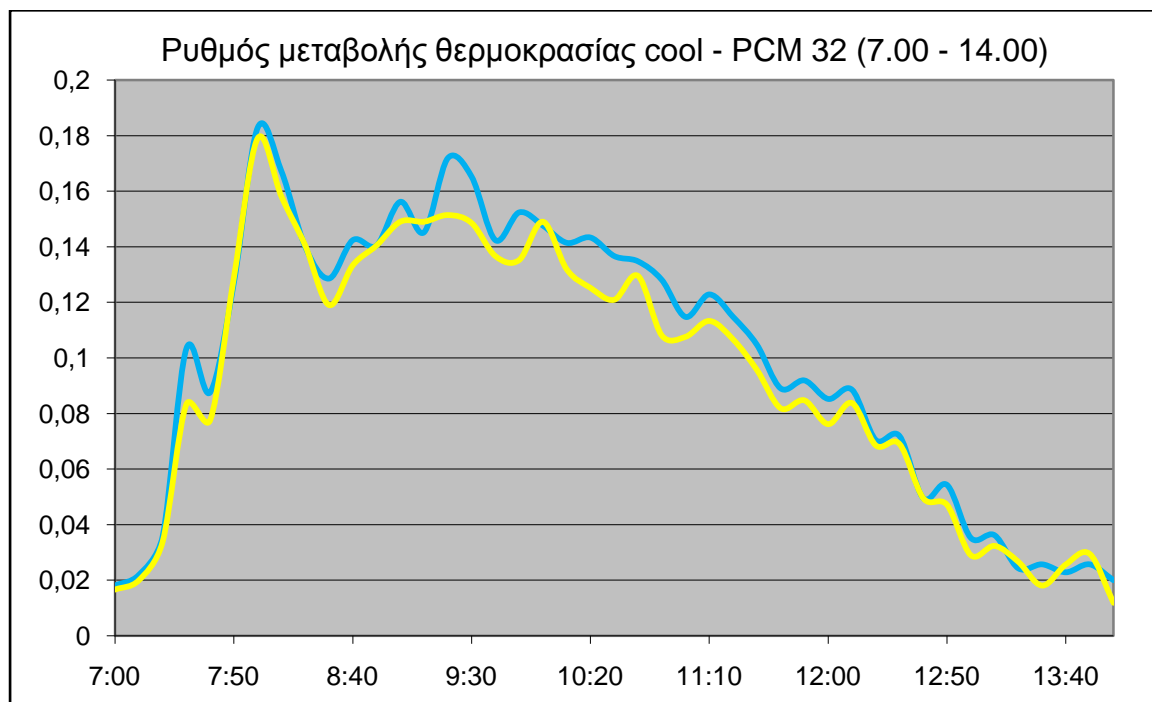
	Χρονική διάρκεια φόρτισης	Χρονική διάρκεια αποφόρτισης
PCM 52	8:10 – 12:50	19:20 – 21:40

2.2.4 ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ ΠΡΑΣΙΝΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

PCM 32

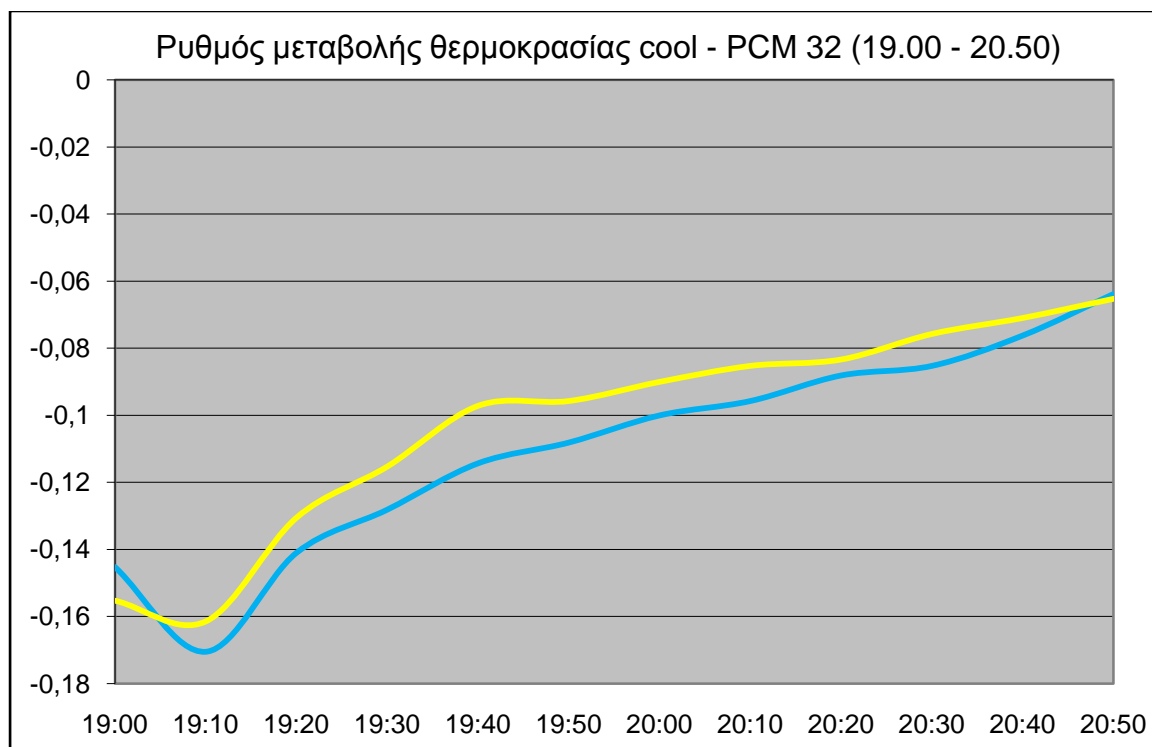


Διάγραμμα 1.40 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 32.



Διάγραμμα 1.41 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 32 για το χρονικό διάστημα 7:00-14:00.

Από το διάγραμμα 1.41 όπου έχουν απομονωθεί χρονικά οι ρυθμοί μεταβολής της θερμοκρασίας δεν είναι εφικτό να εξάγουμε αξιόπιστα συμπεράσματα για τη χρονική διάρκεια φόρτισης του PCM 32 πράσινης απόχρωσης. Η καμπύλη που αντιστοιχεί στο ρυθμό μεταβολής του PCM 32 δεν φαίνεται να διαφοροποιείται ουσιαστικά από το αντίστοιχο cool δείγμα για κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Οι όποιες διαφοροποιήσεις δεν ακολουθούν κάποια λογική συνέχεια και δεν παρουσιάζουν την απαιτούμενη χρονική διάρκεια και ένταση ώστε να εντοπίσουμε τη χρονική διάρκεια φόρτιση του PCM 32 πράσινης απόχρωσης.

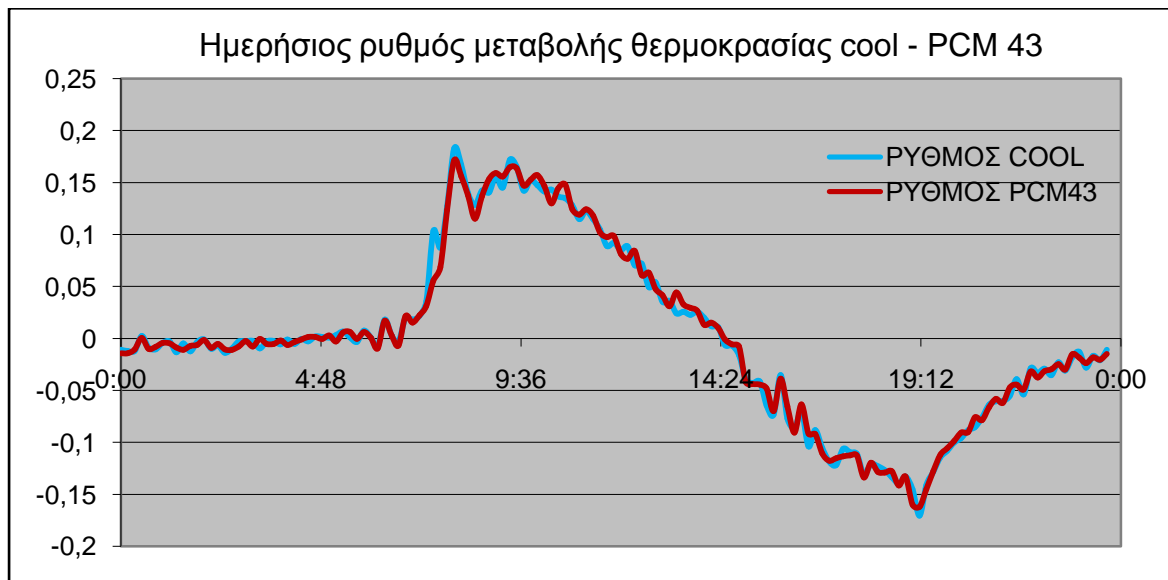


Διάγραμμα 1.42 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 32 για το χρονικό διάστημα 19:00-20:50.

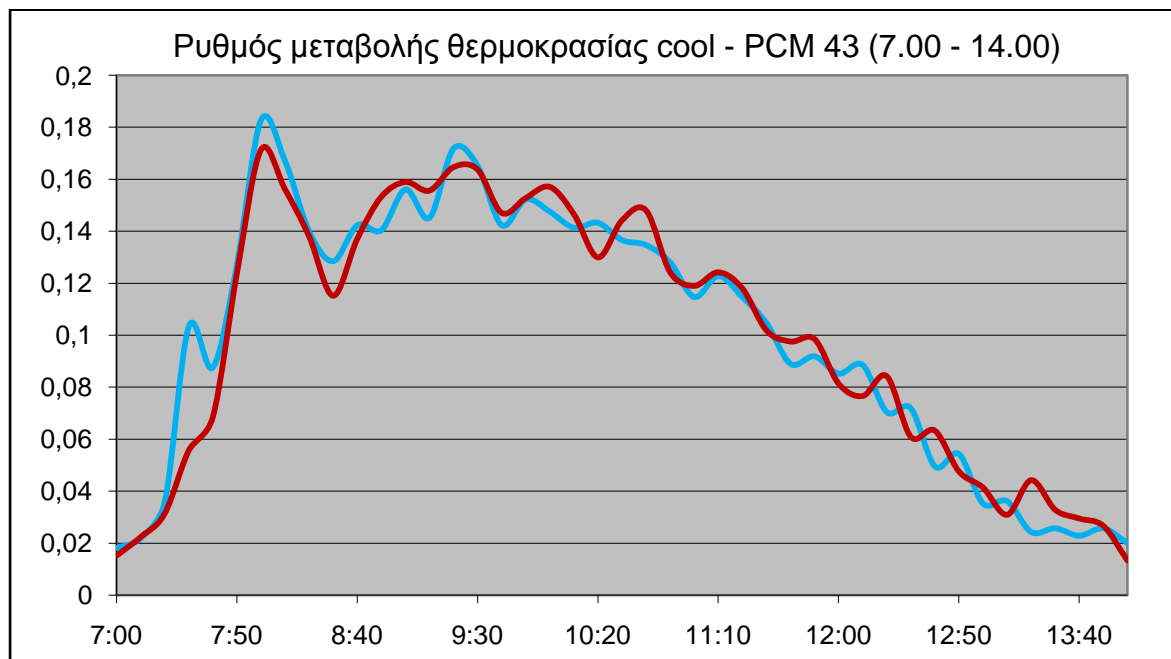
Συμπερασματικά για το δείγμα PCM 32 πράσινης απόχρωσης έχουμε :

	Χρονική διάρκεια φόρτισης	Χρονική διάρκεια αποφόρτισης
PCM 32	απροσδιόριστο	19:10 – 20:40

PCM 43

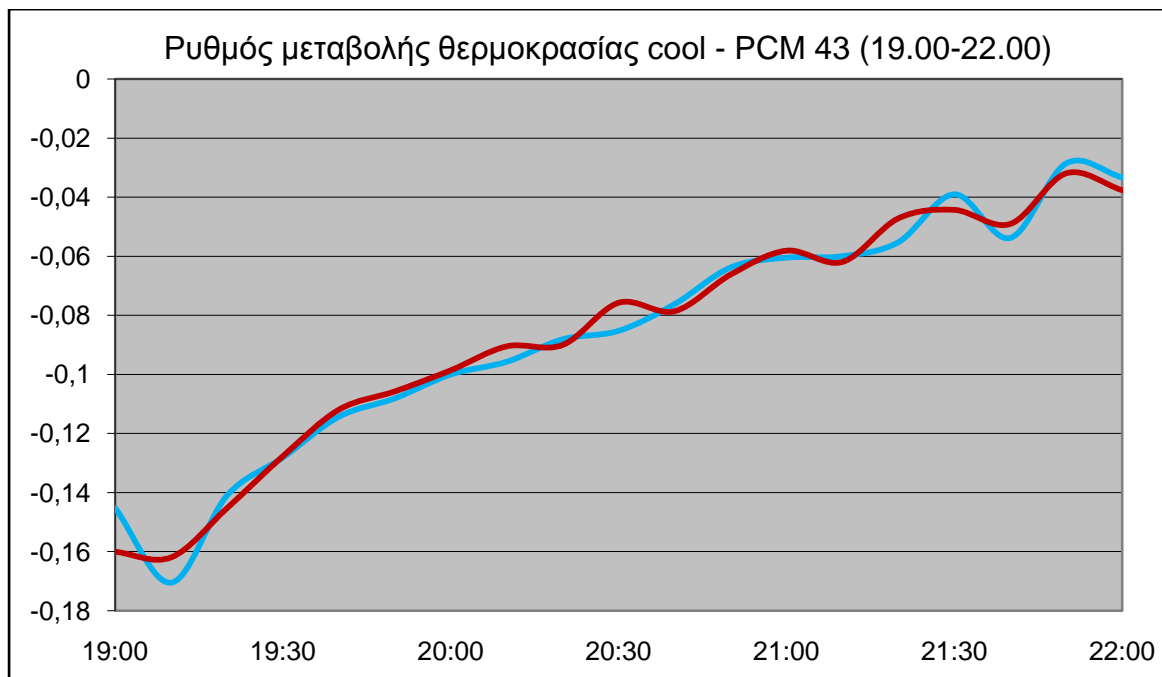


Διάγραμμα 1.43 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 43.



Διάγραμμα 1.44 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 43 για το χρονικό διάστημα 7:00-14:00.

Όπως και από το διάγραμμα 1.41 έτσι και από το διάγραμμα 1.44 δεν μπορούμε να εξάγουμε αξιόπιστα συμπεράσματα για το χρονικό διάστημα φόρτισης του PCM 43 πράσινης απόχρωσης. Οι ρυθμοί μεταβολής των δύο δειγμάτων δεν φαίνεται να παρουσιάζουν για κάποιο χρονικό διάστημα την απαιτούμενη διαφοροποίηση που θα αποδιδόταν στη χρονική διάρκεια φόρτισης του ως προς μελέτη δείγματος.

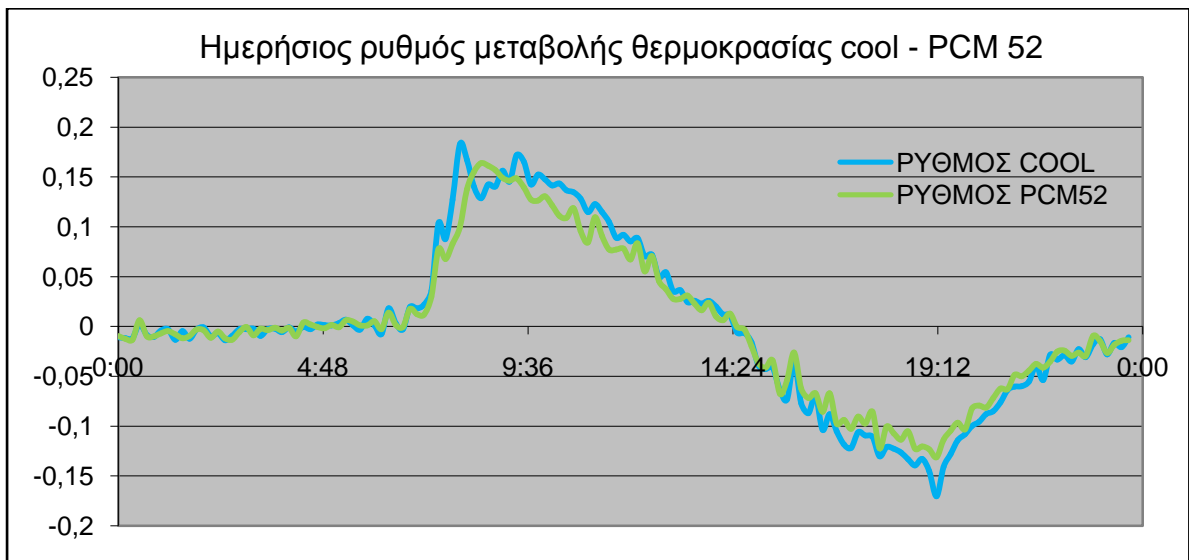


Διάγραμμα 1.45 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 43 για το χρονικό διάστημα 19:00-22:00.

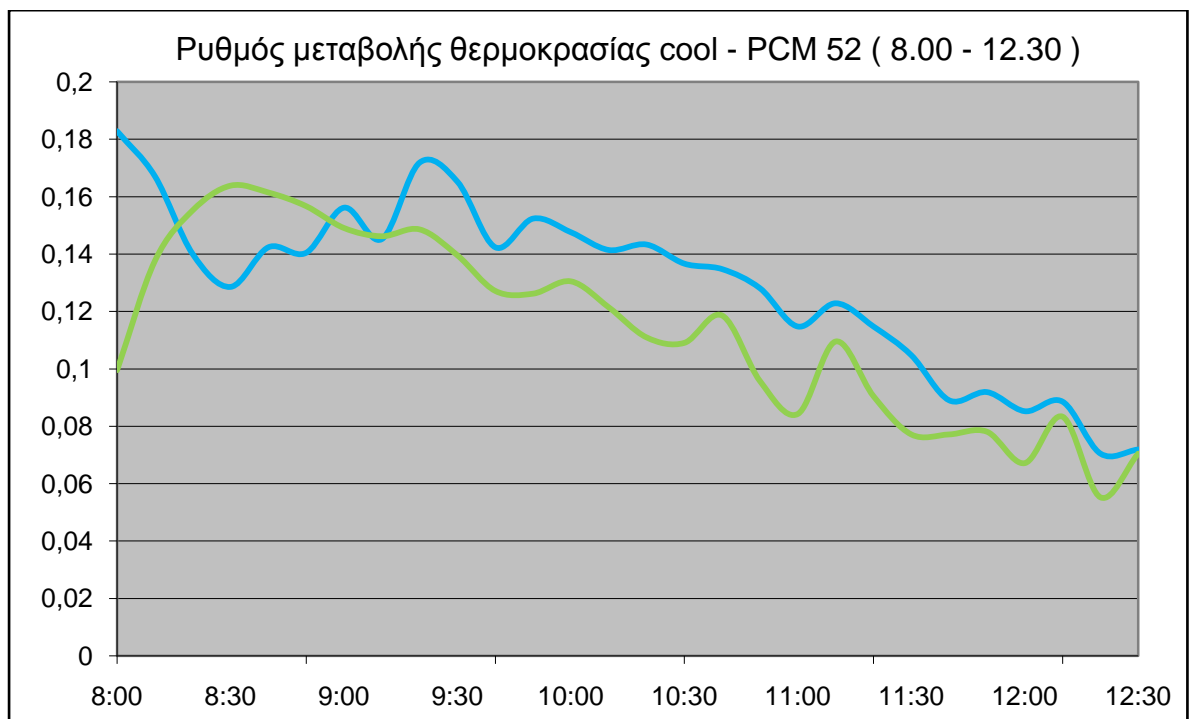
Όπως και από το διάγραμμα 1.44 δεν καταφέραμε να προσδιορίσουμε τη χρονική διάρκεια φόρτισης έτσι και από το διάγραμμα 1.45 δεν διαπιστώνεται αξιοσημείωτη διαφοροποίηση των ρυθμών μεταβολής της θερμοκρασίας κατά τις απογευματινές ώρες ώστε να προσδιοριστεί χρονικά η αποφόρτιση του δείγματος PCM 43 πράσινης απόχρωσης.

	Χρονική διάρκεια φόρτισης	Χρονική διάρκεια αποφόρτισης
PCM 43	απροσδιόριστο	απροσδιόριστο

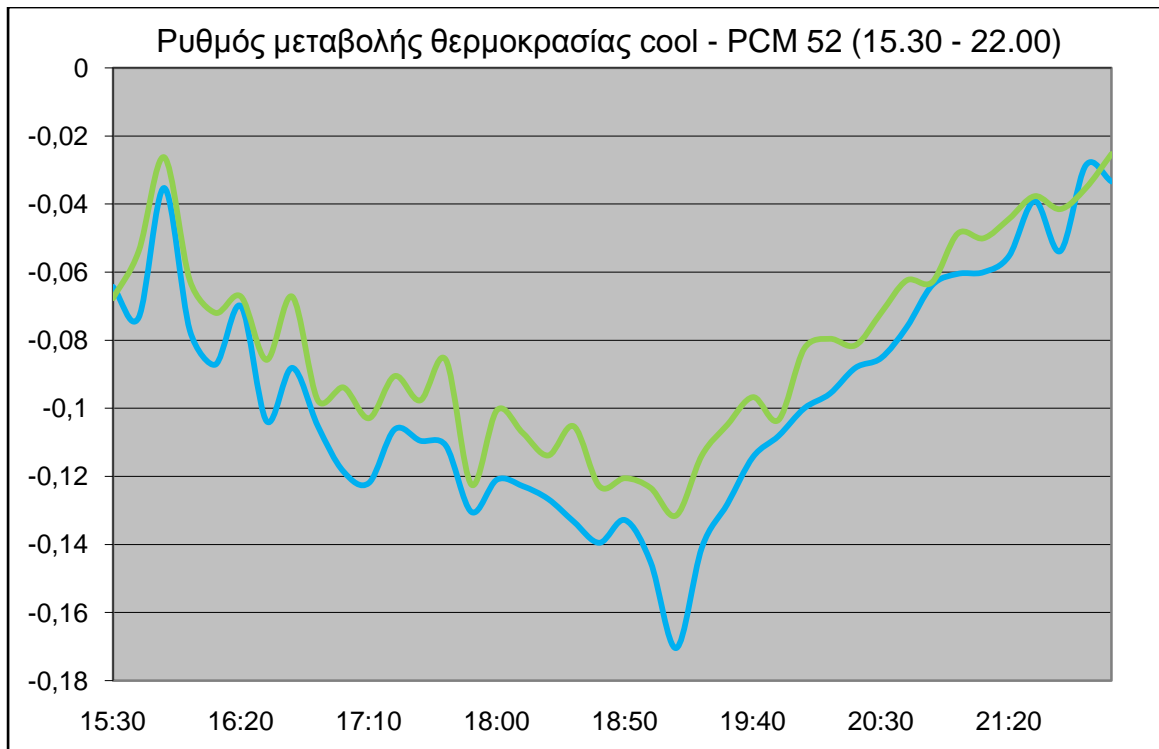
PCM 52



Διάγραμμα 1.46 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 52.



Διάγραμμα 1.47 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 52 για το χρονικό διάστημα 8:00-12:30.



Διάγραμμα 1.48 : Ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας cool-PCM 52 για το χρονικό διάστημα 15:30-22:00.

Τέλος για το δείγμα PCM 52 πράσινης απόχρωσης καταλήξαμε στα εξής συμπεράσματα :

	Χρονική διάρκεια φόρτισης	Χρονική διάρκεια αποφόρτισης
PCM 52	8:10 – 12:30	απροσδιόριστο

2.2.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάσαμε το ρυθμό μεταβολής της θερμοκρασίας των επιφανειών που βάψαμε με επικαλύψεις που περιείχαν cool και PCM πιγμέντο με σκοπό να καθορίσουμε το χρονικό εύρος λειτουργίας των PCM. Ως γνωστό οι cool επικαλύψεις παρουσιάζουν χαμηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες από τις κοινές λόγω της αυξημένης ανακλαστικότητας τους στην ηλιακή ακτινοβολία. Αντίθετα με τις cool , οι PCM επικαλύψεις βασίζονται στη μείωση της επιφανειακής τους θερμοκρασίας στην αποθήκευση θερμότητας σε λανθάνουσα μορφή. Στην ιδιότητα αυτή όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο οφείλεται η διαφορά στην καμπύλη της ημερήσιας πορείας επιφανειακής θερμοκρασίας μεταξύ των cool και PCM επικαλύψεων. Παρόλα αυτά από τη μελέτη των διαγραμμάτων της επιφανειακής θερμοκρασίας με το χρόνο δεν κατέστη δυνατό να βγουν αξιόπιστα συμπεράσματα για το χρονικό διάστημα λειτουργίας των PCM και έτσι καταφύγαμε στον έλεγχο των ρυθμών μεταβολής της επιφανειακής θερμοκρασίας των δειγμάτων.

Συγκρίνοντας τους ρυθμούς μεταβολής της θερμοκρασίας των PCM με την αντίστοιχη cool επικάλυψη ίδιας απόχρωσης διαπιστώσαμε πως υπάρχουν χρονικά διαστήματα όπου ο ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας του εκάστοτε PCM pcm δείγματος διέφερε αισθητά από το αντίστοιχο cool. Στα χρονικά διαστήματα αυτά όπου ο ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας των PCM επικαλύψεων γίνεται μικρότερος από αυτόν της PCM επικάλυψης η επιφανειακή θερμοκρασία των PCM δειγμάτων αυξάνει λιγότερο γεγονός που οφείλεται στην φόρτιση τους. (αλλαγή φάσης του PCM υλικού). Με ανάλογο τρόπο διαπιστώσαμε και καθορίσαμε το χρονικό διάστημα αποφόρτισης των PCM επικαλύψεων.

Επισημαίνουμε ότι τα χρονικά διαστήματα που παρατηρήθηκαν και καταγράφηκαν δεν μπορεί να είναι ακριβή διότι η ταύτιση των ρυθμών μεταβολής δεν είναι ποτέ πλήρης. Κατά συνέπεια ο χρόνος φόρτισης και αποφόρτισης που παρουσιάζεται για κάθε δείγμα δεν έχει απόλυτο χαρακτήρα αλλά προσπαθεί να δώσει μια ποιοτική εικόνα για το χρονικό εύρος λειτουργίας των PCM . Τα συμπεράσματα από τη μελέτη των ρυθμών μεταβολής των επιφανειακών θερμοκρασιών των δειγμάτων συνοψίζονται στον πίνακα 1.9.

ΧΡΩΜΑ	PCM	Χρονική διάρκεια φόρτισης	Χρονική διάρκεια αποφόρτισης
ΜΑΥΡΟ	PCM 32	8:10 – 10:00	19:20 – 20:40
	PCM 43	8:10 – 9:30	19:20 – 20:30
	PCM 52	8:10 – 12:30	19:20 – 21:40
ΚΑΦΕ	PCM 32	8:20 – 12:00	19:20 – 21:30
	PCM 43	8:20 – 10:30	19:00 – 20:50
	PCM 52	8:10 – 9:40	19:50 – 21:30
ΜΠΛΕ	PCM 32	8:10 – 9:50	19:20 – 21:30
	PCM 43	8:30 – 10:30	19:10 – 20:20
	PCM 52	8:10 – 12:50	19:20 – 21:40
ΠΡΑΣΙΝΟ	PCM 32	απροσδιόριστο	19:10 – 20:40
	PCM 43	απροσδιόριστο	απροσδιόριστο
	PCM 52	8:10 – 12:30	απροσδιόριστο

Πίνακας 1.9 : Εκτιμώμενα χρονικά διαστήματα φόρτισης – αποφόρτισης PCM.

Από τη σύγκριση των διαγραμμάτων που αποδίδουν τους ρυθμούς μεταβολής της επιφανειακής θερμοκρασίας για τα δείγματα cool και PCM διαπιστώνουμε πως για τα χρονικά διαστήματα της πρώτης στήλης του πίνακα 1.9 ο ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας, προς μεγαλύτερες τιμές θερμοκρασίας, μιας επικάλυψης PCM είναι μικρότερος από τον ρυθμό μεταβολής της θερμοκρασίας επικάλυψης cool. Σύμφωνα με τα παραπάνω οδηγηθήκαμε στο συμπέρασμα ότι τα εν λόγω χρονικά διαστήματα είναι αυτά στα οποία τα PCM φορτίζονται. Παρατηρώντας τη χρονική διάρκεια φόρτισης που προσδιορίσαμε, διαπιστώνουμε ότι όσο υψηλότερο το σημείο τήξης του PCM, για κάποια απόχρωση, τόσο μεγαλύτερη είναι η χρονική διάρκεια φόρτισης. Για παράδειγμα το PCM 32 μπλε χρώματος φορτίζεται το χρονικό διάστημα 8:10 – 9:50, το PCM 43 φορτίζεται το χρονικό διάστημα 8:30 – 10:30 ενώ το PCM 52 της ίδιας απόχρωσης έχει ακόμα μεγαλύτερη χρονική διάρκεια φόρτισης 8:10 – 12:50. Εξάιρεση αποτελεί το PCM καφέ απόχρωσης.

Κατά αναλογία με τα παραπάνω διαπιστώθηκε επίσης πως μικρότερους ρυθμούς μεταβολής θερμοκρασίας, προς χαμηλότερες θερμοκρασίες, διατήρησαν οι επικαλύψεις PCM συγκρινόμενες με τις αντίστοιχες cool για τα χρονικά διαστήματα που παρουσιάζονται στη δεύτερη στήλη του πίνακα 1.9. Σύμφωνα με αυτή την παρατήρηση συμπεραίνουμε ότι στα χρονικά διαστήματα της δεύτερης στήλης του πίνακα 1.9 τα PCM αποφορτίζονται εκλύοντας την αποθηκευμένη θερμότητα προς το περιβάλλον.

Σημειώνουμε τέλος πως όπου στον πίνακα 1.9 δηλώνεται απροσδιοριστία δεν ήταν εφικτό να εξαγάγουμε κάποιο αξιόπιστο συμπέρασμα για τα εν λόγω χρονικά διαστήματα.

Σε παλαιότερη διπλωματική εργασία που εκπονήθηκε τον Αύγουστο του 2008 μελετήθηκαν PCM επικαλύψεις με σημεία τήξης 18°C , 24°C και 28°C και περιεκτικότητας 100 και 150gr. Συνολικά στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν 18 επικαλύψεις με PCM 6 διαφορετικών αποχρώσεων. Περιοριζόμενοι στις PCM επικαλύψεις περιεκτικότητας 150gr και όμοιων αποχρώσεων με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στη δική μας πειραματική εργασία είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον να πραγματοποιηθεί μια σύγκριση ώστε να σημειωθούν και να διερευνηθούν τυχόν ομοιότητες και διαφορές.

Η σύγκριση των μέσων, μέσων μέγιστων και μέσων ελάχιστων επιφανειακών θερμοκρασιών αποφεύγεται διότι οι καιρικές συνθήκες και η θερμοκρασία περιβάλλοντος, αν και μετρήσαμε τον ίδιο μήνα του έτους, ήταν διαφορετικές και έτσι η σύγκριση μπορεί να οδηγήσει σε παρανοήσεις και λανθασμένα συμπεράσματα. Παραθέτουμε σε πίνακες τα αποτελέσματα των μετρήσεων για τη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ των κοινών – PCM καθώς και των cool – PCM επικαλύψεων και των δυο εργασιών, που είναι ανεξάρτητα των μετεωρολογικών συνθηκών, και έτσι έμμεσα θα διερευνήσουμε την αποδοτικότητα των PCM.

Εν συνεχεία αναπαράγουμε και παραθέτουμε συνοπτικά τα συμπεράσματα της παλαιότερης εργασίας σχετικά με τα χρονικά διαστήματα φόρτισης και αποφόρτισης των PCM και τα συγκρίνουμε με δικά μας εξαγόμενα.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΤΑΞΥ ΚΟΙΝΩΝ – PCM ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΩΝ

	ΧΡΩΜΑ	PCM52	PCM43	PCM32	PCM28	PCM24	PCM18
ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΟΙΝΟ - PCM	ΜΑΥΡΟ	1,6	1,6	1,4	4,0	2,8	2,9
	ΚΑΦΕ	2,7	2,4	2,8	1,7	3,1	3,2
	ΜΠΛΕ	2,9	1,0	2,4	3,7	3,0	3,4
	ΠΡΑΣΙΝΟ	4,1	2,2	3,2	2,2	2,0	2,2
ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΣΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΟΙΝΟ - PCM	ΜΑΥΡΟ	7,2	5,3	5,0	7,6	5,6	6,2
	ΚΑΦΕ	9,1	6,4	7,0	3,7	4,7	3,4
	ΜΠΛΕ	8,6	4,1	6,1	6,6	5,6	6,4
	ΠΡΑΣΙΝΟ	10,2	6,5	8,4	5,3	5,1	4,3

Πίνακας 1.10 : Θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ κοινής και PCM επικαλύψεων εργασία 2012 -εργασία2008.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΤΑΞΥ COOL – PCM ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΩΝ

	ΧΡΩΜΑ	PCM52	PCM43	PCM32	PCM28	PCM24	PCM18
ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ COOL - PCM	ΜΑΥΡΟ	0,7	0,7	0,5	1,6	0,4	0,5
	ΚΑΦΕ	1,2	0,9	1,3	0,3	1,7	1,8
	ΜΠΛΕ	2,0	0,1	1,5	2,2	1,5	1,9
	ΠΡΑΣΙΝΟ	2,9	1,0	2,0	1,3	1,1	1,2
ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΣΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ COOL - PCM	ΜΑΥΡΟ	2,5	0,4	0,1	2,9	0,9	1,5
	ΚΑΦΕ	5,4	2,7	2,5	0,8	1,9	0,5
	ΜΠΛΕ	5,5	1,0	3,0	1,1	1,1	1,9
	ΠΡΑΣΙΝΟ	3,7	0,0	1,9	2,0	1,9	1,1

Πίνακας 1.11 : Θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ cool και PCM επικαλύψεων εργασία 2012 - εργασία 2008.

Από τον πίνακα 1.10 που παρουσιάζονται οι θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ κοινής και PCM επικαλύψεων τόσο για τις μέσες όσο και για τις μέσες μέγιστες τιμές παρατηρούμε πως στις μέσες θερμοκρασιακές διαφορές το σημείο τήξης (λειτουργίας) των PCM δεν διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο και έτσι από τις θερμοκρασιακές διαφορές που μετρήθηκαν δεν μπορεί να προκύψει κάποιο συμπέρασμα. Αντιθέτως παρατηρώντας τις θερμοκρασιακές διαφορές για τις μέσες μέγιστες τιμές αντιλαμβανόμαστε πως αυξανόμενης της θερμοκρασίας τήξης του PCM αυξάνεται και η εμφανιζόμενη θερμοκρασιακή διαφορά. Ανάλογα συμπεράσματα με μικρότερη όμως ένταση εμφανίζονται και στον πίνακα 1.11 όπου παρουσιάζονται οι θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ cool και PCM επικαλύψεων. Εξαίρεση αποτελεί η μαύρη απόχρωση η οποία δείχνει να μην ακολουθεί τη συμπεριφορά των υπολοίπων και έτσι δεν μπορούμε να αποφανθούμε για αυτή.

Συμπερασματικά καταλήγουμε στο ότι σε ότι αφορά τις μέσες θερμοκρασιακές διαφορές όπου συνυπολογίζονται και οι νυχτερινές θερμοκρασίες τα PCM προσφέρουν γενικά θερμοκρασιακή μείωση σε σχέση με τις κοινές και επιπρόσθετη μείωση συγκρινόμενα με τις cool επικαλύψεις που όμως η μείωση αυτή δεν εξαρτάται από τη θερμοκρασία τήξης του PCM υλικού και κατ' επέκταση τη χρονική διάρκεια λειτουργίας του. Σε ότι όμως αφορά τις θερμοκρασιακές διαφορές των μέγιστων τιμών θερμοκρασίας με εξαίρεση τη μαύρη απόχρωση οι PCM επικαλύψεις που δείχνουν να λειτουργούν καλύτερα όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία λειτουργίας τους με αποδοτικότερη όλων αυτή με το υψηλότερο σημείο τήξης των 52°C.

Τέλος σύμφωνα με την εργασία του 2008 μετά από μελέτη των ρυθμών μεταβολής της θερμοκρασίας των δειγμάτων στην προσπάθεια εύρεσης του χρονικού διαστήματος φόρτισης των PCM διαπιστώθηκε ότι το ζητούμενο χρονικό διάστημα είναι από τις 7:00 έως τις 9:40 ενώ για την αποφόρτιση δεν εξήχθησαν συμπεράσματα. Συγκρίνοντας τα χρονικά διαστήματα που βρήκαμε και παραθέσαμε στον πίνακα 1.9 για τα PCM 32 , 43 και 52°C μπορούμε να συμπεράνουμε πως το χρονικό διάστημα φόρτισης των PCM υψηλότερου σημείου τήξης μετατοπίστηκε προς το μεσημέρι και μάλιστα όσο υψηλότερο το σημείο τήξης τόσο μεγαλύτερη η χρονική διάρκεια φόρτισης του δείγματος. Σύμφωνα με την παρατήρηση αυτή μπορεί να δικαιολογηθεί η αυξημένη θερμοκρασιακή διαφορά που εμφανίζεται στις μέγιστες επιφανειακές θερμοκρασίες στα pcm υψηλότερου σημείου τήξης. Έτσι βλέπουμε ότι PCM επικαλύψεις υψηλότερου σημείου τήξεως φορτίζονται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και πλησιέστερα στις μεσημβρινές ώρες όπου και παρουσιάζονται οι μέγιστες επιφανειακές θερμοκρασίες αλλά και οι μέγιστες θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Με τον τρόπο αυτό καταφέρνουν να μειώνουν , αποθηκεύοντας λανθάνουσα θερμότητα σε καταλληλότερη χρονική στιγμή , ακόμα περισσότερο τις μέγιστες τιμές θερμοκρασίας των επικαλύψεων από τα PCM χαμηλότερου σημείου τήξης.

2.3 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε με σκοπό τη διερεύνηση της δυνατότητας , των επικαλύψεων που περιέχουν υλικά PCM , για μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας υλικών που δύναται να χρησιμοποιηθούν στον αστικό ιστό (υλικά δόμησης , στέγαστρα κτλ.). Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν δείγματα επικαλυμμένα με χρώματα που περιέχουν PCM υλικά τα οποία συγκρίθηκαν με κοινά χρώματα εμπορίου καθώς και με δείγματα επικαλυμμένα με cool υλικά που προσφέρουν αυξημένη ανακλαστικότητα στην υπέρυθη ακτινοβολία. Η σύγκριση που έγινε αφορούσε τις μέσες , τις μέσες μέγιστες και τις μέσες ελάχιστες επιφανειακές θερμοκρασίες των δειγμάτων.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν ότι όλες οι επικαλύψεις με PCM ανεξαρτήτως σημείου τήξεως και χρωματικής απόχρωσης παρουσιάζουν χαμηλότερες μέσες επιφανειακές θερμοκρασίες σε σχέση με τις κοινές όπως επίσης και σε σχέση με τις αντίστοιχες cool επικαλύψεις. Σε ότι αφορά τις μέσες μέγιστες επιφανειακές θερμοκρασίες οι επιφανειακές μειώσεις θερμοκρασίας είναι ακόμα μεγαλύτερες. Για τις μέσες ελάχιστες επιφανειακές θερμοκρασίες δεν εντοπίστηκε καμία ουσιαστική διαφοροποίηση.

Πέραν τούτου συγκρίθηκαν οι ρυθμοί μεταβολής της επιφανειακής θερμοκρασίας των δειγμάτων cool με τα αντίστοιχα PCM προς εύρεση του χρονικού διαστήματος λειτουργίας των υλικών αλλαγής φάσης. Από τη μελέτη αυτή διαπιστώθηκε διαφοροποίηση σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα τα οποία φαίνεται να είναι τα χρονικά διαστήματα που λαμβάνει χώρα η αλλαγή φάσης (υγροποίηση / στερεοποίηση) των υλικών PCM στις επικαλύψεις (φόρτιση / αποφόρτιση).

Τέλος συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα των μετρήσεων μας με μετρήσεις που έγιναν παλαιότερα σε PCM υλικά χαμηλότερου σημείου τήξεως . Από τη σύγκριση αυτή διαπιστώθηκε πως η αναμενόμενη χρονική μετατόπιση ενεργοποίησης των PCM υλικών υψηλότερων σημείων τήξης προς τις μεσημβρινές ώρες επιτυγχάνει μεγαλύτερη θερμοκρασιακή διαφορά σε ότι αφορά τις μέγιστες επιφανειακές τιμές θερμοκρασίες των δειγμάτων. Στο φαινόμενο αυτό βέβαια μέχρι και στο PCM 52 που χρησιμοποιήσαμε δεν παρατηρήθηκε αναστροφή της αποτελεσματικότητας ώστε να διαπιστωθεί η βέλτιστη επιθυμητή θερμοκρασία λειτουργίας των PCM.

Η εργασία αυτή δεν αποτελεί πανάκεια στη μελέτη των υλικών αλλαγής φάσης εφόσον σε πολλά θέματα δεν μπορέσαμε να εξαγάγουμε ασφαλή συμπεράσματα ενώ σε κάποιες μετρήσεις δεν καταφέραμε να διαπιστώσουμε κάποια συστηματικότητα και επαναληπτικότητα. Μελλοντικές εργασίες θα μπορούσαν να μελετήσουν υλικά αλλαγής φάσης ακόμα υψηλότερου σημείου τήξεως προς εύρεση της βέλτιστης επιθυμητής θερμοκρασίας τήξης ή/και συσχέτισης των μετεωρολογικών συνθηκών (θερμοκρασία περιβάλλοντος , υγρασία και πίεση) . Επίσης ενδιαφέρον θα ήταν να μελετηθεί η συμπεριφορά των PCM κατά τη διάρκεια του χειμώνα ώστε να διαπιστωθεί κατά πόσο η απώλεια θέρμανσης τους χειμερινούς μήνες μπορεί να εξισορροπηθεί οικονομικά από το όφελος που παρουσιάζεται τους θερινούς μήνες.

ΠΗΓΕΣ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Οικολογική αρχιτεκτονική. Κώστας και Θέμης Στεφ. Τσίπηρας.
2. <http://www.ypeka.gr> (Υπουργείο ανάπτυξης)
3. Εξοικονόμηση και διαχείριση ενέργειας. Μιχάλης Κτενιαδάκης.
4. http://www.cres.gr/kape/index_gr.htm (Κ.Α.Π.Ε.)
5. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home> (Eurostat)
6. <http://buildinggreen.gr> (building green / δόμηση – ενέργεια – περιβάλλον)
7. Σημειώσεις εισαγωγής στη φυσική ατμόσφαιρας. Κ. Βαρώτσος – Γ. Καρράς.
8. Αρχές της μετάδοσης θερμότητας. Κωσταντίνος – Στέφανος Παν. Νίκας
9. Μεταφορά θερμότητας. Donald Pitts – Leighton Sissom. Σειρά Schaum.
10. Μοριακή φυσική – θερμοδυναμική . Χρήστος Τρικαλινός.
11. A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment.
A. Synnefa *, M. Santamouris, I. Livada
12. <http://www.coolroofs-eu.eu/>
13. <http://coolroofs-eu-crc.eu/>
14. Μελέτη ενεργειακών και περιβαλλοντικών λύσεων για την αντιμετώπιση του φαινομένου της θερμικής νησίδας. Συννεφά Αφροδίτη. (Διδακτορική διατριβή).

