



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

## ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΧΗ ΡCΜ ΥΛΙΚΩΝ



Εκπόνηση: Πέτρος Πρίφτης  
Επιβλέπων: Νίκος Σακκάς

Ηράκλειο 2018



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

## Περιεχόμενα

Περιεχόμενα για φωτογραφίες .....	3
Διαγράμματα.....	4
Πίνακες.....	4
Ευχαριστίες.....	4
Περίληψη .....	5
Abstract .....	6
<b>1 Εισαγωγή.....</b>	<b>6</b>
<b>2 Χαρακτηριστικά και βασικές ιδιότητες των pcm.....</b>	<b>8</b>
2.1 Βασικές κατηγορίες υλικών αλλαγής φάσης.....	9
2.1.1 Οργανικά: παραφίνες και μη παραφίνες.....	9
2.1.2 Τα ανόργανα ενυδρά άλατα.....	10
2.1.3 Εύτηκτα υλικά.....	11
2.2 Κριτήρια επιλογής pcm .....	12
2.2.1 Θερμικές και φυσικές ιδιότητες .....	13
2.2.2 Κινητικές ιδιότητες .....	13
2.2.3 Χημικές ιδιότητες .....	14
2.2.4 Περιβαλλοντικές ιδιότητες.....	14
2.3 Τρόποι αποθήκευσης θερμικής ενέργειας στα υλικά αλλαγής φάσης .....	14
2.4 Μετρήσεις θερμικών ιδιοτήτων των υλικών αλλαγής φάσης .....	17
2.4.1 Μέτρηση με θερμιδομετρία (DSC).....	17
2.4.2 Μέτρηση με θερμική ανάλυση (DTA).....	19
2.4.3 «T-history method» .....	20
2.5 Τεχνικές και εξοπλισμός για υπολογισμούς θερμικής αγωγιμότητα .....	21
2.6 Θερμική σταθερότητα.....	22
2.7 Τεχνικές βελτιστοποίησης μεταφοράς θερμότητας.....	23
<b>3 Κατασκευή με τοποθέτηση pcm .....</b>	<b>24</b>
3.1 Κτίρια ως θερμοδυναμικά συστήματα .....	24
3.2 Ελαφριά και βαριά κατασκευή.....	26
3.3 Καθημερινή βελτιστοποίηση κύκλου εναλλαγής φάσης .....	28
3.4 Τοποθέτηση υλικών αλλαγής φάσης για αποφυγή διαρροής.....	30
3.5 Τα ιδανικά υλικά για οικοδομικές εφαρμογές.....	33
3.6 Παθητικός τρόπος αποθήκευσης ενέργειας σε κτήρια .....	35
3.7 Υλικό αλλαγής φάσης με χρήση τοιχοποιίας Trombe.....	37
3.8 Τοίχοι ενισχυμένοι με υλικά αλλαγής φάσης .....	38
3.9 Γυψοσανίδες με εφαρμογή pcm .....	40
3.9.1 Βασικοί τύποι για υπολογισμούς υλικών pcm σε γυψοσανίδα.....	43
3.10 Οικοδομικά υλικά μόνωσης προσαρμοσμένα με υλικά αλλαγής φάσης.....	45
3.11 Ενσωμάτωση υλικού αλλαγής φάσης σε τούβλα .....	47
3.12 Υλικό αλλαγής φάσης με σκυρόδεμα .....	48
3.13 Υλικό αλλαγής φάσης σε ενδοδαπέδια .....	51
3.14 Υλικό αλλαγής φάσης σε οροφές με συστήματα ψύξης .....	53
3.15 Ηλιακά συστήματα θέρμανσης με υλικά αλλαγής φάσης .....	56
3.16 Παράθυρα με υλικά αλλαγής φάσης.....	56
3.17 Υλικό αλλαγής φάσης σε σωλήνες.....	57



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

<b>4</b>	<b>Υπολογιστικά μοντέλα.....</b>	<b>58</b>
4.1	TRNSYS .....	58
4.2	Energy plus .....	59
4.3	Esp-r .....	60
4.4	Bsim .....	61
4.5	Pcm express .....	62
4.6	Compsol.....	64
<b>5</b>	<b>Κλιματικές συνθήκες.....</b>	<b>65</b>
<b>6</b>	<b>Εφαρμογή υλικών αλλαγής φάσης στην Ελλάδα.....</b>	<b>66</b>
6.1	Έρευνα σε παλιά οικοδομή για τοποθέτηση υλικού αλλαγής φάσης.....	68
6.1.1	Συμπεράσματα μετρήσεων.....	70
6.2	Έρευνα σε καινούρια οικοδομή για τοποθέτηση υλικού αλλαγής φάσης.....	71
6.2.1	Συμπεράσματα μετρήσεων.....	74
<b>7</b>	<b>Μελέτη πάνω σε υποθετικό γραφείο και τύποι υπολογισμών.....</b>	<b>75</b>
7.1	Θεωρητική αίθουσα γραφείου και απαραίτητα δεδομένα για την μελέτη.....	75
7.2	Υπολογισμός διάχυτης ακτινοβολίας.....	77
7.3	Ενεργός θερμοχωρητικότητα υπολογισμός.....	82
7.4	Υπολογισμός θερμοκρασίας υλικού αλλαγής φάσης.....	84
7.4.1	Υπολογισμός U1 ειδική θερμική διαπερατότητα και θερμοκρασία ανά ώρα Tt.....	85
7.5	Υπολογισμός θερμοροής.....	88
7.6	Αξιολόγηση ως προς το κόστος.....	90
7.6.1	Υπολογισμός κόστος τοίχου B.....	91
7.6.2	Υπολογισμός κόστος τοίχου A.....	92
<b>8</b>	<b>Τελικά συμπεράσματα.....</b>	<b>93</b>
<b>9</b>	<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>95</b>

## Περιεχόμενα για φωτογραφίες

ΕΙΚΟΝΑ 1 ΤΡΟΠΟΙ ΜΕ ΤΟΥΣ ΟΠΟΙΟΥΣ ΕΦΑΡΜΟΖΟΝΤΑΙ ΤΑ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ.....	8
ΕΙΚΟΝΑ 2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ .....	12
ΕΙΚΟΝΑ 3 ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΓΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ (DTA).....	19
ΕΙΚΟΝΑ 4 ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΓΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ (DTA).....	20
ΕΙΚΟΝΑ 5 ΒΑΣΙΚΗ ΙΔΕΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΟΥΝ ΤΑ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ .....	22
ΕΙΚΟΝΑ 6 Όλα τα είδη εφαρμογής PCM σε ένα κτίριο .....	26
ΕΙΚΟΝΑ 7 Μια ελαφρία κατασκευή στις Ελβετικές Άλπεις με υλικά αλλαγής φάσης .....	28
ΕΙΚΟΝΑ 8 Θερμικός κύκλος υλικών αλλαγής φάσης .....	30
ΕΙΚΟΝΑ 9 Η θερμική αποθήκευση είναι ίδια σε τρία διαφορετικά δομικά υλικά.....	37
ΕΙΚΟΝΑ 10 Trombe wall με υλικά αλλαγής φάσης .....	38
ΕΙΚΟΝΑ 11 Σχηματική απεικόνιση τοίχου με υλικά αλλαγής φάσης .....	40
ΕΙΚΟΝΑ 12 Ανακαίνιση σπιτιού με γυψοσανίδες εμπλουτισμένες με υλικά αλλαγής φάσης.....	43
ΕΙΚΟΝΑ 13 Γυψοσανίδα σε τομή με υλικά αλλαγής φάσης.....	45
ΕΙΚΟΝΑ 14 Γυαλινές μπάλες εμπλουτισμένες με υλικά αλλαγής φάσης.....	46
ΕΙΚΟΝΑ 15 Το υλικό αλλαγής φάσης τοποθετείται πάντα στη μέση .....	48
ΕΙΚΟΝΑ 16 Είδος υλικού αλλαγής φάσης αναμιγμένο με σκυρόδεμα.....	51
ΕΙΚΟΝΑ 17 Ενδοδαπέδια με υλικά αλλαγής φάσης .....	53
ΕΙΚΟΝΑ 18 Σχέδιο με τις τρεις στρώσεις του panel που εφαρμόζεται στις οροφές.....	56



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΕΙΚΟΝΑ 19 ΣΩΛΗΝΕΣ ΟΡΟΦΗΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΕΝΟΙ ΜΕ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ .....	58
ΕΙΚΟΝΑ 20 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ PCM ΤΟ ΟΠΟΙΟ ΔΕΙΧΝΕΙ ΤΟ ΠΩΣ ΣΥΝΔΕΕΤΑΙ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ TRNSYS. ....	59
ΕΙΚΟΝΑ 21 ΤΟ PCM EXPRESS ΕΙΝΑΙ ΕΝΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΓΙΑ ΚΤΙΡΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ. ....	64
ΕΙΚΟΝΑ 22 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ KÖRPERN GEIGER .....	66
ΕΙΚΟΝΑ 23 Η ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	73
ΕΙΚΟΝΑ 24 ΥΠΟΘΕΤΙΚΗ ΑΙΘΟΥΣΑ ΓΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ PCM .....	76
ΕΙΚΟΝΑ 25 ΆΜΕΣΗ ΔΙΑΧΥΤΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ .....	78

## Διαγράμματα

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΗΗΣ ΚΑΙ ΚΑΜΠΥΛΗ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΓΙΑ ΥΛΙΚΑ PCM .....	13
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΕΝΟΣ ΚΟΙΝΟΥ ΚΑΙ ΙΔΑΝΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ .....	15
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3 ΣΤΟ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΑΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΗΣ ΚΑΙ ΠΗΗΣ ΜΕ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΨΥΞΗΣ .....	17
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΣΕ ΒΡΟΧΟ ΤΗΗΣ ΚΑΙ ΠΗΗΣ.....	62
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ .....	69
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6 ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΑΝΟΙΧΤΟ .....	69
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7 ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ ΑΝΟΙΧΤΟ .....	70
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8 ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΔΥΟ ΚΤΙΡΙΑ .....	72
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΣΤΗΣ 20 ΜΑΪΟΥ. ....	81
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΔΙΑΧΥΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΩΡΑΣ ΣΤΗΣ 20 ΜΑΪΟΥ. ....	82
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11 ΚΑΜΠΥΛΗ ΕΝΕΡΓΟΥΣ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ .....	83
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12 ΚΑΜΠΥΛΗ ΕΝΕΡΓΟΥΣ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ PCM. ....	84
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ PCM ΑΝΑ ΩΡΑ ΚΑΤΑ ΤΗΣ 21 ΜΑΪΟΥ. ....	88
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14 Η ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΗΜΕΡΑΣ ΤΗΣ 20 ΜΑΗ .....	90

## Πίνακες

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 ΤΕΣΣΕΡΑ ΕΙΔΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΨΟΥΛΩΝ ΜΕ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ.....	33
ΠΙΝΑΚΑΣ 2 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ.....	34
ΠΙΝΑΚΑΣ 3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΝΕΟΔΜΗΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ .....	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 4 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΤΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΓΥΨΟΥ ΜΕ PCM ΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΨΥΞΗ.....	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 5 ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ Gb ΚΑΙ Gd. ....	79
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΟΥ ΠΑΙΡΝΕΙ ΤΟ PCM ΚΑΤΑ ΤΗΣ 20 ΜΑΪΟΥ .....	88

## Ευχαριστίες

Με αφορμή της εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες σε όλους εκείνους τους ανθρώπους που βοήθησαν στην ολοκλήρωση των



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

σπουδών μου, καθένας με το δικό του ξεχωριστό τρόπο. Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον επιβλέποντα καθηγητή μου, Κ. Νίκο Σακκά, για την ανάθεση του θέματος.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω πολύ τους συμφοιτητές μου για τη συνεργασία και για τη συνεχή ενθάρρυνση που είχαμε όλα αυτά τα όμορφα χρόνια που περάσαμε μαζί.

Τέλος, ευχαριστώ πολύ και από καρδιάς την οικογένειά μου για την αγάπη, τη διαρκή στήριξη και την κάθε είδους βοήθεια που μου προσέφεραν και μου προσφέρουν όλα αυτά τα χρόνια.

## Περίληψη

Η πτυχιακή που ακολουθεί με θέμα «αξιολόγηση κτιρίων και υποδοχή pcm υλικών» στόχο έχει να διατρέξει τις βιβλιογραφικές πηγές που αναδεικνύουν την αξία, αναγκαιότητα και χρήση των υλικών αλλαγής φάσης στο κατασκευαστικό κλάδο. Ξεκινάει με μια εισαγωγή στο κεφάλαιο 1 για τους λόγους τοποθέτησης του υλικού αλλαγής φάσης.

Ξεκινώντας στο κεφάλαιο 2 γίνεται αναφορά στα βασικά χαρακτηριστικά και στις βασικές ιδιότητες των pcm όπως βασικές κατηγορίες, τα κριτήρια επιλογής και τρόπους αποθήκευσης.

Στη συνέχεια στο κεφάλαιο 3, είναι το κεφάλαιο που εκεί μελετώνται τρόποι οι οποίοι χρησιμοποιούνται στο κατασκευαστικό κλάδο με την χρήση υλικών αλλαγής φάσης. Κάποιες από τις εφαρμογές που παρουσιάζονται παρακάτω είναι τεχνικές οι οποίες είτε εφαρμόζονται τώρα είτε είναι σε πειραματικό στάδιο. Στη παρούσα πτυχιακή αναφέρονται κάποιες από αυτές τις εφαρμογές.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται κάποια υπολογιστικά μοντέλα που είναι απαραίτητα για να υπάρχουν ακριβείς μετρήσεις οι οποίες είναι απαραίτητες για να βγει ένα καλό αποτέλεσμα. Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται μια μελέτη που έγινε στο πολυτεχνείο Κρήτης πάνω στα υλικά αλλαγής φάσης.

Το κεφάλαιο 5 παρουσιάζει τον λόγο τον οποίο οι κλιματικές συνθήκες είναι απαραίτητες να συμπεριληφθούν στη μελέτη ώστε υπάρχει ένα καλύτερο αποτέλεσμα. Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται μια έρευνα που έκανε το πανεπιστήμιο Κρήτης για τοποθέτηση pcm.

Το κεφάλαιο 7 είναι το βασικό κεφάλαιο μελέτης και εκεί παρουσιάζεται μια μελέτη τοποθέτησης αλλά και κόστους πάνω σε μια αίθουσα. Το κεφάλαιο 8 αναφέρονται κάποια συμπεράσματα για το pcm και τέλος στο 9 βρίσκεται η βιβλιογραφία.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

*Λέξεις κλειδιά: (υλικά αλλαγής φάσης), παραφίνες, ενυδρά άλατα, οργανικές, ανόργανες και εϋτηκτα.*

## **Abstract**

The bachelor's thesis entitled "evaluation of buildings and installation of pcm materials" aims to provide bibliographic resources that highlight the value, necessity and use of phase change materials in the construction industry. It starts with the introduction and the purpose of use of phase change materials on chapter 1.

Starting in Chapter 2 refers to the basic features and basic properties of pcm as basic categories, the criteria for choosing and storage modes. Then in Chapter 3, explore the ways that are used in the construction industry with the use of phase change materials. Some of the applications presented below are techniques that are either applied now or are in the experimental stage. Some of these applications are listed below.

Chapter 4 presents some computational models that are necessary for accurate measurements to be made which are necessary to produce a good result. Chapter 6 presents a study in the Polytechnic of Crete on phase change materials installation.

The main chapter of this study is the chapter 7 that you can find how to install pcm and how much does it cost. On the chapter 8 you can find some conclusions about pcm and finally chapter 9 is the bibliography.

*Keywords: pcm (phase change materials), paraffins, hydrated salt, organic, inorganic, eutectic.*

## **1 Εισαγωγή**

Την σημερινή εποχή η βελτίωση της ενεργητικής αποδοτικότητας των κτιρίων είναι ένας βασικός στόχος για μείωση των ρύπων που πέφτουν στην ατμόσφαιρα. Στις περισσότερες χώρες η οικοδομή είναι από τους κύριους λόγους κατανάλωσης ενέργειας και για αυτό έχουν θεσπιστεί κανόνες που προστατεύουν το περιβάλλον.

Για παράδειγμα στην Ευρώπη ο κλάδος της οικοδομής υπολογίζεται πως το 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας αφορά κυρίως για να αυξηθεί η ποιότητα ζωής και συμβάλει κυρίως στη θέρμανση και στη ψύξη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την διαρκεί αύξηση των ρύπων και με το φαινόμενο του θερμοκηπίου.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για τα κλιματιστικά και το επιθυμητό περιβάλλον παίζουν βασικό ρόλο στην ομαλή βιωσιμότητα στα κτίρια. Επιπλέον η ενίσχυση των κτιρίων με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα έχουν αποφασιστικό ρόλο στην μείωση ενέργειας με ότι αυτό συνεπάγεται.

Η ενεργητική αποδοτικότητα των κτιρίων έχει προκαλέσει των κατασκευαστικό κλάδο και την ακαδημαϊκή κοινότητα να καινοτομούν και να παράγουν νέα προϊόντα και τεχνολογίες για βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων και την χρησιμοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η ανάπτυξη νέων συστημάτων που θα εκμεταλλεύονται τη μείωση της ψύξης και θέρμανσης θα είναι πολύ χρήσιμη στη βελτίωση της ενέργειας των νέων κτιρίων. Εδώ έρχονται και τα υλικά αλλαγής φάσης στο να εκμεταλλευτούν τη θερμική ακτινοβολία με παθητικό τρόπο.

Δηλαδή τη διαδικασία που χρειάζεται για να γίνει η μετατροπή ενός υλικού στερεού σε υγρό και ανάποδα χωρίς τη βοήθεια μηχανικής ενέργειας. Σε σύγκριση με τα παραδοσιακά υλικά που χρησιμοποιούνται στη κατασκευή τα pcm παρέχουν μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα και περιορισμένες θερμοκρασίες (κυρίως της υψηλής ποσότητας ενέργειας που έχει σχέση με τη διαδικασία μετατροπής του στερεού σε υγρό και ανάποδα) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ένα ισοθερμικό δοχείο το οποίο απελευθερώνει ή συγκρατεί τη θερμότητα.

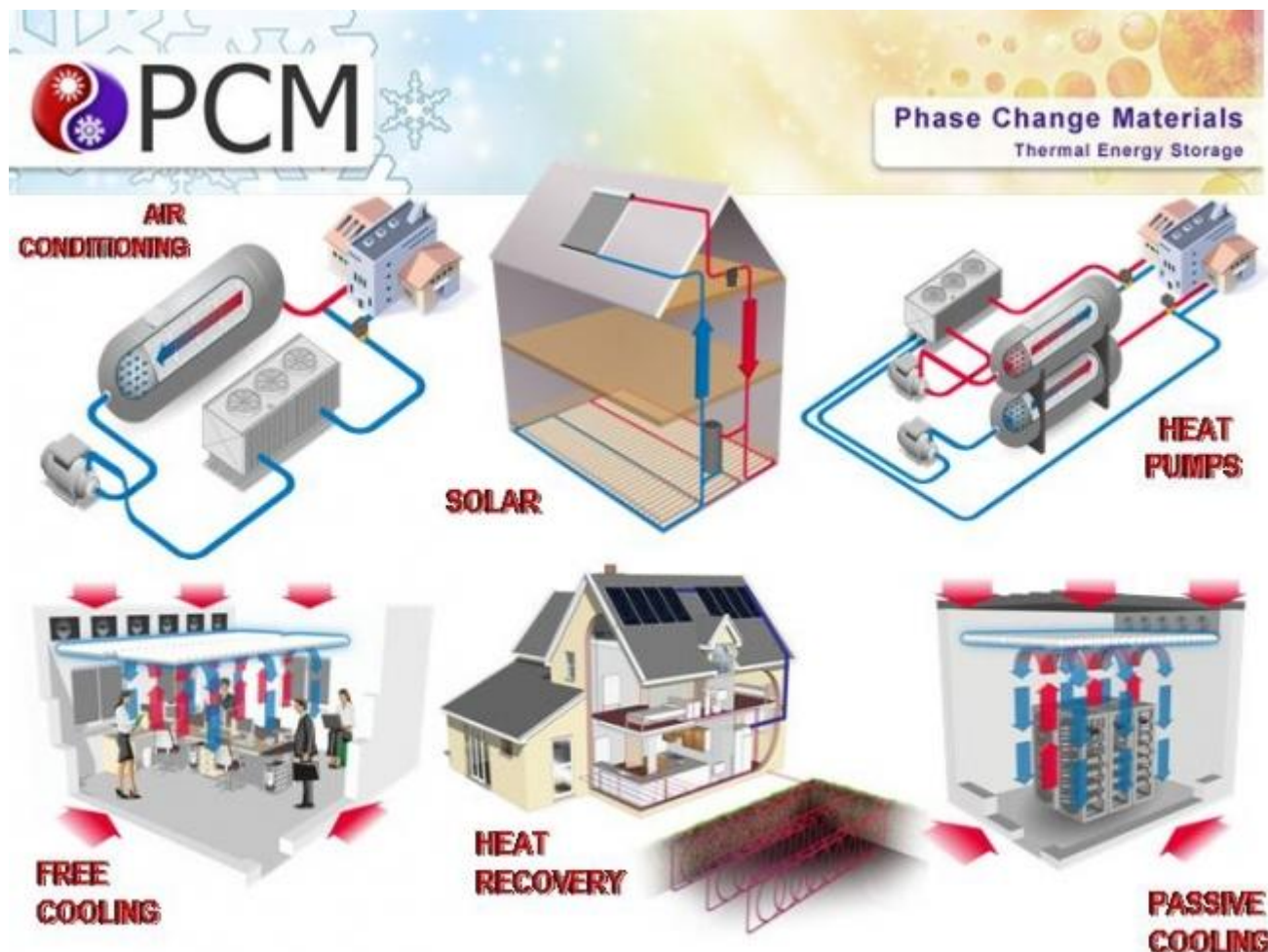
Για παράδειγμα, όταν η θερμοκρασία αυξάνει το υλικό pcm μετατρέπεται από στερεό σε υγρό. Αντιθέτως όταν η θερμοκρασία μειωθεί θα μετατραπεί από υγρό σε στερεό. Μια βασική παράμετρος για τοποθέτηση των υλικών αλλαγής φάσης στον κατασκευαστικό κλάδο είναι η σωστή μελέτη για το πόση ποσότητα του υλικού χρειάζεται για να έχουμε ένα σωστό θερμικό περιβάλλον.

Επίσης θα πρέπει να γίνει έρευνα στο τη μεταβολές θερμοκρασίας έχουμε στη χειμερινή-καλοκαιρινή περίοδο για καλύτερο υπολογισμό ποσότητας που θα χρειαστεί. Όλα αυτά τα φαινόμενα θα βοηθήσουν στο να γίνει καλύτερος υπολογισμός το πόση ποσότητα θα πρέπει να συσσωρευτεί και για αποφυγή τυχόν υγρών διαρροών. Το υλικό αυτό τοποθετείται μέσα σε μια μικροπολυμερής κάψουλα.

Το τελικό αποτέλεσμα είναι μια πούδρα η οποία μπορεί να αναμειχθεί και με άλλα υλικά όπως γύψο. Οι μικροκάψουλες ίσως και είναι ο μοναδικός τρόπος για τυχόν διαρροή του υλικού. Οι οποίες είναι φτιαγμένες από υψηλής αγωγιμότητας υλικά τα οποία διασφαλίζουν την σωστή μετάδοση θερμότητας γιατί το pcm έχει χαμηλή θερμική αγωγιμότητα. [1]



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



Εικόνα 1 Τρόποι με τους οποίους εφαρμόζονται τα υλικά αλλαγής φάσης σε κτίρια.

## 2 Χαρακτηριστικά και βασικές ιδιότητες των pcm

Τα pcm είναι υλικά που αποθηκεύουν λανθάνουσα θερμότητα. Αυτά χρησιμοποιούν χημικούς δεσμούς για να αποθηκεύουν ή να εκλύουν θερμότητα. Η μεταφορά θερμικής ενέργειας συμβαίνει όταν τα υλικά αυτά αλλάζουν φάση από υγρή σε στερεή ή από στερεή σε υγρή. Αυτή διαδικασία λέγεται αλλαγής φάσης. [1]

Τα υλικά αλλαγής φάσης έχουν σημείο τήξης σε θερμοκρασίες ανάμεσα από 20°C και 32°C. Τα υλικά pcm έχουν αρκετές χρήσεις αλλά η πιο κοινή χρήση είναι για θερμική





ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

αποθήκευση με παθητικό τρόπο και με αποθήκευση ηλιακής ακτινοβολίας, σε καταστάσεις θέρμανσης και ψύξης.

Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία PCM που είναι γνωστά για την απαραίτητη θερμοκρασία που χρειάζονται για να γίνει σύντηξη. Σε αυτό το κεφάλαιο θα σας παρουσιάσουμε διάφορους τύπους PCM και βασικά κριτήρια για την επιλογή και κάποιες τεχνικές για τοποθέτηση των PCM στο κατασκευαστικό κλάδο.

Η βασική αρχή για το πώς λειτουργεί το PCM έχει είδη παρουσιαστεί. Τα υλικά αλλαγής φάσης χρησιμοποιείται σε διάφορες τεχνολογίες συμπεριλαμβανομένου και αυτά τα οποία έχουν σχέση με τα κτίρια.

Τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται στα υλικά αλλαγής φάσης θα πρέπει να έχουν ιδιότητες οι οποίες θα μπορούν να μετατραπούν από υγρά σε στερεά και αντίθετα, θα πρέπει να έχουν υψηλή λανθάνουσα θερμότητα και υψηλή θερμική αγωγιμότητα.

## 2.1 Βασικές κατηγορίες υλικών αλλαγής φάσης

Τα PCM χωρίζονται κυρίως σε τρεις κατηγορίες τα οργανικά, ανόργανα και ευτεκτικά. Τα οργανικά PCM κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες σε παραφίνες και μη παραφίνες. Οι μη παραφίνες περιλαμβάνουν μεγάλη επιλογή από οργανικά υλικά όπως λιπαρά οξέα, εστέρες, αλκοόλες και γλυκόλες. [3]

Τα ανόργανα PCM περιγράφονται ως ενυδρά άλατα και μέταλλα (τα μέταλλα έχουν την υψηλότερο σημείο τήξης και χρησιμοποιείται κυρίως σε κτηριακές εγκαταστάσεις). Τα ευτεκτικά είναι κυρίως μια μίξη από δύο και παραπάνω υλικά, τα οποία λιώνουν και μετά στερεοποιούνται. Τα ευτεκτικά υλικά υποδιαιρούνται σε οργανικά-οργανικά, οργανικά-ανόργανα και ανόργανα-ανόργανα.

### 2.1.1 Οργανικά: παραφίνες και μη παραφίνες

Τα οργανικά υλικά χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες σε παραφίνες και μη παραφίνες. Έχουν καλό σημείο τήξης και δεν υπάρχει καθόλου διαβρωτικότητα όταν τοποθετηθούν σε δοχεία. Συνήθως αυτά χρησιμοποιούνται για την θέρμανση και την ψύξη και η θερμοκρασία πέφτει από τους 20 ως 32°C το οποίο είναι το επιτρεπόμενο όριο για καταστάσεις σύντηξης. Παρακάτω θα αναφερθούν κάποια χαρακτηριστικά των οργανικών υλικών. [3]

Τα παρακάτω πλεονεκτήματα είναι:



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

- Δυνατότητα χρήσης σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Υψηλή λανθάνουσα θερμότητα σύντηξης (τα λιπαρά οξέα έχουν υψηλή θερμότητα σύντηξης τιμές παρόμοιες με της παραφίνες).
- Στερεοποίηση χωρίς καθόλου απόψυξη
- Έχει ιδιότητες αποπυρήνωσης.
- Συνεχή αλλαγής φάσης
- Θερμικά και χημικά σταθερά (έχει καλή σταθεροποίηση των υλικών πάνω στη διάρκεια επαναλαμβανόμενων θερμικών κύκλων).
- Χαμηλή πίεση των ατμών στην υγρή τους μορφή.
- Συμβατικότητα με ποικίλα κατασκευαστικά υλικά.
- Ανανεώσιμο.

Τα παρακάτω μειονεκτήματα είναι:

- Χαμηλή θερμική αγωγιμότητα.
- Χαμηλή θερμικής αποθήκευσης λόγω όγκου.
- Εύφλεκτα
- Δεν μπορούν να τοποθετηθούν σε πλαστικά δοχεία.
- Είναι αρκετά ακριβά
- Στη διαδικασία αλλαγής φάσης διογκώνεται αρκετά.

### 2.1.2 Τα ανόργανα ενυδρά άλατα

Τα ανόργανα υλικά είναι γνωστά σε ενυδρά άλατα και σε μεταλλικά. Τα ανόργανα υλικά έχουν υψηλή λανθάνουσα θερμότητα ανά μονάδα υλικού και χαμηλό κόστος σε σύγκριση με τα οργανικά που είναι μη εύφλεκτα. [3]

Ωστόσο υποφέρουν από μεγάλες αποσυνθέσεις υλικών και απόψυξη το οποίο σε συνέχεια μπορεί να επηρεάσει τις ιδιότητες αλλαγής φάσης. Εδώ πάλι παρατηρείται τα ανόργανα έχουν πάλι σημείο σύντηξης σε 20 με 32°C. Παρακάτω θα αναφερθούν κάποια χαρακτηριστικά των ανόργανων υλικών.

Τα παρακάτω πλεονεκτήματα είναι:

- Υψηλό αποθηκευτικό χώρο για αποθήκευση θερμικής ενέργειας.
- Υψηλή θερμική σύντηξη
- Χαμηλό κόστος και ευρέως γνωστό.
- Υψηλή θερμική αγωγιμότητα
- Μη εύφλεκτο



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

- Συμβατό με πλαστικά δοχεία (είναι καλύτερο να χρησιμοποιηθούν ενυδρά άλατα για να μειωθεί η εργοστασιακή επαφή με το περιβάλλον).

Τα παρακάτω μειονεκτήματα είναι:

- Χαμηλές ιδιότητες αποπυρήνωσης και προβλήματα απόψυξης.
- Πάνω στη διαδικασία διαχωρισμού αντιμετωπίζει προβλήματα σταθεροποίησης.
- Παρουσιάζει προβλήματα θωράκισης και πυρήνωσης.
- Δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί με κάποια δομικά υλικά.
- Διάβρωση στα περισσότερα μεταλλικά υλικά.

### 2.1.3 Εύτηκτα υλικά

Τα παρακάτω πλεονεκτήματα είναι:

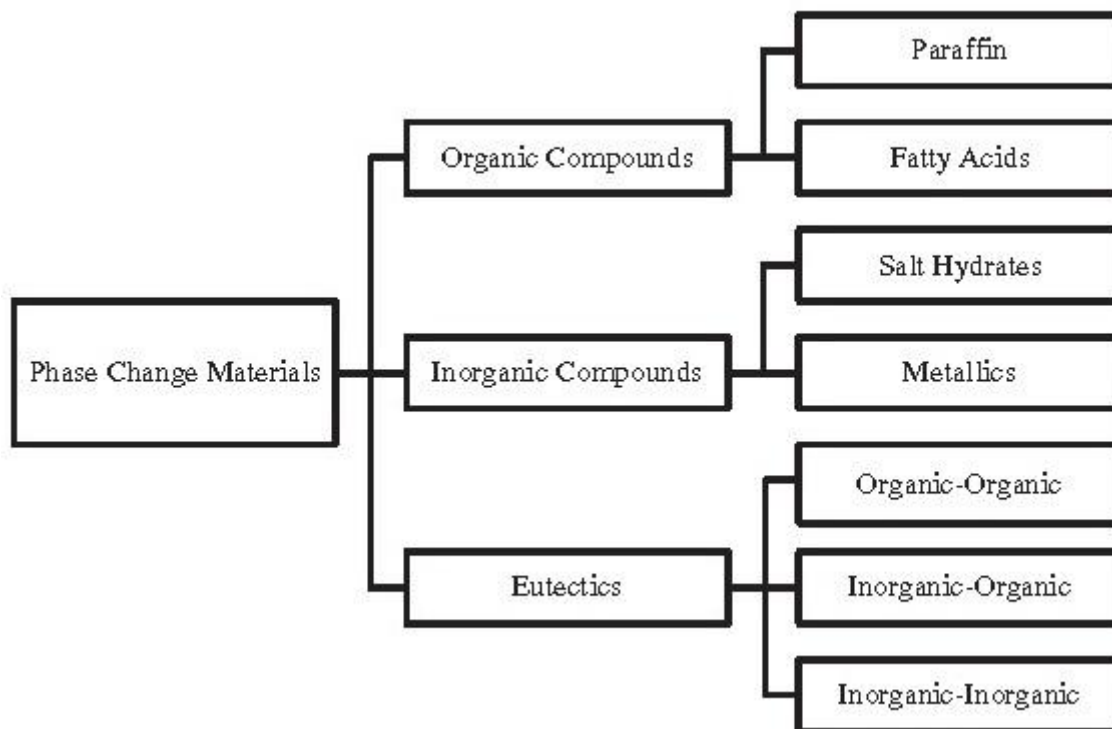
- Ομαλή διαδικασία τήξης(μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μεταφέρει την ιδανική θερμοκρασία που χρειάζεται).
- Ο όγκος για την αποθήκευση θερμικής ενέργειας είναι λίγο περισσότερος από τις οργανικές ενώσεις.
- Καθόλου διαχωρισμός και ομαλή αλλαγής φάσης

Τα παρακάτω μειονεκτήματα είναι:

- Η περιορισμένες πληροφορίες που έχουμε για τις θερμοφυσικές του ιδιότητες.
- Κάποια ευτεκτικά έχουν δυνατή οσμή και δεν συνιστώνται για χρήση σε τοιχοποιία.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



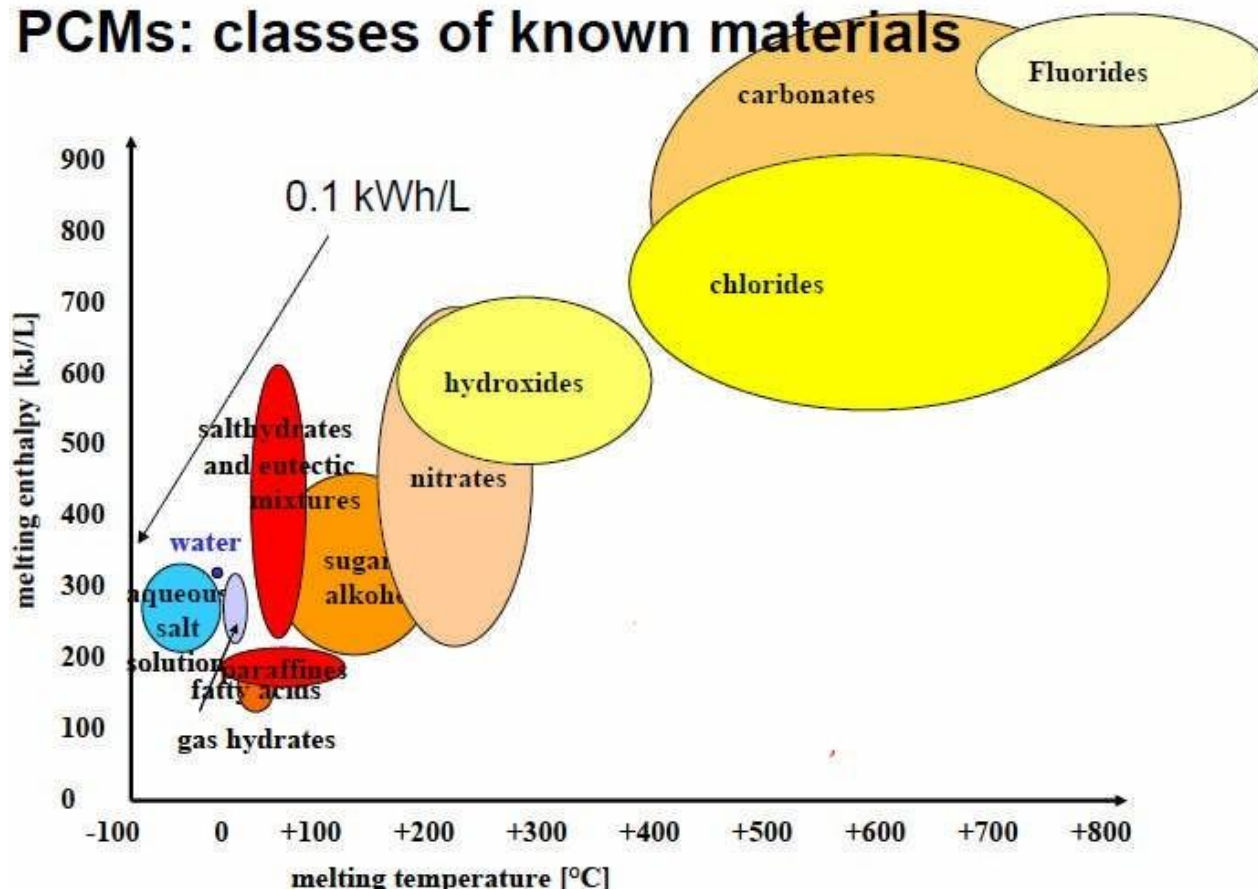
Εικόνα 2 Ταξινόμηση υλικών αλλαγής φάσης

## 2.2 Κριτήρια επιλογής pcm

Η θερμοκρασία τήξης και η καμπύλη ενθαλπίας με υλικά αλλαγής φάσης παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα. Θα παρατηρηθεί πως τα ιδανικά υλικά για χρήση σε οικοδομικές κατασκευές είναι οι παραφίνες, τα λιπαρά οξέα, και ευτεκτικά μίγματα.[4]



## PCMs: classes of known materials



Διάγραμμα 1 Θερμοκρασία τήξης και καμπύλη ενθαλπίας για υλικά pcm

### 2.2.1 Θερμικές και φυσικές ιδιότητες

- Η ιδανική αλλαγής φάσης της θερμοκρασίας θα πρέπει να περιορίζεται σε συγκεκριμένη κλίμακα.
- Υψηλή θερμική αγωγιμότητα.
- Υψηλή λανθάνουσα θερμότητα για μετατροπή μια μονάδας σε μάζα.
- Να μπορεί να λιώσει μαζικά και υψηλή θερμική σταθερότητα.
- Ιδανική ισορροπία και μηδενικό διαχωρισμό.
- Μικρές μεταβολές του όγκου στη μετατροπή.
- Μικρές πιέσεις ατμών σε συγκεκριμένη θερμοκρασία.

### 2.2.2 Κινητικές ιδιότητες



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

- Υψηλό ποσοστό σχηματισμού πυρήνων και μικρή ή καθόλου υπέρψυξη της υγρής φάσης.
- Γρήγορος ρυθμός κρυστάλλωσης

### 2.2.3 Χημικές ιδιότητες

- Να μπορεί πλήρως να μετατραπεί από υγρό σε στερεό και ανάποδα.
- Μακροχρόνια χημική σταθερότητα και καθόλου αλλοίωση μετά από πολλούς κύκλους λιωσίματος/στερεοποίησης.
- Καθόλου διαβρωτικότητα και δυνατότητα τοποθέτησης σε κατασκευαστικά υλικά.
- Μη τοξικά
- Μη εύφλεκτα
- Μη δυνατότητας έκρηξης

### 2.2.4 Περιβαλλοντικές ιδιότητες

- Μικρή ενσωμάτωση ενέργειας
- Ιδιότητες διαχωρισμού από τα άλλα υλικά και δυνατότητες ανακύκλωσης
- Χαμηλή περιβαλλοντική επιρροή και καθόλου ρυπογόνο.

## 2.3 Τρόποι αποθήκευσης θερμικής ενέργειας στα υλικά αλλαγής φάσης

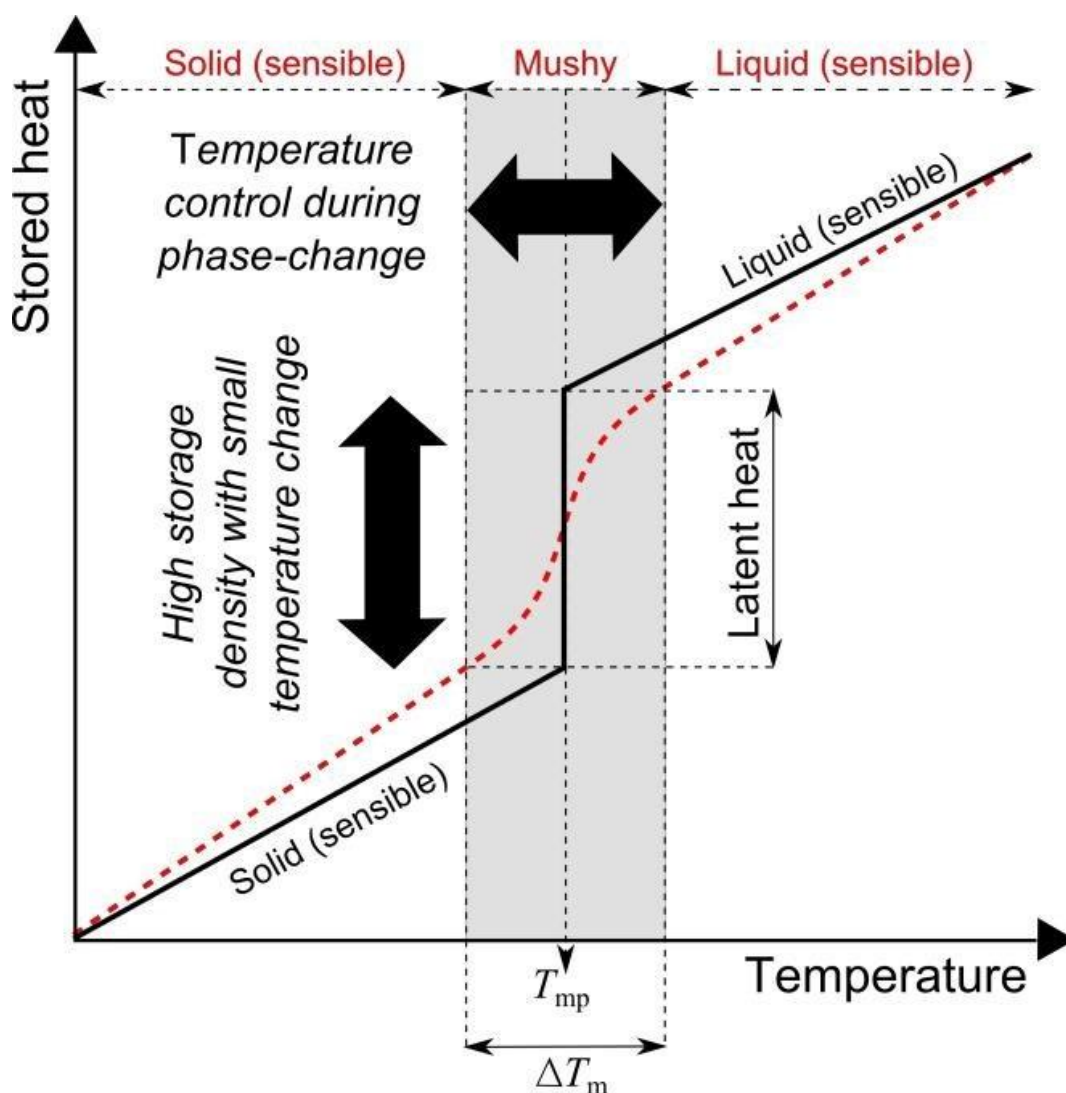
Θα παρουσιαστούν κάποιες βασικές λειτουργίες για το πώς αποθηκεύεται η θερμική ενέργεια στα pcm. Στην αρχή μας δείχνει πως υπάρχει θερμοκρασιακός έλεγχος δηλαδή συγκράτηση ή αποθήκευση θερμότητας σε αρκετά καλό βαθμό και μικρές θερμοκρασιακές διαφορές. [3][4]

Επίσης μας δείχνει πως η λανθάνουσα θερμότητα μπορεί να αποθηκευτεί χωρίς σημαντικές διαφορές της θερμοκρασίας του υλικού, για αυτό τα pcm μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της λανθάνουσας θερμότητας.

Από την άλλη μεριά, μας δείχνει το πώς ένα υλικό αλλαγής φάσης μπορεί να αποθηκεύσει αρκετές μεγάλες ποσότητες θερμότητας (εξαιτίας της λανθάνουσας θερμότητας). Μια μικρή αλλαγή της θερμοκρασίας του περιβάλλον μπορεί να ξεκινήσει τη διαδικασία αλλαγής φάσης σε μια περιορισμένη θερμοκρασία αλλαγής φάσης.



Θα πρέπει να τονίσουμε ότι η συμπεριφορά ενός κοινού υλικού αλλαγής φάσης είναι κάπως διαφορετική σε σχέση με ένα ιδανικό υλικό αλλαγής φάσης. Ο παρακάτω πίνακας αναφέρεται σε ένα ιδανικό υλικό που μας δείχνει την ιδανική θερμοκρασία για μια κατάσταση τήξης ισοθερμικής αλλαγής φάσης διαδικασίας



Διάγραμμα 2 Διαδικασία αλλαγής φάσης ενός κοινού και ιδανικού υλικού

Εδώ παρατηρούμε πως σε ένα ιδανικό υλικό η λανθάνουσα θερμότητα δε μεταβάλλεται καθόλου σε αντίθεση με ένα κοινό υλικό. Η αποθηκευτική ικανότητα ενός ιδανικού υλικού  $pcm$  θα μπορεί να χαρακτηριστεί μέσω τεσσάρων διαφορετικών παραμέτρων:



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

- *Ονομαστική θερμική ποσότητα του υγρού*
- *Ονομαστική θερμική ποσότητα του στερεού*
- *Η λανθάνουσα τιμή του αερίου*
- *Το θερμοκρασιακό όριο τήξης*

Ωστόσο τα κοινά υλικά αλλαγής φάσης έχουν παραπάνω είδη και η θερμοκρασιακή ενθαλπία θα πρέπει να αναφέρεται. Ακόμη η θερμοκρασία ενθαλπίας σε σχέση με τα κοινά  $pcm$  είναι από τις πιο σημαντικές παραμέτρους γιατί μας παρέχουν απαραίτητες πληροφορίες πάνω στη διαδικασία αλλαγής φάσης.

Μια ιδανική κατάσταση θα είναι η θερμοκρασία ενθαλπίας να είναι ίδια πάνω στη διαδικασία της τήξης ή πήξης του υλικού. Ωστόσο, αυτή η διαδικασία θα πρέπει να επηρεάζεται και από άλλα φαινόμενα όπως την υπόψυξη και την επαναλαμβανόμενη διαδικασία τήξης και πήξης.

Ο παρακάτω πίνακας μας δείχνει την διακύμανση της θερμοκρασίας στη διαδικασία τήξης και πήξης ενός ιδανικού υλικού  $pcm$  με υπόψυξη. Η θερμοκρασία που ξεκινάει να απελευθερώνει λανθάνουσα θερμότητα όταν έχει αρχίσει να γίνεται στερεό.

Όταν η θερμοκρασία που απελευθερώνει είναι μεγαλύτερη από τη κανονική του θερμοκρασία χάνεται εξαιτίας της απόψυξης τότε η θερμοκρασία θα αυξηθεί ξανά σε επίπεδα στερεοποίησης του υλικού  $pcm$ .

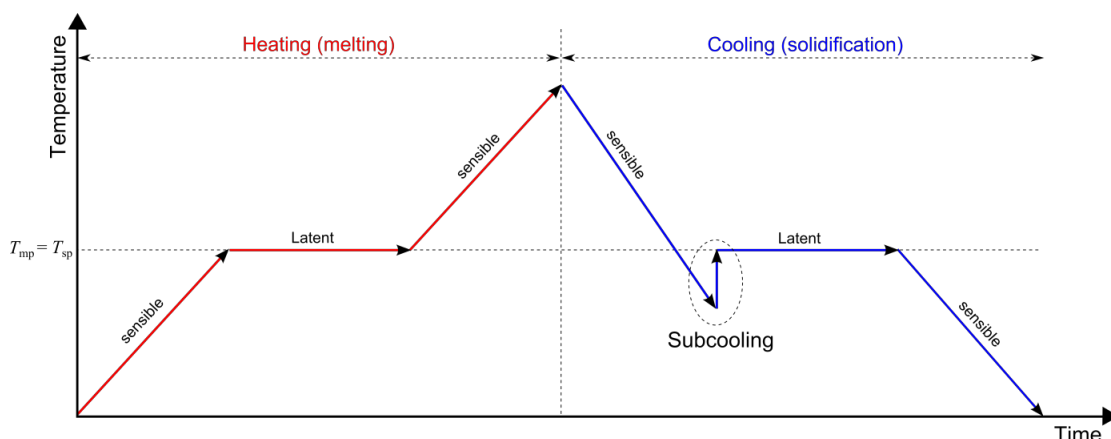
Ωστόσο, αν αυτό δεν πραγματοποιηθεί η ποσότητα θερμότητας που θα έχει χαθεί στο περιβάλλον είναι μεγαλύτερη από τη θερμότητα που θα απελευθερωθεί από την διαδικασία πήξης τότε αυτό θα οδηγήσει να μην μπορεί να φτάσει στα ιδανικά επίπεδα τήξης ξανά.

Στη συνέχεια μια διαδικασία απόψυξης μπορεί να προκαλέσει αρνητικά φαινόμενα όπως σοβαρά προβλήματα που έχουν σχέση με τεχνικές ιδιοτροπίες. Η απόψυξη θα παίξει σημαντικό ρόλο στο μέγεθος του υλικού  $pcm$  και θα διαμορφώσει τη μορφή που θα έχει η συσκευασία που θα τοποθετηθεί.





ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



Διάγραμμα 3 Στο παραπάνω διάγραμμα μας παρουσιάζεται η διαδικασία τήξης και πήξης με διαδικασία απόψυξης

Πάντως παρόλο που έχει αρκετά μειονεκτήματα η βασική λειτουργία των υλικών pcm είναι αρκετά απλή. Ένα ακόμα φαινόμενο που θα πρέπει να μελετηθεί είναι όταν έχουμε μεταφορά θερμότητας από ένα στερεό σε υγρό και ανάποδα το οποίο είναι ένα αποτέλεσμα φυσικής μεταφοράς ενός λιωμένου pcm το οποίο είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες το οποίο επηρεάζει τη διαδικασία αλλαγής φάσης.

Τέλος, το υλικό pcm έχει καλή θερμική αγωγιμότητα η οποία βελτιώνει την αποθήκευση και απελευθέρωση λανθάνουσας θερμότητας που τροφοδοτεί το υλικό σε μικρή χρονική διάρκεια.

## 2.4 Μετρήσεις θερμικών ιδιοτήτων των υλικών αλλαγής φάσης

Η διαδικασία επιλογής σωστού υλικού αλλαγής φάσης είναι αρκετά περίπλοκη αλλά απαραίτητη για την σωστή θερμική αποθήκευση. Τα ιδανικά pcm θα πρέπει να έχουν ικανό σημείο τήξης, μια τέλεια θερμοκρασία σύντηξης και θερμική αγωγιμότητα ικανή να έχει πρακτικές εφαρμογές. [8]

Οι μέθοδοι μετρήσεων των θερμικών ιδιοτήτων των pcm είναι αρκετές σημαντικές. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι μέτρησης των θερμικών ιδιοτήτων των pcm με θερμιδομετρία ή διαφορική σάρωση (DSC) και διαφορική θερμική ανάλυση (DTA).

### 2.4.1 Μέτρηση με θερμιδομετρία (DSC)

Η θερμιδομετρία διαφορικής σάρωσης ή DSC είναι μια τεχνική θερμοανάλυσης. Στην οποία η διαφορά στην ποσότητα θερμότητας που απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας ενός δείγματος και αναφοράς μετριέται ως συνάρτηση της θερμοκρασίας. Τόσο το δείγμα όσο και η αναφορά διατηρούνται σχεδόν στην ίδια θερμοκρασία σε όλο το πείραμα. [16]



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Γενικά, το πρόγραμμα θερμοκρασίας για μια ανάλυση DSC σχεδιάζεται έτσι ώστε η θερμοκρασία των δειγμάτων να αυξάνεται γραμμικά ως συνάρτηση του χρόνου. Το δείγμα αναφοράς θα πρέπει να έχει μια καλά καθορισμένη θερμική χωρητικότητα σε όλο το φάσμα των θερμοκρασιών που πρόκειται να σαρωθούν.

Η μέθοδος με DSC μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί και να αναλύσει τις ιδιότητες των ρcst γυψοσανίδων. Μέσω του τεστ DSC όχι μόνο μπορεί να βρεθεί το σημείο τήξης και η θερμότητα σύντηξης του υλικού αλλαγής φάσης αλλά ακόμα πως μπορεί να υπολογίσει πώς να κατανεμηθεί σωστά πάνω στη γυψοσανίδα, πόση θερμική αποθήκευση έχει και ποιες επιδράσεις θα έχει μετά των θερμικό κύκλο.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



Εικόνα 3 Μηχάνημα για μετρήσεις με μέθοδο (DTA)

#### 2.4.2 Μέτρηση με θερμική ανάλυση (DTA)

Στη δοκιμή DTA, η θερμότητα που εφαρμόζεται στο δείγμα και η αναφορά παραμένει η ίδια (αντί της θερμοκρασίας στη δοκιμή DSC). Η αλλαγή φάσης και άλλες θερμικές οι



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ιδιότητες μπορούν στη συνέχεια να δοκιμαστούν μέσω της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του δείγματος και την αναφορά. [8]



*Εικόνα 4 Μηχάνημα για μετρήσεις με μέθοδο (DTA)*

### **2.4.3 «T-history method»**

Ο ερευνητής Zhang [16] ανέλυσε τους περιορισμούς των συμβατικών μεθόδων, με τη συμβατική θερμιδομετρία, DSC και DTA, και στη συνέχεια πρότεινε μια νέα μέθοδο που ονομάζεται «T-history method» για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας τήξης, το βαθμό της υπερψύξης, τη θερμότητα σύντηξης, την ειδική θερμότητα και θερμική αγωγιμότητα των pcm.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Έκανε τη μέτρηση σε ορισμένα υλικά αλλαγής φάσης  $pcm$  μέσω αυτής της μεθόδου και βρήκε ένα επιθυμητό αποτέλεσμα μεταξύ των τεστ που έκανε. Ωστόσο βελτίωσε την μέθοδο μέτρησης γιατί έβαλε των δοκιμαστικό σωλήνα που περιέχει  $pcm$  κάθετα και αυτό ελαχιστοποίησε τις διαφορές θερμοκρασίας που είχε σε σχέση με το σωλήνα που βρίσκονταν οριζόντια.

Στην περίπτωση δε που το υλικό έχει προκύψει ως σύνθεση άλλων, είναι τεχνικές πλήρως εξαρτώμενες από το δείγμα που λαμβάνουμε. Η λεγόμενη «T-history method», είναι μία εναλλακτική μέθοδος, η οποία είναι ιδανική για τον υπολογισμό των ιδιοτήτων των υλικών αλλαγής φάσης τα οποία παρουσιάζουν ετερογένεια.

Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής σε σχέση με την μέθοδο DSC είναι αρχικά η απλότητά της αλλά και το γεγονός ότι μπορούμε να έχουμε δείγμα μεγάλου μεγέθους. Το μεγάλο μέγεθος δείγματος της επιτρέπει να έχουμε καλύτερα αποτελέσματα για ετερογενή μείγματα τα οποία δεν θα μπορούσαν να έχουν αντιπροσωπευτική σύσταση σε πολύ μικρό μέγεθος.

## 2.5 Τεχνικές και εξοπλισμός για υπολογισμούς θερμικής αγωγιμότητα

Οι παραπάνω μέθοδοι που περιγράφηκαν παραπάνω μπορούν να βοηθήσουν στις μετρήσεις της θερμικής αγωγιμότητας των δομικών υλικών με χρήση υλικών αλλαγής φάσης. Όμως μπορεί να βρεθεί εμπορικός εξοπλισμός στην αγορά όπως το « Laser Flash LFA». Μια άλλη τεχνική για να υπολογίσουμε την θερμική αγωγιμότητα είναι ένα είδος ζεστής πλάκας η οποία έχει την δυνατότητα να κάνει υπολογισμούς. Αυτή η τεχνική είναι γνωστή ως «TPS». [7][8]

Αυτός ο εξοπλισμός είδη χρησιμοποιείται από ερευνητικό κέντρο χημικών μηχανικών του πανεπιστημίου της Coimbra το οποίο μετράει την θερμική αγωγιμότητα της στερεής, υγρής και σε μορφής σκόνης.

Στη συνέχεια, μας δείχνει κάποιες σημαντικές πληροφορίες όπως την σωστή θερμική αγωγιμότητα του υλικού αλλαγής φάσης, σε τι είδος πολυμερής κάψουλας θα τοποθετηθεί και πόσο συμπυκνωμένο θα πρέπει να είναι.

Επιπλέον μια πρόκληση που θα πρέπει να αντιμετωπίσουν οι ερευνητές είναι να μπορούν να θέσουν το πόσο θερμική αγωγιμότητα θα έχει το υλικό  $pcm$  για να γνωρίζουμε το εύρος θερμοκρασίας από την διαδικασία αλλαγής φάσης.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

## 2.6 Θερμική σταθερότητα

Η θερμική απόδοση του κάθε συστήματος αποθήκευσης θερμικής ενέργειας έχει απευθείας σχέση με τις θερμοφυσικές ιδιότητες του κάθε υλικού αλλαγής φάσης που έχει επιλεγθεί. Στα νέα συστήματα τα οποία αναπτύσσονται οι θερμοφυσικές ιδιότητες των pcm θα πρέπει να είναι γνωστές. [3]

Ωστόσο, στα περισσότερα υλικά δεν περιγράφονται κάπου οι θερμοφυσικές του ιδιότητες ούτε στη στερεά και υγρή του μορφή το οποίο είναι ένα βασικό μειονέκτημα γιατί δεν γίνεται σωστός σχεδιασμός. Όταν γίνεται μια προσπάθεια να πάρουμε τις πειραματικές και πραγματικές τιμές το πιο πιθανό που έχουμε να αντιμετωπίσουμε είναι λάθος μετρήσεις και αρκετά αριθμητικά λάθη.

Αυτό δεν είναι εύκολο να επιτευχθεί σε κανονικές συνθήκες περιβάλλον. Αυτό είναι ακόμα πιο δύσκολο να επιτευχθεί γιατί όταν ένα υλικό αλλάζει φάση σε γρήγορα και έχει ποικίλες τιμές θερμοκρασίας.



Εικόνα 5 Βασική ιδέα για το πώς λειτουργούν τα υλικά αλλαγής φάσης

Θα πρέπει όπως τονίστηκε και παραπάνω τα χαρακτηριστικά των pcm και των σύνθετων pcm θα μπορούν να μας παρέχουν αξιόπιστες πληροφορίες για να γίνεται σωστός σχεδιασμός. Αυτό είναι δύσκολο να επιτευχθεί γιατί δεν υπάρχει ο απαραίτητος εξοπλισμός που θα μπορεί να βοηθήσει να γίνουν μετρήσεις για υγρά και στερεά υλικά.

Όμως θα πρέπει να τονιστεί πως υπάρχουν εξοπλισμοί που βοηθάνε να γίνουν σωστές μετρήσεις αλλά γίνονται σε υλικά καθαρά και ομογενοποιημένα. Αυτά τα υλικά δεν



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

παρουσιάζουν καθόλου καταστάσεις απόψυξης σημαντικές διακυμάνσεις θερμικής αγωγιμότητας και διαφορετικές τιμές στη διαδικασία αλλαγής φάσης.

Επειδή στο κατασκευαστικό κλάδο τα πιο κοινά υλικά δεν είναι καθαρά υλικά αλλαγής φάσης ( τα κοινά υλικά είναι αρκετά ακριβά). Η αβεβαιότητα που υπάρχει στο κλάδο αυτό χρήζει ακόμα έρευνα.

Για να γίνουν σωστές μετρήσεις θα πρέπει να κατασκευαστούν κάποια όργανα που θα βοηθήσουν στις ακριβείς μετρήσεις που χρειάζονται για τον υπολογισμό των κύριων χαρακτηριστικών του υλικού αλλαγής φάσης.

Κάποια από αυτά είναι:

- *Ονομαστική θερμότητα*
- *Η λανθάνουσα θερμότητα των αερίων*
- *Η θερμοκρασία τήξης και πήξης του υλικού*
- *Η θερμική αγωγιμότητα*
- *Η διασπορά των υλικών*

Μια ακόμη βασική παράμετρος που θα πρέπει να τονιστεί είναι πως θα πρέπει να βρεθούν τεχνικές που υπολογίζουν την θερμική σταθερότητα των δομικών υλικών με χρήση υλικών αλλαγής φάσης θα πρέπει να γίνουν κάποια κυκλικά πειράματα με πολύ γρήγορους ρυθμούς γιατί τα υλικά όταν τοποθετηθούν θα βρίσκονται σε δομικά υλικά τα οποία θα πρέπει να έχουν διάρκεια ζωής αρκετών χρόνων.

Μια σωστή μελέτη ενός υλικού pcm αν έχει τα απαραίτητα χαρακτηριστικά είναι γύρω στους 5000 θερμικούς κύκλους. Ακόμα πιο καλά θα ήταν να υπάρχουν οι τεχνικές οι οποίες να μας λένε ακριβώς τους θερμικούς κύκλους που έχει ένα υλικό για να υπολογίζουμε σε μεγάλη ακρίβεια το πόση χρονική διάρκεια ζωής έχει. Πάντως αν πάρουμε την ονομαστική τιμή των 5000 κύκλων αυτό υπολογίζεται στα 13-14 χρόνια.

## 2.7 Τεχνικές βελτιστοποίησης μεταφοράς θερμότητας

Τα pcm κανονικά έχουν χαμηλή θερμική αγωγιμότητα το οποίο οδηγεί σε ανεπαρκή μεταφορά θερμότητας και αργή μεταβολή από υγρό σε στερεό και αντίθετα. Ωστόσο, οι τεχνικές βελτιστοποίησης θερμότητας επιβάλλονται για να εφαρμοστούν στα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. Κάποιες από τις τεχνικές που εφαρμόζουν με το υλικό pcm είναι:[5]

- *Διασπορά σωματιδίων υψηλής αγωγιμότητας.*



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

- Την τοποθέτηση πορώδους υλικού με υψηλής αγωγιμότητα.
- Τοποθέτηση ινώδων υλικών όπως ο άνθρακας
- Μικροκάψουλες για σωστή διανομή της θερμότητας στην επιφάνεια
- Τοποθέτηση δομικών υλικών με υψηλή αγωγιμότητα

Στις περισσότερες περιπτώσεις με συστήματα θερμικής αποθήκευσης το pcm δεν έχει κάποια επαφή με την κύρια πηγή θέρμανσης (για παράδειγμα ηλιακή ακτινοβολία) ούτε με το εσωτερικό περιβάλλον.

Στη διάρκεια του χειμώνα η μείωση της μεταφοράς θερμότητας και η καθυστέρηση της μεταφοράς της θα πρέπει να αποφευχθεί για να εκμεταλλευτούμε την ηλιακή ακτινοβολία για θέρμανση.

Το χρώμα και η θερμική αγωγιμότητα του τελικού υλικού από τα συστήματα θερμικής αποθήκευσης θα πρέπει να βελτιστοποιεί το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας, να απορροφά ηλιακή ακτινοβολία και την μεταβιβάζει στο υλικό pcm.

Την καλοκαιρινή περίοδο η αποθήκευση επαρκής ηλιακή ακτινοβολίας και την νύχτα με μεθόδους σωστού αερισμού είναι βασικές τεχνικές για να κάνουμε τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας να δουλέψουν σωστά (να μειωθεί η ενεργειακή απαίτηση για ψύξη).

Επιπλέον τα υλικά αλλαγής φάσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν και σε θερμοκήπια για να μειωθεί η διαφορά θερμοκρασίας από 3-5° C στη διάρκεια μιας μέρας. Αυτή η διακύμανση θερμοκρασίας μπορεί να βελτιωθεί ενισχύοντας τη μεταφοράς θερμότητας ανάμεσα στα συστήματα θερμικής αποθήκευσης και στον αέρα που βρίσκεται μέσα στο θερμοκήπιο.

### **3 Κατασκευή με τοποθέτηση pcm**

#### **3.1 Κτίρια ως θερμοδυναμικά συστήματα**

Όταν ξεκινάμε να γίνονται μελέτες για κτίρια ένας από τους στόχους που πρέπει να επιτευχθεί είναι να εξασφαλιστεί η εσωτερική θερμική άνεση του καθόλη τη διάρκεια του έτους, με ελάχιστη βοηθητική ζήτηση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη.[5]

Ο τρόπος κατασκευής του κτιρίου παίζει σημαντικό ρόλο στην καθυστέρηση και στη διακύμανση της εξωτερικής θερμοκρασίας στους εσωτερικούς χώρους. Αν μπορεί να αποθηκεύει ενέργεια και να έχει μια σωστή μόνωση το οποίο να μπορεί να κρατάει το εσωτερικό περιβάλλον σε άνετα επίπεδα χωρίς να χρειάζεται να χρησιμοποιείται ενέργεια





ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

επιπλέον για θέρμανση και ψύξη τότε λέμε είναι ο ιδανικός χώρος που δεν σπαταλάει ενέργεια παρά μόνο λειτουργεί με φυσικό τρόπο.

Ωστόσο, τα σπίτια είναι αρκετά περίπλοκα θερμοδυναμικά συστήματα, γιατί ακόμα και τώρα συνεχώς αυξάνονται οι απαιτήσεις και συνάμα πιο περίπλοκες περιπτώσεις για μελέτη επειδή ένα κτίριο ιδανικής εξοικονόμησης ενέργειας είναι δύσκολο να επιτευχθεί.

Οι εξωτερικές προσκλήσεις οφείλονται κυρίως στις τοπικές εξωτερικές κλιματολογικές συνθήκες κυρίως τη θερμοκρασία του αέρα, την ταχύτητα του ανέμου και την ηλιακή ακτινοβολία. Οι εσωτερικές διακυμάνσεις προέρχονται από εσωτερικά θερμικά φορτία που σχετίζονται με την πληρότητα του κτιρίου.

Για συγκεκριμένες κλιματολογικές συνθήκες, ανταλλαγή αέρα, το μέγεθος του δωματίου, το πάχος του κελύφους του κτιρίου η θερμοκρασία του αέρα σχετίζονται στενά με τις θερμοφυσικές ιδιότητες των υλικών του περιβλήματος του κτιρίου, κυρίως τη θερμική αντοχή και την αποθήκευση ενέργειας.

Επιπλέον, βελτιώνοντας την θερμική απόδοση του φλοιού του κτιρίου και την ικανότητα να αποθηκεύει θερμότητα είναι απαραίτητη ώστε να μειώνεται η ενέργεια που σπαταλιέται για θέρμανση και ψύξη.

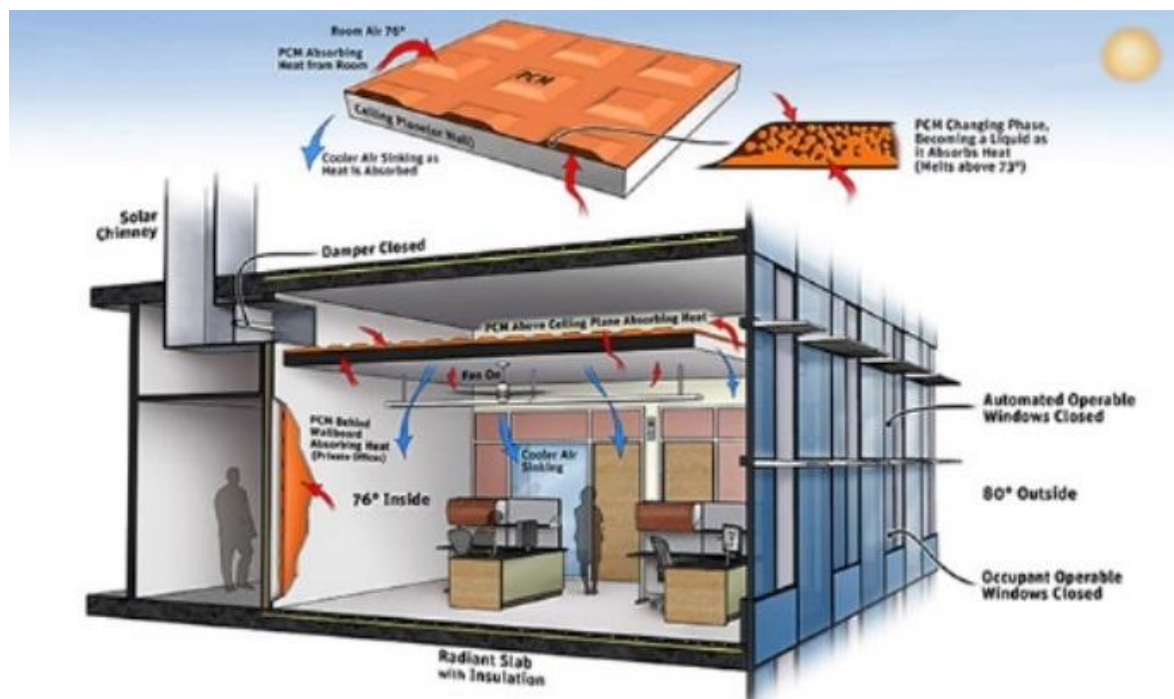
Στις νέες οικοδομικές άδειες υπάρχουν κανόνες που απαιτούν να υπάρχουν ενεργειακά σπίτια. Ένα μεγάλο παράγοντα για να βελτιώσουμε τα σπίτια μας να γίνουν πιο ενεργειακά θα είναι τα υλικά αλλαγής φάσης που ενσωματώνονται στα οικοδομικά υλικά.

Τα pcm παρέχουν μεγάλη θερμική ισχύ σε περιορισμένο εύρος της θερμοκρασίας, μπορεί να αποθηκευτεί επιπλέον ενέργεια στο φλοιό του κτιρίου σε σύγκριση με τα απλά συμβατικά υλικά. Στη συνέχεια, αυτός ο τρόπος θα μας βοηθήσει να μπορούμε να έχουμε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, κυρίως για την ηλιακή θερμική ενέργεια.

Δεδομένου ότι οι θερμικές βελτιώσεις του φλοιού του κτιρίου οφείλονται στην τοποθέτηση με υλικά αλλαγής φάσης τότε θα πρέπει να γίνει λεπτομερής μελέτη γιατί τα pcm επηρεάζονται κυρίως από τον σχεδιασμό του κτιρίου, από τον προσανατολισμό των κατασκευαστικών στοιχείων αλλά και από τύπο του υλικού αλλαγής φάσης που χρησιμοποιείται.[5]



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



Εικόνα 6 Όλα τα είδη εφαρμογής pcm σε ένα κτίριο

### 3.2 Ελαφριά και βαριά κατασκευή

Η ελαφριές κατασκευές που είναι δομημένες από ξύλο και από σίδηρο εμφανίζουν κάποια πλεονεκτήματα σε σχέση με τις βαριές κατασκευές όπως τσιμεντένιες κατασκευές. Το βασικό κίνητρο που έχουμε για να χρησιμοποιηθεί ελαφριά κατασκευή προκύπτει από την ανάγκη για δόμηση σε σύντομο χρονικό διάστημα και για αρχιτεκτονική ευελιξία. [7]

Επιπλέον οι απλές συμβατικές ελαφριές κατασκευές είναι κατάλληλες για μαζική παραγωγή με τέλεια ποιότητα και αυτό επιτυγχάνεται γιατί περνάει από εργοστασιακό έλεγχο. Στη συνέχεια, σε σύγκριση με τις απλές τσιμεντένιες κατασκευές θα είναι και το περιβάλλον πιο φιλικές γιατί πρώτον θα μειωθεί η ενέργεια που απαιτείται για να μεταφερθούν όλα αυτά τα βαριά προϊόντα όπως (πχ μεγάλες ποσότητες τσιμέντου) και δεν είναι και εύκολα ανανεώσιμα.

Οι αποτελεσματικές τεχνικές του εργοστασίου θα μπορεί τα υλικά που απαιτεί για να γίνει μια ελαφριά κατασκευή να τα κάνει να είναι ανακυκλώσιμα. Ωστόσο, τα ελαφριά κτίρια οδηγούν συνήθως σε κτίρια με χαμηλή θερμική μάζα.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Όσον αφορά τη θερμική άνεση, αυτή η χαμηλή θερμική μάζα και συνακόλουθος κίνδυνος άνεσης δημιουργεί προβλήματα (όπως η υπερθέρμανση) αυτό ακολούθως είναι το κύριο μειονέκτημα της ελαφριάς κατασκευής. Έχει επίσης χαμηλότερη θερμική αδράνεια και είναι πιο ευάλωτη στις μεγάλες διακυμάνσεις σε εξωτερικά και εσωτερικά φορτία.

Λαμβάνοντας αυτές τις παραμέτρους τόσο οι κατοικίες αλλά και τα γραφεία οι οποίες είναι δομημένες με ελαφριά κατασκευή μπορεί να τοποθετηθούν στα θερμικά ενεργειακά συστήματα υλικά αλλαγής φάσης (pcm) τα οποία θα αυξήσουν την αποθήκευση θερμικής ενέργειας και θα βοηθήσουν να αποφευχθούν προβλήματα υπερθέρμανσης κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες εξαιτίας της συνεχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας.

Λόγω των ιδιοτήτων των pcm θα μπορούσε να βελτιστοποιηθεί το εύρος της εσωτερικής θερμοκρασίας και να μειωθούν τα φορτία αιχμής ψύξης. Στη διάρκεια του χειμώνα η εφαρμογή συστημάτων θερμικών ενεργειακών συστημάτων με υλικά αλλαγής φάσης θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκμεταλλευτεί την ηλιακή θερμική ενέργεια για θέρμανση.

Ακόμα ένας σημαντικός παράγοντας είναι τα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας με υλικά αλλαγής φάσης μπορεί να είναι πολύ αποτελεσματικά για τη μετατόπιση θερμικών φορτίων για θέρμανση και ψύξη εκτός περιόδου αιχμής. Για να γίνει πιο κατανοητό τα υλικά αλλαγής φάσης αποθηκεύουν 5 με 14 φορές παραπάνω θερμότητα ανά μονάδα όγκου από ότι τα συμβατικά υλικά όπως είναι το νερό, το τσιμέντο ή και η πέτρα.

Όσον αφορά την κατασκευή βαρών οικοδομών με τοποθέτησή υλικών αλλαγής φάσης έχει ένα ακόμα θετικό παράγοντα ότι θα μπορούσε να ελαφρύνει το βάρος της κατασκευής διατηρώντας τη θερμότητα και τις ιδιότητες των θερμικών στοιχείων.

Εν ολίγοις, η συμπεριφορά των κτιρίων με υψηλή ή χαμηλή θερμική αδράνεια είναι διαφορετική και η συμπεριφορά των υλικών αλλαγής φάσης θα πρέπει να αντικατοπτρίζει αυτή την συμπεριφορά. [5]



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



Εικόνα 7 Μια ελαφριά κατασκευή στις Ελβετικές Άλπεις με υλικά αλλαγής φάσης

### 3.3 Καθημερινή βελτιστοποίηση κύκλου εναλλαγής φάσης

Η θερμική απόδοση κάθε θερμικών ενεργειακών συστημάτων εμπλουτισμένο με υλικά αλλαγής φάσης εξαρτάται από κάποιους παράγοντες όπως:

- Από την εσωτερική θερμική ισχύ των φορτίων.
- Στις κλιματικές συνθήκες στην ηλιακή ακτινοβολία.
- Στη θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- Στα χαρακτηριστικά και χρήση του κτιρίου.
- Στις παραμέτρους σχεδιασμού όπως τα στοιχεία σκίασης.
- Στο προσανατολισμό του συστήματος ενεργειακής αποθήκευσης δηλαδή τη θέση του συστήματος εντός του κτιρίου.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

- Τον τύπο  $rcm$  που έχει εφαρμοστεί.

Για παράδειγμα, λαμβάνοντας υπόψη το  $rcm$  ως μια κατασκευαστική λύση, η οποία σκοπεύει να εκμεταλλευτεί την ηλιακή θερμική ενέργεια για θέρμανση στη διάρκεια του χειμώνα, ο όγκος του λιωμένου υλικού αλλαγής φάσης εξαρτάται από την περίοδο ηλιοφάνειας, από τη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας από της θερμοφυσικές ιδιότητες του υλικού αλλαγής φάσης κυρίως από τη μεταβολή φάσης της λανθάνουσας σύντηξης και της θερμικής αγωγιμότητας.

Ο βασικός στόχος για να λειτουργεί σωστά το  $rcm$  είναι να μπορεί να αποθηκεύει και να διανέμει ενέργεια με την ακριβή ποσότητα υλικού αλλαγής φάσης που χρειάζεται. Η αποθηκευμένη ενέργεια που χρειάζεται σε ένα πλήρη ημερήσιο κύκλο είναι ανάλογη με τον όγκο του  $rcm$  ενώ όσο το  $rcm$  λιώνει η λανθάνουσα θερμότητα απορροφάται.

Από την άλλη πλευρά, η απελευθερωμένη ενέργεια είναι ανάλογη προς τον στερεοποιημένο όγκο  $rcm$  κατά την περίοδο εκφόρτωσης της ενέργειας. Παρατηρείται ότι λόγω της χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας των  $rcm$  οι οποίες κυμαίνονται κατά κύριο λόγο από 0,2 έως  $0,7 \frac{w}{m \cdot k}$ , αυτά τα συστήματα έχουν ένα αρκετά μεγάλο μειονέκτημα το οποίο έχει αργή μεταφορά θερμότητας κατά την διάρκεια των διαδικασία εκφόρτωσης.

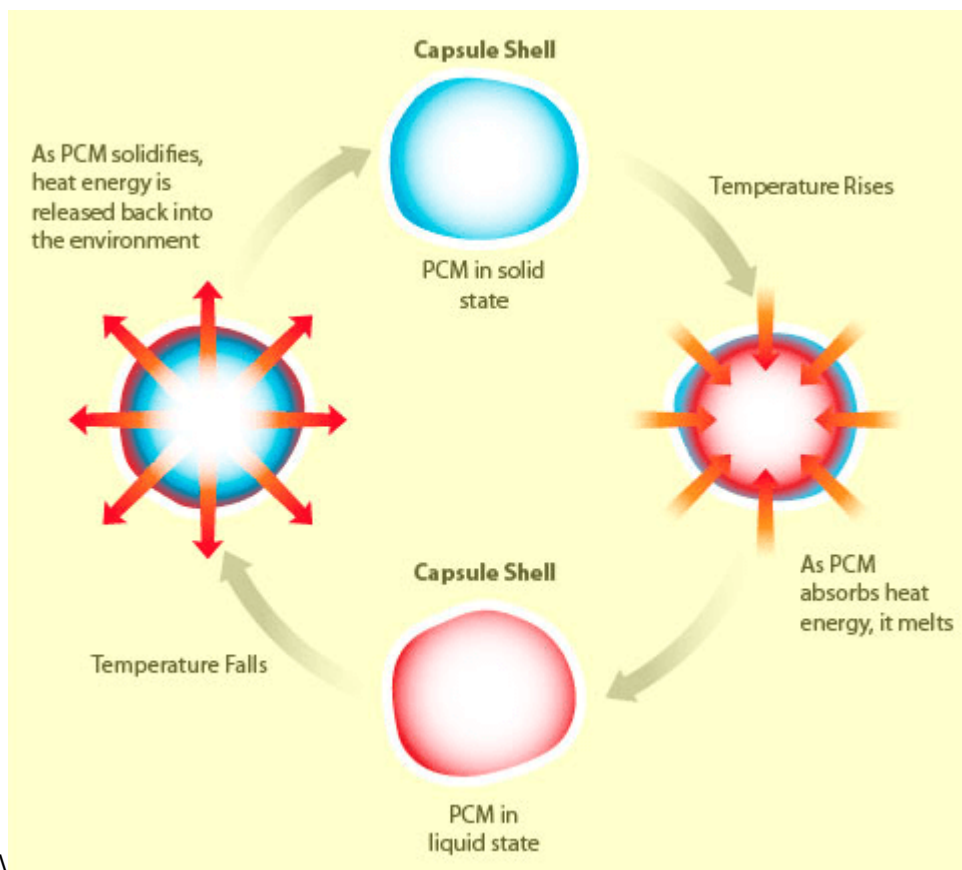
Εάν το υλικό αλλαγής φάσης που θα εφαρμοστεί δεν γίνει σωστή εκτίμηση της μάζας του δηλαδή τοποθετηθεί λιγότερο υλικό από ότι χρειάζεται τότε ο χρόνος που θα χρειαστεί για να μπορεί να διεισδύσει η θερμότητα στο  $rcm$  θα μπορούσε να γίνει μικρότερος και να μην του φτάνει η περίοδος της ηλιοφάνειας. Ως αποτέλεσμα, η διαδικασία τήξης να μην μπορεί να ολοκληρωθεί.

Σε αντίθεση αν η μάζα του υλικού αλλαγής φάσης υπερεκτιμηθεί τότε ο χρόνος που απαιτείται για την θερμότητα που θα απελευθερωθεί στους εσωτερικούς χώρους να είναι μεγαλύτερος από την διαδικασία στερεοποίησης και να μην μπορεί να ολοκληρωθεί.

Ως εκ τούτου, η ανεπαρκής θερμική αποθήκευση επιτυγχάνεται όταν το υλικό αλλαγής φάσης δεν μπορεί να στερεοποιηθεί ή ούτε να μπορεί να λιώσει. Δηλαδή, εάν το υπάρχον υλικό αλλαγής φάσης που έχει χρησιμοποιηθεί δεν είναι το κατάλληλο για συγκεκριμένα εύρη θερμοκρασιών ή εάν το σύστημα θερμικής ενέργειας δεν λειτουργεί μέσα στο προβλεπόμενο χρόνο και για τον συγκεκριμένο σκοπό τότε δεν θα επιτευχθεί το δυναμικό των  $rcm$ .



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



Εικόνα 8 Θερμικός κύκλος υλικών αλλαγής φάσης

### 3.4 Τοποθέτηση υλικών αλλαγής φάσης για αποφυγή διαρροής

Όταν το υλικό pcm επιλεγεί θα πρέπει να γίνει σωστός υπολογισμός του εύρους θερμοκρασίας και οι θερμοκρασιακές του ιδιότητες να συνυπάρχουν και να εφαρμόζουν με τα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας ( κατασκευαστικά υλικά ή τύπος οικοδομής), για να αποφευχθούν τυχόν διαρροές στη διάρκεια αλλαγής φάσης.[7]

Υπάρχουν τρεις τεχνικές που χρησιμοποιείται το υλικό pcm στο κατασκευαστικό κλάδο οι οποίες είναι:

- Η ενσωμάτωση
- Η συγχώνευση
- Ο εγκλεισμός



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Οι δύο πρώτες μέθοδοι η ενσωμάτωση και η εμβάπτιση είναι οι πιο κοινές και βασικές τεχνικές εφαρμογής υλικών αλλαγής φάσης στο κατασκευαστικό κλάδο. Η πρώτη μέθοδος είναι η πιο απλή και η πιο φτηνή. Μπορεί να βρεθεί υγρή ή σε μορφή πούδρας το υλικό αλλαγής φάσης μπορεί να αναμειχθεί με οικοδομικά υλικά όπως γύψο και τσιμέντο, χωρίς να χρειαστεί να επιπλέον εξοπλισμός.

Ωστόσο, υπάρχει περίπτωση να εμφανιστούν κάποια προβλήματα διαρροής ή και ασυμβατότητας με κάποια υλικά. Στη δεύτερη περίπτωση το υλικό εφαρμόζεται απευθείας σε γύψινους πίνακες, σε τούβλα ή σε τσιμεντότουβλα.

Εκεί το υλικό pcm εμφανίζεται σε υγρή μορφή όμως θα πρέπει να τονιστεί πως και εκεί πιθανόν να έχουμε και εκεί διαρροές μακροχρόνια. Στην τελευταία περίπτωση στον εγκλεισμό θα πρέπει το δοχείο που θα τοποθετηθεί να ακολουθήσει κάποιους κανόνες:

- *Το πόσο σταθερό, εύκαμπτο και θερμικά σταθερό είναι.*
- *Να λειτουργεί ως ασπίδα για τυχόν επιβλαβές επαφές με το περιβάλλον*
- *Να παρέχει ικανοποιητική επιφάνεια για μεταφορά της θερμότητας.*
- *Να παρέχει οικοδομική σταθερότητα.*

Μια περιγραφή για να προσδιορίσουμε τη δομή του υλικού αλλαγής φάσης είναι από μεμονωμένα σωματίδια σε υγρή η στερεή μορφή τα οποία επικαλύπτονται με μια συνεχόμενη μεμβράνη ή με πολυμερές υλικά.

Αυτά στη συνέχεια παράγουν σωματίδια σε μέγεθος χιλιοστού γνωστά ως μικροσωματίδια. Ο συγκεκριμένος τρόπος αποτρέπει την περίπτωση διαρροής στη διάρκεια της αλλαγής φάσης, το οποίο συνεισφέρει στο πάντρεμα του pcm με τα δομικά υλικά όπως γύψο και τσιμέντο.

Αρκετές φυσικές ή τεχνικές μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια για την παραγωγή μικροκάψουλων. Οι μικροκάψουλες βοηθάνε στη βελτίωση της μεταφοράς θερμότητας βοηθώντας στη σωστή κατανομή θερμότητας της επιφάνειας και ελέγχουν τη σωστή κατανομή όγκου.

Επιπλέον, οι μικροκάψουλες πιθανόν να επηρεάσουν και τη μηχανική του αντοχή σε κάποια δομικά υλικά αλλά και προβλήματα απόψυξης. Θα πρέπει το δοχείο το οποίο συσκευάζεται το υλικό όπως σε σφαίρες, πάνελς ή σε οποιοδήποτε άλλο δοχείο να μπορεί να συνεργαστεί με συστήματα θερμικής ενέργειας.

Πρέπει να είναι σχεδιασμένες να ταιριάζουν σε ποικίλες εφαρμογές. Η θερμική και γεωμετρική παράγοντες του δοχείου χρειάζεται συγκεκριμένη ποσότητα υλικού γιατί αυτό επηρεάζει τη διαδικασία υγροποίησης και την απόδοση του υλικού pcm.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Ως εκ τούτου, το δοχείο θα πρέπει να βελτιστοποιήσει την αύξηση μεταφοράς θερμότητας κατά την διάρκεια αλλαγής φάσης, για να αποφευχθεί απώλεια υλικού, διάβρωση και άλλα προβλήματα.

Τα τελευταία χρόνια ένα καινούριο είδος εμφανίστηκε στην αγορά λέγεται σταθερό pcm (SSPCM). Αυτό έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον των ερευνητών να το αναπτύξουν. Εξαιτίας της υψηλής και σταθερής θερμοκρασίας που λαμβάνει έχει υψηλή θερμική αγωγιμότητα και την ικανότητα να κρατάει την μορφή του σταθερή στην διάρκεια αλλαγής φάσης και έχει καλή απόδοση στη μακροχρόνια εναλλαγής ψυκτικών κύκλων.

Αυτό το υλικό pcm θα αναμειχθεί με κάποια βοηθητικά υλικά (είναι υλικά με υψηλή πυκνότητα πολυαιθάνης) να το μετατρέψουν σε ένα σταθερό και σύνθετο υλικό. Το συγκεκριμένο υλικό μελετάται από τα ερευνητικά κέντρα γιατί θα μπορεί να εφαρμοστεί και σε δομικούς τοίχους σε οροφές και πατώματα και το ενδιαφέρον ανάπτυξής του συνεχώς αυξάνει. [8]

Για να γίνει κατανοητό από μελέτη που έγινε απεδείχθη πως με την τοποθέτηση του υλικού αλλαγής φάσης σε τοιχοποιία ενός κτιρίου μπορεί να βελτιώσει την εσωτερική θερμοκρασία σε επιθυμητά επίπεδα κατά 79%. Τέλος πρέπει να γίνει αναφορά πως όλες οι παραπάνω τεχνικές αναφέρονται σε υλικά που μετατρέπονται από υγρά σε στερεά και ανάποδα.

Οι μελετητές προσπαθούν να βελτιώσουν το υλικό αλλαγής φάσης σε ένα νέο είδος το οποίο θα μπορεί μόνο να έχει στερεά μορφή για να μειώσει τα προβλήματα όπως περιπτώσεις διαρροής και άλλες μορφές προβλημάτων που έχουν τα σημερινά υλικά στερεάς υγρής μορφής.





<b>IcePACK Design Data</b>						2013-1
<b>ANTI-CONDENSATION APPLICATION</b>						
PCM Type	<b>3-25C</b>					
Type	EXTERNAL DIMENSIONS			Weight kg	Capacity Wh	
	L (mm)	W (mm)	H (mm)			
Small	150	80	30	0.49	19	
Medium	150	135	30	0.83	33	
Large	300	150	30	1.85	76	
FlatICE	500	250	32	5.47	222	
<b>UPTO 18~20C NIGHT AMBIENT APPLICATIONS</b>						
PCM Type	<b>327</b>					
Type	EXTERNAL DIMENSIONS			Weight kg	Capacity Wh	
	L (mm)	W (mm)	H (mm)			
Small	150	80	30	0.40	17	
Medium	150	135	30	0.68	29	
Large	300	150	30	1.51	67	
FlatICE	500	250	32	4.47	195	
<b>UPTO 23~25C NIGHT AMBIENT APPLICATIONS</b>						
PCM Type	<b>332</b>					
Type	EXTERNAL DIMENSIONS			Weight kg	Capacity Wh	
	L (mm)	W (mm)	H (mm)			
Small	150	80	30	0.48	22	
Medium	150	135	30	0.81	38	
Large	300	150	30	1.81	87	
FlatICE	500	250	32	5.35	254	
<b>UPTO 25~27C NIGHT AMBIENT APPLICATIONS</b>						
PCM Type	<b>334</b>					
Type	EXTERNAL DIMENSIONS			Weight kg	Capacity Wh	
	L (mm)	W (mm)	H (mm)			
Small	150	80	30	0.65	18	
Medium	150	135	30	1.11	32	
Large	300	150	30	2.50	72	
FlatICE	500	250	32	7.35	210	

Πίνακας 1 Τέσσερα είδη διαστάσεων καψουλών με υλικά αλλαγής φάσης

### 3.5 Τα ιδανικά υλικά για οικοδομικές εφαρμογές

Η θερμική άνεση μπορεί να οριστεί από τη θερμοκρασία λειτουργίας που ποικίλλει ανάλογα με το χρόνο. Το «ASHRAE» (Αμερικανική Εταιρεία Θέρμανσης, Ψύξης και Μηχανικοί κλιματισμού) έχουν καταγράψει τις προτεινόμενες θερμοκρασίες διαφορετικών τύπων κτιρίων και περιβαλλοντικών συνθηκών. [9]

Η προτεινόμενη θερμοκρασία δωματίου είναι 23,5°C - 25,5°C το καλοκαίρι και 21°C -23°C το χειμώνα. Το ιδανικό περιβάλλον για θερμική άνεση είναι μια θερμοκρασία που κυμαίνεται από τους 18°C-30°C και σε αυτές τις συνθήκες τοποθετούμε υλικά αλλαγής φάσης. Παρακάτω στο πίνακα θα παρουσιαστούν υλικά συμπεριλαμβανομένων των οργανικών pcm, ένυδρων αλάτων, ευκτιτικά, καθώς και τα εμπορικά pcm:



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

PCMs	Type	Melting Temperature (°C)	Heat of fusion (kJ/kg)	Specific Heat (kJ/kg °K)	Thermal Conductivity (W/m °K)
Paraffin C <sub>16</sub> -C <sub>18</sub>	Organic	20-22	152	---	---
Paraffin C <sub>13</sub> -C <sub>24</sub>	Organic	22-24	189	2.1	0.21
Paraffin C <sub>18</sub>	Organic	28	244	2.16	0.15
Butyl stearate	Organic	19	140	---	---
1-Dodecanol	Organic	26	200	---	---
n-Octadecane	Organic	28	200	---	---
Vinyl stearate	Organic	27-29	122	---	---
Dimethyl sabacate	Organic	21	120-135	---	---
Polyglycol E600	Organic	22	127.2	---	0.1897 (l)
45/55 capric + lauric acid	Organic eutectic	21	143	---	---
Propyl palmitate	Organic	19	186	---	---
Octadecyl					
3-mencaptopropyla te	Organic	21	143	---	---
$KF \cdot 4H_2O$	Hydrate salts Hydrate	18.5	231	1.84 (s) 2.39 (l)	---
$Mn(NO_3) \cdot 6H_2O$	salts Hydrate	25.8	125.9	---	---
$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	salts	29.7	171	1.45 (s)	---
$CaCl_2 \cdot 6H_2O \cdot Nucleat$ $\cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O(2:1)$	Inorganic eutectics	25	127	---	---

Πίνακας 2 Θερμικές ιδιότητες υλικών αλλαγής φάσης



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

### 3.6 Παθητικός τρόπος αποθήκευσης ενέργειας σε κτήρια

Οι εφαρμογές υλικών αλλαγής φάσης σε κτήρια έχει δύο στόχους να εκπληρώσει. Πρώτον, φυσική θέρμανση με ηλιακή ακτινοβολία για θέρμανση τις πρωινές ώρες και το βράδυ για ψύξη. Δεύτερον, δημιουργώντας τεχνικούς τρόπους για θέρμανση και ψύξη.

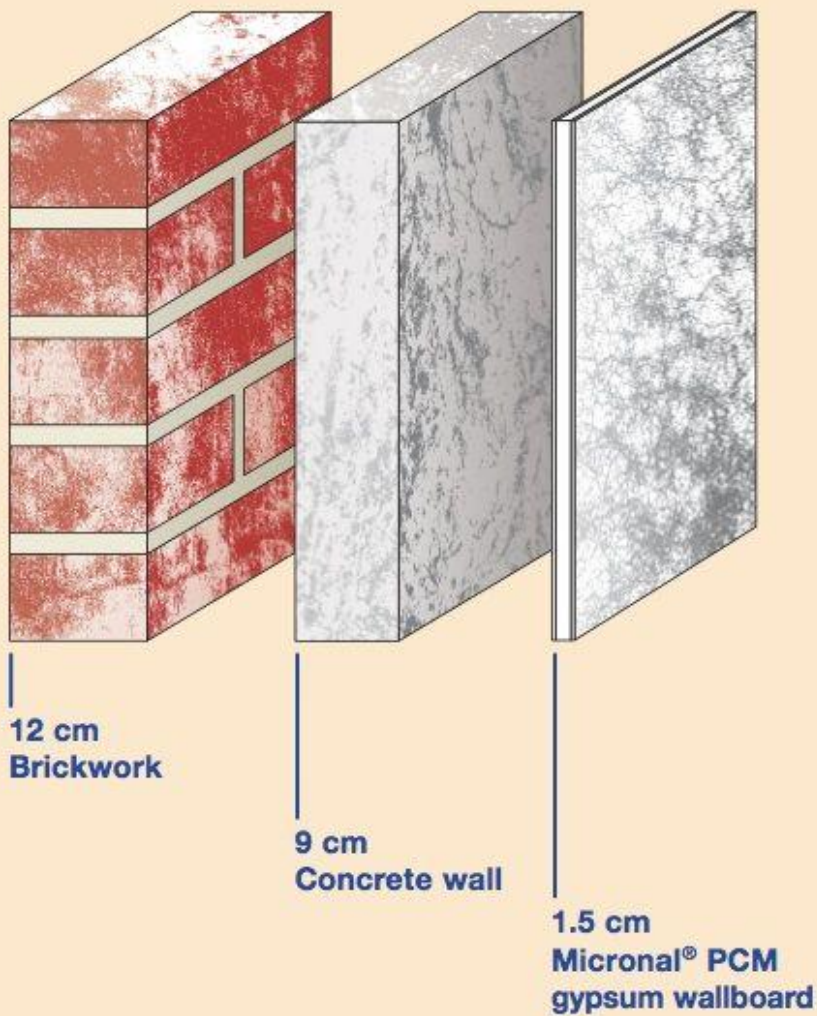
Σε οποιοδήποτε περίπτωση, η αποθήκευση ενέργειας για θέρμανση ή ψύξη είναι απαραίτητη να υπάρχει γιατί σε σύντομο χρονικό διάστημα θα μπορούμε να έχουμε της επιθυμητές θερμοκρασίες χωρίς να σπαταλάτε ενέργεια. Βασικά κάποιες από της εφαρμογές των υλικών αλλαγής φάσης στον κατασκευαστικό κλάδο χρησιμοποιείται σε :

- *Τοποθέτηση σε τοιχοποιία (τοιχος Trombe).*
- *Τοποθέτηση σε υποδαπέδια συστήματα θέρμανσης.*
- *Τοποθέτηση σε υάλινες επιφάνειες.*
- *Τοποθέτηση σε οροφές.*
- *Τοποθέτηση σε γυψοσανίδες.*



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

## Heat Storage Capacity Comparison



**A Micronal® PCM gypsum wallboard only 1.5 cm thick features a thermal storage capacity identical to that of 9 cm concrete or 12 cm brickwork! Thus, it is the ideal building material for both refurbishment and modern lightweight construction.**



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

*Εικόνα 9 Η θερμική αποθήκευση είναι ίδια σε τρία διαφορετικά δομικά υλικά*

Έχουν γίνει κάποιες μελέτες και παρατηρήθηκε αν έχει γίνει σωστή μελέτη υλικού αλλαγής φάσης τότε θα μηδενίσει τα αρνητικά χαρακτηριστικά που έχει ένας κοινός τοίχος. Επιπλέον έγινε μια έρευνα και παρατηρήθηκε πως ένας τοίχος πάχους 8.1 cm με τεχνολογία pcm έχει καλύτερη θερμική απόδοση από έναν συμβατικό τοίχο με 40 cm πάχους.

### **3.7 Υλικό αλλαγής φάσης με χρήση τοιχοποιίας Trombe**

Η μέθοδος με την χρήση του τοίχου trombe είναι μια τεχνολογία που μπορεί να επιφέρει άμεσα κέρδη στην κατανάλωσης ενέργειας που σπαταλάμε στα σπίτια μας. Είναι ένας τοίχος που τοποθετείται στην βόρεια εξωτερική πλευρά του τοίχου. [14]

Έχει μονή η διπλή στρώση από γυαλί η πλαστικό και έχει την μορφή υαλοπίνακα. Τοποθετείται σε απόσταση 4 ιντσών από των εξωτερικό τοίχο. Η ηλιακή ακτινοβολία αποθηκεύεται στο χώρο που δημιουργείται ανάμεσα στο τοίχο και τον υαλοπίνακα.

Η εξωτερική επιφάνεια του τοίχου χρωματίζεται με μαύρο χρώμα το οποίο απορροφά θερμότητα. Η θερμότητα μοιράζεται από τον trombe τοίχο στο σπίτι σε γρήγορο χρονικό διάστημα. Όταν η εσωτερική θερμοκρασία πέφτει χαμηλότερα από την θερμοκρασία του τοίχου τότε ξεκινά να εκλύει θερμότητα στο περιβάλλον.

Η χαμένη θερμότητα μπορεί να προστατευθεί αν τοποθετηθεί μια κουρτίνα η οποία θα είναι κλειστή το βράδυ ανάμεσα στο τοίχο και στον υαλοπίνακα. Η τοιχοποιία με τεχνολογία trombe είναι μια πολύ ελπιδοφόρα τεχνολογία και στο μέλλον θα έχουμε περισσότερη γνώση να βελτιωθεί και σε μεγαλύτερη κλίμακα. Είναι ένας τοίχος γεμάτος με υλικά αλλαγής φάσης που συνήθως τοποθετείται στη βόρεια πλευρά του κτιρίου.

Ο τοίχος στη διάρκεια της ημέρας δέχεται μεγάλη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας και το υλικό pcm λιώνει. Το βράδυ η θερμότητα αποτραβιέται για να κρατήσει το σπίτι σε λογικές θερμοκρασίες. Τα κύρια χαρακτηριστικά του trombe wall είναι από ανόργανα ενυδρά άλατα.

Όπως τα ενυδρά άλατα και οι υδρογονάνθρακες. Το ιδανικό στο μέλλον για να εξοικονομήσουμε ενέργεια θα ήταν να μπορούμε να τοποθετούμε τα υλικά και σε οροφές, πατώματα για να μπορούμε να ρυθμίζουμε την θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Πειραματικά και πρακτικά τεστ έχουν εφαρμοστεί και αποδεικνύουν πως η χρήση υλικού αλλαγής φάσης είναι απαραίτητη. Φανταστείτε ένα σπίτι με χρήση τοιχοποιίας trombe πόσο χώρο θα μπορούσαμε να γλυτώσουμε πέρα από την θερμική απόδοση που είναι αποδοτικότερη.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



Εικόνα 10 Trombe wall με υλικά αλλαγής φάσης

### 3.8 Τοίχοι ενισχυμένοι με υλικά αλλαγής φάσης

Οι τοίχοι οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με υλικά αλλαγής φάσης (pcm) προσφέρουν τη δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας την περίοδο αιχμής έτσι ώστε να έχουμε θερμική άνεση στα κτίρια. Εντούτοις, η ενσωμάτωση του pcm σε ήδη εγκατεστημένους τύπους τοίχων οι οποίοι αποτελούνται από διάφορα στρώματα(π.χ. μόνωση, τοίχωμα, σανίδα τοίχου κ.λπ.) δημιουργούνται αρκετές προκλήσεις και συνάμα επιπλέον χρόνο κατασκευής.[13][14]

Μια επιπλέον πιθανή λύση για την ενσωμάτωση υλικών αλλαγής φάσης στους τοίχους θα είναι η απευθείας ανάμιξη του pcm με μόνωση κατά την διαδικασία κατασκευής της μόνωσης. αποδοτικότερος τρόπος ρύθμισης του τοίχου, επιτυγχάνεται με επιλογή υλικού αλλαγής φάσης του οποίου η θερμοκρασία τήξης είναι πολύ κοντά με τη μέση ημερήσια θερμοκρασία του τοίχου και όχι του περιβάλλοντος.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Τρία βασικά πλεονεκτήματα που έχουμε με τη χρήση τοιχοποιίας με υλικά αλλαγής φάσης:

- δωρεάν ψύξη
- αποθήκευση σε κρύο
- πρόληψη της ηλιακής ακτινοβολίας

Τα τελευταία χρόνια, αρκετοί συγγραφείς προτείνουν τη χρήση pcm σε αεριζόμενες προσόψεις για να συνδυαστούν τα ευεργετικά αποτελέσματα μιας αεριζόμενης πρόσοψης με τα κατάλληλα πλεονεκτήματα των pcm.

Ένα επιπλέον γεγονός που πρέπει να αναφερθεί είναι κατάλληλα για ενσωμάτωση σε μικροκάψουλες το οποίο μπορεί να τοποθετηθεί αρκετά εύκολα. Είναι ευρέως φθηνά και χρησιμοποιείται κυρίως σε κτίρια ιδίως σε ελαφριές κατασκευές. Τέλος η σωστή ενσωμάτωση εξαρτάται από κάποιους παράγοντες όπως:

- Με ποιο τρόπο ενσωματώνεται το pcm στο τοίχο.
- Τον προσανατολισμό του τοίχου.
- Τις κλιματικές συνθήκες.
- Την ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας που αποθηκεύεται.
- Το χρώμα της επιφάνειας.
- Τα ποσοστά αερισμού και διείσδυσης.
- Της θερμοφυσικές ιδιότητες του επιλεγμένου pcm.
- Την ακριβή θερμοκρασία που γίνεται αλλαγή φάσης.

Εξισώνοντας τη θερμοκρασία τήξης του pcm με τη μέση ημερήσια του τοίχου μπορούμε να εκμεταλλευτούμε το μεγαλύτερο μέρος της αποθηκευτικής ικανότητας του υλικού αλλαγής φάσης, καθώς και να πετύχουμε την εξομάλυνση των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων στον εσωτερικό χώρο.

Ερευνητές αξιολόγησαν τη δυνατότητα ενός στρώματος υλικού αλλαγής φάσης το οποίο τοποθετείται μεταξύ δύο στρωμάτων μονωτικού υλικού. Το ίδιο το στρώμα pcm ήταν ένα μίγμα περλίτη αναμειγμένο με υλικά αλλαγής φάσης που είναι σφραγισμένο μέσα σε συσκευασία.

Οι ερευνητές καταλήγουν ότι η θερμοκρασία και η μεταφορά θερμότητας του στρώματος pcm έχει μεγάλη επίδραση στην σωστή απόδοση θωράκισης του τοίχου. Επιπλέον, έγινε μια έρευνα όπου χρησιμοποίησαν δυο τύπους υλικά αλλαγής φάσης (στερεό-στερεό «GR41 και GR27»).

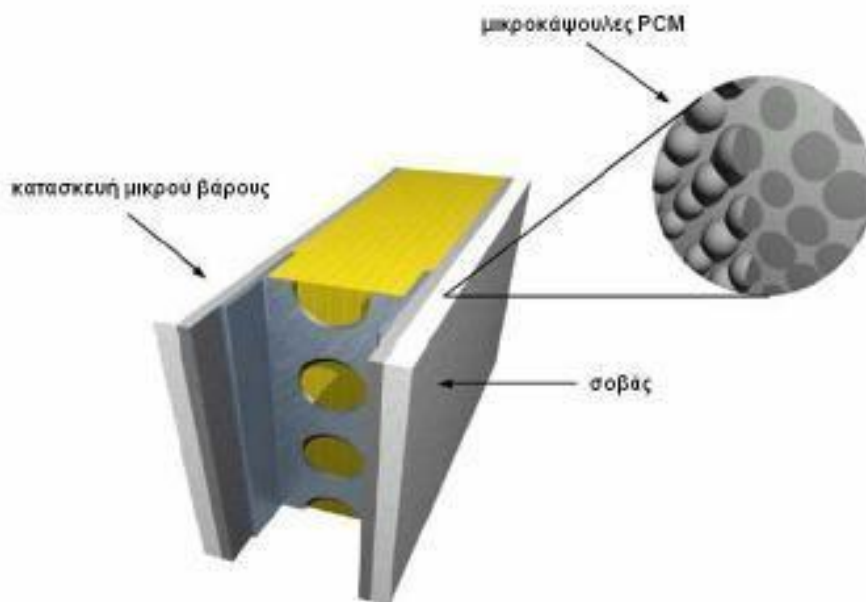


ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Το σύστημα αποτελείται από δύο στρώσεις κυρίων στρωμάτων τοιχοποιίας που χωρίζονται από το στρώμα pcm και από ένα χώρο ο οποίος ήταν κούφιος. Στην εσωτερική πλευρά τοποθετούνται τα υλικά αλλαγής φάσης και έχει ένα πάχος γύρω στα 20mm και η κούφια μεριά έχει και αυτή 20mm. Το κενό που αφήνεται γίνεται επειδή βοηθάει στη διατήρηση της θερμοκρασίας της εσωτερικής επιφάνειας του τοίχου.

Αυτό βοηθάει στο να δημιουργείται ένα ικανοποιητικό περιβάλλον κυρίως τους χειμερινούς μήνες δηλαδή είναι προτιμότερο αυτός ο τρόπος κατασκευής να εφαρμόζεται σε ψυχρά μέρη. Ο τοίχος για να έχουμε καλύτερα αποτελέσματα θα πρέπει να βρίσκεται σε περιοχή που έχει αρκετό αερισμό

Αφού λοιπόν δύναται να υιοθετηθεί μία μόνο θερμοκρασία αλλαγής φάσης (χρήση ενός μόνο pcm) αποδεικνύεται πως αυτή η θερμοκρασία θα πρέπει να κυμαίνεται γύρω από τη συνολική μέση θερμοκρασία του τοίχου, δηλαδή τη μέση τιμή της ημερήσιας θερμοκρασίας και την μέση τιμή της συνάρτησης της θερμοκρασίας του τοίχου σε σχέση με το πάχος του.



Εικόνα 11 σχηματική απεικόνιση τοίχου με υλικά αλλαγής φάσης

### 3.9 Γυψοσανίδες με εφαρμογή pcm





ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Η ενεργειακή αποθήκευση είναι σημαντικό τρόπο για να μετατρέψουμε την ηλιακή ακτινοβολία σε θέρμανση. Η ηλιακή ακτινοβολία που δέχονται οι τοίχοι και οι οροφές των κτιρίων θα μπορεί να αποθηκεύεται την διάρκεια της ημέρας και τη νύχτα να απελευθερώνεται. [17] [14].

Η νέα τεχνολογία με την χρήση υλικών αλλαγής φάσης προσφέρουν την τεχνολογία τοποθέτησης γυψοσανίδων εσωτερικά και έτσι μπορεί να αποθηκευτεί θερμική ενέργεια εύκολα και να αναβαθμιστεί ενεργειακά η οικοδομή.

Οι γυψοσανίδες είναι ευρέως γνωστές και μπορούμε να τις βρούμε σε ποικίλες εφαρμογές τα οποία είναι ιδανικά για να τοποθετηθεί υλικό αλλαγής φάσης. Οι επιστήμονες χρησιμοποίησαν ένα είδος κεριού παραφίνης το οποίο εμπότισαν μια γυψοσανίδα ώστε να μπορεί να δεχτεί ηλιακή ακτινοβολία.

Η διαδικασία γεμίσματος γυψοσανίδων με παραφίνη ξεκίνησε πειραματικά με μικρά δείγματα και τώρα χρησιμοποιείται με κανονικά μεγάλα μεγέθη φύλλα. Η κατασκευή της rcm γυψοσανίδας αποτελεί έναν επιτυχημένο συνδυασμό των μηχανικών ιδιοτήτων της συμβατικής γυψοσανίδας και των φυσικών ιδιοτήτων του ενσωματωμένου υλικού αλλαγής φάσης, του οποίου η συνεισφορά στην θερμική απόδοση του δομικού στοιχείου είναι πολύ μεγάλη.

Η rcm γυψοσανίδα προσαρτάται ως επιπλέον επίπεδο τοιχοποιίας είτε κατά την οικοδόμηση νέου κτιρίου είτε κατά την ανακαίνιση παλαιού, αυξάνοντας την θερμική μάζα του οικοδομήματος και βελτιώνοντας την θερμική συμπεριφορά του.

Ο τρόπος όπου το υλικό rcm ενσωματώνεται στις γυψοσανίδες έχει δύο τεχνικές είτε με τοποθέτηση σε μορφή υγρού rcm όπου γεμίζει τους πόρους της γυψοσανίδας ή εργοστασιακά όταν κατασκευάζεται η γυψοσανίδα να μπει σε υγρή μορφή το υλικό η οποία είναι και η πιο ιδανική.

Πέρα από την απλή γυψοσανίδα μπορεί να εφαρμοστεί και σε γύψινες ή και σετσιμεντένιες γυψοσανίδες. Κάποια από τα υλικά έχουν χαρακτηριστικά από μείγματα μεθυλεστέρες, συγκεκριμένα, παλμιτικό μεθύλιο, στεατικό μεθύλιο και μίγματα λιπαρών ουσιών βραχείας οξειδωσης (καπρικά και λαυρικά οξέα).

Αυτά τα υλικά έχουν χαρακτηριστικά με υψηλή αποθηκευτική ικανότητα για αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας και λόγω της καλής αποθηκευτικής ικανότητας φτάνουμε τα επίπεδα ικανοποιητικής άνεσης στο εσωτερικό των κτιρίων για αρκετό διάστημα.

Οι ερευνητές έχουν κάνει εκτενής έρευνα στη χρήση και στη σταθερότητα των οργανικών υλικών με υψηλή αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας. Η χρήση αποθήκευσης



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

λανθάνουσας θερμότητας με τα υλικά αλλαγής φάσης σε συνδυασμό με τοποθέτηση σε γυψοσανίδα θα μπορεί να βελτιώσει το εσωτερικό θερμικό περιβάλλον 10% έως 130% οι γύψινες πλάκες αποτελούνται από βρέξιμο συμβατικών σανίδων με υγρό βουτίλιο.

Το pcm αποκτά διαδικασία αλλαγής φάσης από 16-20.8°C. Η δόση βουτίλιου που τοποθετείται σε κάθε φύλλο γυψοσανίδα είναι κατά 25%. Η μέτρηση θερμικών ιδιοτήτων γίνεται με ειδικό θερμιδόμετρο (DSC) [16]. Τα υλικά αλλαγής φάσης χρησιμοποιούνταν και παλιά αλλά δεν είχαν γίνει σωστές μελέτες και υπήρχαν αρκετές διαρροές.

Για παράδειγμα χρησιμοποιούνταν μεγάλες επιφάνειες τοίχων με τοποθέτηση υλικού pcm και η μεταφορά θερμότητας με παθητικό τρόπο είχε ως αποτέλεσμα το pcm να λιώνει ακαριαία όταν υπήρχε επαφή με την ηλιακή ακτινοβολία. Την σημερινή εποχή μπορεί να εφαρμοστεί τεχνολογία με τοποθέτηση σε συμβατικές γυψοσανίδες ή και σε εργοστασιακές γυψοσανίδες το υλικό pcm.

Το θετικό είναι ότι μπορεί να τοποθετηθεί ή σε καινούριες εγκαταστάσεις ή και σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις και αυτό είναι πολύ θετικό γιατί τα οφέλη είναι τεράστια γιατί το κόστος τοποθέτησης δεν είναι μεγάλο και θα έχουμε άμεσα αποθήκευση ηλιακής ακτινοβολίας το οποίο θα βοηθήσει στο σωστό αερισμό και το σωστό χρόνο για την μηχανική ψύξη που χρειάζεται. Το κόστος είναι μικρό ή και αρκετές περιπτώσεις μηδαμινό την αντικατάσταση απλών σανίδων η βάψιμο με το κατάλληλο υλικό.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



Εικόνα 12 Ανακαίνιση σπιτιού με γυψοσανίδες εμπλουτισμένες με υλικά αλλαγής φάσης

### 3.9.1 Βασικοί τύποι για υπολογισμούς υλικών pcm σε γυψοσανίδα

Για να γίνει πιο κατανοητό στις μετρήσεις μας εστιάζουμε μόνο σε μια συγκεκριμένη περιοχή της γυψοσανίδας με pcm όπου έχει τις ιδανικές καταστάσεις ηλιακής δομής. Επιπλέον θα γίνουν μετρήσεις μόνο για την θέρμανση. Οι ροές θερμότητας για την φόρτιση είναι  $q_c$ , δηλαδή μεταφορά θερμότητας από το δωμάτιο στο τοίχο. [17]

Η άμεση απορροφούμενη θερμότητα ηλιακής ακτινοβολίας ή από την εκτόξευση θερμού αέρα από αντικείμενα που βρίσκονται στο δωμάτιο εδώ μπαίνει το σύμβολο  $q_a$ . Επιπλέον λαμβάνεται υπόψιν η ροή θερμότητας που οφείλεται στη μεταφορά από την πίσω πλευρά του τοίχου με το εξωτερικό περιβάλλον και συμβολίζεται με  $q_r$ .

Για να γίνουν πιο απλές οι μετρήσεις θεωρούμε τις θερμοκρασίες δωματίου και την εισερχόμενη θερμότητα σε ιδανικές συνθήκες. Θεωρούμε πως η θερμοκρασία δωματίου είναι στους 65 F° στη διάρκεια της νύχτας και 75 F° στη διάρκεια της ημέρας. Το ποσό ηλιακής ακτινοβολίας που θα έρχεται σε επαφή με τον κύκλο θα έχει το σύμβολο  $s_{am}$  με μονάδες μέτρησης σε:

$$\frac{btU}{day - ft^2}$$



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Θα πρέπει η λανθάνουσα θερμότητα που αποθηκεύει να έχει αρκετό χώρο για να μπορεί να στεγάσει και την ενέργεια που θα δεχτεί στη διάρκεια φόρτισης. Το πάχος ,L, του υλικού αλλαγής φάσης που βρίσκεται πάνω στη γυψοσανίδα να έχει το λιγότερο πάχος:

$$L = \frac{1}{ph} (s_{am} - 12h(T_{cr} - 75) + 12U(T_{day} - T_{cr}))$$

Σε αυτή την εξίσωση το  $p$  είναι η πυκνότητα του υλικού  $\frac{lbm}{ft^3}$ , το  $H$  είναι η λανθάνουσα θερμότητα των αερίων  $\frac{btu}{lbm}$ ,  $T_{cr}$  είναι η μεταφερόμενη θερμότητα και μονάδες μέτρησης ( $F^\circ$ ). Το  $h$  είναι θερμότητα που μεταφέρεται ανάμεσα στον αέρα του δωματίου και την γυψοσανίδα με το υλικό αλλαγής φάσης.

Τελευταίος όρος είναι το  $U$  και αυτό συμβολίζει την θερμότητα από την γυψοσανίδα στο τοίχο.  $T_{day}$  είναι η θερμοκρασία στη διάρκεια της ημέρας και αντίθετα αν πρέπει να γίνουν μετρήσεις για το βράδυ χρησιμοποιούμε το  $T_{night}$ .

Έχοντας παραπάνω αποθηκευτικό χώρο χωρίς να χρειάζεται δεν επηρεάζει την απόδοση του συστήματος. Όμως αν δεν έχουμε επαρκεί χώρο τότε μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα γιατί η ενέργεια που θα έχει θα διανεμηθεί σε όλο το σύστημα με αποτέλεσμα να η θερμοκρασία του room να ανέβει και να δημιουργηθεί μεγαλύτερη απώλεια θερμότητας η οποία θα καταλήξει στον εξωτερικό αέρα. Έτσι για μεγάλες αποθηκευτικές ποσότητες η απόδοση θα υποβαθμιστεί.[17]

Η δεύτερη απαίτηση του συστήματος αποθήκευσης είναι ότι μπορούμε να αποθηκεύουμε ενέργεια ακόμα και κατά την διάρκεια εκ φόρτισης. Εξισώνοντας την ποσότητα ροής αέρα κατά την διάρκεια ημέρας με το ποσό ροής αέρα κατά την διάρκεια της νύχτας καταλήγει στην ακολουθεί εκτίμηση της θερμοκρασίας:

$$T_{cr} = \frac{h}{h+U} 70 + \frac{U}{h+U} \left( \frac{T_{night} + T_{day}}{2} \right) + \frac{Sam}{24(H+U)}$$

Εδώ πάλι έχουμε πως το  $h$  είναι θερμότητα που μεταφέρεται ανάμεσα στον αέρα του δωματίου και την γυψοσανίδα με το υλικό αλλαγής φάσης. Η προηγούμενη έκφραση μας κάνει σαφές το πόσο θα εξαρτηθεί η μετάβαση της θερμοκρασίας από την ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που απορροφάται. Επίσης η επίδραση της μόνωσης είναι εμφανής.

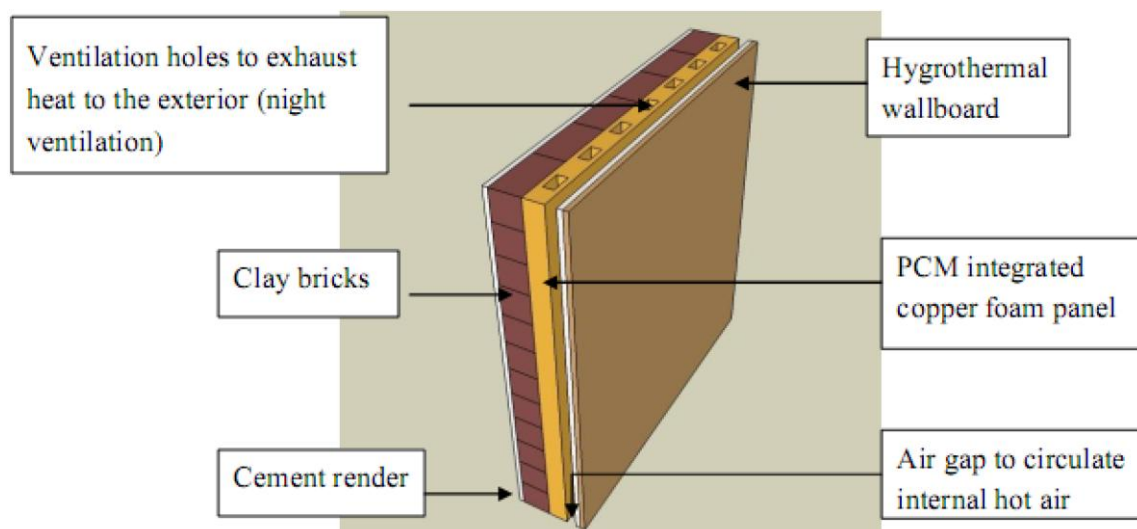
Το νούμερο 70 είναι ο μέσος της θερμοκρασίας σε βαθμούς Fahrenheit (F) της μέρας και της νύχτας. Ο δεύτερος τύπος μας δείχνει πόσο απαραίτητες είναι η καιρικές συνθήκες



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

που επηρεάζουν άμεσα των εξωτερικό τοίχο. Η απώλεια θερμότητας του τοίχου τις ήπιες μέρες είναι μικρότερη και η ενέργεια που απαιτείται για να απελευθερωθεί στο δωμάτιο είναι μεγαλύτερη.

Αν μπει κάποιος σε διαδικασία μελέτης εγκατάστασης γυψοσανίδας με υλικό αλλαγής φάσης και δεν χρησιμοποιήσει αυτές της δύο εξισώσεις ή δεν απόδοσή τα πραγματικά νούμερα πάνω στην εξίσωση τότε δεν θα μπορεί να αποδώσει την αποθηκευμένη ενέργεια στο σύστημα. Επιπλέον θα πρέπει να μετρηθεί η γυψοσανίδα ως δέκτης θερμότητας και να έχει μονάδες σε *btU*



Εικόνα 13 Γυψοσανίδα σε τομή με υλικά αλλαγής φάσης

### 3.10 Οικοδομικά υλικά μόνωσης προσαρμοσμένα με υλικά αλλαγής φάσης.

Μελέτες σχετικά με ενισχυμένο υλικό αλλαγής φάσης και κυτταρίνη πραγματοποιήθηκαν κατά την τελευταία δεκαετία. Το ενισχυμένο pcm ανοιχτού κυττάρου εγκαθίσταται συνήθως σε 2 στρώματα των 6 mm μεταξύ τριών φύλλων αλουμινίου και τοποθετούνται στη κορυφή μονωμένων καρφιών.[8]

Ο αφρός PU περιέχει 0,49 kg/m<sup>2</sup> με pcm σημείο τήξης τους 25,5 βαθμούς Κελσίου και μέγιστη ενθαλπία 140 KJ/Kg. Μετρήσεις έδειξαν ότι χρειάζονται 3 ώρες για να φορτιστεί πλήρως το pcm και οι θερμικές διεγέρσεις των 22 βαθμών Κελσίου μειώνονται κατά 1,6 βαθμό.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Η σύγκριση των ροών θερμότητας με τις παραδοσιακές κατασκευές έδειξαν επίσης πιθανή μείωση της τάξης του 40% στην ώρα αιχμής του φορτίου στο τοίχωμα. Η ίδια μέθοδος εφαρμόστηκε και σε κατασκευές σοφίτων, από τις οποίες προέκυψε μειωμένη ατμόσφαιρα θερινής θερμοκρασίας αέρα από 43 έως 32 βαθμών Κελσίου.

Τα μικροενθλακωμένα pcmt παραφίνης έχουν αναμιχθεί με συμβατική μόνωση κυτταρίνης με χαμηλή πλήρωση με ρυθμό 22% κατά βάρος και εγκαταστάθηκαν σε κοιλότητες κατοικιών χωρίς σημαντικές τροποποιήσεις της κατασκευής ή διαδικασίας εγκατάστασης.

Τα αποτελέσματα της μέτρησης των πειραματικών έργων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον προσανατολισμό του τοίχου και την τοποθεσία του. Παρόλα αυτά παρατηρούνται σαφείς μειώσεις τόσο των ψυκτικών όσο και των θερμαντικών φορτίων.



Εικόνα 14 Γυάλινες μπάλες εμπλουτισμένες με υλικά αλλαγής φάσης



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

### 3.11 Ενσωμάτωση υλικού αλλαγής φάσης σε τούβλα

Επιστήμονες στο εξωτερικό παρουσίασαν την θερμική ανάλυση ενός κοινού τούβλου κτιρίου με κυλινδρικές οπές στις οποίες είχε τοποθετήσει μέσα τους υλικό αλλαγής φάσης για ζεστά κλίματα. Ο στόχος του ήταν την περίοδο της ζέστης να μπορούσε να απορροφήσει την θερμότητα και να μην την αφήσει να περάσει στον εσωτερικό χώρο. [18]

Αυτό που παρατηρήθηκε ήταν ότι η ποσότητα, ο τύπος αλλά και η θέση του PCM είχε κομβικό ρόλο. Κυρίως και το που τοποθετούνταν γιατί θα μπορούσε να μειωθεί η θερμότητα στον εσωτερικό χώρο αν είχε τοποθετηθεί στη μέση και μόνο τρεις κυλινδρικές οπές να περιέχουν υλικό αλλαγής φάσης.

Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας είναι πως με αυτή τη τεχνολογία θα μπορούμε να δούμε μεγάλες διαφορές σε σχέση με ένα συμβατικό τοίχο γιατί τα οφέλη που θα έχουμε είναι τα παρακάτω:

- *Μεγαλύτερη θερμομόνωση*
- *Είναι γνωστό το εύρος της θερμοκρασίας*
- *Άνετο περιβάλλον*

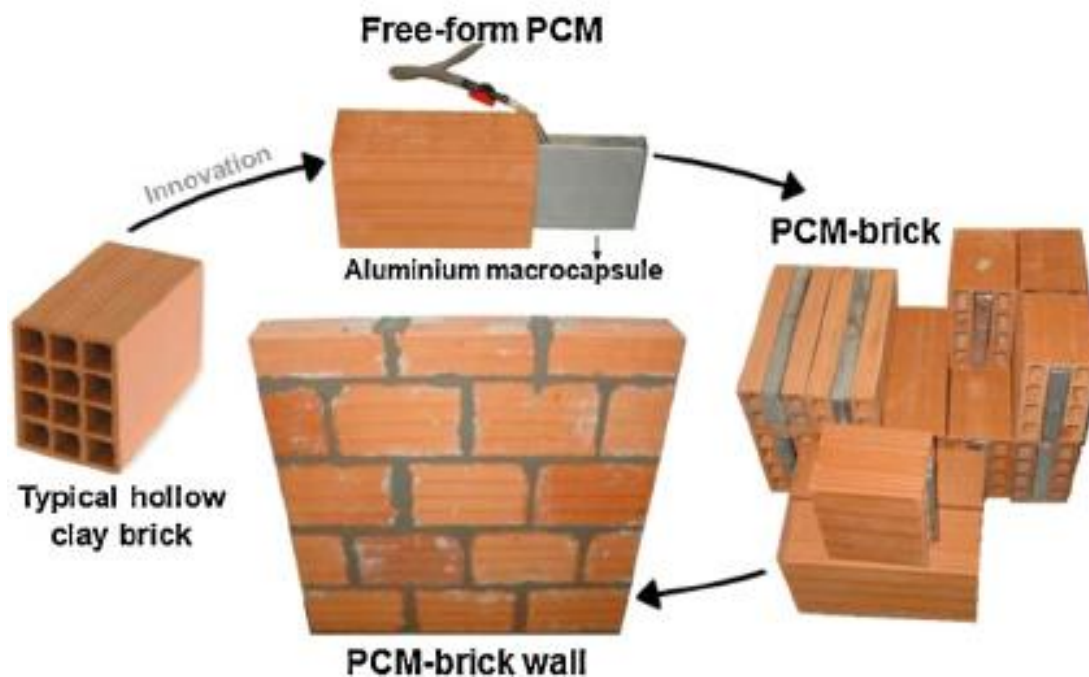
Η αποθηκευμένη θερμότητα απελευθερώνεται στους εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους κατά τη διάρκεια της νύχτας. Ένα ακόμα που πρέπει να αναφερθεί είναι ένας τρόπος ο οποίος μπορεί να βελτιώσει αρκετά το εσωτερικό περιβάλλον και για μια χώρα όπως η Ελλάδα θα ήταν μια μέθοδος αρκετά θελκτική για τον καταναλωτή εξαιτίας του μεσογειακού μας κλίματος.

Θα ήταν ένας τρόπος ψύξης τους καλοκαιρινούς μήνες χωρίς να σπαταλάτε ενέργεια. Συνήθως, το υλικό αλλαγής φάσης που χρησιμοποιείται σε αυτή τη μέθοδο είναι το (RT-27 και SP-25 A8).

Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι τα τούβλα με ενσωμάτωση με υλικά αλλαγής φάσης έχουν καλύτερη επίδραση μόνωσης κατά την διάρκεια της ημέρας όταν είναι εκτεθειμένα στην ηλιακή ακτινοβολία σε σχέση με τα απλά τούβλα που βρίσκουμε στο εμπόριο. Επιπλέον θα πρέπει να τονιστεί και το κόστος το οποίο είναι υψηλό.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



Εικόνα 15 Το υλικό αλλαγής φάσης τοποθετείται πάντα στη μέση

### 3.12 Υλικό αλλαγής φάσης με σκυρόδεμα

Ένα είδος τσιμέντου το οποίο έχει αναμειχθεί με υλικά αλλαγής φάσης για να μπορεί να αποθηκεύει θερμότητα θα πρέπει να ικανοποιεί τις θερμικές ανάγκες του κτιρίου και να ακολουθεί τις τρεις βασικές ιδιότητες:

- Υψηλή θερμοχωρητικότητα  $Cp$  σε  $\frac{J}{kg \cdot K}$
- Υψηλή πυκνότητα  $p$  σε  $\frac{kg}{m^3}$  μια
- Κατάλληλη θερμική αγωγιμότητα  $k$  σε  $\frac{W}{m \cdot K}$

Όπως έχει αναφερθεί και σε παραπάνω κεφάλαια τα υλικά αλλαγής φάσης θα μπορούν να αυξήσουν την ποσότητα ενέργειας που δέχονται και να τη διανέμουν σε συγκεκριμένο θερμικό περιβάλλον.

Όπως γίνεται κατανοητό εδώ θα χρησιμοποιηθεί υλικό αλλαγής φάσης σε μορφή στερεή-υγρή. Επίσης, η θερμοκρασία του υλικού  $p_{cm}$  παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια αλλαγής φάσης.





ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Υπάρχουν διάφορα είδη τσιμέντων με υλικά αλλαγής φάσης, εκ τούτου η επιλογή ενός υλικού αλλαγής φάσης θα πρέπει να γίνει μελέτη η οποία να εξετάζει και να ζυγίζει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των ιδιοτήτων των υλικών αλλαγής φάσης ώστε να επιτευχθεί ένα επιθυμητό αποτέλεσμα.

Κατά κύριο λόγο η επιλογή του pcm θα πρέπει να εξασφαλίζει ότι το σημείο τήξης είναι το κατάλληλο ώστε να έχουμε ένα κατάλληλο θερμικό περιβάλλον το οποίο έχει θερμοκρασιακό όριο από 18°C έως 22°C.

Ένα ακόμα υλικό το οποίο συνδυάζεται με το σκυρόδεμα είναι και η παραφίνη. Η παραφίνη είναι ένα οργανικό pcm με θερμοκρασίες τήξης που κυμαίνονται από 20°C μέχρι και 70 °C. Γενικώς συνδυάζεται η παραφίνη με το σκυρόδεμα η οποία είναι και η πιο συνηθισμένη επιλογή. Επιπλέον, η παραφίνη έχει σχετικά χαμηλή τιμή στην αγορά αλλά έχει και χαμηλή θερμοχωρητικότητα.

Υπάρχουν τρεις βασικές μέθοδοι για την ενσωμάτωση του υλικού αλλαγής φάσης σε σκυρόδεμα οι οποίες είναι

- Απορρόφηση του pcm από το σκυρόδεμα
- Εμποτισμός κενού με υλικά αλλαγής φάσης
- Ενθυλάκωση.

Επειδή η απορρόφηση του pcm απαιτεί αρκετό χρονικό διάστημα θα πρέπει να αναφερθεί για να μπορεί να γίνει ένα καλύτερο χρονοδιάγραμμα. Η μέθοδος με τον εμποτισμού κενού θα πρέπει πρώτα να εκκενωθεί ο αέρας από πορώδη συσσωματώματα χρησιμοποιώντας μια αντλία κενού.

Για τη μέθοδο εμποτισμού κενού διαπιστώθηκε ότι σε ένα χρόνο 30 λεπτών σε θερμοκρασία άνω των 30°C η θερμοκρασία τήξης του υλικού αλλαγής φάσης βελτιστοποιεί την απορρόφηση του.

Τα πορώδη συσσωματώματα στη συνέχεια εμποτίζονται σε υγρό υλικό αλλαγής φάσης αφού βρίσκεται σε κενό αέρους. Τέλος το υλικό αλλαγής φάσης προστίθεται στο μείγμα σκυροδέματος.

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος ενσωμάτωσης των pcm σε υλικά κατασκευής είναι η μικροενθυλάκωση, όπου τα σωματίδια pcm (1μm έως 1000 μm) ενθυλακώνονται σε ένα λεπτό κέλυφος που είναι κατασκευασμένο από φυσικά και συνθετικά πολυμερή.

Στη συνέχεια, οι μικροκάψουλες προστίθενται στο σκυρόδεμα κατά τη διάρκεια που αναμειγνύεται. Με αυτή τη μέθοδο μπορεί να καλυφτεί μια μεγάλη επιφάνεια ως



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

αποτέλεσμα να έχει το πλεονέκτημα υψηλό ρυθμό μεταφοράς θερμότητας ανά μονάδα όγκου.

Επίσης άλλο ένα πλεονεκτήματα είναι ότι οι μικροκάψουλες αποτρέπουν τη διαρροή και αντιστέκονται στην αλλαγή όγκου κατά τη διάρκεια αλλαγή φάσης. Ωστόσο, οι μικροκάψουλες επηρεάζουν τις μηχανικές ιδιότητες του σκυροδέματος.

Η ερευνήτρια με το όνομα Cabeza μελέτησε ένα νέο καινοτόμο σκυρόδεμα με υλικά αλλαγής φάσης το οποίο δεν θα επηρέαζε την μηχανική αντοχή του τοιχώματος. Στη συνέχεια πήρε δύο τσιμεντόλιθους και έκανε παρουσίαση για το πόσο εφικτό είναι να χρησιμοποιούνται υλικά αλλαγής φάσης σε μικροκάψουλες ενσωματωμένες με σκυρόδεμα.

Το σημείο τήξης του είναι στους 26°C το οποίο ενισχύει την θερμική του απόδοση. Μετά από έξι μήνες λειτουργίας δεν υπήρχε κανένα πρόβλημα στατικότητας και το σκυρόδεμα έφτασε σε θλιπτική αντοχή άνω από τα 25 MPa και σε εφελκυστική δύναμη πάνω από 6 MPa.

Δεν παρατηρήθηκε καμία διαφορά στις επιδράσεις του υλικού αλλαγής φάσης. Επιπλέον, θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αποθήκευση ενέργειας στα τοιχώματα του σκυροδέματος οδηγούν σε μια θερμική αδράνεια δηλαδή σε ένα περιβάλλον με χαμηλότερες εσωτερικές θερμοκρασίες σε σχέση με το συμβατικό τσιμέντο.

Άρα συμπεραίνουμε ότι ένα τοίχωμα υλικού αλλαγής φάσης μικρότερου πάχους σε σχέση με μια συμβατική τοιχοποιία θα έχουμε καλύτερη θερμική άνεση στα κτίρια.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



Εικόνα 16 Είδος υλικού αλλαγής φάσης αναμιγμένο με σκυρόδεμα

### 3.13 Υλικά αλλαγής φάσης σε ενδοδαπέδια

Τα υλικά αλλαγής φάσης βρίσκουν εφαρμογή και στην ενδοδαπέδια. Είναι μια λύση που μπορεί και αυτή με τη σειρά της να βοηθήσει στην εξοικονόμηση ενέργειας που απαιτείται για θέρμανση και ψύξη. Με τα δάπεδα κλιματισμού μπορεί να απομονώσει την θερμική ενέργεια στο πάτωμα ενός κτιρίου. Είναι ένα νέο υλικό στην αγορά και στην ουσία είναι ένα σύστημα ψύξης και θέρμανσης εξοικονομώντας ενέργεια.[9]

Η χρήση υλικών αλλαγής φάσης έδωσε τη θέση σε μια μοναδική εφαρμογή της ενδοδαπέδιας θέρμανσης που μειώνει το ήμισυ της θερμαντικής ικανότητας που απαιτείται. Τα υλικά αλλαγής φάσης μπορούν να αποθηκεύσουν ενέργεια, κατά τη διάρκεια της αλλαγής φάσης σε μια σταθερή θερμοκρασία.

Το υλικό pcm που θα επιλεγεί είναι το PCM25 το οποίο διευκολύνει τη θέρμανση ενός κτιρίου. Η ενδοδαπέδια με την χρήση υλικών αλλαγής φάσης θα πρέπει να φορτίζεται με ενέργεια. Αυτό συμβαίνει κατά προτίμηση τη νύχτα με χαμηλή περιοχή ζεστού νερού, για παράδειγμα από 35°C -30°C.

Η ενέργεια που έχει φορτωθεί και αποθηκευτεί στο πάτωμα κλιματισμού με τη χρήση pcm κατά την διάρκεια της νύχτας παρέχεται ομοιόμορφα κατά την διάρκεια της ημέρας αν η θερμοκρασία έχει αυξηθεί η μειωθεί και αντίστροφα.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα που πρέπει να αναφερθεί είναι πως ένα πάνελ με υλικά αλλαγής φάσης 13mm με ένα συμβατικό τσιμεντένιο δάπεδο 300mm μπορεί να συσσωρεύσει την ίδια ποσότητα ενέργειας.

Χρησιμοποιώντας κλιματικά δάπεδα με την χρήση υλικών αλλαγής φάσης, η μόνη κατανάλωση που έχουμε θα είναι από μια αντλία θερμότητας που θα κυκλοφορεί το νερό. Αν υπάρχει και κάποιος ηλιακό συλλέκτης τότε μπορεί να υπάρχει και μηδενική σπατάλη ενέργειας.

Ο λόγος που αναφέρθηκε η αντλία θερμότητας σε συνδυασμό με την ενδοδαπέδια είναι γιατί και είναι καλύτερα ενεργειακά να υπάρχει σε ένα κτίριο σε σύγκριση με καυστήρες πετρελαίου γιατί στην αντλία θερμότητας η βασική αρχή λειτουργίας της είναι να λειτουργεί με 70% αέρα και με 30% ηλεκτρικό ρεύμα. Επομένως, το σύστημα προσφέρει τη δυνατότητα να γίνει ανεξάρτητη από τα ορυκτά καύσιμα.

Η επιλογή της τεχνολογίας δαπέδων με την χρήση υλικών αλλαγής φάσης εξοικονομεί ενέργεια κατά το ήμισυ. Άρα αν το κτίριο ξεκινάει την κατασκευή του προτείνετε να υπάρχει αντλία θερμότητας σε σχέση με τον συμβατικό λέβητα αλλά ακόμα και με τον λέβητα η ποσότητα ενέργειας που θα εξοικονομηθεί πάλι θα είναι αρκετά μεγάλη.

Επιπλέον, με την χρήση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να γίνει αίτηση για να υπάρχει νυχτερινό ρεύμα. Εάν χρησιμοποιηθούν δάπεδα κλιματισμού pcm, θα γίνει άμεση εξοικονόμηση ενέργειας. Θα πρέπει να διευκρινιστεί πως με τη χρήση ενδοδαπέδιας θα έχουμε και το χειμώνα για θέρμανση και το καλοκαίρι για ψύξη.

Επίσης λόγω της μεγαλύτερης απορρόφησης ενέργειας σε σχέση με μια απλή ενδοδαπέδια θα μπορεί να ζεσταθεί το δάπεδο πιο γρήγορα κατά 50% με της συνέπειες πέρα από λιγότερη σπατάλη ορυκτών καυσίμων θα υπάρχει και εξοικονόμηση χρημάτων.

Στην περίπτωση νέων κατοικιών, η χρήση μικρών ηλεκτρικών αντλιών θερμότητας είναι πιο προφανής γιατί έχουμε καλύτερα αποτελέσματα και έχει αναφερθεί και παραπάνω.

Ως αποτέλεσμα η βασική διαφορά της συμβατικής ενδοδαπέδιας σε σχέση με την ενδοδαπέδια με χρήση υλικών αλλαγής φάσης είναι ότι στη πρώτη θα υπάρχει θέρμανση το χειμώνα αλλά δροσισμός το καλοκαίρι ενώ με το pcm θα μπορεί να γίνει και ψύξη το καλοκαίρι.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



Εικόνα 17 Ενδοδαπέδια με υλικά αλλαγής φάσης

### 3.14 Υλικά αλλαγής φάσης σε οροφές με συστήματα ψύξης

Στη σημερινή εποχή τα περισσότερα κτίρια παλιά και καινούρια έχουν πρόβλημα στο να υπάρχει ένα άνετο περιβάλλον στο εσωτερικό του κτιρίου επειδή δεν μπορούν να συγκρατήσουν την θερμική ενέργεια και να την αποθηκεύσουν. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου η εξωτερική θερμοκρασία είναι ίση με το εσωτερικό. [10]

Αυτό αντιμετωπίζεται συνήθως εγκαθιστώντας συστήματα κλιματισμού ο οποίος έχει κάποια μειονεκτήματα όπως οικολογικό και οικονομικά. Η κατανάλωση ενέργειας είναι τεράστια. Επιπλέον η άνεση του κατοίκου μειώνεται από τον θόρυβο που γίνεται συνήθως ή και από την ξηρότητα του αέρα.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Ένας τρόπος για να βελτιωθεί το εσωτερικό περιβάλλον είναι να χρησιμοποιηθούν τα υλικά αλλαγής φάσης στις οροφές. Μεγαλύτερα οφέλη έχει αν χρησιμοποιηθούν σε κτίρια τα οποία έχουν συστήματα ψύξης στην οροφή «fan coil».

Η χρήση των υλικών αλλαγής φάσης βελτιώνει σημαντικά το εσωτερικό κλίμα και να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας από 25% έως και 50%. Το σύστημα θέρμανσης και εξαερισμού μπορεί να διατηρηθεί απλά με μικρές τροποποιήσεις όπως αντικαθιστώντας τα παλιά πλακάκια οροφής με νέα πλακάκια εμπλουτισμένα με υλικά αλλαγής φάσης.

Αυτός είναι ακριβώς ο λόγος για τον οποίο τα υλικά αλλαγής φάσης είναι κατάλληλα για να καταστήσουν τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις πιο βιώσιμες και πιο συμφέρουσες. Άρα αυτό που εξασφαλίζει στους κατοίκους είναι πως θα έχει καλύτερο περιβάλλον πιο οικονομικό και λιγότερο θορυβώδες.

Στην ουσία τα πλακάκια που τοποθετούνται στην οροφή αυτό που κάνουν είναι να μπορούν να συγκεντρώνουν ή να απελευθερώνουν θερμότητα όσο χρειάζεται. Αυτό το φαινόμενο γίνεται για να υπάρχει σωστή διανομή της θερμότητας στο εσωτερικό περιβάλλον. Δηλαδή δημιουργούνται χώροι οι οποίοι προσαρμόζονται στις εξωτερικές συνθήκες και το χειμώνα αλλά και το καλοκαίρι.

Τα υλικά αλλαγής φάσης λειτουργούν ουσιαστικά ως θερμική μπαταρία. Το pcm στην οροφή απορροφάει θερμότητα από το περιβάλλον και δροσίζει το περιβάλλον. Συνήθως χρησιμοποιείται το υλικό αλλαγής φάσης με την ονομασία «PCM22» αλλά υπάρχει και το «PCM18».

Το «PCM22» απορροφά θερμότητα από το περίβλημα του πλακιδίου όταν η θερμοκρασία αυξηθεί πάνω από 22°C. Ο χώρος αερίζεται με την παροχή με ψυχρό φρέσκο αέρα ή και με την εκροή ζεστού αέρα έξω. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω πτερυγίων εξαγωγής αέρα που είναι εγκατεστημένα στην ψευδοροφή.

Όταν πέσει η θερμοκρασία περιβάλλοντος, το pcm στερεοποιείται. Αυτό με τη σειρά του εξασφαλίζει την εκπομπή θερμότητας στο περιβάλλον. Αυτό είναι ένα πλεονέκτημα το χειμώνα, καθώς τα δωμάτια δεν μπορούν να κρυώσουν πάρα πολύ.

Τη νύχτα κατά τη διάρκεια καλοκαιριού ο δροσερός νυχτερινός αέρας διοχετεύεται από το εξωτερικό και καταλήγει στην θερμή οροφή για να αναγεννηθούν τα υλικά αλλαγής φάσης. Το νυκτερινό ρεύμα για τους ανεμιστήρες είναι η μόνη απαιτούμενη παροχή ενέργειας. Το πρωί τα υλικά αλλαγής φάσης είναι πλήρως στερεοποιημένα ξανά. Τελικά συμπεράσματα



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Το σύστημα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε νέα όσο και σε υπάρχοντα κτίρια. Το σύστημα θέρμανσης και εξαερισμού μπορεί να διατηρηθεί μόνο με μικρές ρυθμίσεις. Τα πλακάκια οροφής είναι τα μόνα στοιχεία που πρέπει να αντικατασταθούν.

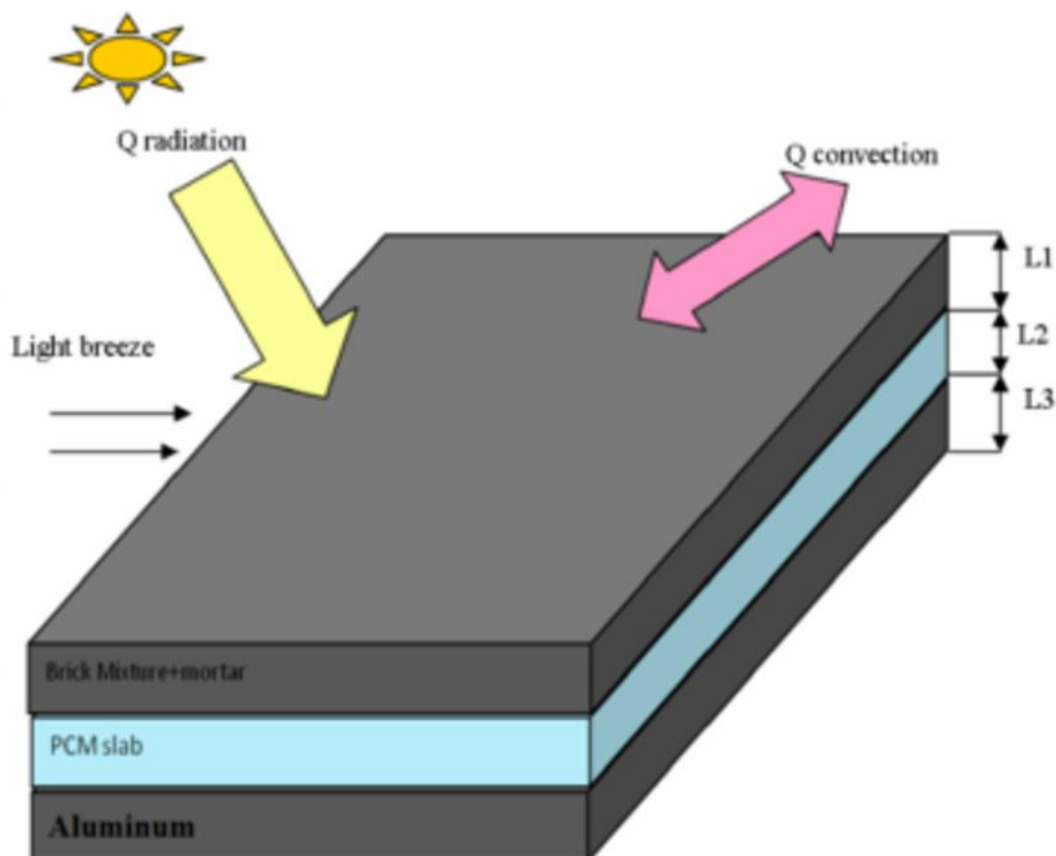
Πάνω από το 90% των κτιρίων γραφείων διαθέτουν ένα τέτοιο σύστημα οροφής. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο τα υλικά αλλαγής φάσης είναι πολύ κατάλληλα για να κάνουν τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις πιο βιώσιμες.

Οι τεχνικές προδιαγραφές αναφέρονται παρακάτω:

- *Υλικό αλλαγής φάσης: «PCM22» ή και το «PCM18» είναι υλικά καθόλου τοξικά με προδιαγραφές DIN EN 13501-1*
- *Μονάδες ψύξης: Ανά τεμάχιο 67Wh ή ανά τετραγωνικό 402Wh*
- *Αλλαγή φάσης: Σημείο πήξης για το «PCM18» έχει στους 17°C και για το «PCM22» είναι στους 21°C. Σημείο τήξης για το «PCM18» είναι στους 19°C και για το «PCM22» είναι στους 23°C.*
- *Διαστάσεις και ύψος: 270\*570\*5 mm, όγκος ανά τεμάχιο 1,65 kg και συνολική επιφάνεια ανά τετραγωνικό είναι στα 9,9 kg*
- *Συσκευασία του pcm: αποτελείται από τρεις στρώσεις αλουμινίου και την μεμβράνη του (είναι μια μεμβράνη χωρίς διαβρώσεις, φορτίζεται και ξεφορτίζεται σταθερά)*



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



Εικόνα 18 Σχέδιο με τις τρεις στρώσεις του πάνελ που εφαρμόζεται στις οροφές

### 3.15 Ηλιακά συστήματα θέρμανσης με υλικά αλλαγής φάσης

Τα συστήματα ηλιακής θέρμανσης με υλικά αλλαγής φάσης έρχονται για να γίνουν μια εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά συστήματα κλιματισμού. Τα συστήματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τους χειμερινούς μήνες αλλά και τους καλοκαιρινούς.

Τα συστήματα ηλιακής ψύξης μπορούν να παρέχουν ένα ικανοποιητικό κλίμα ειδικά τους καλοκαιρινούς μήνες όπου η θέρμανση του εσωτερικού αποβάλλεται επειδή χρησιμοποιούνται υλικά αλλαγής φάσης. Επιπλέον κάτι που πρέπει να αναφερθεί είναι ότι θα υπάρχει, λιγότερη κατανάλωση ενέργειας, οικονομικά οφέλη αλλά και λιγότερη ρύπανση στο περιβάλλον.

### 3.16 Παράθυρα με υλικά αλλαγής φάσης





ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Τα παράθυρα θεωρούνται ως ο αδύναμος κρίκος στη προστασία του κτιρίου από θέρμανση και ψύξη. Η μείωση της απώλειας θερμότητας είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες που πρέπει να αντιμετωπιστούν για να υπάρχει ένα ευχάριστο περιβάλλον.

Ένας από τους τρόπους που αντιμετωπίζεται η απώλεια θερμότητας είναι με την χρήση ενέργειας από θέρμανση ή ψύξη, αυτό όπως έχει αναφερθεί είναι ρυπογόνο για το περιβάλλον και έχει οικονομικά μειονεκτήματα. [15]

Γι' αυτό ένας νέος τρόπος καταπολέμησης του προβλήματος είναι να τοποθετηθούν υλικά αλλαγής φάσης στο εξωτερικό κούφωμα του παράθυρου. Αυτό με τη σειρά του κατά την διάρκεια του καλοκαιριού δε αφήνει την εξωτερική θερμοκρασία να εισέλθει στο εσωτερικό του κτιρίου με την διαδικασία της τήξης.

Το παράθυρο με υλικά αλλαγής φάσης δεν έχει βγει ακόμα στο εμπόριο αλλά βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο. Η προσομοίωση έγινε με τη μέθοδο CFD είναι μια πειραματική ανάλυση στην οποία μελετάει τους δύο τύπους παραθύρων με υλικά αλλαγής φάσης και με χωρίς. Απεδείχθη πως το παράθυρο με το pcm καταφέρνει να αποθηκεύσει η και να απελευθερώσει μέχρι και το 86% της ακτινοβολίας που δέχεται στη διάρκεια της ημέρας.

### 3.17 Υλικά αλλαγής φάσης σε σωλήνες

Η ιδέα βασίζεται σε ειδικά κατασκευασμένα πλαστικά δοχεία γεμάτα με υλικά αλλαγής φάσης που λειτουργούν σε θερμοκρασίες μεταξύ  $-40^{\circ}\text{C}$  ( $-40^{\circ}\text{F}$ ) και  $+117^{\circ}\text{C}$  ( $+243^{\circ}\text{F}$ ). Μπορούν να στοιβάζονται σε κυλινδρικές ή ορθογώνιες δεξαμενές και μπορούν να αποθηκεύουν μεγάλες δώσεις θερμικής ενέργειας.

Μόλις τα δοχεία γεμίσουν με υλικά αλλαγής φάσης ζυγίζουν μεταξύ 2 με 3 *kg* το καθένα ανάλογα με τον τύπο pcm η διάμετρος των σωλήνων είναι 50mm (2 "). Μπορούν να τοποθετηθούν στην οροφή και να λειτουργήσουν σαν σφουγγάρι ώστε να απορροφήσουν την αυξανόμενη θερμότητα μέσα στο περιβλημα.

Η διαστασιολόγηση είναι περίπου 12 δοχεία ανά  $m^2$  τα οποία τοποθετούνται στην οροφή και το συνολικό βάρος είναι περίπου 40 *kg*. Οι σωλήνες μπορούν να παρέχουν στους χρήστες περίπου 1,7 με  $2,2 \frac{kwh}{m^2}$  ανάλογα και τον τύπο pcm που έχει τοποθετηθεί.

Οι λύση με τους σωλήνες με υλικά αλλαγής φάσης μπορούν να βοηθήσουν σε καταστάσεις που ένας χώρος χρειάζεται ψύξη. Η εφαρμογή αυτή δεν επηρεάζεται από ανάλλαγές της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια της ημέρας αλλά και της νύχτας και διατηρεί ένα σταθερό περιβάλλον.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Στην ουσία βοηθάει γιατί κατά την διάρκεια της νύχτας αποθηκεύει την δροσερή ενέργεια και την απελευθερώνει κατά την διάρκεια της ημέρας. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται ένα φυσικό σύστημα ψύξης.



*Εικόνα 19 Σωλήνες οροφής εμπλουτισμένοι με υλικά αλλαγής φάσης*

## 4 Υπολογιστικά μοντέλα

Τα υλικά αλλαγής φάσης τα οποία χρήζουν εφαρμογή στο κατασκευαστικό κλάδο πρέπει να μελετιούνται και να τοποθετούνται με μεγάλη ακρίβεια. Εδώ έρχονται να βοηθήσουν στις μετρήσεις αλλά και στις μελέτες κάποια προγράμματα για την μοντελοποίηση των υλικών αλλαγής φάσης. Παρακάτω θα παρουσιαστούν κάποια εργαλεία που βοηθάνε να μελετηθεί το φαινόμενο αλλαγής φάσης.

### 4.1 TRNSYS

Το πρόγραμμα αυτό είναι ένα περιβάλλον προσομοίωσης το οποίο βοηθάει στην μοντελοποίηση θερμικών συστημάτων και κτιρίων πολλαπλών ζωνών. Είναι ένα εργαλείο που το χρησιμοποιούν μηχανικοί και ερευνητές και ανταποκρίνεται σε ενεργειακά σενάρια από σχεδιασμό και προσομοίωση κτιρίων μέχρι και συστήματα ζεστού νερού χρήσης. [12]

Στην ουσία είναι ένα πρόγραμμα το οποίο βοηθάει στο να απλοποιηθούν τα μαθηματικά μοντέλα και έχει και τη δυνατότητα να συνδέεται με άλλα προγράμματα όπως είναι το excel και MATLAB.

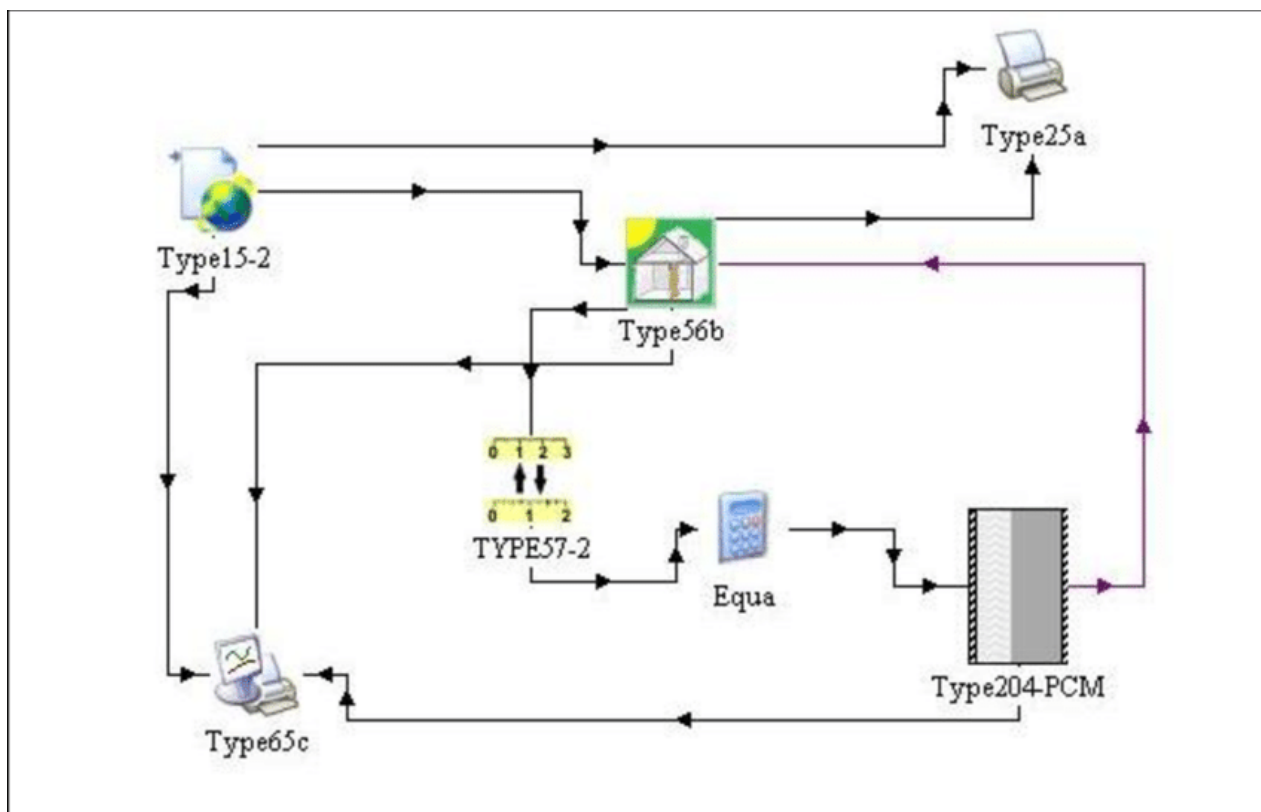


ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Ένα από τα πλεονεκτήματα του TRNSYS είναι πως σαν υπολογιστικό εργαλείο έχει την δυνατότητα να προσομοιώνει κάθε είδους κτίριο με πολλές θερμικές ζώνες και περιπλοκή γεωμετρία.

Το πρόγραμμα στην ουσία μετράει τις μεταβλητές που εισάγονται ως δεδομένα εισόδου των στοιχείων (inputs) και τις τιμές εξόδου (outputs) τα οποία χρησιμοποιούνται ως στοιχεία και μπορούν να λειτουργήσουν ως δεδομένα εισόδου και για άλλα στοιχεία.

Κυρίως το πρόγραμμα διευκολύνει την ανάλυση της ροής θερμότητας μεταξύ του ΥΑΦ και των δομικών στοιχείων του μελετώμενου κτιρίου κι επιτρέπει την προσομοίωση του φαινομένου αλλαγής φάσης.



Εικόνα 20 Προσομοίωση τοιχώματος pcm το οποίο δείχνει το πώς συνδέεται μεταξύ των στοιχείων του στο πρόγραμμα TRNSYS.

## 4.2 Energy plus



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Το πρόγραμμα energy plus είναι ένα πρόγραμμα προσομοίωσης και ενεργειακής ανάλυσης κτιρίων. Το οποίο βοηθά να προσομοιώνονται εγκαταστάσεις θέρμανσης, κλιματισμού, φωτισμού, αερισμού και γενικά οποιοδήποτε μέσο έχει σχέση με την ενέργεια. Το λογισμικό του είναι βασισμένο πάνω στα προγράμματα BLAST και DOE-2. [12]

Το πρόγραμμα αυτό σε σχέση με το TRNSYS έχει το πλεονέκτημα ότι παρέχει καινοτόμα χαρακτηριστικά προσομοιώσεις όπως προσομοίωση αρθρωτών συστημάτων και πολυζωνικών εγκαταστάσεων με την επίλυση θερμικού ισοζυγίου καθώς και την μοντελοποίηση συστημάτων για την επίτευξη θερμικής άνεσης. Επίσης, και εδώ έχει την δυνατότητα να ενσωματώνει αλγόριθμους και από άλλα προγράμματα και υπολογιστικά εργαλεία (BLAST, DOE-2).

Η προσομοίωση θερμικών ιδιοτήτων εξαρτώμενων από το μέγεθος της θερμοκρασίας, πιο προηγμένων κατασκευών (υλικά αλλαγής φάσης), καθιστά επιτακτική την ανάγκη ο προαναφερθείς τρόπος υπολογισμού να ενισχυθεί από πιο θεμελιώδεις μορφές.

Δημιουργήθηκε ένας αλγόριθμος πεπερασμένων διαφορών (Conduction Finite Difference Solution Algorithm), ο οποίος ενσωματώνεται στο Energy Plus. Ο αλγόριθμος αυτός δεν αντικαθιστά τον συμβατικό CTF αλγόριθμο για την προσομοίωση των φαινομένων μεταφοράς θερμότητας, αλλά τον συμπληρώνει σε περιπτώσεις όπου ο χρήστης καλείται να προσομοιώσει το pcm ή καταστάσεις μεταβλητής θερμικής αγωγιμότητας.

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος χρησιμοποιεί ένα σύστημα πεπερασμένων διαφορών συνδυασμένο με μια συνάρτηση ενθαλπίας θερμοκρασίας, προκειμένου να συμπεριληφθεί με σαφή τρόπο η ενέργεια αλλαγής φάσης.

### 4.3 Esp-r

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα ενεργειακής προσομοίωσης έχει δυνατότητες μοντελοποίησης της ροής της ενέργειας και των ρευστών εντός κτιριακών εγκαταστάσεων και συστημάτων. Η προσέγγιση της κτιριακής εγκατάστασης πραγματοποιείται με την διάκριση των θερμικών ζωνών.[12]

Μία ή περισσότερες ζώνες στο εσωτερικό του εκάστοτε κτιρίου καθορίζονται και οριοθετούνται με κριτήριο την γεωμετρία, την κατασκευή και την χρησιμότητα του χώρου. Οι ζώνες αυτές συμπλέκονται με σκοπό την διαμόρφωση του κτιρίου κι εν τέλει τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης του μελετώμενου πολυζωνικού κτιρίου παρέχονται από τα στοιχεία ανάλυσης αποτελεσμάτων του Esp-r.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Η προσέγγιση όγκου ελέγχου του Esp-r υιοθετήθηκε με σκοπό την περιγραφή των φυσικών στοιχείων του rcsm μοντέλου με την χρήση των ζωνών του ESP-r και των στοιχείων των δικτύων. Η συγκεκριμένη μέθοδος επιτρέπει, επιπλέον, και την υιοθέτηση μεταβλητών θερμοφυσικών ιδιοτήτων.

Οι ζώνες της κτιριακής εγκατάστασης συνδέονται μεταξύ τους προς διαμόρφωση του κτιρίου και το ολοκληρωμένο αριθμητικό μοντέλο μαζί με τις οριακές συνθήκες και τον επιβεβλημένο έλεγχο, μεταβιβάζεται για κεντρική επίλυση.

#### 4.4 Bsim

Το λεπτομερές αυτό πρόγραμμα προσομοίωσης κτιριακών κατασκευών παρέχει την δυνατότητα υπολογισμού κι ανάλυσης των εσωτερικών συνθηκών, της ενεργειακής απαίτησης και κατανάλωσης του κτιρίου. Οι διάφοροι υπολογισμοί κατά την ροή του διεξάγονται με βάση τις ωριαίες τιμές των συνημμένων μετεωρολογικών δεδομένων. [12]

Ένα κτίριο χωρίζεται από διακριτές και διαχωρισμένες μεταξύ τους θερμικές ζώνες από διαφορετικά είδη κατασκευής. Το θερμικό ισοζύγιο σε κάθε μία από τις ζώνες καθορίζεται απ' την μεταφορά θερμότητας, μέσω των δομικών στοιχείων.

Η μεταφορά θερμότητας μέσω των στοιχείων κατασκευής απλοποιείται σε μονοδιάστατο πρόβλημα και η υπολογιστική μηχανή βασίζεται στην μέθοδο των όγκων ελέγχου. Στο πρόγραμμα του Bsim, κάθε θερμική ζώνη παρουσιάζεται ως ένα μοναδικό κομβικό σημείο και κάθε δομικό στοιχείο εμφανίζεται να αποτελείται από ένα ή περισσότερα ομοιογενή στρώματα.

Σε αριθμητικά μοντέλα τα οποία έχουν εισαχθεί στο Bsim, η δυναμική συμπεριφορά του κτιρίου περιγράφεται από μια διακριτή μορφή. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι μια συνεχής διαδικασία περιγράφεται από τις μεταβολές μεταξύ των χρονικών βημάτων της μοντελοποίησης.

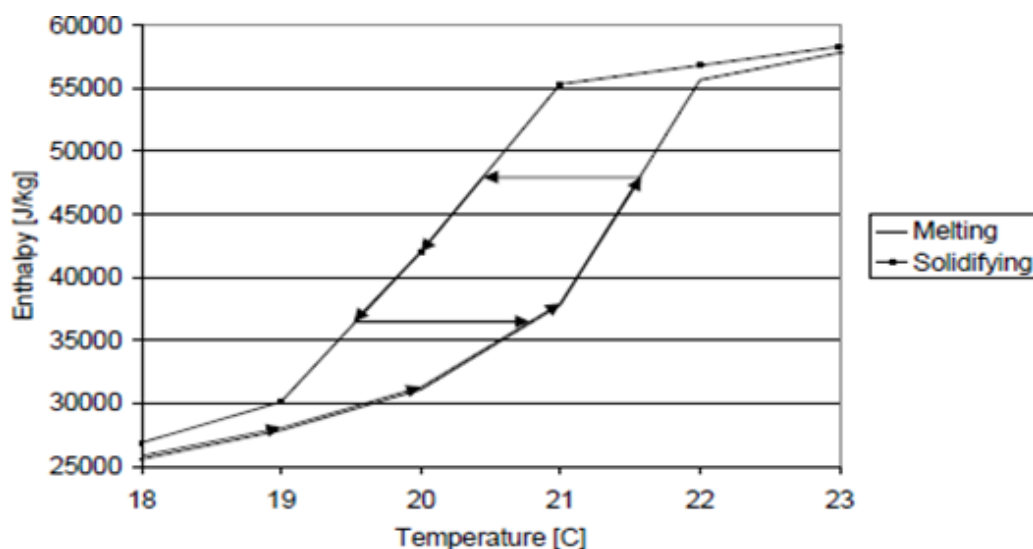
Ένα παράδειγμα που έχει βοηθήσει το πρόγραμμα για να βγουν τα επιθυμητά αποτελέσματα είναι η μοντελοποίηση και η υστέρηση της αλλαγής φάσης του στοιχείου με αρθρωτό τρόπο, πρέπει να είναι γνωστή η κατάσταση του υλικού αλλαγής φάσης στο προηγούμενο χρονικό βήμα προκειμένου να προσδιορισθεί η κατάστασή του στο παρόν χρονικό βήμα.

Πριν την έναρξη της πραγματικής προσομοίωσης, η θερμοκρασία διατηρείται στους 20°C σε όλο το μοντέλο και για κάθε ΥΑΦ ορίζεται αυτή η αρχική κατάσταση να βρίσκεται στην καμπύλη τήξης.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Συνεπώς, η κατάσταση θα ακολουθεί πάντα είτε την καμπύλη τήξης (θέρμανση) είτε την καμπύλη στερεοποίησης (ψύξη) ή θα βρίσκεται κάπου μεταξύ των δύο καμπυλών. Μεταξύ των δύο καμπυλών, η κατάσταση θα κινείται οριζόντια μέχρι να καταλήξει σε μία απ' τις δύο καμπύλες, και αντίστοιχα, καταστάσεις, όπως γίνεται φανερό απ' το διάγραμμα που έπεται.



Διάγραμμα 4 Απεικόνιση της εξέλιξης της κατάστασης του υλικού αλλαγής φάσης σε βρόχο τήξης και πήξης.

Μεταξύ των δύο καμπυλών η ειδική θερμοχωρητικότητα  $C_p$  προσδιορίζεται με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των αντίστοιχων σημείων των καμπυλών τήξης και στερεοποίησης.

#### 4.5 Pcm express

Το PCM express αποτελεί ένα πρόγραμμα σχεδιασμού και προσομοίωσης κτιρίων, τα οποία περιλαμβάνουν υλικά αλλαγής φάσης. Το πρόγραμμα παρέχει στον χρήστη μια απλή μέθοδο καθορισμού των pcm συστημάτων. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει την χρήση υλικών αλλαγής φάσης στην τοιχοποιία και τις μεταβολές στις συνδεδεμένες στο δίκτυο εγκαταστάσεις. [12]

Συγκεκριμένα, η προσέγγιση χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας ενισχύεται με την μορφή ενεργών δομικών στοιχείων και τεχνικών εξοικονόμησης ενέργειας ψύξης. Ανάλογα με την επικρατούσα κατάσταση, η χρήση των pcm καθορίζεται από το αυξημένο επίπεδο της παρεχόμενης θερμικής άνεσης (ιδιωτικές οικίες με απαιτήσεις άνετης ζωής) ή από οικονομικούς παράγοντες.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Οι δύο προαναφερθέντες τύποι στρατηγικής υποστηρίζονται απ' το πρόγραμμα, με την χρήση μενού, προκαθορισμένων προφίλ χρήσης και προσαρμοσμένης παρουσίασης των αποτελεσμάτων.

Το πρόγραμμα θεωρεί ότι το υλικό αλλαγής φάσης χρησιμοποιείται στις κατασκευές του δαπέδου, της οροφής και της τοιχοποιίας. Προκειμένου να περιγραφεί η επίδραση του υλικού αλλαγής φάσης, η μεταβολή της φάσης πρέπει να προσδιορισθεί με ακρίβεια.

Ως εκ τούτου, οι κατασκευές οι οποίες δεν διαθέτουν  $ρ_{cm}$  ορίζονται με σταθερή θερμοχωρητικότητα  $C_p$ , ενώ οι κατασκευές με τα υλικά αλλαγής φάσης ορίζονται από την σχέση εξάρτησης θερμοκρασίας ενθαλπίας. Στην υπό μοντελοποίηση κατασκευή, όλα τα στρώματα ή επίπεδα προσομοιώνονται ως κόμβος στο μαθηματικό μοντέλο των κόμβων που χρησιμοποιείται.

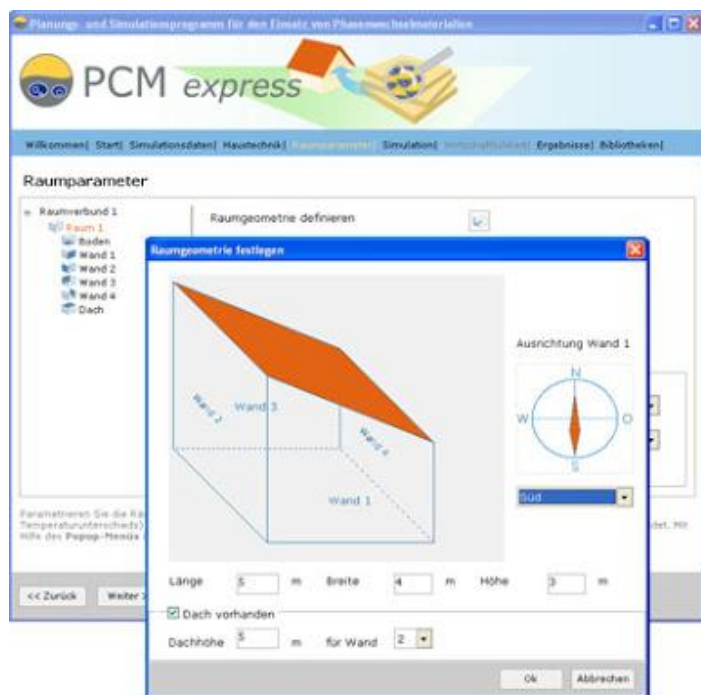
Κάθε δωμάτιο του κτιρίου αντιπροσωπεύεται από έναν κόμβο για τον εσωτερικό αέρα. Η ροή θερμότητας μεταξύ των κόμβων είναι αποτέλεσμα της θερμικής αγωγής και αντιπροσωπεύεται από ένα σύνδεσμο ο οποίος ενώνει δύο επίπεδα.

Το εξωτερικό επίπεδο με την σειρά του συνδέεται με το περιβάλλον μέσω συνδέσμου ο οποίος αντιπροσωπεύει την ανταλλαγή θερμότητας και την ακτινοβολία. Η ακτινοβολία του περιβάλλοντος κατανέμεται μέσω των παραθύρων στους κόμβους αέρα των δωματίων και στο εσωτερικό επίπεδο των κατασκευών.

Ο κόμβος του αέρα με την σειρά του συνδέεται με τα συστήματα ψύξης, θέρμανσης και αερισμού του κτιρίου. Επιπλέον, κάθε επίπεδο συστήματος μπορεί να οριστεί σαν ενεργό, και τα ενεργά επίπεδα ενισχύονται από νερό για σκοπούς θέρμανσης και ψύξης.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



Εικόνα 21 Το Pcm express είναι ένα πρόγραμμα προγραμματισμού και προσομοίωσης για κτίρια που χρησιμοποιούν υλικά αλλαγής φάσης.

## 4.6 Compsol

Το διαδραστικό περιβάλλον του Compsol χρησιμοποιείται για την μοντελοποίηση κι επίλυση προβλημάτων επιστημονικής και μηχανικής φύσης. Δίνει στον χρήστη την δυνατότητα δημιουργίας μοντέλων με βασική προϋπόθεση τον καθορισμό των απαραίτητων φυσικών ποσοτήτων οι οποίες χαρακτηρίζουν την μελετώμενη εφαρμογή, όπως: οι ιδιότητες των χρησιμοποιούμενων υλικών, τα φορτία, οι ροές κλπ., χωρίς να απαιτείται όμως ο καθορισμός των εξισώσεων επίλυσης απ' τον ίδιο. [12]

Στο Compsol το φαινόμενο της μεταβολής φάσης προσομοιώνεται ανεξάρτητα από το υπόλοιπο σύστημα, εξαιτίας της μη γραμμικής φύσης του προβλήματος. Για την προσομοίωση των υλικών αλλαγής φάσης, δημιουργείται μοντέλο στο Compsol το οποίο καταδεικνύει την εξέλιξη των βασικών θερμικών ιδιοτήτων των υλικών (ειδική θερμοχωρητικότητα, πυκνότητα, λανθάνουσα θερμότητα αποθήκευσης, θερμική αγωγιμότητα κλπ.) κατά την διάρκεια της μεταβολής φάσης.

Οι συγκεκριμένες ιδιότητες μεταβάλλονται συναρτήσει της θερμοκρασίας και διαφέρουν αρκετά μεταξύ των δύο καταστάσεων του μελετώμενου υλικού(υγρή- στερεά φάση).





ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

## 5 Κλιματικές συνθήκες

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως οι κλιματικές συνθήκες αποτελούν έναν από τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα των υλικών αλλαγής φάσης σε εφαρμογές κτιρίων. [14]

Συγκεκριμένα η απόδοση του συστήματος επηρεάζεται κυρίως από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες, επηρεάζεται από την γεωγραφική θέση και από το έδαφος, αν έχει πάγο ή χιόνι ή ηλιοφάνεια και τέλος και από το υψόμετρο.

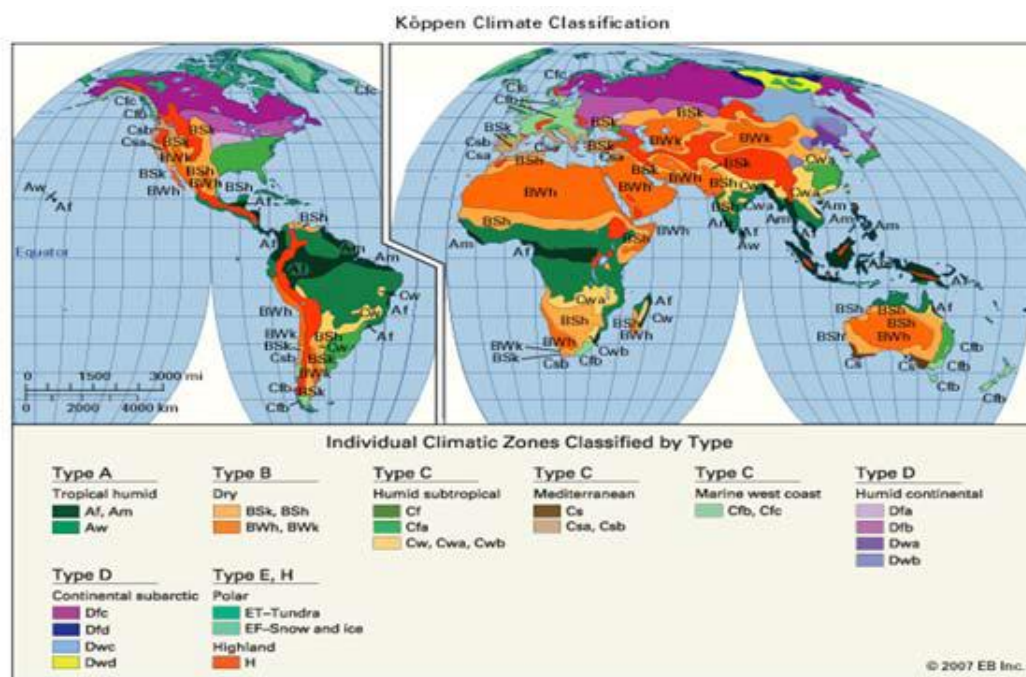
Όστε να αντιμετωπιστεί αυτό το σοβαρό πρόβλημα αυτό που πρέπει να γίνει είναι ένας γενικός μέσος όρος με τα καιρικά φαινόμενα στη διάρκεια της χρονιάς. Όσο περισσότερα δεδομένα υπάρχουν τότε τόσο καλύτεροι υπολογισμοί θα μπορούν να γίνουν για να τοποθετηθεί το σωστό υλικό αλλαγής φάσης.

Οι ανάγκες ψύξης και θέρμανσης για κτίρια σε κάθε κλιματική ζώνη μπορούν να καθορίζονται σύμφωνα με τις συνθήκες της κλιματικής ζώνης και από την χρήση των κτιρίων (κατοικιών ή μη κατοικιών), αλλά και από τα οικονομικά οφέλη μαζί με λιγότερη σπατάλη ενέργειας για θέρμανση και ψύξη.

Ένα από τα πιο δημοφιλή συστήματα ταξινόμησης του κλίματος είναι του Köppen-Geiger. Αυτός χωρίζει κλίμα σε πέντε ζώνες και συγκεκριμένα: Α: στον ισημερινό, Β: ξηρό έδαφος, C: ζεστό εύκρατο, D: με χιόνι και Ε: πολικές θερμοκρασίες. Έχει και κάποιες άλλες πληροφορίες αλλά στην ουσία μας δείχνει μέσω του χάρτη τι έδαφος έχουν να αντιμετωπίσουν οι μηχανικοί.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



Εικόνα 22 Κλιματική ταξινόμηση σύμφωνα με τον Köppen Geiger

## 6 Εφαρμογή υλικών αλλαγής φάσης στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, η ενεργειακή αναβάθμιση παλιών και νέων οικοδομών σύμφωνα με τα πρότυπα θερμομόνωσης, αποτελεί αναγκαιότητα σύμφωνα με τους εθνικούς κανονισμούς λόγω της υψηλής κατανάλωσης της υπάρχουσας υποδομής των κτιρίων. Τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια για την επίτευξη θερμικών συνθηκών άνεσης και την ελαχιστοποίηση της χρήσης συμβατικής ενέργειας. [11]

Τα υλικά αλλαγής φάσης έχουν υψηλή χωρητικότητα αποθήκευσης θερμότητας έτσι ώστε να μπορούν να απορροφήσουν πολλή ενέργεια πριν τήξη ή στερεοποίηση. Η θερμοκρασία pcm παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια της αλλαγής φάσης, η οποία είναι χρήσιμη για τη διατήρηση του αντικειμένου σε ομοιόμορφη θερμοκρασία.

Παρακάτω θα εξεταστούν τα πιθανά ενεργειακά οφέλη που μπορεί να προκύψουν από την ενσωμάτωση των pcm σε κατασκευαστικά στοιχεία. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε είναι το (TRNSYS) [12] το οποίο προσομοιώνει τη συμπεριφορά του κτιρίου καθόλη τη διάρκεια του έτους στο κλίμα της Ελλάδας.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Ο οικοδομικός τομέας είναι ένας κλάδος που καταλώνεται περίπου το 40% της παγκόσμιας ενέργειας όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως. Η σωστή ενεργειακή απόδοση καθίσταται ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που απασχολούν τις κυβερνήσεις και τις κοινωνίες σήμερα.

Η χρήση συστημάτων αποθήκευσης θερμικής ενέργειας λαμβάνει αυξημένο ενδιαφέρον και έχει αναγνωριστεί ως μια από τις αποτελεσματικές προκλήσεις για την καταπολέμηση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων.

Η αποθήκευση ενέργειας στους τοίχους στις οροφές και στα πατώματα των κτιρίων μπορεί να ενισχυθεί με την σωστή τοποθέτηση κατάλληλων υλικών αλλαγής φάσης μέσα στις επιφάνειες τους ώστε να μπορεί να αποθηκευτεί η ηλιακή ενέργεια για την αύξηση της ανθρώπινης άνεσης μειώνοντας τις μεταβολές της θερμοκρασίας ώστε να υπάρχει μια ιδανική θερμοκρασία για μεγαλύτερη χρονική περίοδο

Ο κύριος στόχος αυτής της μελέτης είναι να γίνει σωστή τοποθέτηση των υλικών αλλαγής φάσης σε δομικά στοιχεία (δημόσια κτίρια και σε χώρους εργασίας) ώστε να βελτιωθεί η θερμική απόδοση και να επιτευχθεί μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας στην ψύξη και στη θέρμανση.

Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση εργαλείων προσομοίωσης ενέργειας για τα κτίρια και να γίνει σωστή επιθεώρηση κτιρίων. Για καλύτερα αποτελέσματα θα ήταν καλύτερο να τοποθετούνται σε νεότερες οικοδομές.

Κάποια από τα προγράμματα που χρησιμοποιούνται για να βγουν ακριβή αποτελέσματα είναι τα TRNSYS, ESP-r, B-SIM, CLIM2000 και άλλα. Παρακάτω μελετάτε μια έρευνα που έγινε στο πανεπιστήμιο Κρήτης στα Χανιά και χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα TRNSYS.

Το κτίριο που δημιουργήθηκε χρησιμοποιήθηκε η προσομοίωση πολλαπλών ζωνών του κτιρίου με το πρόγραμμα TRNSYS, η οποία αποτελείται από δύο ζώνες με τα ίδια χαρακτηριστικά από πλευράς δομής, προσανατολισμού και λειτουργικών χαρακτηριστικών. Η μόνη διαφορά είναι ότι η δεύτερη ζώνη χρησιμοποιείται για την ενσωμάτωση του pcm.

Στο παρακάτω

Και στις δύο ζώνες ελήφθη υπόψη ένα σύστημα θέρμανσης και ψύξης έτσι ώστε η θερμοκρασία να διατηρηθεί μεταξύ 20 °C (κάτω από την οποία ενεργοποιείται το σύστημα θέρμανσης) και 26 °C (πάνω από το οποίο ενεργοποιείται το σύστημα ψύξης).  
[11]



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Αυτό το εύρος θερμοκρασιών εξασφαλίζει θερμική άνεση στους χρήστες του κτιρίου. Το φορτίο ενέργειας (ψύξη ή θέρμανση) που απαιτείται για τις δύο περιοχές εξαρτάται κυρίως από τις ακόλουθες παραμέτρους:

- *Θερμοκρασία περιβάλλοντος.*
- *Η άμεση και έμμεση ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάται από τη δομή του κτιρίου.*
- *Τα συνολικά φορτία που παράγονται σε κάθε περιοχή από χρήστες και συσκευές.*

## 6.1 Έρευνα σε παλιά οικοδομή για τοποθέτηση υλικού αλλαγής φάσης

Προκατασκευασμένα κτίρια είναι κατασκευές με πολύ χαμηλή θερμική μάζα. Ωστόσο, χρησιμοποιούνται συχνά στην Ελλάδα λόγω του χαμηλού κόστους τους και της ευκολίας και της ταχύτητας υλοποίησης. Η απουσία αξιοσημείωτης θερμικής μάζας μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας με αποτέλεσμα την έλλειψη θερμικής άνεσης. [15]

Οι συνθήκες θερμικής άνεσης μπορούν να επιτευχθούν με μηχανικά συστήματα κλιματισμού, αλλά το κόστος κατανάλωσης ενέργειας είναι πολύ υψηλό. Επομένως, είναι σημαντικό να διερευνηθούν μέθοδοι για την επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας σε τέτοιες κατασκευές.

Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για το πρώτο σετ προσομοιώσεων ήταν η γυψοσανίδα με το υλικό αλλαγής φάσης με την ονομασία «Micronal PCM SmartBoard» (2.0x1.25x0.015 m) που περιέχει  $3 \frac{kg}{m^2}$  pcm με περιεκτικότητα (26% w/w) με ικανότητα λανθάνουσας θερμότητας  $330 \frac{kJ}{m^2}$ . Το εύρος θερμοκρασίας τήξης είναι 23-26 °C.

Για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων με ένα άλλο εμπορικά διαθέσιμο σύστημα μόνωσης προστέθηκε στο μοντέλο μία τρίτη ζώνη με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- *επιπλέον κεραμίδι οροφής (5 cm, πλαστικό υλικό 2 cm) για την οροφή*
- *πρόσθετες σανίδες από πολυστυρένιο (κόλλα πλακιδίων 2 cm) και γύψο για τις εξωτερικές επιφάνειες.*

Παρακάτω έχουμε τα δομικά χαρακτηριστικά του κτιρίου.

	κτίριο 1	Zone 2 (Construction with pcm)
Τοίχοι/οροφή	Γαλβανισμένο φύλλο 1.5 cm	Γαλβανισμένο φύλλο 1.5 cm

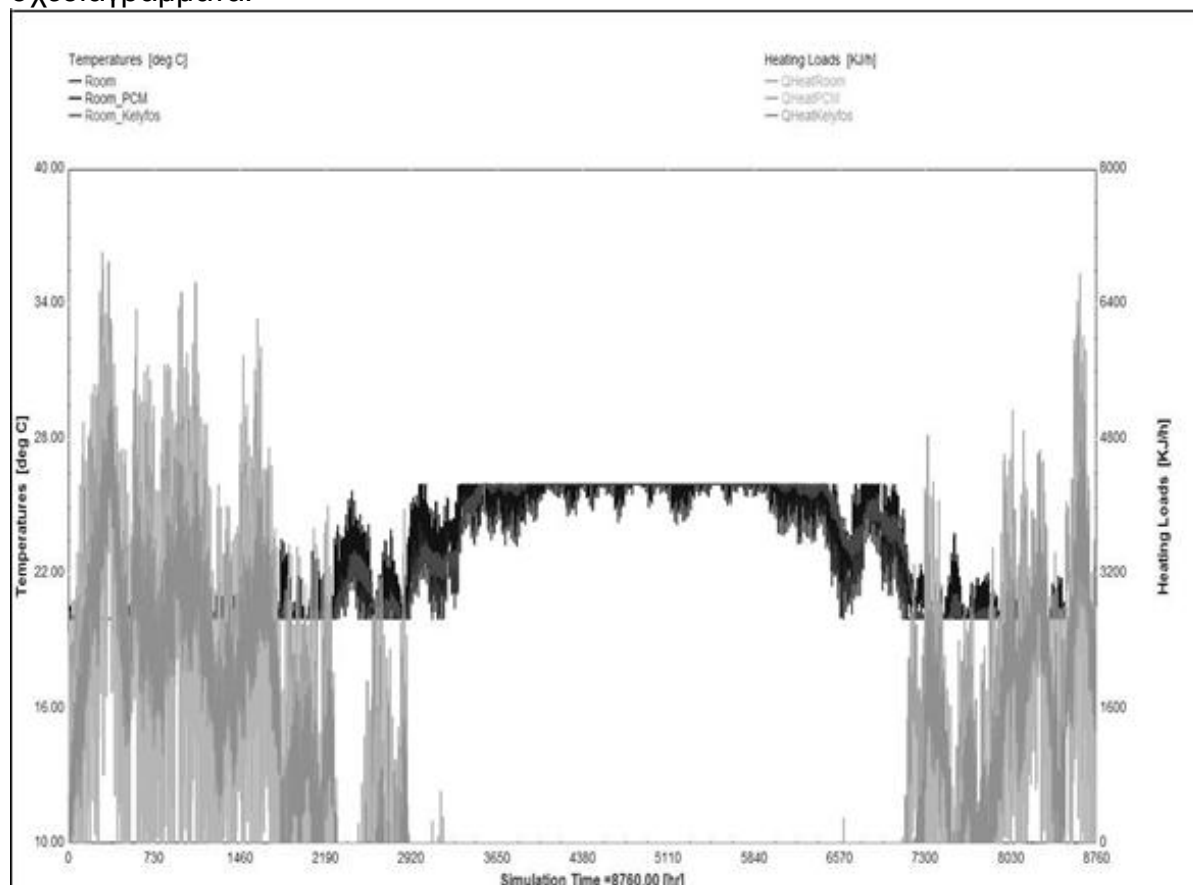


ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

	Μόνωση (αφρός πολυαιθάνης) 4 cm	Μόνωση (αφρός πολυαιθάνης) 4 cm
	Γαλβα/νο φύλλο χάλυβα 1.5cm	Γαλβα/νο φύλλο χάλυβα 1.5cm
	-	Γυψοσανίδα με υλικά αλλαγής φάσης 3 cm
Πάτωμα	Πλακάκι δαπέδου 5 mm	Πλακάκι δαπέδου 5 mm
	Πλαστικό υλικό συγκ/σης 5 mm	Πλαστικό υλικό συγκ/σης 5 mm
	Τσιμέντο 24 cm	Τσιμέντο 24 cm
	Τσιμέντο 10 cm	Τσιμέντο 10 cm
Θέρμανση/ψύξη	Ναι	Ναι

Διάγραμμα 5 Χαρακτηριστικά προκατασκευασμένων κτιρίων

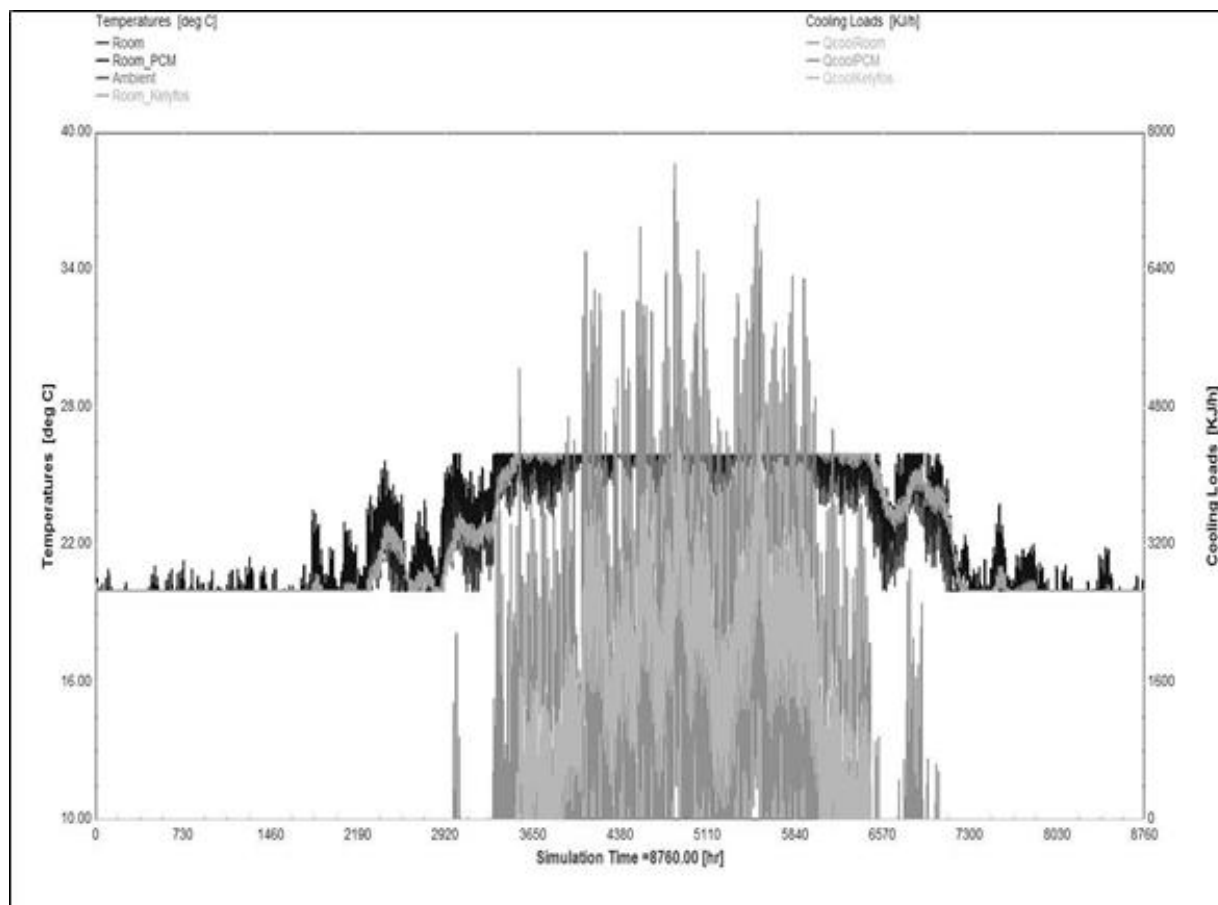
Τα αποτελέσματα που βρήκε το πρόγραμμα παρουσιάζονται στα παρακάτω σχεδιαγράμματα.



Διάγραμμα 6 Εσωτερική αλλαγή θερμοκρασίας με το σύστημα θέρμανσης ανοιχτό



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



Διάγραμμα 7 Εσωτερική αλλαγή θερμοκρασίας με το σύστημα ψύξης ανοιχτό

### 6.1.1 Συμπεράσματα μετρήσεων

Η ενσωμάτωση των σανίδων pcm είχε ως αποτέλεσμα σημαντική μείωση της απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση. Αυτή η μείωση (53%) μπορεί να επιτευχθεί σε μια πλήρως μονωμένη κατασκευή. Η κατασκευή με τα υλικά αλλαγής φάσης φαίνεται να είναι οριακά πιο αποτελεσματικά κατά (2,3%) από το απλό σύστημα. [15]

Σε αντίθεση με την θέρμανση σε περίπτωση για ψύξη η ενσωμάτωση του pcm δεν βελτιώνει την απόδοση του κτιρίου και επιτυγχάνεται καλύτερη απόδοση με την απλή κατασκευή. Ωστόσο, η εφαρμογή του νυκτερινού αερισμού στο δωμάτιο με τις σανίδες PCM, μπορεί να μειώσει τα απαιτούμενα φορτία ψύξης κατά 8,3%.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Ο εξαερισμός αναγκάζει το pcm να αποφορτιστεί τουλάχιστον εν μέρει και του επιτρέπει να αποθηκεύει μέρος του φορτίου ψύξης της επόμενης ημέρας. Η μείωση είναι συγκρίσιμη με εκείνη που επιτεύχθηκε με το απλό σύστημα κατά (8,9%).

## 6.2 Έρευνα σε καινούρια οικοδομή για τοποθέτηση υλικού αλλαγής φάσης

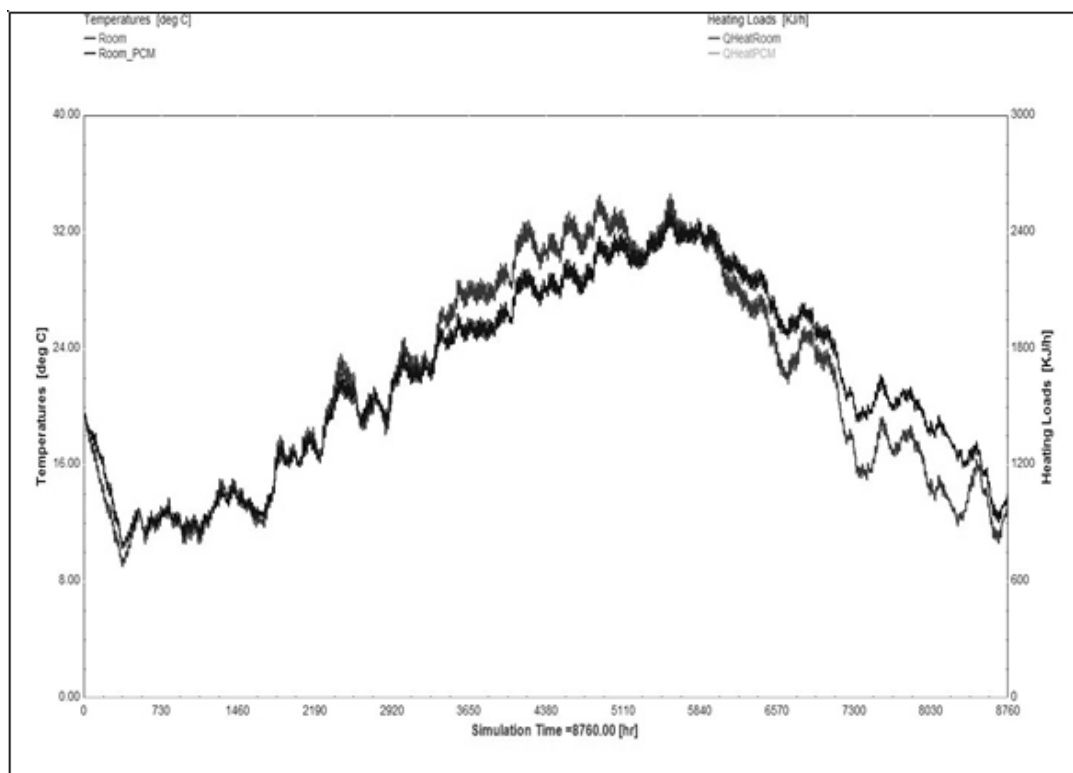
Δύο απλά μοντέρνα κτίρια σχεδίασης προσομοιώθηκαν επίσης. Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των δύο ζωνών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 23. Οι δύο ζώνες είναι ταυτόσημες με τη μόνη διαφορά η αντικατάσταση του εσωτερικού γύψου με ειδικό γύψο που περιέχει υλικό αλλαγής φάσης (20% w/w). [15]

Το υλικό είναι ένα μικροεγκλεισμένο pcm που ονομάζεται «Maxit Clima» (BASF) με σημείο τήξης 26 °C και θερμική ισχύ  $18 \frac{kJ}{kg}$  στην περιοχή θερμοκρασίας 23-26 °C. Το πάχος του γύψου με στρώμα υλικού αλλαγής φάσης, θεωρήθηκε αρχικά ίσο με το συμβατικό εσωτερικό γύψο που αντικαταστάθηκε (1,5 cm

Στη συνέχεια ο πίνακας παρουσιάζει την αλλαγή θερμοκρασίας αέρα και στα δύο κτίρια χωρίς εσωτερικά οφέλη και το σύστημα ψύξης/θέρμανσης να είναι απενεργοποιημένο.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



Διάγραμμα 8 Μεταβολές θερμοκρασίας σε δύο κτίρια

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας με τα χαρακτηριστικά που έχουν δύο νεόδμητα κτίρια

	Zone 1	Zone 2 (Construction with pcm)
Τοίχος/ οροφή	Γύψος 1.5cm	Γύψος 1.5cm
	Μόνωση 10cm	Μόνωση 10cm
	Τούβλο 24cm	Τούβλο 24cm
	Συμβατικός γύψος 3.0cm	Γύψος Maxit Clima 3.0 cm
Ceiling	Μόνωση 10 cm	Μόνωση 10 cm
	Τσιμέντο 24cm	Τσιμέντο 24cm
	Γύψος 3 cm	Γύψος Maxit Clima 3.0 cm
Floor	Πλακάκι δαπέδου 5mm	Πλακάκι δαπέδου 5mm
	Πλαστικό υλικό συγκόλλησης πλακιδίων 5mm	Πλαστικό υλικό συγκόλλησης πλακιδίων 5mm
	Τσιμέντο 24 cm	Τσιμέντο 24 cm
	Μόνωση 10 cm	Μόνωση 10 cm

Πίνακας 3 Χαρακτηριστικά νεόδμητων κτιρίων

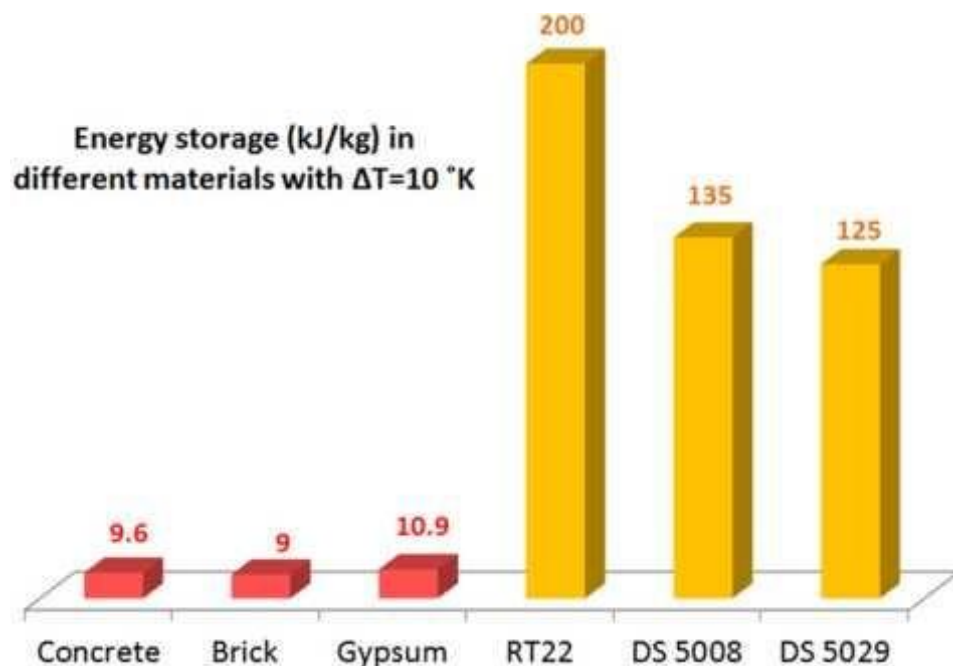




ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Στο πίνακα 24 παρουσιάζονται μεγάλες διαφορές μεταξύ των δύο κτιρίων. Το κτίριο που έχει τοποθετηθεί ο γύψος με τα υλικά αλλαγής φάσης με την ονομασία Maxit Clima είναι σημαντική καθώς ελαχιστοποιεί τη μείωση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του χειμώνα και την αύξηση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Η ζώνη 2 καθυστερεί να φτάσει στη μέγιστη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Είναι ωστόσο σαφές ότι μόνο η συμπερίληψη του pcm δεν επαρκεί για την επίτευξη θερμικής άνεσης για τους χρήστες, καθώς η θερμοκρασία υπερβαίνει τους 32 °C το καλοκαίρι και μειώνεται στους 10 °C το χειμώνα και στις δύο περιπτώσεις.



Εικόνα 23 Η αποθήκευση ενέργειας στα υλικά αλλαγής φάσης σε σχέση με τα συμβατικά υλικά

Όταν χρησιμοποιείτε κλιματισμός, η μείωση του φορτίου ψύξης και θέρμανσης είναι 12% και 25% αντίστοιχα με το κτήριο που έχει τοποθετηθεί το pcm(κτίριο2). Επιπλέον, παρατηρείται σημαντική μείωση στην απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος για θέρμανση και ψύξη (12,5% και 4% αντίστοιχα).

Για να μελετηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η επίδραση του πάχους στρώματος γύψου με υλικό αλλαγής φάσης για το απαιτούμενο φορτίο θέρμανσης και ψύξης. Οι προσομοιώσεις επαναλήφθηκαν για ένα στρώμα ίσο με 2, 3, 4, 5, και 6,5. Ο πίνακας 26 συνοψίζει τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για όλα τα παραπάνω στρώματα.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Στρώμα γύψου με υλικά αλλαγής φάσης	Απαιτούμενα φορτία (% μείωση)		Διαστασιολόγηση συστήματος(μείωση%)	
	Μεταβολή φορτίων θέρμανσης	Μεταβολή φορτίων ψύξης	Σύστημα θέρμανσης	Σύστημα ψύξης
1.5	24.8	11.9	12.5	4.0
2.0	29.2	17.7	18.0	4.1
3.0	47.3	21.8	24.9	4.2
4.0	47.4	35.4	24.9	4.2
5.0	47.5	42.7	25.0	4.2
6.5	47.9	59.6	25.1	4.3

Πίνακας 4 Η επίδραση του πάχους του στρώματος γύψου με pcm στα φορτία για θέρμανση και ψύξη.

Όσον αφορά τα απαιτούμενα θερμαντικά φορτία, η προσθήκη επιπλέον στρώσεων pcm δεν βελτιώνει ουσιαστικά την απόδοση του κτιρίου. Όταν το στρώμα γύψου pcm διπλασιάζεται από (3,0 έως 6,5 cm), το απαιτούμενο φορτίο θέρμανσης μειώνεται κατά 0,6%.

Όσον αφορά τα απαιτούμενα φορτία ψύξης, η προσθήκη pcm εμποδίζει τη θερμοκρασία του κτιρίου να ξεπερνά τους 26 °C. Ωστόσο, δεδομένου ότι το pcm φορτίζεται, η υψηλή θερμοκρασία εμποδίζει την εκκένωση του και ως αποτέλεσμα η παρατηρούμενη βελτίωση είναι αμελητέα

Αυτό που παρατηρείται πως με μόνο την συμπερίληψη του υλικού αλλαγής φάσης σε γύψο δεν φαίνεται να έχει τα αναμενόμενα αποτελέσματα, καθώς παρατηρείται πως το pcm φορτίζει με ενέργεια αρκετά γρήγορα με συνέπεια η ενέργεια που απαιτείται να μην αποδίδει στο να δημιουργούνται συνθήκες κατάλληλες για ψύξη και η διαστασιολόγηση του συστήματος ψύξης φαίνεται να μην έχει την απαραίτητη βελτίωση.

Επιπλέον, το στρώμα γύψου pcm αυξάνει τις ανάγκες ψύξης κατά το φθινόπωρο και η εσωτερική θερμοκρασία της κατασκευής δεν μπορεί να παραμείνει στις συνθήκες θερμικής άνεσης για τους χρήστες.

Προκειμένου να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα του pcm, όσον αφορά τα ψυκτικά φορτία, ο νυχτερινός αερισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η μέθοδος αυτή εξαρτάται από τα κλιματικά χαρακτηριστικά της περιοχής που μελετήθηκε.

### 6.2.1 Συμπεράσματα μετρήσεων



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Η ενσωμάτωση του κατάλληλου υλικού αλλαγής φάσης σε διαφορετικά κατασκευαστικά στοιχεία μπορεί να βελτιώσει την ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου παρέχοντας ένα πιο άνετο περιβάλλον για τους κατοίκους.

Η συμπερίληψη του pcm σε κτίρια με πολύ χαμηλή θερμική μάζα μέσω γυψοσανίδων μπορεί να βελτιώσει την ενεργειακή τους αποδοτικότητα όσον αφορά την ενέργεια θέρμανσης.

Ωστόσο, προκειμένου να μειωθεί η ενέργεια που καταναλώνεται για να χρησιμοποιηθεί το σύστημα ψύξης, η χρήση στοιχείων pcm (σοβάς / τοίχοι) πρέπει να συνδυαστεί με ένα μηχανικό σύστημα εξαερισμού χαμηλής ενέργειας.

Όσον αφορά τις σύγχρονες κατασκευές κτιρίων, η θερμική βελτίωση προσεγγίζει το 62% της αρχικά απαιτούμενης θερμαντικής ενέργειας ενώ μπορεί να επιτευχθεί μείωση κατά 32% του μεγέθους του συστήματος θέρμανσης.

Ωστόσο, η απαιτούμενη ενέργεια ψύξης εμφανίζεται αμελητέα βελτίωση με την ενσωμάτωση των pcm. Η χρήση του νυχτερινού αερισμού μπορεί να μειώσει, σχεδόν κατά 16% το φορτίο ενέργειας ψύξης και ταυτόχρονα να μειώσει το σύστημα ψύξης περίπου 3%.

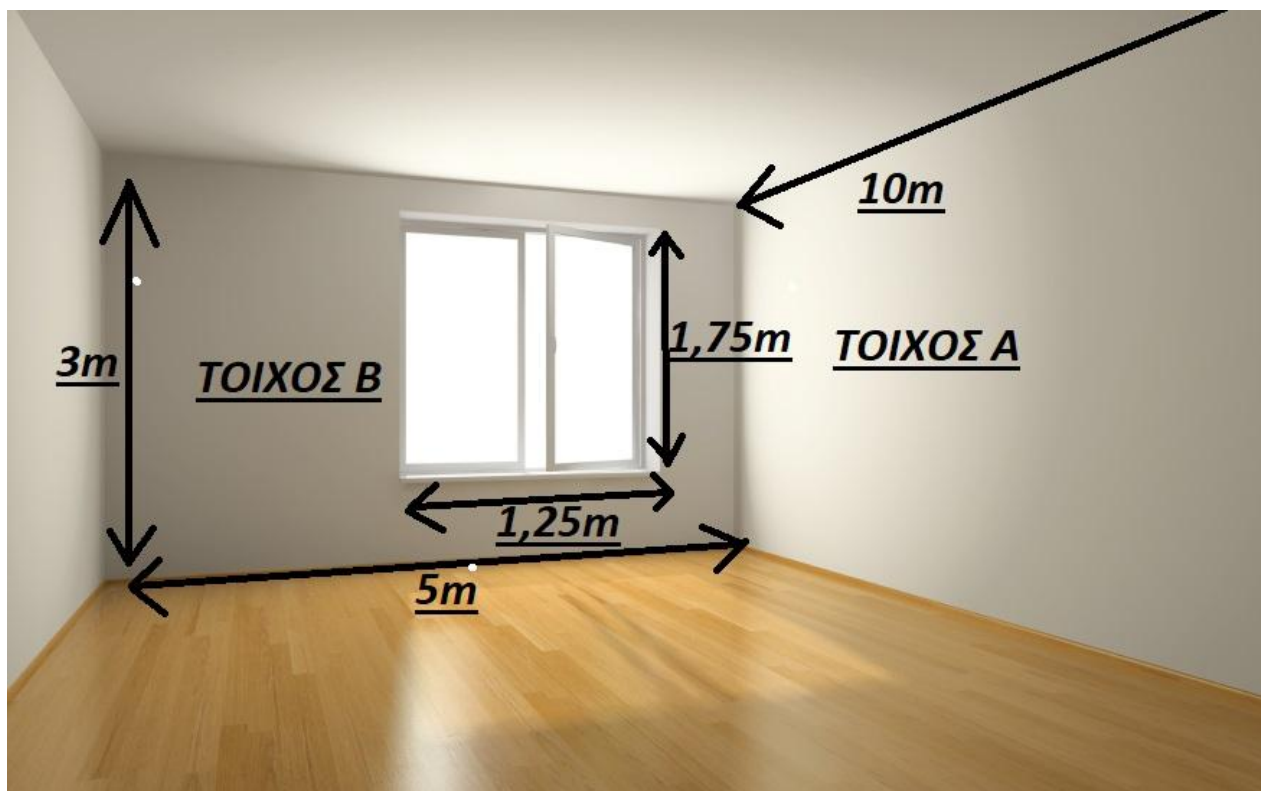
## **7 Μελέτη πάνω σε υποθετικό γραφείο και τύποι υπολογισμών**

### **7.1 Θεωρητική αίθουσα γραφείου και απαραίτητα δεδομένα για την μελέτη.**

Μελέτη κόστους και έρευνας τοποθέτησης υλικού pcm που τοποθετείται σε αίθουσα γραφείου.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



Εικόνα 24 Υποθετική αίθουσα για τοποθέτηση pcπ

Η μελέτη θα αναφερθεί σε δύο τοίχους που έχουν επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον. Για αρχή θα γίνουν οι απαραίτητες μετρήσεις ανά ημέρα όπως ο υπολογισμός της διάχυτης ακτινοβολίας, μετά της ενεργούς θερμοχωρητικότητας και της θερμοροής. Μετά θα γίνει και ένας υπολογισμός των υλικών για αν θα είναι συμφέρουσα η τοποθέτηση.

Χαρακτηριστικά αίθουσας γραφείου

- Πλάτος  $10\text{ m}$
- Μήκος  $5\text{ m}$
- Ύψος  $3\text{ m}$

Παράθυρο

- Πλάτος  $1,75\text{ m}$
- Μήκος  $1.25\text{ m}$

Ο τοίχος θα αποτελείται από τα παραπάνω υλικά:

- Γυψοσανίδα  $=10\text{ mm}$



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

- Στρώμα PCM = 40mm
- Μόνωση = 30mm
- Τούβλο = 60mm
- Σοβάς = 10mm

Σύνολο πάχους τοίχου 150 mm

Στη συνέχεια τοποθετείται υποθετικό υλικό αλλαγής φάσης με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Θερμότητα αλλαγής φάσης ή θερμότητα της τήξης  $H = 150 \frac{\text{KJ}}{\text{Kgr}}$
- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης με θερμοκρασία εισόδου  $T_s = 20^\circ\text{C}$
- Θερμοκρασία υγροποίησης  $T_l = 26^\circ\text{C}$ .
- Ειδική θερμοχωρητικότητα έναρξης της τήξης  $C_{ps} = 4000 \text{ J / K g}^\circ\text{C}$
- Ολοκλήρωση της τήξης (υγρή φάση)  $C_{pl} = 4000 \text{ J / K g}^\circ\text{C}$ .
- Ειδική θερμική αγωγιμότητα  $k = 1,2$ .
- Πυκνότητα  $\rho = 1019 \text{ Kgr / m}^3$

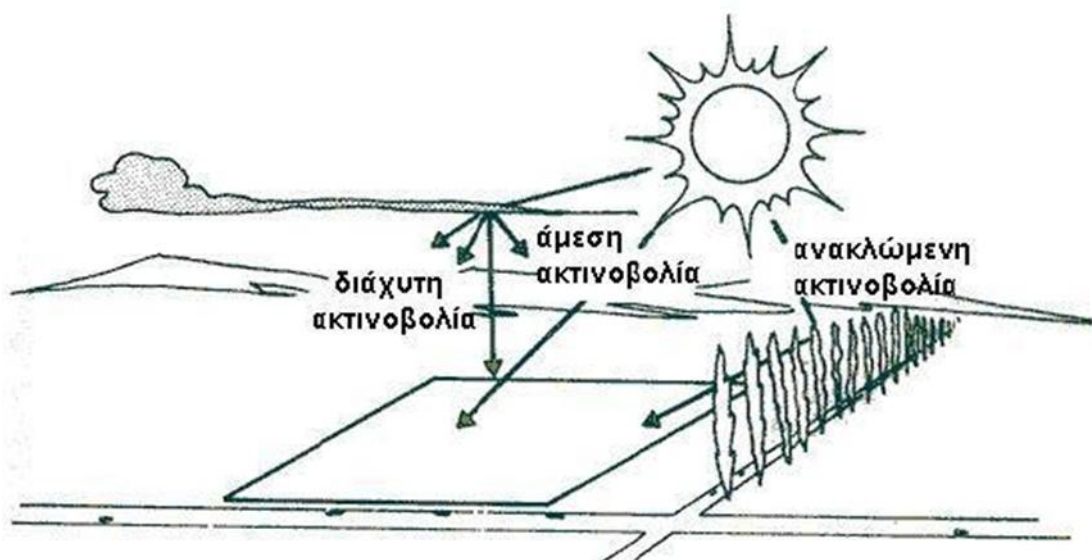
## 7.2 Υπολογισμός διάχυτης ακτινοβολίας

Κάποιοι όροι που θα χρειαστούν είναι [20]:

- Άμεση ηλιακή ακτινοβολία **G<sub>b</sub>**: Ηλιακή ακτινοβολία, που έρχεται απευθείας από τον ήλιο και προσπίπτει στη γη χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση από την ατμόσφαιρα.
- Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία **G<sub>d</sub>**: Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο οριζόντιο επίπεδο αφού έχει αλλάξει διεύθυνση από σκέδαση στην ατμόσφαιρα.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



Εικόνα 25 Άμεση διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου

Για τον υπολογισμό της άμεσης και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου  $G_b$  και  $G_d$  αντίστοιχα χρησιμοποιούμε τις σχέσεις που δίνονται από τους παρακάτω τύπους:

- $G_b = M_t * A_t * \sin\left(\frac{360}{365} * D - T\right)$
- $G_d = m_t * a_t * \sin\left(\frac{360}{365} * D - T\right)$
- $R_b = \frac{[\sin d * \sin(\varphi - \beta) + \cos d * \cos(\varphi - \beta) * \cos \omega]}{\sin d * \sin \varphi + \cos d * \cos \varphi * \cos \omega}$
- $G_t = G_b * R_b + G_d \left(1 + \frac{\cos b}{2}\right) + (G_b + G_d) * p \left(1 + \frac{\cos b}{2}\right)$

Κύριες μονάδες είναι:

- $\beta = 90^\circ$
- $p = 0.20$
- $D = 1-365$
- $\varphi = \text{γεωγραφικό πλάτος γωνιακή θέση βόρεια ή νότια του ισημερινού}$

Όπου οι συντελεστές  $M_t$ ,  $m_t$ ,  $a_t$ ,  $A_t$ ,  $P_t$ ,  $p_t$  δίνονται από τον παρακάτω πίνακα για τις ώρες 07.00-18.00



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

t [hrs]	Mt	At	Pt	Mt	at	pt
07.00	0,007	0,046	86,18	0,048	0,111	81,23
08.00	0,057	0,068	87,31	0,134	0,127	82,45
09.00	0,119	0,104	87,94	0,208	0,133	83,94
10.00	0,191	0,129	88,31	0,261	0,129	85,60
11.00	0,258	0,153	89,35	0,283	0,117	86,05
12.00	0,319	-0,181	-88,88	0,271	0,095	82,71
13.00	0,342	-0,194	-89,18	0,243	0,081	81,95
14.00	0,325	0,183	87,21	0,210	0,083	87,23
15.00	0,269	0,166	86,22	0,176	0,087	89,53
16.00	0,183	0,147	82,10	0,141	-0,085	-88,19
17.00	0,078	0,131	79,85	0,104	-0,079	-88,97
18.00	-0,025	0,114	77,36	0,051	0,091	86,79

Πίνακας 5 Σταθερές για τον υπολογισμό της Gb και Gd.

Στη περίπτωση μας όπου μελετάμε κατακόρυφο τοίχο η κλίση της επιφάνειας είναι  $\beta=90^\circ$ . Άρα ο τελικός μας τύπος για την ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου είναι:

- $Gt = Gb * Rb + \frac{Gd}{2} + (Gb + Gd) * \frac{p}{2}$
- $d = 23.45 * \sin(360 * \frac{284+n}{365})$

Με n ο αύξων αριθμός της ημέρας του έτους, για την οποία ζητείται να υπολογισθεί η ηλιακή ακτινοβολία δηλαδή  $n=1-365$ .



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

- $\omega=0,25*\chi$  (min από το ηλιακό μεσημέρι)

ωριαία γωνία (η γωνιακή μετατόπιση του ηλίου ανατολικά η δυτικά του τοπικού μεσημβρινού λόγω περιστροφής της γης γύρω από τον άξονα της).

Μετά αυτό που χρειάζεται είναι να γίνουν υπολογισμοί του  $G_b$  και  $G_t$  για κάθε μήνα και να βρεθεί πόσο είναι η μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου συναρτήσει της ώρας για νότιο προσανατολισμό για τους θερινούς μήνες του έτους.

Μετά αυτό που πρέπει να γίνει είναι να γίνουν υπολογισμοί για να βρεθεί η άμεση  $G_b$ , διάχυτη και η έμμεση  $G_d$  ακτινοβολία οριζόντιου επιπέδου σε συνάρτηση με τον χρόνο ανά ώρα  $G_t$ .

Παράδειγμα:

Για 20 Μαΐου το  $D=120$  και το  $d=20.009$

<b>Ωρα (hrs)</b>	<b><math>G_b</math> (KW/m<sup>2</sup>)</b>	<b><math>G_d</math> (KW/m<sup>2</sup>)</b>
6	0	0
7	0,04367	0,141937
8	0,110389	0,240013
9	0,19994	0,317081
10	0,290872	0,364619
11	0,374677	0,37643
12	0,453155	0,350063
13	0,486471	0,311001
14	0,468875	0,275237
15	0,401262	0,242169

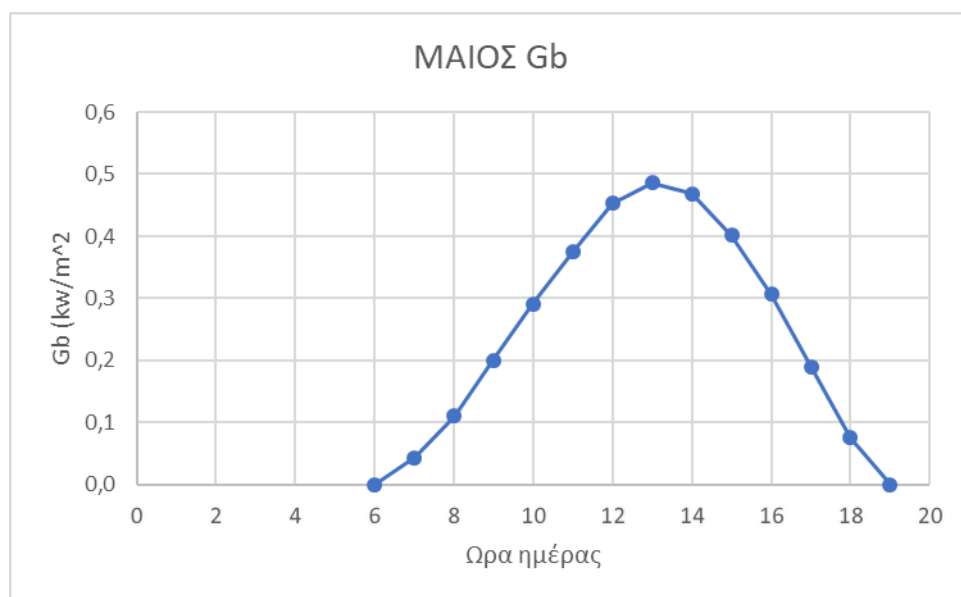




ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

16	0,3062	0,20331
17	0,19051	0,162637
18	0,075353	0,122955
19	0	0

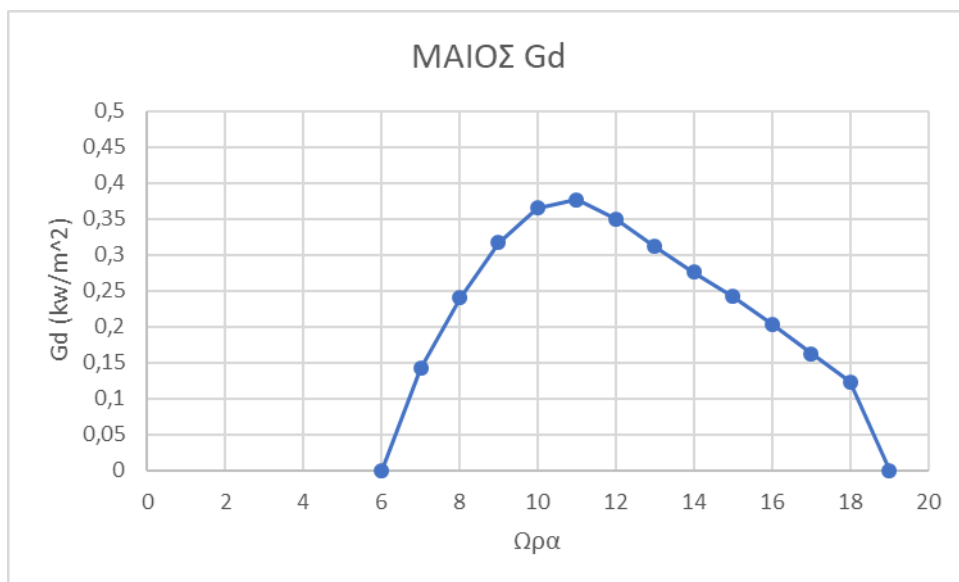
Τώρα σε ένα excel πρέπει να γίνουν δύο διαγράμματα που να υπολογίζουν την άμεση ακτινοβολία και την διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία.



Διάγραμμα 9 Μεταβολή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει της ώρας στις 20 Μαΐου.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



Διάγραμμα 10 Μεταβολή της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει της ώρας στις 20 Μαΐου.

Αυτό ακολουθείτε για όλους τους μήνες του χρόνου για να υπάρχει μια πιο ακριβής μελέτη επειδή με τα υλικά αλλαγής φάσης πρέπει να υπάρχει αρκετή ακρίβεια.

### 7.3 Ενεργός θερμοχωρητικότητα υπολογισμός

Οι υπολογισμοί θα γίνουν για να βρεθεί η ενεργός θερμοχωρητικότητα οι τύποι που θα χρησιμοποιηθούν είναι οι παρακάτω[20]:

- $T \leq T_s$

$$C_{p,eff} = C_{ps}$$

- $T_s \leq T \leq T_c$

$$C_{p,eff} = 4 * (H - b * C_{ps}) * \frac{T - T_s}{b^2} + C_{ps}$$

- $T_c \leq T \leq T_l$

$$C_{p,eff} = 4 * \frac{b * C_{pl} - H}{b^2} * \left( T - T_s - \frac{b}{2} \right) + 2 * \frac{H}{b} - C_{pl}$$

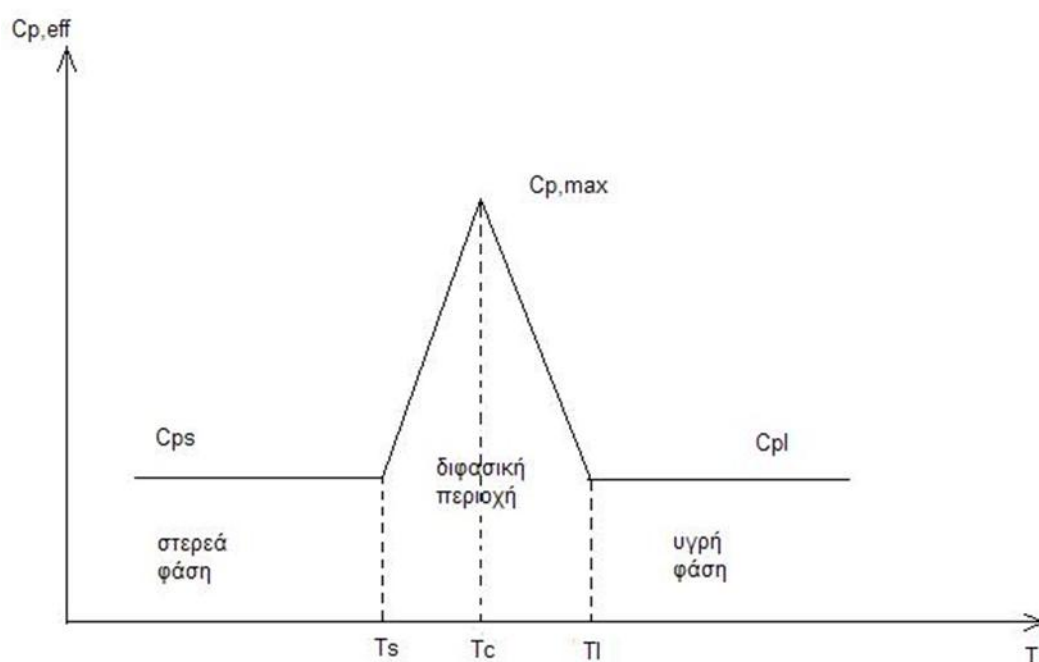
- $T > T_l$



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

$$C_{p,eff} = C_{pl}$$

Όπου  $T_c = \frac{T_s + T_l}{2}$  και  $b = T_l - T_s$



Διάγραμμα 11 Καμπύλη ενεργούς θερμοχωρητικότητας

Χρησιμοποιώντας τους παραπάνω τύπους:

- Για  $T \leq 20^\circ$

$$C_{p,eff} = C_{ps} = 4000 \frac{J}{kg \cdot K} \{1\}$$

- Για  $20^\circ \leq T \leq 23^\circ$

$$C_{p,eff} = 4 * (H - b * C_{ps}) * \frac{T - T_s}{b^2} + C_{ps}$$
$$C_{p,eff} = 14000 * (T - 20) + 4000 \{2\}$$



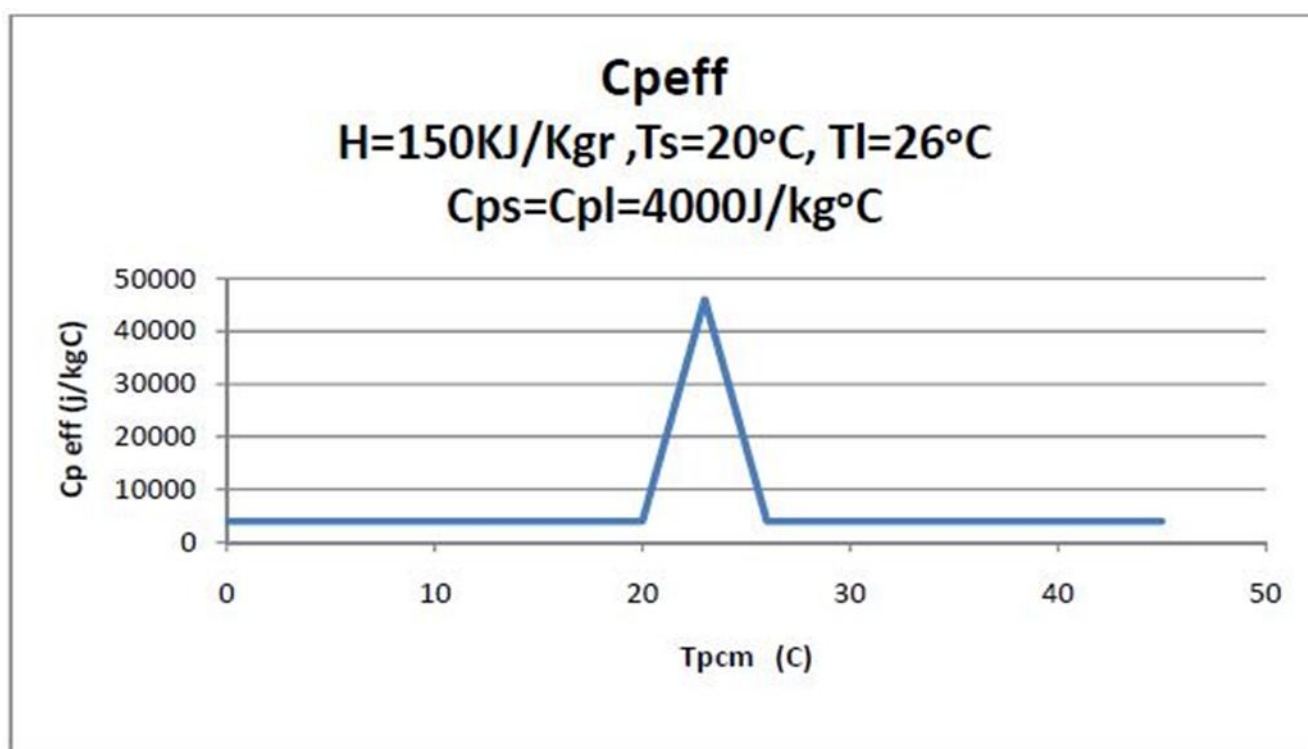
ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

- Για  $23^{\circ} < T \leq 26^{\circ}$

$$C_{p, eff} = 4 * \frac{b * C_{pl} - H}{b^2} * \left( T - T_s - \frac{b}{2} \right) + 2 * \frac{H}{b} - C_{pl} - 14000 * (T - 23) + 46000 \{3\}$$

- Για  $T > 26^{\circ}$

$$C_{p, eff} = C_{pl} = 4000 \frac{j}{kg * K}$$



Διάγραμμα 12 Καμπύλη ενεργούς θερμοχωρητικότητας του χρησιμοποιημένου pcm.

## 7.4 Υπολογισμός θερμοκρασίας υλικού αλλαγής φάσης

Για να υπάρχουν όσο το δυνατόν μικρότερες απώλειες λάθους θα πρέπει να γίνουν κάποιες παραδοχές όπως:



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

1. Θεωρούμε ότι στο στρώμα του υλικού αλλαγής φάσης επικρατεί ομοιόμορφη θερμοκρασία.
2. Η θερμοκρασία της αίθουσας θεωρείται σταθερή.
3. Θεωρούμε ότι μεταξύ του στρώματος υλικού αλλαγής φάσης και της μόνωσης δεν υπάρχει συναλλαγή θερμότητας δηλαδή υπάρχει αδιαβατικό όριο μεταξύ τους, τέλεια μόνωση.
4. Τέλος θεωρούμε ότι στην αίθουσα υπάρχουν σταθερές απώλειες δηλαδή υπάρχει σταθερή ισχύ που χρειάζεται για την κάλυψη των αναγκών.

Ενέργεια που δίνει το pcm είναι η ενέργεια λόγω της ακτινοβολίας αφαιρούμενη κατά την ενέργεια που δίνει το pcm στο χώρο άρα ο τύπος είναι ο παρακάτω:

$$m * C_p (T_t - T_A) = G_t * A_p * 3600 + A_t * U * 3600 (T_d - T_A)$$

Όπου τα παρακάτω είναι:

- $C_p$  είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα η οποία δίνεται ανάλογα με τη θερμοκρασία του υλικού αλλαγής φάσης
- $m$  είναι η μάζα του pcm ( $m = \rho V = 1019 \times 1,2 = 1222,8 \text{ Kgr}$ )
- $V = (\text{επιφάνεια τοίχου}) \times (\text{πάχος pcm}) (30\text{m}^2 \times 0,04\text{m} = 1,2\text{m}^3)$
- $d=4\text{cm}$  (πάχος υλικού αλλαγής φάσης)
- $\rho=1019\text{Kgr/m}^3$
- $T_A$  είναι η θερμοκρασία του pcm στην αρχή της χρονικής περιόδου
- $T_t$  είναι η θερμοκρασία του pcm στο τέλος της χρονικής περιόδου
- $G_t$  είναι ηλιακή ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου
- $A_p$  είναι η επιφάνεια του υαλοπίνακα  $(2,5) \times (3) \text{ m}^2 = 7,5 \text{ m}^2$
- $A_t$  είναι η επιφάνεια του τοίχου  $(10) \times (3) \text{ m}^2 = 30 \text{ m}^2$

#### 7.4.1 Υπολογισμός U1 ειδική θερμική διαπερατότητα και θερμοκρασία ανά ώρα $T_t$

Ο τύπος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του U είναι:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h} + \frac{1}{k} = \frac{1}{8} + \frac{0.01}{0.12} = 0.133$$

Άρα το  $U = 7.52 \frac{W}{m^2}$



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Όπου το  $\frac{1}{h}$  η θερμική αντίσταση συναγωγής και το  $\frac{1}{k}$  είναι η θερμική αντίσταση αγωγής. Η γυψοσανίδα πριν το rcm έχει μήκος  $l=0.01\text{m}$  και το  $\kappa$  είναι η θερμική αγωγιμότητα  $k = 0,12 \text{ W/m C}$ .

Στο  $T_d$  δίνουμε μια υποθετική θερμοκρασία  $26^\circ$

Όταν τελειώσουν οι υπολογισμοί των παραπάνω μπορεί να γίνει μέτρηση του εσωτερικού του rcm ανά ώρα και δίνεται με τον παρακάτω τύπο.

$$T_t = T_A + \frac{Gt * A\pi * 3600 + U * At * 3600 * (T_d - T_A)}{C_p * m}$$

Αρχικά θα πρέπει να θεωρήσουμε μια λογική τιμή στις 7.00 το πρωί και θεωρηθεί η τιμή  $T_A = 24^\circ$  παρακάτω στο διάγραμμα θα παρουσιαστεί η διαδικασία στην διάρκεια μιας μέρας πως μεταβάλλεται η ηλιακή ακτινοβολία και πόση θερμοκρασία έχει το εσωτερικό του υλικού αλλαγής φάσης για της 20 Μαΐου.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

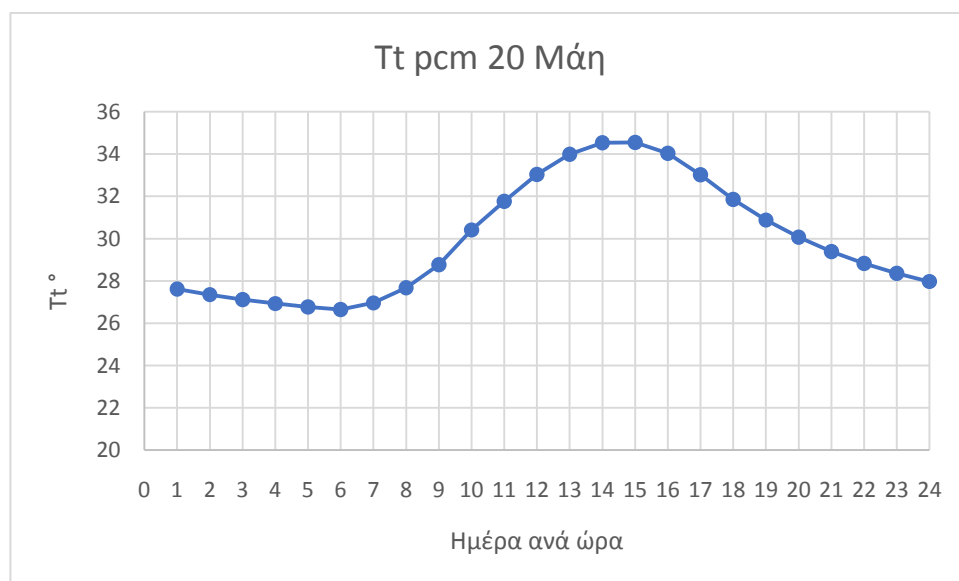
Ωρα	Gt (KW/m <sup>2</sup> )	T <sub>T</sub> (θερμοκρασία PCM °C)
6	0	26,65
7	0,076473	26,96
8	0,158606	27,68
9	0,247887	28,77
10	0,326386	30,41
11	0,379743	31,76
12	0,401797	33,03
13	0,386401	33,99
14	0,338614	34,53
15	0,260975	34,55
16	0,162475	34,03
17	0,059674	33,02
18	0	31,85
19	0	30,88
20	0	30,07
21	0	29,39
22	0	28,83



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Πίνακας 6 Θερμοκρασία που παίρνει το pcm κατά της 20 Μαΐου

Παρακάτω δείχνετε στο πίνακα της μεταβολές θερμοκρασίας του pcm στη διάρκεια της ημέρας.



Διάγραμμα 13 Διάγραμμα θερμοκρασίας pcm ανά ώρα κατά της 21 Μαΐου.

Η θερμοκρασία που αναπτύσσει το υλικό αλλαγής φάσης μας δίνει την δυνατότητα να κερδίσουμε ως και 4° παραπάνω σε σχέση με ένα συμβατικό μπετόν. Η διαφορά είναι αρκετή και μπορεί να εξοικονομηθεί αρκετή ακτινοβολία.

## 7.5 Υπολογισμός θερμοροής

Στο κεφάλαιο αυτό θα υπολογίσουμε την θερμοροή του υλικού αλλαγής φάσης που παράγεται κατά τη διάρκεια μιας ώρας τους θερινούς μήνες και προσδίδει ο τοίχος στο δωμάτιο. Για τον υπολογισμό της θα χρησιμοποιήσουμε τον παρακάτω ισολογισμό.

$$Q_{i,i+1} = At * U * \left( \frac{T_i + T_{i+1}}{2} - 26 \right) * 3600$$



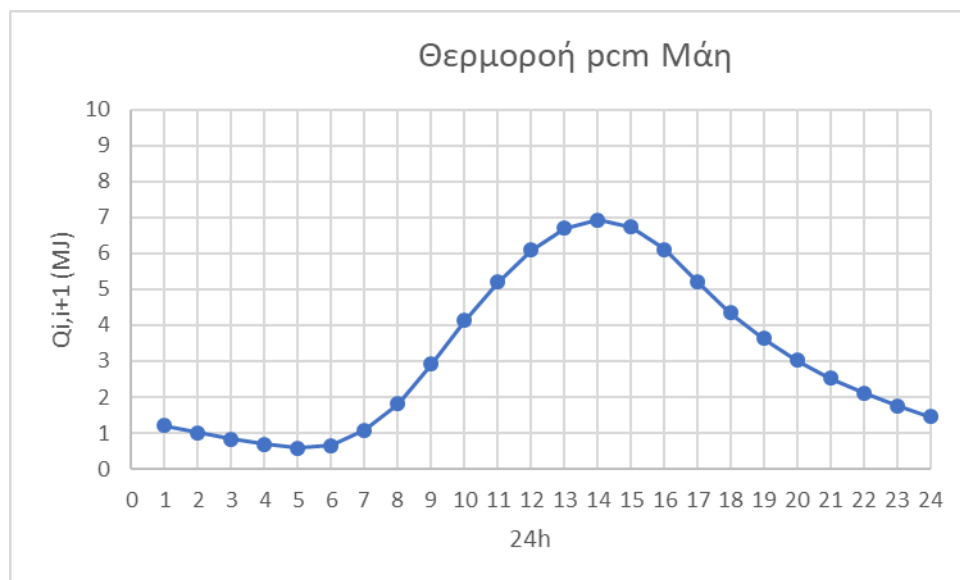


**ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

Ωρα	$Q_{i,j+1}$ (MJ)
1	1,206
2	1,003
3	0,832
4	0,69
5	0,576
6	0,653
7	1,072
8	1,807
9	2,915
10	4,129
11	5,193
12	6,099
13	6,708
14	6,935
15	6,732
16	6,111
17	5,226
18	4,352
19	3,634
20	3,029
21	2,525
22	2,107
23	1,758
24	1,457



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



Διάγραμμα 14 Η θερμοροή την διάρκεια της ημέρας της 20 Μάη

Με την μετρήσεις που έγιναν πάνω σε έναν τοίχο στο παραπάνω διάγραμμα αναφέρετε πως μεταβάλλεται η θερμοροή στη διάρκεια μιας ημέρας. Συμπέρασμα είναι πως θα υπάρχει μεγαλύτερη μεταβολή στη διάρκεια της ημέρας.

## 7.6 Αξιολόγηση ως προς το κόστος

Η τιμή των υλικών αλλαγής φάσης καθοδηγείται από τη ζήτηση της αγοράς και από την ποσότητα που είναι διαθέσιμη στο εμπόριο. Τα  $pcm$  δεν έχουν ακόμη αναπτυχθεί πλήρως, με αποτέλεσμα μια περιορισμένη ζήτηση που είναι σε μεγάλο βαθμό υπεύθυνη για τις σχετικά υψηλότερες τιμές. [10]

Στην έρευνα που γίνεται για το τελικό αποτέλεσμα που θα έχει μια αίθουσα με υλικά αλλαγής φάσης, θα πρέπει να αναφερθούν και κάποιοι οικονομικοί κανόνες που είναι απαραίτητη για να βγει κερδισμένος ο πελάτης αλλά και το περιβάλλον αυτοί είναι:

- Το υλικό αλλαγής φάσης θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από χαμηλό κόστος τόσο παραγωγής όσο και πώλησης.
- Η διαθεσιμότητά του πρέπει να είναι επαρκής.
- Ένα υλικό αλλαγής φάσης πρέπει να είναι ανακυκλώσιμο.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Αυτή τη στιγμή είναι διαθέσιμα στην αγορά περισσότερα από 50 εμπορικά pcm από τις εταιρίες RUBITHERM GmbH, Dorken GmbH & Co. KG, Climator AB, TEAP, CRISTOPIA Energy Systems και Mitsubishi Chemical. Οι τιμές τους ξεκινούν από 0.5 και φτάνουν έως τα 10 €/kg.

### 7.6.1 Υπολογισμός κόστος τοίχου Β

Ο τοίχος θα αποτελείται από τα παραπάνω υλικά:

- Γυψοσανίδα = 10mm
- Στρώμα PCM = 40mm
- Μόνωση = 30mm
- Τούβλο = 60mm
- Σοβάς = 10mm

Σύνολο πάχους τοίχου 150 mm

Κόστος αγοράς υλικών ( στη μελέτη θα αντικατασταθεί το τσιμέντο με pcm)  
Τοίχος Α (10m\*3m)=30m<sup>2</sup>

- Pcm 5€/kg.
- Γύψος 0.15 kg.
- Μόνωση 15 €/τ.μ
- Τούβλο 9€/τ.μ

Υπολογισμός για το pcm

$$(30m^2 * 0,03m) = 0,9m^3$$

0,9m<sup>3</sup> είναι περίπου 900 kg pcm

1. 4500 €

Υπολογισμός για μόνωση

2. Μόνωση (15 €/τ.μ \* 30m<sup>2</sup>) = 450 €

Υπολογισμός γύψου

$$(30m^2 * 0,01m) = 0,3m^3$$

$$0,3m^3 = 300kg$$

3. 300kg\*0,15=45€



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Υπολογισμός τούβλου 9X12X19 cm

$$4. 9\text{€}/\tau.\mu * 30\text{m}^2 = 270\text{€}$$

Συνολικό κόστος υλικών τοιχοποιίας (4500+450+45+270)=5265€.

Αν προσθέσουμε στο περίπου και ένα 10% περιθώριο λάθους = 5791€

### 7.6.2 Υπολογισμός κόστος τοίχου A

Ο τοίχος θα αποτελείται από τα παραπάνω υλικά:

- Γυψοσανίδα = 10mm
- Στρώμα PCM = 40mm
- Μόνωση = 30mm
- Τούβλο = 60mm
- Σοβάς = 10mm

Σύνολο πάχους τοίχου 150 mm

Κόστος αγοράς υλικών ( στη μελέτη θα αντικατασταθεί το τσιμέντο με pcm)

Τοίχος A (5m\*3m)=15m<sup>2</sup>

Παράθυρο (1,75\*1,25)=2,1825m<sup>2</sup>

Συνολική επιφάνεια 12,8125m<sup>2</sup>

- Pcm 5€/kg.
- Γύψος 0.15 kg.
- Μόνωση 15 €/τ.μ
- Τούβλο 9€/τ.μ

Υπολογισμός για το pcm

$$(12,8125\text{m}^2 * 0,03\text{m}) = 0,385\text{m}^3$$

0,385 m<sup>3</sup> είναι περίπου 385 kg pcm

$$385 * 5 = 1925\text{€}$$

Υπολογισμός για μόνωση

$$\text{Μόνωση } (15\text{ €/m}^2 * 12,8125\text{m}^2) = 192\text{€}$$

Υπολογισμός γύψου



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

$$(12,8125\text{m}^2 * 0,01\text{m}) = 0,128\text{m}^3$$
$$0,128\text{m}^3 = 128\text{kg}$$
$$128\text{kg} * 0,15 = 19,2\text{€}$$

Υπολογισμός τούβλου 9X12X19 cm

$$9\text{€/τ.μ} * 12,8125\text{m}^2 = 115,31\text{€}$$

Συνολικό κόστος υλικών τοιχοποιίας **(1925+192+19,2+115,31)=2251€.**

Αν προσθέσουμε στο περίπου και ένα 10% περιθώριο λάθους = **2476€**

Άρα για μια ανακαίνιση μιας αίθουσας με υλικά αλλαγής φάσης θα μας στοίχιζε γύρω στα **(2476+5791)=7947€**

**Όλες οι τιμές είναι χωρίς ΦΠΑ**

Σε αντίθεση που με ένα συμβατικό τοίχο το κόστος ανακαίνισης είναι αρκετά μικρότερο αν αναλογιστεί πως το κόστος του σκυροδέματος πάει στα 450€ το κυβικό με όλα των εξοπλισμό (πρέσες, τοποθέτηση). Είναι στο 1/10 της τιμής του pcm ο απλός τρόπος

## 8 Τελικά συμπεράσματα

Η χρήση των υλικών αλλαγής φάσης στα κτίρια φαίνεται να είναι πολύ επωφελής. Το pcm μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας, να μειώσει τις διακυμάνσεις θερμοκρασίας παρέχοντας ένα θερμικά άνετο περιβάλλον και την μείωση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Μπορεί να παρέχει καταστάσεις ψύξης αλλά και θέρμανσης αναλόγως το περιβάλλον που βρίσκεται με φυσικό τρόπο χωρίς άσκοπη χρήση ενέργειας.

Κάποια συμπεράσματα με τα πλεονεκτήματα που παρατηρείται στο pcm είναι τα παρακάτω:

- Στην αύξηση της εσωτερικής θερμικής άνεσης.
- Στην αύξηση της αποτελεσματικότητας των ήδη υπάρχοντων συστημάτων.
- Στην μείωση της ισχύος του κλιματισμού και στη μείωση των φορτίων αιχμής θέρμανσης και ψύξης
- Στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας
- Στην εκμετάλλευση των φορτίων ενέργειας εκτός ωρών αιχμής.
- Στην εκμετάλλευση άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Το περίβλημα του κτιρίου με την τοποθέτηση υλικών αλλαγής φάσης εμποδίζει την αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας και βελτιώνει την θερμική άνεση. Ωστόσο, πολλά μειονεκτήματα έχουν βρεθεί στις εφαρμογές pcm λόγω των χαμηλών συντελεστών μεταφοράς θερμότητας, την ατελή στερεοποίηση του pcm τη νύχτα αλλά και την περιορισμένη επαφή μεταξύ του αέρα μεταξύ του υλικού.

Υπάρχουν αρκετές λύσεις με τα υλικά αλλαγής φάσης όμως πρέπει να τηρούνται και κάποιοι κανόνες όπως να έχει γίνει μελέτη με ακρίβεια γιατί δεν υπάρχει περιθώριο λάθους. Επιπλέον μπορούν να δημιουργηθούν συστήματα εξαερισμού τα οποία μπορούν να βοηθήσουν στη μεταφορά θερμότητας. Θα πρέπει οι κάψουλες που τοποθετείται το υλικό αλλαγής φάσης να έχει την ακριβή ποσότητα υλικού αλλαγής φάσης για να μην υπάρχει διαρροή αλλά και μη αποδεκτά αποτελέσματα για θερμική άνεση.

Επιπλέον ένα γεγονός που πρέπει να αναφερθεί είναι πως με την μελλοντική έρευνα υπάρχει πιθανότητα τα υλικά αλλαγής φάσης να βελτιώσουν περισσότερο την απόδοση στα κτίρια για θέρμανση αλλά και για ψύξη. Συνεπώς, η ζήτηση θα αυξηθεί η παραγωγή θα αυξηθεί και το κόστος αγοράς να μειώνεται. Θα είναι μια λύση που θα βελτιώνει την θερμική άνεση στα κτίρια και θα έχει και οικολογικά πλεονεκτήματα.

Η τεχνολογία pcm φαίνεται πολλά υποσχόμενη, αλλά εξακολουθούν να υπάρχουν κάποια εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν για να γίνει πιο ευρεία εμπορική διαθέσιμη. Η έρευνα για νέες τεχνολογίες pcm έχει επίσης μεγάλη σημασία όπως π.χ. η δυνατότητα ρυθμιζόμενης και ομοιόμορφης αλλαγής φάσης θερμοκρασίας.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

## 9 Βιβλιογραφία

- [1] Ορισμός υλικών αλλαγής φάσης [https://en.wikipedia.org/wiki/Phase-change\\_material](https://en.wikipedia.org/wiki/Phase-change_material)
- [2] Μέθοδοι εγκατάστασης υλικών αλλαγής φάσης <https://www.global-e-systems.com/en/products/thermavar-pcm-climate-floor/>
- [3] Μέτρηση θερμικής αγωγιμότητας [https://ctherm.com/applications/phase\\_change\\_materials\\_pcm/](https://ctherm.com/applications/phase_change_materials_pcm/)
- [4] D.Zhou, C.Y.Zhao Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications
- [5] S. Liu, Y. Li, Y. Zhang, Review on heat transfer mechanisms and characteristics in encapsulated PCMs, *Heat Transfer Engineering* 36 (10) (2015) 880–901.
- [6] Y. Dutil, D.R. Rousse, N.B. Salah, S. Lassue, L. Zalewski, A review on phase-change materials: mathematical modeling and simulations, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (1)(2011) 112–130.
- [7] Vineet Veer Tyagi, D. Buddhi. PCM thermal storage in buildings: A state of art
- [8] Y. Dutil, D. Rousse, S. Lassue, L. Zalewski, A. Joulain, J. Virgone, F. Kuznik, K. Johannes, J.-P. Dumas, J.-P. Bédécarrats, A. Castell, L.F. Cabeza, Modeling phase change materials behavior in building applications: Comments on material characterization and model validation, *Renewable Energy* 61 (2014) 132–135.
- [9] S.E. Kalnas, B.P. Jelle, Phase change materials and products for building applications: a state-of-the-art review and future research opportunities, *Energy and Buildings* 94 (2015) 150–176.
- [10] A. Trigui, M. Karkri, I. Krupa, Thermal conductivity and latent heat thermal energy storage properties of LDPE/wax as a shape-stabilized composite phase change material *Energy Conversion and Management* 77 (2014) 586–596.
- [11] Μελέτη στο πανεπιστήμιο Κρήτης με υλικά αλλαγής φάσης George Limnaios, Theocharis D Tsoutsos, Study of Energy Saving in a Greek Building Using Phase Change Materials
- [12] Modeling construction with phase change materials in dynamic buildings construction Jorgen.M. Shultz
- [13] H. Fauzi, H.S.C. Metselaar, T.M.I. Mahlia, M. Silakhori, H.C. Ong, Thermal characteristic reliability of fatty acid binary mixtures as phase change materials (PCMs) for thermal energy storage applications, *Applied Thermal Engineering* 80 (2015) 127–131.



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

- [14] *Performance amelioration of a Trombe wall by using Phase Change Material (PCM)*
- [15] *T. Silva, R. Vicente, F. Rodrigues, A. Samagaio, C. Cardoso, Development of a window shutter with phase change materials: full scale outdoor experimental approach, Energy and Buildings 88 (2015) 110–121.*
- [16] *Thermal analysis by DSC, DTA of Phase Change Materials, study of the damage effect*
- [17] *Gypsum Plasterboards Enhanced with Phase Change Materials Safety Assessment using Experimental and Computational Techniques.*
- [18] *Heat transfer studies of building brick containing phase change materials Karunesh Kant, A. Shukla and Atul Sharma October 2017, Pages 1233-1242*
- [19] *A Review on The Application of Phase Change Material for Indoor Temperature Management in Tropical Area Aldissain Jurizat, Surjamanto Wonorahardjo May 2018*
- [20] *Πλεονεκτήματα υλικών αλλαγής φάσης σε κτίρια κατά τους θερινούς μήνες. Σχετική παραμετρική μελέτη. Καμπανοπούλου Ελένη σελ 175-258*