



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ
ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ**

ΣΥΓΓΡΑΦΗ:

ΣΟΥΚΟΥΛΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΚΙΜΩΝ Α. ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ 2014

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα περιορισμένα αποθέματα ορυκτών καυσίμων και οι ανησυχίες σχετικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου καθιστούν αναγκαία την αποτελεσματική διαχείριση της ενέργειας. Προς το παρόν η αποθήκευση ενέργειας για θέρμανση και κλιματισμό του κτιρίου βασίζεται κυρίως σε υλικά αποθήκευσης αισθητής θερμότητας. Ένας άλλος τρόπος αποθήκευσης θερμικής ενέργειας που δοκιμάστηκε για την θέρμανση και τον κλιματισμό των κτιρίων βασίζεται στην ιδέα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας με χρήση PCMs. Η χρήση των Υλικών Αλλαγής Φάσης (PCMs) για αποθήκευση θερμικής ενέργειας, αποτέλεσε μια σημαντική πτυχή για την διαχείριση της ενέργειας μετά την ενεργειακή κρίση 1973-1974.

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τόσο τη θεωρητική όσο και την πειραματική μελέτη των υλικών αλλαγής φάσης. Στο πρώτο μέρος, το θεωρητικό, γίνεται αναφορά του ενεργειακού προβλήματος και της ανάγκης αποθήκευσης ενέργειας και στην συνέχεια μια θεωρητική μελέτη των PCMs. Στο δεύτερο μέρος, πραγματοποιούνται παραμετρικές μελέτες όσον αφορά τη χρήση των PCMs σε εσωτερικούς τοίχους κτιρίων. Εξετάζεται η απόδοση ενός εμπορικού PCM σε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις εσωτερικών τοίχων την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους και γίνεται σύγκριση του με ένα σύνηθες δομικό υλικό, το μπετόν. Μεταβάλλοντας τα πάχη του στρώματος PCM, τον προσανατολισμό του υαλοπίνακα από τον οποίο δέχεται ηλιακή ακτινοβολία ο εξεταζόμενος τοίχος, παρατηρείται η συμπεριφορά του PCM. Λόγω του ότι το συγκεκριμένο PCM δεν ήταν αποδοτικό κατά την διάρκεια των θερινών μηνών διερευνήθηκαν στην συνέχεια και άλλα δυο εμπορικά PCMs.

Η εργασία εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του κύριου Κίμωνα Αντωνόπουλου, καθηγητή του τομέα θερμότητας της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή, κύριο Κίμωνα Αντωνόπουλο για την ανάθεση της εργασίας, τις πληροφορίες που μου παρείχε για το συγκεκριμένο θέμα, την εποπτεία της εργασίας, την καθοδήγησή και τον χρόνο που μου προσέφερε για την επιτυχή ολοκλήρωσή της.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΜΕΡΟΣ 1^ο – ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

| | |
|---|----|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο -ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 13 |
| 1.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΖΗΤΗΜΑ..... | 13 |
| 1.1.1 Κατανάλωση Ενέργειας στα Κτίρια | 14 |
| 1.1.2 Κτίριο και Περιβάλλον..... | 16 |
| 1.2 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ..... | 18 |
| 1.2.1 Μέθοδοι Αξιοποίησης Ηλιακής Ενέργειας..... | 18 |
| 1.2.1.1 Ενεργητικές Μέθοδοι | 19 |
| 1.2.1.2 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα | 22 |
| 1.2.1.2.1 Ταξινόμηση Παθητικών Ηλιακών Συστημάτων..... | 23 |
| 1.2.1.2.1.1 Συστήματα Άμεσου Ηλιακού Κέρδους | 24 |
| 1.2.1.2.1.2 Συστήματα Έμμεσου Ηλιακού Κέρδους..... | 26 |
| 1.2.1.2.1.3 Συστήματα Απομονωμένου Ηλιακού Κέρδους..... | 34 |
| 1.3 ΑΡΧΕΣ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ..... | 36 |
| 1.4 ΡΟΛΟΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ ΚΤΙΡΙΟΥ..... | 37 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 1 ^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ..... | 38 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο – ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMS)..... | 39 |
| 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 39 |
| 2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ..... | 41 |
| 2.2.1 Μηχανική Αποθήκευση Ενέργειας..... | 41 |
| 2.2.2 Ηλεκτρική Αποθήκευση Ενέργειας | 42 |
| 2.2.3 Θερμική Αποθήκευση Ενέργειας..... | 42 |
| 2.2.3.1 Αισθητή Θερμότητας Αποθήκευσης | 44 |
| 2.2.3.2 Λανθάνουσα Θερμότητα Αποθήκευσης | 45 |
| 2.3 ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΎΛΗΣ | 46 |
| 2.3.1 Διαδικασία Αλλαγής Φάσης | 47 |
| 2.3.2 Διαγράμματα Φάσεων..... | 48 |
| 2.3.2.1 Αλλαγή Φάσης Καθαρού Ιδανικού Μίγματος..... | 48 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 2.3.2.2 | Αλλαγή Φάσης Διμερούς Μίγματος..... | 53 |
| 2.4 | ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ..... | 55 |
| 2.4.1 | Μέθοδος Ενθαλπίας..... | 56 |
| 2.4.2 | Μέθοδος Ενεργού Θερμοχωρητικότητας | 57 |
| 2.5 | ΟΡΙΣΜΟΣ PCMS..... | 59 |
| 2.5.1 | Κατηγοριοποίηση PCMs | 60 |
| 2.5.1.1 | Κατηγοριοποίηση με Βάση τα Θερμοκρασιακά Εύρη | 60 |
| 2.5.1.2 | Κατηγοριοποίηση με βάση τον τρόπο μετάβασης φάσης..... | 61 |
| 2.5.1.3 | Κατηγοριοποίηση με Βάση τη Χημική τους Δομή..... | 62 |
| 2.5.2 | Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα PCMs..... | 70 |
| 2.5.3 | Κριτήρια Επιλογής PCMs..... | 72 |
| 2.6 | ΜΕΤΡΗΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ PCMS | 75 |
| 2.6.1 | Μέτρηση Ειδικής Θερμοχωρητικότητας..... | 75 |
| 2.6.1.1 | DSC..... | 75 |
| 2.6.1.2 | DTA..... | 81 |
| 2.6.1.3 | Μέθοδος T-history..... | 82 |
| 2.6.2 | Μέτρηση Θερμικής Αγωγιμότητας..... | 87 |
| 2.6.2.1 | Steady State Methods | 87 |
| 2.6.2.2 | Non Steady State Methods | 89 |
| 2.6.2.3 | T-history | 90 |
| 2.6.3 | Ανάλυση Θερμικής Σταθερότητας (TGA) | 91 |
| 2.6.4 | Ανάλυση Χημικής Συμβατότητας (FT-IR) | 93 |
| 2.6.5 | Double Cell..... | 94 |
| 2.7 | ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ PCMS ΚΑΙ ΠΡΟΪΟΝΤΑ..... | 96 |
| | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 2^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ..... | 102 |
| | ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^Ο -ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMS) ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΝΗΘΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ..... | 105 |
| 3.1 | ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ PCMS ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ..... | 105 |
| 3.1.1 | Άμεση Ενσωμάτωση..... | 105 |
| 3.1.2 | Βύθιση..... | 105 |
| 3.1.3 | Ενθυλάκωση | 106 |
| 3.1.3.1 | Μικροενθυλάκωση | 106 |
| 3.1.3.2 | Μάκροενθυλάκωση | 112 |
| 3.1.4 | PCM Σταθερού Σχήματος | 117 |
| 3.1.5 | Σταθερής Μορφής Σύνθετο PCM | 121 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 3.2 | ΣΥΝΗΘΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ..... | 129 |
| 3.2.1 | Διαχωρισμός Φάσης | 129 |
| 3.2.2 | Υπόψυξη ή Υπέρψυξη | 131 |
| 3.2.3 | Ανεπαρκής Μεταφορά Θερμότητας..... | 133 |
| 3.2.4 | Επιβράδυνση της Φλόγας | 146 |

| | |
|--|------------|
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 3^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ | 147 |
|--|------------|

| | |
|--|------------|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^Ο -ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMS) | 149 |
|--|------------|

| | | |
|------------|--------------------------------|------------|
| 4.1 | ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ | 149 |
| 4.1.1 | Πρώτες εφαρμογές | 149 |
| 4.1.2 | Πρόσφατες Εφαρμογές | 151 |

| | | |
|------------|----------------------------------|------------|
| 4.2 | ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ..... | 159 |
|------------|----------------------------------|------------|

| | | |
|-----------|---|-----|
| 4.2.1 | Παθητικά Συστήματα Αποθήκευσης | 161 |
| 4.2.1.1 | Ηλιακός Τοίχος | 161 |
| 4.2.1.2 | Τοίχος Trombe με PCM | 163 |
| 4.2.1.3 | Παραθυρόφυλλα PCMs | 165 |
| 4.2.1.4 | Παθητική Ενδοδαπέδια Θέρμανση..... | 167 |
| 4.2.1.5 | Στέγες PCM | 168 |
| 4.2.1.6 | PCM σε Δομικά Υλικά..... | 172 |
| 4.2.1.6.1 | Γυψοσανίδες PCMs | 172 |
| 4.2.1.6.2 | Τσιμεντοκονίαμα και Τσιμέντο Ενισχυμένο με PCM | 181 |
| 4.2.1.6.3 | Τούβλο με PCM | 183 |
| 4.2.1.7 | PCMs Ενσωματωμένα σε Μείγμα Ξύλου- Ελαφρού Σκυροδέματος | 184 |
| 4.2.2 | Ενεργητικά Συστήματα Αποθήκευσης | 185 |
| 4.2.2.1 | Ενδοδαπέδιο Ηλεκτρικό Σύστημα Θέρμανσης με PCMs | 185 |
| 4.2.2.2 | Θερμικά Αποτελεσματικά Παράθυρα..... | 187 |
| 4.2.2.3 | Οροφές PCMs για Ενεργή Θέρμανση και Ψύξη | 189 |
| 4.2.2.4 | Free-Cooling | 190 |

| | | |
|------------|-----------------------------|------------|
| 4.3 | ΆΛΛΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ..... | 192 |
|------------|-----------------------------|------------|

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.3.1 | Ηλιακοί Φούρνοι PCMs | 192 |
| 4.3.2 | Ηλιακό Θερμοκήπιο | 195 |
| 4.3.3 | Συστήματα Θέρμανσης με Αέρα | 198 |
| 4.3.4 | Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης Νερού..... | 200 |
| 4.3.5 | PCMs για Θέρμανση και Ψύξη Χώρων..... | 205 |
| 4.3.6 | Φωτοβολταϊκά Συστήματα PCMs..... | 206 |
| 4.3.7 | Εφαρμογή PCMs για Διατήρηση της Θερμοκρασίας Ευαίσθητων Προϊόντων και Υλικών | 207 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 4.4 | ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ PCMS..... | 211 |
| 4.4.1 | Παράγοντες που Επηρεάζουν την Εσωτερική Θερμοκρασία του Αέρα..... | 211 |
| 4.4.2 | Παράμετροι Αξιολόγησης..... | 213 |
| 4.4.3 | Μεθοδολογία Σχεδιασμού Τοίχου PCM..... | 216 |

| | |
|---|------------|
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 4^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ..... | 217 |
|---|------------|

ΜΕΡΟΣ 2^Ο –ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

| | |
|---|------------|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMS)..... | 221 |
|---|------------|

| | |
|---|------------|
| 5.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΡΟΣΠΙΠΤΟΥΣΑΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ | 221 |
|---|------------|

| | |
|---|------------|
| 5.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΜΟΝΩΜΕΝΟΥ ΤΟΙΧΟΥ | 241 |
|---|------------|

| | | |
|---------|---|-----|
| 5.2.1 | Περιγραφή Εξεταζόμενης Μελέτης..... | 241 |
| 5.2.2 | Παραμετρική μελέτη ως προς το πάχος του PCM το 24ωρο | 246 |
| 5.2.2.1 | Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού | 247 |
| 5.2.2.2 | Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα ανατολικού προσανατολισμού..... | 266 |
| 5.2.2.3 | Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα δυτικού προσανατολισμού | 284 |
| 5.2.3 | Παραμετρική μελέτη ως προς το πάχος PCM το 48ωρο | 302 |
| 5.2.3.1 | Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού | 303 |
| 5.2.4 | Παραμετρική μελέτη ως προς το PCM το 24ωρο | 313 |
| 5.2.4.1 | Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού | 314 |
| 5.2.4.2 | Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα ανατολικού προσανατολισμού..... | 331 |
| 5.2.4.3 | Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα δυτικού προσανατολισμού | 349 |
| 5.2.5 | Παραμετρική μελέτη ως προς το PCM το 48ωρο | 366 |
| 5.2.5.1 | Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα νότιου προσανατολισμού | 367 |

| | |
|--|------------|
| 5.3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΓΙΑ ΣΥΝΑΛΛΑΓΗ ΜΕ 2 ΔΩΜΑΤΙΑ (1 ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑΣ) | 376 |
|--|------------|

| | | |
|---------|---|-----|
| 5.3.1 | Περιγραφή εξεταζόμενης μελέτης..... | 376 |
| 5.3.2 | Παραμετρική μελέτη ως προς το πάχος του στρώματος PCM | 381 |
| 5.3.2.1 | Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού | 382 |
| 5.3.2.2 | Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα ανατολικού προσανατολισμού..... | 392 |
| 5.3.2.3 | Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα δυτικού προσανατολισμού | 401 |
| 5.3.3 | Παραμετρική μελέτη ως προς το PCM..... | 411 |
| 5.3.3.1 | Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού | 412 |
| 5.3.3.2 | Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα ανατολικού προσανατολισμού..... | 420 |
| 4.3.3.3 | Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα δυτικού προσανατολισμού | 428 |

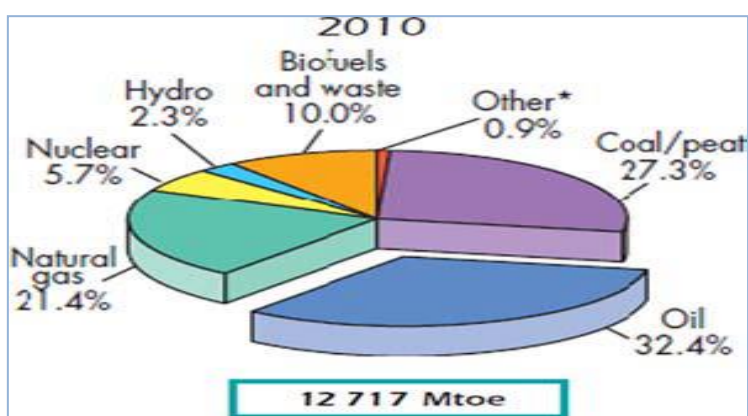
| | | |
|------------|---|------------|
| 5.4 | ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΓΙΑ ΣΥΝΑΛΛΑΓΗ ΜΕ 2 ΔΩΜΑΤΙΑ (2 | |
| | ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ) | 437 |
| 5.4.1 | Περιγραφή εξεταζόμενης μελέτης | 437 |
| 5.4.2 | Παραμετρική μελέτη ως προς το πάχος του στρώματος PCM | 442 |
| 5.4.3 | Παραμετρική μελέτη ως προς το PCM..... | 453 |
| | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 5^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ | 462 |

ΜΕΡΟΣ 1^ο – ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο -ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ενεργειακό Ζήτημα

Η ενέργεια και το περιβάλλον είναι δυο μεγάλα ζητήματα που απασχολούν τον άνθρωπο στις μέρες μας. Η ανάπτυξη στην βιομηχανία και η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού τους τελευταίους αιώνες έχουν οδηγήσει σε μια τεράστια αύξηση της ζήτησης της ενέργειας με ετήσια αύξηση του ποσοστού περίπου 2,3%. [1] Σύμφωνα με στατιστικές του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας, τα ορυκτά καύσιμα κυριαρχούν στην παγκόσμια αγορά ενέργειας με μερίδιο της τάξης του 81% και προβλέπεται ότι θα συνεχίσουν να κυριαρχούν στην πρωτογενή ενέργεια του κόσμου έως το 2030. [2]



Σχήμα 1.1.1: Παγκόσμια συνολική πρωτογενής ενεργειακή προμήθεια από καύσιμα το 2010, [2]

Παρατηρούμε ότι οι ορυκτές πηγές ενέργειας αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινής ζωής σε παγκόσμιο επίπεδο. Ωστόσο, το γεγονός ότι οι συμβατικές πηγές ενέργειας από ορυκτά καύσιμα εξαντλούνται, η χρήση τους που σχετίζεται με την εκπομπή βλαβερών ουσιών και η αυξανόμενη τιμή τους συμβάλλουν στην ανησυχία των ανθρώπων για τα περιβαλλοντικά ζητήματα και την εξέλιξη των ενεργειακών πόρων.[2]

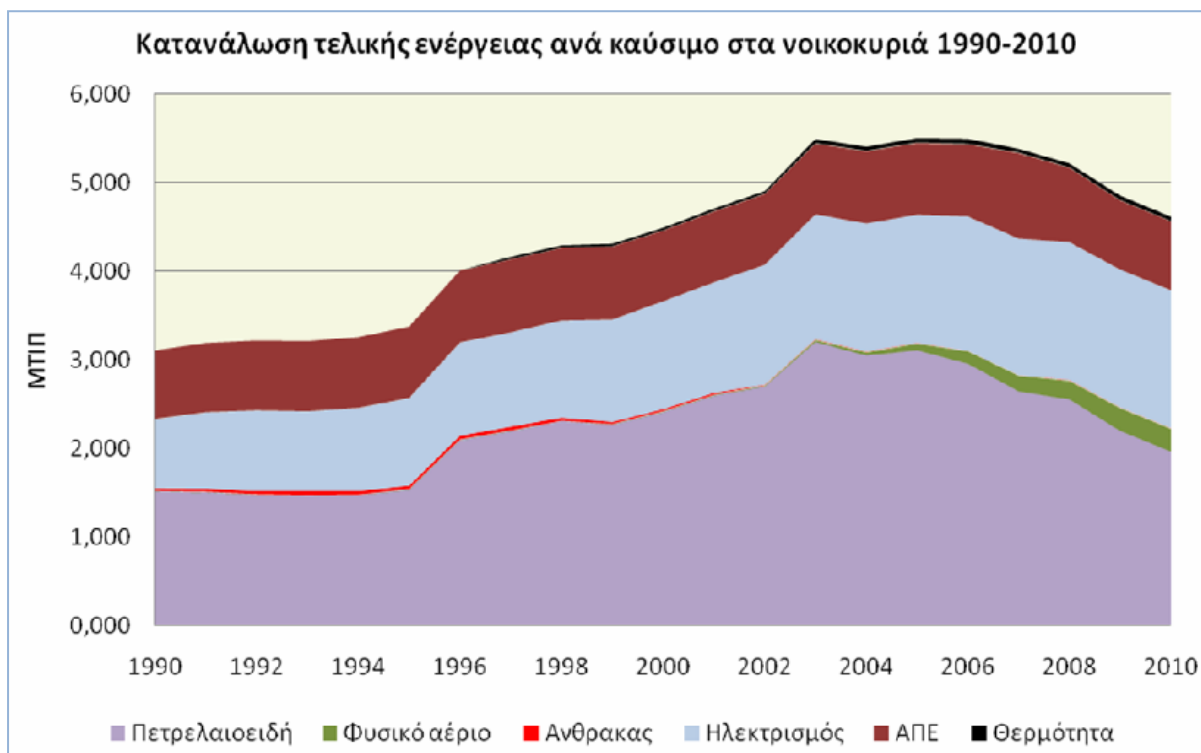
Η υπερθέρμανση του πλανήτη αλλά και η υποβάθμιση του περιβάλλοντος σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο δεν αφήνουν κανένα περιθώριο εφησυχασμού. Σύμφωνα με την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC), οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου έχουν ήδη ανεβάσει τη θερμοκρασία κατά 0,6 βαθμούς παγκοσμίως. Εάν δεν ληφθούν μέτρα, θα σημειωθεί αύξηση κατά 1,4 έως 5,8 βαθμούς έως τα τέλη του αιώνα. Όλες οι περιοχές του κόσμου, συμπεριλαμβανομένης της Ε.Ε., θα αντιμετωπίσουν σοβαρές συνέπειες, τόσο για τις οικονομίες τους όσο και για τα οικοσυστήματά τους.[3]

1.1.1 Κατανάλωση Ενέργειας στα Κτίρια

Όσον αφορά τον κτιριακό τομέα, είναι ο κυρίαρχος καταναλωτής ενέργειας στον κόσμο, κατέχοντας το 30% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας και συμβάλλει σημαντικά στην αύξηση των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, τα τελευταία χρόνια οι ενεργειακές απαιτήσεις των κτιρίων έχουν αυξηθεί με ταχείς ρυθμούς λόγω του πληθυσμού και της βελτίωσης του βιοτικού επιπέδου των ανθρώπων.[2]

Στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ο τομέας των κτιρίων απορροφά, κατά μέση τιμή, το 40% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Η ανά χώρα κύμανση ποικίλει από 20% για την Πορτογαλία, έως και 45% για την Ιρλανδία, ενώ στην Ελλάδα κυμαίνεται περίπου στο 30%.[4]

Από το 1990, η κατανάλωση τελικής ενέργειας στα νοικοκυριά έχει αυξηθεί κατά 48%, από 3,1 ΜΤΙΠ το 1990 σε 4,61 ΜΤΙΠ το 2010. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε και από το διάγραμμα που ακολουθεί, αυτή η αύξηση προέρχεται κυρίως από την αύξηση της κατανάλωσης πετρελαίου κατά 30% (1,5 ΜΤΙΠ το 1990 σε 2,0 ΜΤΙΠ το 2010) και από την σημαντική αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας, η οποία σχεδόν διπλασιάστηκε από το 1990 (0,78 ΜΤΙΠ το 1990 σε 1,6 ΜΤΙΠ το 2010) [5]

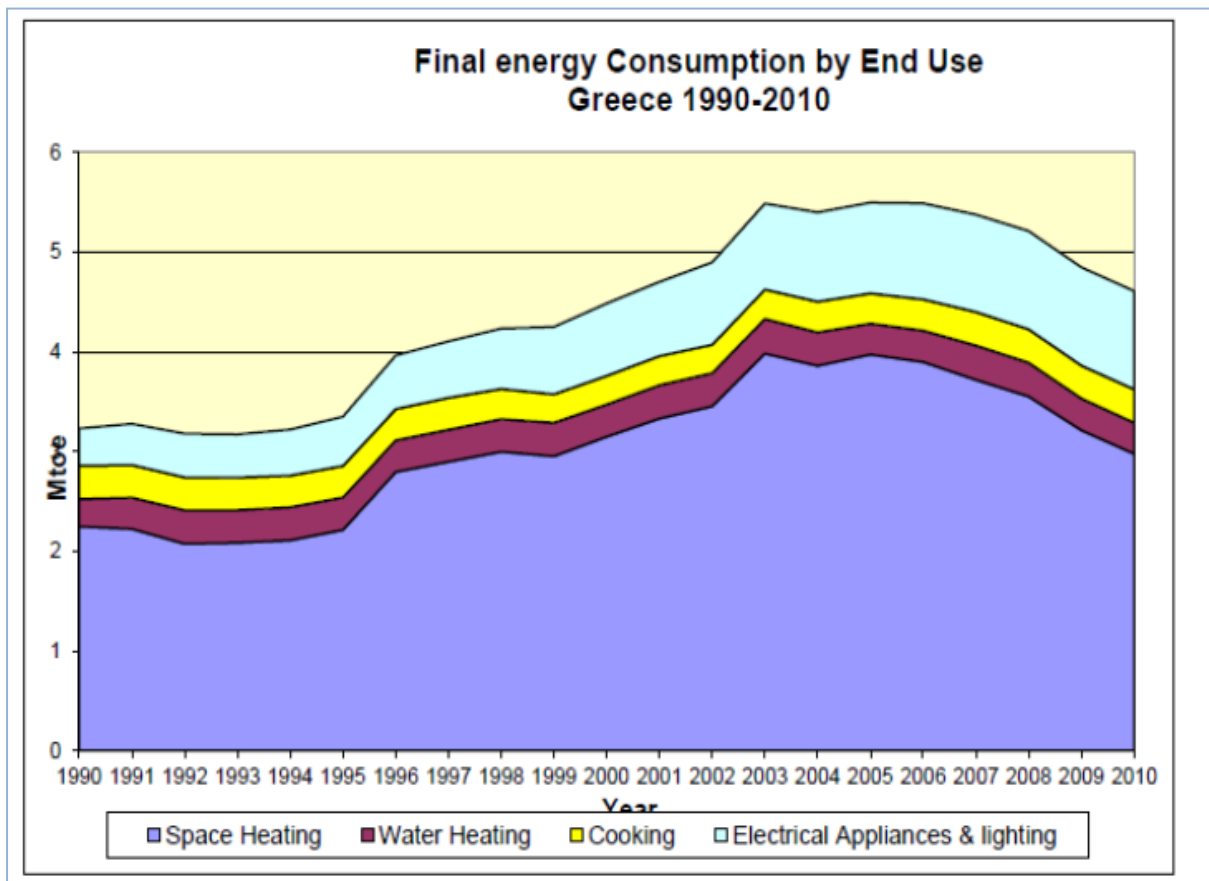


Σχήμα 1.1.1.1: Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο στα νοικοκυριά στην Ελλάδα από το 1990-2010, [5]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο -ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην Ελλάδα οι ανάγκες για θέρμανση των κατοικιών ανέρχονται περίπου στο 70% της συνολικής ενεργειακής τους κατανάλωσης. Η κατανάλωση ενέργειας για τις οικιακές συσκευές, το φωτισμό και τον κλιματισμό ανέρχεται στο 18% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου. Οι κατοικίες με κεντρικό σύστημα θέρμανσης, το οποίο χρησιμοποιεί ως καύσιμο αποκλειστικά το πετρέλαιο αντιστοιχούν στο 35,5% του συνόλου. Το υπόλοιπο 64% είναι αυτόνομα θερμαινόμενες κατοικίες που χρησιμοποιούν σε ποσοστό 25% πετρέλαιο, 12% ηλεκτρισμό και 18% καυσόξυλα.[6]

Είναι ολοφάνερο, ότι το μεγαλύτερο μέρος της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια καταλαμβάνει η θέρμανση των χώρων. Για παράδειγμα, το 2010 τα νοικοκυριά κατανάλωσαν για θέρμανση 3ΜΤΙ σε σχέση με τα 2.2 ΜΤΙ το 1992, δηλαδή μια συνολική αύξηση της τάξης του 32%.[5]



Σχήμα 1.1.1.2: Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τελική χρήση στα νοικοκυριά (1990-2010), [5]

1.1.2 Κτίριο και Περιβάλλον [4, 7, 8]

Πρωταρχικός ρόλος των κτιρίων είναι να προστατεύει τον άνθρωπο από τα ακραία κλιματολογικά φαινόμενα. Αν και τα παραδοσιακά κτίρια κατασκευάστηκαν με εκτιμήσεις των κλιματικών συνθηκών ώστε να διατηρείται το εσωτερικό των κτιρίων δροσερό το καλοκαίρι και ζεστό το χειμώνα αυτές οι πτυχές ξεχάστηκαν στην σύγχρονη αρχιτεκτονική. Η σύγχρονη αρχιτεκτονική των κτιρίων βασίζεται ουσιαστικά σε μηχανικές μεθόδους θέρμανσης και ψύξης περιλαμβάνοντας μεγάλη ποσότητα ενεργειακής δαπάνης.

Δεδομένου ότι ο κάτοικος των αστικών κυρίως κέντρων βιώνει το 80% της ζωής του στο εσωτερικό των κτιρίων, είναι προφανής η επίδραση της ποιότητας του εσωτερικού κλίματος τόσο στην υγεία και την άνεση όσο και την παραγωγικότητά του.

Η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια, είτε σε μορφή θερμικής (κυρίως πετρέλαιο) είτε σε μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, έχει ως αποτέλεσμα, εκτός της σημαντικής οικονομικής επιβάρυνσης λόγω του υψηλού κόστους της ενέργειας, τη μεγάλη επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με ρύπους, κυρίως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), που ευθύνεται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Η κατά τα τελευταία χρόνια δραματική υποβάθμιση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος καθώς και χρήση υλικών και συσκευών μη φιλικών προς το περιβάλλον έχουν συντελέσει στην εμφάνιση σημαντικών, ποιοτικά και ποσοτικά, περιβαλλοντικών και ενεργειακών προβλημάτων στα κτίρια.

Ειδικότερα, η αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος στα μεγάλα αστικά κέντρα έχει συντελέσει στη δραματική αύξηση της απαιτούμενης ενέργειας για τον δροσισμό των κτιρίων κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η απαιτούμενη ενέργεια για το δροσισμό ενός κτιρίου στο κέντρο της Αθήνας είναι σχεδόν διπλάσια από την απαιτούμενη στην περιφέρεια της πόλης.

Παράλληλα η αύξηση των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και οι υψηλές εκπομπές μέρους των σύγχρονων δομικών υλικών συντελούν στην αύξηση της συγκέντρωσης ρυπαντών στο εσωτερικό των κτιρίων, με ιδιαίτερα σημαντικές συνέπειες τόσο στην υγεία όσο και την παραγωγικότητα των ενοίκων.

Τα παραπάνω καθορίζουν το πλαίσιο εξέτασης και ανάλυσης του όλου ενεργειακού και περιβαλλοντικού προβλήματος των κτιρίων. Η ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων δεν θα πρέπει να αποσυνδέεται από τα προβλήματα περιβάλλοντος και θα πρέπει να μελετάται σαν μια ενότητα μαζί με το συγκεκριμένο εξωτερικό μικροκλίμα στον χώρο του κτιρίου, καθώς και το διαμορφούμενο εσωτερικό περιβάλλον.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο -ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Συνεπώς, η βελτίωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων δεν θα μείωνε μόνο την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, αλλά θα είχε και ένα σημαντικό αντίκτυπο στις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Με την αυξανόμενη ενεργειακή κρίση, παρατηρήθηκε ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον όσον αφορά την αρχιτεκτονική των κτιρίων, η οποία οδηγεί σε θερμική άνεση των κτιρίων με ελάχιστη ή με μηδενική δαπάνη συμβατικής ενέργειας

Στο ξεκίνημα του 21ου αιώνα ο στόχος που τίθεται είναι αφενός η μείωση του θερμικού και ψυκτικού φορτίου των κτιρίων και αφετέρου η ελαχιστοποίηση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων, τουλάχιστον όσον αφορά τη θέρμανση και την ψύξη, με την εκμετάλλευση των ανεξάντλητων πηγών ενέργειας, τον ήλιο και τον αέρα. Επίσης, ο σχεδιασμός, η κατασκευή και ο τρόπος λειτουργίας των κτιρίων πρέπει να βασίζονται στις αρχές της ορθολογικής χρήσης και διαχείρισης των φυσικών πόρων για να βοηθήσουν στη διατήρηση του περιβάλλοντος. Συγχρόνως να συνεισφέρουν στην υγιεινή και ασφαλή διαβίωση των ενοίκων χωρίς να προκαλούνται επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η παραπάνω αντίληψη δεν πρέπει βεβαίως να είναι εις βάρος της θερμικής και οπτικής άνεσης των χρηστών των κτιρίων, στοιχεία τα οποία εξασφαλίζονται από τον ενεργειακό σχεδιασμό των κτιρίων και των υπαίθριων χώρων.

1.2 Ηλιακή Ενέργεια

Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή η φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή η ενέργεια ακτινοβολίας.[9]

Η γη δέχεται ετήσια ηλιακή ενέργεια με ακτινοβολία της τάξης του $173 \times 10^{15} \text{W}$. Σε ένα 24ωρο κάθε τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας της γης δέχεται κατά μέσο όρο 4-6 KWh ηλιακής ενέργειας με ακτινοβολία 800-2500 KWh/m³ ετησίως. Η ποσότητα αυτή είναι περίπου η διπλάσια από αυτή που θα μπορέσει ποτέ να ληφθεί από το σύνολο των μη ανανεώσιμων πηγών της Γης (πχ. Φυσικό αέριο, άνθρακα κτλ) και περισσότερη από αυτή που καταναλώνει σήμερα ο άνθρωπος σε ένα χρόνο. [10]

Όσον αφορά την Ελλάδα θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει ηλιακή ενέργεια για την κάλυψη μέχρι και του 1/3 των αναγκών της, αφού παράγει συνολικά 150.000 T.I.P. (τόνους ισοδύναμου πετρελαίου).[8]

1.2.1 Μέθοδοι Αξιοποίησης Ηλιακής Ενέργειας

Οι μέθοδοι αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας διακρίνονται σε παθητικές και ενεργητικές.

- ο η παθητική αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας αφορά στο σχεδιασμό του κτιρίου και την επιλογή των δομικών υλικών χωρίς τη χρήση υψηλής τεχνολογίας και μηχανικών μέσων, λαμβάνοντας κυρίως υπόψη τις ειδικές κλιματικές συνθήκες και την εκμετάλλευση των ιδιοτήτων των υλικών να συλλέγουν, να αποθηκεύουν και να αντανακλούν ακτινοβολία. Αφορά κυρίως στην τοποθέτηση του κτιρίου, στον προσανατολισμό, στη μορφή του, στη διάταξη των ανοιγμάτων και στην εφαρμογή κατάλληλων υλικών σε ενδεικνυόμενες επιφάνειες του κτιρίου
- ο η ενεργητική αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας αφορά στην εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας με τη χρησιμοποίηση μέσων απλών έως και υψηλής τεχνολογίας (συλλεκτών, θερμοσυσσωρευτών, αντλιών, κυκλοφορητών, ανεμιστήρων κτλ., καθώς και των αντίστοιχων συστημάτων μεταφοράς της θερμότητας)

1.2.1.1 Ενεργητικές Μέθοδοι [12, 13]

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα αποτελούν μηχανικές κατασκευές ικανές να συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, να τη μετατρέπουν σε αξιοποιήσιμη (θερμική, ψυκτική ή ηλεκτρική), να αποθηκεύουν τμήμα αυτής και να τη διανέμουν προς χρήση.

Τα πλέον διαδεδομένα ενεργητικά ηλιακά συστήματα είναι οι Ηλιακοί Συλλέκτες για παραγωγή θερμού νερού χρήσης και τα Φωτοβολταϊκά πλαίσια (είδος ηλιακού συλλέκτη) για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μικρής ισχύος. Επίσης, στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται οι Ηλιακοί Συλλέκτες Κενού, ο συνδυασμός τους με ψύκτες Προσρόφησης (Absorption Chillers) για κάλυψη ψυκτικών αναγκών και τα Ηλιακά Υψηλής Ενθαλπίας για άμεση παραγωγή Ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση ατμοστροβίλων ή Οργανικών Κύκλων.

Η χρήση των συστημάτων αυτών στις ελληνικές κλιματικές συνθήκες για τη θέρμανση χώρων, θεωρείται τεχνικά αλλά και οικονομικά αποδοτική, αν συνδυαστεί με την κατάλληλη μελέτη/κατασκευή του κτιρίου (καλή μόνωση, εκμετάλλευση των παθητικών ηλιακών ωφελειών, κ.λπ.) και τη συνεργασία του χρήστη. Μπορεί να εξοικονομήσει συμβατική ενέργεια σε νέα ή παλιά κτίρια, στα οποία έχουν ληφθεί όλα τα εφικτά μέτρα για την ελαχιστοποίηση των απωλειών και τη μεγιστοποίηση της οικονομικότητας της εγκατάστασης. Είναι πάντως, πολύ σημαντικός ο σωστός σχεδιασμός του ηλιακού συστήματος και η προσεκτική εξέταση της οικονομικότητας της εγκατάστασης για την αποφυγή λανθασμένων επιλογών και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης.

Πέρα από την οικιακή χρήση, η οποία είναι και η πιο διαδεδομένη σήμερα, ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε απαιτείται θερμότητα χαμηλής θερμοκρασιακής στάθμης. Έτσι, η χρήση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ψύξης, για τον κλιματισμό χώρων και άλλες εφαρμογές, εμφανίζεται ως μία από τις πολλά υποσχόμενες προοπτικές, λόγω της αυξημένης ηλιακής ακτινοβολίας ακριβώς την εποχή που απαιτούνται τα ψυκτικά φορτία. Υπάρχουν ήδη μερικές επιτυχημένες εφαρμογές τέτοιων συστημάτων στη χώρα μας και αναμένεται να έχουν ταχεία ανάπτυξη.

Μια άλλη εφαρμογή που έχει εξαπλωθεί στην Ευρωπαϊκή αγορά είναι ο συνδυασμός παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρων με ενεργητικά ηλιακά συστήματα. Η χρήση των συστημάτων αυτών στις ελληνικές κλιματικές συνθήκες για τη θέρμανση χώρων, θεωρείται τεχνικά αλλά και οικονομικά αποδοτική, αν συνδυαστεί με την κατάλληλη μελέτη/κατασκευή του κτιρίου (καλή μόνωση, εκμετάλλευση των παθητικών ηλιακών ωφελειών, κ.λπ.) και τη συνεργασία του χρήστη. Μπορεί να εξοικονομήσει συμβατική ενέργεια σε νέα ή παλιά κτίρια, στα οποία έχουν ληφθεί όλα τα εφικτά μέτρα για την

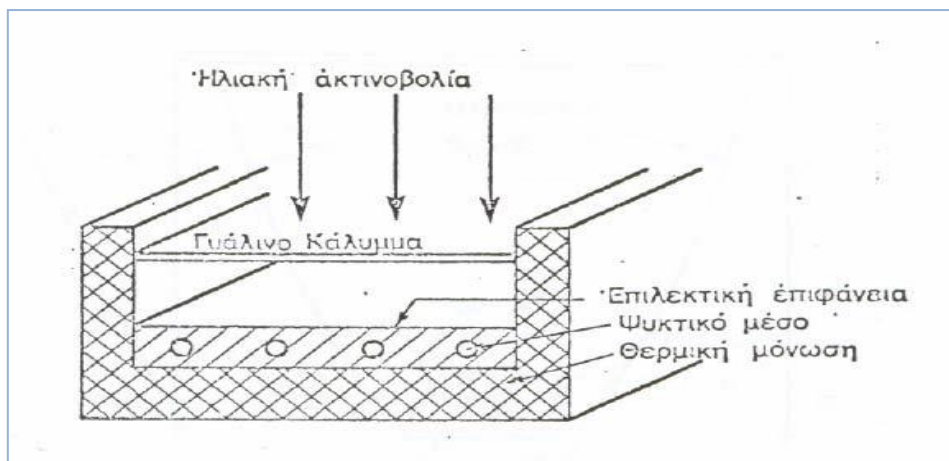
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

ελαχιστοποίηση των απωλειών και τη μεγιστοποίηση της οικονομικότητας της εγκατάστασης. Είναι πάντως, πολύ σημαντικός ο σωστός σχεδιασμός του ηλιακού συστήματος και η προσεκτική εξέταση της οικονομικότητας της εγκατάστασης για την αποφυγή λανθασμένων επιλογών και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης.

Το βασικό δομικό στοιχείο των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων είναι οι συλλέκτες οι οποίοι διακρίνονται σε επίπεδους, συγκεντρωτικούς και σε σωλήνες κενού.

Επίπεδοι Συλλέκτες

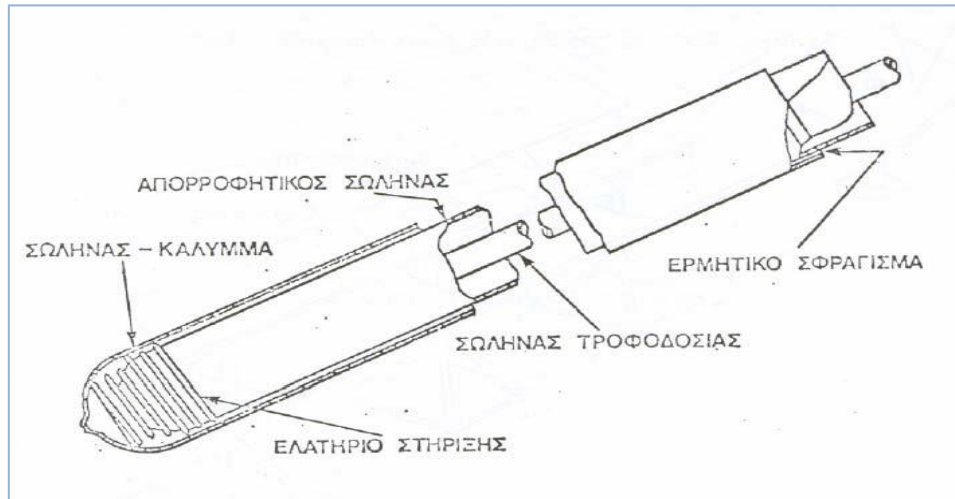
Χωρίζονται ανάλογα με το εργαζόμενο μέσο σε συλλέκτες αέρα και υγρού. Η συντριπτική πλειοψηφία των σήμερα διαθέσιμων συλλεκτών είναι υγρού, ενώ οι συλλέκτες αέρα είναι ακόμη στο στάδιο ανάπτυξης. Ένας τυπικός συλλέκτης υγρού φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Παραλλαγές των συλλεκτών προκύπτουν ανάλογα με τον αριθμό των διαφανών καλυμμάτων (0,1,2) και το είδος της απορροφητικής επιφάνειας (απλή, με ειδική βάφει, επικάλυψη με επιλεκτική ουσία)



Σχήμα 1.2.1.1.1: Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης, [12]

Σωλήνες Κενού

Αποτελούνται από κυλινδρικό μαύρο γυαλί, τοποθετημένο στο εσωτερικό άλλου προστατευτικού γυαλιού. Μεταξύ τους δημιουργείται κενό για την εξάλειψη των απωλειών αγωγιμότητας και συναγωγής, ενώ με κατάλληλο εξωτερικό κάλυμμα περιορίζονται οι απώλειες ακτινοβολίας. Οι συλλέκτες αυτοί αξιοποιούν την ολική ακτινοβολία.



Σχήμα 1.2.1.1.2: Τομή σωλήνα κενού, [12]

Συγκεντρωτικοί Συλλέκτες

Διακρίνονται σε γραμμικής και σημειακής εστίας και αξιοποιούν μόνο την άμεση ακτινοβολία, γεγονός που τους καθιστά ακατάλληλους για τα βόρεια κλίματα.

Στους συλλέκτες αυτούς η ηλιακή ακτινοβολία συγκεντρώνεται στον δέκτη που έχει κατάλληλο σχήμα και διαστάσεις και τοποθετείται στην εστία. Όσο ισχυρότερη η συγκεντρωτικότητα του συλλέκτη σε τόσο μικρότερη επιφάνεια συγκεντρώνεται δοσμένη ισχύς και άρα απαιτείται δέκτης μικρότερων διαστάσεων. Αυτό συνεπάγεται μικρότερες απώλειες ακτινοβολίας και συναγωγής για ορισμένη θερμοκρασία, άρα καλύτερο βαθμό απόδοσης.

Έτσι άλλωστε μπορεί εύγλωττα να διατυπωθεί το πλεονέκτημα των συγκεντρωτικών συλλεκτών: λειτουργούν με καλό βαθμό απόδοσης παρέχοντας ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας (>300 °C).

Γενικά οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες πρέπει να παρακολουθούν την κίνηση του ήλιου, ώστε ο οπτικός τους άξονας να στοχεύει τον ήλιο.

1.2.1.2 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα [14, 15, 16, 17, 18, 19, 20]

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αποτελούν βασικό στοιχείο του βιοκλιματικού σχεδιασμού, καθώς βελτιώνουν την ενεργειακή απόδοση των κατασκευών.

Η λειτουργία τους στηρίζεται στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου» για την συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας, στην θερμοχωρητικότητα των υλικών για την αποθήκευση της θερμότητας και στους βασικούς νόμους της θερμοδυναμικής για την μεταφορά της θερμότητας από την συλλογή στην αποθήκη και στον χώρο που θα θερμανθεί.

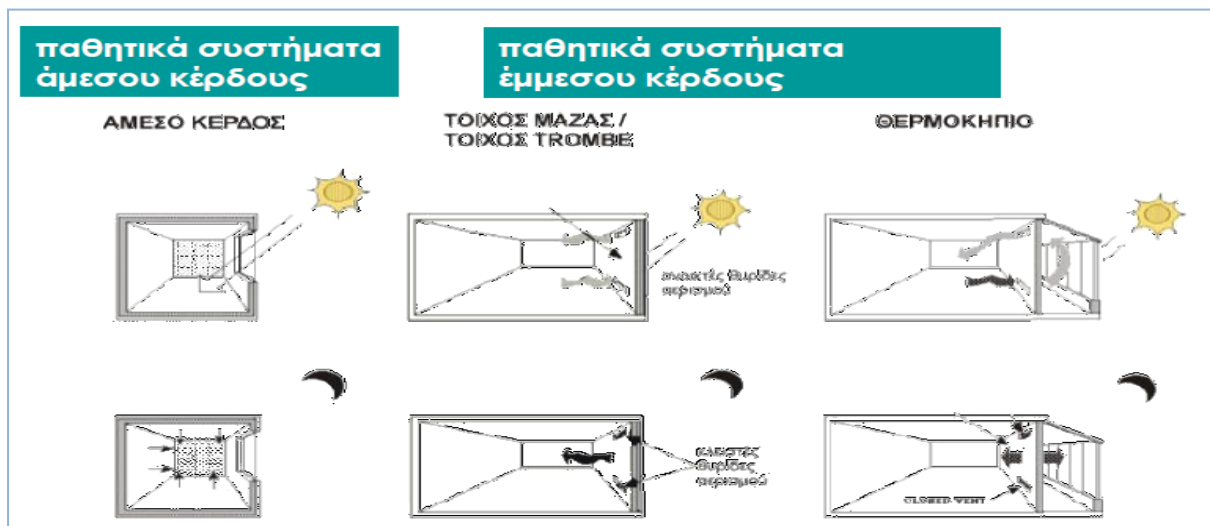
Η λειτουργία των παθητικών ηλιακών συστημάτων θέρμανσης για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας προϋποθέτει ένα σωστά σχεδιασμένο κτίριο σύμφωνα με τις αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού. Ιδιαίτερα η διαμόρφωση του κελύφους πρέπει να είναι τέτοια, που να επιτρέπει την μέγιστη συλλογή ενέργειας, την μέγιστη δυνατότητα αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας και την ελαχιστοποίηση των απωλειών προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Από τις πολλές κατασκευές που έγιναν τα τελευταία χρόνια σε πολλά μέρη του κόσμου και από τις μαρτυρίες των ατόμων που κατοικούν σ' αυτές, αποδεικνύεται ότι η παθητική συλλογή ενέργειας δίνει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα, αναφορικά με τη θερμική άνεση και ιδιαίτερα την ελάττωση της δαπάνης καυσίμων. Το σύστημα αυτό είναι το πλέον οικονομικό για τη θέρμανση όπως και τον δροσισμό των κτιρίων, γιατί δεν απαιτεί μηχανικά μέσα, όπως συλλέκτες, αντλίες, ανεμιστήρες κτλ. Με τη χρησιμοποίηση κατάλληλων υλικών και της σχετικής τεχνολογίας αφήνεται στη φύση να εκτελέσει τα υπόλοιπα.

1.2.1.2.1 Ταξινόμηση Παθητικών Ηλιακών Συστημάτων

Η επικρατέστερη μέθοδος ταξινόμησης στηρίζεται στην συσχέτιση των στοιχείων συλλογής και αποθήκευσης της θερμότητας με τον χώρο που θερμαίνεται. Διακρίνονται τρεις κατηγορίες:

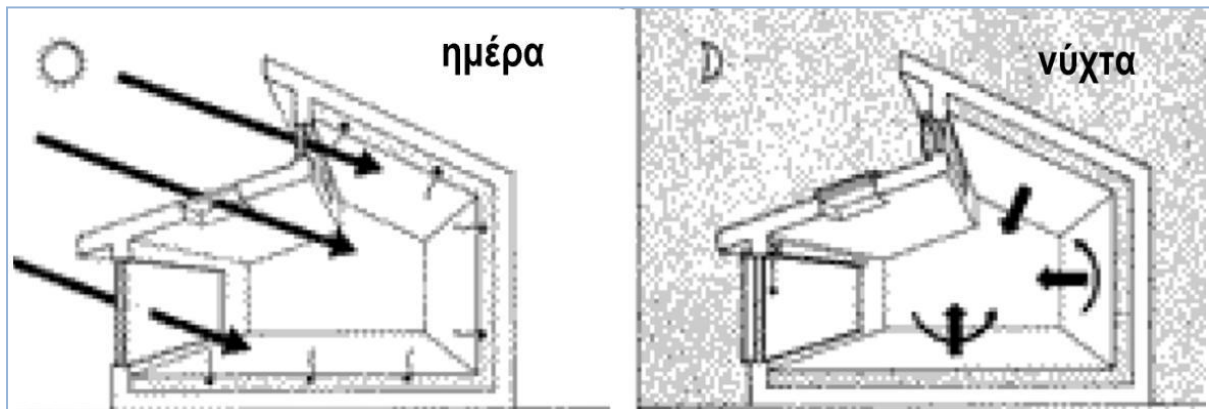
- ο άμεση ηλιακή πρόοδος : η συλλογή, η αποθήκευση και η μετάδοση της θερμότητας γίνεται μέσα στον χώρο, για τον οποίο έχει σχεδιαστεί το σύστημα. Το ηλιακό παθητικό σύστημα αποτελεί μέρος του κελύφους.
- ο έμμεση ηλιακή πρόοδος : η συλλογή και η αποθήκευση γίνεται σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο του κελύφους, ο οποίος εφάπτεται στον χώρο που προβλέπεται να θερμανθεί.
- ο απομονωμένη ηλιακή πρόοδος : το στοιχείο συλλογής βρίσκεται μακριά από την αποθήκη θερμότητας και τον χώρο που πρόκειται να θερμανθεί. Σε αυτήν την περίπτωση δημιουργείται ένα σύστημα-μηχανισμός μεταφοράς της θερμότητας από την συλλογή στην αποθήκευση και έπειτα στον θερμαινόμενο χώρο.



Σχήμα 1.2.1.2.1.1: Βασικοί τύποι παθητικών ηλιακών συστημάτων, [16]

1.2.1.2.1.1 Συστήματα Άμεσου Ηλιακού Κέρδους

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας για τη θέρμανση των κτηρίων είναι η δέσμευσή της μέσα από τα γυάλινα ανοίγματα του κτηρίου. Στην περίπτωση αυτή το κτήριο λειτουργεί ως συλλέκτης, αποθήκη και διανομέας της θερμότητας.



Σχήμα 1.2.1.2.1.1: Αρχή λειτουργίας ηλιακού παθητικού συστήματος άμεσου κέρδους, [17]

Όλα τα ανοίγματα του κτηρίου συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία (άμεση και διάχυτη) που στη συνέχεια μετατρέπεται σε θερμότητα και αποθηκεύεται ως θερμική ενέργεια στα δομικά στοιχεία του χώρου, ιδιαίτερα σε εκείνα που δέχονται άμεσα την ηλιακή ακτινοβολία.

Η θερμότητα που αποθηκεύεται, αποδίδεται με χρονική υστέρηση, αναλόγως των χαρακτηριστικών των δομικών στοιχείων, καθ' όλη τη διάρκεια του 24ωρου.

Είναι σημαντικό, ιδιαίτερα τα δομικά υλικά στο εσωτερικό του κτηρίου που δέχονται άμεση ηλιακή ακτινοβολία, να έχουν ικανή απορροφητικότητα και θερμική μάζα, ώστε αφενός να μεγιστοποιείται η απολαβή των ηλιακών κερδών, αφετέρου να αποθηκεύεται η θερμότητα. Έτσι ομαλοποιούνται οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις στον εσωτερικό χώρο καθώς η θερμότητα από τα αυξημένα ηλιακά κέρδη που έχει αποθηκευτεί απελευθερώνεται σταδιακά στο εσωτερικό του κτηρίου, αποφεύγεται η υπερθέρμανση κατά τις περιόδους με μεγάλη ηλιοφάνεια και η θερμότητα αποδίδεται στο χώρο όταν δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία (απογευματινές και νυχτερινές ώρες).

Στη θερινή περίοδο, με το άνοιγμα των παραθύρων το βράδυ και τη δημιουργία νυχτερινού αερισμού, πραγματοποιείται η θερμική αποφόρτιση των δομικών στοιχείων, ώστε αυτά να είναι διαθέσιμα την επόμενη μέρα για νέα αποθήκευση της πλεονάζουσας θερμότητας.

Η διαφορά ενός κτηρίου σχεδιασμένου να θερμαίνεται με το παθητικό σύστημα του «άμεσου κέρδους» από ένα κτήριο με συμβατικό σχεδιασμό, εντοπίζεται στη θερμική απόδοση των ανοιγμάτων του και στα δομικά στοιχεία που είναι κατασκευασμένα από υλικά με ικανή θερμοχωρητικότητα.

Ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής, το σχεδιασμό του κελύφους του κτηρίου, τον προσανατολισμό, το μέγεθος και τη θέση των ανοιγμάτων, τις θερμοφυσικές ιδιότητες του διαφανούς υλικού καθώς και τη θέση, το μέγεθος και το υλικό της θερμικής αποθήκης, η εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση μπορεί να κυμαίνεται από 30% έως και 100%.

Γενικά, όσο μεγαλύτερα είναι τα ανοίγματα στο νότιο προσανατολισμό και ικανοποιητική σε μέγεθος η επιφάνεια αποθήκευσης, τόσο μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση.

Πλεονεκτήματα ηλιακού παθητικού συστήματος άμεσου κέρδους

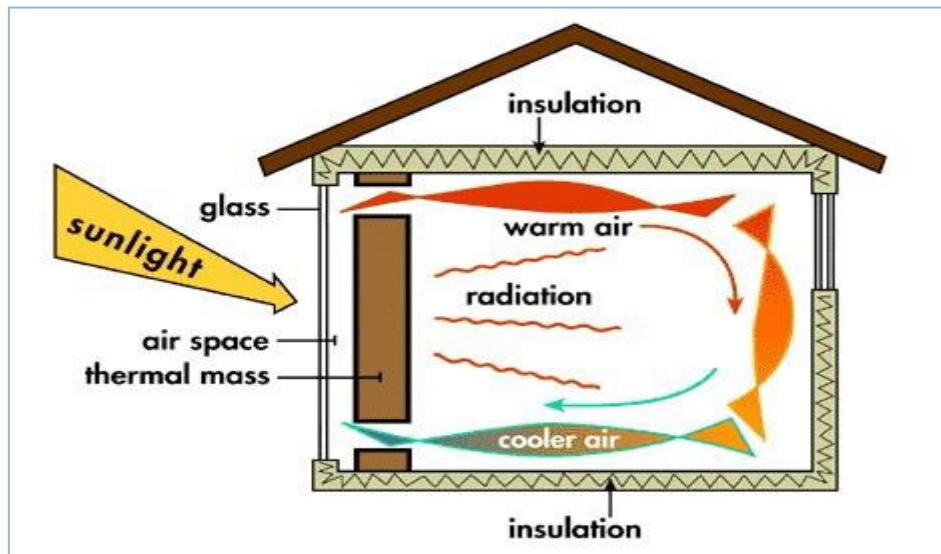
- ο Το χαμηλό κόστος: τα υαλοστάσια είναι ένας σχετικά οικονομικός τρόπος δημιουργίας ηλιακού συλλέκτη
- ο Η ευκολία κατασκευής: Στις περισσότερες περιπτώσεις αρκεί η σωστή χωροθέτηση των ανοιγμάτων. Δεν απαιτείται πρόσθετη μάζα θερμικής αποθήκευσης, για συμμετοχή έως 25% της ηλιακής ενέργειας στη θέρμανση του χώρου. Ο έως σήμερα τρόπος κατασκευής των κτηρίων στην Ελλάδα παρέχει την απαραίτητη θερμική μάζα για τη λειτουργία του συστήματος.
- ο Τα συνδυασμένα οφέλη: Τα γυάλινα ανοίγματα συμβάλλουν σε πολλές ταυτόχρονα λειτουργίες, επιτρέποντας την είσοδο του φυσικού φωτός στο κτήριο και την οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον.

Μειονεκτήματα ηλιακού παθητικού συστήματος άμεσου κέρδους

- ο Ο κίνδυνος θάμβωσης από τα μεγάλα ανοίγματα.
- ο Η είσοδος υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία μπορεί να αλλοιώσει υφάσματα και αντικείμενα.
- ο Οι σχετικά μεγάλες διακυμάνσεις της εσωτερικής θερμοκρασίας που εμφανίζονται εάν δεν υπάρχει επαρκής θερμική μάζα.
- ο Η μείωση της ιδιωτικότητας.
- ο Η μεγάλη επιφάνεια θερμικής μάζας που απαιτείται, όταν προβλέπεται ηλιακή συμμετοχή μεγαλύτερη από 50% (ιδιαίτερα σε ψυχρά κλίματα).
- ο Το κόστος της νυχτερινής μόνωσης που απαιτείται για τη μείωση των θερμικών απωλειών.

1.2.1.2.1.2 Συστήματα Έμμεσου Ηλιακού Κέρδους

Συστήματα έμμεσου κέρδους είναι τα παθητικά ηλιακά συστήματα που συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια και την αποδίδουν με έμμεσο τρόπο στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου, μέσω είτε δομικών στοιχείων είτε ανοιγμάτων διαφόρων ειδών (θυρίδων, αγωγών, κ.ά.). Συνήθως προσαρτώνται σε νότιες όψεις κτιρίων (συνιστάται μέχρι 30° απόκλιση από το Νότο).[19]



Σχήμα 1.2.1.2.1.1: Σύστημα Έμμεσου Κέρδους, [18]

Στα συστήματα έμμεσου κέρδους ανήκουν:

- ο τοίχος θερμικής αποθήκευσης-Τοίχος Trombe Michel
- οι ηλιακοί χώροι - θερμοκήπια

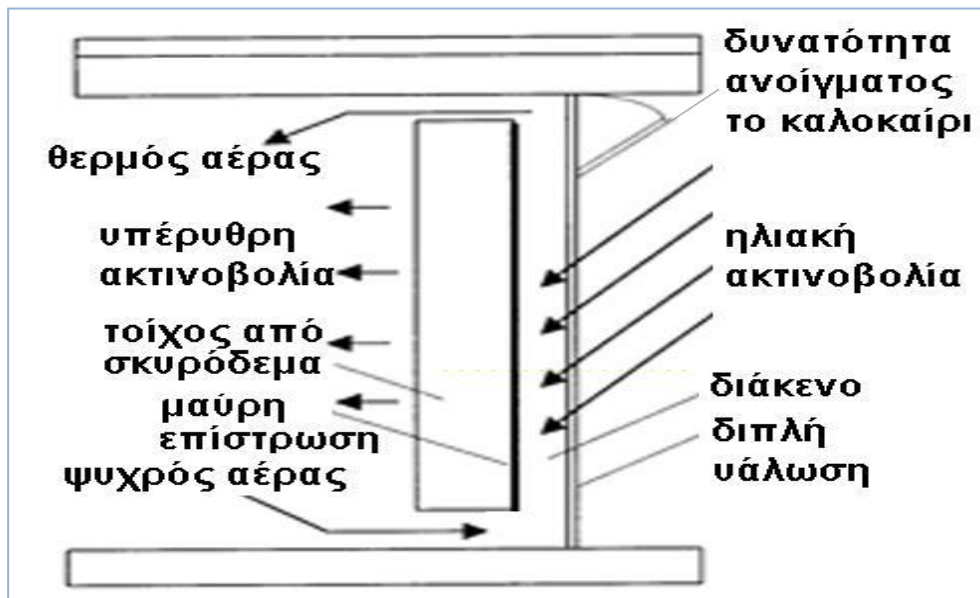
Τοίχος θερμικής αποθήκευσης-Τοίχος Trombe Michel [15]

Πρόκειται για το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα τοίχου θερμικής αποθήκευσης, που μελετήθηκε στην Γαλλία από τον καθηγητή F.Trombe και τον αρχιτέκτονα J.Michel.

Ο τοίχος αυτός εφαρμόστηκε στα πρώτα πειραματικά ηλιακά σπίτια στο Odeillo της Γαλλίας το 1967 και αποτελείται από :

- ο ένα συμπαγή τοίχο νοτίου προσανατολισμού, μεγάλης θερμοχωρητικότητας από σκυρόδεμα πάχους 30-40 cm και βαμμένο σε σκούρο χρώμα, στην εξωτερική πλευρά
- ο μια υάλινη επιφάνεια σε απόσταση 30cm από τον τοίχο
- ο θυρίδες στο πάνω και στο κάτω μέρος του τοίχου που διευκολύνουν την κίνηση του αέρα
- ο μια θυρίδα στο πάνω μέρος του υαλοστασίου

Η λειτουργία του τοίχου βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοσιφωνισμού και πραγματοποιείται με την κυκλοφορία του αέρα στο χώρο ανάμεσα στο γυαλί και τον τοίχο και μέσα από τις θυρίδες λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας.



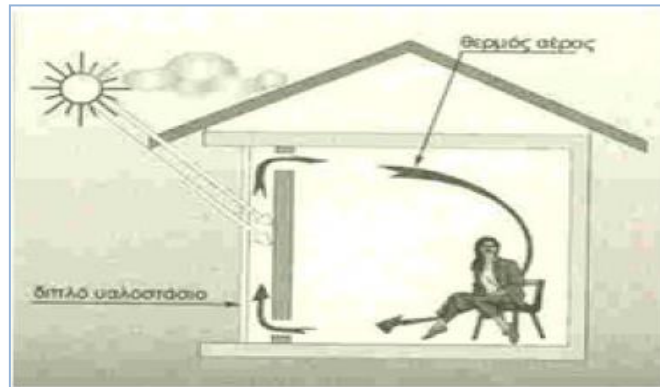
Σχήμα 1.2.1.2.1.2.2: Σχηματική απεικόνιση του συστήματος Trombe – Michel ,[20]

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Λειτουργία τον χειμώνα

- ο ημέρα

Κατά την διάρκεια της ημέρας, όταν ο ήλιος προσπίπτει στο γυαλί, θερμαίνει τον αέρα που βρίσκεται ανάμεσα στο τζάμι και τον τοίχο. Ο θερμός αέρας κινείται προς τα πάνω και μέσα από την θυρίδα μπαίνει στον εσωτερικό χώρο. Ταυτόχρονα ψυχρότερος αέρας από τον εσωτερικό χώρο, μπαίνει από την κάτω θυρίδα και αντικαθιστά το κενό που δημιουργήθηκε.



Σχήμα 1.2.1.2.1.2.3: Λειτουργία τοίχου Trombe – Michel ,
την ημέρα τον χειμώνα , [15]

- ο νύχτα

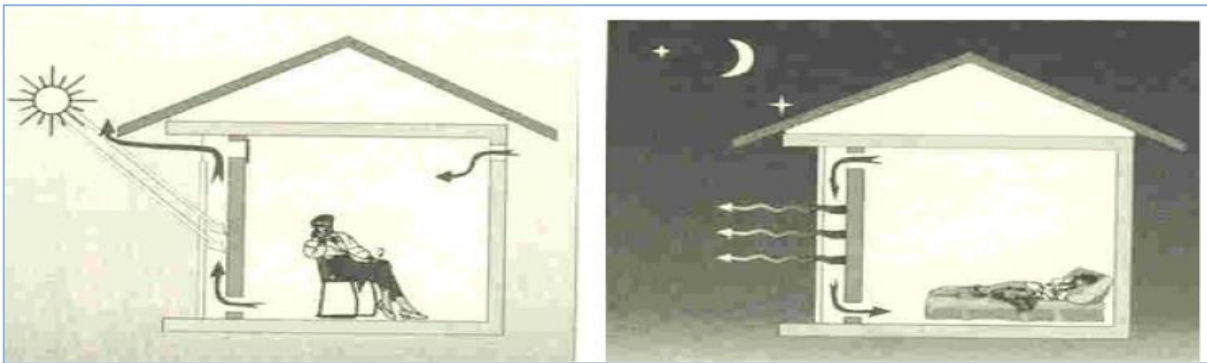
κατά την διάρκεια της νύχτας, η λειτουργία αντιστρέφεται. Οι δύο θυρίδες κλείνουν, πάνω και κάτω και η θέρμανση του χώρου επιτυγχάνεται με την ακτινοβολία της αποθηκευμένης θερμότητας στον τοίχο.



Σχήμα 1.2.1.2.1.2.4: Λειτουργία τοίχου Trombe – Michel ,
την νύχτα τον χειμώνα, [15]

Λειτουργία το καλοκαίρι

Το καλοκαίρι η λειτουργία του τοίχου αντιστρέφεται. Η επάνω θυρίδα κλείνει ενώ ταυτόχρονα ανοίγει ένα τμήμα του υαλοστασίου στο πάνω μέρος (φεγγίτης) έτσι ώστε να απομακρύνεται ο θερμός αέρας προς τα έξω με το φαινόμενο της «καμινάδας».



Σχήμα 1.2.1.2.1.2.5: Λειτουργία τοίχου Trombe – Michel ,το καλοκαίρι ημέρα και νύχτα, [15]

Η απόσταση μεταξύ των επάνω και κάτω θυρίδων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 2.0m και η συνολική επιφάνεια των θυρίδων να μην υπολείπεται του 2% της συνολικής επιφάνειας του τοίχου.

Το πάχος του τοίχου, ιδίως αυτού που λειτουργεί χωρίς θυρίδες, είναι καθοριστικό. Το βέλτιστο πάχος ενός τοίχου με υλικά τοιχοποιίας αυξάνεται καθώς αυξάνεται και ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας των υλικών. Η χρησιμοποίηση των θυρίδων γίνεται απαραίτητη όσο αυξάνει το πάχος του τοίχου, γιατί τότε η κυκλοφορία του θερμού αέρα παίζει μεγαλύτερο ρόλο στη γρήγορη θέρμανση του εσωτερικού χώρου, παρά η μετάδοση θερμότητας με αγωγιμότητα από την εξωτερική στην εσωτερική επιφάνεια του τοίχου.

Το πάχος του τοίχου επηρεάζει και τη διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα στο θερμαινόμενο χώρο. Γενικά, όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος του τοίχου τόσο μεγαλύτερη είναι η χρονική υστέρηση στη μετάδοση της θερμότητας και μικρότερες οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας της εσωτερικής παρειάς του τοίχου και κατά συνέπεια και του αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Σε σχέση με τις θερμικές απώλειες που εμφανίζονται, η χρησιμοποίηση διπλού υαλοπίνακα κρίνεται ικανοποιητική. Η νυχτερινή κινητή μόνωση είναι απαραίτητη στις ψυχρότερες περιοχές. Επίσης για να βελτιωθεί η απόδοση του συστήματος, ο τοίχος πρέπει να μονωθεί από όλα τα δομικά στοιχεία με τα οποία εφάπτεται, για να περιοριστούν οι θερμογέφυρες.

Πλεονεκτήματα τοίχου Trombe Michel

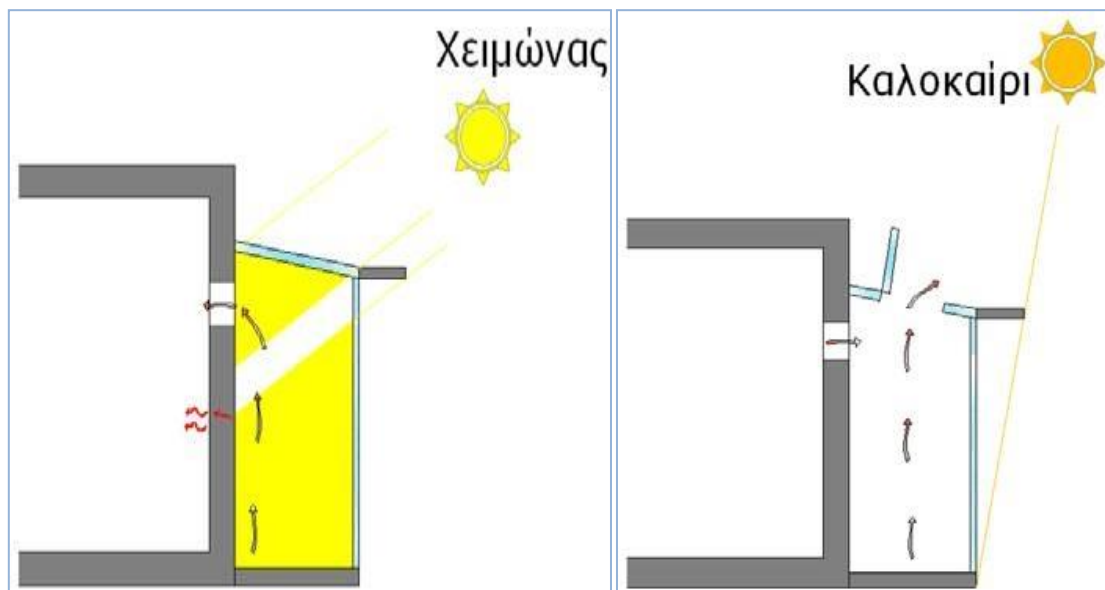
- απλός ο τρόπος κατασκευής
- χαμηλό το κόστος του
- σημαντική η ενεργειακή του απόδοση
- αποδίδει άμεσο ηλιακό κέρδος στον εσωτερικό χώρο, ιδιαίτερα κατά τις πρωινές ώρες, που παρατηρούνται και οι χαμηλότερες θερμοκρασίες
- Θάμβωση και κίνδυνος αλλοίωσης υφασμάτων από υπεριώδη ακτινοβολία δεν υπάρχει.
- Οι διακυμάνσεις της εσωτερικής θερμοκρασίας είναι σχετικά μικρές (μικρότερες από ό,τι στο σύστημα άμεσου κέρδους).
- Η μεγάλη χρονική καθυστέρηση για τη μετάδοση της θερμότητας, που έχει σαν αποτέλεσμα η θερμότητα να αποδίδεται κατά τις νυχτερινές ώρες, όταν είναι περισσότερο απαραίτητη.

Μειονεκτήματα τοίχου Trombe Michel

- Μπορεί να δημιουργηθούν συνθήκες υπερθέρμανσης στον εσωτερικό χώρο, ιδίως όταν η επιφάνεια του είναι πολύ μεγάλη
- Η μείωση των νότιων ανοιγμάτων και η δημιουργία κλειστής νότιας όψης.
- Το κόστος της νυχτερινής μόνωσης, εάν απαιτείται.
- Η καθημερινή λειτουργία των θυρίδων, όταν πρόκειται για τοίχο Trombe.
- Η απαίτηση καθαρισμού του υαλοστασίου.

Προσαρτημένο Θερμοκήπιο

Ο ηλιακός χώρος ή θερμοκήπιο είναι ο συνδυασμός παθητικού συστήματος άμεσου κέρδους και τοίχου θερμικής αποθήκευσης. Το κτήριο, δηλαδή, αποτελείται από δύο θερμικές ζώνες: τον ηλιακό χώρο που προσαρτάται στο κτήριο, όπου γίνεται συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας, και τον έμμεσα θερμαινόμενο από τον ηλιακό χώρο, κύριο κατοικήσιμο χώρο. Οι δύο ζώνες χωρίζονται μεταξύ τους με συμπαγή τοίχο με θερμική μάζα (με ή χωρίς θερμομόνωση) και με ή χωρίς υαλοστάσια. Αντί για υαλοστάσια ο ενδιάμεσος τοίχος μπορεί να διαθέτει θυρίδες για τη μεταφορά του θερμού αέρα από το θερμοκήπιο στον κύριο χώρο .



Σχήμα 1.2.1.2.1.2.6: Χειμερινή και θερινή λειτουργία θερμοκηπίου, [16]

Ανάλογα με την αρχιτεκτονική λύση, ο ηλιακός χώρος συνδέεται με έναν κοινό τοίχο με το κτήριο ή ενσωματώνεται σ' αυτό και συνδέεται με το κτήριο με περισσότερους κοινούς τοίχους, συμπαγείς ή με συνδυασμό τοιχοποιίας και υαλοστασίου.

Ευνόητο είναι ότι οι γυάλινες όψεις του θερμοκηπίου πρέπει να έχουν τον κατάλληλο προσανατολισμό για τη μεγιστοποίηση της συλλογής της ηλιακής ακτινοβολίας. Η επιστέγαση του ηλιακού χώρου μπορεί να είναι συμπαγής ή διαφανής. Επίσης, το θερμοκήπιο μπορεί να ενσωματωθεί στο κτήριο, ώστε να έχει τρεις κοινούς τοίχους και έναν υάλινο τοίχο προς το Νότο.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Θερμοκήπια θεωρούνται και τα αίθρια στον πυρήνα των κτηρίων, σκεπασμένα με γυάλινη επιστέγαση, που είναι ανεξάρτητοι μη θερμαινόμενοι χώροι.

Ο ηλιακός χώρος συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην εξασφάλιση συνθηκών άνεσης, βοηθά στην ανάπτυξη των φυτών, διευκολύνει την παραγωγή αγροτικών προϊόντων για οικιακή χρήση και προσφέρει χρηστικό χώρο στους ενοίκους.

Για να χαρακτηριστεί ένας χώρος ως θερμοκήπιο, πρέπει να μην είναι θερμαινόμενος, να προσαρτάται στο κτήριο και να διαθέτει μεγάλα υαλοστάσια με ευνοϊκό προσανατολισμό (προς το Νότο, με απόκλιση έως $\pm 30^\circ$), διανεμημένα στις εξωτερικές του επιφάνειες για τη δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας

Ο χώρος του θερμοκηπίου θερμαίνεται απευθείας από την ηλιακή ακτινοβολία και λειτουργεί όπως το παθητικό σύστημα του «άμεσου κέρδους». Συγχρόνως η ηλιακή ενέργεια απορροφάται από τον πίσω συμπαγή τοίχο του θερμοκηπίου ή/και το δάπεδο, μετατρέπεται σε θερμότητα και ένα ποσοστό μεταφέρεται στο κτήριο. Από αυτή την άποψη, το προσαρτημένο θερμοκήπιο είναι ένα εκτεταμένο σύστημα τοίχου θερμοκής αποθήκευσης, με τη μόνη διαφορά ότι το υαλοστάσιο είναι τοποθετημένο σε αρκετή απόσταση από τον τοίχο, ώστε να δημιουργείται κατοικήσιμος χώρος για την ημέρα ή ένας χώρος όπου καλλιεργούνται φυτά.

Το θερμοκήπιο χαρακτηρίζεται από έντονη θερμική διαστρωμάτωση, με τις πιο θερμές μάζες του αέρα να ανυψώνονται προς την ανώτατη στάθμη του. Έτσι, τοποθέτηση θυρίδων στα υψηλότερα σημεία του στοιχείου που συνδέει το θερμοκήπιο με το κτήριο είναι ικανές να προσάγουν θερμό αέρα στους θερμαινόμενους χώρους του κτηρίου.

Σχεδόν όλες τις ώρες της ημέρας ο ηλιακός χώρος έχει υψηλότερη θερμοκρασία από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος κι έτσι συμβάλλει στη μείωση των θερμικών απωλειών από το κτήριο. Σε ψυχρά όμως κλίματα, κατά τις νυχτερινές ώρες, μπορεί να συμβάλλει σε αύξηση θερμικών απωλειών, όταν ο ενδιάμεσος τοίχος δεν είναι επαρκώς μονωμένος. Σε ημέρες χωρίς ηλιοφάνεια, η εσωτερική θερμοκρασία σ'ένα θερμοκήπιο με διπλό υαλοστάσιο φθάνει τουλάχιστον στους 10°C όταν η εξωτερική είναι 0°C .

Η θερμική συνεισφορά του ηλιακού χώρου εξαρτάται από το γεωμετρικό σχήμα και τον τρόπο σύνδεσής του με το κτήριο. Η απόδοσή του είναι συγκρίσιμη και πολλές φορές καλύτερη από την απόδοση ενός τοίχου θερμοκής αποθήκευσης, που έχει την ίδια επιφάνεια υαλοστασίου. Οι επί πλέον θερμικές απώλειες μέσω της οροφής και των τοίχων που περιβάλλουν έναν ηλιακό χώρο αντισταθμίζονται από το γεγονός ότι το υαλοστάσιο έχει τη βέλτιστη κλίση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο -ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Υπολογίζεται ότι κατά τους χειμερινούς μήνες 10% έως 30% από την θερμότητα που προέρχεται από τη δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας από έναν ηλιακό χώρο μεταφέρεται στους παρακείμενους χώρους του κτηρίου.

Ανάλογα με τη θερμική σύνδεση και τον επιθυμητό τρόπο μεταφοράς, αποθήκευσης και διανομής της θερμότητας, ο διαχωριστικός τοίχος και το διαχωριστικό υαλοστάσιο μεταξύ θερμοκηπίου και κατοικήσιμου χώρου, θερμομονώνεται ή όχι και εφαρμόζεται νυχτερινή μόνωση (η οποία εφαρμόζεται και τη θερινή περίοδο).

Πλεονεκτήματα

- ο δημιουργείται πρόσθετος κατοικήσιμος χώρος με μικρό κόστος.
- ο δημιουργείται χώρος για την καλλιέργεια φυτών.
- ο λειτουργεί ως φράγμα θερμικών απωλειών του κτηρίου κατά τη διάρκεια της ημέρας.
- ο ενσωματώνεται εύκολα σε υφιστάμενα κτήρια.
- οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις στον κατοικήσιμο χώρο είναι μικρές.

Μειονεκτήματα

- ο η θερμική απόδοση επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το σχεδιασμό και γι' αυτό είναι δύσκολο να προβλεφθεί.
- ο υπάρχει κίνδυνος υπερθέρμανσης, ιδίως για το καλοκαίρι, εάν δε ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα ηλιοπροστασίας και αερισμού.

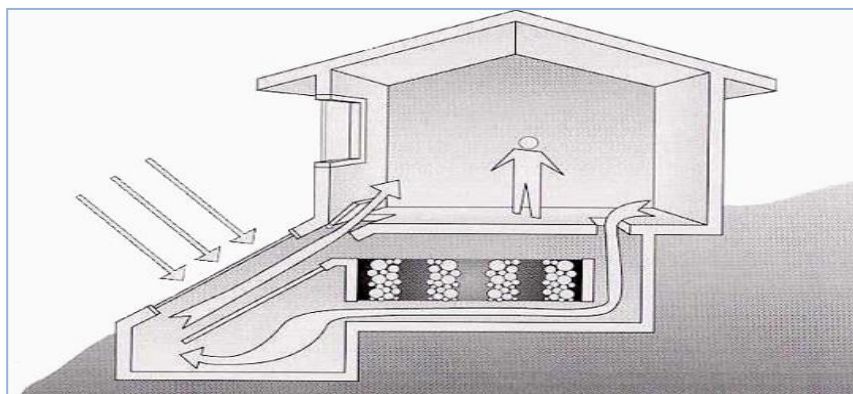
1.2.1.2.1.3 Συστήματα Απομονωμένου Ηλιακού Κέρδους

Το θερμοσιφωνικό πάνελο είναι συλλέκτης της ηλιακής ακτινοβολίας, ο οποίος δεν διαθέτει θερμική μάζα και είναι προσαρτημένος στο κτιριακό κέλυφος ή τοποθετείται ανεξάρτητα από αυτό. Επειδή απομονώνεται θερμικά από το κτήριο, ανήκει στην κατηγορία των παθητικών ηλιακών συστημάτων του «απομονωμένου κέρδους».

Η θερμότητα που συλλέγεται από αυτό αποθηκεύεται είτε στα δομικά στοιχεία του κτηρίου είτε σε υποδαπέδια αποθήκη θερμότητας (σύστημα rock bed). Έχει νότιο προσανατολισμό, με απόκλιση έως $\pm 30^\circ$ από το νότο και κλίση είτε κατακόρυφη, είτε υπό γωνία, με βέλτιστη κλίση τις $30-40^\circ$ για τον ελλαδικό χώρο.

Χαρακτηριστικό είναι ότι επειδή απομονώνεται εύκολα από το κτήριο δεν απαιτούνται στοιχεία ηλιοπροστασίας και επίσης μπορεί να αξιοποιηθεί η βέλτιστη κλίση για τη χειμερινή δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας, χωρίς επιπτώσεις υπερθέρμανσης.

Αποτελείται από υαλοπίνακα, τοποθετημένο σε μικρή απόσταση (2-5cm) μπροστά από μεταλλική επιφάνεια, σκούρου χρώματος (μαύρου) και το όλο σύστημα θερμομονώνεται. Συνδέεται με το κτήριο με θυρίδες εισροής και εκροής του αέρα του εσωτερικού χώρου προς και από το πάνελο. Οι θυρίδες αυτές τοποθετούνται καθ'όλο το πλάτος του πανέλου, με διάμετρο 20-30cm. Ο χώρος θερμαίνεται μέσω του φαινομένου του θερμοσιφωνισμού. Ο ψυχρός αέρας από το εσωτερικό του κτηρίου εισέρχεται στο κατώτερο μέρος του θερμοσιφωνικού πανέλου από την κατώτατη θυρίδα του όπου θερμαίνεται, ανέρχεται ως ελαφρότερος και εξέρχεται στον εσωτερικό χώρο από την ανώτατη θυρίδα του.



Σχήμα 1.2.1.2.1.31: Σύστημα απομονωμένου κέρδους, [19]

Η απόδοση του θερμοσιφωνικού πανέλου αυξάνεται με τη χρήση διπλών υαλοπινάκων στο συλλέκτη, σε σχέση με απλούς υαλοπίνακες, ιδιαίτερα για τα πιο ψυχρά κλίματα. Το βέλτιστο μήκος του συλλέκτη έχει εκτιμηθεί στα 3m (Norton & Probert, 1984).

Το θερμοσιφωνικό πάνελο ενδείκνυται για χώρους που χρειάζονται άμεση απόδοση θερμότητας από τα ηλιακά κέρδη, όπως χώρους γραφείων, σχολικές αίθουσες κοκ.

Το πλεονέκτημά του, σε σχέση με το άμεσο κέρδος που, επίσης, αποδίδει άμεσα θερμότητα στο χώρο, είναι ότι αποφεύγεται η θάμβωση από μεγάλους υαλοπίνακες, η υπερθέρμανση τη θερινή περίοδο, καθώς κι οι αυξημένες απώλειες θερμότητας τη νύχτα. Εκτός αυτού, τη θερινή περίοδο, μπορεί να αποκόπτεται θερμικώς από το κτήριο (κλείσιμο των θυρίδων, σκίαση του πανέλου, άνοιγμα του υαλοπίνακα στο ανώτατο και κατώτερο μέρος του), αποφεύγοντας έτσι την υπερθέρμανση του χώρου.

Το κλείσιμο των θυρίδων είναι επίσης πολύ σημαντικό τη νυχτερινή περίοδο, προς αποφυγή θερμικών απωλειών. Κάτι τέτοιο καθιστά την εφαρμογή συστήματος αυτοματισμών σχεδόν επιτακτική, προς αποφυγή δυσλειτουργίας του συστήματος από αμέλεια των χρηστών.

Σε περίπτωση που τοποθετείται κεκλιμένα, το θερμοσιφωνικό πάνελο έχει καλύτερη απόδοση αλλά χρειάζεται περισσότερο ελεύθερο χώρο. Προσαρτημένο κατακόρυφα στον τοίχο μπορεί να εναρμονισθεί αισθητικά με το κτήριο πιο εύκολα.

Πλεονεκτήματα

- Προσαρμόζεται εύκολα και σε υφιστάμενα κτήρια με νότιο προσανατολισμό.
- Αποδίδει άμεσα θερμότητα στους χώρους, αποφεύγοντας τη θάμβωση.
- Τη θερινή περίοδο μπορεί εύκολα να αποκοπεί θερμικά από το κτήριο, αποφεύγοντας έτσι την υπερθέρμανση του χώρου.

Μειονεκτήματα

- Όταν τοποθετείται με κλίση είναι σχετικά δύσκολη η αισθητική του εναρμόνιση με το κτήριο.
- Η μείωση των νότιων ανοιγμάτων και η δημιουργία κλειστής νότιας όψη.
- Πρόκειται για μια μη ευρέως διαδεδομένη τεχνολογία στη χώρα μας.

1.3 Αρχές Βιοκλιματικού Σχεδιασμού [14]

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αναφέρεται στον σχεδιασμό κτιρίων με βάση το κλίμα της περιοχής, έχοντας ως στόχο την επίτευξη συνθηκών άνεσης, με όσον το δυνατόν καλύτερη εκμετάλλευση των φυσικών χαρακτηριστικών του κλίματος, και την μείωση στο ελάχιστο της χρήσης τεχνητών μέσων για θέρμανση, δροσισμό, αερισμό, φωτισμό.

Κατά τον βιοκλιματικό σχεδιασμό λαμβάνονται υπόψη ο σωστός προσανατολισμός, το μέγεθος και η μορφή του κτιρίου, ο γενικότερος πολεοδομικός σχεδιασμός, η ύπαρξη δένδρων, η χωροθέτηση των κατάλληλων ανοιγμάτων και υαλοπινάκων, η θερμοχωρητικότητα κ.τ.λ.

Κατά την χειμερινή περίοδο ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αποσκοπεί:

- ο στην ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών από το κτιριακό κέλυφος και των θερμικών απωλειών από την είσοδο του ψυχρού εξωτερικού αέρα, επιτρέποντας μόνο τον απαραίτητο για λόγους υγιεινής αέρα
- ο στην αύξηση της θερμικής προσόδου από την ηλιακή ακτινοβολία
- ο στον διαθέσιμο επαρκή ποσοτικά και ποιοτικά φυσικό φωτισμό

Κατά συνέπεια αρχή του βιοκλιματικού κατά την χειμερινή περίοδο είναι η ελαχιστοποίηση ή ακόμα και ο μηδενισμός της παρεχόμενης από το συμβατικό σύστημα θέρμανσης και η ελαχιστοποίηση της χρήσης τεχνητού φωτισμού.

Κατά την θερινή περίοδο ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αποσκοπεί:

- ο στην μείωση της θερμικής επιβάρυνσης από την ηλιακή ακτινοβολία
- ο στην αποφυγή οπτικής θάμβωσης
- ο στην βελτίωση των διαφόρων μεθόδων φυσικού δροσισμού

Συνοπτικά, αρχή του βιοκλιματικού σχεδιασμού κατά την θερινή περίοδο είναι να μειωθεί ή και να αποτραπεί η παραγόμενη ψύξη από τον μηχανολογικό εξοπλισμό. Στόχος του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι να προσφέρει ένα θερμικά άνετο και υγιεινό εσωτερικό περιβάλλον, μειώνοντας στο ελάχιστο την επίδραση τους στο περιβάλλον, προστατεύοντας την υγεία του ανθρώπου και βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής. Ένας τρόπος επίτευξης αυτών των στόχων είναι τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα οποία εκμεταλλεύονται την ηλιακή ακτινοβολία για τη θέρμανση των κτιρίων, αλλά εξίσου σημαντικός είναι ο οικολογικός τρόπος δόμησης με τη προσεχτική επιλογή υλικών και ο ορθός σχεδιασμός που συνεισφέρει τα μέγιστα στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης. Φυσικά, η εφαρμογή ενός ή περισσότερων παθητικών συστημάτων σε ένα κτίριο δεν σημαίνει ότι το κτίριο γίνεται αυτομάτως βιοκλιματικό.

1.4 Ρόλος Θερμικής Μάζας Κτιρίου [14]

Η ηλιακή ενέργεια παρουσιάζει τεράστιες προοπτικές για θέρμανση των κτιρίων τον χειμώνα. Ωστόσο, η ηλιακή ενέργεια είναι διαθέσιμη μόνο κατά την διάρκεια της ημέρας και η μέγιστη ακτινοβολία εμφανίζεται κοντά στο μεσημέρι.

Βασική απαίτηση για την ηλιακή ενεργειακή απόδοση αποτελεί η αναγκαιότητα αποθήκευσης της ενέργειας, έτσι ώστε η περίσσεια της θερμότητας που συλλέγεται κατά την διάρκεια της ημέρας να μπορεί να αποθηκευτεί για μεταγενέστερη χρήση κατά την διάρκεια της νύχτας.

Η αποτελεσματική αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας προϋποθέτει την ύπαρξη θερμικής μάζας στο εσωτερικό του κτιρίου προκειμένου να αποθηκευτεί η θερμότητα που αποκτήθηκε και το πιο πρόσφορο μέσο για την αποθήκευση της ηλιακής ακτινοβολίας αποτελούν τα δομικά υλικά με υψηλή θερμοχωρητικότητα, όπως ορισμένα δομικά υλικά (πέτρα, σκυρόδεμα, πλίνθοι κ.τ.λ.) ή τα νέας τεχνολογίας υλικά, όπως τα υλικά αλλαγής φάσης (PCM).

Ένα δομικό στοιχείο αποθηκεύει τη θερμότητα που προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία με τρεις τρόπους:

- το στοιχείο εκτίθεται άμεσα στην ηλιακή ακτινοβολία και αποτελεί την κύρια θερμική αποθήκη. Η απευθείας πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στο στοιχείο αντιπροσωπεύει την αποτελεσματικότερη μέθοδο για την θερμική του φόρτιση
- το δομικό στοιχείο δέχεται θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από την άμεσα ηλιαζόμενη περιοχή του κτιρίου, με την οποία έχει «οπτική επαφή», όπως η οροφή ενός χώρου, του οποίου το δάπεδο δέχεται άμεση ηλιακή ακτινοβολία
- το δομικό στοιχείο θερμαίνεται με μεταφορά θερμότητας διαμέσου της κίνησης του αέρα που θερμάνθηκε. Πρόκειται για ένα λιγότερο αποδοτικό τρόπο φόρτισης ενός στοιχείου θερμικής αποθήκευσης, αλλά με αυτόν τον τρόπο μπορεί η θερμότητα να μεταφερθεί και σε απομακρυσμένα σημεία του κτίριο

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 1^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

1. D. Zhou ,C.Y. Zhao ,Y. Tian :Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications
2. Shazim AliMemon :Phase change materials integrated in building walls: A state of the art review
3. <http://www.allaboutenergy.gr/Intro13.html>
4. http://www.buildings.gr/greek/aiforos/exikonomisi/m_santamouris.htm
5. [http://www.buildupskills.eu/sites/default/files/BUILD%20UP%20Skills-Greece_Status%20quo%20\(EL\)_0.pdf](http://www.buildupskills.eu/sites/default/files/BUILD%20UP%20Skills-Greece_Status%20quo%20(EL)_0.pdf)
6. http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/ktiria_intro.htm
7. Vineet Veer Tyagi, D.Buddhi, PCM thermal energy storage in buildings: A state of art
8. http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/SEMINARIA/PALAIOTERA_SEMINARIA/H_KYKLOS_S_M_D_IAN_FEB_09/ENERGEIAKOS_SXEDIASMOS_NEWN_KAI_YFISTAMENWN_KTHRIWN/%C1%CE%C1%D1%CB%C72009-1-%E2%E9%EF%EA%EB%E9%EC%E1%F4%E9%EA%EF%F2.pdf
9. http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE_%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1
10. <http://www.aueb.gr/users/koundouri/resees/uploads/SOLAR%20ENERGY.pdf>
11. <http://ktirio.gr/innet/UsersFiles/sa/documents/articles/2012-06-91.pdf>
12. http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/OMADESER_GASIAS/OI_PROOPTIKES_TWN_APE_STHN_ELLADA/74-90.pdf
13. http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_active_solar.htm
14. <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/tptee/dg2013/ktirio/DE3-Bioklimatika-final.pdf>
15. Σημειώσεις Μαθήματος Θερμικής Συμπεριφοράς Κτιρίων
16. http://www.digital-in.info/e-tomeas/images/stories/docs/2T1_41/2014/pathitika_sistimata_2014.pdf
17. <https://sites.google.com/site/wildwaterwall/eliaka-spitia/3-pathitika-eliaka-systemata-thermanses>
18. http://www.ecoarchitects.gr/images/FINAL/Pathitika_Hliaka_Systemata.pdf
19. http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/thermansia/pathitika_iliaka_systimata_emmeso_kerdos.htm
20. http://www.digital-in.info/e-tomeas/images/stories/docs/2th345/keimena/3_ilios_kai_kerdi_sto_ktirio.pdf

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο – ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ

ΦΑΣΗΣ (PCMs)

2.1 Εισαγωγή

Η χρήση των υλικών αλλαγής φάσης για αποθήκευση θερμικής ενέργειας η οποία μπορεί να απελευθερωθεί ως αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα αποτέλεσε μια σημαντική πτυχή για την διαχείριση της ενέργειας μετά την ενεργειακή κρίση 1973-1974. [1]

Σήμερα, τα περιορισμένα αποθέματα ορυκτών καυσίμων και οι ανησυχίες σχετικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου καθιστούν αναγκαία την αποτελεσματική διαχείριση της ενέργειας.[1] Προς το παρόν η αποθήκευση ενέργειας για θέρμανση και κλιματισμό του κτιρίου βασίζεται κυρίως σε υλικά αποθήκευσης αισθητής θερμότητας. Ένας άλλος τρόπος αποθήκευσης θερμικής ενέργειας που δοκιμάστηκε για την θέρμανση και τον κλιματισμό των κτιρίων βασίζεται στην ιδέα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας με χρήση PCMs.

Η χρήση των υλικών αλλαγής φάσης για αποθήκευση θερμικής ενέργειας αποτελεί μια ρεαλιστική λύση προκειμένου να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα της αποθήκευσης και της χρήσης της ενέργειας σε πολλούς οικιακούς και βιομηχανικούς τομείς. Σε αντίθεση με τα υλικά αποθήκευσης αισθητής θερμότητας όπως το νερό, η τοιχοποιία κ.α. , το PCM αποθηκεύει περισσότερη θερμότητα ανά μονάδα όγκου.[1] Μπορεί να αποθηκεύσει 5-14 φορές περισσότερη θερμότητα από τα συνήθη δομικά υλικά.[2]

Πίνακας 2.1.1: Σύγκριση της ικανότητας αποθήκευσης θερμότητας υλικών στο θερμοκρασιακό εύρος (25-30 °C), [3]

| Υλικό | ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας ανά μονάδα βάρους (kJ/kg) ανά μονάδα όγκου(kJ/dm ³) | |
|--|---|-----|
| σκυρόδεμα | 4.4 | 8.8 |
| νερό | 21 | 21 |
| παραφίνη, (C ₁₈ H ₃₈) | 212 | 175 |
| ένυδρο άλας,(CaCl ₂ ·6H ₂ O) | 196 | 294 |

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Κατά συνέπεια, η ενσωμάτωση των PCMs, τόσο σε ελαφρές όσο και σε βαριές κατασκευές παρουσιάζει σημαντικά οφέλη. Η χρήση τους σε ελαφρές κατασκευές θα μπορούσε να αυξήσει την θερμική τους μάζα, ενώ η χρήση τους σε κατασκευές από βαριά δομικά υλικά θα μπορούσε να συντελέσει στην μείωση του βάρους των υλικών διατηρώντας ταυτόχρονα την θερμοχωρητικότητα των υλικών.[2]

Είναι γνωστό ότι η βέλτιστη διαχείριση της ενέργειας στα κτίρια, σύμφωνα με τις τελευταίες εξελίξεις της τεχνολογίας, απαιτεί αλλαγές στον σχεδιασμό των κτιρίων, οι οποίες συχνά οδηγούν σε αμφισβητούμενες, από αισθητική και αρχιτεκτονική άποψη, κατασκευές. Εδώ τα PCMs προσφέρουν άριστες υπηρεσίες, καθώς μπορούν να είναι 'αόρατα' κρυμμένα μέσα στα οικοδομικά στοιχεία, από όπου απορροφούν ή αποδίδουν σημαντικά ποσά θερμότητας. [4]

Σημαντικές είναι επίσης οι υπηρεσίες που μπορούν να προσφέρουν τα PCMs αποθηκεύοντας την περίσσεια θερμότητας χώρων και προσφέροντας την αργότερα σε άλλους ή και στους ίδιους χώρους, όταν απαιτείται. Επιπλέον, η απορρόφηση των φορτίων αιχμής εξομαλύνει την διακύμανση της θερμοκρασίας εσωτερικού περιβάλλοντος, βελτιώνοντας έτσι το επίπεδο θερμικής άνεσης. και ένα άλλο βασικό πλεονέκτημα με την χρήση του είναι ότι η θερμότητα αποθήκευσης και η ανάκτησή της γίνεται ισοθερμικά γεγονός που τα καθιστά ιδανικά για εφαρμογές θέρμανσης και ψύξης χώρου.[4]

2.2 Μέθοδοι Αποθήκευσης Ενέργειας

Η αποθήκευση της ενέργειας αποτελεί μια πολύ ενδιαφέρουσα τεχνική η οποία έχει ως στόχο την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια και κατά συνέπεια την μείωση των λειτουργικών κοστών των κτιρίων. Μερικά από τα πλεονεκτήματα αποθήκευσης της ενέργειας στα κτίρια είναι τα ακόλουθα [5]

- ο μείωση της μέγιστης ισχύος για θέρμανση και ψύξη
- ο πιθανότητα μετατόπισης των φορτίων αιχμής για θέρμανση και ψύξη στις ώρες χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης
- ο βελτίωση του εσωτερικού περιβάλλοντος του κτιρίου
- ο αποτελεσματική αξιοποίηση των φορτίων παθητικής θέρμανσης και ψύξης

Οι διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους μπορεί να αποθηκευτεί η ενέργεια περιλαμβάνουν την μηχανική, την ηλεκτρική και την θερμική αποθήκευση της ενέργειας.[6]

2.2.1 Μηχανική Αποθήκευση Ενέργειας [6]

Τα συστήματα μηχανικής αποθήκευσης ενέργειας περιλαμβάνουν την αποθήκευση ενέργειας με βαρύτητα ή με άντληση νερού, με πεπιεσμένο αέρα και με σφονδύλους.

Η αποθήκευση πραγματοποιείται όταν φθινή εκτός αιχμής ισχύς είναι διαθέσιμη, π.χ., το βράδυ ή τα Σαββατοκύριακα. Η αποθηκευμένη ενέργεια απελευθερώνεται όταν απαιτείται ενέργεια λόγω της ανεπαρκούς προσφοράς από τις εγκαταστάσεις βασικού φορτίου.

Οι τεχνολογίες μηχανικής αποθήκευσης ενέργειας με πεπιεσμένο αέρα και με άντληση νερού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεγάλης κλίμακας αποθήκευση ενέργειας ενώ οι τεχνολογίες μηχανικής αποθήκευσης με σφονδύλους είναι περισσότερο κατάλληλες για προσωρινή αποθήκευση.

2.2.2 Ηλεκτρική Αποθήκευση Ενέργειας [6]

Για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται μπαταρίες (οξέος μολύβδου και Ni-Cd). Μια μπαταρία φορτίζεται, συνδέοντας την με μια πηγή συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος και όταν αποφορτίζεται, η αποθηκευμένη χημική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια.

Πιθανές εφαρμογές των μπαταριών είναι χρήση τους σε ώρες εκτός αιχμής, για εξομάλυνση του φορτίου και αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται συνήθως από ανεμογεννήτριες ή φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις.

2.2.3 Θερμική Αποθήκευση Ενέργειας [1, 7]

Η αποθήκευση της θερμικής ενέργειας είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για εφαρμογή στα κτιριακά κελύφη ώστε να βελτιωθεί η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Αυτό με την σειρά του θα μειώσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας.

Για παράδειγμα, η ηλιακή ενέργεια παρουσιάζει τεράστιες προοπτικές για θέρμανση των κτιρίων τον χειμώνα. Ωστόσο, η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει αστάθεια με την μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία να λαμβάνει χώρα κατά το μεσημέρι. Εάν η θερμική ενέργεια της θερμότητας ή της ψύξης παρέχεται και αποθηκεύεται κατά την διάρκεια της νύχτας και έπειτα απελευθερώνεται στο εσωτερικό περιβάλλον κατά την διάρκεια της ημέρας, μέρος ή ακόμη και όλα τα φορτία μπορούν να μετατοπιστούν στην περίοδο εκτός αιχμής. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η αποτελεσματική διαχείριση της ενέργειας καθώς επίσης και οικονομικά οφέλη. Κατά συνέπεια οι μηχανισμοί αποθήκευσης θερμικής ενέργειας μπορούν να συντελέσουν στην βελτίωση του επιπέδου εσωτερικής θερμικής άνεσης.

Η αποθήκευση της θερμικής ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με την ψύξη, την θέρμανση, την τήξη, την στερεοποίηση ή την εξάτμιση ενός υλικού, με την ενέργεια να καθίστανται διαθέσιμη ως θερμότητα όταν η διαδικασία αντιστρέφεται. Οι μέθοδοι αποθήκευσης θερμικής ενέργειας μπορούν να ταξινομηθούν σε αισθητή θερμότητα αποθήκευσης θερμότητας ή σε λανθάνουσα θερμότητα αποθήκευσης.

Η αισθητή θερμότητα αποθήκευσης ενέργειας λαμβάνει χώρα όταν σε ένα υλικό αυξάνεται ή μειώνεται η θερμοκρασία του. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου εξαρτάται από την ειδική θερμοχωρητικότητα του υλικού και, αν ο όγκος είναι μια σημαντική θεώρηση, στην πυκνότητα του υλικού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο –ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ PCMs

Η λανθάνουσα θερμότητα αποθήκευσης ενέργειας εξαρτάται από την ικανότητα του υλικού να αφομοιώνει τις ενεργειακές πυκνότητες σε σχεδόν ισοθερμοκρασιακές συνθήκες και πάνω από ένα στενό θερμοκρασιακό εύρος.

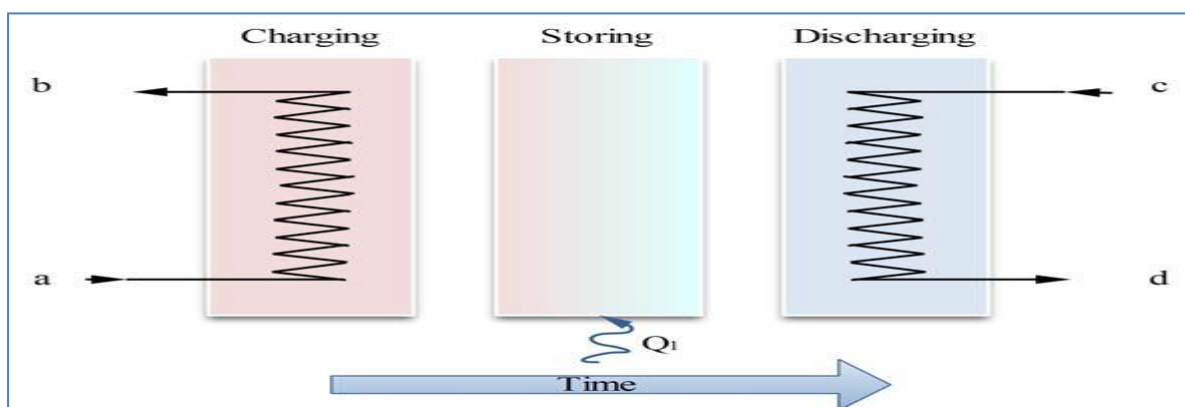
Τέτοιου είδους συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας παρουσιάζουν πληθώρα πλεονεκτημάτων έναντι άλλων συστημάτων, όπως η μικρή θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ των κύκλων αποθήκευσης και ανάκτησης και το χαμηλό βάρος ανά μονάδα θερμοχωρητικότητας.

Τα PCMs απορροφούν ενέργεια κατά την αλλαγή φάσης κατά την διαδικασία της θέρμανσης και μπορούν να απελευθερώσουν αυτή την ενέργεια κατά την διάρκεια της ψύξης.

Η διαδικασία αποθήκευσης θερμικής ενέργειας περιλαμβάνει τουλάχιστον τρία στάδια

- ο φόρτιση
- ο αποθήκευση και
- ο αποφόρτιση

Στο διάγραμμα που ακολουθεί απεικονίζονται τα στάδια από τα οποία αποτελείται ένας απλός κύκλος αποθήκευσης.



Σχήμα 2.2.3.1: Οι τρεις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα σε ένα γενικό σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας, [8]

Η θερμότητα Q_i , απορροφάται και είναι θετική ποσότητα για εν ψυχρώ αποθήκευση. Η Q_i θα λάβει αρνητική τιμή όταν απελευθερωθεί στο περιβάλλον. Στο διάγραμμα η ροή θερμότητας απεικονίζεται για την διαδικασία της αποθήκευσης ,αλλά μπορεί να λάβει χώρα και στις τρεις διαδικασίες που αναφέρθηκαν.

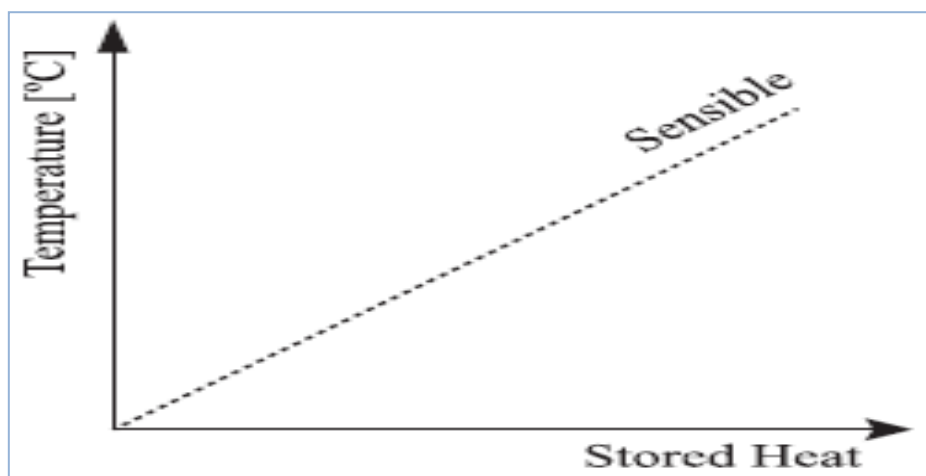
2.2.3.1 Αισθητή Θερμότητας Αποθήκευσης [1]

Η αισθητή θερμότητα αποθήκευσης περιλαμβάνει την αποθήκευση θερμικής ενέργειας με αύξηση της θερμοκρασίας ενός στερεού ή υγρού. Η αρχή στηρίζεται στην αλλαγή της θερμοχωρητικότητας και της θερμοκρασίας του υλικού κατά την διάρκεια της διαδικασίας φόρτισης και αποφόρτισης. Η ποσότητα της θερμότητας που αποθηκεύεται είναι μια συνάρτηση της ειδικής θερμότητας του μέσου, της μεταβολής της θερμοκρασίας και της μάζας του μέσου αποθήκευσης.

$$Q = \int_{T_i}^{T_f} m * c_p * dT = m * c_{pa} * (T_f - T_i) \quad (2.2.3.1.1)$$

- Q (J): η ποσότητα της θερμότητας που αποθηκεύεται
- T_f (°C): τελική θερμοκρασία
- T_i (°C): αρχική θερμοκρασία
- m(kg): μάζα του μέσου αποθήκευσης θερμότητας
- c_p (J/kg*K): ειδική θερμοχωρητικότητα
- c_{pa} (J/kg*K): μέση ειδική θερμοχωρητικότητα μεταξύ T_i και T_f

Τα υλικά αποθήκευσης θερμότητας απορροφούν θερμότητα μέσω συμβατικών μηχανισμών μεταφοράς θερμότητας (αγωγή, ακτινοβολία και συναγωγή). Καθώς τα υλικά ψύχονται την νύχτα ή τις συννεφιασμένες μέρες η αποθηκευμένη θερμότητα απελευθερώνεται με τους ίδιους τρόπους.



Σχήμα 2.2.3.1.1: Αποθήκευση θερμότητας ως αισθητή θερμότητα: γραμμική σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας και της αποθηκευμένης θερμότητας, [9]

2.2.3.2 Λανθάνουσα Θερμότητα Αποθήκευσης [1]

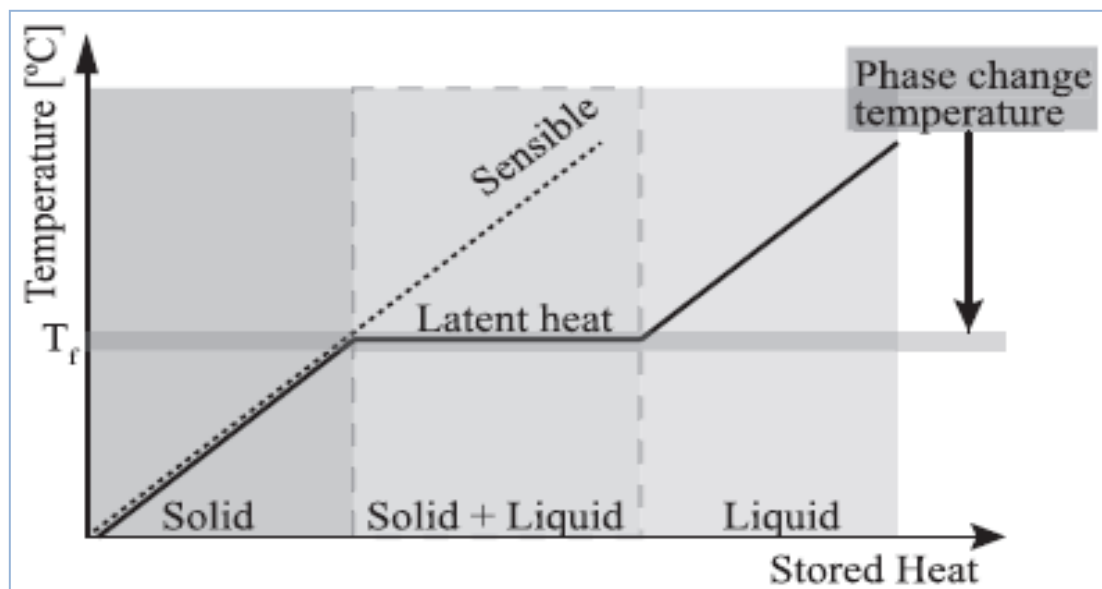
Η λανθάνουσα θερμότητα αποθήκευσης είναι η πιο αποτελεσματική μέθοδος για την αποθήκευση θερμικής ενέργειας. Βασίζεται στην αλλαγή φάσης του υλικού από στερεό σε στερεό, στερεό σε υγρό, υγρό σε αέριο ή αντίστροφα.

Η ικανότητα αποθήκευσης ενός συστήματος αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας αποθήκευσης με PCM δίνεται από την ακόλουθη σχέση

$$Q = \int_{T_L}^{T_m} m * c_p * dT + m * a_m * \Delta H_m + \int_{T_m}^{T_f} m * c_p * dT \quad (2.2.3.2.1)$$

- a_m : το κλάσμα τήξης
- ΔH_m : θερμότητα τήξης ανά μονάδα μάζας (J/kg)

Σε σύγκριση με την αποθήκευση αισθητής θερμότητας, η λανθάνουσα θερμότητα αποθήκευσης προσφέρει υψηλότερη πυκνότητα αποθήκευσης σε ένα στενότερο θερμοκρασιακό εύρος μεταξύ αποθήκευσης και απελευθέρωσης της θερμότητας.



Σχήμα 2.2.3.2.1: Λανθάνουσα θερμότητα αποθήκευσης: γραμμική σχέση μεταξύ στερεάς και υγρής φάσης μέσω ισοθερμικής αντίδρασης κατά την διάρκεια της αλλαγής φάσεως, [9]

2.3 Κατάσταση της Ύλης [10, 11]

Η κατάσταση της ύλης ενός σώματος παραδοσιακά περιγράφει το πόσο εύκολα μεταβάλλεται το σχήμα και το μέγεθός του. Υπάρχουν τρεις βασικές καταστάσεις της ύλης η στερεά, η υγρή και η αέρια. Η κατάσταση στην οποία θα βρεθεί ένα σώμα εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την πίεση του περιβάλλοντός του.

ο Στερεά κατάσταση

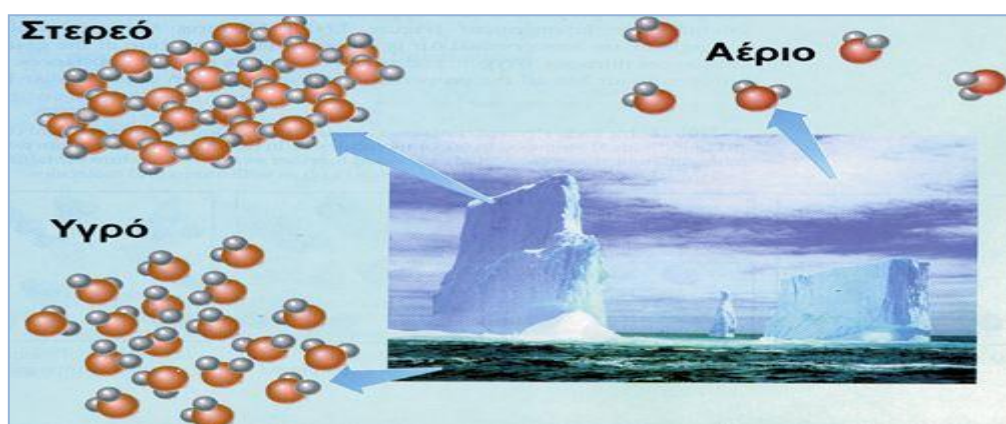
Στη στερεά κατάσταση, τα δομικά σωματίδια (π.χ. μόρια) βρίσκονται σε μικρές αποστάσεις μεταξύ τους, είναι σχεδόν ακίνητα, οι δε ελκτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ τους είναι ισχυρές. Έτσι το σχήμα και ο όγκος τους πρακτικά δεν αλλάζει, εφ' όσον οι συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας δε μεταβάλλονται.

ο Υγρή κατάσταση

Στην υγρή κατάσταση, τα δομικά σωματίδια βρίσκονται, συγκριτικά με τη στερεά κατάσταση, σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Επίσης οι ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των σωματιδίων είναι ασθενέστερες, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερη κινητικότητα. Έτσι τα υγρά έχουν καθορισμένο όγκο, δεν έχουν όμως καθορισμένο σχήμα και παίρνουν κάθε φορά το σχήμα του δοχείου στο οποίο τοποθετούνται.

ο Αέρια κατάσταση

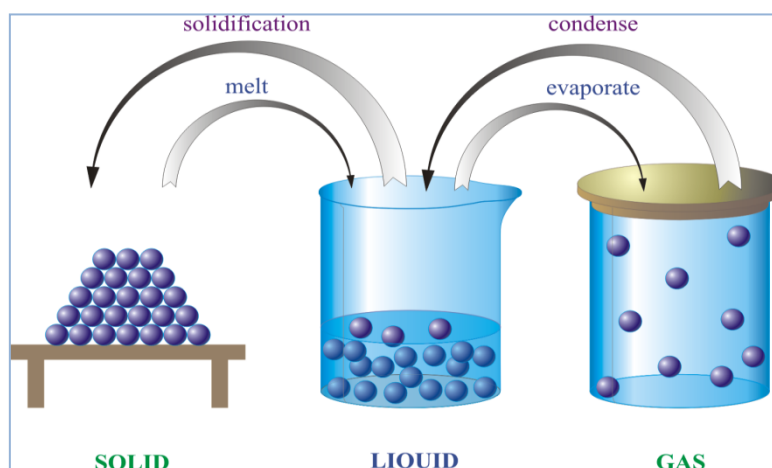
Στην αέρια κατάσταση, τα δομικά σωματίδια κινούνται άτακτα προς όλες τις διευθύνσεις, καθώς οι δυνάμεις συνοχής είναι αμελητέες. Έτσι στα αέρια δεν έχουμε ούτε καθορισμένο σχήμα, ούτε όγκο. Μάλιστα εδώ προκύπτουν σημαντικές μεταβολές των όγκων, όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία ή και η πίεση.



Σχήμα 2.3.1: Σχηματική απεικόνιση των τριών καταστάσεων της ύλης στις οποίες μπορεί να βρεθεί το νερό, [11]

2.3.1 Διαδικασία Αλλαγής Φάσης [10, 12]

Πρόκειται για τον μετασχηματισμό ενός θερμοδυναμικού συστήματος από μία φάση ή κατάσταση της ύλης σε μια άλλη μέσω μεταφοράς θερμότητας. Ο όρος χρησιμοποιείται συνηθέστερα για να περιγράψει τις μεταβάσεις μεταξύ στερεών, υγρών και αέριων καταστάσεων της ύλης.



Σχήμα 2.3.1.1: Διαδικασία αλλαγής φάσης, [13]

- η μετατροπή του στερεού σε υγρό ονομάζεται τήξη, ενώ η αντίστροφη διαδικασία ονομάζεται πήξη.
- η μετατροπή από αέριο σε υγρό ονομάζεται υγροποίηση ή συμπύκνωση,
- η μετατροπή από αέριο σε στερεό ονομάζεται συμπύκνωση

Στις παραπάνω μετατροπές δεν ενδιαφερόμαστε, αν αυτές προκλήθηκαν από την ασυμφωνία τρέχουσας και κατάλληλης κατάστασης ή λόγω μερικών πιέσεων. Όμως, στη μετατροπή υγρού σε αέριο διακρίνουμε δύο διαδικασίες το βρασμό και την εξάτμιση. Ο βρασμός οφείλεται στην ασυμφωνία τρέχουσας και κατάλληλης κατάστασης, ενώ η εξάτμιση γίνεται λόγω της μερικής πίεσης. Για αυτό ο βρασμός εμφανίζεται μόνο σε συγκεκριμένες συνθήκες και συμβαίνει σε όλη την έκταση του υγρού, ενώ η εξάτμιση μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε συνθήκες και συμβαίνει μόνο στην επιφάνεια του υγρού.

Γενικά, οι αλλαγές φάσεις (που δεν οφείλονται στις μερικές πιέσεις) γίνονται σε συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης για την κάθε καθαρή ουσία. Για αυτό αυτές αποτελούν χαρακτηριστικές ιδιότητες του κάθε υλικού και μάλιστα αποτελούν τις συνθήκες ισορροπίας δύο διαφορετικών καταστάσεων του. Αντίθετα, στα μίγματα οι συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, που απαιτούνται για τις αλλαγές φάσεων, εξαρτώνται από τις αναλογίες των συστατικών τους, άρα μεταβάλλονται.

2.3.2 Διαγράμματα Φάσεων

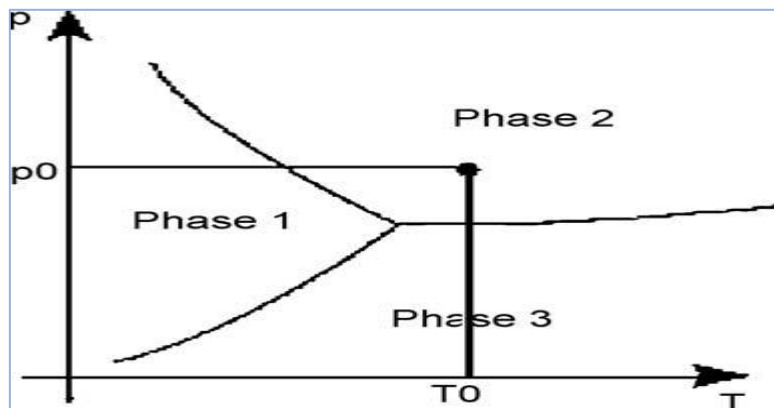
Το διάγραμμα φάσεων είναι μια γραφική παράσταση που χρησιμοποιείται στην φυσικοχημεία (χημική θερμοδυναμική) και σε άλλες επιστήμες, και απεικονίζει τις περιοχές σταθερότητας διαφόρων φάσεων ενός συστήματος (καθαρής ουσίας ή μίγματος) συναρτήσει διαφόρων χαρακτηριστικών παραμέτρων όπως η θερμοκρασία, η πίεση και η συγκέντρωση.[14]

Διάκριση διαγραμμάτων φάσεων [14]

- ο διάγραμμα φάσεων καθαρής ουσίας ή διάγραμμα θερμοκρασίας-πίεσης: απεικονίζει τις φάσεις μιας ουσίας υπό διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης
- ο διμερές διάγραμμα φάσεων : δείχνει τις φάσεις που σχηματίζονται από δύο ουσίες
- ο τριμερές διάγραμμα φάσεων : δείχνει τις φάσεις που σχηματίζονται από τρεις ουσίες

2.3.2.1 Αλλαγή Φάσης Καθαρού Ιδανικού Μίγματος [15]

Οι περιοχές που καταλαμβάνει η κάθε φάση μπορούν να απεικονιστούν σε ένα διάγραμμα πίεσης θερμοκρασίας.



Σχήμα 2.3.2.1.1: Διάγραμμα φάσης, [15]

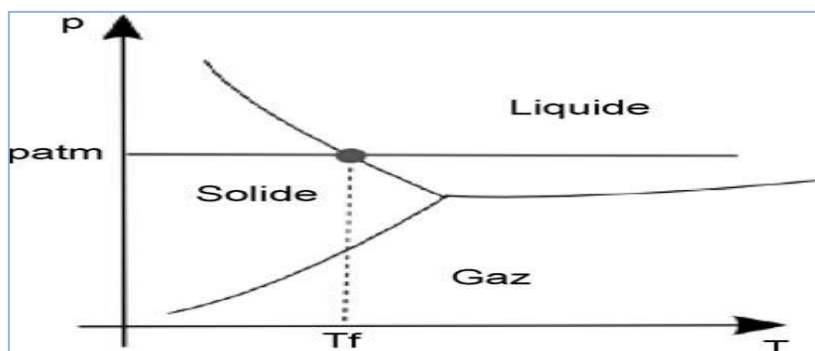
Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη υποενότητα, η ύλη μπορεί να βρεθεί σε αρκετές καταστάσεις. Από αυτές οι πιο συχνές είναι η στερεά, η υγρή και η αέρια κατάσταση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο -ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ PCMs

Όσον αφορά τα κτίρια, η αλλαγή φάσης που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση της λανθάνουσας θερμότητας είναι μεταξύ της υγρής και της στερεάς φάσης του υλικού. Οι μετασχηματισμοί που λαμβάνουν χώρα κατά την μετάβαση από την μια φάση στην άλλη είναι

- ο η στερεοποίηση : μετάβαση από την υγρή στην στερεή φάση
- ο η σύντηξη : μετάβαση από την στερεή στην υγρή φάση

Η πίεση, όσον αφορά τις κτιριακές εφαρμογές, θεωρείται σταθερή και ίση με την ατμοσφαιρική. Αυτή η πίεση, όταν πρόκειται για μετασχηματισμό φάσης υπό σταθερή πίεση αποτελεί το όριο μεταξύ στερεής και υγρής φάσης, όπως απεικονίζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



Σχήμα 2.3.2.1.2: Ζώνες ισορροπίας των υγρών και στερεών φάσεων στην ατμοσφαιρική πίεση, [15]

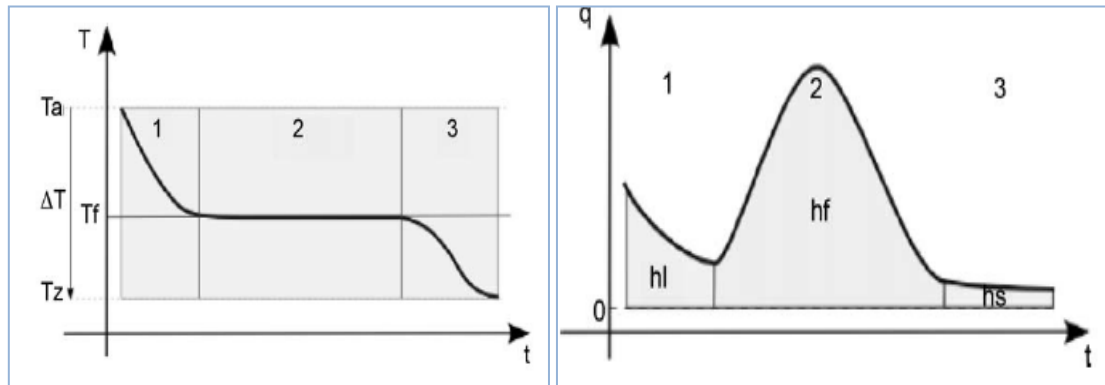
Στο παραπάνω διάγραμμα με T_f συμβολίζεται η θερμοκρασία τήξης του καθαρού σώματος. Συγκρίνοντας την τιμή της θερμοκρασίας του υλικού με την θερμοκρασία τήξης γνωρίζουμε αν το σώμα βρίσκεται στην στερεή ή την υγρή φάση.

- ο Αν $T < T_f \longrightarrow$ το υλικό βρίσκεται στην στερεά κατάσταση
- ο Αν $T > T_f \longrightarrow$ το υλικό βρίσκεται στην υγρή κατάσταση

Το καθαρό σώμα ανταλλάσει θερμότητα με το εξωτερικό περιβάλλον και υποβάλλεται σε μια θερμοκρασιακή μεταβολή. Ο χρόνος έως ότου το υλικό επέλθει σε νέα θερμοδυναμική ισορροπία, είναι ο χρόνος που απαιτείται ώστε να συναλλαχθεί θερμότητα και συμβολίζεται με Δt .

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Στα διαγράμματα που ακολουθούν, απεικονίζονται τα στάδια στερεοποίησης ενός υλικού όταν αυτό ψύχεται. Τα διαγράμματα απεικονίζουν την χρονική εξέλιξη της θερμοκρασίας του υλικού που οφείλεται σε ένα εξωτερικό βήμα θερμοκρασίας



Σχήμα 2.3.2.1.3: Χρονική εξέλιξη της ροής της θερμοκρασίας και τη θερμότητας κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης ενός καθαρού σώματος που υποβάλλεται σε ένα βήμα θερμοκρασίας ΔT , [15]

Στάδιο 1: Ψύξη του υγρού

Το καθαρό σώμα, απελευθερώνει αισθητή θερμότητα και η θερμοκρασία του μειώνεται μέχρι την θερμοκρασία τήξης. Η συνολική ποσότητα της θερμότητας που απελευθερώνεται είναι ίση με

$$h_l = c_{pl} * \int_{T_f}^{T_a} dT \quad (2.3.2.1.1)$$

όπου c_{pl} είναι η θερμοχωρητικότητα της υγρής φάσης

Στάδιο 2: Η αλλαγή της φάσης

Στο στάδιο αυτό, υπό σταθερή θερμοκρασία, απελευθερώνεται η λανθάνουσα θερμότητα

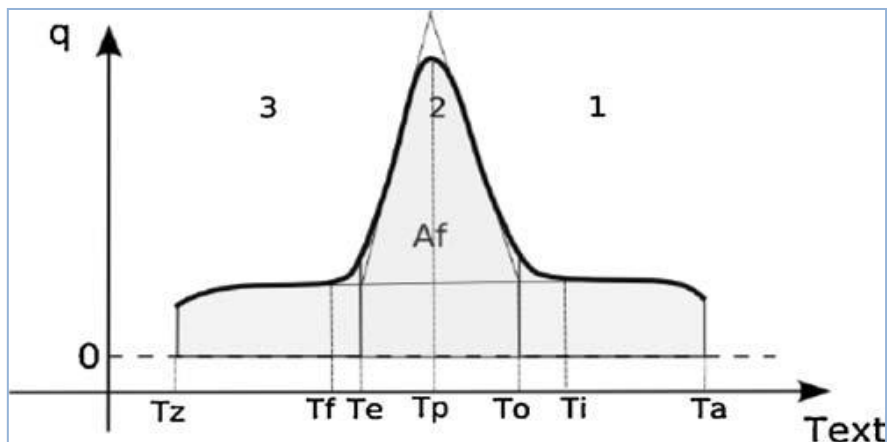
Στάδιο 3: Η ψύξη του στερεού

Το καθαρό σώμα, απελευθερώνει αισθητή θερμότητα και η θερμοκρασία του μειώνεται μέχρι την τιμή της θερμοκρασίας ισορροπίας. Η συνολική ποσότητα της θερμότητας που απελευθερώνεται είναι ίση με

$$h_s = c_{ps} * \int_{T_z}^{T_f} dT \quad (2.3.2.1.2)$$

όπου c_{ps} είναι η θερμοχωρητικότητα της στερεάς φάσης

Στο διάγραμμα που ακολουθεί απεικονίζεται η ροή θερμότητας συναρτήσει της εξωτερικής θερμοκρασίας.



Σχήμα 2.3.2.1.4: Διάγραμμα ροής θερμότητας, [15]

Η λανθάνουσα θερμότητα μπορεί να βρεθεί από την περιοχή κάτω από την καμπύλη και την ταχύτητα της εξωτερικής θερμοκρασίας, η οποία είναι σταθερή. Η λανθάνουσα θερμότητα εξάγεται από τον τύπο:

$$h_f = \frac{1}{V_{Text}} * A_f \quad (2.3.2.1.2)$$

όπου V_{Text} η ταχύτητα της εξωτερικής θερμοκρασίας

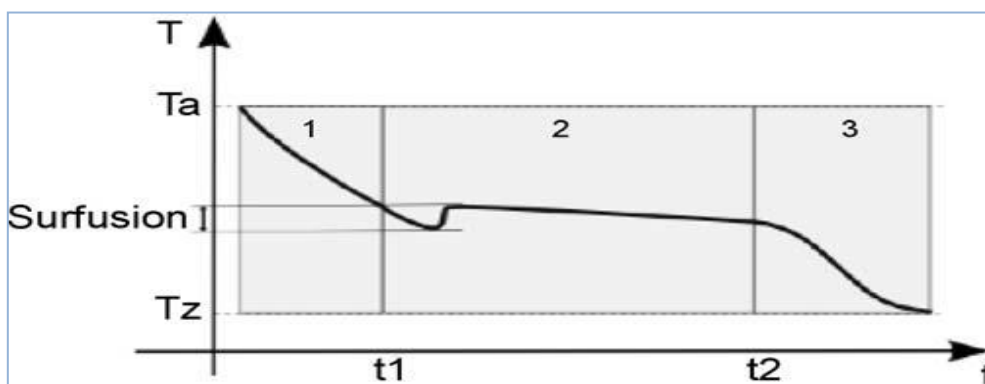
- T_i και T_f : οι αρχικές και τελικές θερμοκρασίες αντίστοιχα κατά τη αρχή και το τέλος της απόκλισης από την καμπύλη αισθητής μεταφοράς θερμότητας
- T_p : η μέγιστη θερμοκρασία της μέγιστης ροής θερμότητας
- T_o και T_e : Σε κάθε πλευρά του σημείου μέγιστης ροής θερμότητας, υπάρχει μια καμπή της καμπύλης. Στα σημεία καμπής μπορούν να εξαχθούν εφαπτόμενες γραμμές . Αυτές οι θερμοκρασίες είναι οι θερμοκρασίες στη διασταύρωση μεταξύ των εφαπτόμενων και της βάσης της καμπύλης, δηλαδή θερμοκρασία έναρξης T_o και τελική θερμοκρασία T_e .

Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες θερμοκρασίες για να παρθούν τα χαρακτηριστικά ενός ΥΑΦ είναι οι T_p , T_o και $\Delta T = T_o - T_e$, το πλάτος της κορυφής.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Η στερεοποίηση ενός PCM ξεκινά με την δράση της πυρήνωσης. Πυρήνωση είναι ο σχηματισμός αρχικών κρυστάλλων που ονομάζεται πυρήνας. Οι κρύσταλλοι διαδίδονται στο υλικό για τον σχηματισμό της στερεάς φάσης. Ο ρυθμός σχηματισμού πυρήνων ενός υλικού είναι η ικανότητα του να παράγει πυρήνα όταν η θερμοκρασία του μειώνεται κάτω από την θερμοκρασία τήξης.

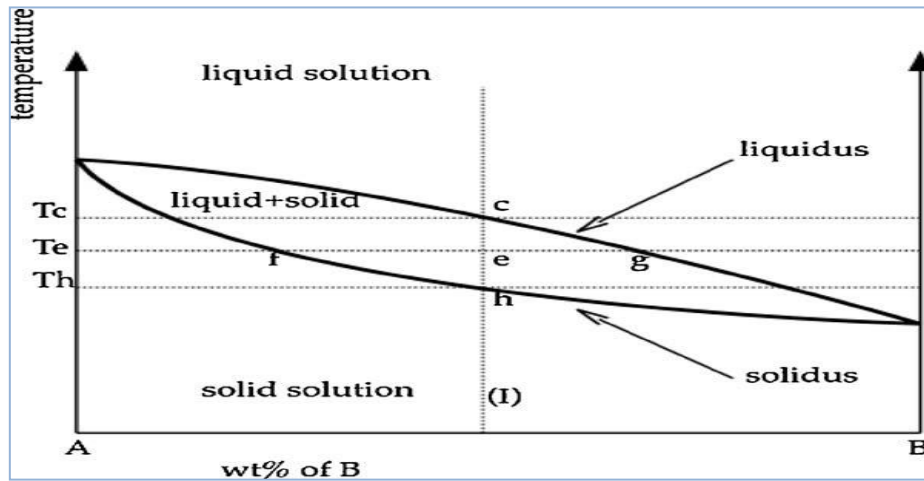
Αν ο ρυθμός σχηματισμού πυρήνων είναι πολύ χαμηλός τότε το υλικό μπορεί να παραμείνει στην υγρή φάση όταν η θερμοκρασία του μειώνεται κάτω από την θερμοκρασία τήξης. Η στερεοποίηση αρχίζει αργότερα: η θερμοκρασία του υλικού αυξάνει ξαφνικά στην θερμοκρασία αλλαγής φάσης.



Σχήμα 2.3.2.1.4: Επίδραση υπέρψυξης, [15]

2.3.2.2 Αλλαγή Φάσης Διμερούς Μίγματος [14, 15]

Στο διάγραμμα που ακολουθεί απεικονίζεται η αλλαγή φάσης ενός διμερούς μίγματος. Ο όγκος και η πίεση του μίγματος είναι σταθερή. Η τετμημένη του διαγράμματος αντιστοιχεί στην αναλογία του συστατικού Β στο μίγμα Α + Β, και η τεταγμένη αντιστοιχεί στη θερμοκρασία του μίγματος.

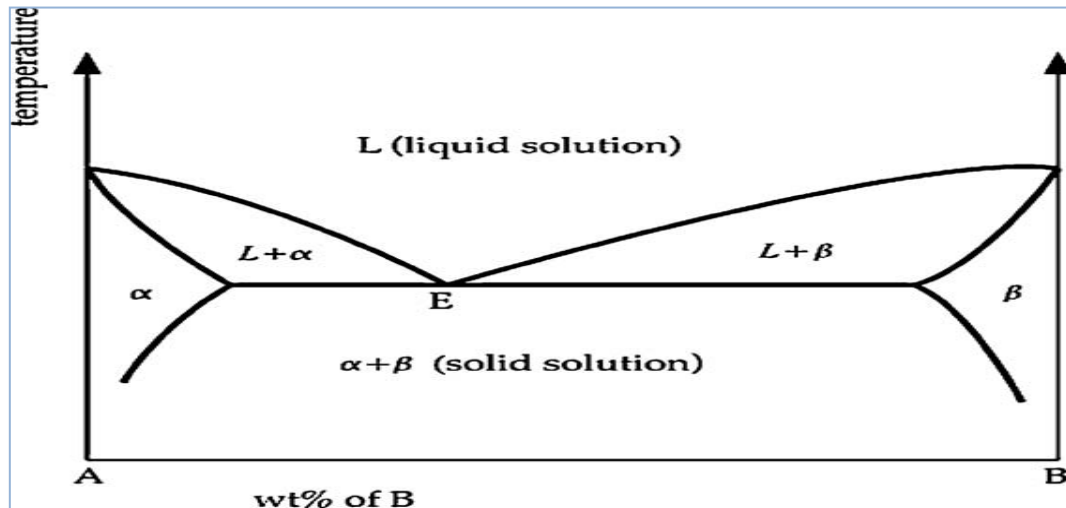


Σχήμα 2.3.2.2.1: Διμερές διάγραμμα φάσης - ισόμορφου συστήματος, [15]

Πρόκειται για το πιο απλό διάγραμμα φάσεων που παρουσιάζει δύο ουσίες που είναι πλήρως διαλυτές μεταξύ τους τόσο στην υγρή όσο και στην στερεά κατάσταση. Το διάγραμμα αυτό έχει δύο χαρακτηριστικές γραμμές: την γραμμή πλήρους τήξης, που αποκαλείται καμπύλη liquidus, και την γραμμή πλήρους στερεοποίησης, που αποκαλείται καμπύλη solidus. Επάνω από την καμπύλη liquidus το σύστημα είναι πλήρως υγρό, ενώ κάτω από την καμπύλη solidus το σύστημα είναι πλήρως στερεό. Μεταξύ των δύο γραμμών η υγρή και η στερεά φάση συνυπάρχουν σε αναλογία που προσδιορίζεται με τον κανόνα του μοχλού.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Στις περιπτώσεις ουσιών που δεν είναι πλήρως διαλυτές μεταξύ τους, τότε στο διμερές διάγραμμα φάσεων παρουσιάζεται μία αναλογία των δύο κυρίων συστατικών με σημείο τήξεως χαμηλότερο από τα σημεία τήξεως και των δύο κυρίων συστατικών. Το σημείο αυτό αποκαλείται ευτηκτικό και αποτελεί χαρακτηριστικό σημείο του συστήματος.



Σχήμα 2.3.2.2.2: Διμερές διάγραμμα φάσης - ευτηκτικό σημείο, [15]

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ανάλογα με τα συστατικά, υπάρχουν διάφορα διαγράμματα φάσης ανάλογα με τη συμπεριφορά αλλαγής φάσης του μίγματος.

Φυσικά, το διάγραμμα φάσης είναι αναγκαίο ώστε να μοντελοποιήσει σωστά τη θερμότητα που αποθηκεύεται / απελευθερώνεται, αλλά, προς το παρόν, δεν έχει χρησιμοποιηθεί ποτέ για κτιριακές προσομοιώσεις.

2.4 Προσομοίωση Αλλαγής Φάσης [4, 16, 17]

Ο υπολογισμός της μετάδοσης θερμότητας στα PCMs είναι περισσότερο περίπλοκος από τον αντίστοιχο υπολογισμό στα συνήθη δομικά υλικά. Οι δυσκολίες προσομοίωσης σχετίζονται με τον μηχανισμό της διαδικασίας αλλαγής φάσης. Το μη γραμμικό αυτό πρόβλημα λαμβάνει χώρα σε μεικτή ζώνη, συνήθως χωρίς καθορισμένα όρια. Στην ζώνη αυτή μέρος του στερεού υλικού μπορεί να αποκολληθεί και να μετακινηθεί στην υγρή φάση υπό την επίδραση της φυσικής συναγωγής. Αντιθέτως, κατά την στερεοποίηση ενδέχεται να δημιουργηθούν κενά μέσα στην στερεά φάση λόγω των μεταβολών του όγκου. Στην υγρή φάση καθώς και στην μεικτή περιοχή μπορεί να λάβει χώρα μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής, με συντελεστές συναγωγής που είναι δύσκολο να προσδιοριστούν.

Η μη γραμμικότητα είναι η πηγή των δυσκολιών σε προβλήματα με μη καθορισμένα όρια και, ως εκ τούτου, αναλυτικές λύσεις για τα προβλήματα αλλαγής φάσης είναι γνωστές μόνο για μερικές φυσικές καταστάσεις που έχουν απλή γεωμετρία και απλές οριακές συνθήκες.

Η πιο γνωστή ακριβή αναλυτική λύση για μονοδιάστατο πρόβλημα, που ονομάζεται το πρόβλημα Stefan, προήλθε από το Neumann.

Η εξίσωση που ακολουθεί γνωστή ως συνθήκη Stefan, περιγράφει την διαδικασία

$$\lambda * \rho * \left(\frac{ds(t)}{dt} \right) = k_s * \left(\frac{\delta T_s}{\delta t} \right) - k_l * \left(\frac{\delta T_l}{\delta t} \right) \quad (2.4.1)$$

- λ: η λανθάνουσα θερμότητα σύντηξης
- ρ: η πυκνότητα
- s(t): η θέση της επιφάνειας
- k: η θερμική αγωγιμότητα
- t: ο χρόνος
- T: η θερμοκρασία

Οι δείκτες l, s αναφέρονται στην υγρή και στερεή φάση αντίστοιχα

Τα προβλήματα αλλαγής φάσης συνήθως επιλύονται με πεπερασμένες διαφορές ή πεπερασμένα στοιχεία, σύμφωνα με την αριθμητική προσέγγιση. Το φαινόμενο αλλαγής φάσης πρέπει να διαμορφωθεί χωριστά, λόγω του μη γραμμικής φύσης του προβλήματος.

Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών ειδών αριθμητικών μεθόδων για την επίλυση των προβλημάτων PCMs. Οι πιο κοινές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι

- η μέθοδος ενθαλπίας και
- η μέθοδος της ενεργού θερμοχωρητικότητας.

2.4.1 Μέθοδος Ενθαλπίας [4, 6, 17]

Βασίζεται στην αριθμητική επίλυση της διαφορικής εξίσωσης της μεταφοράς της ενθαλπίας και είναι κατάλληλη για τον υπολογισμό των λεπτομερειών της διαδικασίας αλλαγής φάσης.

Με την μέθοδο της ενθαλπίας, το πρόβλημα αλλαγής φάσης απλοποιείται και παρουσιάζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα

- ο η εξίσωση που το διέπει είναι κοινή για τις δυο φάσεις
- ο οι όροι διεπαφής επιτυγχάνονται αυτόματα και δημιουργούν μια μεικτή ζώνη μεταξύ των δύο φάσεων

Η μέθοδος της ενθαλπίας είναι μια από τις πιο γνωστές αριθμητικές μεθόδους για την επίλυση του προβλήματος Stefan. Το κύριο πλεονέκτημα της είναι ότι δεν απαιτεί ρητή μεταχείριση του κινούμενου ορίου.

Η συνάρτηση της ενθαλπίας h , ορίζεται συναρτήσει του χρόνου. Για την διαδικασία της αλλαγής φάσης η διατήρηση της ενέργειας μπορεί να εκφραστεί σε όρους της συνολικής ογκομετρικής ενθαλπίας και θερμοκρασίας για σταθερές θερμοφυσικές ιδιότητες, ως εξής

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \nabla(k_k(\nabla T)) \quad (2.4.2)$$

H : είναι η συνολική ογκομετρική ενθαλπία. Είναι το άθροισμα της αισθητής και της λανθάνουσας θερμότητας του PCM

$$H(T) = h(T) + \rho_l * f(T) * \lambda, \quad (2.4.3)$$

$$h = \int_{T_m}^T \rho_k * c_k * dT \quad (2.4.4)$$

Στην ισοθερμική περίπτωση αλλαγής φάσης, το υγρό κλάσμα του τμήματος δίνεται από:

$$f = \begin{cases} 0, & \text{εάν } T < T_m \text{ (στερεή φάση)} & (2.4.5) \\ 0-1, & \text{εάν } T = T_m \text{ (μεικτή φάση)} & (2.4.6) \\ 1, & \text{εάν } T > T_m \text{ (υγρή φάση)} & (2.4.7) \end{cases}$$

Οι εξισώσεις ενθαλπίας του PCM είναι :

$$H = \int_{T_m}^T \rho_s * c_s * dT, T < T_m \quad (2.4.8)$$

$$H = \rho_l * f * \lambda, T = T_m \quad (2.4.9)$$

$$H = \int_{T_m}^T \rho_l * c_l * dT + \rho_l * \lambda, T > T_m \quad (2.4.10)$$

Και η θερμοκρασία του PCM είναι:

$$T = \frac{T_m + H}{\rho_s * c_s}, H < 0 \quad (2.4.11)$$

$$T = T_m, 0 < H < \rho_l * \lambda \quad (2.4.12)$$

$$T = \frac{T_m + (H - \rho_l * \lambda)}{\rho_l * c_l}, H > \rho_l * \lambda \quad (2.4.13)$$

2.4.2 Μέθοδος Ενεργού Θερμοχωρητικότητας [4, 18]

Ακολουθεί την συνήθη διαδικασία αριθμητικής επίλυσης της διαφορικής εξίσωσης μεταφοράς ενέργειας, θεωρώντας ότι η θερμοχωρητικότητα του PCM κατά την αλλαγή φάσης δίνεται από μια συνάρτηση της θερμοκρασίας γνωστή ως «συνάρτηση ενεργού θερμοχωρητικότητας» $C_{p,eff}(T)$.

Όταν η αλλαγή φάσης ενδιαφέρει μόνο σαν μακροσκοπικό φαινόμενο, όπως συμβαίνει στις κτιριακές εφαρμογές, χωρίς την ανάγκη υπολογισμού των λεπτομερειών του μηχανισμού αλλαγής φάσης, τότε προτιμάται η μέθοδος της ενεργού θερμοχωρητικότητας έναντι της μεθόδου της ενθαλπίας. Η μόνη δυσκολία έγκειται στο ότι η συνάρτηση $C_{p,eff}(T)$ πρέπει να είναι γνωστή για το εκάστοτε χρησιμοποιούμενο PCM.

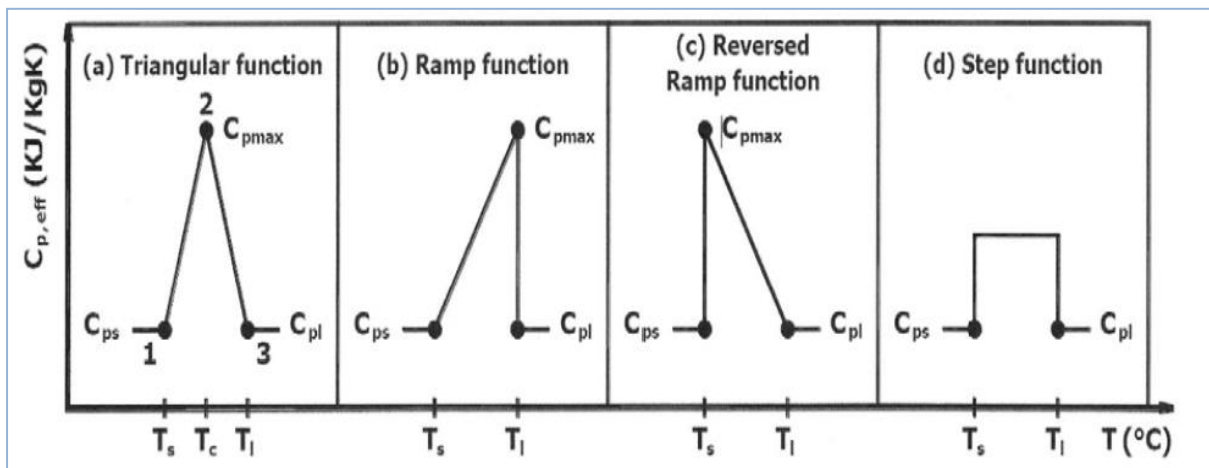
Στην βιβλιογραφία προτείνονται διάφορες πολύπλοκες συναρτήσεις $C_{p,eff}(T)$ της μορφής της κατανομής Gauss, όπως η εκθετική συνάρτηση

$$c_{p,eff}(T) = c_{ps} + H * \left[\exp \left[-0.5 * \left(\frac{T-T_1}{b} \right)^2 \right] \right] \quad (2.4.2.1)$$

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

- C_{ps} : θερμοχωρητικότητα του στερεού PCM
- H : η θερμότητα αλλαγής φάσης
- T_s : θερμοκρασία του στερεού PCM
- T_l : θερμοκρασία του υγρού PCM
- $b = (T_l - T_s)$: εύρος θερμοκρασιών

Μετρήσεις στο Εργαστήριο Ψύξης και Κλιματισμού ΕΜΠ για διάφορα υποψήφια PCMs έδωσαν απλούστερες συναρτήσεις $C_{p,eff}(T)$, οι οποίες απεικονίζονται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 2.4.2.1: Συναρτήσεις $C_{p,eff}(T)$, [4]

Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί η τριγωνική συνάρτηση με αναλυτική έκφραση

$$C_{p,eff}(T) = \frac{4 \cdot (H - b \cdot C_{ps}) \cdot (T - T_s)}{b^2} + C_{ps}, \quad \text{για } T_s \leq T \leq T_c \quad (2.4.2.2)$$

$$C_{p,eff}(T) = \frac{4 \cdot (b \cdot C_{pl} - H) \cdot (T - T_s - \frac{b}{2})}{b^2} + \frac{2 \cdot H}{b} - C_{pl}, \quad \text{για } T_c \leq T \leq T_l \quad (2.4.2.3)$$

- C_{pl} : θερμοχωρητικότητα του υγρού PCM
- C_{ps} : θερμοχωρητικότητα του στερεού PCM
- T_s : θερμοκρασία του στερεού PCM
- T_l : θερμοκρασία του υγρού PCM
- $b = (T_l - T_s)$: εύρος θερμοκρασιών
- $T_c = \frac{T_l + T_s}{2}$: το μέσον του εύρους θερμοκρασιών
- H : η θερμότητα αλλαγής φάσης

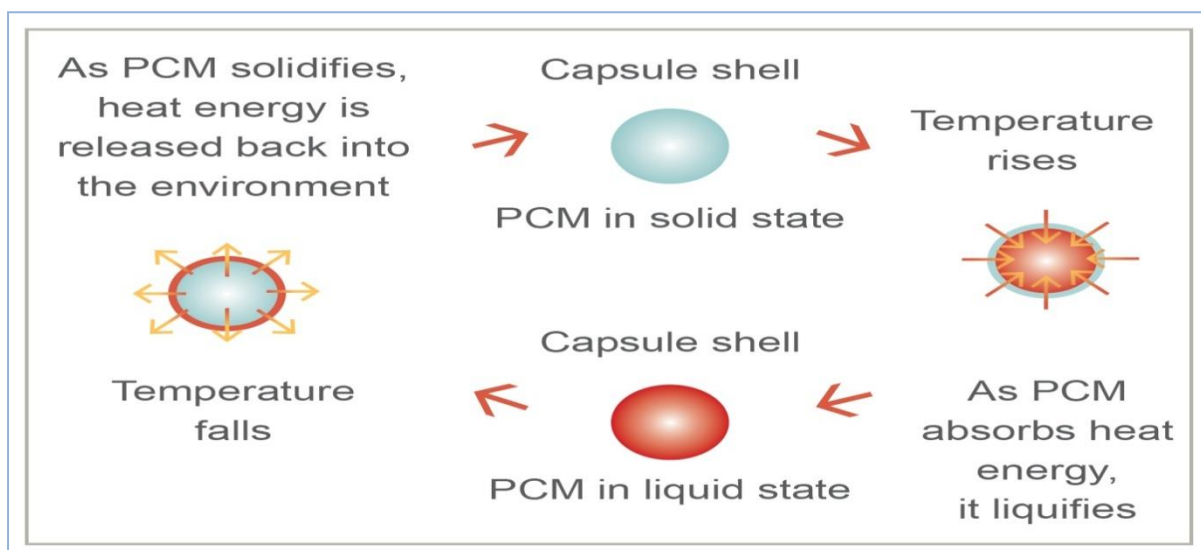
2.5 Ορισμός PCMs

Πρόκειται για υλικά αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας, τα οποία χρησιμοποιούν χημικούς δεσμούς για να αποθηκεύουν και να απελευθερώνουν την θερμότητα. Η μεταφορά θερμικής ενέργειας λαμβάνει χώρα όταν το υλικό μεταβαίνει από στερεό σε υγρό, ή από υγρό σε στερεό. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως αλλαγή κατάστασης ή φάσης.[19]

Το πιο γνωστό PCM είναι το νερό και έχει χρησιμοποιηθεί για εν ψυχρώ αποθήκευση για περισσότερα από 2000 χρόνια. [20]

Πως λειτουργεί:

Το PCM βρίσκεται σε στερεά κατάσταση μέχρι να εφαρμοστεί σε αυτό θερμότητα. Το υλικό, PCM, απορροφά την θερμότητα και μεταβαίνει στην υγρή φάση. Η θερμότητα αποθηκεύεται (συνήθως για μέρες ή ώρες) και το PCM βρίσκεται στην υγρή κατάσταση μέχρι να πέσει η θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Καθώς η θερμοκρασία του περιβάλλοντος πέφτει, η αποθηκευμένη θερμότητα απελευθερώνεται και το PCM επανέρχεται στην στερεά κατάσταση. [21]



Σχήμα 2.5.1: Λειτουργία PCM ,[21]

2.5.1 Κατηγοριοποίηση PCMs

Τα τελευταία 40 χρόνια διάφορες κατηγορίες υλικών όπως ένυδρα άλατα, κεριά παραφίνης, λιπαρά οξέα, εύτηκτες οργανικές και μη οργανικές ενώσεις και πολυμερή έχουν εξετασθεί ως πιθανά PCMs. [1]

2.5.1.1 Κατηγοριοποίηση με Βάση τα Θερμοκρασιακά Εύρη [1]

Με βάση τα θερμοκρασιακά εύρη εντός των οποίων πραγματοποιείται η μετάβαση της φάσης της θερμικής ενέργειας αποθήκευσης τα PCMs μπορούν να χωριστούν σε τρεις κύριες ομάδες

PCM χαμηλής θερμοκρασίας

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα PCMs με θερμοκρασίες μετάβασης φάσης κάτω των 15°C και χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές κλιματισμού και στην βιομηχανία τροφίμων.

PCM μέσης θερμοκρασίας

Πρόκειται για την πιο δημοφιλή ομάδα με θερμοκρασίες μετάβασης φάσης να κυμαίνονται από 15-90 °C. Τα PCMs που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές εξοικονόμησης ενέργειας όπως την ηλιακή, την ιατρική, την κλωστοϋφαντουργία, τα ηλεκτρονικά και στον κτιριακό σχεδιασμό.

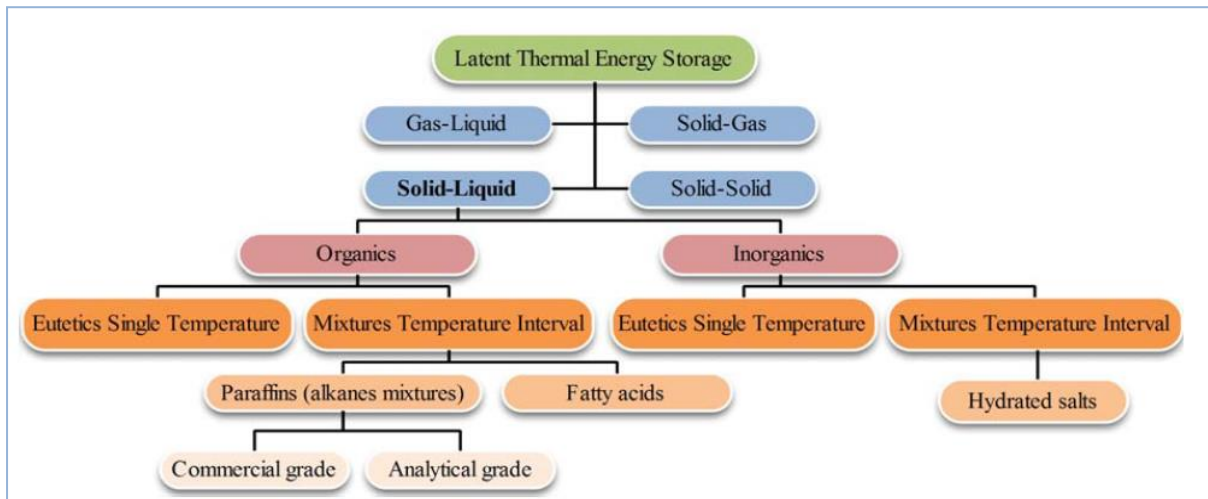
PCM υψηλής θερμοκρασίας

Η μετάβαση φάσης γίνεται πάνω από τους 90 °C και αναπτύχθηκαν κυρίως για βιομηχανικές και αεροδιαστημικές εφαρμογές.

2.5.1.2 Κατηγοριοποίηση με βάση τον τρόπο μετάβασης φάσης

Μια άλλη ταξινόμηση των PCMs μπορεί να γίνει με βάση τον τρόπο μετάβασης φάσης σε συστήματα [1]

- αέριας-υγρής φάσης
- στερεάς-αέριας φάσης
- στερεάς-στερεάς φάσης
- στερεάς-υγρής φάσης



Σχήμα 2.5.1.2.1: Κατηγοριοποίηση των PCMs με βάση τον τρόπο μετάβασης φάσης, [8]

PCMs στερεάς-αέριας φάσης και αέριας υγρής φάσης

Οι εφαρμογές των PCMs με μετάβαση φάσης από στερεό σε αέριο και υγρό σε αέριο περιορίζονται στα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. Ενώ διαθέτουν υψηλή λανθάνουσα θερμότητα κατά την μετάβαση της φάσης, οι μεγάλες μεταβολές όγκου κατά την αλλαγή φάσης τα θέτουν σε περιορισμό όσον αφορά την χρήση τους σε συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. [1]

PCMs στερεής-υγρής φάσης

Τα PCMs που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία είναι οικονομικά και πρακτικά ελκυστικά για συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας λόγω των μικρών μεταβολών όγκου (συνήθως 10% ή λιγότερο) κατά τον μετασχηματισμό από την στερεή στην υγρή φάση παρόλο που εμφανίζουν χαμηλή λανθάνουσα θερμότητα κατά την μετάβαση της φάσης. [1] Τα PCMs στερεής υγρής φάσης που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές αποθήκευσης θερμικής ενέργειας είναι το νερό, τα ένυδρα άλατα, οι παραφίνες, επιλεγμένοι υδρογονάνθρακες, πολυμερή και μεταλλικά κράματα.

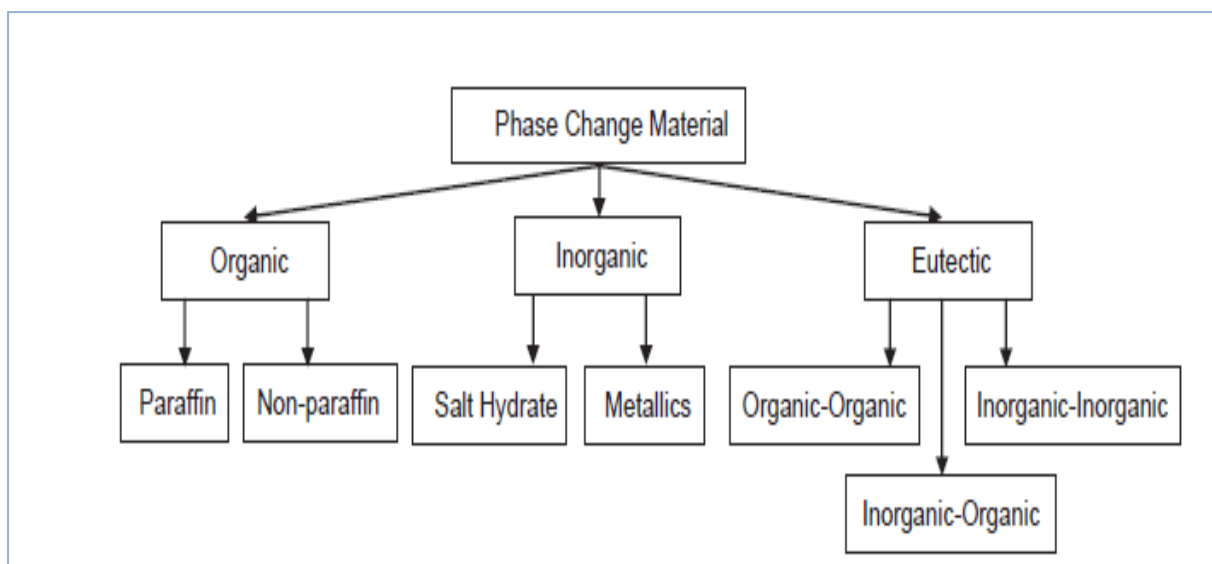
PCMs στερεάς-στερεάς φάσης [1]

Τα PCMs που ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία απασχολούν την θερμότητα που σχετίζεται με την μετάβαση φάσης από μια κρυσταλλική μορφή σε μια άλλη και μπορούν να θεωρηθούν ως εναλλακτική λύση των PCMs στερεάς-υγρής φάσης.

Κυρίως τα στερεάς-υγρής φάσης μελετώνται και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας καθώς τα PCMs στερεάς-στερεάς φάσης παρουσιάζουν μικρότερη λανθάνουσα θερμότητα κατά την μετάβαση της φάσης. Ωστόσο, τα PCMs που ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία παρουσιάζουν τον πλεονέκτημα της μικρής μεταβολής του όγκου κατά την μετάβαση της φάσης και δεν εμφανίζουν προβλήματα διαρροής.

2.5.1.3 Κατηγοριοποίηση με Βάση τη Χημική τους Δομή

Το 1983, ο Abhat εισήγαγε μια αξιοσημείωτη κατηγοριοποίηση των PCMs για εγκαταστάσεις αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. Σύμφωνα με την χημική του δομή το PCM μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε οργανικό, ανόργανο και εϋτηκτο. [22]



Σχήμα 2.5.1.3.1: Κατηγοριοποίηση PCMs με βάση την χημική τους δομή, [22]

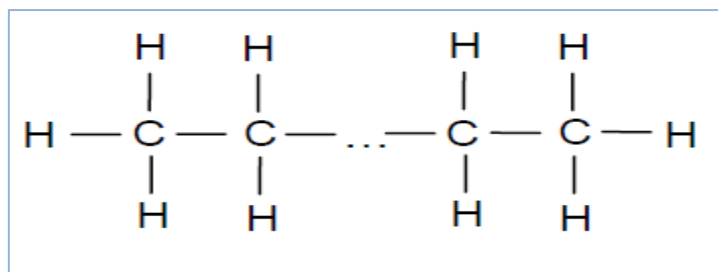
Οργανικά PCMs

Τα οργανικά PCMs διακρίνονται περαιτέρω σε παραφίνες και μη παραφίνες.

Παραφίνες

Πρόκειται για κορεσμένους υδρογονάνθρακες γενικού τύπου C_nH_{2n+2} . Οι παραφίνες αποτελούν τα ευρέως χρησιμοποιούμενα PCMs στερεάς-υγρής μορφής, διαθέτουν υψηλές θερμοχωρητικότητες λανθάνουσας θερμότητας αποθήκευσης σε ένα στενό θερμοκρασιακό εύρος και θεωρούνται ως μη τοξικές και οικολογικά ακίνδυνες.[1]

Η παραφίνη κεριού αποτελείται από ένα μίγμα n-αλκενίων και περιγράφεται από τον γενικό τύπο $CH_3-(CH_2)_n-CH_3$. Η κρυσταλλοποίηση του $(CH_2)_n$ της αλυσίδας απελευθερώνει μεγάλη ποσότητα λανθάνουσας θερμότητας. Σε γενικές γραμμές όσο μεγαλύτερο είναι το μέσο μήκος της αλυσίδας υδρογονανθράκων, τόσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία τήξεως και η θερμότητα σύντηξης.[6] Η εμπορική παραφίνη κεριού, η οποία είναι ένα μείγμα διαφορετικών υδρογονανθράκων, παράγεται με απόσταξη αργού πετρελαίου. Λαμβάνοντας όμως υπόψη το κόστος, μόνο οι τεχνικού βαθμού παραφίνες μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως PCMs σε συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας.[1]



Σχήμα 2.5.1.3.2: Χημική δομή αλκενίων στην σειρά, [20]

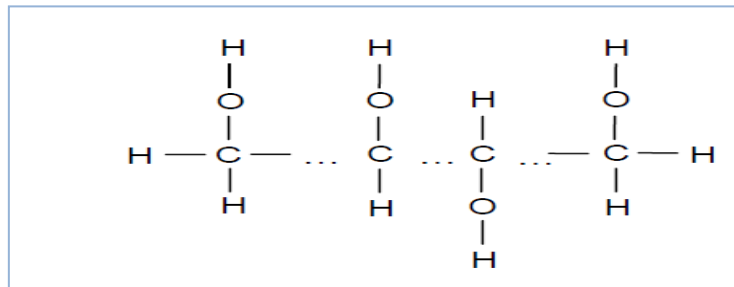
Μη παραφίνες

Οι οργανικές μη-παραφίνες είναι από τα πιο πολυάριθμα υλικά αλλαγής φάσης που παρουσιάζουν ποικιλία στις ιδιότητες. Κάθε ένα από αυτά τα υλικά θα έχει τις δικές του ιδιότητες σε αντίθεση με τις παραφίνες, οι οποίες παρουσιάζουν παρόμοιες ιδιότητες. Πρόκειται για τη μεγαλύτερη κατηγορία υποψήφιων υλικών για την αποθήκευση της αλλαγής φάσης. Χωρίζονται περαιτέρω σε εστέρες, λιπαρά οξέα, αλκοόλες και γλυκόλες.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

- Αλκοόλες [1]

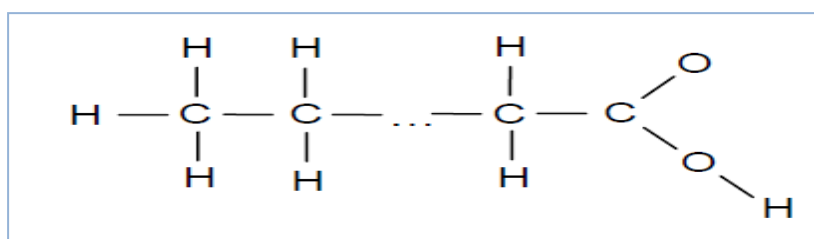
Οι αλκοόλες έχουν δοκιμαστεί για εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας για τέσσερις δεκαετίες, αλλά πρόσφατες προόδους σε τέτοια PCMs σχετίζονται με νανοϋλικά ή ειδικά σύνθετα υλικά με μοναδικές ιδιότητες, όπως η εισαγωγή ηλεκτρικής αγωγιμότητας.



Σχήμα 2.5.1.3.3: Χημική δομή σακχαρών αλκοόλης, [20]

- Λιπαρά οξέα [1]

Περιγράφονται από τον γενικό τύπο $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{2n}\text{COOH}$. Το ενδιαφέρον στα λιπαρά οξέα ως PCMs για αποθήκευση ενέργειας έχει αυξηθεί πρόσφατα καθώς κατέχουν επιθυμητές θερμοδυναμικές και κινητικές ιδιότητες για χαμηλή θερμοκρασία λανθάνουσας θερμότητας αποθήκευσης. Εμφανίζουν υψηλή λανθάνουσα θερμότητα τήξης, σε σύγκριση με τις παραφίνες, και αναπαραγωγική συμπεριφορά τήξης και στερεοποίησης με ελάχιστη ή καθόλου υπέρψυξη. Κύριο μειονέκτημά τους αποτελεί το κόστος το οποίο είναι 2-2,5 φορές υψηλότερο από του τεχνικού βαθμού παραφίνες.



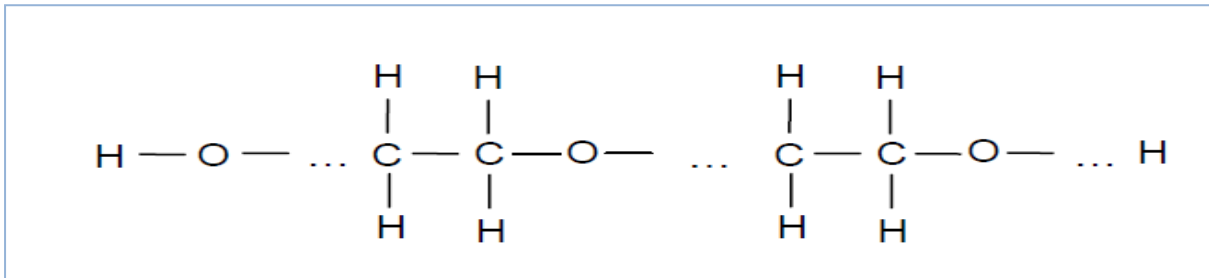
Σχήμα 2.5.1.3.4: Χημική δομή των λιπαρών οξέων, [20]

- Εστέρες [1]

Οι εστέρες λιπαρών οξέων παρουσιάζουν μια μετάβαση από στερεή σε υγρή φάση σε ένα στενό θερμοκρασιακό εύρος και τα μείγματα τους μπορούν να σχηματίσουν ευτηκτικά, παρόμοια με πολλά ανόργανα μίγματα αλάτων, με ελάχιστη ή καθόλου υπέρψυξη. Οι περισσότεροι εστέρες λιπαρών οξέων είναι εμπορικά διαθέσιμοι.

- Πολυμερή [1 , 20]

Η γλυκόλη πολυαιθυλενίου (PEG), είναι ένα πολυμερές με γενικό τύπο $C_{2n}H_{4n}+2O_{n+1}$ και παράγεται από αιθυλενογλυκόλη $C_2H_4(OH)_2$. Η βασική μονάδα από μια γραμμική αλυσίδα PEG είναι μονομερή του $-CH_2-CH_2-O-$, όπως απεικονίζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 2.5.1.3.5: Χημική δομή PEG, [20]

Τα PEG είναι διαθέσιμα σε μια περιοχή μοριακού βάρους από περίπου 200-35000, αυτό αντιστοιχεί σε 5 μονομερή έως περίπου 800 μονομερή.

Το σημείο τήξης τους εξαρτάται από το μοριακό τους βάρος και κυμαίνεται περίπου από 4-7°C, με λανθάνουσα θερμοότητα σύντηξης στο εύρος 117-174 J/g. Αύξηση στο μοριακό τους βάρος οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας τήξης και της θερμότητας που απελευθερώνεται ή απορροφάται κατά την αλλαγή φάσης.

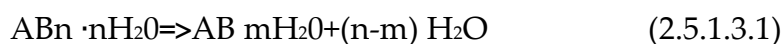
Ανόργανα PCMs

Τα ανόργανα PCMs κατηγοριοποιούνται περαιτέρω σε ένυδρα άλατα και κρύματα.

ένυδρα άλατα [1 , 23 , 20]

Τα ένυδρα άλατα με γενικό τύπο $AB \cdot nH_2O$ είναι ανόργανα άλατα που περιέχουν νερό κρυσταλλώσεως. Κατά την διάρκεια της μετάβασης φάσης λαμβάνει χώρα η αφυδάτωση του άλατος σχηματίζοντας είτε ένυδρο άλας το οποίο περιέχει λιγότερα μόρια νερού είτε άνυδρο άλας.

Σχηματισμός ένυδρου άλατος με λιγότερα μόρια νερού



Σχηματισμός άνυδρου άλατος



ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Ανάλογα με την συμπεριφορά τήξης τα ένυδρα άλατα μπορούν να ταξινομηθούν ως ακολούθως

- ο ένυδρα άλατα με σύμφωνη συμπεριφορά τήξης στην θερμοκρασία τήξης το άλας είναι διαλυτό στο νερό ενυδάτωσης
- ο ένυδρα άλατα με ανάρροστη συμπεριφορά τήξης στην θερμοκρασία τήξης το άλας είναι μόνο μερικώς διαλυτό στο νερό ενυδάτωσης
- ο ένυδρα άλατα με ημι-σύμφωνη συμπεριφορά τήξης κατά την διαδικασία της τήξης οι στερεές και υγρές φάσεις που είναι σε ισορροπία έχουν διαφορετικές συνθέσεις λόγω της μετατροπής του άλατος σε ένυδρο άλας με μικρότερο ποσό ενυδάτωσης

Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο στην οικογένεια των ένυδρων αλάτων είναι το χαμηλού κόστους εξαένυδρο χλωριούχο ασβέστιο ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Ωστόσο, η σημαντική υπέρψυξή του και η υψηλή ευαισθησία του στην υγρασία περιορίζουν την μακροχρόνια χρήση του.

Τα ένυδρα άλατα είναι ελκυστικά για χρήση σε εφαρμογές αποθήκευσης θερμικής ενέργειας λόγω της σχετικά υψηλής θερμικής τους αγωγιμότητας ($\sim 0,5 \text{ W/m}^\circ\text{C}$), υψηλής πυκνότητας αποθήκευσης ανά μονάδα όγκου ($\sim 350 \text{ MJ/m}^3$) και του χαμηλού κόστους συγκριτικά με τις παραφίνες κεριού. Επιπλέον, η τιμή τους είναι συνήθως χαμηλή ($\sim 1 - 3 \text{ €/kg}$), εκτός και αν αγοραστούν στην καθαρή τους μορφή.

Μεταλλικά

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα χαμηλής τήξεως μέταλλα και εύτηκτα μέταλλα. Δεν έχουν ληφθεί ακόμη σοβαρά υπόψη για τεχνολογίες με PCMs λόγω των εμποδίων που θέτει το βάρος τους. Ωστόσο, όταν ο όγκος αποτελεί ζήτημα, είναι πιθανά υποψήφια λόγω της υψηλής θερμότητας σύντηξης ανά μονάδα όγκου.

Εύτηκτα PCMs

Ένα εύτηκτο είναι μία σύνθεση ελάχιστης-τήξης δύο ή περισσότερων συστατικών, καθένα από τα οποία τήκεται και να παγώνει σε συμφωνία σχηματίζοντας ενός μείγμα από επιμέρους κρυστάλλους κατά την κρυστάλλωση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο –ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ PCMs

Στην συνέχεια παρατίθενται πίνακες οργανικών, ανόργανων και εύτηκτων PCMs τα οποία είναι κατάλληλα για κτιριακές εφαρμογές .

Πίνακας 2.5.1.3.1: Οργανικά PCMs – Παραφίνες και Μη Παραφίνες, [22]

| PCM | Θερμοκρασία τήξης (°C) | Θερμότητα τήξης (J/kgK) |
|---|------------------------|-------------------------|
| Propyl palmitate | 16–19 | 186 |
| Glycerin | 17.9 | 198.7 |
| Hexadecane | 18.1 | 236 |
| Butyl stearate | 19 | 140 |
| Propyl palmitate | 19 | 186 |
| Paraffin C ₁₆ ·C ₁₈ | 20–22 | 152 |
| Heptadecane | 20.8–21.7 | 171–172 |
| Dimethyl sabacate | 21 | 120–135 |
| Octadecyl 3-mencaptopropylate | 21 | 143 |
| Paraffin C ₁₇ | 21.7 | 213 |
| Polyglycol E600 | 22 | 127.2 |
| Paraffin C ₁₃ ·C ₂₄ | 22–24 | 189 |
| Octadecyl thioglyate | 26 | 90 |
| Lactic acid | 26 | 184 |
| 1-Dodecanol | 26 | 200 |
| Vinyl stearate | 27–29 | 122 |
| Octadecane | 28–28.1 | 244–250.7 |
| Paraffin C ₁₈ | 28 | 244 |
| Methyl palmitate | 29 | 205 |
| Capric acid | 30.1 | 158 |
| Camphenilone | 39 | 205 |
| Docasyl bromide | 40 | 201 |
| Caprylone | 40 | 259 |

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ**

Πίνακας 2.5.1.3.2: Ανόργανα PCMs - Ένυδρα Άλατα, [22]

| PCM | Θερμοκρασία τήξης (°C) | Θερμότητα τήξης (J/kgK) |
|--|-------------------------------|--------------------------------|
| KF ·4H₂O | 18.5 | 231 |
| FeBr₃ ·6H₂O | 21 | 105 |
| Mn(NO₃)₂ ·6H₂O | 25.8 | 125.9 |
| CaCl₂ ·6H₂O | 29–30 | 171–192 |
| CaCl₂ ·12H₂O | 29.8 | 174 |
| LiNO₃ ·3H₂O | 30 | 296 |
| Na₂SO₄·10H₂O | 31–32.4 | 251.1–254 |
| Na₂SO₄ ·3H₂O | 32 | 251 |
| Na₂CO₃ ·10H₂O | 32–36 | 246.5–247 |
| CaBr₂ ·6H₂O | 34 | 115.5 |
| LiBr₂ ·2H₂O | 34 | 124 |
| Na₂HPO₄ ·12H₂O | 35–36 | 265–281 |
| Zn(NO₃)₂ ·6H₂O | 36–36.4 | 146.9–147 |
| FeCl₃·6H₂O | 37 | 223 |

| Πίνακας 2.5.1.3.3: Εύτηκτα PCMs-Οργανικά και Ανόργανα, [22] | | |
|---|------------------------|-------------------------|
| PCM | Θερμοκρασία τήξης (°C) | Θερμότητα τήξης (J/kgK) |
| 34% $C_{14}H_{28}O_2$ + 66% $C_{10}H_{20}O_2$ | 24 | 147.7 |
| 50% $CaCl_2$ + 50% $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ | 25 | 95 |
| Octadecane +docosane | 25.5-27 | 203.8 |
| Octadecane +heneicosane | 25.8-26 | 173.93 |
| 50% CH_3CONH_2 + 50% NH_2CONH_2 | 27 | 163 |
| Ga | 30 | 80.9 |
| 47% $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ + 53% $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ | 30 | 136 |
| 60% $Na(CH_3COO) \cdot 3H_2O$ + 40% $CO(NH_2)_2$ | 30-31.5 | 200.5-226 |

Παρατηρούμε ότι τα PCMs που παρατίθενται στους παραπάνω πίνακες και είναι κατάλληλα για κτιριακές εφαρμογές εμφανίζουν θερμοκρασιακό εύρος από 18-40°C. Το παραπάνω θερμοκρασιακό εύρος δικαιολογείται από το γεγονός ότι οι θερμοκρασίες της επιφάνειας της στέγης και των εξωτερικών τοίχων ενός κτιρίου μπορούν να φτάσουν πάνω από 40°C.[22]

Όσον αφορά την θερμική άνεση, καθορίζεται από την θερμοκρασία λειτουργίας. Αξίζει να αναφερθεί ότι η ASHRAE έχει προτείνει λίστες με θερμοκρασίες και ρυθμούς ροής αέρας για διαφορετικούς τύπους κτιρίων και περιβαλλοντικών συνθηκών. Η προτεινόμενη θερμοκρασία δωματίου είναι 23.5-25.5 °C για καλοκαίρι και 21-23 °C για χειμώνα. Συνεπώς σε κτιριακές εφαρμογές προτιμώνται ΥΑΦ με θερμοκρασία αλλαγή φάσης (18-30°C) ώστε να ανταποκρίνονται στην απαίτηση για θερμική άνεση.

2.5.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα PCMs

Οργανικά PCMs : Παραφίνες και μη Παραφίνες

Πλεονεκτήματα

- ο διαθέσιμα σένα μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος (κατά προσέγγιση 20°C-70°C)
- ο χημικά αδρανή
- ο δεν υφίστανται διαχωρισμό φάσης
- ο θερμικά αξιόπιστα σε μακροπρόθεσμη βάση(κύκλος τήξης-πήξης)
- ο χαμηλή πίεση ατμών στην τηγμένη μορφή
- ο οι παραφίνες έχουν υψηλή ειδική θερμότητα σε σχέση με τα ένυδρα άλατα
- ο μη διαβρωτικά, ωστόσο τα λιπαρά οξέα είναι μερικώς διαβρωτικά
- ο οικονομικά, ωστόσο, τα λιπαρά οξέα είναι δύο ή δύομιση φορές πιο ακριβά από την παραφίνη τεχνικής κατηγορίας
- ο συμβατά με τα υλικά κατασκευής
- ο μικρή μεταβολή όγκου κατά την διάρκεια της αλλαγής φάσης
- ο μικρή ή καθόλου υπέρψυξη κατά την διάρκεια της ψύξης
- ο αβλαβή (ούτε τοξικά ούτε ερεθιστικά, ωστόσο, οι παραφίνες παρουσιάζουν ποικίλα επίπεδα τοξικότητας)
- ο σταθερά κάτω από τους 500 °C ,ωστόσο, οι μη παραφίνες παρουσιάζουν αστάθεια σε υψηλή θερμοκρασία
- ο ανακυκλώσιμα

Μειονεκτήματα

- ο μικρή θερμική αγωγιμότητα (περίπου 0,2 W/mK)
- ο μετρίως εύφλεκτα
- ο μη συμβατά με πλαστικά δοχεία

Ανόργανα PCMs : Ένυδρα άλατα

Πλεονεκτήματα

- ο υψηλή ογκομετρική λανθάνουσα θερμότητα αποθήκευσης (σχεδόν διπλάσια από τα οργανικά υλικά), περίπου 350MJ/m³
- ο υψηλή λανθάνουσα θερμότητα τήξης
- ο υψηλή θερμική αγωγιμότητα , περίπου 0,5 W/mK
- ο περισσότερο οικονομικά και άμεσα διαθέσιμα
- ο μη εύφλεκτα
- ο συμβατά με πλαστικά δοχεία
- ο καλή αλλαγή φάσης
- ο χαμηλή περιβαλλοντική επίπτωση
- ο δυνατότητα ανακύκλωσης

Μειονεκτήματα

- ο υφίστανται υπέρψυξη κατά την διάρκεια της ψύξης
- ο υφίστανται διαχωρισμό φάσης κατά την αλλαγή φάσης
- ο διαβρωτικά στα περισσότερα μέταλλα
- ο ερεθιστικά
- ο έχουν υψηλή πίεση ατμών (επιφέρει απώλεια νερού και προκαλεί σταδιακή αλλαγή στην θερμική συμπεριφορά κατά την διάρκεια των θερμικών κύκλων)
- ο μπορεί να εμφανίσουν μακροπρόθεσμη υποβάθμιση λόγω οξειδωσης, θερμικής αποσύνθεσης, υδρόλυσης και άλλων αντιδράσεων
- ο παρουσιάζουν μεταβλητή χημική σταθερότητα
- ο υψηλή αλλαγή όγκου

Εύτηκτα

Πλεονεκτήματα

- ο γενικά έχουν καλή θερμοκρασία τήξης
- ο υψηλή ογκομετρική πυκνότητα αποθήκευσης θερμότητας (λίγο πιο πάνω από το οργανικό ΥΑΦ)

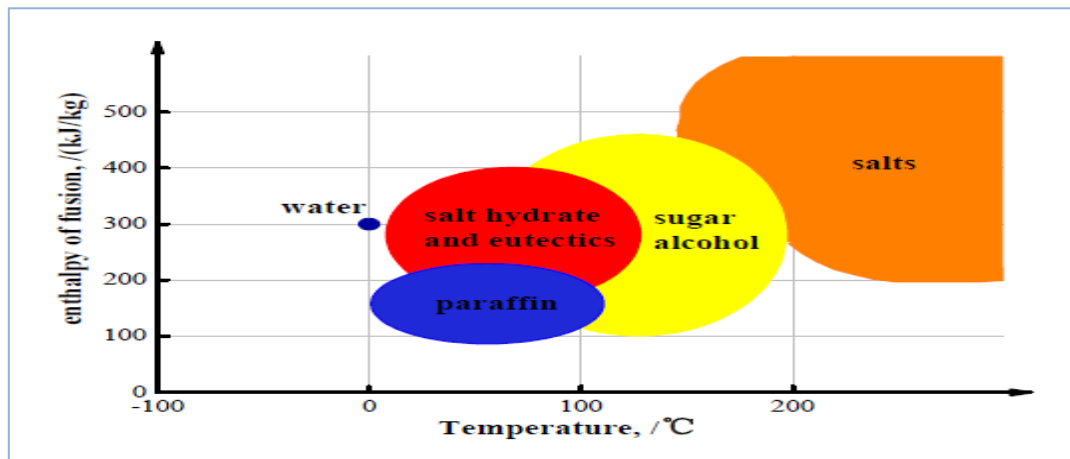
Μειονεκτήματα

- ο υπάρχουν περιορισμένα διαθέσιμα δεδομένα για τις θερμοφυσικές τους ιδιότητες

2.5.3 Κριτήρια Επιλογής PCMs [7, 22, 23]

Δύο εμφανείς απαιτήσεις των PCMs είναι η κατάλληλη θερμοκρασία αλλαγής φάσης και η υψηλή ενθαλπία τήξης. Τα PCMs είναι απαραίτητο να πληρούνται ώστε να αποθηκεύουν και να απελευθερώνουν την θερμότητα ολοκληρωτικά.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το τυπικό εύρος θερμοκρασίας τήξης και ενθαλπίας τήξης των πιο συνηθισμένων κατηγοριών PCMs.

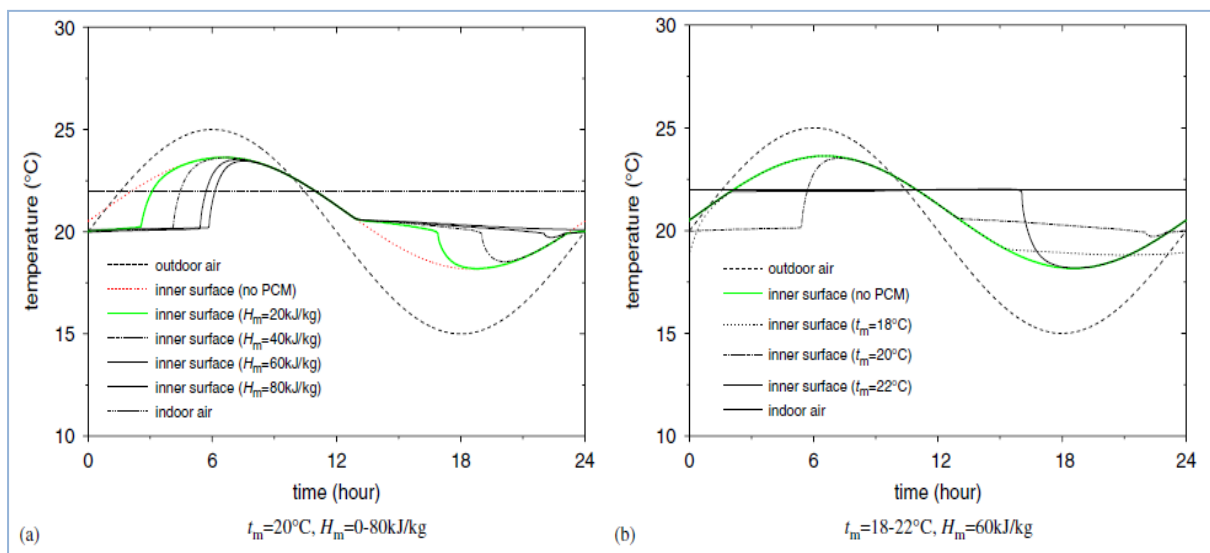


Σχήμα 2.5.3.1: Θερμοκρασία τήξης και λανθάνουσα θερμότητα για αρκετά ΥΑΦ, [23]

Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν σε κτιριακές εφαρμογές τα PCMs πρέπει να παρουσιάζουν μερικές επιθυμητές θερμοφυσικές, κινητικές, χημικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές ιδιότητες. Λαμβάνοντας υπόψη ότι κανένα ΥΑΦ δεν μπορεί να έχει όλες τις επιθυμητές ιδιότητες η επιλογή του PCM για μια δεδομένη κτιριακή εφαρμογή για αποθήκευση θερμικής ενέργειας απαιτεί προσεκτική εξέταση των θερμοφυσικών, κινητικών, χημικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών ιδιοτήτων των διαθέσιμων PCMs συγκρίνοντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους και σε μερικές περιπτώσεις επιτυγχάνοντας ένα ασφαλές συμβιβασμό.

Για παράδειγμα όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα που ακολουθούν, για να διατηρηθεί η θερμοκρασία ενός δωματίου στο εύρος της άνεσης για μεγάλο χρονικό διάστημα (ακόμα και ολόκληρο τον χρόνο) χωρίς φορτίο θέρμανσης ή ψύξης, η θερμότητα σύντηξης του PCM, H_m , θα πρέπει να είναι υψηλή προκειμένου να διατηρείται η εσωτερική επιφάνεια του τοίχου στην θερμοκρασία τήξης για μια ολόκληρη μέρα ή ακόμα και για έναν ολόκληρο χρόνο. Επιπλέον, η θερμοκρασία τήξης του PCM, t_m , θα πρέπει να βρίσκεται στο εύρος της άνεσης. Η επιλογή της t_m θα πρέπει να γίνει με βάση τις κτιριακές και κλιματικές συνθήκες.

Επιλογή PCM με ακατάλληλη για την εφαρμογή θερμοκρασία τήξης δεν θα οδηγήσει στην αποτελεσματικότητα του συστήματος. Εάν η θερμοκρασία t_m είναι υψηλότερη από αυτήν που απαιτείται, τότε δεν θα αποθηκεύεται επαρκής ποσότητα θερμότητας στο PCM κατά την διάρκεια της ημέρας, ενώ εάν η θερμοκρασία t_m είναι χαμηλότερη από αυτήν που απαιτείται, τότε είναι δύσκολο να διατηρηθεί η εσωτερική θερμοκρασία στο επίπεδο της άνεσης κατά την διάρκεια της νύχτας.



Σχήμα 2.5.3.2: Θερμοκρασία εσωτερικής επιφάνειας τοίχου PCM με διαφορετική θερμοκρασία τήξης και λανθάνουσα θερμότητα σύντηξης, [7]

Ο Ρεϊρρο και οι συνεργάτες του μελέτησαν τοίχο PCM σε ένα ηλιακό παθητικό κτίριο και τα αποτελέσματα της ανάλυσης κατέδειξαν ότι η βέλτιστη ημερήσια αποθήκευση θερμότητας λαμβάνει χώρα με θερμοκρασία τήξης 1-3 °C πάνω από την μέση θερμοκρασία του δωματίου.

Το ιδανικό PCMs πρέπει να πληροί τα ακόλουθα κριτήρια που σχετίζονται με τις:

Θερμοφυσικές ιδιότητες

- θερμοκρασία αλλαγής φάσης κατάλληλη για την εφαρμογή, προκειμένου να διασφαλίζεται η αποθήκευση και η απελευθέρωση της θερμότητας
- υψηλή λανθάνουσα θερμότητα τήξης ανά μονάδα όγκου έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί μικρότερου μεγέθους container
- υψηλή θερμική αγωγιμότητα που να βοηθάει στην φόρτιση και εκφόρτιση του PCM μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

- υψηλή ειδική θερμότητα ώστε πρόσθετη θερμότητα υπό τη μορφή αισθητής θερμότητας να είναι διαθέσιμη στο σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας
- μικρή αλλαγή όγκου κατά την διάρκεια της αλλαγής φάσης και χαμηλή πίεση ατμών ώστε να αποφευχθούν προβλήματα συγκράτησης
- το PCM θα πρέπει να λιώνει πλήρως κατά την διάρκεια αλλαγής φάσης ώστε οι υγρές και στερεές φάσεις να είναι ομοιογενείς
- θερμική αξιοπιστία (δηλαδή κυκλική σταθερότητα) ώστε το PCM να είναι σταθερό στην θερμοκρασία αλλαγής φάσης και την λανθάνουσα θερμότητα σύντηξης μακροπρόθεσμα

κινητικές ιδιότητες

- υψηλός ρυθμός πυρηνοποίησης προκειμένου να αποφευχθεί η υπέρψυξη του PCM
- υψηλός ρυθμός ανάπτυξης κρυστάλλων ώστε η ανάκτηση θερμότητας από το σύστημα να είναι η βέλτιστη

χημικές ιδιότητες

- χημικά συμβατά με την κατασκευή/ενθυλακωμένα υλικά
- μη υποβάθμιση μετά από ένα μεγάλο αριθμό κύκλων (τήξης-πήξης) ώστε να διασφαλιστεί μεγάλη διάρκεια ζωής
- μη τοξικό, μη αναφλέξιμο και μη εκρηκτικό ώστε να εξασφαλιστεί ασφάλεια
- ανθεκτικό στην διάβρωση με δομικά/ενθυλακωμένα υλικά

οικονομικές ιδιότητες

- εμπορικά διαθέσιμο
- αποτελεσματικό κόστος

περιβαλλοντικές ιδιότητες

- δυνατότητα ανακύκλωσης
- χαμηλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και μη ρυπογόνο κατά την διάρκεια ζωής του

2.6 Μέτρηση Ιδιοτήτων PCMs

Η απόδοση του παθητικού συστήματος λανθάνουσας θερμότητας αποθήκευσης συνδέεται άμεσα με τις ιδιότητες του επιλεγμένου PCM.[22] Οι Akrcar και Medved και οι Cho και Choi έδειξαν ότι η άριστη γνώση των ιδιοτήτων των PCMs είναι απαραίτητη για να αναλυθεί σωστά ένα σύστημα λανθάνουσας θερμότητας αποθήκευσης.[6] Εάν ένα νέο σύστημα πρόκειται να αναπτυχθεί ή να βελτιστοποιηθεί πρέπει να είναι γνωστές εκ των προτέρων οι ιδιότητες του PCM. Ωστόσο, τα στοιχεία που παρέχονται από τους κατασκευαστές των PCMs μπορεί να είναι εσφαλμένα, αβέβαια και υπερβολικά αισιόδοξα. Η ασυνέπεια αυτή επισημαίνεται από πολλούς συγγραφείς.[2] Κατά συνέπεια, πρέπει να πραγματοποιηθούν μετρήσεις προκειμένου να παρθούν οι σωστές τιμές των ιδιοτήτων των PCMs. Μερικές τεχνικές μέτρησης που έχουν αναπτυχθεί παρουσιάζονται στην συνέχεια.[22]

2.6.1 Μέτρηση Ειδικής Θερμοχωρητικότητας

Η αλλαγή φάσης λαμβάνει χώρα σε ένα θερμοκρασιακό εύρος και όχι σε μια σταθερή θερμοκρασία. Συνεπώς, η ειδική θερμοχωρητικότητα και η ενθαλπία του PCM πρέπει να είναι γνωστές συναρτήσει της θερμοκρασίας.[5]

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται πιο συχνά για την μέτρηση της ειδικής θερμοχωρητικότητας των καθαρών PCMs και των σύνθετων τους.

2.6.1.1 DSC [2, 22, 24]

Πρόκειται για μια αναλυτική μέθοδο η οποία αναπτύχθηκε από τον Watson και τους συνεργάτες του το 1962. Ο όρος επινοήθηκε για να περιγράψει τον εξοπλισμό που έχει την ικανότητα να μετρήσει άμεσα την ενέργεια και επιτρέπει την ακριβή μέτρηση της θερμοχωρητικότητας.

Η τεχνική DSC μετρά τις θερμοκρασίες και τις ροές θερμότητας που συνδέονται με τις αλλαγές του υλικού συναρτήσει του χρόνου και της θερμοκρασίας σε ελεγχόμενο περιβάλλον. Επιπλέον, οι μετρήσεις παρέχουν ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα σχετικά με τις φυσικές και χημικές αλλαγές που συνεπάγονται οι ενδόθερμες ή εξώθερμες διαδικασίες. Τυπικές ποσότητες των δειγμάτων κυμαίνονται στο εύρος από 10μL έως 50μL.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Σύμφωνα με τον Kuzniketal η ονομασία διαφορική θερμιδομετρία σάρωσης (DSC) είναι πολύ σαφής.

Θερμιδομετρία: η μέτρηση της ποσότητας της θερμότητας που απορροφάται ή απελευθερώνεται από ένα δείγμα που υποβάλλεται σε θερμοκρασιακή αλλαγή

Διαφορική: οι παραπάνω μετρήσεις του δείγματος γίνονται σε σχέση με το δείγμα αναφοράς του οποίου οι ιδιότητες είναι γνωστές

Σάρωση: θερμική διέγερση με μια γραμμική κλίση της θερμοκρασίας

Οι κύριοι περιορισμοί της DSC είναι ότι :

- ο ορισμένα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας παραλείπονται όπως η συναγωγή στο δείγμα, η ανομοιομορφία της θερμοκρασίας στο δείγμα και ο χρόνος που απαιτείται για την θέρμανση ή την ψύξη του δείγματος
- οι ποσότητες του δείγματος προς ανάλυση είναι μικρές, αν και η ισοδύναμη θερμοχωρητικότητα του δείγματος που υπολογίζεται είναι άμεσα επηρεασμένη από την μάζα του δείγματος και τον ρυθμό θέρμανσης
- η οργάνωση της ανάλυσης είναι πολύπλοκη και ακριβή και η αλλαγή φάσης δεν μπορεί να παρατηρηθεί οπτικά

Ως εκ τούτου το ποσοστό θέρμανσης είναι μια λογική παράμετρος στις μετρήσεις DSC. Για να αποφευχθούν σφάλματα μοντελοποίησης/μέτρησης οι Mehling και Cabeza προτείνουν τιμές ρυθμού θέρμανσης 0.5 K/min για μικρή μάζα και 2K/min για μεγάλη μάζα. Επιπλέον, οι Kuznik και Virgone ανέφεραν ότι τα αποτελέσματα της μεθόδου θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να δείξουν την διαφορά θερμοκρασίας τήξης και στερεοποίησης που χαρακτηρίζει την υστέρηση του PCM.

Αξίζει να αναφερθεί ότι υπάρχουν δυο διαφορετικές πειραματικές διατάξεις της μεθόδου DSC, οι οποίες είναι:

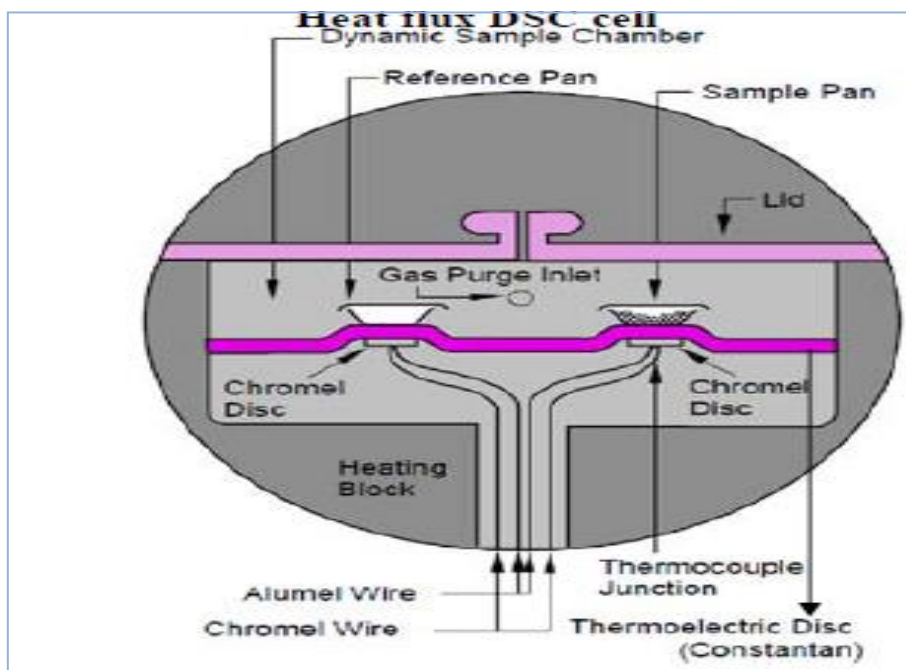
- ο συσκευή ροής θερμότητας και
- ο συσκευή αντιστάθμισης ρεύματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο -ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ PCMs

Στη πειραματική διάταξη DSC, ροής θερμότητας, το δοχείο του δείγματος και της αναφοράς τοποθετούνται στον ίδιο θερμοηλεκτρικό δίσκο, ο οποίος μεταφέρει τη θερμότητα σ' αυτά τα δοχεία. Η θερμοχωρητικότητα του δείγματος θα προκαλέσει μια διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του δοχείου δείγματος και αναφοράς. Αυτή η διαφορά θερμοκρασίας οδηγεί σε διαφορά τάσης, η οποία μετά τη διενέργεια προσαρμογών για την απόκριση των θερμοστοιχείων, είναι ανάλογη με τη ροή θερμότητας.

$$q = \Delta T/R = \Delta U/R * S \quad (2.6.1.1.1)$$

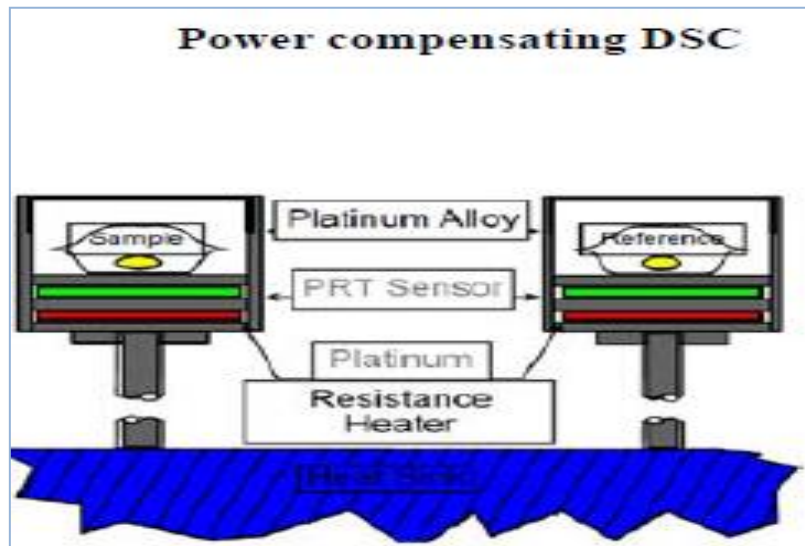
- q =ροή θερμότητας
- ΔT = διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δοχείου δείγματος και αναφοράς
- R =θερμική αντίσταση του θερμοηλεκτρικού δίσκου
- ΔU = διαφορά δυναμικού μεταξύ δοχείου δείγματος και αναφοράς
- S =απόκριση του θερμοστοιχείου



Σχήμα 2.6.1.1.1: Πειραματική διάταξη ροής ισχύος, [22]

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Στην τεχνική DSC αντιστάθμισης ισχύος, το δοχείο του δείγματος και της αναφοράς τοποθετούνται σε δύο ανεξάρτητους θερμαντήρες. Το ρεύμα παρέχεται και στους δύο θερμαντήρες και η διαφορά της δύναμης που απαιτείται για να διατηρηθούν τα δοχεία δείγματος και αναφοράς στην ίδια θερμοκρασία, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ροής θερμότητας.



Σχήμα 2.6.1.1.2: Πειραματική διάταξη αντιστάθμισης ισχύος, [22]

Διάγραμμα μεθόδου DSC και θερμικές ιδιότητες

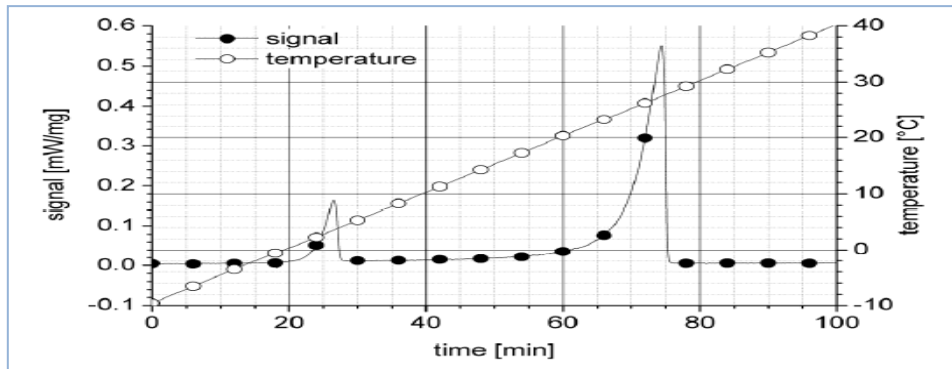
Όσον αφορά την μέθοδο μπορούν να διακριθούν δυο διαφορετικές λειτουργίες, η δυναμική και η λειτουργία ισοθερμικών βημάτων, οι οποίες αναλύονται στην συνέχεια.

Δυναμική λειτουργία

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος λειτουργίας για την τεχνική DSC είναι ένα κεκλιμένο επίπεδο με σταθερή ταχύτητα θέρμανσης. Τυπικά ποσοστά θέρμανσης ή ψύξης για την μέτρηση της ειδικής θερμότητας είναι 2 έως 10 K/min. Το σήμα είναι ανάλογο προς τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δείγματος και αναφοράς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο -ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ PCMs

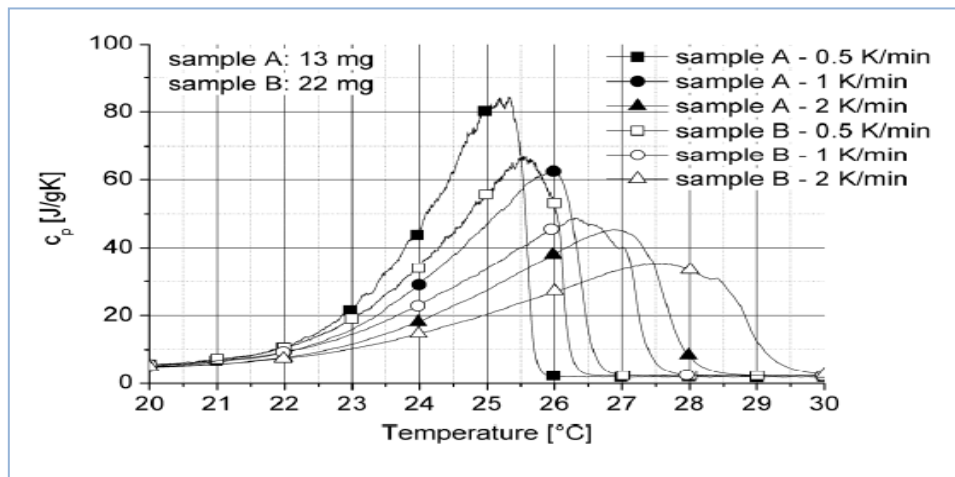
Ένα τυπικό σήμα και διάγραμμα θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια ενός κεκλιμένου επιπέδου θέρμανσης απεικονίζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί



Σχήμα 2.6.1.1.3: Τυπική ροή θερμότητας και εξέλιξη της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια ενός σταθερού ρυθμού θέρμανσης δυναμικής μέτρησης DSC, [24]

Η ειδική θερμότητα του δείγματος ως συνάρτηση του $c_p(T)$ προσδιορίζεται με τη βοήθεια ενός πρότυπου υλικού. Από τα εν λόγω δεδομένα, η χωρητικότητα αποθήκευσης μπορεί να προέλθει με ολοκλήρωση.

Όσον αφορά τις μετρήσεις DSC του ΥΑΦ, η ακρίβεια της μέτρησης εξαρτάται από το ρυθμό θέρμανσης και το μέγεθος του δείγματος.



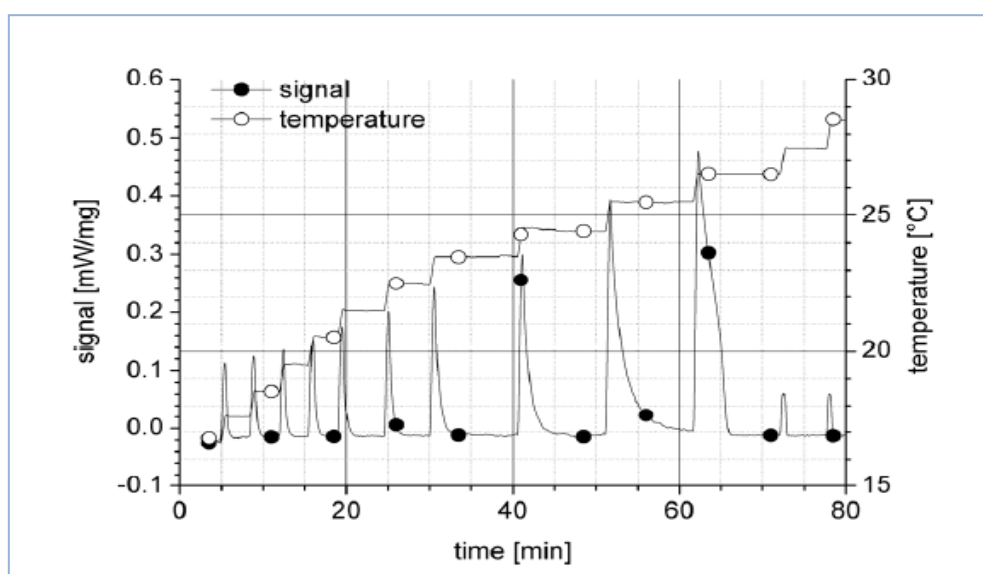
Σχήμα 2.6.1.1.4: Επιπτώσεις της μάζας του δείγματος και της διακύμανσης του ρυθμού θέρμανσης σε δυναμικές μετρήσεις DSC για $c_p(T)$ -διαγράμματα, [24]

Ο καλύτερος δυνατός συνδυασμός της μάζας του δείγματος και του ρυθμού θέρμανσης εξαρτάται από το επιμέρους όργανο. Τυπικές τιμές για την εμπορική εγκατάσταση DSC είναι ρυθμοί θέρμανσης από 0,5-1 K / min και δείγματα 10-25m

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Λειτουργία ισοθερμικών βημάτων

Μια άλλη δυνατότητα για τη λήψη δεδομένων της ικανότητας αποθήκευσης θερμότητας είναι εκτελώντας την μέθοδο DSC σε λειτουργία ισοθερμικών βημάτων. Σε αυτήν την περίπτωση, ο κλίβανος θερμαίνεται σταδιακά σε δεδομένα θερμοκρασιακά διαστήματα. Το δείγμα ακολουθεί τα βήματα με κάποια χρονική καθυστέρηση, και ένα σήμα ανιχνεύεται. Όταν το σήμα πηγαίνει πίσω στο μηδέν, το δείγμα είναι σε θερμική ισορροπία με τον κλίβανο και τότε το επόμενο βήμα μπορεί να θερμανθεί. Η περιοχή κάτω από μια κορυφή είναι ανάλογη με τη θερμότητα που απορροφάται από το δείγμα στο αντίστοιχο βήμα.



Σχήμα 2.6.1.1.5: Τυπική ροή θερμότητας και εξέλιξη της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια μιας βηματικής ισοθερμικής μέτρησης, [24]

Η απορροφούμενη θερμότητα καθορίζεται σταδιακά και αποδίδεται στο διάστημα της θερμοκρασίας του αντίστοιχου βήματος του κεκλιμένου επιπέδου. Η χωρητικότητα αποθήκευσης θερμότητας ή η καμπύλη ενθαλπίας $h(T)$ στη συνέχεια λαμβάνεται προσθέτοντας τις τιμές των βημάτων.

Η ανάλυση της θερμοκρασίας των αποκτηθέντων δεδομένων είναι ίση με το μέγεθος του βήματος. Μια μέτρηση με ισοθερμικά βήματα με την μέθοδο DSC απαιτεί περισσότερο προγραμματισμό και περισσότερο χρόνο για την ίδια τη μέτρηση. Η αξιολόγηση είναι περισσότερο πολύπλοκη από εκείνη της δυναμικής λειτουργίας. Το μεγάλο πλεονέκτημα σε σύγκριση με τη δυναμική λειτουργία είναι ότι η αβεβαιότητα στη θερμοκρασία είναι επακριβώς γνωστή, καθώς περιορίζεται στο μέγεθος βήματος. Μείωση στο μέγεθος του βήματος οδηγεί σε καλύτερη ανάλυση της θερμοκρασίας.

2.6.1.2 DTA [22, 25, 26]

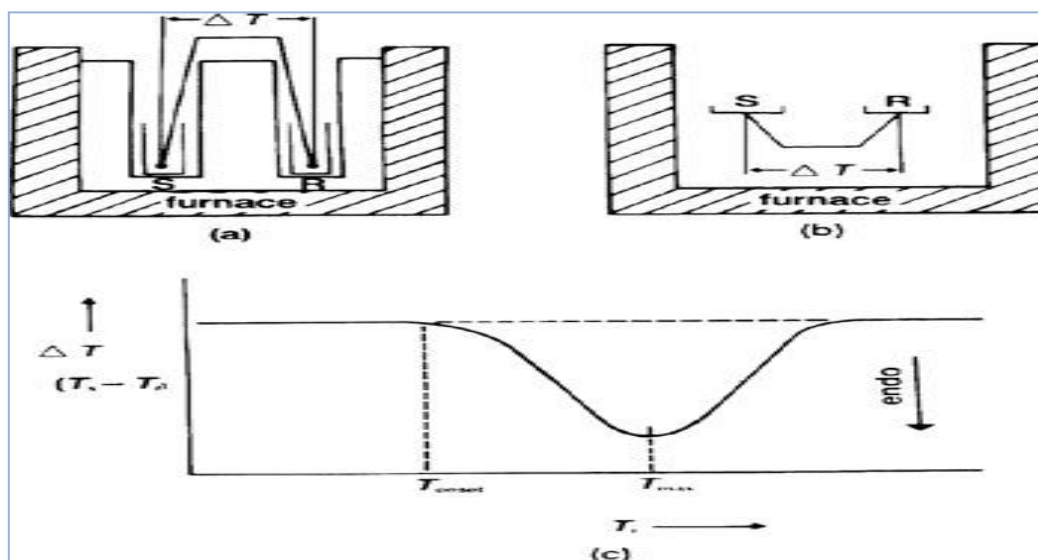
Χρησιμοποιήθηκε από τον Le Chatelier το 1987. Πρόκειται για μια εναλλακτική τεχνική της DSC στην οποία η θερμότητα που εφαρμόζεται στο δείγμα και στο δείγμα αναφοράς παραμένει η ίδια και όχι η θερμοκρασία.

Ενώ η μέθοδος DSC, μετρά την ενέργεια που απαιτείται για να διατηρηθεί το δείγμα και το δείγμα αναφοράς στην ίδια θερμοκρασία, η μέθοδος DTA μετρά την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του δείγματος και του δείγματος αναφοράς όταν και τα δύο υποβάλλονται στην ίδια θερμοκρασία.

Η γραφική παράσταση της θερμοκρασιακής διαφοράς συναρτήσει της θερμοκρασίας ή του χρόνου είναι γνωστή ως καμπύλη DTA και παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί.

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από

- Μια βάση για το δείγμα αποτελείται από θερμοστοιχεία
- δοχεία δειγμάτων
- κλίβανο
- προγραμματιστή θερμοκρασίας
- σύστημα καταγραφής

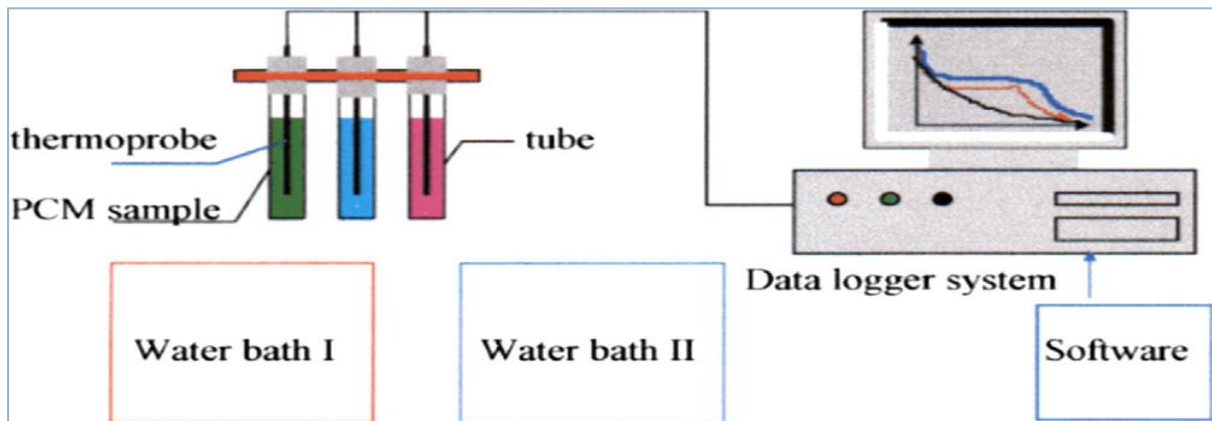


Σχήμα 2.6.1.2.1: Τυπική πειραματική διάταξη DTA, και καμπύλη DTA , [25]

2.6.1.3 Μέθοδος T-history [2, 27]

Η μέθοδος T-history αναπτύχθηκε το 1999 από τον Yinping και τους συνεργάτες του. Όσον αφορά την συγκεκριμένη μέθοδο, επιτρέπει να προσδιοριστεί ταυτόχρονα το σημείο τήξης, η θερμοότητα σύντηξης, ο βαθμός υπέρψυξης, η θερμική αγωγιμότητα και η ειδική θερμοότητα αρκετών δειγμάτων PCMs.

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η πρώτη εγκατάσταση της μεθόδου

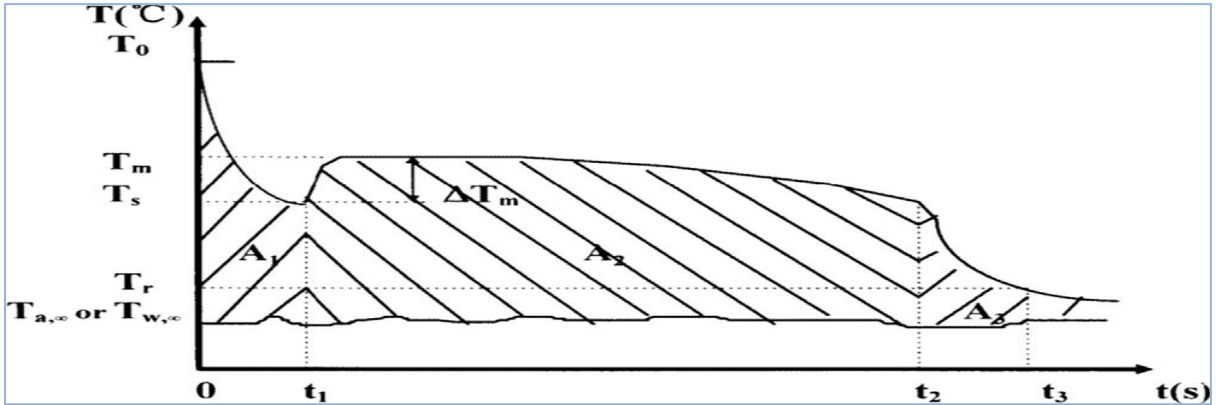


Σχήμα 2.6.1.3.1: Πρώτη πειραματική διάταξη της T-history, [27]

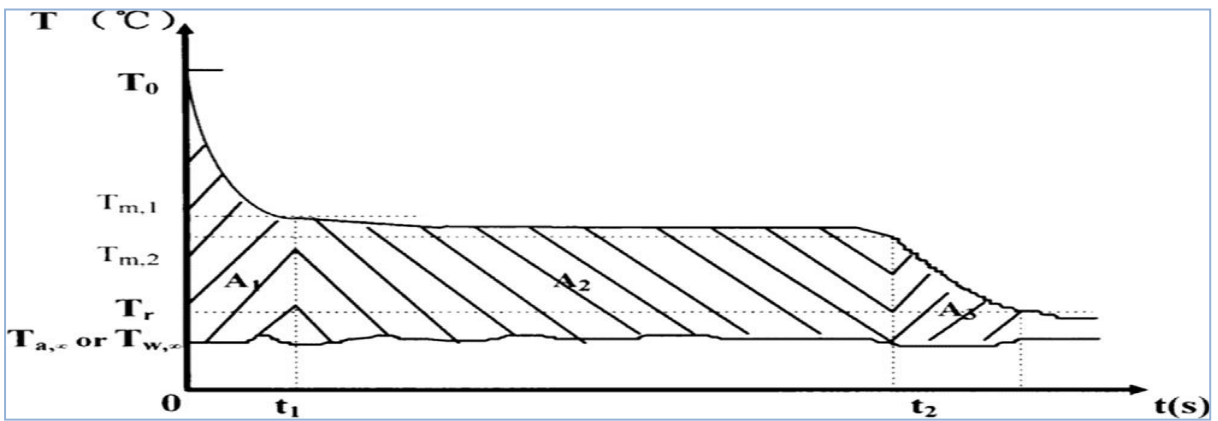
Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε και από την σχηματική απεικόνιση της εγκατάστασης, χρησιμοποιούνται αρκετοί δοκιμαστικοί σωλήνες γεμισμένοι με ΥΑΦ, ένας ή περισσότεροι, και ένας σωλήνας αναφοράς, συνήθως με νερό, λόγω των γνωστών θερμοφυσικών ιδιοτήτων του. Κατά συνέπεια, η διαδικασία αλλαγής φάσης μπορεί να παρατηρηθεί οπτικά κατά την διάρκεια της μέτρησης.

Τόσο οι σωλήνες των δειγμάτων όσο και της αναφοράς προθερμαίνονται σε λουτρό νερού του οποίου η θερμοκρασία είναι υψηλότερη από την θερμοκρασία τήξης. Στην συνέχεια, υπόκεινται ταυτόχρονα σε μια ξαφνική αλλαγή της θερμοκρασίας, καθώς εκτίθενται στην θερμοκρασία περιβάλλοντος.

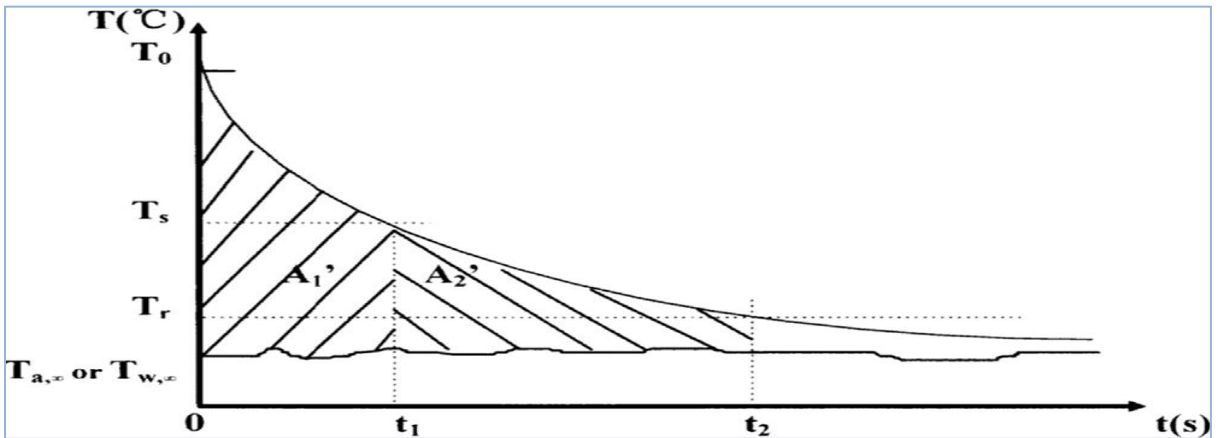
Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις του δείγματος και της αναφοράς όταν υπόκεινται σε ψύξη.



Σχήμα 2.6.1.3.2: Θερμοκρασία ψύξης συναρτήσει του χρόνου όταν το ΥΑΦ εμφανίζει υπέρψυξη,[27]



Σχήμα 2.6.1.3.3: Θερμοκρασία ψύξης συναρτήσει του χρόνου όταν το ΥΑΦ δεν εμφανίζει υπέρψυξη, [27]



Σχήμα 2.6.1.3.4: Θερμοκρασία ψύξης συναρτήσει του χρόνου του δείγματος αναφοράς (νερό), [27]

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Οι θερμικές ιδιότητες προσδιορίζονται συγκρίνοντας τις γραφικές του PCM και της αναφοράς. Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας προσδιορίζεται εξισώνοντας την αισθητή θερμότητα που απελευθερώνεται από την αναφορά και την θερμότητα που μεταφέρεται με συναγωγή από το δείγμα στο περιβάλλον.

Σε σύγκριση με άλλες μεθόδους όπως οι συμβατικές θερμοδομετρικές μέθοδοι ,DSC και DTA , η μέθοδος T-history παρουσιάζει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά

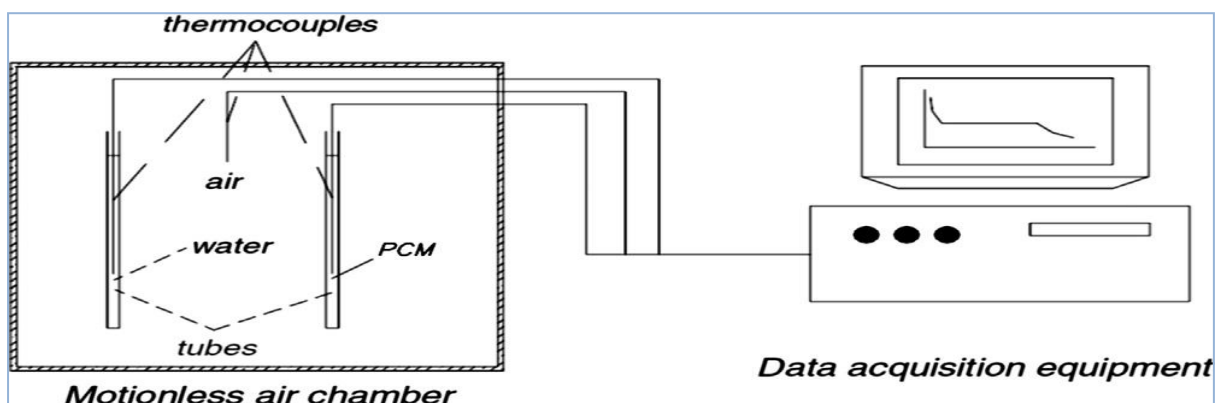
- Έχει σχεδιαστεί για δοκιμές μεγάλων δειγμάτων
- Η πειραματική μονάδα είναι απλή
- Είναι ικανή να μετρήσει πολλές θερμοφυσικές ιδιότητες πολλών δειγμάτων ταυτόχρονα
- Επιτρέπει σε κάποιον να παρατηρήσει την διαδικασία αλλαγής φάσης κάθε δείγματος PCM

Οι Zhang και Jiang μέτρησαν τις θερμοφυσικές ιδιότητες πολλών PCMs με την μέθοδο T-history και βρήκαν ότι υπάρχει συμφωνία μεταξύ των αποτελεσμάτων και των διαθέσιμων στην βιβλιογραφία. Στην βιβλιογραφία αναφέρεται επίσης ότι η μέθοδος βελτιώθηκε από τους Hong , Marin ,Pecket και τους συνεργάτες τους.

Βελτιώσεις της μεθόδου

Η αυθεντική πειραματική εγκατάσταση έχει βελτιωθεί από τους Marin, Sandness, Lazaro, Gunther, Kravvaritis και τους συνεργάτες τους.

Ο Marin και οι συνεργάτες του διεξήγαγαν τα πειράματα ψύξης σε ένα μονωμένο ψυχρό θάλαμο, σε αντίθεση με την αυθεντική μέθοδο, όπου οι δοκιμαστικοί σωλήνες εκτίθενται στην θερμοκρασία περιβάλλοντος.



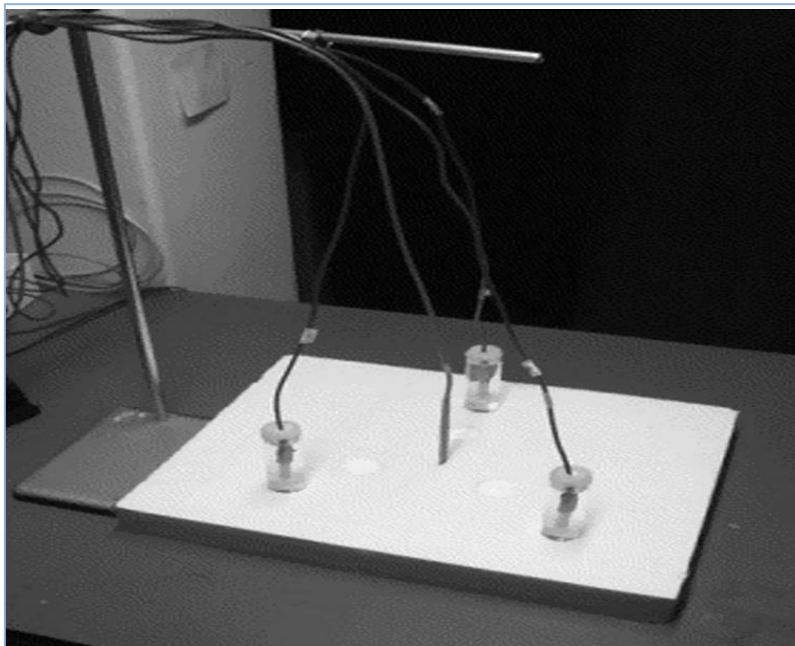
Σχήμα 2.6.1.3.5: Πειραματική διάταξη που προτάθηκε από τον Marin και οι συνεργάτες του, [27]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο –ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ PCMs

Η ιδέα τοποθέτησης των σωλήνων κατά την διάρκεια της ψύξης, σε έναν απομονωμένο θάλαμο υιοθετήθηκε αργότερα από τους Marin, Sandness, Lazaro, Gunther, Kravvaritis και τους συνεργάτες τους.

Ο Marin και οι συνεργάτες του πρότειναν την τοποθέτηση των σωλήνων σε οριζόντια θέση. Η οριζόντια τοποθέτηση των σωλήνων προτάθηκε και από τον Peck και τους συνεργάτες του. Η τοποθέτηση των σωλήνων σε οριζόντια θέση μειώνει τις βαρυτικές κινήσεις από το στερεό στο υγρό. Επιπλέον, τα αποτελέσματα με χρήση σωλήνων σε οριζόντια θέση είναι καλύτερα σε σχέση με την κατακόρυφη τοποθέτηση των σωλήνων.

Η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε από τους Sandness και Rekstad διαφέρει από τις υπόλοιπες.



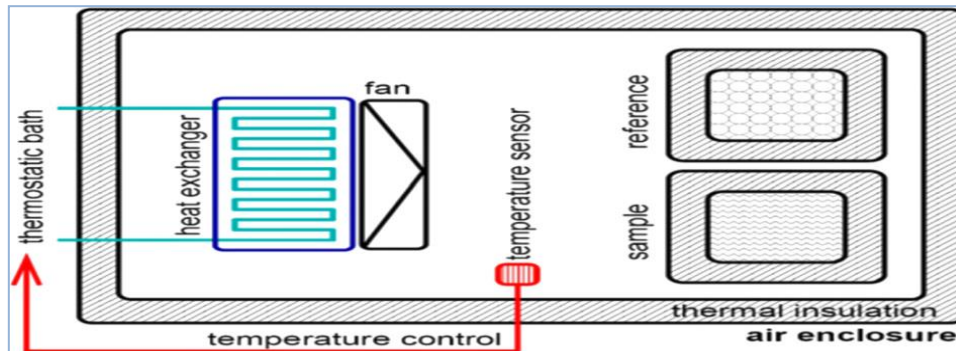
Σχήμα 2.6.1.3.6: Πειραματική διάταξη από τους

Sandness και Rekstad, [27]

Όσον αφορά την πειραματική εγκατάσταση τους χρησιμοποιούνταν σωλήνες που περιείχαν PCMs, αλλά στην πειραματική εγκατάσταση δεν υπήρχε σωλήνας αναφοράς. Προσδιόρισαν την απώλεια θερμότητας συναρτήσει της θερμοκρασίας σε ένα πείραμα αναφοράς το οποίο εκτελέστηκε νωρίτερα, αντί να χρησιμοποιείται σωλήνας αναφοράς σε κάθε μεμονωμένο πείραμα.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

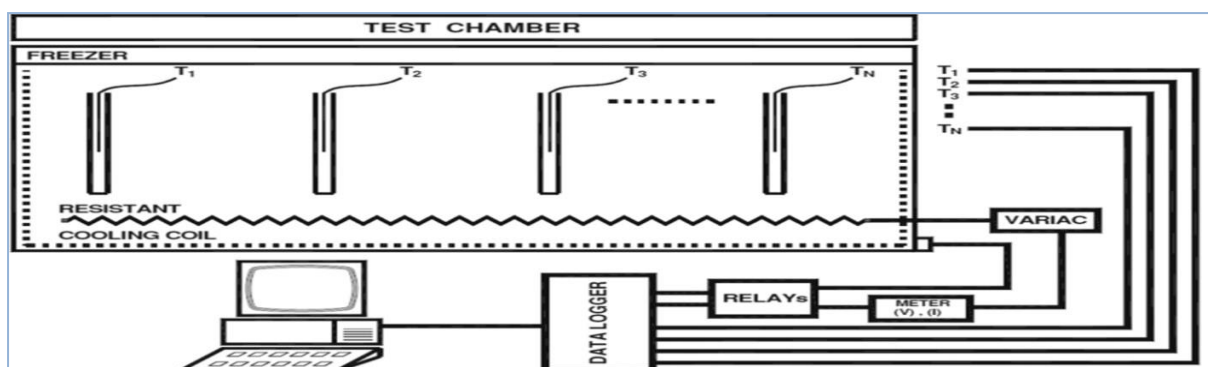
Οι Gunther και Lazaro με τους συνεργάτες τους δημιούργησαν μια νέα εγκατάσταση στο ZAE-Bayern στην Γερμανία, η οποία απεικονίζεται στην εικόνα που ακολουθεί



Σχήμα 2.6.1.3.7: Πειραματική διάταξη στο ZAE-Bayern στην Γερμανία, [27]

Η εγκατάσταση αποτελείται από ένα PID controller που συνδέεται με ένα θερμοστατικό λουτρό, το οποίο παρέχει θερμοκρασιακό εύρος από -20 έως 65 °C

Ο Kravvaritis και οι συνεργάτες του αποφάσισαν να τοποθετήσουν ηλεκτρικές αντιστάσεις και πηνία ψύξης. Η πειραματική διάταξη αποτελείται από θάλαμο δοκιμής. Στο εσωτερικό του περιβλήματος το δείγμα και η αναφορά είναι μονωμένα. Έτσι, ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από το περιβάλλον προς το δείγμα αναφοράς και μπορεί να θεωρηθεί το ίδιο



Σχήμα 2.6.1.3.8: Πειραματική διάταξη από τον Kravvaritis και οι συνεργάτες του, [27]

Με αυτές τις προσθήκες κατάφεραν να πετύχουν ένα μεγαλύτερο θερμοκρασιακό εύρος από -30 έως 120 °C . Ως αναφορά χρησιμοποιήθηκε διπλά αποσταγμένο νερό.

2.6.2 Μέτρηση Θερμικής Αγωγιμότητας [5, 22, 28]

Προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση του PCM όσον αφορά την θερμική αγωγιμότητα, είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί αρχικά η θερμική αγωγιμότητα του PCM ή του σύνθετου PCM.

Η θερμική αγωγιμότητα ενός δείγματος μπορεί να μετρηθεί με

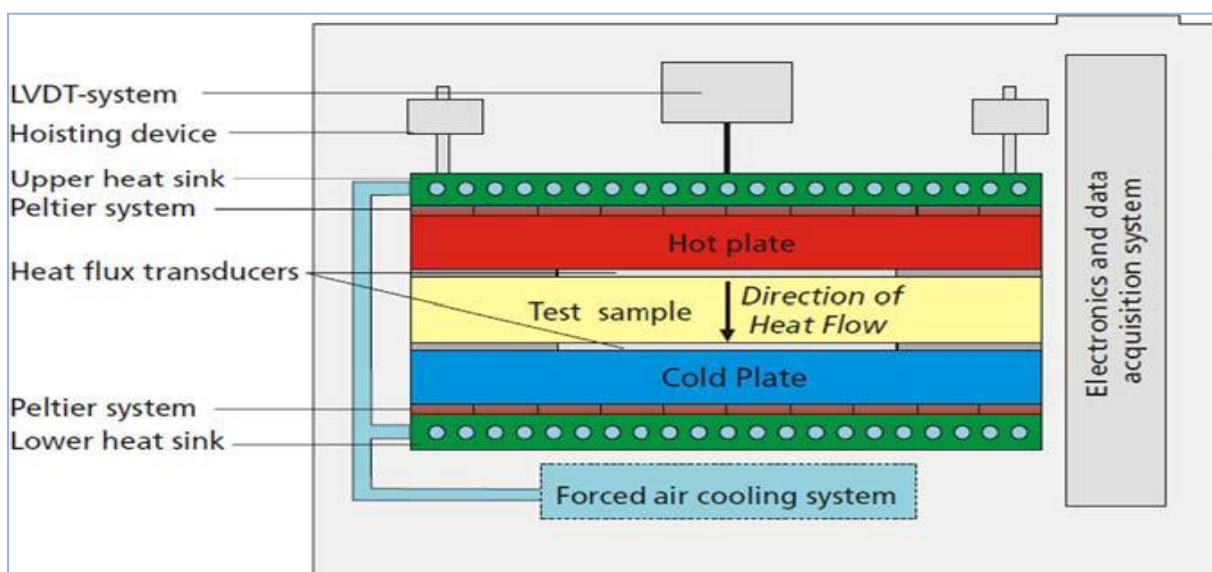
- Μεθόδους σταθερής κατάστασης (steady state methods)
- Μεθόδους μη σταθερής κατάστασης (non-steady state methods)

2.6.2.1 Steady State Methods

Σε αυτή την μέθοδο, οι μετρήσεις γίνονται όταν η θερμοκρασία του PCM είναι σταθερή. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για να προσδιοριστεί η θερμική αγωγιμότητα σε μεθόδους steady state αναλύονται στην συνέχεια.

Μετρητής ροής θερμότητας (heat flow meter method)

Πρόκειται για μια μέθοδο η οποία είναι απλή στην σύλληψη, γρήγορη και κατάλληλη για ένα ευρύ φάσμα δειγμάτων. Επιπλέον, μπορεί να εφαρμοστεί σε υλικά που έχουν χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, δηλαδή σε υλικά των οποίων η θερμική αγωγιμότητα κυμαίνεται από 0.005-0.5 W/mK, και παρέχει ακριβή αποτελέσματα εφόσον έχει βαθμονομηθεί σωστά.



Σχήμα 2.6.2.1.1: Μετρητής ροής θερμότητας, [22]

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζεται ο μετρητής ροής θερμότητας. Όπως μπορούμε να διακρίνουμε και από το σχήμα, το εξεταζόμενο δείγμα τοποθετείται μεταξύ δύο παράλληλων πλακών διαφορετικής θερμοκρασίας η καθεμία (ή μια πλάκα είναι ψυχρή και η άλλη πλάκα είναι θερμή) και με την χρήση ενός βαθμονομημένου αισθητήρα μπορεί να μετρηθεί η ροή θερμότητας. Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν επέλθει θερμική ισορροπία.

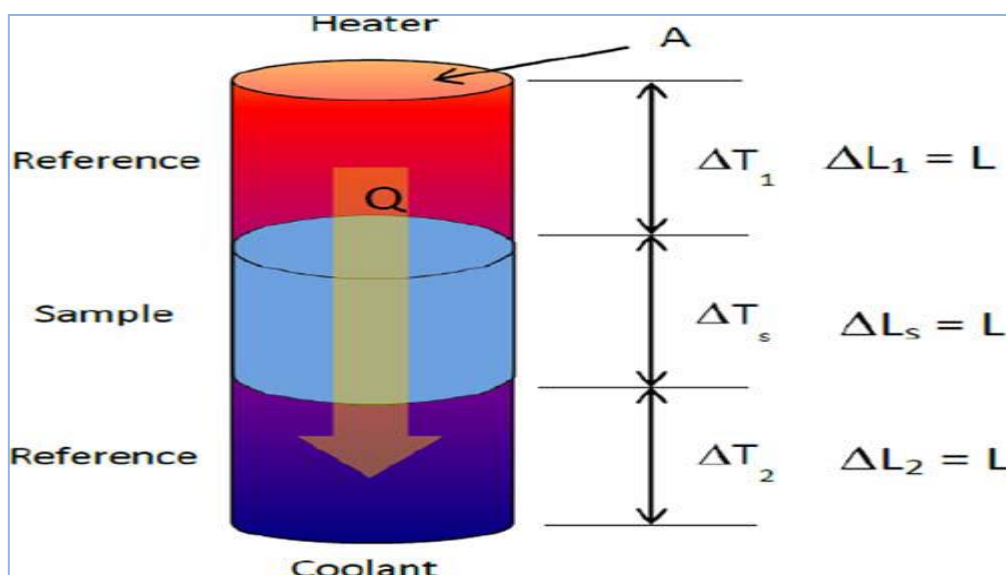
Με χρήση της σχέσης της θερμικής αγωγιμότητας του νόμου Fourier μπορεί να υπολογιστεί στην συνέχεια η θερμική αγωγιμότητα.

$$k=N*(V*\Delta x/\Delta T) \quad (2.6.2.1.1)$$

- k : η θερμική αγωγιμότητα του δείγματος
- N : ο συντελεστής βαθμονόμησης που συσχετίζει το σήμα τάσης του αισθητήρα ροής θερμότητας με την ροή θερμότητας διαμέσου του δείγματος
- V : σήμα τάσης του αισθητήρα ροής θερμότητας
- Δx : το πάχος του δείγματος
- ΔT : η θερμοκρασία διαφορά εγκάρσια του δείγματος

Cut bar comparative method

Πρόκειται για μια μέθοδο μέτρησης της θερμικής αγωγιμότητας η οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε υλικά τα οποία έχουν θερμική αγωγιμότητα που κυμαίνεται από 0.2-200W/mK, με θερμοκρασιακός εύρος μεταξύ 90 και 1300K.



Σχήμα 2.6.2.1.2: Cut bar comparative method, [22]

Το εξεταζόμενο δείγμα όπως μπορούμε να διακρίνουμε και από το παραπάνω σχήμα τοποθετείται μεταξύ δυο δειγμάτων αναφοράς, των οποίων οι ιδιότητες τους είναι γνωστές, και η θερμότητα μεταφέρεται από πάνω προς τα κάτω.

Στις συνθήκες ισορροπίας, η θερμική αγωγιμότητα προέρχεται συγκρίνοντας την θερμική κλίση του δείγματος δοκιμής και των δειγμάτων αναφοράς.

Στην μέθοδο cut bar, η θερμική αγωγιμότητα του εξεταζόμενου δείγματος μπορεί να προσδιοριστεί από την ακόλουθη σχέση

$$Q/A=k*(\Delta T_s/L) \quad (2.6.2.1.2)$$

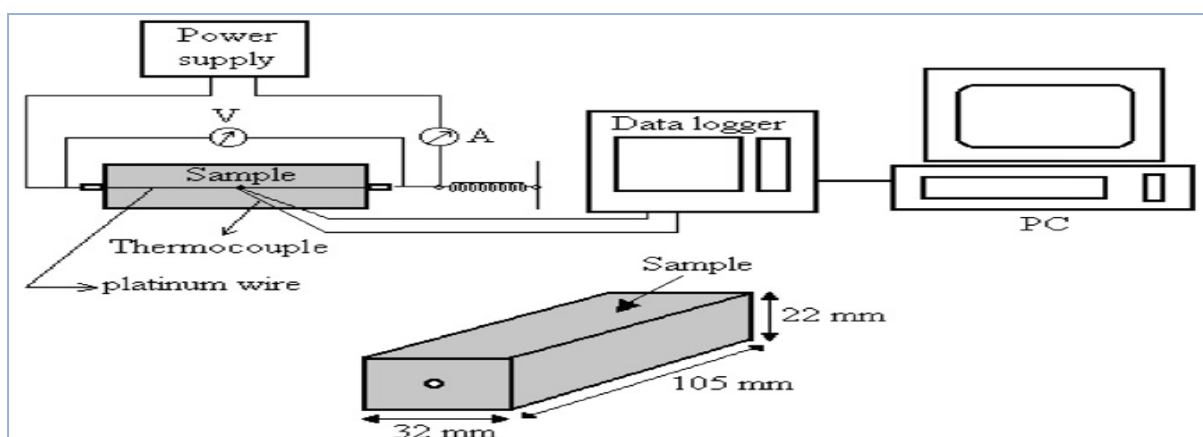
- Q: η ποσότητα της θερμότητας που περνάει διαμέσου της διατομής
- A: η επιφάνεια της διατομής
- k: η θερμική αγωγιμότητα του δείγματος
- ΔTs: η θερμοκρασιακή διαφορά στο μήκος L

2.6.2.2 Non Steady State Methods

Hot wire method

Σύμφωνα με τα Διεθνή Πρότυπα (GB/T 10297-1998) , αυτή η μέθοδος προτείνεται για μέτρηση της θερμικής αγωγιμότητας των ισοτροπικών υλικών με θερμική αγωγιμότητα μικρότερη από 0.2 W/mK.

Αξίζει να αναφερθεί ότι αυτή η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί προκειμένου να διερευνηθεί η θερμική αγωγιμότητα καθαρού PCM και PCM με διάφορες ποσότητες ινών γραφίτη.



Σχήμα 2.6.2.2.1: Hot wire method, [28]

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Σε αυτή την μέθοδο, εφαρμόζεται σταθερό ηλεκτρικό ρεύμα σε καθαρό σύρμα πλατίνας, το οποίο εφαρμόζεται στο δείγμα. Το δείγμα διατηρείται σε σταθερή θερμοκρασία και ο ρυθμός με τον οποίο θερμαίνεται το σύρμα εξαρτάται από το πόσο γρήγορα ρέει η θερμότητα από το σύρμα στο δείγμα. Η αύξηση της θερμοκρασίας του σύρματος μετρείται από την αύξηση της αντίστασης του. Όσον αφορά τον υπολογισμό της θερμικής αγωγιμότητας μπορεί να εφαρμοστεί εξίσωση Fourier.

2.6.2.3 T-history

Η μέθοδος T-history, η οποία προτάθηκε όπως αναφέρθηκε παραπάνω από τους Zhang και τους συνεργάτες τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων θερμικής αγωγιμότητας των PCMs.

Ωστόσο, προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι ο σωλήνας περιέχει το λιωμένο PCM του οποίου η θερμοκρασία είναι ομοιόμορφη, είναι απαραίτητο να πληρούνται οι ακόλουθες συνθήκες

- ο λόγος του μήκους προς την διάμετρο του σωλήνα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 15
- ο αριθμός Biot πρέπει να είναι μικρότερος από 0.1
- ο αριθμός Stefan πρέπει να κυμαίνεται από 0-0.5

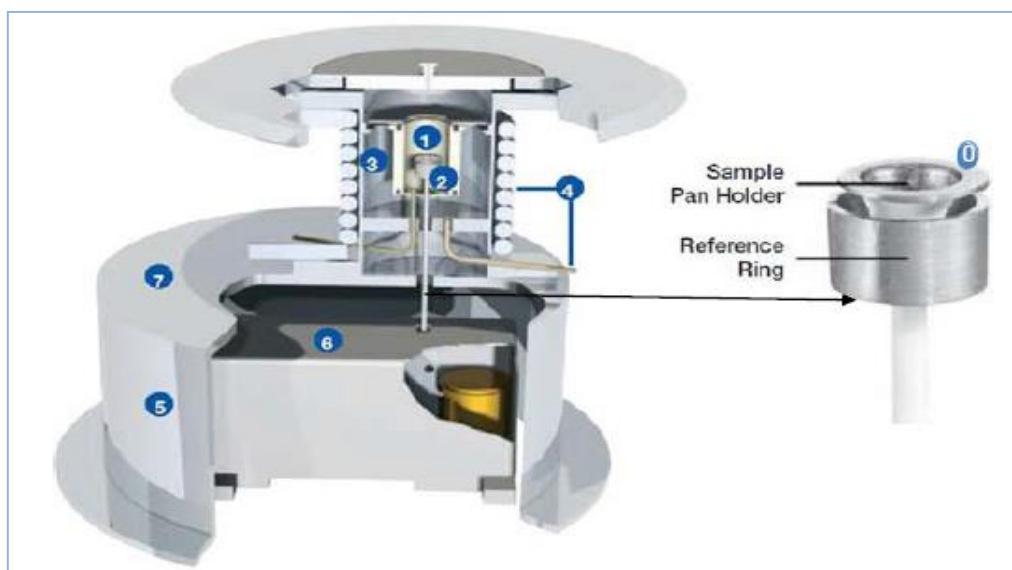
Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση της θερμικής αγωγιμότητας των PCMs των οποίων η διαδικασία αλλαγής φάσης είναι μια σαφής διασύνδεση μεταξύ δυο φάσεων (στην πραγματικότητα, για μερικά ένυδρα άλατα, αυτή η συνθήκη δεν μπορεί να ικανοποιηθεί)

2.6.3 Ανάλυση Θερμικής Σταθερότητας (TGA)

Όσον αφορά τα PCMs, αυτή η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί προκειμένου να προσδιοριστεί η θερμική σταθερότητα του σύνθετου PCM. Πρόκειται για μια πειραματική μέθοδο θερμικής ανάλυσης στην οποία η αλλαγή στο βάρος του υλικού, το οποίο υποβάλλεται σε ένα πρόγραμμα ελεγχόμενης θερμοκρασίας, παρατηρείται συναρτήσει της θερμοκρασίας ή του χρόνου.

Για τις περισσότερες εφαρμογές το βάρος του δείγματος πρέπει να κυμαίνεται από 2 έως 50 mg.

Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων θα εξαρτηθεί από το αν έχει βαθμονομηθεί σωστά η συσκευή. Κατά συνέπεια, απαιτείται βαθμονόμηση βάρους, θερμοκρασίας και ροής θερμότητας.

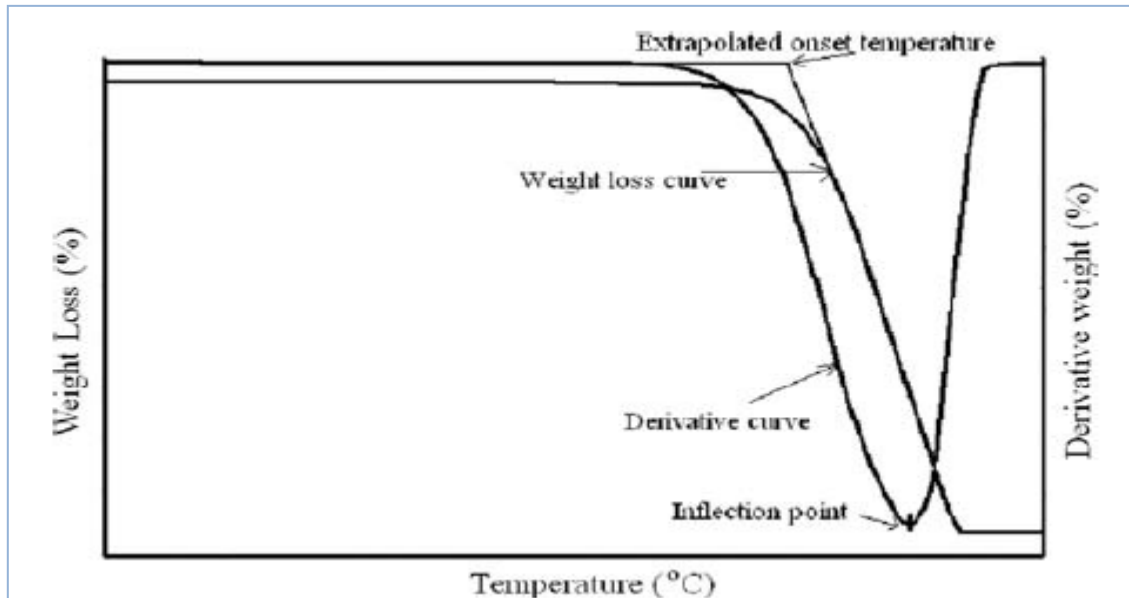


Σχήμα 2.6.3.1: Συσκευή TGA , [22]

Η TGA εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις ακριβείς μετρήσεις της μάζας και της θερμοκρασίας. Κατά συνέπεια, τα βασικά όργανα μέτρησης για τον TGA είναι μια ζυγαριά ακριβείας και ένας προγραμματιζόμενος κλίβανος ο οποίος θερμαίνεται ή ψύχεται κατά την διάρκεια του πειράματος.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τον TGA απεικονίζονται στο σχήμα που ακολουθεί



Σχήμα 2.6.3.2: Διάγραμμα αποτελεσμάτων TGA , [22]

Τα αποτελέσματα από τον TGA μπορεί να παρουσιαστούν

- ο Με την θερμοβαρομετρική καμπύλη, δηλαδή με καμπύλη που απεικονίζει το βάρος συναρτήσει της θερμοκρασίας ή του χρόνου
- ο Με την καμπύλη διαφοράς θερμοκρασίας, δηλαδή με καμπύλη που απεικονίζει τον ρυθμό απώλειας βάρους συναρτήσει της θερμοκρασίας

Από την θερμοβαρομετρική καμπύλη, μπορεί να προσδιοριστεί η απώλεια βάρους καθώς και η θερμοκρασία στην οποία ξεκινάει η απώλεια βάρους ενώ από την καμπύλη που απεικονίζει την διαφορά θερμοκρασίας μπορούμε να καθορίσουμε το σημείο καμπής, δηλαδή το μέγιστο της πρώτης καμπής. Αυτό σημείο παριστάνει το σημείο του μεγαλύτερου ρυθμού μεταβολής της καμπύλης απώλειας βάρους.

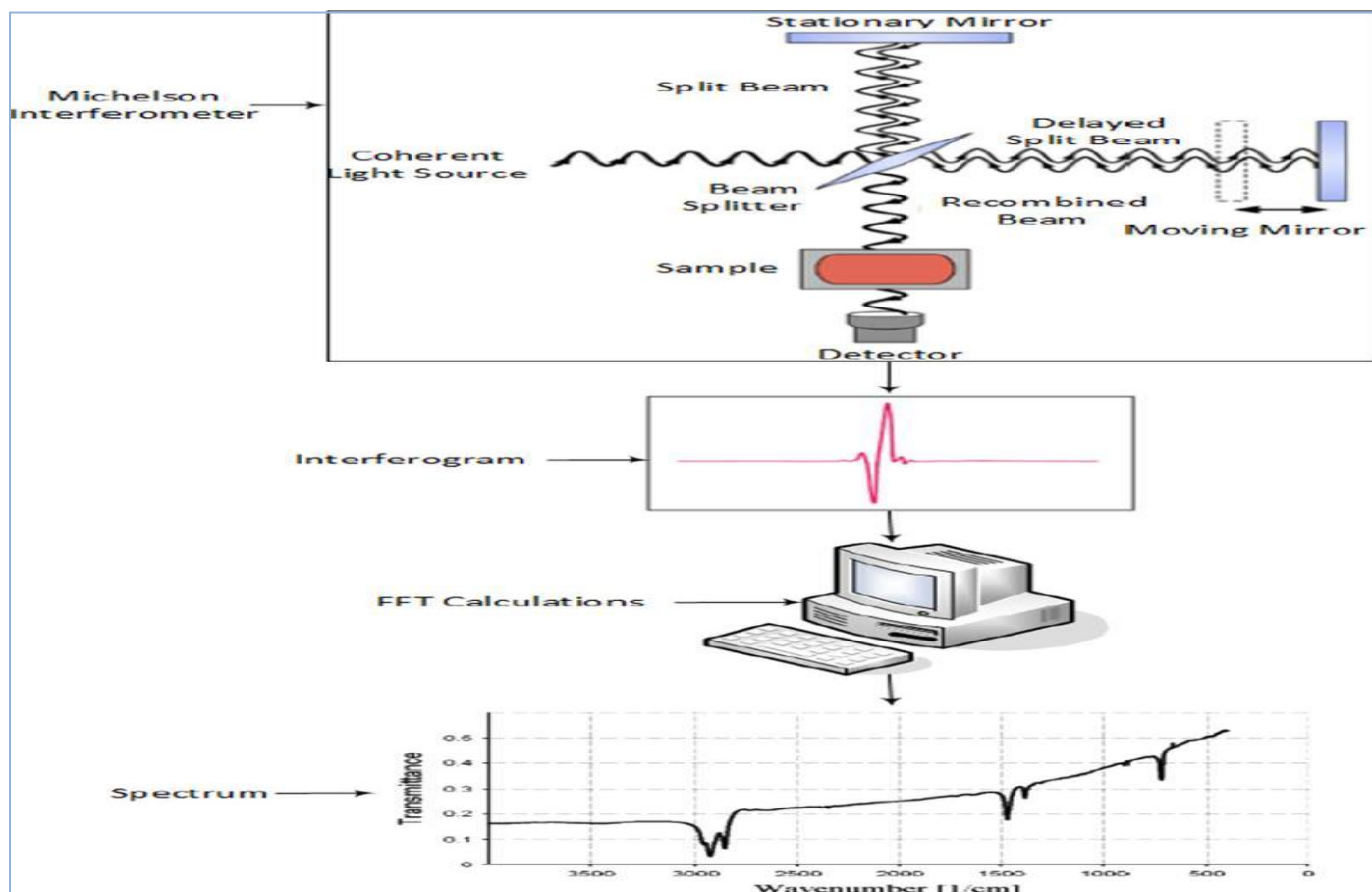
2.6.4 Ανάλυση Χημικής Συμβατότητας (FT-IR)

Για τα PCMs που χρησιμοποιούνται στις κτιριακές εφαρμογές, η μέθοδος FT-IR έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για τον καθορισμό της χημικής συμβατότητας μεταξύ των συστατικών του σύνθετου PCM, δηλαδή μεταξύ του PCM και του περιέκτη ή του ΥΑΦ και του υποστηρικτικού υλικού.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το πρώτο FT-IR φασματοόμετρο (Model FTS-14) εφευρέθηκε το 1969 και από τότε η FT-IR έγινε η προτιμότερη μέθοδος για φασματική ανάλυση.

Κυριότερα πλεονεκτήματα FT-IR

- Υψηλή ταχύτητα
- Βελτιωμένη ευαισθησία
- Μηχανική απλότητα
- Αυτό-βαθμονόμηση

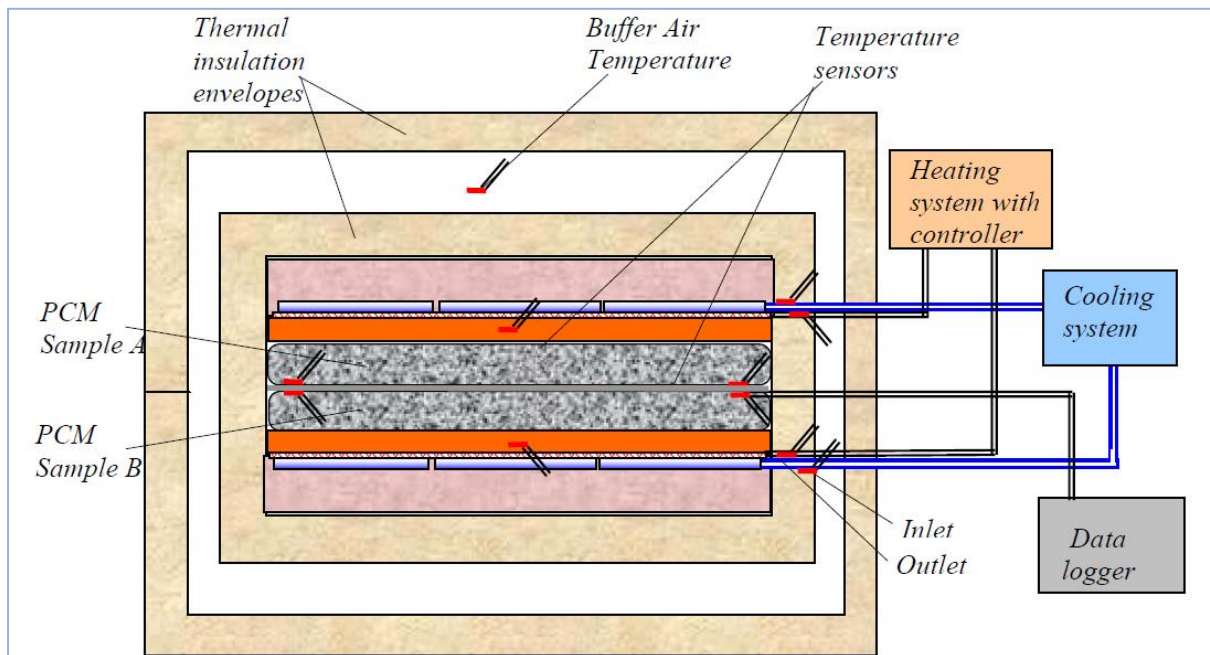


Σχήμα 2.6.4.1: FT-IR , [22]

2.6.5 Double Cell

Πρόκειται για μια νέα μέθοδο θερμιδομέτρησης η οποία αναπτύχθηκε με σκοπό την μέτρηση και την σύγκριση της λαθάνουσας θερμοχωρητικότητας PCM πάνω από πολυάριθμους κύκλους.

Στην συγκεκριμένη μέθοδο η θερμοχωρητικότητα προσδιορίζεται με μέτρηση της θερμικής ενέργειας που απαιτείται μέχρι να λιώσει το δείγμα PCM κάτω από σωστά καθορισμένες συνθήκες.



Σχήμα 2.6.5.1: Συσκευή Double-Cell, [3]

Η τεχνική της δοκιμής βασίζεται σε μια εναλλακτική συμμετρική θέρμανση και ψύξη υπό ελεγχόμενες συνθήκες ενός σχετικά μεγάλου δείγματος PCM (1-2kg) το οποίο τοποθετείται σε ένα καλά μονωμένο περιβλήμα.

Όπως μπορούμε να διακρίνουμε και από την εικόνα της συσκευής, το δείγμα PCM χωρίζεται σε δύο τμήματα ίσου μεγέθους, μέσα σε δύο πλαστικούς θυλάκους και τίθεται σε κατακόρυφη θέση σε καλά θερμοικά μονωμένο κουτί. Οι θύλακες διαχωρίζονται από μία λεπτή μεμβράνη μετάλλου και είναι παρεμβάλλονται μεταξύ δυο πλακών χαλκού ψύξης/θέρμανσης και είναι εξοπλισμένοι με αισθητήρες θερμοκρασίας που βρίσκονται και στις δύο πλευρές των θυλάκων. Οι θύλακες υποβάλλονται σε κύκλους εναλλακτικής θέρμανσης (ηλεκτρική θέρμανση) και ψύξης (ψυκτικό υγρό).

Κατά τη διάρκεια της θέρμανσης, ο ρυθμιστής της θερμοκρασίας προσαρμόζει αυτόματα τη θερμοκρασία των θερμαντικών πλακών στην προκαθορισμένη θερμοκρασία (π.χ. 60 ° C για τον κύκλο θέρμανσης). Ο κύκλος θερμάνσεως διαρκεί όσο απαιτείται για την επίτευξη της προκαθορισμένης θερμοκρασίας στον εσωτερικό χώρο μεταξύ των δειγμάτων PCMs. Συνήθως αυτή η θερμοκρασία ρυθμίζεται περίπου 5 ° C πάνω από τη θερμοκρασία του υλικού αλλαγής φάσης που δοκιμάζεται. Γίνεται η παραδοχή ότι όταν όλοι οι αισθητήρες της θερμοκρασίας για το δείγμα υπερβαίνουν θερμοκρασία που έχει τεθεί το ΥΑΦ έχει λιώσει. Μετά ολοκλήρωση της τήξης του PCM το σύστημα ηλεκτρικής θέρμανσης παύει να λειτουργεί και ενεργοποιείται το σύστημα ψύξης.

Το ψυκτικό υγρό, με μια θερμοκρασία περίπου 8 ° C, κυκλοφορεί μέσω σωλήνωσης που είναι συγκολλημένη στις πλάκες χαλκού. Ο κύκλος ψύξης συνεχίζεται μέχρις ότου η θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου μεταξύ των δειγμάτων PCMs μειωθεί περίπου 6°C κάτω από το επίπεδο της θερμοκρασίας αλλαγής φάσης και κατά συνέπεια επιτυγχάνεται η στερεοποίηση του PCM. Μόλις το όριο χαμηλής θερμοκρασία επιτευχθεί ο κύκλος ψύξης θεωρείται ότι έχει ολοκληρωθεί, το νερό ψύξης διακόπτεται και ενεργοποιείται το σύστημα ηλεκτρικής θέρμανσης.

Η κατανάλωση ενέργειας μετράται μόνο κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης, και καταγράφεται για τον υπολογισμό της θερμοχωρητικότητας του PCM. Οι μετρήσεις της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται για την θέρμανση είναι απλές και ακριβείς. Οι μετρήσεις της ηλεκτρικής ενέργειας, διορθωμένες για την αισθητή θερμότητα του δείγματος PCM, χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της λανθάνουσας θερμότητας. Οι μετρήσεις της λανθάνουσας θερμότητας πραγματοποιούνται ανά εκατό κύκλους και κατά μέσο όρο πάνω από 10 κύκλους για να βελτιωθεί η ακρίβεια.

2.7 Εμπορικά Διαθέσιμα PCMs και Προϊόντα

Μέχρι το 1990, μόνο περίπου 12 επιχειρήσεις, κυρίως στις ΗΠΑ, ασχολούνταν με την κατασκευή των προϊόντων αποθήκευσης της θερμότητας. [29]

Προς το παρόν, οι κύριες εταιρείες εφοδιασμού στην αγορά υλικών αλλαγής φάσης για αποθήκευση θερμότητας και κρύου είναι οι ακόλουθες [29]

- Cristopia (Γαλλία)
- TEAP Energy (Αυστραλία)
- Rubitherm GmbH (Γερμανία)
- EPS Ltd (UK)
- PCM Thermal Solutions (USA)
- Climator (Σουηδία)
- Mitsubishi Chemical (Ιαπωνία)

Στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρονται ορισμένα εμπορικά PCMs [30]

| Πίνακας 2.7.1: Εμπορικά PCMs | | | | | |
|------------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------|
| PCM | Θερμοκρασία τήξης (°C) | Θερμότητα τήξης (kJ/kg) | Θερμοχωρητικότητα (kJ/kgK) | Θερμική αγωγιμότητα (W/mK) | Εταιρεία |
| RT 20 | 22 | 172 | - | - | Rubitherm GmbH |
| RT 25 | 25 | 147 | 2.9(s) 2.1(l) | 1.02(s) 0.56(l) | Rubitherm GmbH |
| RT 27 | 26-28 | 179 | 1.8(s) 2.4 (l) | 0.2 | Rubitherm GmbH |
| STL 27 | 27 | 213 | - | - | Mitsubishi Chemicals |
| Climsel C23 | 23 | 148 | - | - | Climator |
| Climsel C24 | 24 | 216 | - | - | Climator |
| S 27 | 27 | 190 | 1.5(s) 2.22(l) | 0.79(s) 0.48(l) | Cristopia |
| TH 29 | 29 | 188 | - | - | TEAP |
| SP 22 A 17 | 22 | 150 | - | 0.6 | Rubitherm GmbH |
| SP 25 A 8 | 25 | 180 | 2.5 | 0.6 | Rubitherm GmbH |
| SP 29 | 29 | 157 | - | 0.6 | Rubitherm GmbH |

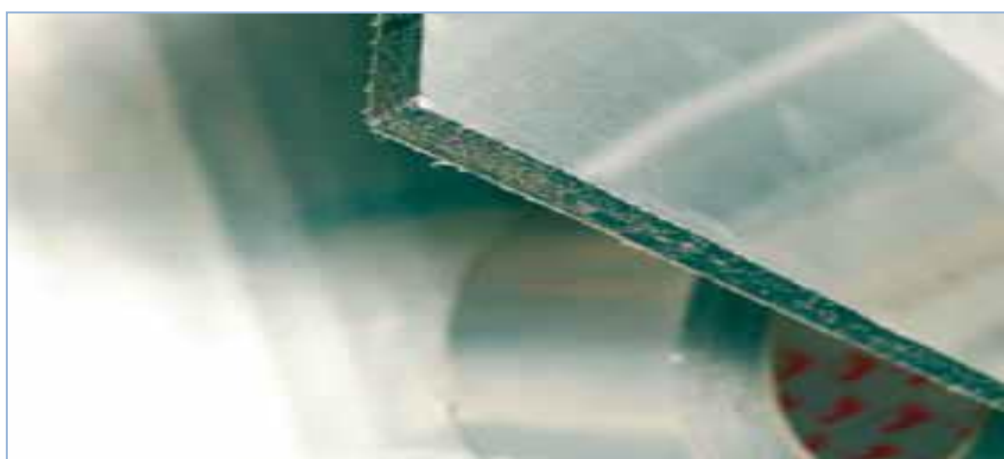
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο –ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ PCMs

Υπάρχουν πολλά είδη PCMs που διατίθενται σήμερα στην αγορά κυρίως κεριά παραφίνης ή άλατα, παρέχοντας έτσι μια μεγάλη ποικιλία από θερμοκρασίες τήξης. Στην συνέχεια παρουσιάζονται πέντε, έτοιμα δομικά υλικά με PCMs, που φαίνεται να έχουν αναπτυχθεί στην αγορά. [31]

Energain από την εταιρεία DuPont [31 , 32]

Πρόκειται για ένα πάνελ το οποίο αποτελείται από απανωτές στρώσεις αλουμινίου, το υλικό πυρήνας είναι ένα μείγμα από ένα συμπολυμερές και το PCM είναι κερι παραφίνης, το οποίο παρέχει τη λειτουργικότητα του πίνακα. Σε θερμοκρασίες κάτω από 18 ° C, η παραφίνη παραμένει σε στερεοποιημένη κατάσταση. Μόλις η θερμοκρασία μέσα σε ένα δωμάτιο θα ανέλθει σε 22 ° C, λόγω των ηλιακών κερδών ή / και εξωτερικές θερμοκρασίες, η αλλαγή φάσης πραγματοποιείται και τα λιώνει το κερι παραφίνης. Αντιστρόφως, καθώς η εσωτερική θερμοκρασία πέφτει, φθάνοντας σε θερμοκρασία των 18 ° C, η παραφίνη στερεοποιείται, απελευθερώνοντας θερμότητα στο εσωτερικό περιβάλλον.

| Πίνακας 2.7.2: Διαστάσεις προϊόντος , [32] | |
|--|---|
| Πάχος | 5,26 mm |
| Πλάτος | 1m |
| Μήκος | 1,2m |
| Βάρος/m ² | 4.5 kg/m ² |
| Ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας | 515 KJ/m ² στο εύρος 18-24 ° C |

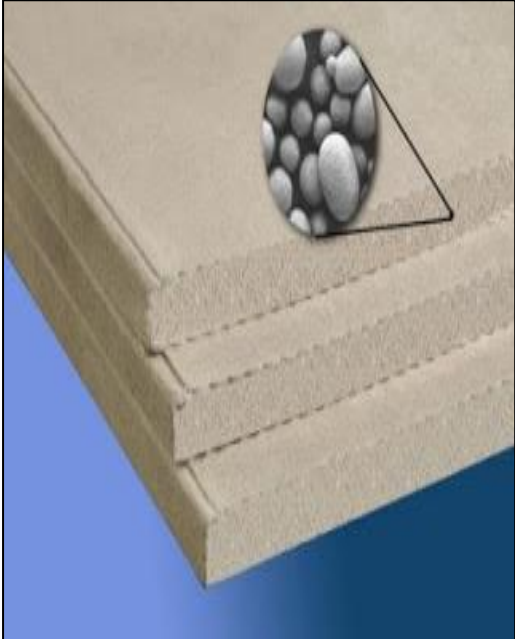


Σχήμα 2.7.1: Energain από την εταιρεία DuPont ,[32]

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

SMARTBOARD από την εταιρεία BASF που διατίθεται στην αγορά από τη Knauf [31 , 33 , 34]

Πρόκειται για γυψοσανίδα εμποτισμένη με Micronal PCM από την BASF. Το PCM είναι παραφίνη μικροενθυλακωμένη σε κάψουλα μη-φορμαλδεΐδης.



| Parameter/Criterion | Micronal [®] PCM SmartBoard™ 23 | Micronal [®] PCM SmartBoard™ 26 |
|---|--|--|
| 'Switching' temperature | 23 °C | 26 °C |
| Latent heat capacity ΔH in 'switching' area | approx. 330 kJ/m ² | approx. 330 kJ/m ² |
| Specific heat capacity | approx. 1.20 kJ/kgK | approx. 1.20 kJ/kgK |
| Thermal conductivity λ ³ | approx. 0.18 W/(mK) | approx. 0.18 W/(mK) |

Σχήμα 2.7.2: SMARTBOARD από την εταιρεία BASF και χαρακτηριστικά micronal PCMs, [33 , 34]

Πίνακας 2.7.3: Τεχνικά δεδομένα Smartboard Micronal PCM ,[33]

| Description | Micronal [®] PCM SmartBoard™ |
|-------------|--|
| Thickness | 15 mm |
| Length | 2,000 mm |
| Width | 1,250 mm |
| Structure | Glassfiber nonwoven-covered gypsum wallboard with phase change material in the gypsum core |
| Edge design | Full squared |

Αξίζει να αναφερθεί ότι η γυψοσανίδα με PCM, SmartBoard ,είναι συγκρίσιμη με τοίχο από σκυρόδεμα πάχους 14 cm ή με ένα τοίχο από τούβλα πάχους 36,5 cm .

Delta-Cool 24 από την εταιρεία Dörken [31 ,35]

Πρόκειται για ένα συσκευασμένο PCM, το οποίο είναι κατάλληλο σε περιπτώσεις μετακατασκευής, για χρήση επάνω από τις οροφές, κάτω από τα δάπεδα κ.λπ.



Σχήμα 2.7.3: Delta-Cool 24 από την εταιρεία Dörken , [35]

Πίνακας 2.7.3: Τεχνικά δεδομένα Delta-Cool 24 από την εταιρεία Dörken , [35]

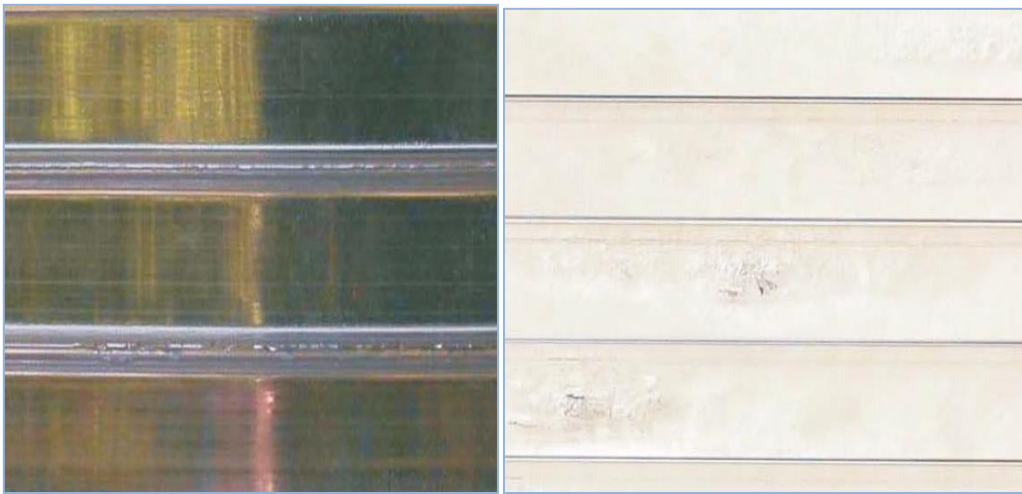
| | |
|-------------------------------------|--|
| Basic material | Salt hydrate |
| Flammability | DIN EN 13501-1 |
| Melting temperature | 22 – 28 °C |
| Crystallisation temperature | 22 °C |
| Cooling performance | 25 – 40 W/m ² |
| Melting energy | 158 kJ/kg = 44 Wh/kg |
| Density (solid/liquid) | 1.6/1.5 kg/L |
| Thermal capacity (solid/liquid) | 2.7/2.2 kJ/kg K |
| Thermal conductivity (solid/liquid) | 1.12/0.56 W/m K |
| Maximum temperature | 60 °C |
| Weight | 4.0 kg (of which 3.0kg DELTA [®] -COOL 24) |
| Dimensions/application | 610 x 610 x 17 mm |

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Glass X από την εταιρεία Peyerbeer [31 , 36]

Το συγκεκριμένο προϊόν πλαισιώνεται στην πρόσοψη και έχει την ικανότητα να φιλτράρει τα ηλιακά κέρδη στις εποχικές απαιτήσεις με βάση τη γωνία του ήλιου.

Διατίθεται σε πολλά μεγέθη ,γεγονός που επιτρέπει την ευέλικτη χρήση. Επιπλέον, οι αυξημένες θερμοκρασίες της επιφάνειας έως 26°C ή 28°C στην εσωτερική επιφάνεια του πάνελ ενισχύουν την θερμική άνεση στα δωμάτια.



Σχήμα 2.7.4: PCM σε στερεή φάση, [36]



Σχήμα 2.7.5: PCM σε υγρή φάση, [36]

Clima 26 από την εταιρεία Maxit [31 , 37]

Πρόκειται για μια συσκευή σοβά μια PCM με αποτέλεσμα ρύθμισης της θερμοκρασίας. Μέσω της μεταβολής του πάχους του στρώματος, η ποσότητα της λανθάνουσας θερμότητας που αποθηκεύεται μπορεί να ελέγχεται ανάλογα με τις απαιτήσεις.



Σχήμα 2.7.5: Clima 26 από την εταιρεία Maxit, [37]

| Πίνακας 2.7.4: Χαρακτηριστικά προϊόντος | |
|---|---|
| Αντοχή σε θλίψη: | $\geq 1.5 \text{ N / mm}$ |
| Θερμική αγωγιμότητα: | $> 0,3 \text{ W / mK}$ |
| Θερμοκρασιακό εύρος PCM | περίπου $23^\circ \text{ C} / \text{ca. } 26^\circ \text{ C}$ |
| Ενθαλπία τήξης του PCM | 100 J / g |
| Ενθαλπία σύντηξης ($T_s = 23$ έως 26° C) | 18 kJ / kg |
| Θερμική αγωγιμότητα λ (10° C) | 0.19 W / mK |
| Πυκνότητα: | περίπου $0,90 \text{ g / cc}$ |

Βιβλιογραφία 2^{ου} Κεφαλαίου

1. Kinga Pielichowska , Krzysztof Pielichowski : Phase change materials for thermal energy storage
2. N. Soares, J. Costab, A.R. Gasparb, P. Santos: Review of passive PCM latent heat thermal energy storage systems towards buildings' energy efficiency
3. Victor delValle, Dale Bessette, Lisa Sopkow, John Zhou and Kaz Szymocha: Long-term Performance of the Phase Change Material Applied for Heat Storage
4. <http://www.iene.gr/energy-development2010/articlefiles/PosterSession/tzivanidis.pdf>
5. Michal Pomianowski, Per Heiselberg, Yinping Zhang: Review of thermal energy storage technologies based on PCM application in buildings
6. Atul Sharma, V.V. Tyagi, C.R. Chen, D. Buddhi : Review on thermal energy storage with phase change materials and applications
7. Yinping Zhang, Guobing Zhou, Kunping Lin, Qunli Zhang, Hongfa Di: Application of latent heat thermal energy storage in buildings: State-of-the-art and outlook
8. Lavinia Gabriela SOCACIU: Thermal Energy Storage with Phase Change Material
9. Romeu Vicente*, Tiago Silva: Brick masonry walls with PCM macrocapsules: An experimental
10. Κατάσταση της ύλης βικιπαίδεια
11. <http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL111/482/3167,12766/>
12. http://en.wikipedia.org/wiki/Phase_transition
13. <http://glossary.periodni.com/dictionary.php?en=nascent+state>
14. Διαγράμματα των φάσεων βικιπαίδεια
15. Fre´de´ ric Kuznik, Damien David, Kevyn Johannes, Jean-Jacques Roux : A review on phase change materials integrated in building walls
16. Piia Lamberg, Reijo Lehtiniemi ,Anna-Maria Henell: Numerical and experimental investigation of melting and freezing processes in phase change material storage
17. Yvan Dutil , Daniel R. Rousse , Nizar Ben Salah , Ste´phane Lassue , Laurent Zalewski : A review on phase-change materials: Mathematical modeling and simulations
18. <http://www.ktirio.gr/innet/UsersFiles/sa/documents/articles/2011-03-79.pdf>
19. Vineet Veer Tyagi, D. Buddhi: PCM thermal storage in buildings: A state of art
20. 2 Solid-liquid phase change materials-Springer

21. <https://www.homebuilding.co.uk/advice/key-choices/green/phase-change-materials>
22. Shazim Ali Memon: Phase change materials integrated in building walls: A state of the art review
23. Mohammed M. Farid , Amar M. Khudhair , Siddique Ali K. Razack,Said Al-Hallaj : A review on phase change energy storage: materials and applications
24. Eva Günther , Stefan Hiebler,Harald Mehling Robert Redlich : DETERMINATION OF THE HEAT STORAGE CAPACITY OF PCM AND PCM-OBJECTS AS A FUNCTION OF TEMPERATURE
25. http://www.sv.vt.edu/classes/MSE2094_NoteBook/96ClassProj/experimental/dynamic/dynamic.html
26. <http://www.slideshare.net/jitenpatel13/dta-12218378>
27. Aran Solé , LaiaMiró , CamilaBarreneche , IngridMartorell , LuisaF.Cabeza : Reviewof the T-history method to determine thermophysical properties of phase change materials(PCM)
28. Ahmet Sarı , Ali Karaipekli: Thermal conductivity and latent heat thermal energy storage characteristics of paraffin/expanded graphite composite as phase change material
29. Murat Kenisarin_ , Khamid Mahkamov : Solar energy storage using phase change materials
30. D. Zhou , C.Y. Zhao , Y. Tian : Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications
31. ALICE HARLAND, CHRISTINA MACKAY, BRENDA VALE : PHASE CHANGE MATERIALS IN ARCHITECTURE
32. http://energain.co.uk/Energain/en_GB/products/thermal_mass_panel.html
33. http://www.lowex.info/projekte/Importe/projekt08/FL_SmartBoard_e.pdf
34. http://www.maisonpassive.be/IMG/pdf/Micronal_EN.pdf
35. <http://www.approvedbusiness.co.uk/files/companypdffiles/11675/Delta-Cool%2024%20Phase%20Change%20Material.pdf>
36. <http://www.scribd.com/doc/35599488/GLASSX-AG>
37. http://www.micronal.de/portal/basf/ien/dt.jsp?setCursor=1_290829

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο -ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΥΛΙΚΩΝ

ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs) ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΝΗΘΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

3.1 Ενσωμάτωση PCMs σε Δομικά Υλικά

3.1.1 Άμεση Ενσωμάτωση

Πρόκειται για την πιο απλή, πρακτική και οικονομική μέθοδο ενσωμάτωσης με την οποία το PCM αναμειγνύεται άμεσα με τα υλικά κατασκευής (γύψο, κονίαμα ή τσιμέντο, πάστα τσιμέντου) κατά την διάρκεια της παραγωγής.

Για την επιτυχημένη ανάμιξη του PCM, ιδιαίτερα με υλικά που έχουν ως βάση το τσιμέντο, είναι απαραίτητο το PCM

- ο να μην έρθει σε επαφή με την διαδικασία της ενυδάτωσης και τα προϊόντα ενυδάτωσης
- ο να μην επηρεάζει τους δεσμούς μεταξύ της πάστας τσιμέντου και του συνόλου
- ο να μην επιδρά στις μηχανικές ιδιότητες
- ο να μην επιδρά στις ιδιότητες αντοχής

Όσον αφορά αυτόν τον τρόπο ενσωμάτωσης, δεν απαιτείται επιπλέον εξοπλισμός, ωστόσο, η διαρροή του PCM μπορεί να αλληλεπιδράσει με τα προϊόντα ενυδάτωσης και να επηρεάσει τις μηχανικές ιδιότητες και την ανθεκτικότητα του συστήματος.

3.1.2 Βύθιση [1]

Σε αυτήν την τεχνική, τα υλικά κατασκευής (τσιμέντο, τούβλα, γυψοσανίδες) τα οποία εμβαπτίζονται στο υγρό PCM, το απορροφούν με τριχοειδική δράση. Έχει αναφερθεί ότι το PCM μπορεί να διαρρεύσει ιδίως αφού υποβληθεί σε μεγάλο αριθμό θερμικών κύκλων. Κάτι τέτοιο μπορεί να επηρεάσει τόσο τις μηχανικές όσο και τις ιδιότητες αντοχής των δομικών στοιχείων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τόσο η ενσωμάτωση όσο και η εμβάπτιση είναι τεχνικές που ενσωματώνουν το PCM άμεσα στα δομικά υλικά.

3.1.3 Ενθυλάκωση [1]

Σε αυτήν την τεχνική απαιτείται ενθυλάκωση του PCM προτού αυτό χρησιμοποιηθεί στα δομικά υλικά.

Έχει επισημανθεί από τον Regin και τους συνεργάτες του ότι η ενθυλάκωση του PCM πρέπει

- ο να ικανοποιεί την απαίτηση μηχανικής αντοχής, αντοχής στον χρόνο, θερμικής σταθερότητας και αξιοπιστίας
- ο να προστατεύει το PCM, δρώντας ως εμπόδιο στις αλληλεπιδράσεις με τον περιβάλλοντα χώρο
- ο να έχει επαρκή επιφάνεια για την αποτελεσματική μεταφορά θερμότητας
- ο να είναι δομικά σταθερή και να παρέχει ευκολία στον χειρισμό

Γενικά στις μεθόδους ενθυλάκωσης αναφέρονται η μικροενθυλάκωση και η μακροενθυλάκωση.

3.1.3.1 Μικροενθυλάκωση [1, 3]

Στην μικροενθυλάκωση, μικρά σωματίδια PCM που κυμαίνονται από 1 μm-1000 μm περικλείονται σε ένα λεπτό στερεό κέλυφος (περίβλημα), το οποίο είναι κατασκευασμένο συνήθως από φυσικά και τεχνητά πολυμερή. Με αυτή την τεχνική μπορούν να κατασκευαστούν PCM με θερμοκρασία αλλαγής φάσης από -10 έως 80 °C.

Η τεχνική της μικροενθυλάκωσης εξαρτάται από τις φυσικές και τις χημικές ιδιότητες των υλικών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Υπάρχουν αρκετές φυσικές και χημικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μικροκαψουλών.

| Πίνακας 3.1.3.1.1: Τεχνικές Μικροενθυλάκωσης | |
|--|-----------------------------------|
| Οι φυσικές μέθοδοι περιλαμβάνουν | Οι τεχνητές μέθοδοι περιλαμβάνουν |
| pan coating | coacervation |
| air suspension coating | complex coacervation |
| centrifugal extrusion | interfacial methods |
| vibrational nozzle | |
| Spray drying | |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο –ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ PCMs ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΝΗΘΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Πλεονεκτήματα μικροενθυλακωμένου PCM

- εμποδίζει την διαρροή του PCM κατά την διάρκεια της αλλαγής φάσης ,δρώντας ως εμπόδιο, αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο τις δυνατότητες ενσωμάτωσης του PCM σε ποικίλα δομικά υλικά
- παρέχει υψηλό ρυθμό μεταφοράς θερμότητας μέσω ης μεγαλύτερης επιφάνειας του ανά μονάδα όγκου
- κατά την διάρκεια της αλλαγής φάσης δεν μεταβάλλεται ο όγκος του
- εμφανίζει βελτιωμένη χημική σταθερότητα
- παρουσιάζει βελτιωμένη θερμική αξιοπιστία, εφόσον ο διαχωρισμός φάσης περιορίζεται σε μικροσκοπικές διαστάσεις
- είναι πιο εύκολο και πιο οικονομικό να ενσωματωθούν τα μικροενθυλακωμένα PCMs στα δομικά υλικά

Μειονεκτήματα μικροενθυλακωμένου PCM

- η ακαμψία του κελύφους εμποδίζει την φυσική συναγωγή, με αποτέλεσμα να μειώνεται ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας
- υπάρχει πιθανότητα να επιδράσει στις μηχανικές ιδιότητες των δομικών υλικών
- ακριβή μέθοδος

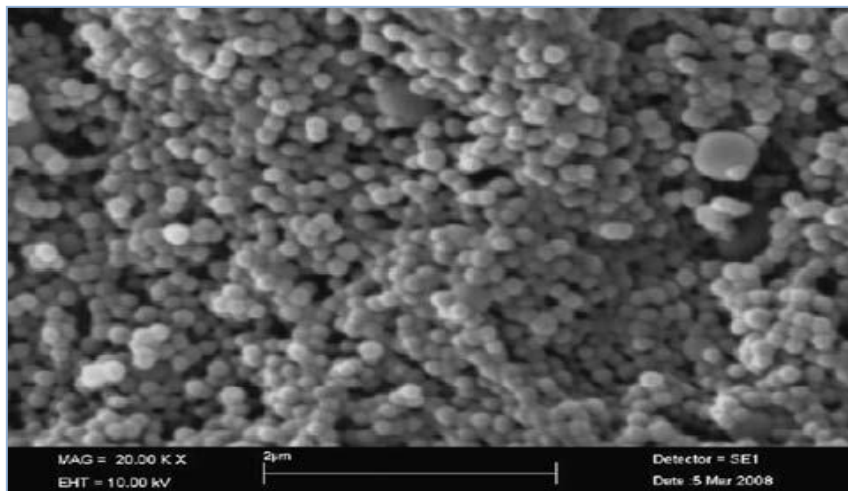
Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά δυο μελέτες που διεξήχθησαν για τα μικροενθυλακωμένα PCMs.

| Πίνακας 3.1.3.1.2: Μελέτες μικροενθυλακωμένων PCMs | | | | |
|--|------------------------|---|-------------------------|-----------------------|
| ΥΑΦ | Υλικό περιβήματος | Θερμικές ιδιότητες | μέθοδος | Μέγεθος κάψουλας (μm) |
| n-docasane | Polymethylmethacrylate | T _m =41°C, T _f =40.6°C, H _m =54.6 J/g, H _f =48.7 J/g | Emulsion polymerization | 0.16 |
| Hexadecane/Octadecane | Melamine-resin | H _m =210, στους 23°C H _m =200, στους 24°C H _m =150, στους 28°C | Insitu polymerization | 5-20 |

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Οι μελέτες που αναφέρθηκαν στον παραπάνω πίνακα, οι οποίες επικεντρώνονται στην προετοιμασία και τον χαρακτηρισμό των μικροενθλακωμένων PCMs αναλύονται στην συνέχεια.

Ο Alkan και οι συνεργάτες του ανέπτυξαν μικροενθλακωμένο PCM μέσω πολυμερισμού σε γαλακτώμα με n-docosane ως υλικό αλλαγής φάσης και polymethylmethacrylate ως περίβλημα για εφαρμογές αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε και από την εικόνα, οι μικροκάψουλες έχουν ομαλές και συμπαγείς επιφάνειες και σφαιρικό προφίλ.



Σχήμα 3.1.3.1.1: Polymethylmethacrylate/docosane μικροκάψουλες, [1]

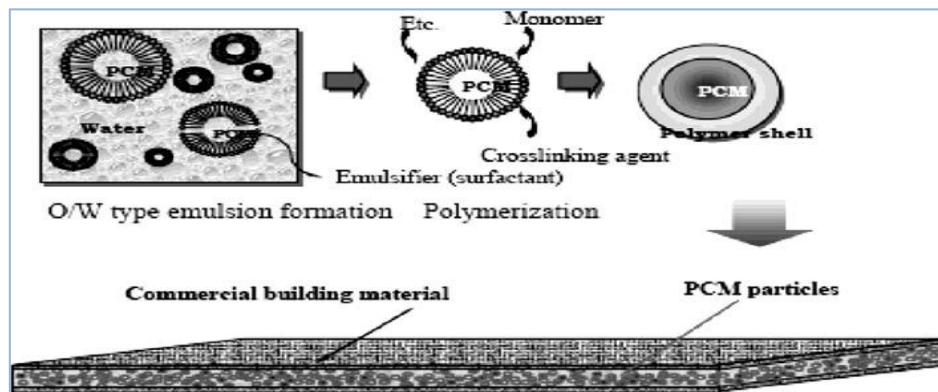
Υστερα από έλεγχο της σταθερότητας του μικροενθλακωμένου PCM, με την μέθοδο FT-IR, διαπιστώθηκε η συμβατότητα του PCM και του περιβλήματος.

Από την ανάλυση DSC, βρέθηκε ότι οι θερμοκρασίες τήξης και κρυσταλλοποίησης του PCM, docosane ,σε μικροκάψουλες ήταν 41 και 40.6 °C αντίστοιχα, ενώ η λανθάνουσα θερμότητα τήξης και κρυστάλλωσης 54,6 και 48,7 J/g αντίστοιχα. Οι μικροκάψουλες περιείχαν επιτυχώς 28% κατά βάρος docosane.

Τα τεστ θερμικών κύκλων έδειξαν ότι οι αλλαγές που παρατηρούνται στις θερμικές ιδιότητες και την χημική δομή του μικροενθλακωμένου PCM έπειτα από 5000 κύκλους τήξης/πήξης είναι πολύ μικρές και σε επιθυμητό εύρος. Συνεπώς, το σύνθετο PCM παρουσίαζε σημαντικές δυνατότητες για εφαρμογές θερμικής αποθήκευσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο –ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ PCMs ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΝΗΘΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Ο Lee και οι συνεργάτες του δημιούργησαν μικροενθυλακωμένο PCM για κτιριακές εφαρμογές. Οι μικροκάψουλες με μέγεθος κατά μέσο όρο 5-20 μm παρασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας επιτόπου πολυμερισμό με δεκαεξάνιο / δεκαοκτάνιο ως πυρήνα και μελαμίνη-ρητίνη ως περίβλημα.



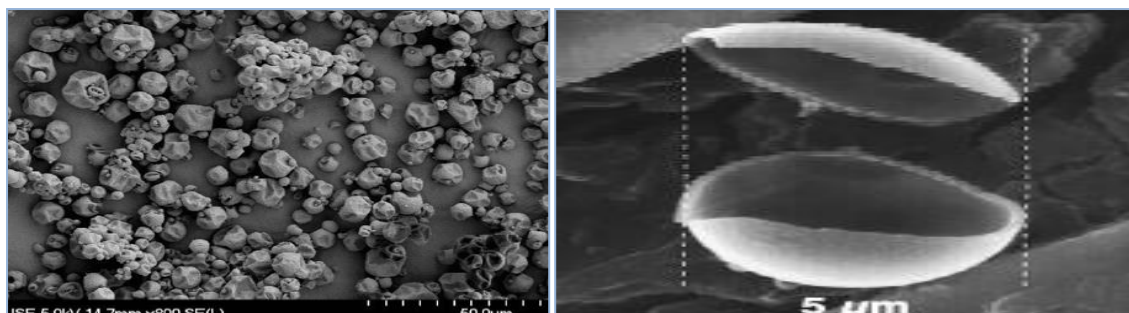
Σχήμα 3.1.3.1.2: Σχηματική απεικόνιση δομικών υλικών που περιέχουν PCM, [1]

Η θερμοχωρητικότητα του πειραματικού θαλάμου διαστάσεων (1.5m x 1m x 1m) αξιολογήθηκε εφαρμόζοντας φιλμ ολεφίνης με τα σωματίδια των PCMs να έχουν συγκέντρωση 100 g / m² και πάχος 3mm και 9mm αντίστοιχα. Ο πειραματικός θάλαμος θερμάνθηκε στους 3°C και στη συνέχεια αφέθηκε να ψυχθεί. Διαπιστώθηκε ότι η θερμοχωρητικότητα στο εσωτερικό του θαλάμου αυξανόταν με την αύξηση του φιλμ ολεφίνης.

Επί του παρόντος, η μικροενθυλάκωση σε εμπορική κλίμακα εφαρμόζεται μόνο σε PCMs που δεν είναι διαλυτά σε νερό. Ο λόγος είναι η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη διαδικασία της μικροενθυλάκωσης. Συνεπώς, η μικροενθυλάκωση του PCM είναι εφικτή μόνο για οργανικά υλικά. Τα εμπορικά προϊόντα φαίνεται να χρησιμοποιούν αποκλειστικά ως οργανικό PCM, παραφίνες.

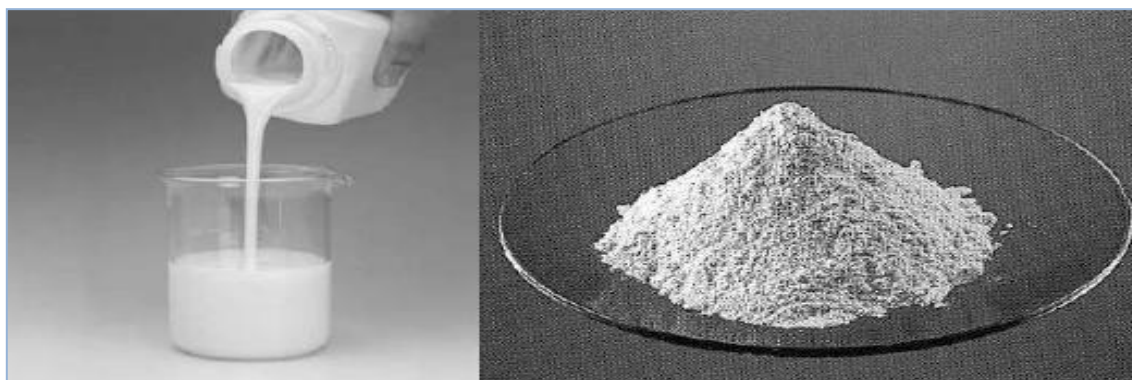
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Στην συνέχεια παρουσιάζεται μικροενθυλακωμένη παραφίνη που παράγεται από την εταιρεία BASF , με τυπική διάμετρο της μικροκάψουλας να κυμαίνεται από 2-20 μm .



Σχήμα 3.1.3.1.3: Μικροσκοπική εικόνα καψουλών, [3] , ανοιχτή μικροκάψουλα, [3]

Το μικροενθυλακωμένο PCM είναι διαθέσιμο σε διεσπαρμένο υγρό ή σε μορφή ξηρής σκόνης όπως απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα



Σχήμα 3.1.3.1.4: Μικροενθυλακωμένη παραφίνη που παράγεται από την BASF, σε μορφή διεσπαρμένου υγρού αριστερά, και δεξιά σε μορφή ξηρής σκόνης, [3]

Οι μικροκάψουλες πωλούνται υπό την επωνυμία Micronal ως Micronal DS 5000 (διεσπαρμένο υγρό) και 5001X (ξηρή σκόνη) με θερμοκρασία τήξης 26 °C, και ως Micronal DS 5007 (διεσπαρμένο υγρό) 5008X (ξηρή σκόνη) με θερμοκρασία τήξης 23 ° C.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο –ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ PCMΣ ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΝΗΘΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Μια άλλη πηγή για ένα εμπορικό προϊόν είναι η εταιρεία Microtek στις ΗΠΑ, η οποία πωλεί μικροενθλακωμένο PCM με ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών τήξης.

Αξίζει να αναφερθεί μια σχετικά πρόσφατη παραγωγή γυψοσανίδας με μικροενθλακωμένο PCM (Micronal PCM, από την BASF) από την εταιρεία National Gypsum. Η γυψοσανίδα με PCM καλείται National Gypsum ThermalCORE Panel και το PCM έχει θερμοκρασία τήξης 23°C και λανθάνουσα θερμοχωρητικότητα 22 BTU/ft².



Σχήμα 3.1.3.1.5: ThermalCORE Panel από την εταιρεία National Gypsum, [2]

3.1.3.2 Μάκροενθυλάκωση [1, 3]

Η μακροενθυλάκωση είναι μακράν η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος ενθυλάκωσης. Σε αυτήν την τεχνική μια ποσότητα PCM (έως και αρκετά λίτρα) μπορεί να συσκευαστεί σε ένα περιέκτη όπως σωλήνες, σφαίρες και πάνελ για μετέπειτα χρήση στα δομικά υλικά.

Πλεονεκτήματα μακροενθυλακωμένου PCM

- ο είναι ευκολότερο να μεταφερθούν και να διαχειρισθούν
- ο μπορούν να σχεδιαστούν κατάλληλα ώστε να ταιριάζουν στην εφαρμογή για την οποία προορίζονται
- ο περιέκτης δρα ως εμπόδιο και βελτιώνεται η συμβατότητα του PCM με το περιβάλλον. Ωστόσο, είναι απαραίτητο να παρουσιάζει συμβατότητα ο περιέκτης με το περιβάλλον
- ο με την χρήση περιέκτη μειώνονται οι εξωτερικές μεταβολές όγκου που είναι αναγκαίες για την κτιριακή εφαρμογή

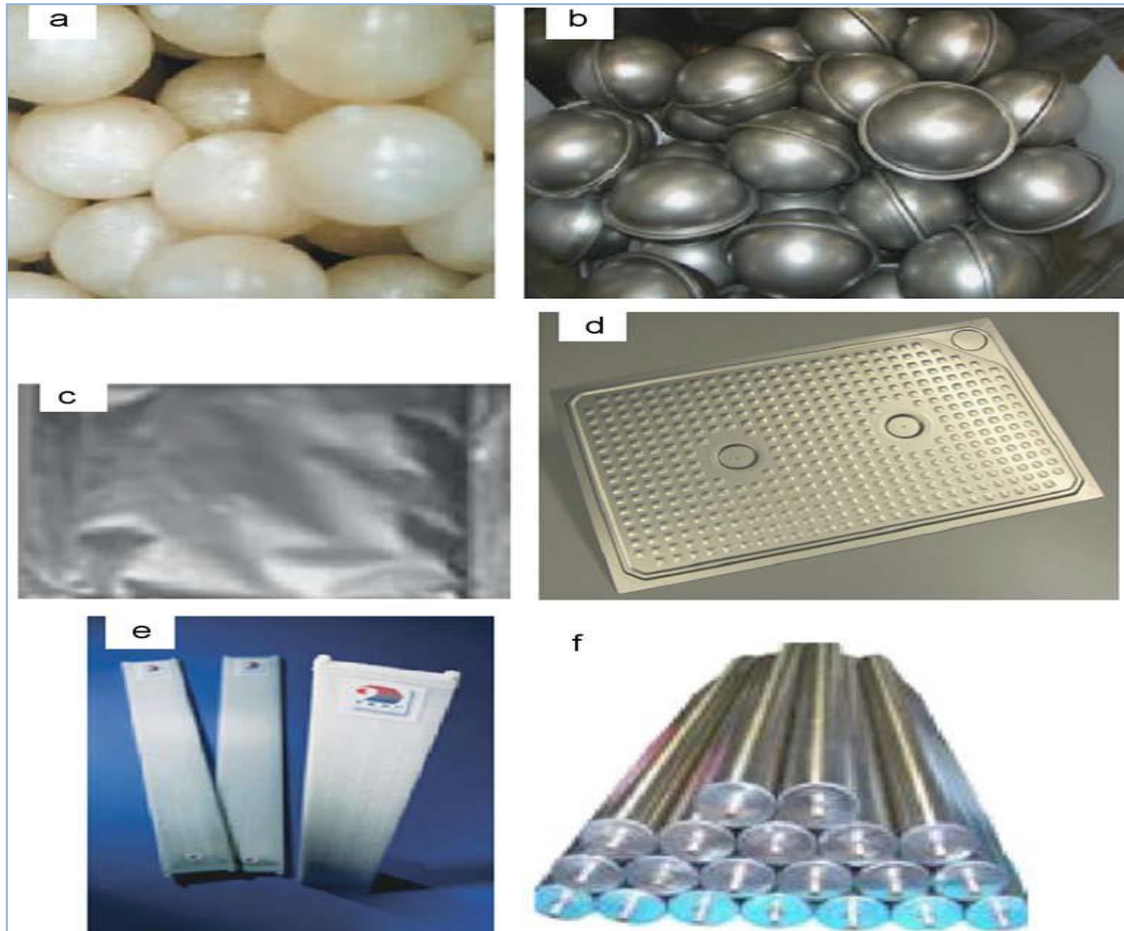
Μειονεκτήματα μακροενθυλακωμένου PCM

- ο παρουσιάζουν κακή θερμική αγωγιμότητα
- ο πρέπει να προστατεύονται από πιθανή καταστροφή καθώς το κτίριο είναι σε χρήση για παράδειγμα η διάνοιξη οπών στους τοίχους ή η χρήση καρφιών στους τοίχους μπορεί να τα καταστρέψει
- ο η διαδικασία της ένταξης τους στη δομή του κτιρίου είναι αρκετά χρονοβόρα
- ο πρέπει να στερεώνονται καλά στις γωνίες και στις άκρες ώστε να επιτυγχάνεται αποτελεσματική μεταφορά θερμότητας

Ως εκ τούτου, η ενθυλάκωση πρέπει να βελτιστοποιείται για τον αποτελεσματικό ρυθμό μεταφοράς θερμότητας και ταυτόχρονα θα πρέπει να παρουσιάζει αντίσταση στη διάβρωση, θερμική σταθερότητα και αξιοπιστία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο –ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ PCMΣ ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΝΗΘΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Υπάρχουν ποικίλοι τρόποι μακροενθυλάκωσης των PCMs, όπως σε επίπεδες πλάκες, σε κυλίνδρους, σε κελύφη, σωλήνες και σφαίρες . Μερικοί τρόποι μακροενθυλάκωσης των PCMs παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 3.1.3.2.1: Τρόποι μακροενθυλάκωσης PCM , [1]

Οι τρόποι μακροενθυλάκωσης των PCMs που απεικονίζονται στο παραπάνω σχήμα είναι κατά σειρά:

- a. μεταλλική μπάλα ενθυλάκωσης
- b. σφαίρες ενθυλάκωσης
- c. PCM σε φύλλο αλουμινίου
- d. PCM σε πάνελ αλουμινίου
- e. PCM σε επίπεδο πάνελ πολυπροπυλενίου
- f. σωλήνας ενθυλάκωσης PCM

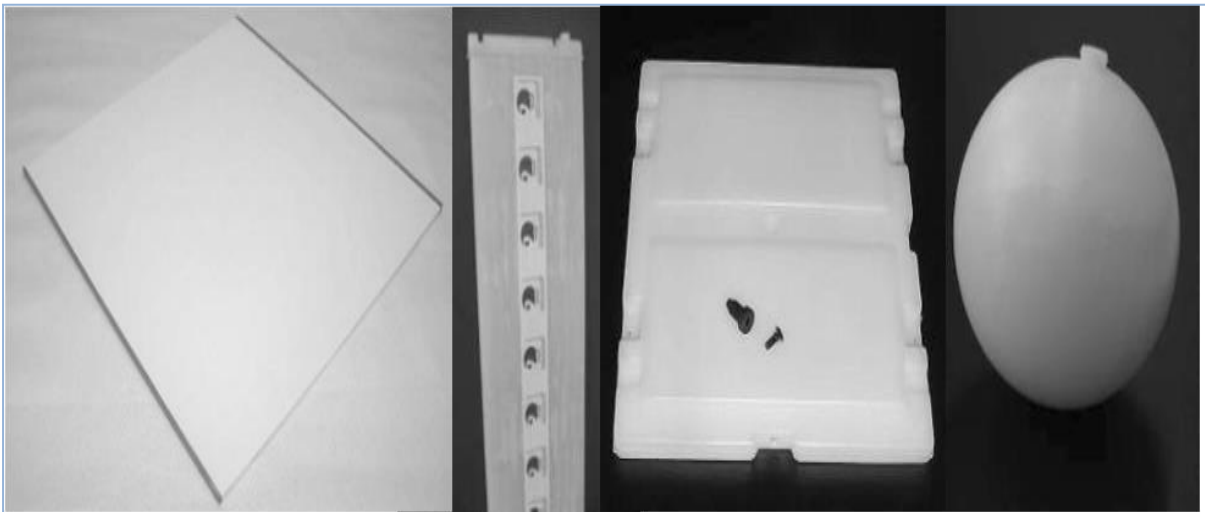
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Παραδείγματα μακροενθυλάκωσης

Για την μακροενθυλάκωση των ένυδρων αλάτων, συνήθως χρησιμοποιούνται πλαστικοί περιέκτες καθώς υπάρχει συμβατότητα των υλικών και τα πλαστικά δεν διαβρώνονται από τα ένυδρα άλατα.

Πλαστικοί περιέκτες δύναται επιπλέον να χρησιμοποιηθούν και για οργανικά ΥΑΦ. Σε αυτήν την περίπτωση, πρέπει να δοθεί προσοχή στον συνδυασμό του ΥΑΦ και του επιλεγμένου υλικού ενθυλάκωσης καθώς υπάρχει πιθανότητα τα οργανικά ΥΑΦ να μαλακώσουν τους πλαστικούς περιέκτες.

Στο σχήμα που ακολουθεί δίνονται παραδείγματα πλαστικών περιεκτών που χρησιμοποιούνται για μακροενθυλάκωση από διάφορες εταιρείες.



Σχήμα 3.1.3.2.2: Μακροενθυλάκωση σε πλαστικούς περιέκτες, [3]

Οι τρόποι μακροενθυλάκωσης των PCMs που απεικονίζονται στο παραπάνω σχήμα είναι κατά σειρά από τα αριστερά στα δεξιά:

- a. διπλού πάνελ ράβδοι από την εταιρεία Dorken
- b. πάνελ από την εταιρεία PCP
- c. επίπεδος περιέκτης από την εταιρεία Cassmann
- d. μπάλες-οζίδια από την εταιρεία Cristopia

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο –ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ PCMΣ ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΝΗΘΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

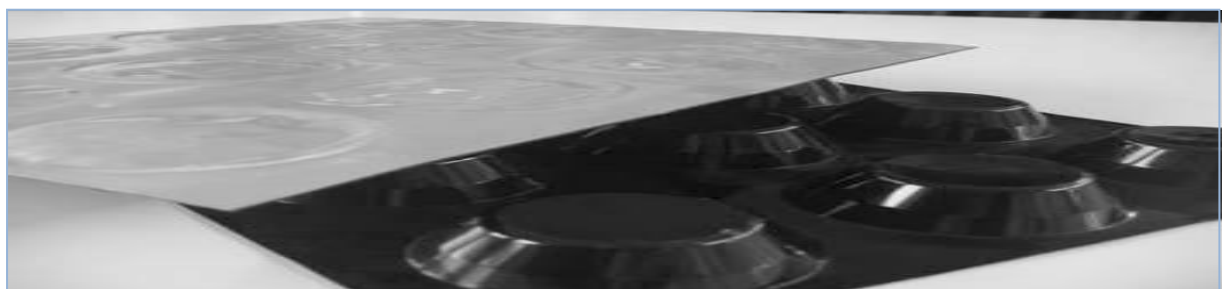
Μια άλλη τεχνική μακροενθυλάκωσης παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί. Πρόκειται για PCM ενθυλακωμένο σε σακούλες. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η στεγανότητα όσον αφορά το νερό, τα πλαστικά φύλλα συνδυάζονται με μεταλλικό στρώμα.

Σχήμα 3.1.3.2.3: Μακροενθυλάκωση σε σακούλες από την Climator, [3]



Σχήμα 3.1.3.2.4: Μακροενθυλάκωση σε σακούλες από την Dorken, [3]

Στην μορφή μακροενθυλάκωσης που ακολουθεί πλαστικά φύλλα σχηματίζουν μικρά περιβλήματα για το PCM, τα οποία καλύπτονται με πλαστικό φύλλο. Πρόκειται ουσιαστικά για καλούπια τα οποία είναι χρήσιμα για να καλύπτουν μεγάλες επιφάνειες και μπορούν να κατασκευαστούν σε μια πλήρως αυτοματοποιημένη γραμμή παραγωγής. Τέτοιες ενθυλακώσεις καλούνται capsule stripes ή dimple sheets.



Σχήμα 3.1.3.2.5: Μακροενθυλάκωση σε 'capsule stripes' όπως παράγεται από την PCP και την Dorken για οργανικό PCM, [3]

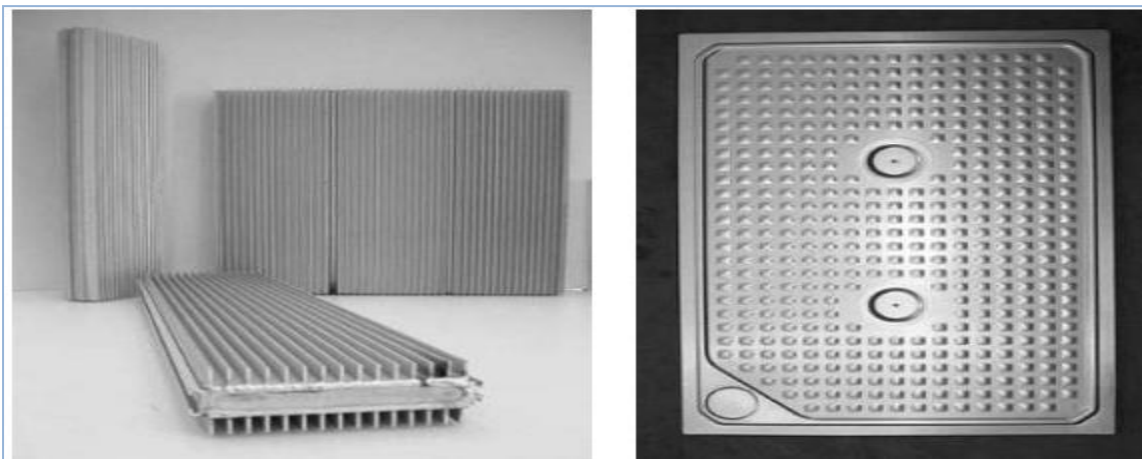
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Στις περιπτώσεις όμως που είναι απαραίτητη η καλή μεταφορά θερμότητας, η χρήση περιεκτών από πλαστικό θα μπορούσε να δημιουργήσει προβλήματα καθώς παρουσιάζουν χαμηλή θερμική αγωγιμότητα. Κατά συνέπεια θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν περιέκτες με μεταλλικές επιφάνειες.

Όταν γίνεται επιλογή περιέκτη με μεταλλική επιφάνεια για μακροενθυλάκωση είναι αναγκαίο να ληφθούν υπόψη τα ακόλουθα

- ο πρέπει να γίνει κατάλληλη επιλογή του πάχους του περιέκτη ώστε να αξιοποιηθεί η υψηλή μηχανική σταθερότητα που εμφανίζουν οι μεταλλικές επιφάνειες
- ο ανάλογα με το μέταλλο που θα επιλεγεί υπάρχουν διαφορετικές επιλογές σε ότι αφορά το σχήμα, την συγκόλληση κλπ

Δυο διαφορετικοί περιέκτες με μεταλλική επιφάνεια παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί



Σχήμα 3.1.3.2.6: Μακροενθυλάκωση σε μεταλλικά δοχεία: αριστερά, προφίλ αλουμινίου με πτερύγια για βελτιωμένη μεταφορά θερμότητας από την Climator, και δεξιά, πλάκα επικαλυμμένη με αλουμίνιο από την Rubitherm Technologies Gmb , [3]

3.1.4 PCM Σταθερού Σχήματος [1, 2]

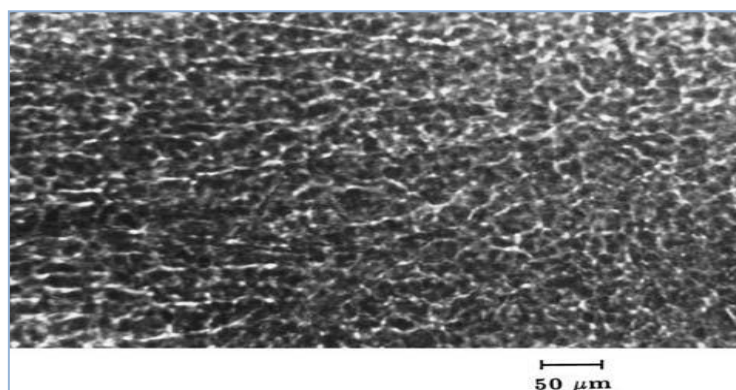
Σε αυτήν την τεχνική το PCM και το υποστηρικτικό υλικό τήκονται και αναμιγνύονται σε υψηλή θερμοκρασία. Στην συνέχεια ακολουθεί ψύξη του υποστηρικτικού υλικού έως ότου αυτό στερεοποιηθεί. Το υποστηρικτικό υλικό μπορεί να είναι υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (HDPE), στυρένιο και βουταδιένιο.

Το PCM σταθερού σχήματος παρουσιάζει τα ακόλουθα εξέχοντα χαρακτηριστικά

- ο μεγάλη εμφανή ειδική θερμότητα
- ο κατάλληλη θερμική αγωγιμότητα
- ο το σχήμα διατηρείται σταθεροποιημένο κατά την διάρκεια της αλλαγής φάσης
- ο είναι θερμικά αξιόπιστο , όσον αφορά τον κύκλο τήξης-στερεοποίησης για μεγάλη χρονική περίοδο
- ο δεν απαιτείται περιέκτης
- ο η αναλογία μάζας του PCM μπορεί να φτάσει μέχρι 80%

Στην συνέχεια αναφέρονται ορισμένες μελέτες οι οποίες επικεντρώνονται στην ανάπτυξη PCM σταθερού σχήματος.

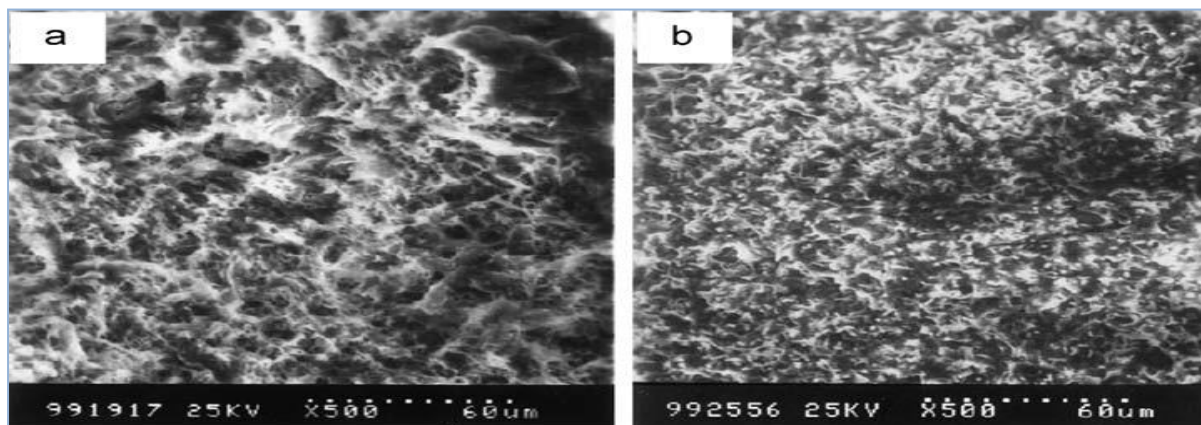
Οι Inaba και Tu μελέτησαν τις θερμοφυσικές ιδιότητες PCM σταθερού σχήματος. Το PCM σταθερού σχήματος αποτελείται από παραφίνη ως υλικό αποθήκευσης θερμικής ενέργειας και HDPE ως υποστηρικτικό υλικό. Το PCM σταθερού σχήματος περιείχε 74% κατά βάρος παραφίνη, είχε θερμοκρασία τήξης 54,8 °C και λανθάνουσα θερμότητα σύντηξης 121,5 kJ/kg. Η μικρογραφία, που απεικονίζεται στην εικόνα που ακολουθεί, έδειξε ότι η παραφίνη (μαύρο μέρος) ήταν ομοιόμορφα διεσπαρμένη στην τρισδιάστατη δικτυωμένη υφή του HDPE (λευκό μέρος) και δεν υπήρχε διαρροή της παραφίνης από το σύνθετο υλικό ακόμα και όταν η παραφίνη ήταν σε τηγμένη μορφή.



Σχήμα 3.1.4.1: Μικρογραφία του PCM σταθερού σχήματος, [1]

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Για την παρασκευή PCM σταθερού σχήματος οι Ye και Xin-Si επέλεξαν έξι διαφορετικούς τύπου HDPE ως υποστηρικτικό υλικό και εκλεπτυσμένη/ ημί-εκλεπτυσμένη παραφίνη ως υλικό αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. Η επιλογή των HDPE έγινε με σκοπό το ΥΑΦ σταθερού σχήματος να παρουσιάζει υψηλή αντοχή με χρήση μικρής ποσότητας HDPE.

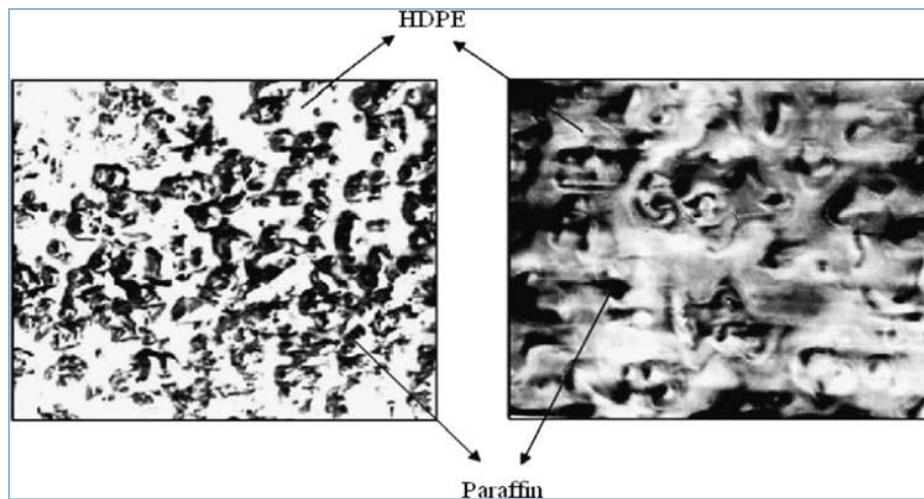


Σχήμα 3.1.4.2: Εικόνα PCM σταθερού σχήματος a) με εκλεπτυσμένη παραφίνη και b) με ημί-εκλεπτυσμένη παραφίνη, [1]

Τα αποτελέσματα των δοκιμών έδειξαν ότι η υψηλή αντοχή επιτυγχάνεται με χρήση 25-30% κατά βάρος HDPE. Όσον αφορά την λανθάνουσα θερμότητα, η εκλεπτυσμένη και η ημί-εκλεπτυσμένη παραφίνη δεν παρουσίαζαν μεγάλη διαφορά (157,04 J/g και 154,73 J/g ,αντίστοιχα). Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος η ημί-εκλεπτυσμένη παραφίνη ήταν η πιο κατάλληλη επιλογή. Το προϊόν ήταν φθηνό, εύκολο στην παρασκευή και η λανθάνουσα θερμότητα συγκρίσιμη με αυτή με αυτή ενός παραδοσιακού PCM.

Ο Sari παρασκεύασε PCM σταθερού σχήματος με δυο διαφορετικά είδη παραφίνης, ως υλικό αποθήκευσης θερμότητας (P1 και P2) και HDPE ως υποστηρικτικό υλικό. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η παραφίνη ήταν ομοιόμορφα διεσπαρμένη μέσα στο δίκτυο του HDPE και το μέγιστο ποσοστό και των δύο τύπων παραφίνης που συγκρατούνται από HDPE χωρίς διαρροή βρέθηκε να είναι 77%. Με χρήση της μεθόδου DSC, οι θερμοκρασίες τήξης των P1/HDPE και P2/HDPE βρέθηκαν 37,8 και 55,7 °C, αντίστοιχα, ενώ οι λανθάνουσες θερμότητες βρέθηκαν 147,6 και 162,2 J/g αντίστοιχα. Με χρήση 3% κατά βάρος διευρυμένου γραφίτη η θερμική αγωγιμότητα και των δυο PCMs σταθερού σχήματος αυξήθηκε κατά 14% και 24%, αντίστοιχα.

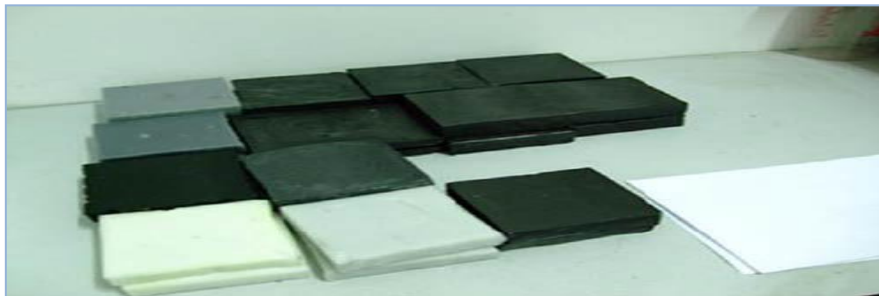
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο –ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ PCMΣ ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΝΗΘΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ



Σχήμα 3.1.4.3: Εικόνα σταθερού σχήματος PCM παραφίνης/HDPE ,Sari [3]

Συμπέρανε ότι τα PCMσ σταθερού σχήματος παρουσίαζαν εξαιρετικές προοπτικές για εφαρμογές αποθήκευσης θερμικής ενέργειας .Επιπλέον, μπορεί να είναι οικονομικά καθώς δεν απαιτείται επιπλέον ενθυλάκωση.

Η θερμική αγωγιμότητα ενός σταθερού σχήματος PCM, παραφίνη/HDPE, βελτιώθηκε από τον Cheng και τους συνεργάτες του με ενσωμάτωση σκόνης γραφίτη και διογκωμένου γραφίτη.

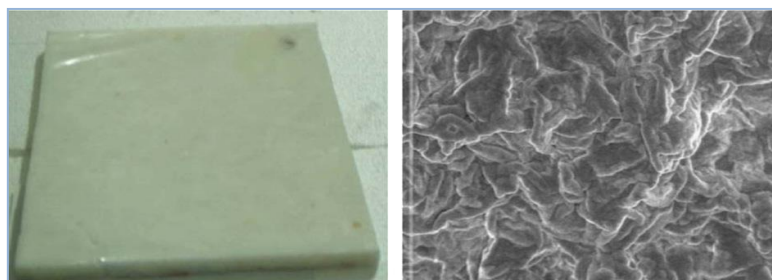


Σχήμα 3.1.4.4: Εικόνα σταθερού σχήματος PCM παραφίνης/HDPE ,Cheng, [3]

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι θερμικές αγωγιμότητες του σταθερού σχήματος PCM με διογκωμένο γραφίτη ήταν μεγαλύτερες. Με την προσθήκη 4,6% κατά βάρος διογκωμένου γραφίτη, η βελτίωση στην θερμική αγωγιμότητα του σταθερού σχήματος PCM ήταν τέσσερις φορές μεγαλύτερη από την προσθήκη σκόνης γραφίτη. Η θερμοκρασία τήξης του σταθερού σχήματος PCM πλησίασε την θερμοκρασία τήξης της καθαρής παραφίνης με απόκλιση $\pm 1.1^{\circ}\text{C}$.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Ο Zhang και οι συνεργάτες του εξέτασαν το σταθερού σχήματος PCM που απεικονίζεται στο σχήμα που ακολουθεί. Διαπίστωσαν ότι μπορεί να κάνει το σύστημα αποθήκευσης θερμικής απλούστερο καθώς δεν χρειάζονται ειδικές συσκευές ή δοχεία για να ενσωματώσουν το PCM. Με βάση τα παραπάνω οφέλη του σταθερού σχήματος PCM, πρότειναν επίσης τη δυνατότητα εφαρμογής του σε αποδοτικά κτίρια με χρήση σε εσωτερικές επενδύσεις, όπως σε εσωτερικό τοίχο, την οροφή και το δάπεδο.



Σχήμα 3.1.4.5: Πλάκα PCM σταθερού σχήματος, [2]

Στον πίνακα που ακολουθεί συνοψίζονται οι μελέτες που παρουσιάστηκαν για τα PCMs σταθερού σχήματος.

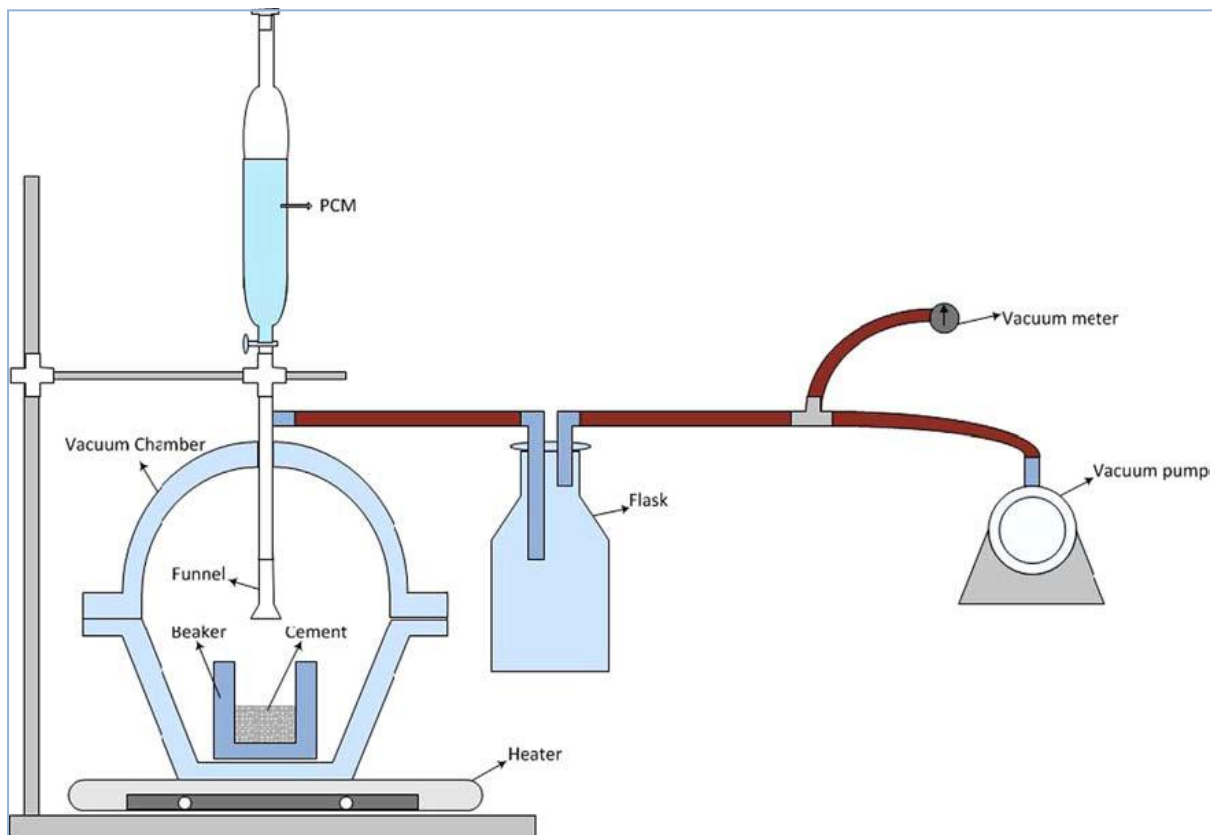
| Πίνακας 3.1.4.1: Μελέτες για PCM σταθερού σχήματος | | | |
|--|----------------------------------|--------------------------|--|
| ΥΑΦ | Υποστηρικτικό υλικό | Σύνθεση | Θερμικές ιδιότητες |
| παραφίνη (Pentacosane) | High density polyethylene (HDPE) | Paraffin/HDPE (74/26) | T _m =54.15 °C H _m =121.4 J/g |
| παραφίνη | High density polyethylene (HDPE) | Paraffin/HDPE (75/25) | Refined paraffin – H _m =157.04 J/g Semi refined paraffin- H _m =154.73 J/g |
| παραφίνη | Styrene-butadiene-styrene (SBS) | Paraffin/SBS (80/20) | T _m =56-58 °C |
| παραφίνη | High density polyethylene (HDPE) | Paraffin/HDPE (77/23) | P1(T _m =37.8 °C, H _m =147.6 J/g) P2(T _m =55.7 °C, H _m =162.2 J/g) |
| παραφίνη | High density polyethylene (HDPE) | Paraffin/HDPE (80/20) | T _m =43.29 °C H _m =107,93 °C |

3.1.5 Σταθερής Μορφής Σύνθετο PCM [1]

Ο όρος της σταθερής μορφής σύνθετου PCM χρησιμοποιείται για να ορίσει ένα σύνθετο PCM, το οποίο διατηρεί ένα βέλτιστο-μέγιστο ποσοστό PCM και δεν παρουσιάζει κανένα σημάδι διαρροής όταν η θερμοκρασία του σύνθετου είναι υψηλότερη της θερμοκρασίας τήξης του PCM. Επιπλέον, δεν είναι απαραίτητο, όπως στο PCM σταθερού σχήματος, να τηχθεί το υποστηρικτικό υλικό.

Το σταθερής μορφής σύνθετο PCM μπορεί να παραχθεί με φυσική βύθιση ή με εμποτισμό υπό κενό. Αν και η φυσική βύθιση είναι απλή και εύκολη στο χειρισμό, τα δομικά υλικά παρουσιάζουν χαμηλή ικανότητα συγκράτησης. Κατά συνέπεια, η ικανότητα συγκράτησης των δομικών υλικών μπορεί να αυξηθεί με την μέθοδο εμποτισμού υπό κενό.

Ένας από τους ποικίλους εξοπλισμούς που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία σταθερής μορφής σύνθετου PCM με εμποτισμό υπό κενό παρουσιάζεται στην συνέχεια.



Σχήμα 3.1.5.1: Σχηματική απεικόνιση συστήματος εμποτισμού υπό κενό, [1]

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Στην συνέχεια παρουσιάζεται μια λεπτομερειακή ανάλυση της εργασίας αρκετών ερευνητών όσον αφορά την δημιουργία σταθερής μορφής σύνθετου PCM.

Στις μελέτες χρησιμοποιήθηκαν ως υποστηρικτικά υλικά για το PCM

- ο διογκωμένος περλίτης
- ο διογκωμένος γραφίτης
- ο πυριτική παιπάλη
- ο βερμικουλίτης
- ο καολίνη
- ο απόβλητα γυαλιού
- ο κοκκώδης σκωρία υψικαμίνων
- ο διατομίτες

Για κάθε ένα από τα υποστηρικτικά υλικά που αναφέρθηκαν, θα δοθεί και μια αντίστοιχη μελέτη που διεξήχθη.

❖ Διατομίτες ως υποστηρικτικό υλικό για το PCM

Οι διατομίτες χρησιμοποιούνται ως υποστηρικτικά υλικά για τα PCMs επειδή παρουσιάζουν

- ο εξαιρετικά πορώδη μικροδομή
- ο υψηλή απορροφητικότητα και αδράνεια

Οι Xu και Li αξιολόγησαν τη θερμική απόδοση αποθήκευσης ενέργειας σύνθετου τσιμέντου ενσωματώνοντας παραφίνη / διατομίτη, σταθερής μορφής σύνθετο PCM.



Σχήμα 3.1.5.2: Διατομίτες [1]

σταθερής μορφής σύνθετο PCM παραφίνης /

διατομίτη, [1]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο –ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ PCM_s ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΝΗΘΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

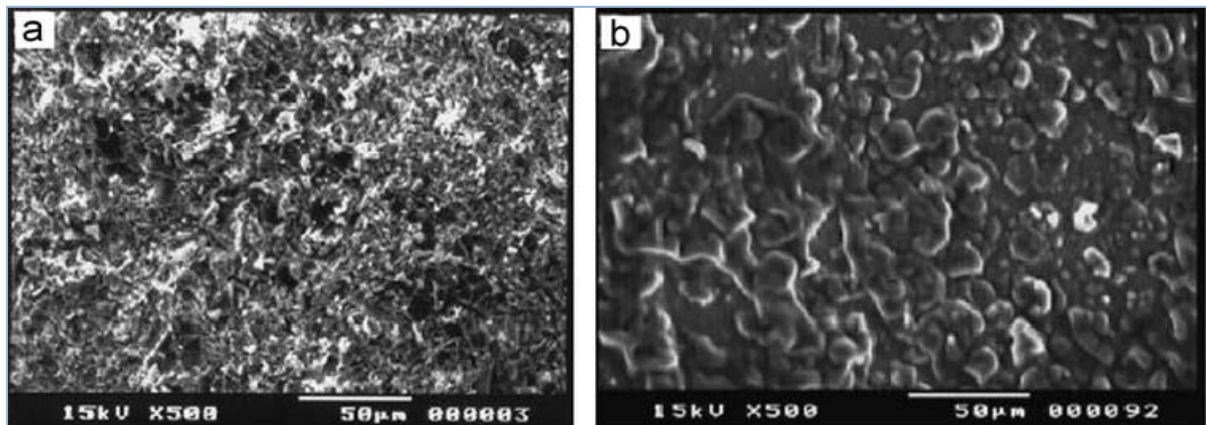
Το μέγιστο ποσοστό της παραφίνης που συγκρατούταν από την σκόνη διατομίτη (DP) μέσω της τεχνικής της άμεσης ενσωμάτωσης βρέθηκε να είναι 47.4 κατά βάρος. Από την ανάλυση DSC, η θερμοκρασία τήξης και λανθάνουσα θερμότητα του σύνθετου PCM βρέθηκε να είναι 41,11 °C και 70.51J / g.

❖ διογκωμένος περλίτης ως υποστηρικτικό υλικό για το PCM

Ο διογκωμένος περλίτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές, πέρα της αποθήκευσης θερμικής ενέργειας καθώς εμφανίζει τα ακόλουθα εξαιρετικά χαρακτηριστικά

- μικρό βάρος
- εξαιρετικά πορώδης
- εξαιρετική αντίσταση στην φωτιά

Ο Sari και οι συνεργάτες του ενσωμάτωσαν επιτυχώς 60% κατά βάρος λαυρικό οξύ σε διογκωμένο περλίτη με την τεχνική του εμποτισμού υπό κενό.



Σχήμα 3.1.5.3: Μικρογραφίες διογκωμένου περλίτη a) πριν την ενσωμάτωση λαυρικού οξέος b) μετά την ενσωμάτωση λαυρικού οξέος, [1]

Το σύνθετο PCM παρουσίαζε υψηλή ενθαλπία (93,36 J/g) και κατάλληλη θερμοκρασία τήξης (44,13 °C). Έπειτα από 1000 κύκλους τήξης/ πήξης εμφάνιζε καλή θερμική και χημική αξιοπιστία. Η θερμική αγωγιμότητα του σύνθετου PCM ενισχύθηκε ενσωματώνοντας 10% κατά βάρος διογκωμένο γραφίτη. Από τα αποτελέσματα των τεστ εξήχθη το συμπέρασμα ότι το σύνθετο PCM είναι πολλά υποσχόμενο για εφαρμογές αποθήκευσης θερμικής ενέργειας.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

❖ διογκωμένος γραφίτης ως υποστηρικτικό υλικό για το PCM

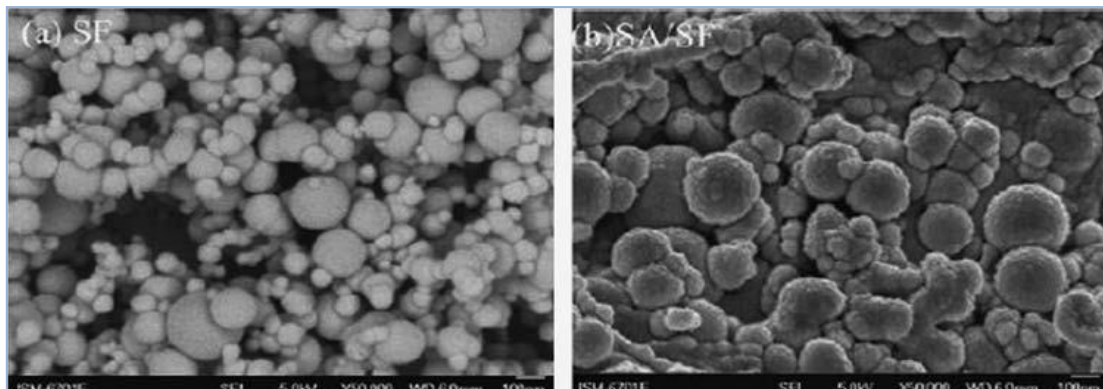
Ο διογκωμένος γραφίτης εμφανίζει καλή απορροφητικότητα και υψηλή θερμοκή αγωγιμότητα. Ως εκ τούτου, έχει χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές αποθήκευσης θερμικής ενέργειας ως υποστηρικτικό υλικό καθώς επίσης και για να βελτιώσει την θερμοκή αγωγιμότητα του συστήματος.

Ο Wang και οι συνεργάτες του ενσωμάτωσαν 90% κατά βάρος πολυαιθυλενογλυκόλη σε διογκωμένο γραφίτη χρησιμοποιώντας την τεχνική του εμποτισμού υπό κενό. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το σύνθετο PCM είναι χημικά συμβατό, η θερμοκρασία τήξης βρέθηκε 61,47 °C, η ενθαλπία 161,2 J/g και η θερμοκή αγωγιμότητα 1,324 W/mK. Έπειτα από 100 θερμοκούς κύκλους οι αλλαγές που εμφανίστηκαν στις θερμοκές ιδιότητες του PCM ήταν μικρότερες από 2,5%. Το σύνθετο PCM με την υψηλή λανθάνουσα θερμότητα και την υψηλή θερμοκή αγωγιμότητα βρέθηκε να είναι υποσχόμενο υποψήφιο PCM για εφαρμογές αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας.

❖ πυριτική παιπάλη

Τόσο η χαμηλής όσο και η υψηλής σε περιεκτικότητα σε διοξείδιο του πυριτίου πυριτική παιπάλη έχει νανο-πορώδη δομή και έχει χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές θερμικής αποθήκευσης ως υποστηρικτικό υλικό για το PCM.

Ο Wang και οι συνεργάτες του ενσωμάτωσαν με επιτυχία 47% κ.β. στεατικό οξύ (SA) σε μήτρα πυριτικής παιπάλης (SF) μέσω της τεχνικής του εμποτισμού υπό κενό.



Σχήμα 3.1.5.4: Μικρογραφία SF και SA/SF σύνθετο PCM, [1]

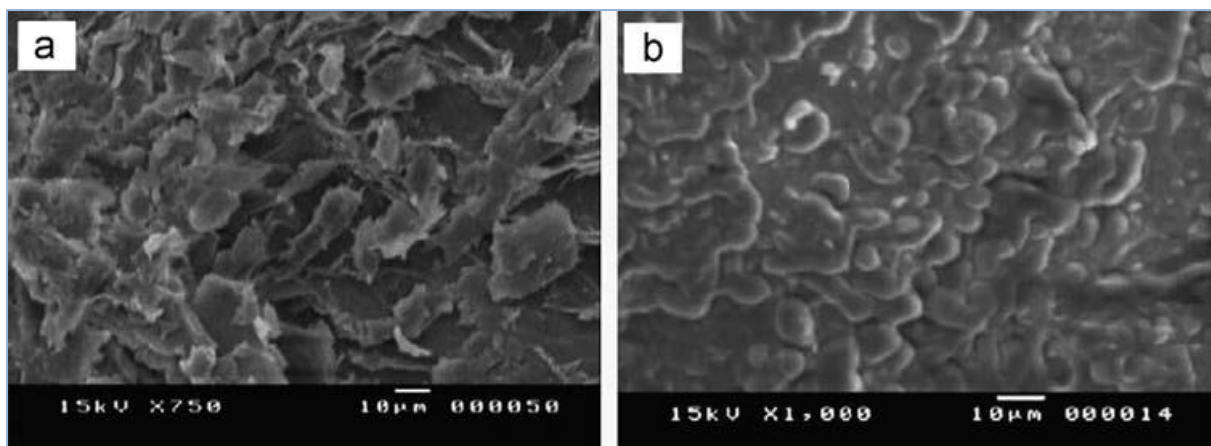
Το σύνθετο ως σταθερής μορφής υλικό θερμικής αποθήκευσης τήκεται στους 58,8 °C με λανθάνουσα θερμότητα 82.53J / g. Το τεστ θερμοκών κύκλων έδειξε ότι το σύνθετο PCM έχει καλή θερμοκή και χημική αξιοπιστία έπειτα από 600 κύκλους τήξης / πήξης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο –ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ PCMs ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΝΗΘΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

❖ Βερμικουλίτη ως υποστηρικτικό υλικό για PCM

Είναι πορώδες, φθινό και ελαφρύ υλικό και βρίσκει εφαρμογές στον τομέα των κατασκευών, τη θερμική μόνωση, την θερμική αποθήκευση ενέργειας, τη γεωργία, την κηπουρική, κλπ.

Οι Karairekli και Sari ,δημιούργησαν ένα σταθερής μορφής σύνθετο PCM ενσωματώνοντας capric-myristic acid (CA-MA) σε αλεσμένη βερμικουλίτη (VMT). Ήταν σε θέση να διατηρήσουν με επιτυχία 20% κατά βάρος στην βερμικουλίτη,PCM, χωρίς διαρροή του PCM από το σύνθετο. Το σύνθετο έδειξε εξαιρετική θερμική και χημική αξιοπιστία όταν υποβλήθηκε σε 3000 κύκλους τήξης και πήξης. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, το σύνθετο μείγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε κονίαμα και σκυρόδεμα.



Σχήμα 3.1.5.5: CA-MA/VMT σύνθετο PCM, [1]

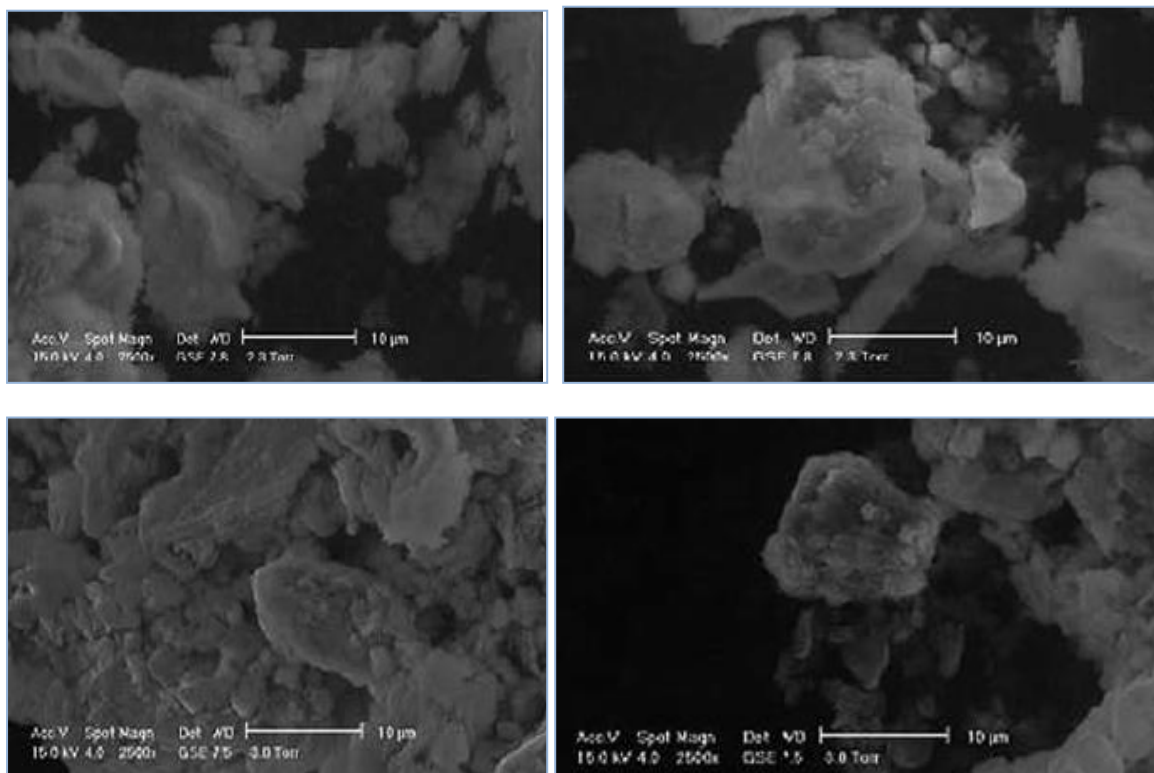
❖ Καολίνη ως υποστηρικτικό υλικό για το PCM

Η Καολίνη έχει ένα ευρύ φάσμα βιομηχανικών εφαρμογών και έχει επίσης χρησιμοποιηθεί εκτενώς σε κονίαμα και σκυρόδεμα για τη βελτίωση της αντοχής και της ανθεκτικότητας τους.

Ο Memon και οι συνεργάτες του ανέπτυξαν ένα σύνθετο PCM σταθερής μορφής έχοντας εξαιρετικό έλεγχο της μεταφοράς θερμότητας όσον αφορά τη θερμική αποθήκευση, τη θερμική σταθερότητα και την αξιοπιστία, τη φυσική και χημική συμβατότητα με την ενσωμάτωση Lauryl alcohol (LA) σε καολίνη (ΚΟ) μέσω της τεχνικής εμποτισμού υπό κενό. Το μέγιστο κλάσμα του LA στην ΚΟ μέσω αυτής της τεχνικής ήταν 24% κατά βάρος.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Ως εκ τούτου, αυτό το σύνθετο υλικό χαρακτηρίστηκε ως σταθερής μορφής σύνθετο PCM. Εικόνες SEM έδειξαν ότι το LA συγκρατούνταν από την πορώδη και πολυεπίπεδη δομή του ΚΟ λόγω της επίδρασης των δυνάμεων τριχοειδούς και επιφανειακής τάσης οι οποίες, με τη σειρά τους, εμπόδισαν την διαρροή του τετηγμένου PCM.



Σχήμα 3.1.5.6: Σύνθετο PCM LA-KO, [1]

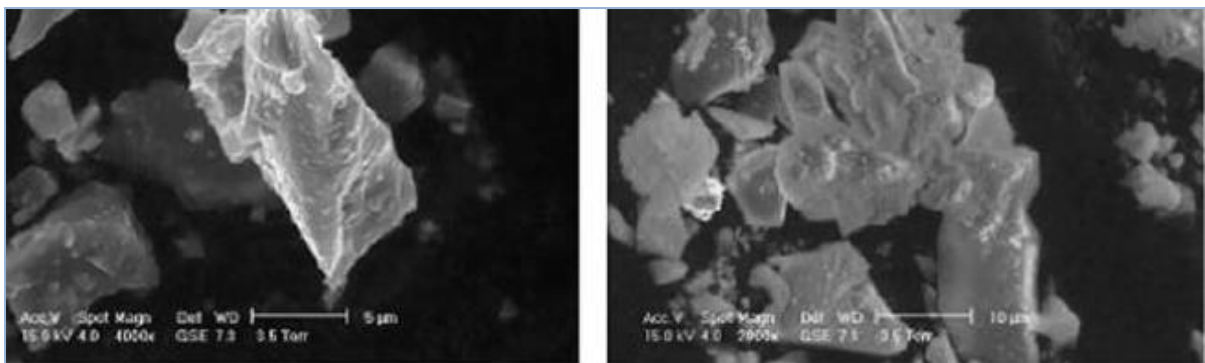
Αποτελέσματα FT-IR έδειξαν ότι το σταθερής μορφής σύνθετο έχει καλή χημική σταθερότητα και την αλληλεπίδραση μεταξύ του LA και ΚΟ είναι φυσική. Η θερμοκρασία τήξεως και η λανθάνουσα θερμότητα του σταθερής μορφής σύνθετου μετρήθηκαν 19.14 °C και 48.08J / g με ανάλυση DSC. Με την μέθοδο TGA και δοκιμές θερμικών κύκλων διαπιστώθηκε ότι το σταθερής μορφής σύνθετο είναι θερμικά σταθερό και αξιόπιστο. Η σχετικά μικρής κλίμακας δοκιμή θερμικής απόδοσης έδειξε ότι σε σύγκριση με τα πάνελ πάστας τσιμέντου χωρίς σύνθετο PCM, τα σταθερής μορφής σύνθετα πάνελ PCM ήταν αποτελεσματικά στη μείωση της θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου έως 4 °C. Ως εκ τούτου, συνάγεται το συμπέρασμα ότι το συγκεκριμένο σύνθετο είναι πολλά υποσχόμενο υποψήφια για αποθήκευση θερμικής ενέργειας στα κτίρια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο –ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ PCMs ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΝΗΘΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

❖ Κοκκώδης σκωρία υψικαμίνων ως υποστηρικτικό υλικό για το PCM

Η κοκκώδης σκωρία (GGBS) είναι ένα πολύ γνωστό υλικό κατασκευής και έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για την παραγωγή σύμμεικτων τσιμεντών, κονιαμάτων και σκυροδέματος. Η αξιοποίηση των GGBS στο σκυρόδεμα οδηγεί σε αυξημένη δύναμη και αντοχή, ανώτερη αρχιτεκτονική εμφάνιση, κ.λπ. Λαμβάνοντας υπόψη όλα αυτά τα οφέλη, το GGBS είναι ένα πιθανό υποψήφιο για αποθήκευση θερμικής ενέργειας στα κτίρια.

Ο Memon και οι συνεργάτες του ανέπτυξαν σταθερής μορφής σύνθετο υλικό αλλαγής φάσης ενσωματώνοντας Dodecyl alcohol (DA) σε GGBS μέσω της τεχνικής του εμποτισμού υπό κενό. Το μέγιστο ποσοστό της DA που διατηρούταν σε GGBS χωρίς διαρροή ήταν 11% κατά βάρος.



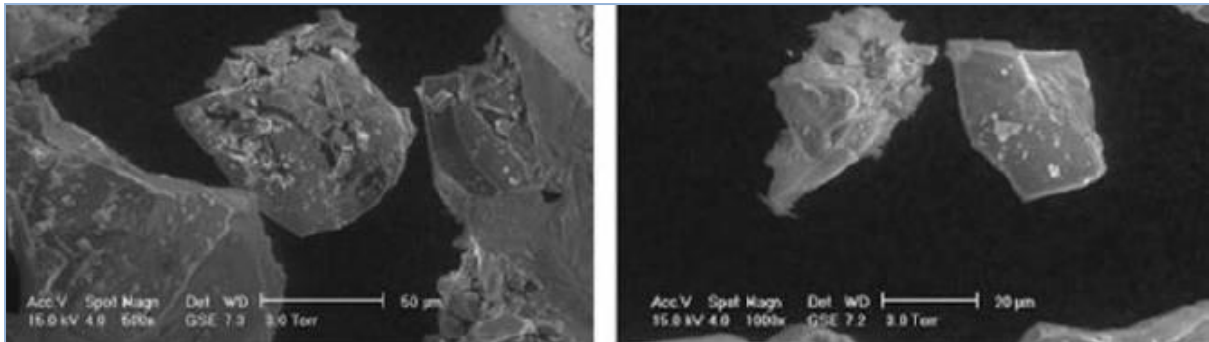
Σχήμα 3.1.5.7: DA/ GGBS σύνθετο PCM , [1]

Αποτελέσματα FT-IR επικύρωσαν ότι τα συστατικά του σταθερής μορφής σύνθετου είναι χημικά σταθερά. Η θερμοκρασία τήξεως και η λανθάνουσα θερμότητα του σταθερής μορφής σύνθετου, όπως μετράται με DSC βρέθηκαν να είναι 21.16 °C and 22.51J / g. Τα αποτελέσματα της TGA και δοκιμές θερμικών κύκλων επιβεβαίωσαν ότι η μορφή σταθερού σύνθετο υλικό είναι θερμικά σταθερό και αξιόπιστο. Ως εκ τούτου, συνάγεται το συμπέρασμα ότι η έτοιμη μορφή-σταθερό σύνθετο είναι ένας πιθανός υποψήφιος για αποθήκευση θερμικής ενέργειας στα κτίρια.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

❖ Απόβλητα υάλου ως υποστηρικτικό υλικό για το PCM

Ο Memon και οι συνεργάτες του διερεύνησαν τη σκοπιμότητα της χρήσης αποβλήτων υάλου για εφαρμογή αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας. n-octadecane ενσωματώθηκε σε σκόνη γυαλιού (GP).



Σχήμα 3.1.5.8: n-octadecane/ GP σύνθετο PCM, [1]

Το μέγιστο ποσοστό μάζας n-octadecane που διατηρείται στο GP βρέθηκε να είναι 8. Αποτελέσματα FT-IR έδειξαν ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ των συστατικών του σύνθετου PCM είναι φυσικά. Οι θερμοκρασίες τήξης και ψύξης του σύνθετου PCM βρέθηκαν να είναι 26.93 και 25.03 °C, ενώ η λανθάνουσα θερμότητα τήξης και πήξης ήταν 18.97 J/g και 18.95 J/g. Η ανάλυση TGA και τα αποτελέσματα θερμικών κύκλων επιβεβαίωσαν ότι το σύνθετο PCM είναι θερμικά σταθερό και αξιόπιστο. Δοκιμές θερμικής απόδοσης έδειξαν ότι το πάστας τσιμέντου με σύνθετο PCM μείωσε την εσωτερική θερμοκρασία του έως 3 °C. Το συμπέρασμα ήταν ότι το σύνθετο PCM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θερμικές εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας σε κτίρια. Επιπλέον, η χρήση του θα προσφέρει βιώσιμη λύση για την επαναχρησιμοποίηση του γυαλιού των αποβλήτων.

3.2 Συνήθη Προβλήματα και Τρόποι Αντιμετώπισης

Συνήθως, το υποψήφιο PCM δεν πληροί όλες τις απαιτήσεις, οι οποίες αναφέρθηκαν σε προηγούμενη ενότητα. Παρόλα αυτά, είναι πολύ πιθανό να χρησιμοποιηθεί εάν αναπτυχθούν τεχνικές για να λυθούν ή να αποφευχθούν πιθανά προβλήματα που εμφανίζονται κατά την λειτουργία του υποψήφιου PCM. [4]

Κατά την λειτουργία του PCM τα συνήθη προβλήματα που μπορεί να εμφανιστούν και καθίστανται αναγκαίο να επιλυθούν είναι τα ακόλουθα

- Υπέρψυξη ή υπόψυξη
- Διαχωρισμός φάσης
- Ανεπαρκής μεταφορά θερμότητας

Στην συνέχεια, ακολουθεί ανάλυση των προβλημάτων που αναφέρθηκαν και παρατίθενται οι τρόποι αντιμετώπισης τους με βάση τα όσα αναφέρονται στην βιβλιογραφία.

3.2.1 Διαχωρισμός Φάσης [3]

Ο αριθμός των κύκλων ενός PCM ποικίλει από ένα, όταν το PCM χρησιμοποιείται για θερμική προστασία σε περίπτωση φωτιάς, σε αρκετούς χιλιάδες κύκλους όταν το PCM χρησιμοποιείται για θέρμανση ή ψύξη των κτιρίων. Ένα από τα κύρια προβλήματα της κυκλικής σταθερότητας είναι ο διαχωρισμός φάσης.

Ο διαχωρισμός φάσης είναι το φαινόμενο κατά το οποίο φάσεις με διαφορετική σύνθεση διαχωρίζονται η μια από την άλλη μακροσκοπικά. Ανάλογα με το πόσο σοβαρός είναι ο διαχωρισμός των φάσεων και πόσο δύσκολο είναι να απαλλαγούμε από αυτόν, η συμπεριφορά τήξης ενός PCM που παρουσιάζει διαχωρισμό φάσεων περιγράφεται ως ημι- σύμφωνη τήξη ή ως ανάρμωστη τήξη, σε αντίθεση με την σύμφωνη τήξη εάν δεν λαμβάνει χώρα διαχωρισμός φάσεων.

Το πρόβλημα με τον διαχωρισμό φάσης είναι ότι μπορεί να μειώσει σε σημαντικό βαθμό την πυκνότητα αποθήκευσης. Επειδή τοπικά η σωστή συγκέντρωση των μορίων για να σχηματιστεί το PCM δεν δίνεται πια, το PCM δεν μπορεί να στερεοποιηθεί εξολοκλήρου. Αυτό σημαίνει ότι η λανθάνουσα θερμότητα στερεοποίησης δεν μπορεί να απελευθερωθεί πλήρως, μερικές φορές απελευθερώνεται μόνο ένα μικρό κλάσμα. Προκειμένου να ανακτηθεί η λανθάνουσα θερμότητα που αποθηκεύεται στο αρχικό υλικό, απαιτείται η σωστή συγκέντρωση των χημικών συστατικών σε ολόκληρο το δείγμα. Μόνο τότε, το PCM μπορεί να στερεοποιηθεί πλήρως.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Η κύρια προσέγγιση προκειμένου να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα του διαχωρισμού φάσης είναι: [4]

- προσθήκη παραγόντων πύκνωσης
- χρησιμοποιώντας περίσσεια νερού
- μηχανική ανάδευση
- ενθυλακώνοντας το PCM ώστε να μειωθεί ο διαχωρισμός
- τροποποιώντας την χημική σύνθεση του συστήματος και καθιστώντας το ασύμβατο υλικό συμβατό



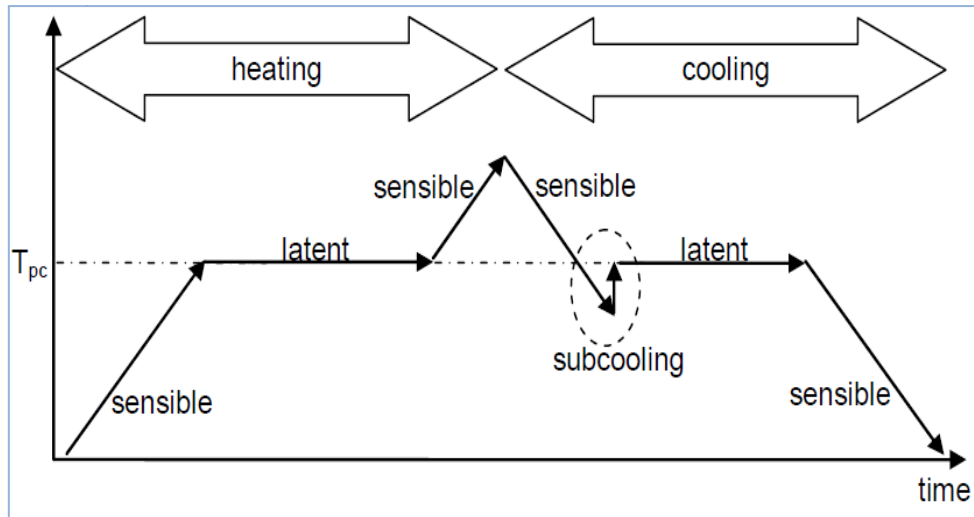
Σχήμα 3.2.1.1: Νερό πηκτωματοποιημένο με ένα παράγωγο κυτταρίνης, [3]



Σχήμα 3.2.1.2: Συμπυκνωμένο ένυδρο άλας, [3]

3.2.2 Υπόψυξη ή Υπέρψυξη [3]

Πολλά PCM δεν στερεοποιούνται αμέσως μετά την ψύξη κάτω από την θερμοκρασία τήξεως, αλλά η κρυσταλλοποίηση τους μπορεί να επιτευχθεί σε θερμοκρασία πολύ χαμηλότερη της θερμοκρασίας τήξεως.

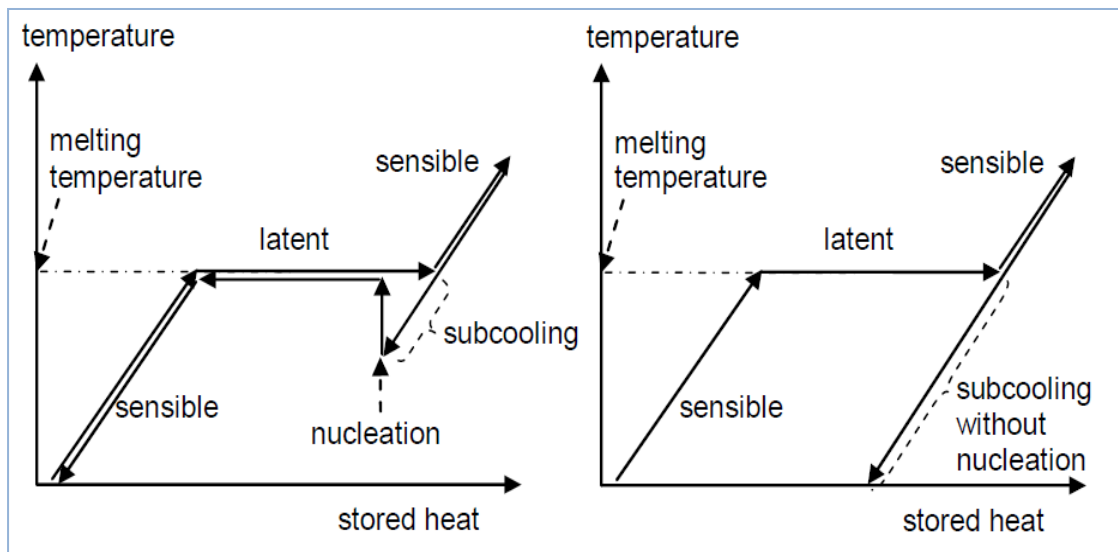


Σχήμα 3.2.2.1: Σχηματική απεικόνιση αλλαγής της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια της θέρμανσης (τήξη) και της ψύξης (στερεοποίηση) ενός PCM με υπόψυξη, [3]

Το φαινόμενο της υπόψυξης (ή υπέρψυξης) καθιστά αναγκαίο να μειωθεί η θερμοκρασία αρκετά πιο κάτω από την θερμοκρασία αλλαγής φάσης (θερμοκρασία τήξης) ώστε να αρχίσει η κρυσταλλοποίηση του PCM και να απελευθερωθεί η λανθάνουσα θερμότητα που αποθηκεύεται στο υλικό. Σε περίπτωση που δεν επιτευχθεί αυτή η θερμοκρασία, το PCM δεν θα στερεοποιηθεί εξολοκλήρου. Εάν δεν λαμβάνει χώρα η πυρήνωση, η λανθάνουσα θερμότητα δεν απελευθερώνεται επαρκώς και το υλικό αποθηκεύει μόνο αισθητή θερμότητα. Σε τεχνικές εφαρμογές των PCM, η υπόψυξη είναι ένα πολύ σοβαρό πρόβλημα.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζεται η επίδραση της υπόψυξης στην αποθήκευση θερμότητας



Σχήμα 3.2.2.2: Επίδραση της υπόψυξης για την αποθήκευση θερμότητας. Αριστερά: με λίγη υπόψυξη και πυρήνωση, δεξιά: σοβαρή υπόψυξη χωρίς πυρήνωση, [3]

Αντιμετώπιση προβλήματος [4]

Το πρόβλημα της υπόψυξης (ή υπέρψυξης) μπορεί να αντιμετωπιστεί με έναν από τους ακόλουθους τρόπους:

- Προσθήκη παράγοντα σχηματισμού πυρήνων
- Μηχανική ανάδευση
- Προσθήκη κάποιας μεθόδου πρόσμειξης
- Τεχνική ψυχρού δαχτύλου
- Ενθυλακώση του PCM ώστε να μειωθεί η υπέρψυξη

3.2.3 Ανεπαρκής Μεταφορά Θερμότητας

Ένα κύριο θέμα που απαιτεί προσοχή είναι ότι τα περισσότερα PCM έχουν χαμηλή θερμική αγωγιμότητα. Όλα τα συμβατικά PCM, οργανικά και ανόργανα, παρουσιάζουν χαμηλή θερμική αγωγιμότητα η οποία κυμαίνεται από 0.1 έως 0.6 W/mK. [5]

Τέτοιες χαμηλές τιμές της θερμικής αγωγιμότητας παρατείνουν τις περιόδους φόρτισης και αποφόρτισης στα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. Όσον αφορά τα κτίρια, οι περίοδοι φόρτισης και αποφόρτισης αφορούν το εικοσιτετράωρο. Την ημέρα λαμβάνει χώρα η φόρτιση και την νύχτα η αποφόρτιση. Με το πέρας της διαδικασίας κλείνει ένας κύκλος φόρτισης-αποφόρτισης (24 ώρες). Ως επακόλουθο της χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας των PCM, μπορεί να μην χρησιμοποιηθεί όλη η λανθάνουσα θερμότητα ή το PCM να μην αποφορτιστεί πλήρως και να μην είναι ικανό να απορροφήσει θερμότητα την επόμενη μέρα.[6]

Για την αποφυγή της δυσλειτουργίας του συστήματος εξαιτίας της χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας του PCM απαιτείται μια στρατηγική προκειμένου να ενισχυθεί η μεταφορά θερμότητας.

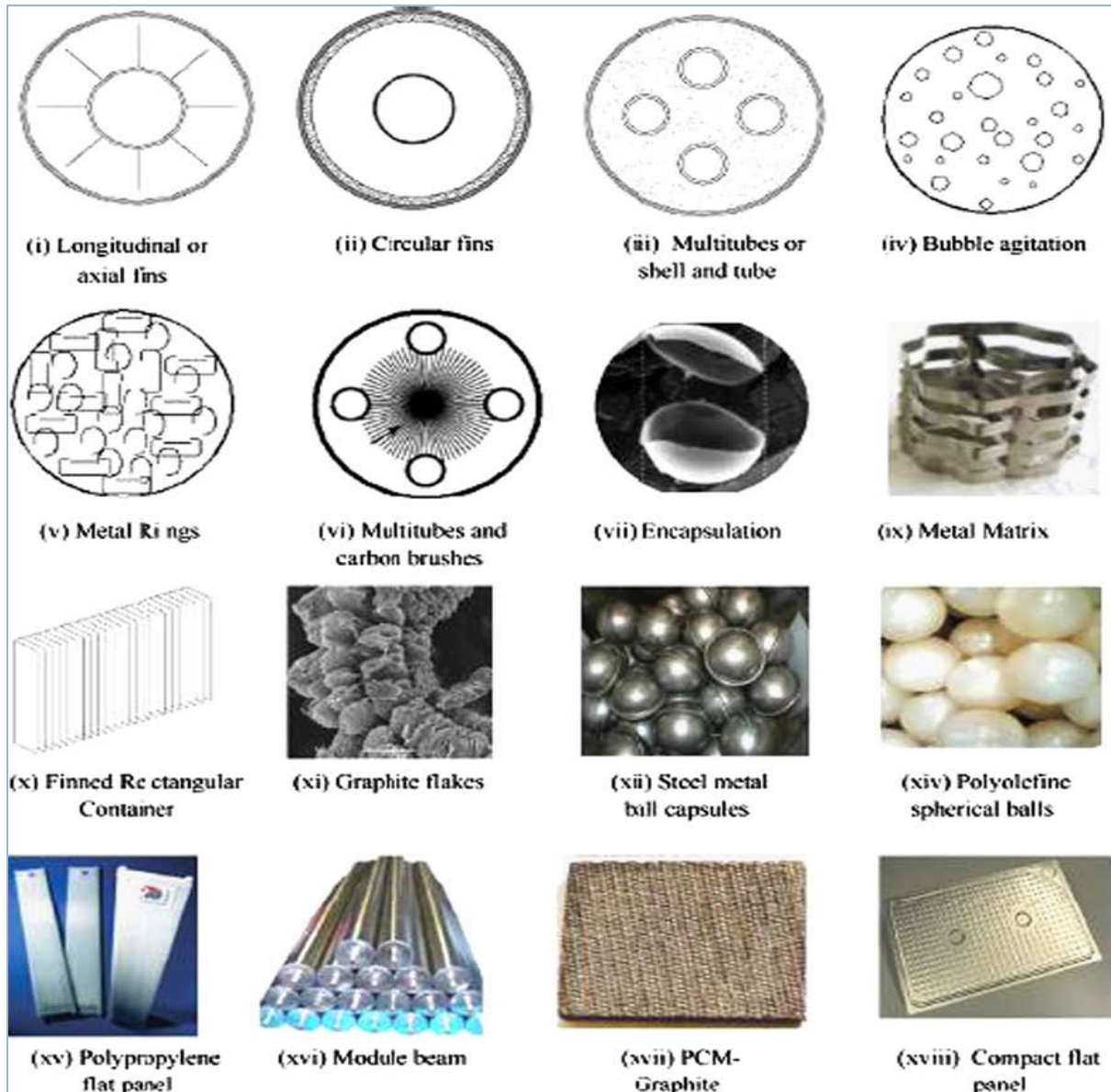
Πολλές από τις μεθόδους που έχουν χρησιμοποιηθεί προκειμένου να βελτιωθεί η θερμική αγωγιμότητα των συμβατικών PCM είναι:

- Εμποτισμός του PCM με πορώδη υλικά υψηλής αγωγιμότητας (μήτρες χαλκού, αλουμινίου, γραφίτη, αφρώδη μέταλλα)
- Διασπορά εξαιρετικά αγώγιμων υλικών στο PCM (γραφίτης, αλουμίνιο, χαλκός, ασήμι)
- Τοποθέτηση μεταλλικών κατασκευών στο PCM (μικρά δαχτυλίδια, χάντρες μετάλλου, μεταλλικά πτερούγια)
- Χρήση ινώδη υλικών, δηλαδή χαμηλής πυκνότητας πολύ αγώγιμων υλικών στο PCM (ίνες άνθρακα)
- Μικροενθλακώνοντας το PCM (μπάλες χάλυβα)

Αυτό δείχνει ότι η θερμική αγωγιμότητα του PCM μπορεί να βελτιωθεί ενσωματώνοντας υλικά υψηλής θερμικής αγωγιμότητας. Ωστόσο, η προσθήκη αυτών των υλικών μπορεί να οδηγήσει στην μείωση της χωρητικότητας αποθήκευσης του καθαρού PCM. Έτσι είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί το βέλτιστο κλάσμα μάζας/όγκου το οποίο θα οδηγήσει στην αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας του PCM χωρίς να επιδράσει σημαντικά στην χωρητικότητα αποθήκευσης του καθαρού PCM. [1]

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Στην εικόνα που ακολουθεί απεικονίζονται ορισμένοι τρόποι που χρησιμοποιούνται προκειμένου να βελτιωθεί η θερμική αγωγιμότητα των PCMs.



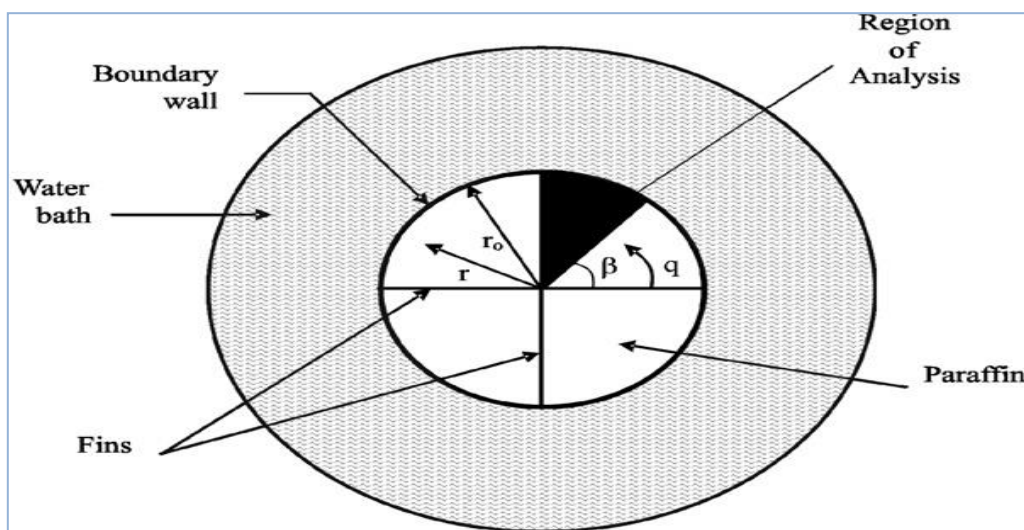
Σχήμα 3.2.3.1: Μέθοδοι βελτίωσης της μεταφοράς θερμότητας που χρησιμοποιούνται στην έρευνα των PCM, [1]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο –ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ PCMΣ ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΝΗΘΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Στην συνέχεια παρατίθενται ορισμένα παραδείγματα ενίσχυσης της θερμικής αγωγιμότητας σε PCM.

- ο Ενίσχυση χρησιμοποιώντας διαμορφώσεις πτερυγίων [7]

Ο Velraj και οι συνεργάτες του πραγματοποίησαν μια πειραματική ανάλυση και αριθμητική προσομοίωση της διαδικασίας στερεοποίησης ενός PCM μέσα σε ένα κατακόρυφο σωλήνα με εσωτερικές διαμορφώσεις πτερυγίων όταν ο σωλήνας ψυχόταν από έξω.



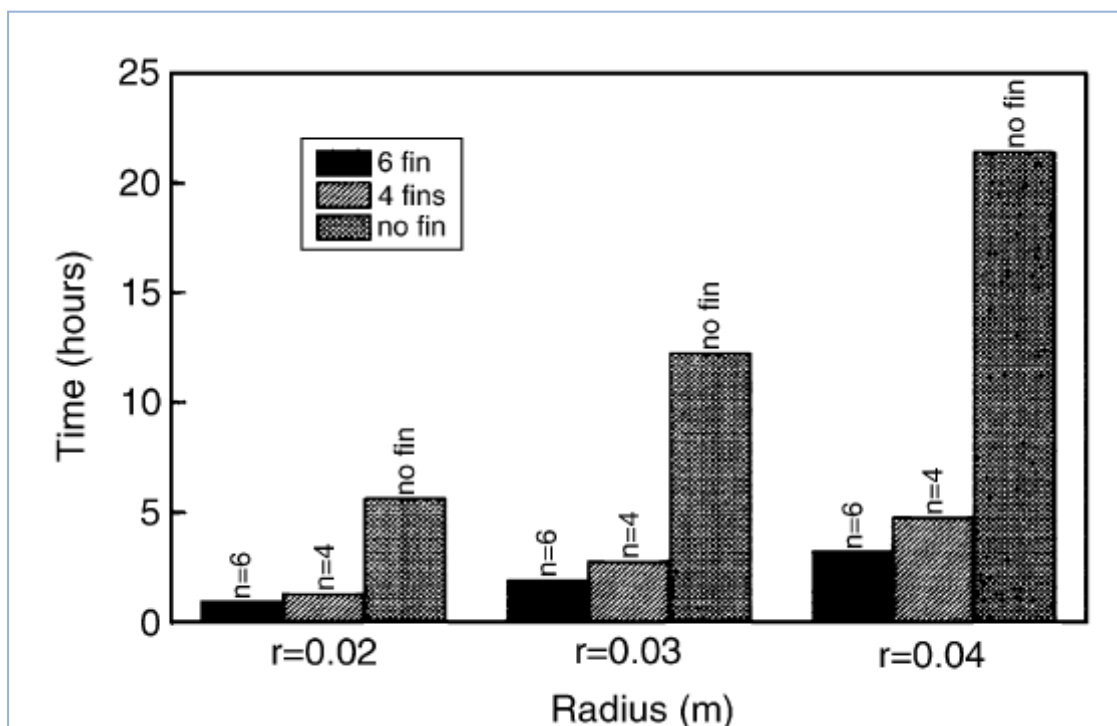
Σχήμα 3.2.3.2: Εγκάρσια τομή του σωλήνα, [7]

Στο πείραμα, η μονάδα αποθήκευσης αποτελείτο από ένα κατακόρυφο κυλινδρικό σωλήνα αλουμινίου με εξωτερικές και εσωτερικές διαμέτρους 60 και 54 mm, αντίστοιχα, και μήκος 600 mm. Στο εσωτερικό του σωλήνα, υπήρχαν τέσσερα πτερύγια πάχους 1,5 mm κατασκευασμένα από το ίδιο υλικό, ύψους 27 mm και μήκους 500 mm. Ο σωλήνας γέμιζε με τετηγμένη παραφίνη RT 60 με θερμοκρασία τήξης μεταξύ 58 και 60 °C. Αυτός ο σωλήνας τοποθετήθηκε μέσα σε ένα άλλο κυλινδρικό δοχείο που περιείχε νερό. Η θερμοκρασία στο λουτρό ύδατος ελεγχόταν με θερμοστάτη. Αρχικά, οι θερμοκρασίες της παραφίνης και του λουτρού του ύδατος που την περιέβαλε διατηρούνταν σε σταθερό επίπεδο το οποίο ήταν ελαφρώς πιο πάνω από τη θερμοκρασία στερεοποίησης. Στη συνέχεια, η θερμοκρασία του λουτρού ύδατος μειώθηκε γρήγορα κάτω από την θερμοκρασία στερεοποίησης και διατηρήθηκε σε αυτό το επίπεδο σε όλο το πείραμα. Οι αριθμητικοί υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν για διαφορετικά πάχη του τοιχώματος του σωλήνα και των πτερυγίων για διάμετρο του

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

σωλήνα 0.06 m. Οι υπολογισμοί έδειξαν ότι δεν υπάρχει μείωση στη μεταφορά θερμότητας όταν τα πάχη του τοιχώματος και των πτερυγίων μειώνονται έως 1,5 mm. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι όταν ο αριθμός των πτερυγίων ξεπερνούσε τους τέσσερις, τότε τα πτερύγια θα μπορούσαν να έχουν διαφορετικά ύψη. Ορισμένα πτερύγια θα μπορούσαν να περιοριστούν να έχουν ύψος ίσο με το ήμισυ της ακτίνας του σωλήνα.

Το σχήμα στην συνέχεια επιδεικνύει τα αποτελέσματα που ελήφθησαν σχετικά με τον πλήρη χρόνο στερεοποίησης για σωλήνα και με χωρίς πτερύγια.



Σχήμα 3.2.3.3: Ο χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρωθεί η στερεοποίηση για διάφορες ακτίνες σωλήνων και αριθμούς πτερυγίων από τον Velraj και τους συνεργάτες του, [7]

Μπορεί να φανεί ότι στην περίπτωση του σωλήνα με πτερύγια ο χρόνος για μια πλήρη στερεοποίηση θα μπορούσε να καθοριστεί κατά προσέγγιση ως $1/n$ της περίπτωσης όπου δεν υπάρχουν πτερύγια στο σωλήνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο –ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ PCMΣ ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΝΗΘΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Οι ίδιες ερευνητές ερεύνησαν τη διακύμανση στην αποτελεσματικότητα της θερμικής αγωγιμότητας της μονάδας αποθήκευσης θερμότητας, όταν διάφορες εξαιρετικά αγωγίμες δομές ήταν ενσωματώνονταν στο μέσο αποθήκευσης θερμότητας.

Στην πρώτη περίπτωση, χρησιμοποιήθηκαν πτερύγια, εσωτερικά, κατά μήκος κυλινδρικού σωλήνα αποθήκευσης που περιείχε παραφίνη.

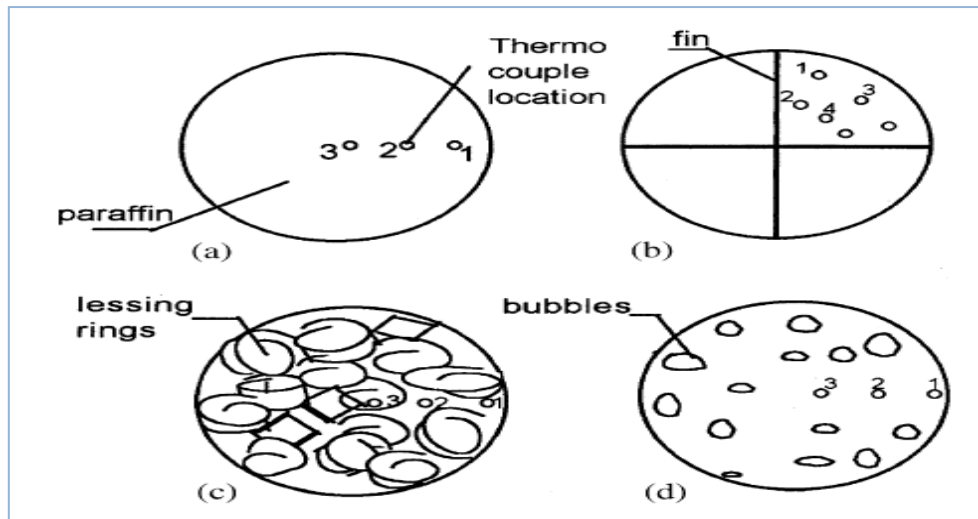
Στην δεύτερη περίπτωση, ο σωλήνας πληρώθηκε με μικρούς δακτυλίους διαμέτρου 1 cm. Αυτοί οι δακτύλιοι χρησιμοποιούνται ευρέως σε χημικούς αντιδραστήρες για την αύξηση της επιφάνειας επαφής. Οι δακτύλιοι είναι κατασκευασμένοι από χάλυβα και καταλαμβάνουν περίπου το 20% του όγκου του σωλήνα.



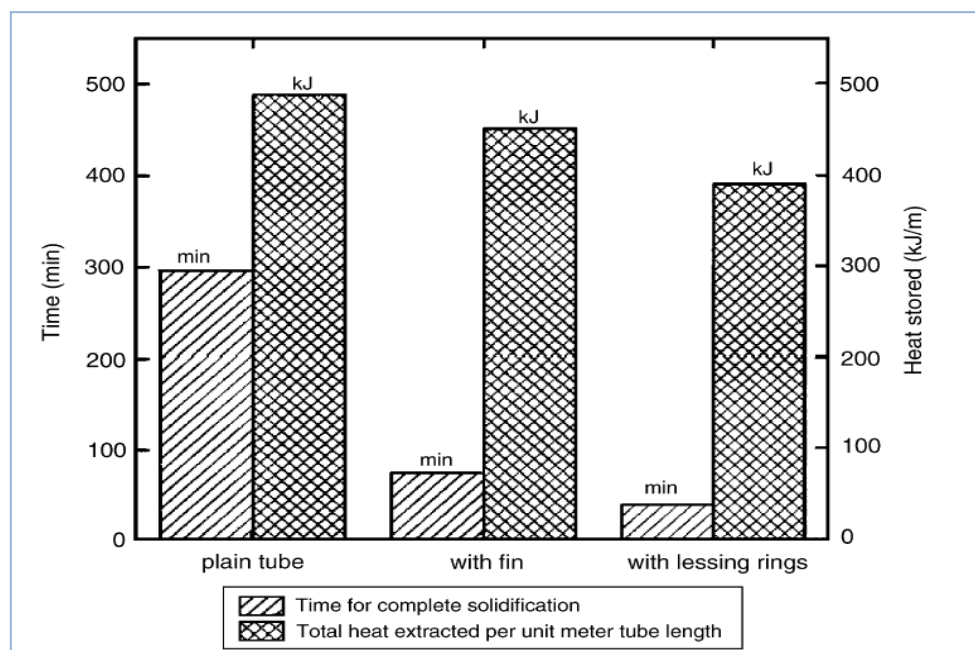
Σχήμα 3.2.3.4: Λεπτά δαχτυλίδια-Lessing rings, [7]

Στην τρίτη μελέτη, μια μικρή ποσότητα ύδατος προστίθεται στο σωλήνα. Μετά την προσθήκη της τηγμένης παραφίνης ο σωλήνας εκκενώνεται από μία αντλία κενού. Το κενό διατηρείται έτσι ώστε η θερμοκρασία κορεσμού του νερού στο εσωτερικό του σωλήνα να είναι σχεδόν ίση με εκείνη της θερμοκρασίας τήξεως της παραφίνης. Τα πτερύγια καταλαμβάνουν ένα σχετικά μικρό κλάσμα του όγκου του σωλήνα.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ



Σχήμα 3.2.3.5: Διατομές του σωλήνα αποθήκευσης παραφίνης (α) απλός σωλήνας, (β) σωλήνας με πτερούγια, (γ) σωλήνας με Lessing rings, (δ) σωλήνας με φυσαλίδες, [7]



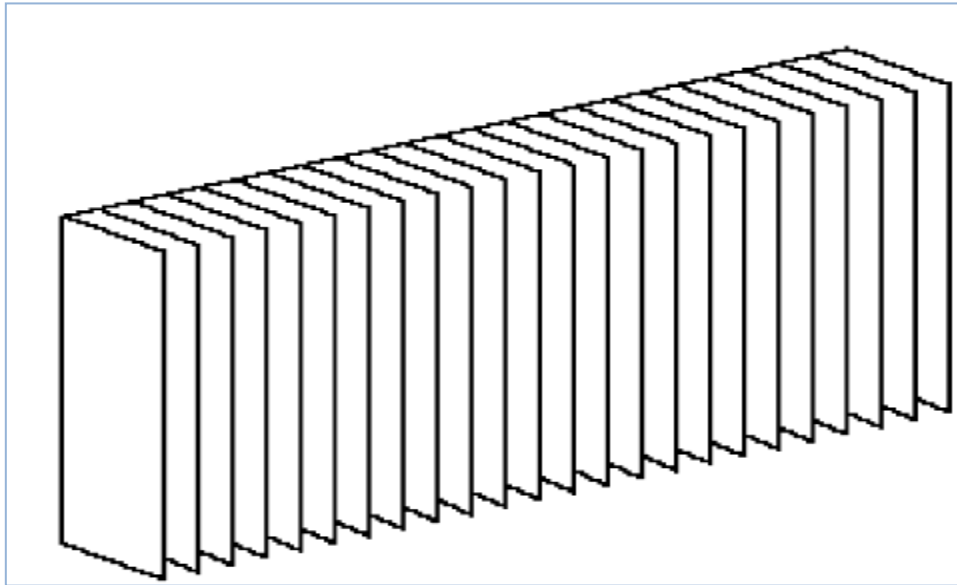
Σχήμα 3.2.3.6: Σύγκριση του συνολικού χρόνου στερεοποίησης και η συνολική ποσότητα της αποθηκευμένης θερμότητας για διαφορετικές διαμορφώσεις, [7]

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί και από το παραπάνω διάγραμμα, ο χρόνος που απαιτείται για την πλήρη στερεοποίηση στην δεύτερη περίπτωση είναι περίπου το 1/9 του χρόνου που απαιτείται για την περίπτωση του απλού σωλήνα. Όσον αφορά την τρίτη περίπτωση, ο χρόνος που απαιτείται για την πλήρη στερεοποίηση στην τρίτη περίπτωση είναι περίπου το 1/4 του χρόνου που απαιτείται για την περίπτωση του απλού σωλήνα. Οι αριθμητικές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο –ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ PCMΣ ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΝΗΘΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

προσομοιώσεις δείχνουν ότι ο χρόνος παραμένει σχεδόν αμετάβλητος για σταθερό αριθμό των πτερυγίων, ανεξάρτητα από τη διάμετρο του σωλήνα.

Ένα άλλο παράδειγμα για την ενίσχυση της μεταφοράς θερμότητας στο σύστημα αποθήκευσης θερμότητας αποτελεί η πειραματική μελέτη σε μια ορθογώνια μονάδα αποθήκευσης θερμότητας γεμισμένη με παραφίνη RT 30 της εταιρείας Rubitherm.

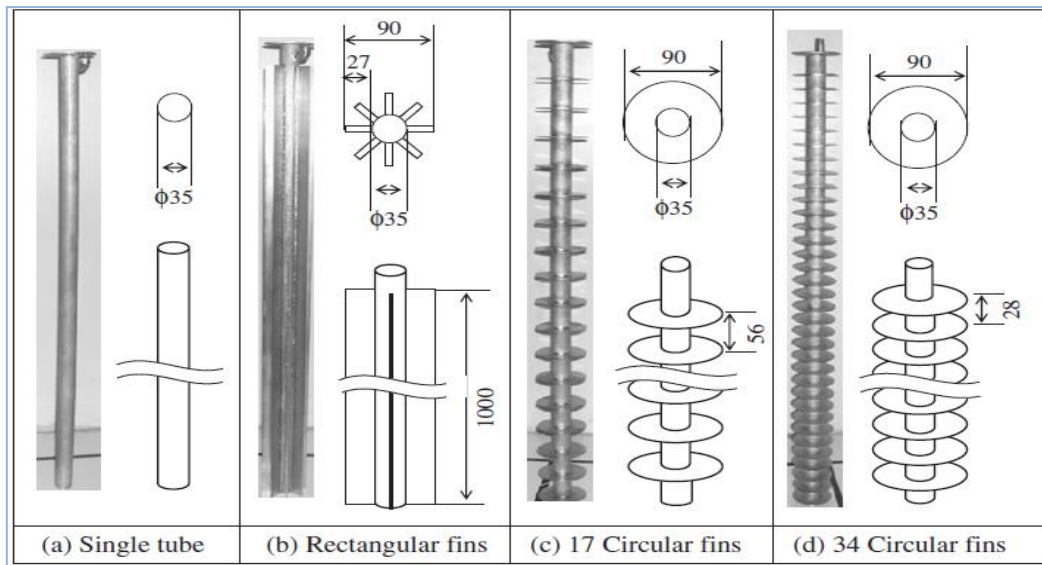


Σχήμα 3.2.3.7: Διαμορφώσεις πτερυγίων για την ενίσχυση της μεταφοράς θερμότητας ,[7]

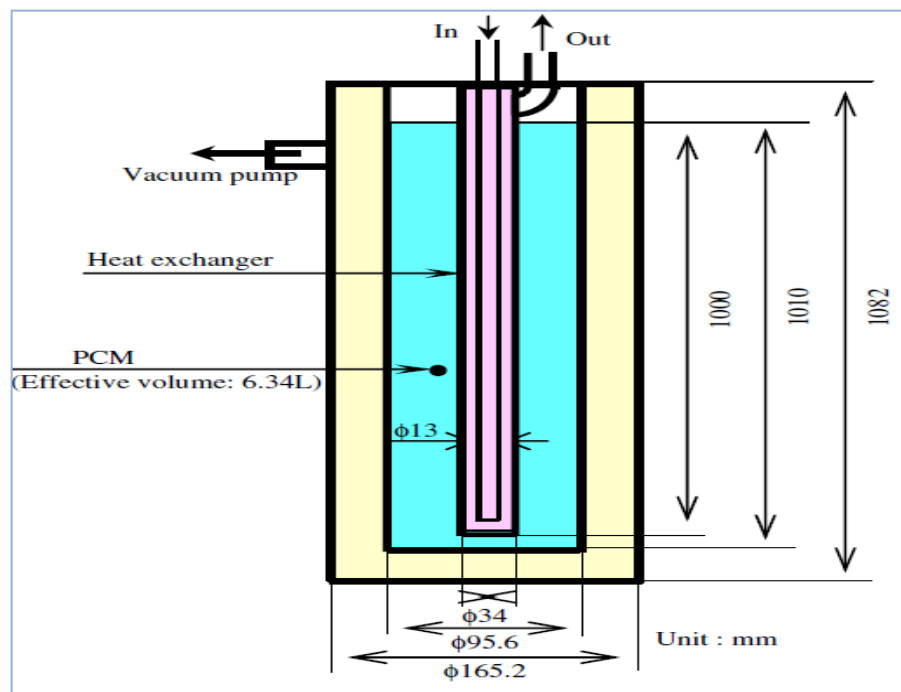
Τα πτερύγια για την ενίσχυση της μεταφοράς θερμότητας ήταν κατασκευασμένα από χάλυβα με θερμική αγωγιμότητα $20\text{W} / \text{mK}$. χρησιμοποιήθηκαν τριάντα δύο ορθογώνια πτερύγια πάχους 1mm , με ύψος και μήκος $0,5\text{ m}$ και $0,12\text{ m}$, αντίστοιχα. Διαπιστώθηκε ότι για ένα μικρό αριθμό Fourier, η αποτελεσματικότητα των πτερυγίων (λόγος της μεταφοράς θερμότητας με και χωρίς πτερύγια) είναι μικρότερη από 1. Ο λόγος για αυτό είναι ότι η φυσική συναγωγή, η οποία είναι κυρίαρχη στη διαδικασία της τήξης, μειώνεται με την παρουσία των πτερυγίων. Η αποτελεσματικότητα του πτερυγίου κατά τη στερεοποίηση ποικίλει από 0,5 έως 3, ανάλογα με τις αντίστοιχους αριθμούς Stefan και Fourier.

Η επίδραση των πτερυγίων επί του λόγου μεταφοράς θερμότητας διερευνήθηκε από τον Nagano. Χρησιμοποιήθηκε νερό, μικροενθυλακωμένο διφασικό μείγμα ΥΑΦ και ένυδρου άλατος (ένα μίγμα 85% κατά βάρος $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + 15% κατά βάρος $6\text{H}_2\text{O MgCl}_2$) σαν υλικό αποθήκευσης θερμότητας.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ



Σχήμα 3.2.3.8: Οι εναλλάκτες θερμότητας που χρησιμοποιήθηκαν από τον Nagano, [7]



Σχήμα 3.2.3.9:
Σχηματική απεικόνιση
δοχείου ανταλλαγής
θερμότητας, [7]

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μια απλή αύξηση του αριθμού των πτερυγίων δεν επιφέρει επαρκή ενίσχυση της θερμικής αγωγιμότητας. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, ο Nagano παρατήρησε μία μόνο περίπτωση όπου ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας ήταν περίπου διπλάσιος της περίπτωσης που χρησιμοποιείται ο απλός σωλήνας. Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν σε αυτή μελέτη έρχονται σε αντίθεση με εκείνα που ελήφθησαν από τον Velraj και τους συνεργάτες του. Δεδομένου της ελλιπούς περιγραφής των πειραματικών μελετών, δεν μπορεί να δοθεί καμία επεξήγηση όσον αφορά τις διαφορές των δυο προαναφερθέντων πειραμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο –ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ PCMs ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΝΗΘΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

- ο Ενίσχυση χρησιμοποιώντας δομές υψηλής αγωγιμότητας [7 , 5]

Το 1996, ο Tayeb πραγματοποίησε το πρώτο ποιοτικό πείραμα με σκοπό την αύξηση της αποτελεσματικότητας της θερμικής αγωγιμότητας σε ένα μέσο αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας, με χρήση κεριού παραφίνης ,ως PCM ,ενσωματωμένο σε μεταλλικά ροκανίδια.

Λίγο αργότερα, οι Hafner και Schwarzer παρουσίασαν τα αποτελέσματα της μελέτης τους όσον αφορά την επίδραση διαφόρων μεταλλικών κατασκευών στην μεταφορά θερμότητας της παραφίνης.

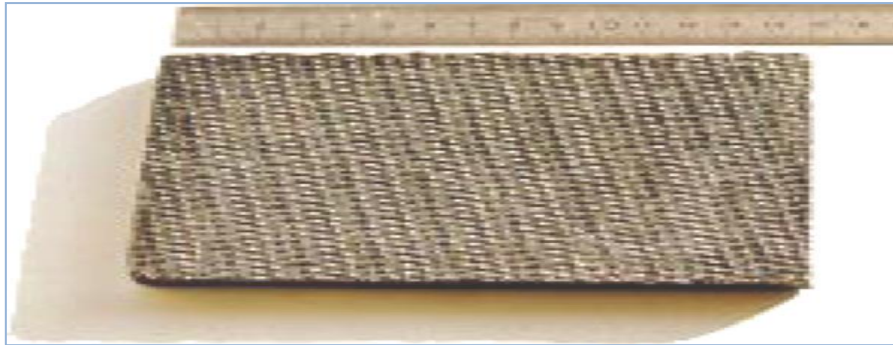


Σχήμα 3.2.3.10: Δομές αλουμινίου με VSP25 και VSP50, [7]

Η πλήρωση με VSP25 παρουσίασε την υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα, $1W / (mK)$, η οποία είναι περίπου έξι φορές μεγαλύτερη από αυτή της καθαρής παραφίνης. Κατά τη μελέτη της μακροπρόθεσμης απόδοσης αποθήκευσης μιας πειραματικής μονάδας με διαστάσεις $940 \times 845 \times 250 \text{ mm}$ παρατηρήθηκε ότι η αποτελεσματικότητα της αγωγιμότητας κατά τη διάρκεια της διαδικασίας στερεοποίησης ήταν $0,5 W / (mK)$, δηλαδή, το ήμισυ της τιμής κατά την έναρξη του πειράματος. Μια τέτοια μείωση οφείλεται στο σχηματισμό ενός στερεού στρώματος παραφίνης κατά μήκος του τοιχώματος του σωληνοειδούς εναλλάκτη θερμότητας.

Το 1996, οι Satzger και Eska (ZAE Bayern) πρότειναν μια μέθοδο για την αποθήκευση θερμικής ενέργειας σε ένα σύνθετο υλικό που αποτελείται από ένα PCM ενσωματωμένο σε μία μήτρα διογκωμένου γραφίτη (MEG). Παρόμοια σύνθετα υλικά ερευνήθηκαν επίσης από τον Mehling και τον Mehling με τους συνεργάτες του.

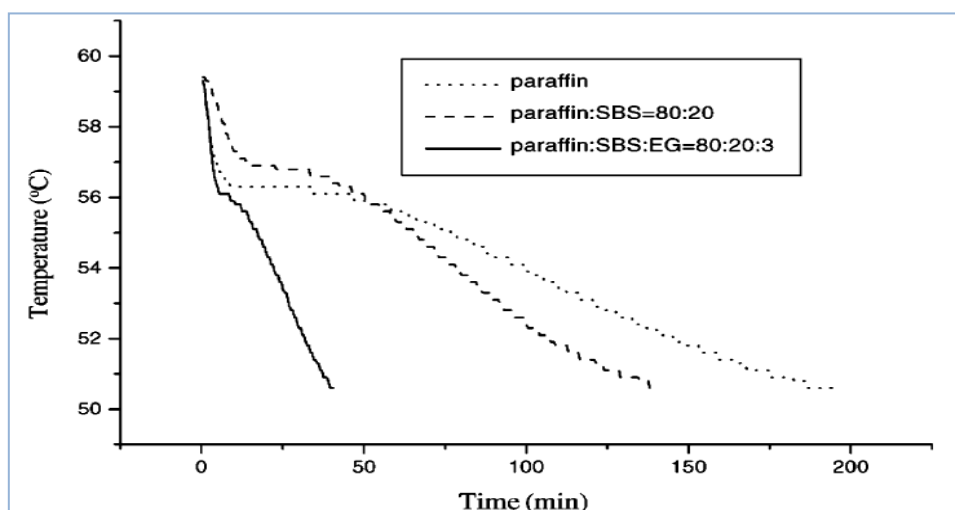
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ



Σχήμα 3.2.3.11: Σύνθετο υλικό γραφίτη-PCM, [7]

Τα τυπικά κλάσματα όγκου στην σύνθεση PCM -γραφίτη ήταν 10% κατ'όγκο του γραφίτη, 75-85% κατ'όγκο του PCM, με το υπόλοιπο του όγκου να γεμίζει με αέρα. Ανάλογα με το κλάσμα όγκου του γραφίτη στην σύνθεση, η αποτελεσματική θερμική αγωγιμότητα αυξήθηκε από 0,2 W / (mK) για καθαρό ΥΑΦ σε 25-30 W / (mK). Αυτή η αύξηση είναι μεγαλύτερη από εκείνη που επιτυγχάνεται με τη χρήση μεταλλικών δακτυλίων και είναι μέχρι δύο τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη σε σύγκριση με το καθαρό ΥΑΦ. Ταυτόχρονα, η πυκνότητα αποθήκευσης θερμότητας μειώθηκε περίπου μόνο κατά 20%.

Ο Χiao και οι συνεργάτες του ανέπτυξαν ένα υλικό θερμικής αποθήκευσης σταθεροποιημένου σχήματος στην βάση του μίγματος μιας παραφίνης τεχνικού βαθμού (με το σημείο τήξεως του 56-58 °C) και ενός styrene-butadiene-styrene (SBS) τρίτης κατηγορίας συν-πολυμερούς. Για τη βελτίωση της θερμικής αγωγιμότητας του, αυτό το σύνθετο αποτελείται από παραφίνη, SBS και γραφίτη (EG), με αναλογία βέρους 80: 20: 3.



Σχήμα 3.2.3.12: Σχηματική απεικόνιση διαδικασίας ψύξης της καθαρής παραφίνης και σύνθετων PCMS, [7]

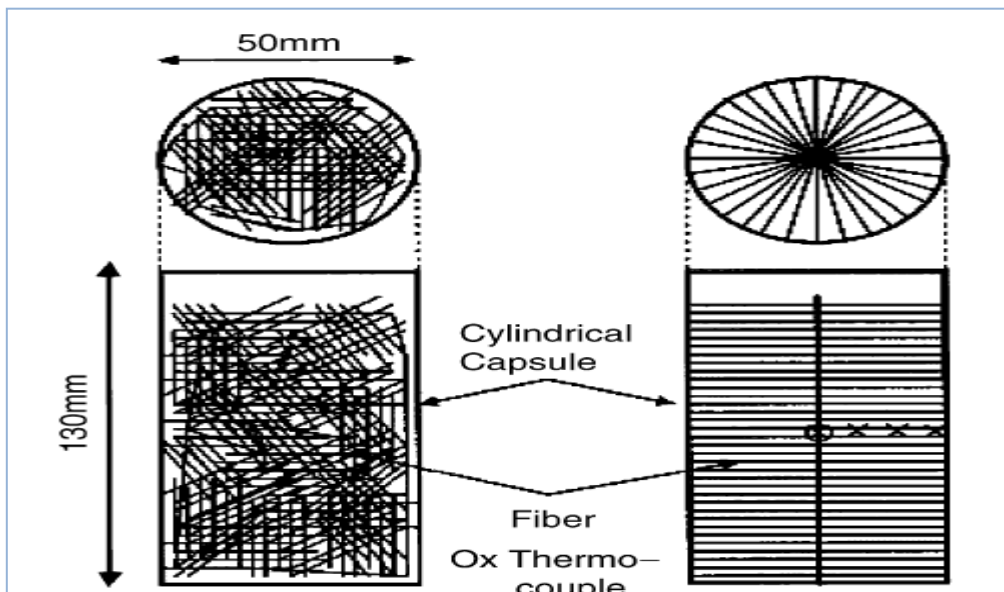
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο –ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ PCMs ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΝΗΘΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε από το παραπάνω διάγραμμα, ο χρόνος για την ολοκλήρωση της διαδικασίας της στερεοποίησης αποτελεί δύο ένατα εκείνου για την καθαρή παραφίνη.

Οι ίνες άνθρακα είναι ανθεκτικές στην διάβρωση και την χημική αποσύνθεση και πρέπει να είναι συμβατές με τα περισσότερα PCMs. Η ίνα άνθρακα έχει θερμική αγωγιμότητα παρόμοια με του χαλκού και του αλουμινίου και η πυκνότητα της είναι θεωρητικά μικρότερη από 2260 kg/m^3 , η οποία είναι χαμηλότερη από την πυκνότητα των μετάλλων που χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση της θερμικής αγωγιμότητας.

Υπάρχει ποικιλία ινών άνθρακα στην αγορά των οποίων η θερμική αγωγιμότητα, σύμφωνα με το Fukai και τους συνεργάτες του είναι καλύτερη από 1000 W/mK .

Δυο τεχνικές ενίσχυσης της θερμικής αγωγιμότητας με χρήση ινών άνθρακα παρουσιάζονται στην συνέχεια. Στην πρώτη περίπτωση, οι ίνες άνθρακα κατανεμήθηκαν τυχαία στο PCM, ενώ στην δεύτερη περίπτωση οι ίνες άνθρακα ήταν προσανατολισμένες κατά τη διεύθυνση της ροής θερμότητας.



Σχήμα 3.2.3.13: Χρήση ινών άνθρακα σε κυλινδρικές κάψουλες, [7]

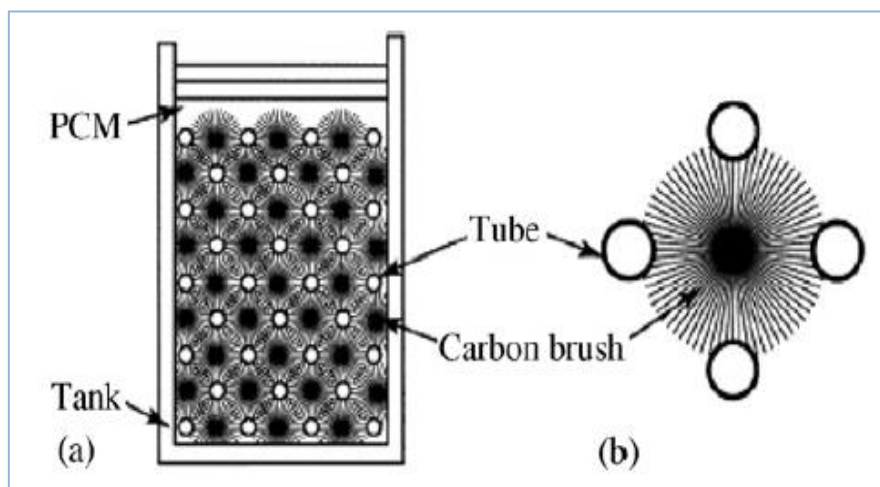
Και στις δυο περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν ίνες άνθρακα διαμέτρου $10 \mu\text{m}$, πυκνότητας 2170 kg/m^3 και θερμικής αγωγιμότητας 220 W/(mK) σε συνθήκες δωματίου. Η θερμοκρασία αλλαγής φάσης της παραφίνης κεριού, που χρησιμοποιήθηκε και στα δυο πειράματα, και η θερμική της αγωγιμότητα στην στερεή κατάσταση ήταν $41-43 \text{ }^\circ\text{C}$ και 0.26 W/mK , αντίστοιχα.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Επιπλέον, και στις δυο περιπτώσεις, οι ίνες άνθρακα τοποθετήθηκαν σε κυλινδρική κάψουλα από χάλυβα και στην συνέχεια ακολούθησε το γέμισμα της κάψουλας με λιωμένη παραφίνη.

Συμφώνα με τα πειραματικά αποτελέσματα η προσθήκη μικρής ποσότητας ινών άνθρακα στο PCM, θα μπορούσε να ενισχύσει σημαντικά τη μεταφορά θερμότητας στα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.

Μια άλλη πειραματική εγκατάσταση στην οποία χρησιμοποιήθηκαν ίνες άνθρακα και PCM παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 3.2.3.14: Μονάδα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας γεμισμένη από ίνες άνθρακα, [7]

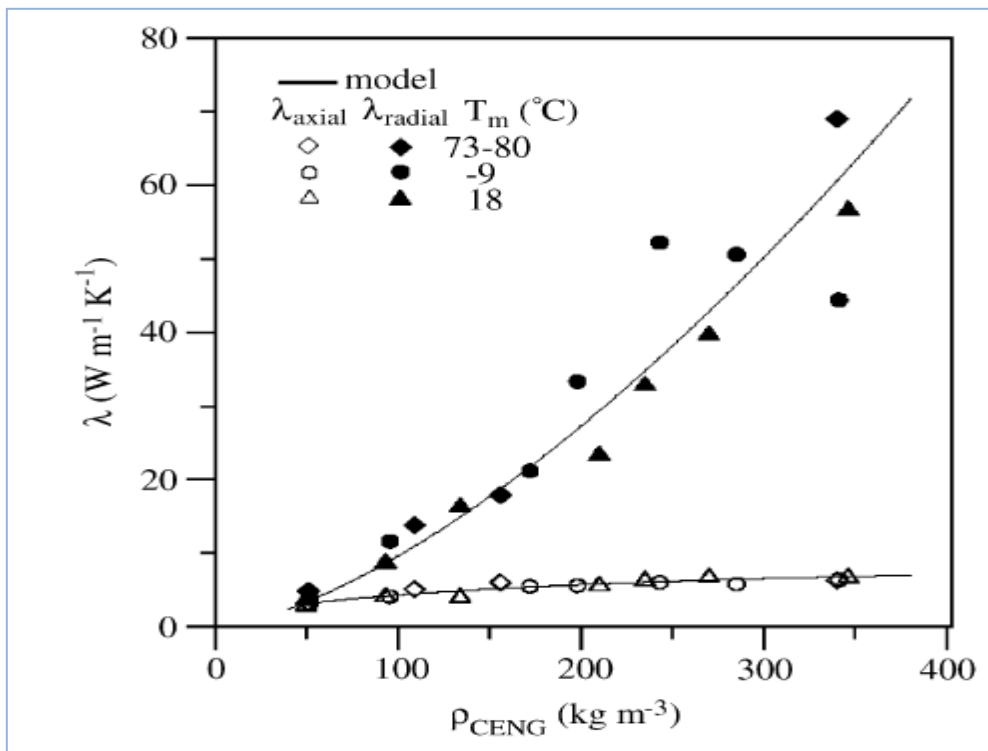
Στην μελέτη χρησιμοποιήθηκε ως PCM (n-octadecane) και βρέθηκε ότι η θερμική αγωγιμότητα της σύνθεσης, λαμβάνοντας υπόψη την θερμική αντίσταση, ήταν περίπου τρεις φορές καλύτερη από του PCM όταν η αναλογία όγκου των ινών είναι 0.012.

Η θερμική αγωγιμότητα της σύνθεσης, λαμβάνοντας υπόψη την θερμική αντίσταση επαφής μεταξύ των ινών άνθρακα και των επιφανειών του σωλήνα, εκτιμήθηκε από τον Fukai και τους συνεργάτες του να είναι 0.40 και 0.51 W/mK στην στερεά κατάσταση για τις περιπτώσεις στις οποίες η αναλογία όγκου των ινών άνθρακα ήταν 0.004 και 0.008, αντίστοιχα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο –ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ PCMΣ ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΝΗΘΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Ο Ρy και οι συνεργάτες του διερεύνησαν ένα νέο σύνθετο υλικό αλλαγής φάσης κατασκευασμένο από παραφίνη και μήτρα φυσικού γραφίτη (CENG).

Η αποτελεσματική αγωγιμότητα αυτού του σύνθετου υλικού, που αποτελείται από 65-95% κατά βάρος από παραφίνη, μετρήθηκε πειραματικά και υπολογίστηκε, και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί. Η μεταβολή της τιμής της αγωγιμότητας αντικατροπτίζει τις διαφορετικές ποσότητες γραφίτη στην σύνθεση (αφού ορίζεται από την ανισοτροπία του γραφίτη).



Σχήμα 3.2.3.15: Η αξονική και ακτινική θερμική αγωγιμότητα σαν συνάρτηση της Πυκνότητας, [7]

Έτσι, τα πρόσφατα επιτεύγματα στην ανάπτυξη νέων υλικών αποθήκευσης θερμότητας στην βάση των παραδοσιακών PCM και οι προηγμένες δομές γραφίτη παρέχουν νέες ευκαιρίες για την ενίσχυση της μεταφοράς θερμότητας σε συστήματα αποθήκευσης θερμότητας αν μπορεί να επιτευχθεί μια αξιόπιστη επαφή μεταξύ του σύνθετου υλικού και της επιφάνειας ανταλλαγής θερμότητας.

3.2.4 Επιβράδυνση της Φλόγας [8]

Τα τελευταία χρόνια, αυστηροί κανόνες ασφαλείας και απαιτήσεις ευφλεκτότητας έχουν υποβληθεί στα δομικά υλικά προκειμένου να προστατεύονται τα κτίρια από κινδύνους φωτιάς.

Η χαμηλή θερμική σταθερότητα και η κακή αντίσταση στην φλόγα έχουν περιορίσει σημαντικά ευρύτερες εφαρμογές, ειδικά στην οικοδόμηση και στα αεροδιαστημικά πεδία. Συνάγεται, ότι έρευνα για την βελτίωση των θερμικών και των ιδιοτήτων αντίστασης στην φλόγα των PCM σταθερής μορφής είναι πολύ σημαντική.[5]

Οι Salyer και Sircar μελέτησαν διάφορες τεχνολογικές προσεγγίσεις για την βελτίωση της επιβράδυνσης της φλόγας γυψοσανίδας με PCM [5]

- ο προσθήκη εναλλακτικών μη- εύφλεκτων επιφανειών στην γυψοσανίδα (π.χ. φύλλο αλουμινίου, φιλμ χλωριδίου πολυβινυλίου)
- ο σύστημα διαδοχικής διαχείρισης για γυψοσανίδες, αρχικά PCM και έπειτα ένα αδιάλυτο υγρό επιβραδυντικό φωτιάς
- ο χρησιμοποιώντας βρωμιούχο εξαδεκανίο και οκταδεκάνιο ως PCM. Αναμένεται ότι όταν αυτές οι αλογονωμένες ενώσεις PCM συνδυάζονται με το οξείδιο του αντιμονίου σε γυψοσανίδα, το προϊόν θα είναι αυτοσβηνώμενο

Ο Banu και οι συνεργάτες του διεξήγαγαν τεστ ευφλεκτότητας σε γυψοσανίδες εμποτισμένες με 24% περίπου οργανικού PCM και αξιολόγησαν τα χαρακτηριστικά της επιφανειακής καύσης. Σύγκριση των αποτελεσμάτων των δοκιμών με παρόμοια δεδομένα για άλλα δομικά υλικά έδειξε την πιθανότητα μείωσης της ευφλεκτότητας των γυψοσανίδων με ενσωμάτωση επιβραδυντή φλόγας.

Βιβλιογραφία 3^{ου} Κεφαλαίου

1. Shazim Ali Memon : Phase change materials integrated in building walls: A state of the art review
2. D. Zhou, C.Y. Zhao ,Y. Tian : Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications
3. 2 Solid-liquid phase change materials
4. Daolin Gao and Tianlong Deng : Energy storage: Preparations and physicochemical properties of solid liquid Phase change materials for thermal energy storage
5. Kinga Pielichowska ,Krzysztof Pielichowski: Phase change materials for thermal energy storage
6. Michal Pomianowski,Per Heiselberg, Yinping Zhang: Review of thermal energy storage technologies based on PCM application in buildings
7. Murat Kenisarin, Khamid Mahkamov: Solar energy storage using phase change materials
8. Amar M. Khudhair, Mohammed M. Farid: A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο -ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

4.1 Ιστορική Αναδρομή

4.1.1 Πρώτες εφαρμογές

Δρ. Maria Telkes [1, 2, 3]

Μια από τις πρώτες προσπάθειες χρήσης PCM για ηλιακή θέρμανση αναλήφθηκε από τις Telkes και Raymond στο Dover (ΗΠΑ). Το ηλιακό σπίτι Dover ήταν ένα από τα πρώτα επιτυχή ηλιακά κτίρια. Ο σχεδιασμός για το κτίριο προέκυψε από τον ετήσιο διαγωνισμό «Solar Decathlon», μία διοργάνωση από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ για τις ομάδες κολλεγίων με στόχο το συνδυασμό της μοντέρνας αισθητικής και της μέγιστης ενεργειακής απόδοσης.

Επρόκειτο για μια μονοκατοικία εκτάσεως 135 m². Για την αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας είχαν εγκατασταθεί 18 ηλιακοί συλλέκτες κατασκευασμένοι από πλάκες απορρόφησης μαύρου χρώματος, καλυμμένες από διπλά υάλινα πάνελ διαστάσεων 1.2 x 3.0 m.



Σχήμα 4.1.1.1: Ηλιακό σπίτι Dover ,ΗΠΑ, [2]

Η θερμότητα που παραγόταν από τα πάνελ περνούσε διαμέσου ενός αγωγού μέσω ανεμιστήρα σε τρία δοχεία αποθήκευσης θερμότητας που ήταν τοποθετημένα στα δωμάτια. Τα δοχεία αποθήκευσης θερμότητας περιείχαν ,ως PCM, δεκαένυδρο θειικό νάτριο (Glauber's salt).

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Ένα δεκαένυδρο θειικό νάτριο (ένα στερεό που περιέχει νερό), το άλας τήκεται στους 90 ° F και αποθηκεύει θερμότητα επτά φορές πιο αποτελεσματικά από το νερό.

Με συνολικά 21 τόνους αυτού του PCM, το σύστημα παρουσίαζε την ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας των 11 GJ, επαρκής για να αποθηκεύσει ενέργεια που αντιστοιχεί σε 12 ημέρες του φορτίου θέρμανσης, όταν χρησιμοποιούνταν μεταξύ της θερμοκρασίας δωματίου και τους 32 °C (σημείο τήξης).

Τις ηλιόλουστες ημέρες, το PCM έλιωνε και απορροφούσε την θερμότητα, ψύχοντας τον αέρα. Όταν η θερμοκρασία έπεφτε, το PCM ψυχόταν και στερεοποιούνταν, εκπέμποντας αποθηκευμένη θερμότητα του.

Το σπίτι ολοκληρώθηκε το 1948, με συνολικό κόστος \$20,000, με το κόστος της εγκατάστασης της ηλιακής θέρμανσης να αντιστοιχεί σε \$3000 . Το σύστημα λειτούργησε επιτυχώς για δύο χρόνια, παρέχοντας θερμοκρασία άνεσης 21 °C χωρίς να απαιτείται δευτερεύον σύστημα θέρμανσης. Ωστόσο, το σύστημα απέτυχε λόγω της αποσύνθεσης του άλατος (PCM). Τα δοχεία αποθήκευσης άρχισαν να διαρρέουν λόγω διάβρωσης από το θειικό οξύ και το άλας διαχωρίστηκε σε θειικό νάτριο και νερό, καθιστώντας το άχρηστο για σκοπούς θέρμανσης

Lawrence Gardshire [4]

Το 1953 ο Lawrence Gardshire κατασκεύασε ένα ηλιακό σπίτι με PCM στη περιοχή του New Mexico. Το κτίριο ήταν διώροφο και κάθε όροφος είχε επιφάνεια 102 m². Και ο Gardshire, όπως η Telkes χρησιμοποίησε «δοχεία» αποθήκευσης ΥΑΦ, μόνο που αντί να τα εγκαταστήσει ανάμεσα στα δωμάτια όπως η Telkes, τα εγκατέστησε στη στέγη δίπλα στους ηλιακούς συλλέκτες. Η καινοτομία ήταν ότι πρόσθεσε διφθορικό νάτριο στο άλας του Glauber σαν πηκτικό παράγοντα, ώστε να βοηθά στην στερεοποίηση του άλατος και να αποφευχθεί ο διαχωρισμός.

Δρ J. W. Hodgins και Δρ T. W. Hoffman [1]

Μια άλλη εφαρμογή των PCMs για αποθήκευση θερμότητας πραγματοποιήθηκε από τους Καναδούς επιστήμονες J.W. Hodgins και T.W. Hoffman. Το διώροφο σπίτι, εκτάσεως 111 m², ολοκληρώθηκε το 1957.

Στην εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν 12 τόνοι άλατος Glauber, πυκνωμένοι με πυριτικό νάτριο, και περιείχαν επιπλέον χρωμικό αναστολέα διάβρωσης. Όπως και στην πειραματική μελέτη στο Dover, το πείραμα έληξε ανεπιτυχώς, λόγω της υποβάθμισης του PCM.

4.1.2 Πρόσφατες Εφαρμογές

3-Liter-house [5]

Πρόκειται για ένα διαμέρισμα, 3-Liter-house-house, στη Γερμανία το οποίο κατασκευάστηκε το 1951 και ανακατασκευάστηκε το 2001. Το διαμέρισμα πριν την ανακατασκευή κατανάλωνε για θέρμανση 25 λίτρα πετρελαίου ανά τετραγωνικό μέτρο τον χρόνο. Την ανακατασκευή ανέλαβε η εταιρεία Luwoge, θυγατρική που στεγάζεται από την BASF. Ο στόχος ήταν να μειωθεί η κατανάλωση πετρελαίου σε 7 λίτρα, αν και οι προσδοκίες ξεπεράστηκαν και επιτεύχθηκε μια δραματική πτώση στα 3 λίτρα. Η επιτυχία αυτή οφείλεται σε επτά καινοτομίες. Μια από αυτές ήταν και η χρήση της γυψοσανίδας SmartBoard από την BASF. Το συνολικό αποτέλεσμα είναι αναμφισβήτητα θετικό παρά όλα αυτά λόγω της πολυπλοκότητας της κατασκευής, με χρήση επτά καινοτομιών, το μέρος της επιτυχίας που οφείλεται στο PCM δεν είναι δυνατό να αξιολογηθεί ξεχωριστά.

Για το 3-Liter-house-house η ετήσια εξοικονόμηση στο κόστος θέρμανσης για κάθε ένα από τα 9 διαμερίσματα είναι € 880 ανά έτος, μια μείωση από € 1.000 σε € 120. Το συνολικό κόστος της ανακαίνισης του συγκροτήματος των 9 κατοικιών ήταν € 1.500.000, με € 400.000 να οφείλονται στον «Ενεργειακό Εκσυγχρονισμό». Το 400.000 για τον «Ενεργειακό Εκσυγχρονισμό" και μόνο ισοδυναμεί με 50 χρόνια αποπληρωμής με βάση την εξοικονόμηση του κόστους θέρμανσης. Και πάλι, η απόσβεση μόνο για τα PCMs είναι αδύνατο να καθορισθεί από τα διαθέσιμα δεδομένα.

Βοτανικός Κήπος του Βερολίνου [6, 7]

Πρόκειται για ένα θερμοκήπιο το οποίο χτίστηκε το 1907, καλύπτει μια περιοχή 1750 m² και έχει χωρητικότητα 40000 m³. Η μέση θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου διατηρείται στους 30 °C και η υγρασία του αέρα διατηρείται σε υψηλά επίπεδα. Το 2007 ξεκίνησε η ανακαίνιση του κτιρίου προκειμένου να διατηρηθεί η βασική ιστορική δομή του κτιρίου και να μειωθούν οι ενεργειακές του απαιτήσεις στο 50% και ολοκληρώθηκε το 2009.

Η ανακαίνιση περιλάμβανε και εγκατάσταση «πύργων» PCM. Πρόκειται για μια καινοτόμα εφαρμογή PCM με σκοπό να ρυθμιστεί η εσωτερική θερμοκρασία (εξασφάλιση της βέλτιστης κατανομής της θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο) και να μειωθούν οι απαιτήσεις σε ενέργεια για θέρμανση και ψύξη.

Στο εσωτερικό των πύργων υπάρχει εγκατεστημένο πάνελ με PCM (RT12), της εταιρείας Rubitherm, θερμοκρασίας τήξεως 25 °C.



Σχήμα 4.1.2.1: Βοτανικός Κήπος του Βερολίνου, [6]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο –ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

Κατά την διάρκεια της ημέρας, ο αέρας στην κορυφή του θερμοκηπίου θερμαίνεται λόγω των ηλιακών κερδών. Ένας ανεμιστήρας στην κορυφή του πύργου τραβά τον αέρα και τον σπρώχνει στο κάτω μέρος του πύργου. Κατά την μετάβαση του προς τα κάτω, θερμότητα απορροφάται από τον αέρα και αποθηκεύεται στο PCM παρέχοντας κατά αυτόν τον τρόπο δροσερό αέρα στα φυτά.

Κατά την διάρκεια της νύχτας, ο αέρας κρυώνει στην κορυφή του πύργου. Το ΥΑΦ όμως απελευθερώνει την θερμότητα που αποθήκευσε κατά την διάρκεια της ημέρας και καθώς ο αέρας διέρχεται προς τα κάτω θερμαίνεται και φτάνει θερμός στα φυτά.

Επιπλέον, προκειμένου το PCM να αποθηκεύει και να απελευθερώνει αποτελεσματικά την ενέργεια πρέπει να εκτίθενται σε σταθερή ροή αέρα.

Οι τεχνικές λεπτομέρειες είναι οι εξής:

- Όγκος ροής αέρα: $7.500 \text{ m}^3 / \text{h}$
- Πτώση πίεσης Δp : 50 Pa
- Χωρητικότητα αποθήκευσης: $110 \text{ kWh} / \text{κύκλο}$ (8 ώρες / ημέρα)
- Μάζα PCM: περίπου 3000 kg

Αξίζει να αναφερθεί ότι η εκτιμώμενη εξοικονόμηση θερμικής ενέργειας πάνω από περίπου 200 ημέρες (200 κύκλοι), υπολογίζεται περίπου σε $22.000 \text{ kWh} / \text{a}$.

Κτίριο, Somerset στο Λονδίνο [8, 9]

Το ιστορικό κτίριο υποβλήθηκε σε ανακαίνιση, η οποία ολοκληρώθηκε το 2012 από την εταιρεία BDP και κόστισε £16,7m . Κατά την φάση της ανακαίνισης διαπιστώθηκε ότι η οροφή, η οποία ήταν ελαφριάς κατασκευής, δεν ήταν καθόλου μονωμένη. Ήταν απαραίτητο να προστεθεί μάζα και το τσιμέντο δεν ήταν η καταλληλότερη επιλογή καθώς επρόκειτο για έναν αρχιτεκτονικό θησαυρό και τόσο το εσωτερικό όσο και το εξωτερικό της οροφής έπρεπε να προστατευτούν.

Το πρόβλημα λύθηκε με χρήση πλακών ,που περιέχουν PCM ,στην οροφή, της εταιρείας ECO Building Boards. Χρησιμοποιήθηκαν πλάκες της εταιρείας BASF, οι οποίες περιείχαν μικροενθυλακωμένο PCM (Micronal Phase Change Material). Το θετικό με την χρήση των πλακών ήταν ότι δεν καταλαμβάνουν πολύ χώρο και δεν είναι βαριές.



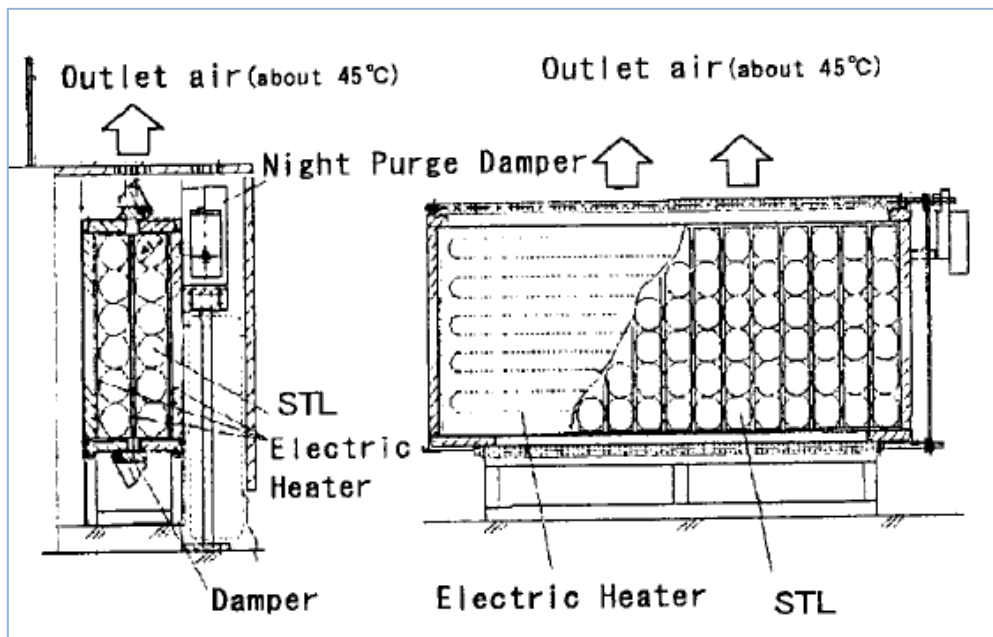
Σχήμα 4.1.2.2: Κτίριο, Somerset στο Λονδίνο, [8]

Οι πλάκες, πάχους 14mm, περιέχουν ως ΥΑΦ μικροενθυλακωμένο κερί. Έτσι όταν η θερμοκρασία ανεβαίνει πάνω από τους 23 °C, θερμοκρασία τήξης του PCM, το κερί λιώνει και απορροφάται θερμότητα. Όταν η θερμοκρασία πέφτει το κερί τήκεται και η θερμότητα απελευθερώνεται.

Οι πλάκες δρουν όπως το σκυρόδεμα, βελτιώνοντας την θερμική μάζα της οροφής, χωρίς να επηρεάζουν όμως την υπάρχουσα δομή. Η χρήση PCM αποδείχθηκε επιτυχημένη και με αυτόν τον τρόπο αποδείχθηκε η χρησιμότητα των PCMs.

Δημαρχείο στην πόλη Takasaki [10]

Ένα νέο δημαρχείο στην πόλη Takasaki ,100 χλμ Βόρεια του Τόκιο, ολοκληρώθηκε τον Φεβρουάριο του 1998. Το κτίριο ήταν εξοπλισμένο με συσκευές θέρμανσης που χρησιμοποιούσαν PCM, οι οποίες ονομάζονταν μετρητές θερμικής αποθήκευσης (TSC).



Σχήμα 4.1.2.3: Συσκευή TSC, [10]

Μια μονάδα TSC είχε 396 κάψουλες που περιείχαν PCM των οποίων η θερμοκρασία τήξης ήταν 55 ° C. Οι κάψουλες θερμαίνονταν κατά τη διάρκεια της νύχτας χρησιμοποιώντας το μειωμένο ηλεκτρικό τιμολόγιο. Η αποθηκευμένη θερμότητα αποβαλλόταν κατά τη διάρκεια της ημέρας με συναγωγή και ακτινοβολία.

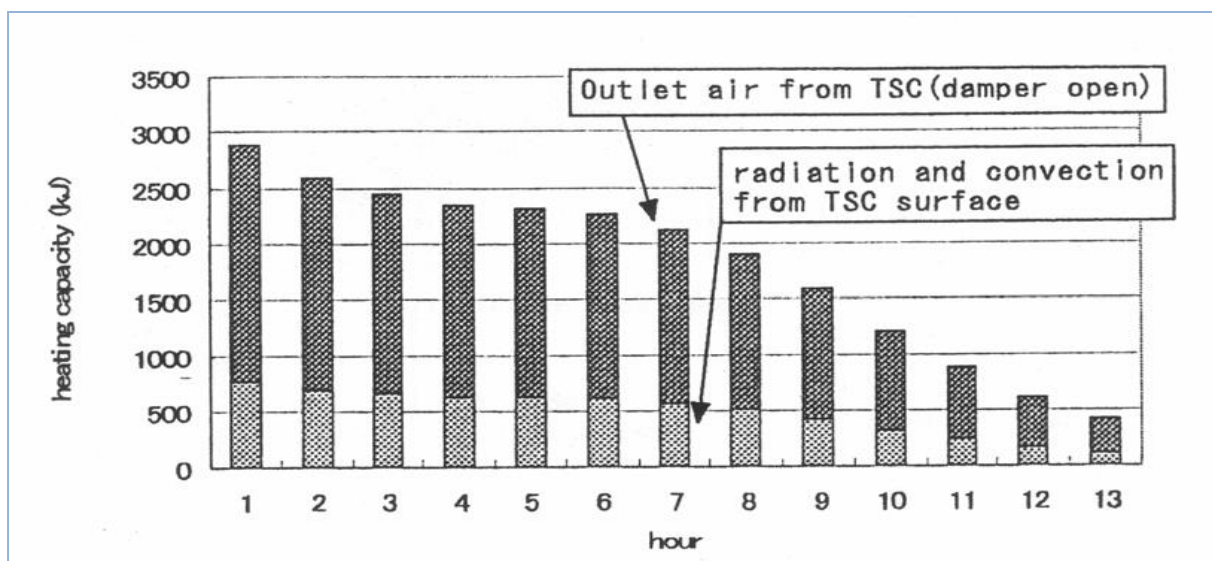
Πίνακας 4.1.2.1: Προδιαγραφές συστήματος TSC, [10]

| | |
|---------------------------|--------------------|
| Total input heat capacity | 31,000 kJ/10h |
| Heat discharge capacity | 581 W |
| Dimension | 2,793 x 571 x 238 |
| Electric heater | 190 W ·2, 150 W ·4 |
| PCM Melting temp. | 55 °C 396 peaces |

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Πριν από την κατασκευή, η θερμική απόδοση της TSC δοκιμάστηκε σε ένα θάλαμο δοκιμών. Μετά την άνοδο της θερμοκρασίας για λίγες ώρες, η θερμοκρασία διατηρούταν περίπου στους 55 ° C, που ήταν η θερμοκρασία τήξης του PCM.

Το διάγραμμα που ακολουθεί δείχνει την ποσότητα της θερμότητας που εκλύεται κατά τη διάρκεια της αποφόρτισης. Η ικανότητα θέρμανσης διατηρούταν στα 2100 kJ / ώρα (583 W), για οκτώ ώρες ,από την έναρξη της αποφόρτισης θερμότητας. Τα τρία τέταρτα της θερμότητας απορρίπτονταν με συναγωγή και υπόλοιπο ένα τέταρτο με από την ακτινοβολία.



Σχήμα 4.1.2.4: Το ποσό της θερμότητας που εκλύεται κατά την εκφόρτωση της θερμότητας, [10]

Για την αξιολόγηση της βελτίωσης του εσωτερικού θερμικού περιβάλλοντος από την TSC, μετρήθηκε η θερμοκρασία της επιφάνειας του γυάλινου παραθύρου, η οποία επηρεαζόταν από την ακτινοβολία. Διαφορά θερμοκρασίας σχεδόν 4 ° C παρατηρήθηκε μεταξύ ανοικτής και κλειστής εξόδου της TSC. Από τις 9 έως τις 10 το πρωί, η διαφορά θερμοκρασίας ήταν μικρότερη επειδή η ηλιακή ακτινοβολία θέρμαινε την επιφάνεια του παραθύρου. Κατά συνέπεια, η TSC θα μπορούσε να αποτρέψει το κρύο και την ακτινοβολία, και να βελτιωθεί η άνεση στους εσωτερικούς χώρους το χειμώνα.

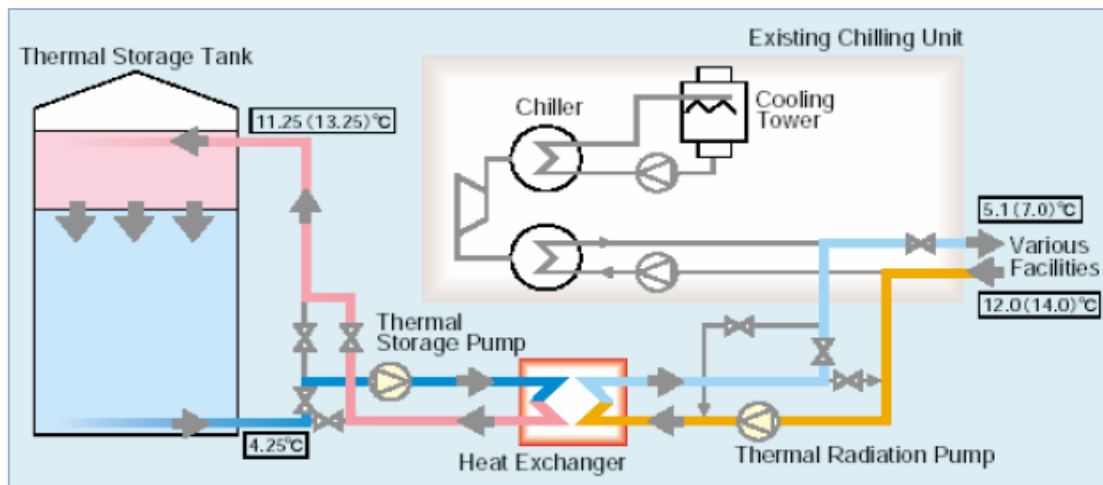
Αεροδρόμιο Narita [10]

Μικροενθλακωμένο PCM χρησιμοποιήθηκε για το σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας στο διεθνές αεροδρόμιο Narita. Τα ψυκτικά μέσα της μονάδας θέρμανσης και ψύξης έπρεπε να αλλάξουν από CFC 11 σε HCFC 123 λόγω της αποβολής HFC. Το μικροενθλακωμένο PCM εγκρίθηκε για να αντισταθμίσει την υποβάθμιση της ψυκτικής ικανότητας από την αντικατάσταση των ψυκτικών.

Δεδομένου ότι οι υπάρχουσες μηχανές ψύξης θα συνέχιζαν να χρησιμοποιούνται, ήταν αναγκαίο να βρεθεί PCM με θερμοκρασία αλλαγής φάσης που να είναι συμβατή με το υπάρχον σύστημα ψύξης. Επιπλέον, το σύστημα θα μπορούσε να σταθεροποιεί το ψυκτικό φορτίο και να χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια στην διάρκεια της νύχτας. Ως PCMs επιλέχθηκαν n-Paraffin waxes (παραφίνες κεριού) επειδή ήταν μη-τοξικές και με ελεγχόμενη θερμοκρασία αλλαγής φάσης.

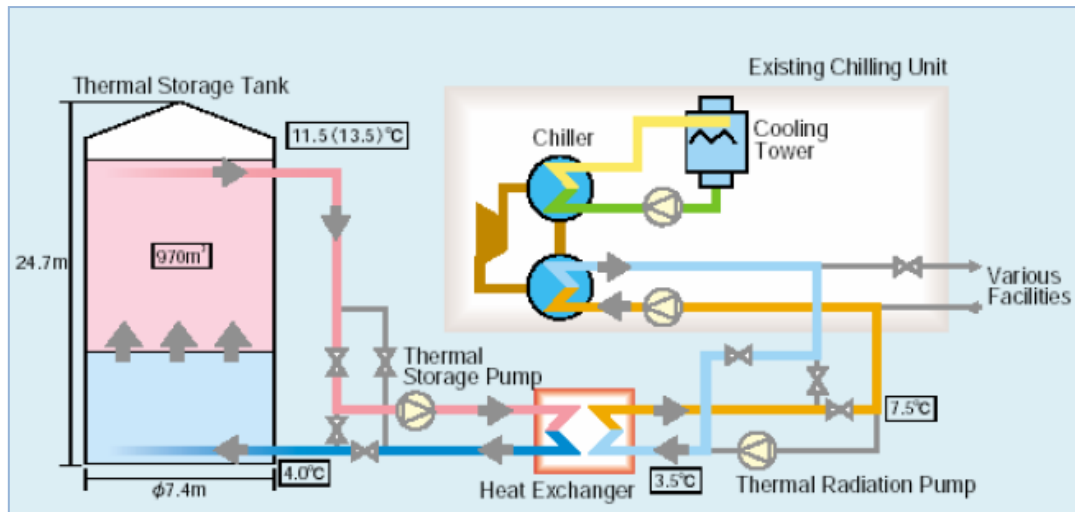
Τα κεριά παραφίνης ήταν έγκλειστα σε μικρές σφαίρες, διαμέτρου περίπου 2 μικρόμετρα, σχηματίζοντας διφασικό μείγμα. Το διφασικό μείγμα PCM είχε θερμοκρασία τήξης 8 °C και λανθάνουσα θερμότητα 75.9kJ / kg.

Η δεξαμενή αποθήκευσης ενσωματώθηκε στο υπάρχον σύστημα μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας, όπως φαίνεται στα σχήματα που ακολουθούν.



Σχήμα 4.1.2.5: Νυχτερινή λειτουργία, [10]

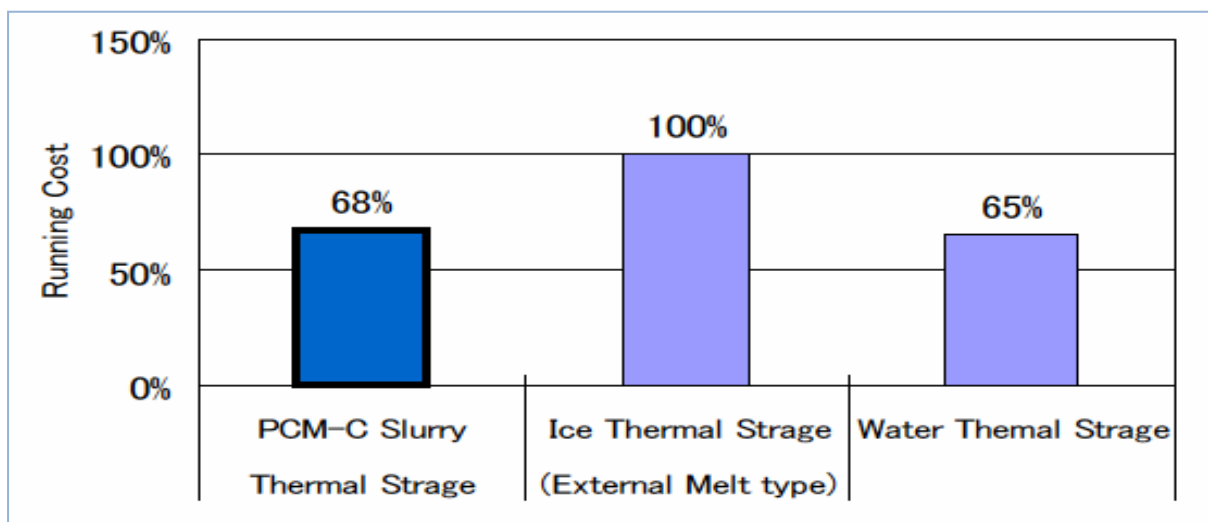
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ



Σχήμα 4.1.2.6: Λειτουργία την ημέρα, [10]

Το διφασικό PCM αντλούταν προς τον εναλλάκτη θερμότητας και ψυχόταν με παγωμένο νερό στους 3,5 ° C από την μηχανή ψύξης κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η αποθηκευμένη θερμότητα αποβαλλόταν κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Το σύστημα ήταν σε χρήση για σχεδόν 4 χρόνια. Η αποτελεσματικότητα του συστήματος PCM απεικονίζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί. Δεδομένου ότι η θερμοκρασία αλλαγής φάσης ήταν υψηλότερη από σύστημα αποθήκευσης πάγου, ο συντελεστής απόδοσης (COP) ήταν υψηλότερος από του συστήματος αποθήκευσης πάγου. Ως εκ τούτου, το κόστος λειτουργίας του συστήματος ήταν 32% χαμηλότερο από ό, τι τα συστήματα αποθήκευσης πάγου



Σχήμα 4.1.2.7: Σύγκριση του κόστους λειτουργίας του συστήματος αποθήκευσης, με PCM, πάγο και νερό, [10]

4.2 Εφαρμογές στα Κτίρια

Τα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας στα κτίρια αποκτούν ολοένα και μεγαλύτερο ενδιαφέρον λόγω του αυξανόμενου κόστους των ορυκτών καυσίμων και των περιβαλλοντικών ανησυχιών.

Τα PCMs έχουν εξεταστεί για εφαρμογές στα κτίρια πριν το 1980. Η πρώτη έρευνα για την εφαρμογή των PCMs στα κτίρια αναλήφθηκε από την Telkes το 1975.

Η χρήση των PCMs σε ένα κτίριο μπορεί να έχει δυο διαφορετικούς στόχους. Πρώτον, την χρήση της φυσικής θερμότητας που είναι η ηλιακή ενέργεια για θέρμανση ή το ψύχος την νύχτα για δροσισμό. Δεύτερον, την χρήση ανθρωπογενών πηγών θερμότητας ή πηγών ψύξης. Σε οποιαδήποτε περίπτωση η αποθήκευση θερμότητας ή ψύχους θα πρέπει να ταιριάζει με την διαθεσιμότητα και την ζήτηση σε σχέση με τον χρόνο αλλά και την ισχύ. Οι τρεις διαφορετικοί τρόποι χρήσης των PCMs για θέρμανση και ψύξη στα κτίρια είναι:

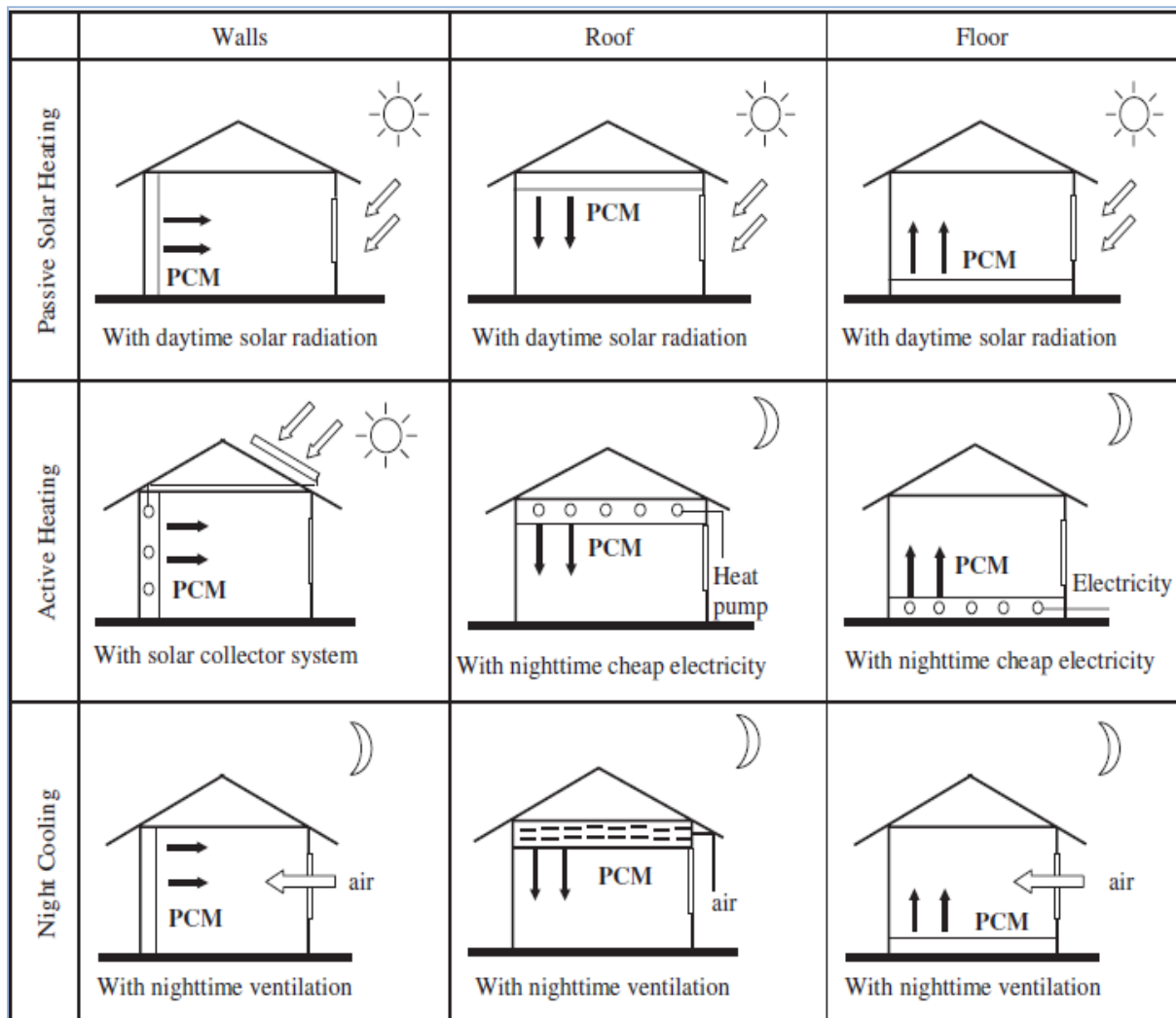
- PCMs στους τοίχους των κτιρίων
- PCMs σε άλλα μέρη των κτιρίων πέρα των τοίχων
- PCMs σε μονάδες αποθήκευσης θερμότητας και ψύξης

Οι δυο πρώτοι τρόποι χρήσης των PCMs είναι παθητικά συστήματα, στα οποία η αποθηκευμένη θερμότητα ή το ψύχος απελευθερώνονται αυτόματα όταν η εσωτερική ή η εξωτερική θερμοκρασία αυξάνει ή πέφτει πέρα από το σημείο τήξης. Ο τρίτος τρόπος αφορά ενεργό σύστημα όπου η αποθηκευμένη θερμότητα ή το ψύχος είναι θερμικά υπό περιορισμό διαχωρισμένο από το κτίριο με μόνωση. Η θερμότητα και το κρύο χρησιμοποιούνται μόνο σε ζήτηση και όχι αυτόματα.

Ανάλογα με το που και πως το PCM είναι ενσωματωμένο, PCMs με διαφορετικά σημεία τήξης εφαρμόζονται. Τα πιο σημαντικά PCMs είναι σε εύρος 22-25 °C, καθώς πρόκειται για το εύρος για παθητική θέρμανση και ψύξη των κτιρίων.[11]

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Ορισμένες από τις εφαρμογές των PCMs στα κτίρια όπως η παθητική ηλιακή θέρμανση, η ενεργητική θέρμανση και ο νυκτερινός δροσισμός παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 4.2.1: Εφαρμογές των PCMs στο κτιριακό κελύφος, [12]

Ένα προφανές πλεονέκτημα ενός κτιριακού κελύφους PCM είναι ότι το περίβλημα του κτιρίου προσφέρει μεγάλους χώρους για παθητική μεταφορά της θερμότητας μέσα σε κάθε ζώνη του κτιρίου, το οποίο θα μπορούσε να ενισχύσει την αποθήκευση θερμότητας για παθητική ηλιακή θέρμανση, καθώς και να δημιουργήσει μια ευκαιρία για τον εξαερισμό ψύξης, και την χρονική μετατόπιση των μηχανικών φορτίων ψύξης. Το δεύτερο πλεονέκτημα είναι η εξάλειψη της συνήθους απαίτησης ενός για να περιέχει το PCM. Επιπλέον, εκτός από το βάρος του PCM, λίγο ή καθόλου επιπλέον κόστος θα προέκυπταν σε σχέση με τα απλά περιβλήματα του κελύφους.[12]

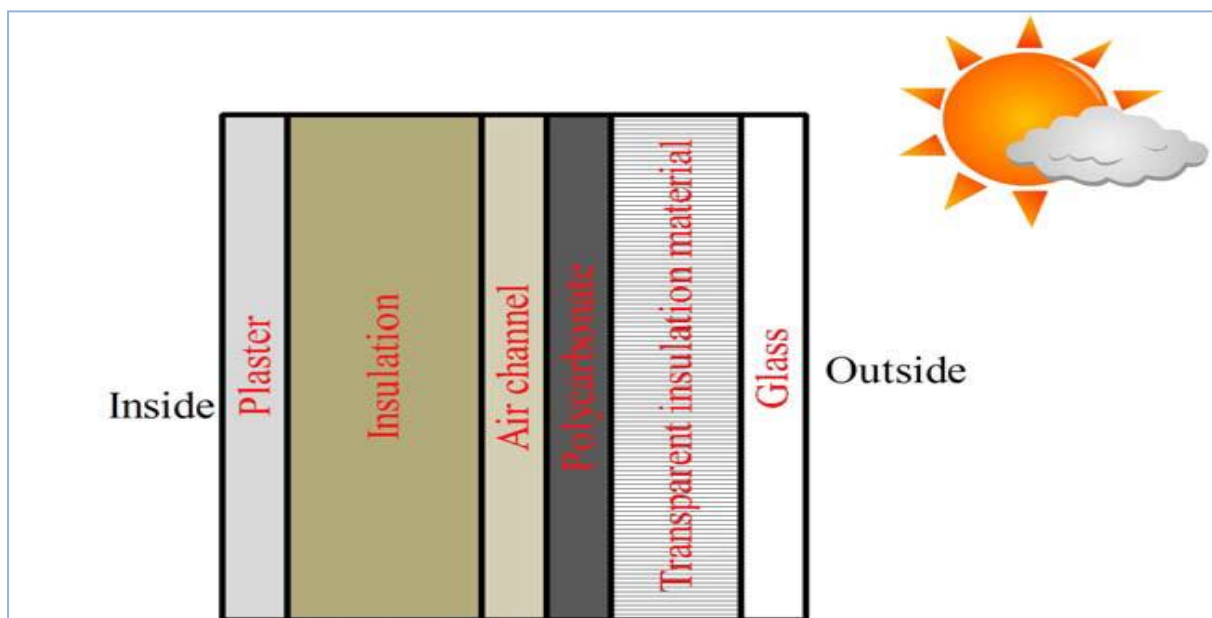
4.2.1 Παθητικά Συστήματα Αποθήκευσης

4.2.1.1 Ηλιακός Τοίχος [13, 14]

Ο τοίχος PCM αποθηκεύει μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στους τοίχους ή την οροφή του κτιρίου. Η υψηλή θερμική του μάζα συμβάλλει στην μείωση της επίδρασης των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στην εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου. Μπορεί να είναι πολύ αποτελεσματικός στην μετατόπιση του ψυκτικού φορτίου στην εκτός αιχμής περίοδο ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται ο τοίχος από έξω προς τα μέσα είναι:

- γυαλί
- διαφανές μονωτικό υλικό
- PCM
- αεριζόμενο κανάλι αέρα
- μόνωση
- γύψος



Σχήμα 4.2.1.1.1: Τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται ο ηλιακός τοίχος, [14]

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Η ηλιακή ακτινοβολία περνά μέσα από το γυαλί με το διαφανές μονωτικό υλικό, το οποίο αποτρέπει την μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής και ακτινοβολίας. Στην συνέχεια το υλικό αλλαγής φάσης σε ένα διαφανές πλαστικό περίβλημα κατασκευασμένο από πολυανθρακικό, απορροφά και αποθηκεύει την ενέργεια ως επί το πλείστον ως λανθάνουσα θερμότητα. Ο αέρας για τον αερισμό του σπιτιού θερμαίνεται στο κανάλι αέρα και οδηγείται μέσα στο δωμάτιο. Όσον αφορά τον γύψο και τη μόνωση αποτελούν τυπικά στοιχεία του τοίχου.

Πλεονεκτήματα ηλιακού τοίχου έναντι άλλων συστημάτων

- ο η υψηλή απόδοση μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε λανθάνουσα θερμότητα καθώς η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται άμεσα από την παραφίνη διαμέσου του πλαστικού γυαλιού το οποίο αποτελεί ταυτόχρονα μονωτικό υλικό που αποτρέπει τις απώλειες θερμότητας δια συναγωγής και ακτινοβολίας στο περιβάλλον
- ο οι απώλειες θερμότητας δια αγωγής μειώνονται στην επιφάνεια όπου τοποθετείται ο τοίχος

4.2.1.2 Τοίχος Trombe με PCM [11, 15, 16]

Πρόκειται για ένα νέο τύπο τοίχου Trombe στον οποίο χρησιμοποιούνται υλικά αλλαγής φάσης όπως ένυδρα άλατα ή εύτηκτα άλατα προκειμένου να αντικατασταθεί η τοιχοποιία του τοίχου Trombe. Με την χρήση των PCMs αποθηκεύεται περισσότερη ενέργεια σε μικρότερο όγκο και σε υλικά που είναι ελαφρύτερα από τα συνήθη δομικά υλικά.

Ένας τοίχος Trombe γεμισμένος με PCMs κατασκευάζεται στο νότιο άνοιγμα ενός σπιτιού. Ο τοίχος θερμαίνεται κατά την διάρκεια της ημέρας από την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία λιώνοντας το PCM. Την νύχτα η θερμότητα απελευθερώνεται και ζεσταίνεται το σπίτι.

Μια ομάδα από Γιαπωνέζους επιστήμονες ανέλαβε μια υπολογιστική ρευστοδυναμική προσομοίωση της θερμικής συμπεριφοράς ενός δωματίου με τοίχους Trombe με PCMs. Ανέλυσαν τρία PCMs και εξακρίβωσαν ότι η χρήση PCMs στους τοίχους Trombe είναι πολύτιμη για την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια.

Διαφορετικά PCMs επηρεάζουν την απόδοση των τοίχων Trombe διαφορετικά. Για παράδειγμα, σε μια υπολογιστική προσομοίωση που διεξήχθη από τους Khalifa και Abbas στην Βαγδάτη, Ιράκ, για ένα τοίχο Trombe νότιας όψης, διάφορα PCMs έδειξαν διαφορετικές αντιδράσεις.

Οι Khalifa και Abbas εξέτασαν παραφίνη κεριού και ένυδρο άλας ενθυλακωμένα σε κάψουλες χαλκού και λόγο μήκους προς διάμετρο 0,76. Διαπίστωσαν ότι ένας τοίχος αποθήκευσης ένυδρου άλατος πάχους 8 cm είναι πιο αποτελεσματικός από ένα τοίχο σκυροδέματος 20 cm ή από ένα τοίχο παραφίνης πάχους 5 cm. Επιπλέον, ένας τοίχος πάχους 8 cm ένυδρου άλατος διατηρεί την θερμοκρασία καλύτερα από ένα τοίχο πάχους 5 cm παραφίνης.

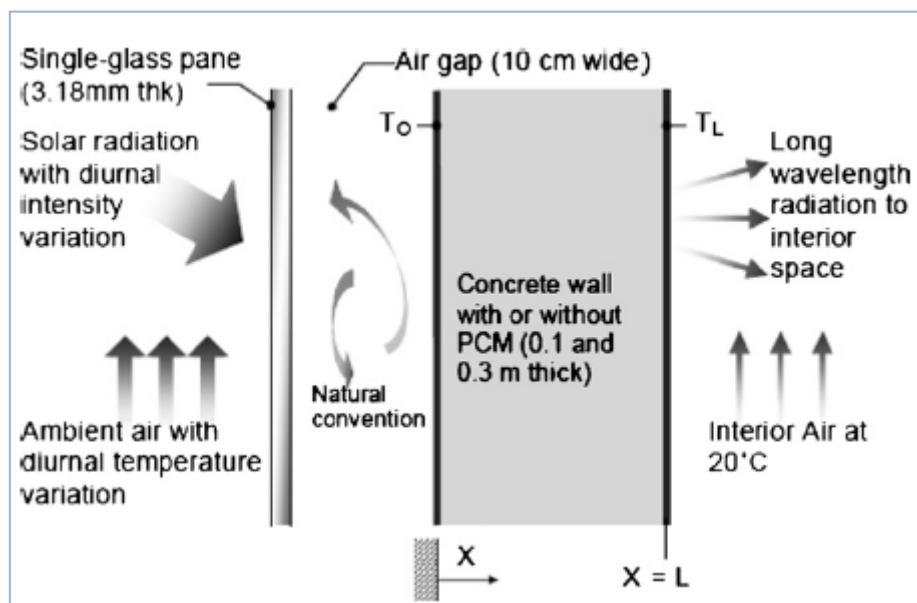
Ο Bordeaux πραγματοποίησε άλλη μια πειραματική μελέτη για τους τοίχους Trombe με PCMs. Ο τοίχος κατασκευάστηκε από ένα δοχείο πολυαιθυλενίου τοποθετημένο σε ένα ξύλινο ράφι και διπλά τζάμια. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η λανθάνουσα θερμότητα αποθήκευσης γίνεται κορεσμένη κατά την διάρκεια της λειτουργίας και ο τοίχος Trombe με λανθάνουσα θερμότητα αποθήκευσης είναι πιο αποτελεσματικός από ένα τοίχο σκυροδέματος.

Στην Γαλλία Zalewski και οι συνεργάτες του διεξήγαγαν μια πειραματική μελέτη σε μικρής κλίμακας τοίχο Trombe. Στην μελέτη τους ένας τοίχος αποθήκευσης σκυροδέματος αντικαταστάθηκε από ένα νέο τοίχο που περιέχει ένυδρο άλας προκειμένου να εξεταστεί η αποτελεσματικότητα του τοίχου. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν ότι το ένυδρο άλας μπορεί να απελευθερώσει τα ηλιακά κέρδη με χρονική υστέρηση 2 ωρών και 40 λεπτών. Αυτή η χρονική υστέρηση θεωρείται αρνητικό φαινόμενο το χειμώνα εάν ο τοίχος είναι

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

σχεδιασμένος για κατοικία και μονωμένος ώστε να επωφελείται από τα κέρδη στο τέλος της μέρας. Ωστόσο, μπορεί να θεωρηθεί πλεονεκτικός όταν χρησιμοποιείται σε δομές που είναι κατειλημμένες κατά την διάρκεια της μέρας όπως σε εμπορικά κέντρα, κλινικές, πανεπιστήμια και σχολεία τον χειμώνα.

Ο Castellon και οι συνεργάτες του μελέτησαν ένα τοίχο Trombe, ο οποίος προστέθηκε στη νότια πρόσοψη για να διερευνηθεί εάν δράση του PCM μπορεί να χρησιμοποιηθεί καθ' όλη την διάρκεια του έτους στις μεσογειακές καιρικές συνθήκες προκειμένου να μειωθούν οι απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη.



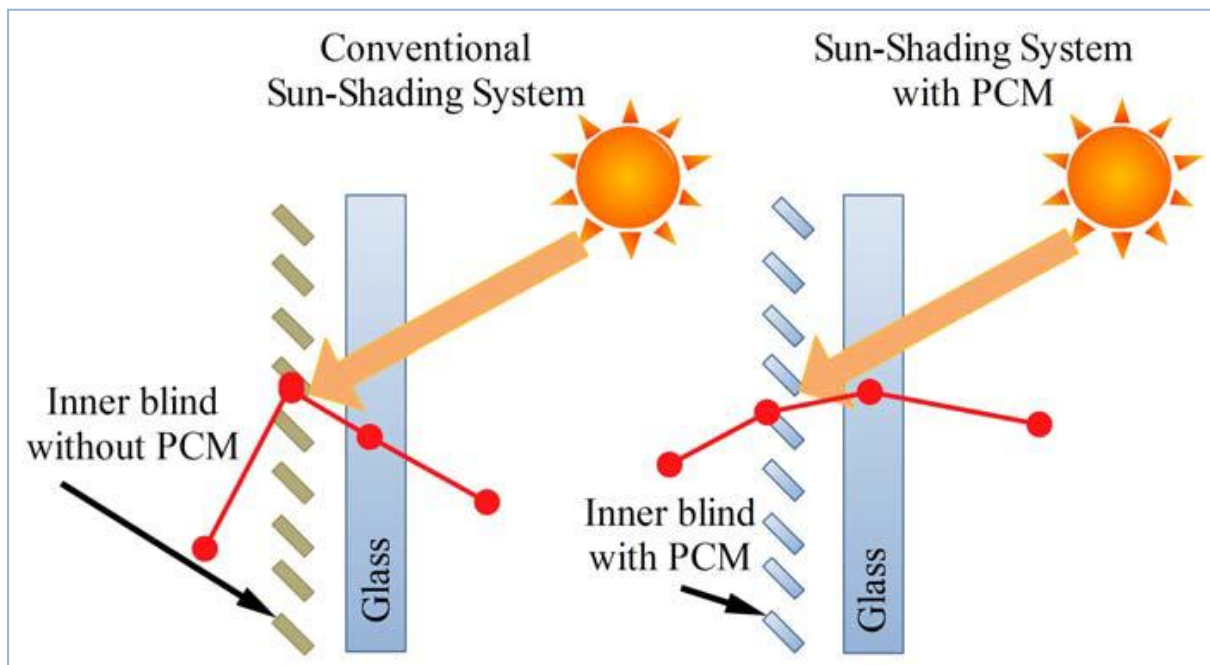
Σχήμα 4.2.1.2.1: Τοίχος Trombe με PCM, [16]

4.2.1.3 Παραθυρόφυλλα PCMs [13, 14, 17]

Τα εξωτερικά παραθυρόφυλλα που περιέχουν PCMs είναι κινητά δομικά στοιχεία σκίασης τοποθετημένα στις εξωτερικές επιφάνειες των παραθύρων. Το σύστημα λειτουργεί κυκλικά προκειμένου να επιτευχθεί η τήξη της μάζας του PCM κατά την διάρκεια της μέρας και η στερεοποίηση του κατά την διάρκεια της νύχτας.

Κατά την διάρκεια της ημέρας που οι θερμοκρασίες είναι υψηλές σε σχέση με την τιμή της θερμοκρασίας για θερμική άνεση, το στόρι είναι στραμμένο προς τα έξω ώστε να εκτίθενται στην ηλιακή ακτινοβολία και να αποθηκεύεται η ηλιακή ενέργεια στο PCM. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μεγιστοποίηση των άμεσων ηλιακών κερδών στους εσωτερικούς χώρους μέσω των τζαμιών των παραθύρων και ταυτόχρονα επιτρέπεται η φόρτιση του PCM καθώς απορροφάται θερμότητα και το PCM λιώνει.

Κατά την διάρκεια της νύχτας που οι θερμοκρασίες είναι σχετικά χαμηλές σε σχέση με την τιμή της θερμοκρασίας για θερμική άνεση, το στόρι κλείνει ώστε να είναι εκτεθειμένο στο δωμάτιο. Με αυτόν τον τρόπο ελαχιστοποιούνται οι απώλειες θερμότητας μέσω του παραθύρου και επιτυγχάνεται η αποφόρτιση του PCM. Δηλαδή, η ενέργεια που αποθηκεύτηκε κατά την διάρκεια της ημέρας απελευθερώνεται στο δωμάτιο, αποφεύγοντας την υπερβολική πτώση της θερμοκρασίας του δωματίου κάτω από την τιμή της θερμικής άνεσης.



Σχήμα 4.2.1.3.1: Σχηματική αναπαράσταση των συστημάτων σκίασης με και χωρίς PCM, [14]

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Το σύστημα είναι ιδανικό να χρησιμοποιείται το καλοκαίρι επειδή οι θερμοκρασίες είναι πιο υψηλές και γενικά σε περιοχές με έντονες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια της μέρας και της νύχτας.

Ο Harald Mehling σε μια συνάντηση εμπειρογνώμων με θέμα «Καινοτόμες Τεχνολογίες PCMs» στην Τουρκία παρουσίασε το έργο του όσον αφορά τα παράθυρα με PCMs. Συνέστησε ότι με την εφαρμογή PCMs στα παραθυρόφυλλα η μέγιστη θερμοκρασία σκίασης μπορεί να καθυστερήσει έως τρεις ώρες και η θερμοκρασία του δωματίου να μειωθεί έως 2°C.



Σχήμα 4.2.1.3.2: Harald Mehling , παραθυρόφυλλα PCM, [17]

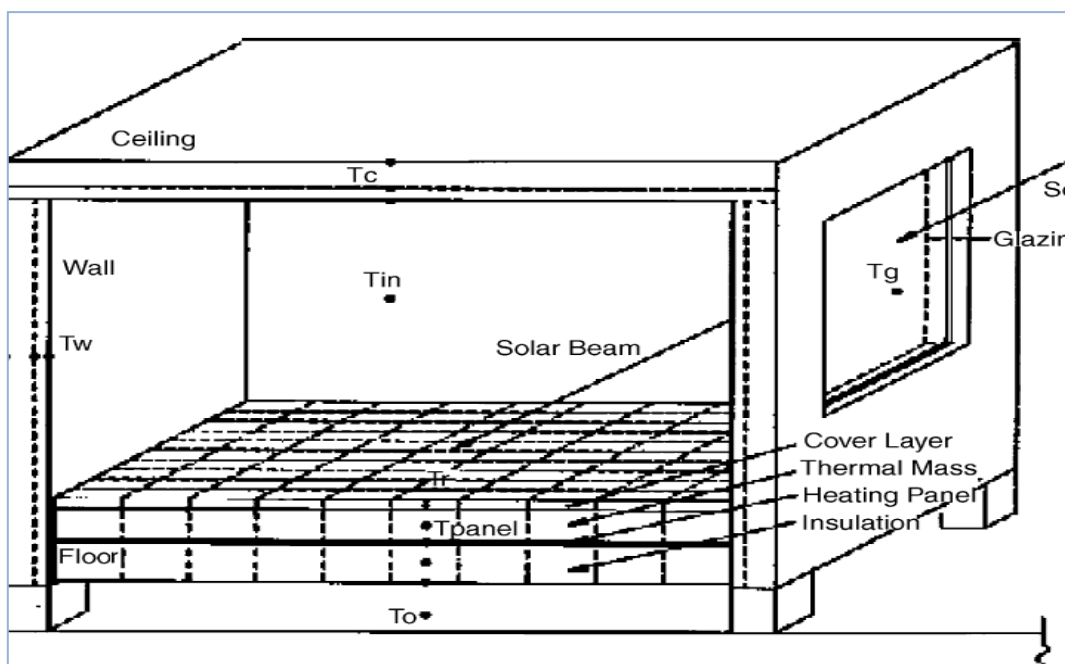
4.2.1.4 Παθητική Ενδοδαπέδια Θέρμανση [11]

Καθώς το δάπεδο αποτελεί ένα σημαντικό μέρος του κτιρίου, πολλές μελέτες διεξήχθησαν με χρήση του δαπέδου για θέρμανση και ψύξη των κτιρίων.

Οι Alientis και Chen μελέτησαν την παροδική μεταφορά θερμότητας σε συστήματα ενδοδαπέδιας θέρμανσης. Η μελέτη τους επικεντρώθηκε στην επίδραση που έχει το στρώμα που το καλύπτει και η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην κατανομή της θερμοκρασίας του δαπέδου και την κατανάλωση ενέργειας.

Τα αποτελέσματα της μελέτης ήταν τα ακόλουθα

- η δέσμη της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να προκαλέσει μια τοπική αύξηση στην επιφάνεια του δαπέδου που φωτίζεται 8°C πιο πάνω από την σκασμένη επιφάνεια
- η μερική κάλυψη με χαλί αυξάνει περαιτέρω την θερμοκρασιακή διαφορά της επιφάνειας του δαπέδου έως 15°C
- η ηλιακή ενέργεια που αποθηκεύεται στην θερμική μάζα του πατώματος βρέθηκε να μειώνει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση (πάνω από 30%)
- μια αύξηση του πάχους της θερμικής μάζας από 5 σε 10 cm δεν οδηγεί σε περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας



Σχήμα 4.2.1.4.1: Σχηματική αναπαράσταση παθητικής ενδοδαπέδιας θέρμανσης, [11]

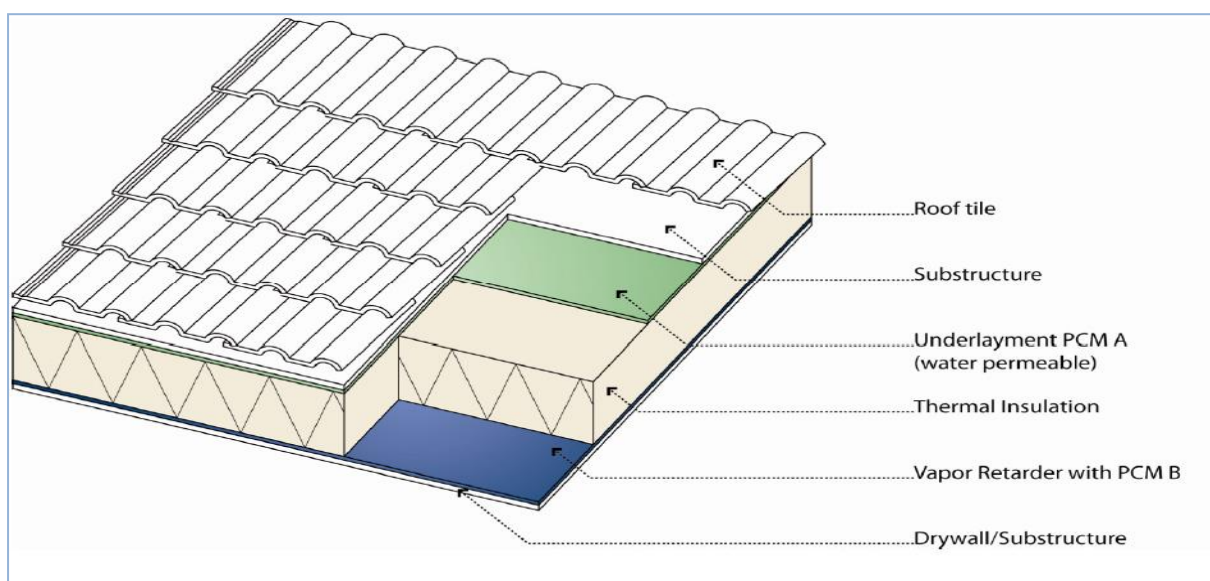
4.2.1.5 Στέγες PCM [18]

Το σύστημα οροφής είναι ίσως το πιο αδύναμο μέρος της θερμικής απόδοσης ενός κτιρίου. Κατά την διάρκεια της ημέρας, το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας που παρέχεται από την ηλιακή ακτινοβολία διαπερνά μέσω της οροφής στο εσωτερικό του κτιρίου. Σε ένα θερμό κλίμα, το δωμάτιο που βρίσκεται κάτω από το σύστημα της οροφής συχνά υπερθεμαίνεται, με αποτέλεσμα να μειώνεται η θερμική άνεση και να εμφανίζεται η ανάγκη για ψύξη του χώρου. Από την άλλη μεριά, όταν πρόκειται για ψυχρό κλίμα, το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας που αποθηκεύεται στο εσωτερικό του κτιρίου κατά την διάρκεια της ημέρας χάνεται κατά την διάρκεια της νύχτας δια μέσου της οροφής. Αυτή η σημαντική απώλεια θερμότητας διαμέσου της στέγης επηρεάζει σημαντικά τις απαιτήσεις για θέρμανση του κτιρίου. Το πρόβλημα μπορεί να λυθεί με χρήση PCM.

Όσον αφορά την οροφή, το σύστημα οροφής PCM, ελέγχει την ροή θερμότητας μέσα και έξω από το κτίριο μέσω των υλικών της οροφής είτε με απορρόφηση είτε με απελευθέρωση της λανθάνουσας θερμότητας καθώς η θερμοκρασία του PCM αυξάνεται ή μειώνεται πάνω από μια καθορισμένη τιμή.

Με βάση τις θερμικές δοκιμές σε μια κοινή κατασκευή οροφής και με χρήση μοντέλων υπολογιστή, το PCM μπορεί να τοποθετηθεί

- ο στο άνω μέρος της οροφής, μεταξύ των κεραμιδιών και του στρώματος θερμικής μόνωσης
- ο στο κάτω μέρος της οροφής μεταξύ του στρώματος της θερμικής μόνωσης και της γυψοσανίδας



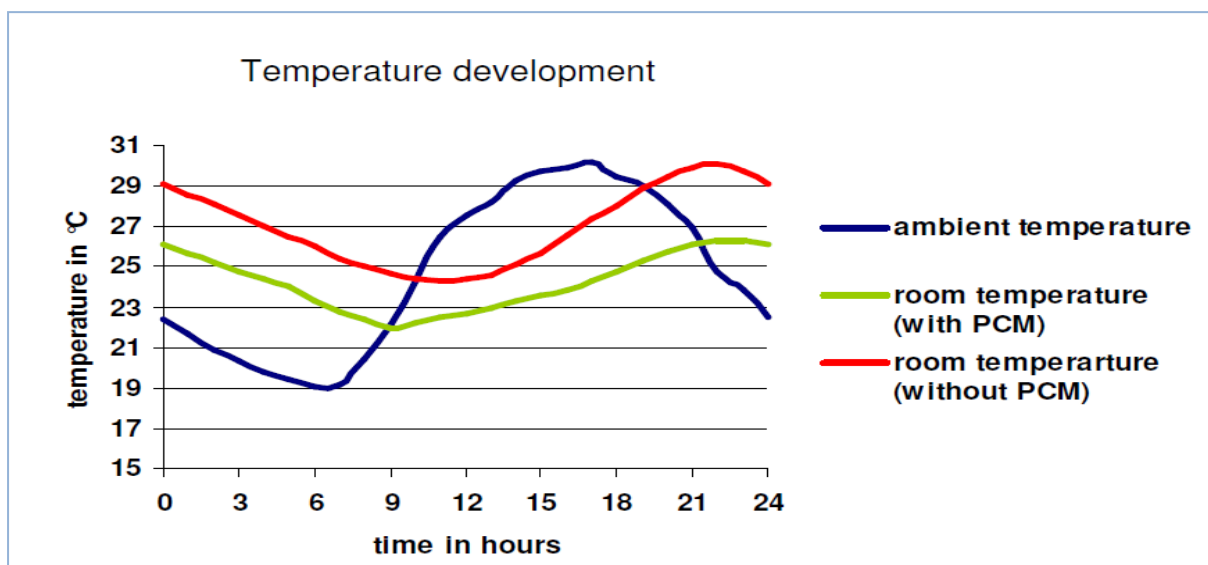
Σχήμα 4.2.1.5.1: Τοποθεσία PCM στο σύστημα οροφής, [18]

Ο κύριος σκοπός της διάταξης PCM στο άνω μέρος της οροφής είναι η θερμική προστασία τις ζεστές μέρες. Το PCM θα απορροφήσει την θερμότητα που παρέχεται από την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία έχει διεισδύσει μέσα από τα κεραμίδια, μόλις η θερμοκρασία του PCM και της περιβάλλουσας δομής φτάσει σε ένα ορισμένο όριο. Κατά την διάρκεια απορρόφησης της λανθάνουσας θερμότητας από το PCM, η θερμοκρασία του PCM και της περιβάλλουσας δομής που το συγκρατεί θα παραμείνει σχεδόν σταθερή. Ως εκ τούτου, η ροή θερμότητας προς το εσωτερικό του κτιρίου κατά την διάρκεια της ημέρας θα μειωθεί, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου να μην αυξηθεί τόσο όσο στην περίπτωση που δεν υπήρχε PCM. Επιπλέον η διάταξη του PCM στο άνω μέρος της στέγης αποτρέπει την θερμότητα από ηλιακή ακτινοβολία να διεισδύσει στα άλλα υλικά της στέγης, όπως το στρώμα της θερμικής μόνωσης όπου η αφαίρεση θερμότητας είναι πιο δύσκολη. Ένα άλλο πλεονέκτημα της τοποθέτησης του PCM στο άνω μέρος της στέγης είναι ότι η αποθηκευμένη λανθάνουσα θερμότητας θα μπορούσε να αφαιρεθεί πλήρως κατά την διάρκεια της νύχτας και ως εκ τούτου το PCM θα μπορούσε να επαναφορτίζεται και να είναι έτοιμο για επαναχρησιμοποίηση την επόμενη ημέρα.

Σκοπός της δεύτερης τοποθέτησης του PCM, στο χαμηλότερο επίπεδο της δομής της οροφής είναι να παρέχει μια προσωρινή, πρόσθετη μόνωση τις κρύες νύχτες του χειμώνα. Σε αυτήν την περίπτωση, το PCM θα αποθηκεύσει τη θερμότητα που παράγεται στον εσωτερικό χώρο κατά την διάρκεια της ημέρας, αφού διεισδύσει μέσω της γυψοσανίδας. Όταν η θερμοκρασία του PCM και της ευρύτερης δομής που το συγκρατεί πέσει κάτω από ένα ορισμένο όριο, η λανθάνουσα θερμότητα θα απελευθερωθεί. Επιπλέον, η συγκεκριμένη επιλογή τοποθέτησης του PCM, διασφαλίζει ότι η θερμότητα που παράγεται στο εσωτερικό του σπιτιού κατά την διάρκεια της ημέρας και συνήθως ανεβαίνει στην οροφή, διατηρείται και είναι διαθέσιμη για χρήση προκειμένου να μειωθεί η ροή θερμότητας δια μέσου της στέγης κατά την διάρκεια της νύχτας. Επιπλέον, η απορρόφηση της θερμότητας χωρίς ουσιαστική αύξηση της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια της ημέρας, οδηγεί σε μείωση της κλίσης της θερμοκρασίας μεταξύ του δαπέδου και της οροφής, ενισχύοντας περαιτέρω την θερμική άνεση του κτιρίου. Ένα άλλο πλεονέκτημα της τοποθέτησης του PCM στο κάτω μέρος της στέγης είναι ότι η λανθάνουσα θερμότητα που απελευθερώνεται από το PCM θα διεισδύσει πρώτα στο στρώμα μόνωσης από το οποίο διαχέεται αργά.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Πραγματοποιήθηκαν διαδικασίες μοντελοποίησης με χρήση υπολογιστή σε ένα διώροφο σπίτι στη Γερμανία, ως μοντέλο, με συνολική επιφάνεια περίπου 160 m² και επιφάνεια οροφής 130 m². Η ικανότητα λανθάνουσας θερμότητας αποθήκευσης του PCM που τοποθετήθηκε στην οροφή ανήλθε στα 97.500 kJ. Το 60% χρησιμοποιούταν για προστασία από τη θερμότητα τις ζεστές καλοκαιρινές ημέρες. Το υπόλοιπο 40 % χρησιμοποιούταν για να υποστηρίξει τη λειτουργία της θερμική μόνωσης του συστήματος οροφής κατά τη διάρκεια των κρύων νυχτών του χειμώνα.



Σχήμα 4.2.1.5.2: Εξέλιξη θερμοκρασίας στο καθιστικό ενός σπιτιού μια ζεστή μέρα, [18]

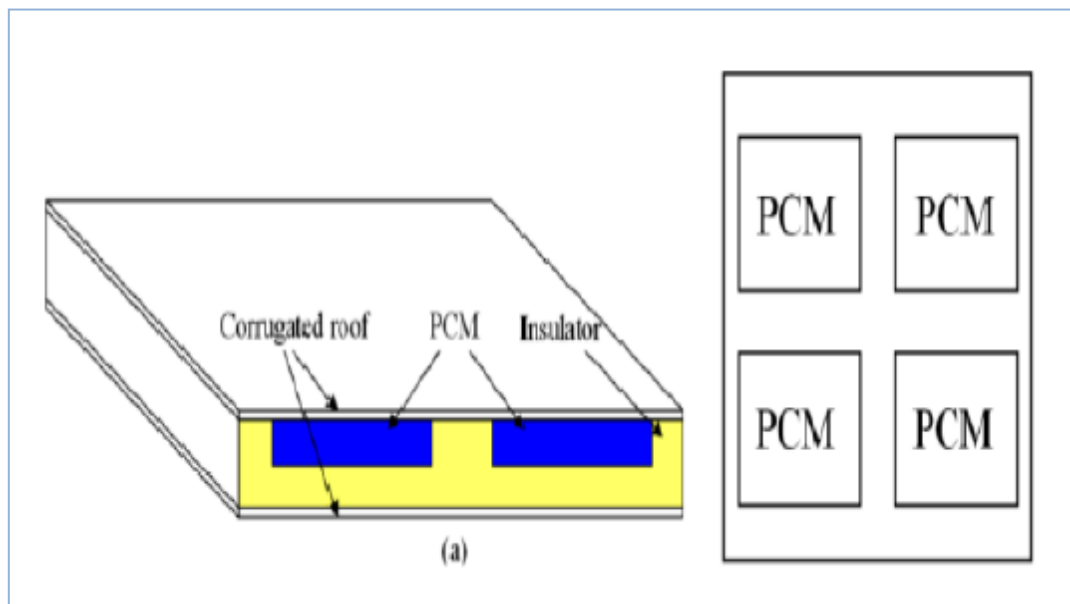
Όταν PCM εφαρμόστηκε στο σύστημα της στέγης του κτιρίου, η αύξηση της θερμοκρασίας στο καθιστικό χώρο του δεύτερου ορόφου μειώθηκε σημαντικά. Κατά τις βραδινές ώρες, σημειώθηκαν θερμοκρασιακές διαφορές έως 4 °C στο χώρο διαβίωσης του δεύτερου ορόφου κατά τη σύγκριση των κτιρίων με και χωρίς PCM. Επιπλέον, λόγω της πρόληψης της αύξησης ροής θερμότητας μέσω του συστήματος οροφής μέσα στο κτίριο κατά τη διάρκεια της ημέρας που προκαλείται από τη λανθάνουσα απορρόφηση θερμότητας του PCM, η θερμοκρασία δωματίου μπορεί να διατηρείται σε ένα εύρος άνεση μεταξύ 22 και 26 °C, ακόμη και σε μια πολύ ζεστή μέρα του καλοκαιριού, χωρίς την χρήση ενός εξωτερικού συστήματος κλιματισμού.

Η ετήσια ζήτηση θέρμανσης του κτιρίου είναι περίπου 13.500 kWh/m² του χώρου. Με προσθήκη PCM στην οροφή, η ζήτηση της θέρμανσης μπορεί να μειωθεί κατά 25 %, περίπου 10.200 kWh/m². Επιπλέον, εάν ένα σύστημα κλιματισμού χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, η συνολική εξοικονόμηση ενέργειας θα μπορούσε να αυξηθεί έως 40 % περίπου.

Στέγη με φύλλα λαμαρίνας και PCM [19]

Οι H.M.Chou, C.R.Chen και V.L.Nguyen ερεύνησαν την ηλιακή επίδραση σε στέγες από λαμαρίνα ως παθητικό τύπο συστήματος ενεργειακής αποθήκευσης. Υψηλό επίπεδο απορρόφησης ,μέχρι 30%, θα μπορούσε να μειωθεί με στέγη ανοιχτού χρώματος αλλά πολύ περισσότερο με την εφαρμογή της οροφής με μεταλλικά φύλλα χρησιμοποιώντας PCM.

Διαπιστώθηκε ότι όταν PCM με θερμοκρασία τήξης 46,3°C και λανθάνουσα θερμοχωρητικότητα 90kJ/kg χρησιμοποιήθηκε για την κάλυψη 48% της επιφάνειας της σκεπής με 25°C θερμοκρασία περιβάλλοντος, ο ρυθμός εξοικονόμησης ενέργειας ήταν 52,7% σε σχέση με το 43% στην περίπτωση της οροφής με κανονική μόνωση.



Σχήμα 4.2.1.5.3: Σχηματική απεικόνιση της στέγης με PCM, [19]

Το υλικό αλλαγής φάσης εισάγεται μεταξύ του στρώματος μόνωσης και των φύλλων λαμαρίνας της στέγης και βελτιώνει με αυτό τον τρόπο τη θερμική επίδραση της μόνωσης. Αυτό το σύστημα έχει σχεδιαστεί για θερμές περιοχές και επίσης για περιοχές που εξαιρετικά ηλιόλουστες.

4.2.1.6 PCM σε Δομικά Υλικά

4.2.1.6.1 Γυψοσανίδες PCMs [1, 20, 21, 22, 23]

Κύριος στόχος ενσωμάτωσης των PCMs σε δομικά υλικά με χαμηλή θερμική μάζα είναι να αυξηθεί η θερμική τους μάζα. Κατά συνέπεια, ενισχύοντας αυτά τα υλικά με PCMs θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να εξομαλύνουν τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις τόσο σε υπάρχοντα κτίρια όσο και σε νέες ελαφρές κατασκευές.

Οι γυψοσανίδες θεωρούνται κατάλληλες για ενσωμάτωση PCMs για τους ακόλουθους λόγους

- Είναι οικονομικές και χρησιμοποιούνται συχνά σε ελαφρές κατασκευές
- Έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια ανταλλαγής θερμότητας και μικρότερο βάθος ανταλλαγής θερμότητας
- Το PCM συγκρατείται με δυνάμεις επιφανειακής τάσης
- Υφιστάμενες εγκαταστάσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή
- Εύκολες για δοκιμές

Πολλές μελέτες έχουν διεξαχθεί για να αξιολογηθεί η επίδοση των PCMs που ενσωματώνονται σε γυψοσανίδες. Όπως επισημαίνεται από πολλούς ερευνητές η αποτελεσματικότητα των ενισχυμένων γυψοσανίδων με PCMs εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες

- Το επιλεγμένο PCM και την θερμοκρασία αλλαγής φάσης του
- Την τεχνική κατασκευής
- Την ικανότητα λανθάνουσας θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας τοίχου
- Τον προσανατολισμό του τοίχου
- Τις κλιματικές συνθήκες
- Τα άμεσα ηλιακά κέρδη
- Τα εσωτερικά κέρδη
- Τον ρυθμό εξαερισμού
- Το χρώμα της επιφάνειας

Η επίδοση των γυψοσανίδων με PCMs (καπρικό-λαυρικό οξύ, στεατικό βουτύλιο, παλμιτικό προπίλιο, δωδεκανόλη) ερευνήθηκε από τον Hawes και τους συνεργάτες του, οι οποίοι χρησιμοποιώντας τεχνικές άμεσης ενσωμάτωσης και βύθισης εμπότισαν επιτυχώς 25-30% κατά βάρος PCM στις γυψοσανίδες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο –ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

Συγκριτικά με τις συμβατικές γυψοσανίδες βρέθηκε ότι οι γυψοσανίδες με PCMs παρουσιάζουν

- Αύξηση κατά 11 φορές στην ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας μέσω μια ανόδου 4°C
- Συγκρίσιμη αντοχή σε κάμψη
- Ανάλογα με τον τύπο και την περιεκτικότητα του PCM οι τιμές της θερμικής αγωγιμότητας ήταν εντός του εύρους $\pm 15\%$
- Εξαιρετική αντοχή στην φωτιά
- Καλή συμβατότητα με τα χρώματα και τις ταπετσαρίες
- Μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε υγρό περιβάλλον
- 22% αυξημένο βάρος από τις συμβατικές γυψοσανίδες παρόλα αυτά εντός των ορίων βάρους που είναι αποδεκτά από τις βιομηχανίες

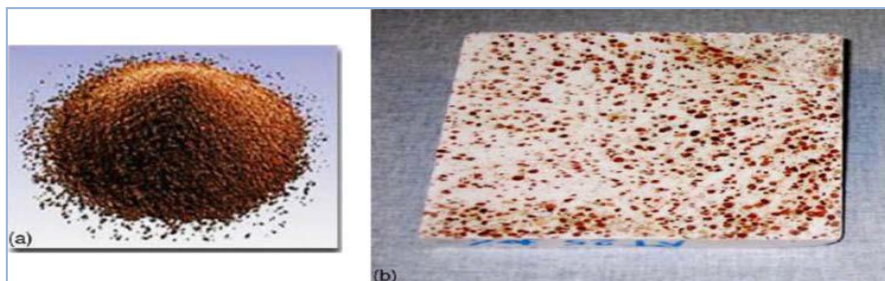
Η θερμική απόδοση της γυψοσανίδας εξετάστηκε από τον Neeper. Οι τρεις παράμετροι που αξιολογήθηκαν κατά την μελέτη ήταν οι ακόλουθοι

- η θερμοκρασία τήξης του PCM
- το θερμοκρασιακό εύρος πάνω από το οποίο λαμβάνει χώρα η τήξη
- η λανθάνουσα θερμότητα ανά μονάδα επιφάνειας της γυψοσανίδας

Από την διεξαγωγή της μελέτης διαπιστώθηκε ότι η ημερήσια αποθήκευση που επιτυγχάνεται στην πράξη μπορεί να περιορίζεται στο εύρος 300-400 KJ/m². Επιπλέον, η μέγιστη ημερήσια αποθήκευση θερμότητας συμβαίνει όταν η θερμοκρασία τήξης του PCM ισοδυναμεί με την μέση θερμοκρασία της γυψοσανίδας.

Με σκοπό να κατασκευάσουν κέλυφος ελαφριάς κατασκευής ο Ahmad και οι συνεργάτες του μελέτησαν τρεις διαφορετικούς τύπους γυψοσανίδων με PCM

- πολυανθρακικό πάνελ γεμισμένο με κοκκοποιημένη παραφίνη
- πολυανθρακικό πάνελ γεμισμένο με PEG 600
- πάνελ PVC γεμισμένο με PEG 600 συζευγμένο με ένα μονωμένο πάνελ κενού



Σχήμα 4.2.1.6.1.1: Δείγμα γυψοσανίδας, [20]

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

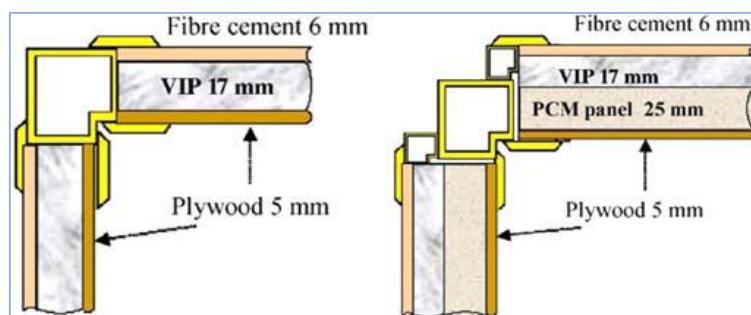
Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το πάνελ PVC γεμισμένο με PEG 600 πληρούσε τις απαιτήσεις (κέλυφος ελαφριάς κατασκευής και είχε υψηλή ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας). Επιπροσθέτως, το πάνελ δεν παρουσίαζε χειροτέρευση μετά από 400 θερμικούς κύκλους.

Η θερμική αδράνεια των ελαφρών κελυφών που χρησιμοποιούνται συχνά στα σύγχρονα κτίρια βελτιώθηκε από τον Ahmad και τους συνεργάτες του, ενσωματώνοντας υλικό αλλαγής φάσης σε συνδυασμό με ένα πάνελ μόνωσης κενού (VIP). Σχεδιάστηκαν δυο δοκιμαστικά κελιά το καθένα από τα οποία αποτελούνταν από τζάμι προσόψεως και πέντε αδιαφανείς επιφάνειες με πάνελ μόνωσης κενού.



Σχήμα 4.2.1.6.1.2: Σχηματική απεικόνιση του δοκιμαστικού κελιού, [20]

Η θερμική αδράνεια του ενός εκ των δυο κελιών αυξήθηκε εγκαθιστώντας πέντε πάνελ με PCM. Οι γυψοσανίδες των δοκιμαστικών κελιών, με και χωρίς PCM απεικονίζονται στο σχήμα που ακολουθεί

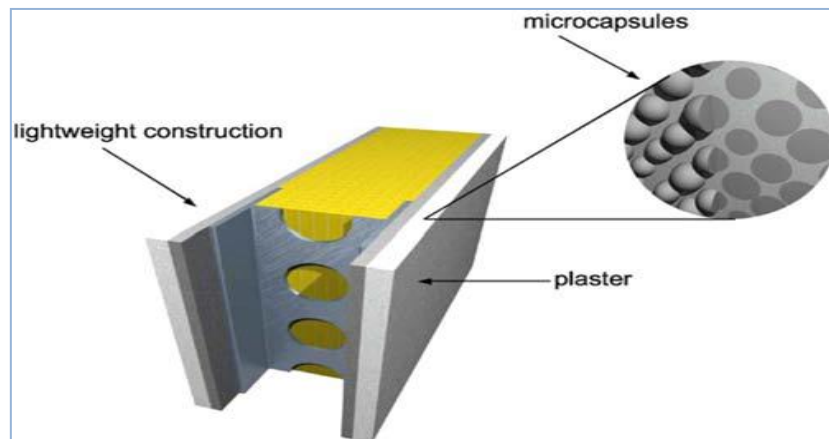


Σχήμα 4.2.1.6.1.3: Διατομή των γυψοσανίδων,
αριστερά: χωρίς PCM, δεξιά :με PCM, [20]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο –ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

Κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, η αποτελεσματικότητα του δοκιμαστικού κελιού με PCM βρέθηκε να είναι αξιοσημείωτη με μια μείωση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στους 20 °C. Τον χειμώνα, το PCM συνέβαλε στην αποφυγή εμφάνισης αρνητικών θερμοκρασιών. Επιπλέον, τα πάνελ με PCM παρουσίασαν καλή θερμική απόδοση ακόμα και μετά από 480 θερμικούς κύκλους.

Ο Schossig και οι συνεργάτες του ερεύνησαν την θερμική απόδοση κτιρίων ελαφριάς κατασκευής στα οποία ήταν ενσωματωμένα μικροενθυλακωμένα PCMs.



Σχήμα 4.2.1.6.1.3: Σχηματική απεικόνιση τοίχου ελαφριάς κατασκευής με μικροκάψουλες PCM που έχουν ενσωματωθεί μέσα στον εσωτερικό σοβά, [20]

Στην εφαρμογή δοκιμάστηκαν δυο διαφορετικά προϊόντα PCMs (γύψος με 40% κατά βάρος ΥΑΦ-6mm και γύψος με 20% κατά βάρος PCMs-15mm) για περίοδο ενός χρόνου. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν ότι το μικροενθυλακωμένο PCM ήταν αποτελεσματικό στην μείωση της ανάγκης για ψύξη και αύξησε την άνεση των κτιρίων ελαφριάς κατασκευής.

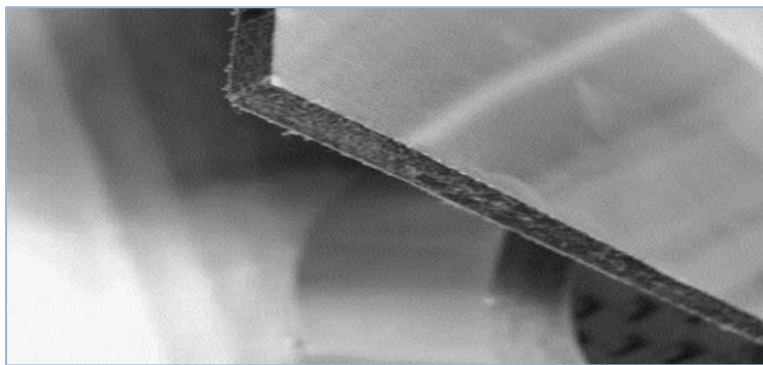
Κατά την διάρκεια μια περιόδου τριών εβδομάδων, το αναφερόμενο δωμάτιο ήταν θερμότερο από 28°C για 50h ενώ το δωμάτιο με PCM ήταν μόνο 5h πάνω από 28 °C. Αξίζει να αναφερθεί ότι αυτό το προϊόν βρίσκεται στην αγορά και μερικά γραφεία κτιρίων έχουν εξοπλιστεί με αυτά.



Σχήμα 4.2.1.6.1.4: Κτίρια γραφείων στα οποία έχουν ενσωματωθεί γυψοσανίδες PCM, [20]

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Ο Kuznik και οι συνεργάτες του πραγματοποίησαν μια βελτιστοποιημένη διαδικασία χρησιμοποιώντας τις εσωτερικές και εξωτερικές διακυμάνσεις κατά την διάρκεια του 24ώρου προκειμένου να βελτιστοποιήσουν το πάχος μιας γυψοσανίδας με PCM ώστε να ενισχύσουν την θερμική συμπεριφορά ενός εσωτερικού διαχωριστικού τοίχου ελαφριάς κατασκευής. Η γυψοσανίδα με PCM αποτελούνταν από 60% κατά βάρος μικροενθυλακωμένης παραφίνης, με θερμοκρασία τήξεως περίπου 22 °C. Το βέλτιστο πάχος βρέθηκε 1cm. Η γυψοσανίδα πάχους 1cm επιτρέπει τον διπλασιασμό της θερμικής αδράνειας του κτιρίου.

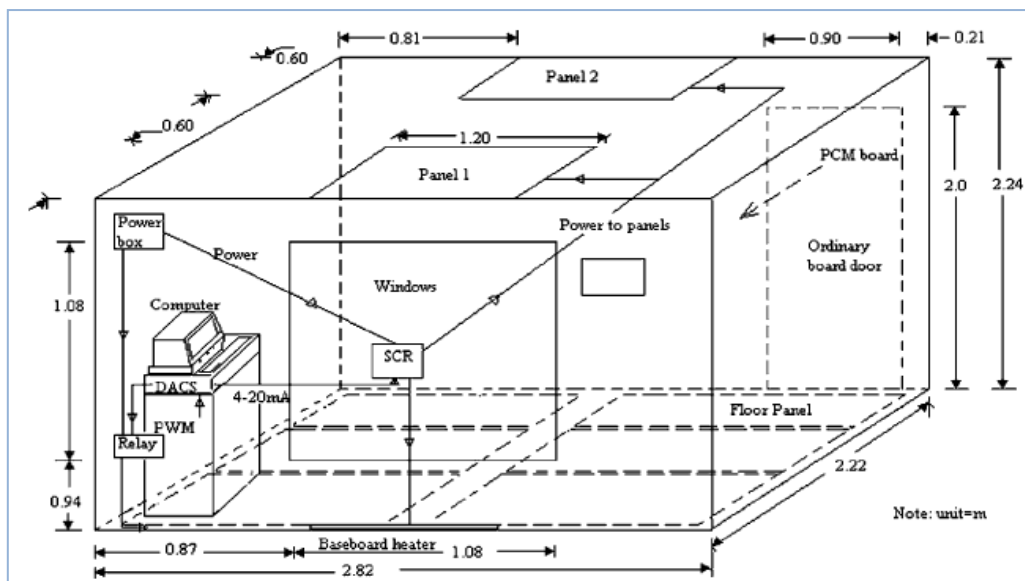


Σχήμα 4.2.1.6.1.5: Γυψοσανίδα PCM, [20]

Ο Kuznik και οι συνεργάτες του πραγματοποίησαν μια πειραματική έρευνα σε δοκιμαστικά κελιά πλήρους κλίμακας υπό ελεγχόμενες επιδράσεις τόσο της θερμοότητας όσο και της ακτινοβολίας, για να αξιολογήσουν την απόδοση των τειχών, με και χωρίς PCMS, κατά τη διάρκεια μιας καλοκαιρινής μέρας. Οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν το ίδιο σύνθετο PCM, του παραπάνω σχήματος για να δείξουν ότι η γυψοσανίδα PCM μειώνει τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του αέρα στο δωμάτιο και την υπερθέρμανση του δωματίου. Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η διαθέσιμη αποθήκευση ενέργειας είναι δύο φορές υψηλότερη με 5 mm γυψοσανίδας PCM, η οποία αντιστοιχεί σε ισοδύναμο στρώμα σκυροδέματος περίπου 8 cm.

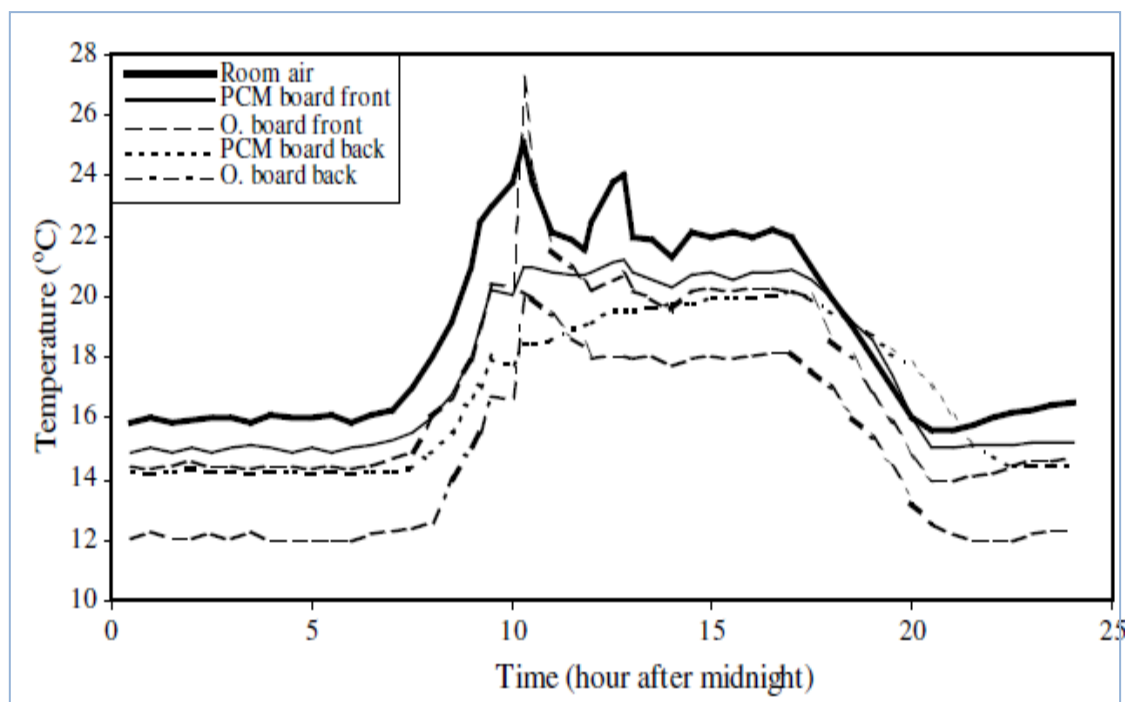
Ο Athienitis και οι συνεργάτες του διεξήγαγαν πειραματική και αριθμητική μελέτη προσομοίωσης σε ένα πλήρους κλίμακας δωμάτιο δοκιμής (2.82m x 2.22m x 2.24 m) με γυψοσανίδα PCM. Στην γυψοσανίδα ήταν ενσωματωμένο 25 κατά βάρος στεατικός βουτυλεστέρας, ως PCM.

Για την προσομοίωση της παροδικής διαδικασίας μεταφοράς θερμότητας στους τοίχους χρησιμοποιήθηκε ένα ρητό μοντέλο πεπερασμένων διαφορών.



Σχήμα 4.2.1.6.1.6: Alientis, σχηματική απεικόνιση του δωματίου δοκιμής, [22]

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του τεστ οι γυψοσανίδες μπορούν να μειώσουν την μέγιστη θερμοκρασία έως 4 °C κατά την διάρκεια της μέρας και να μειώσουν σημαντικά το φορτίο θέρμανσης τη νύχτα.

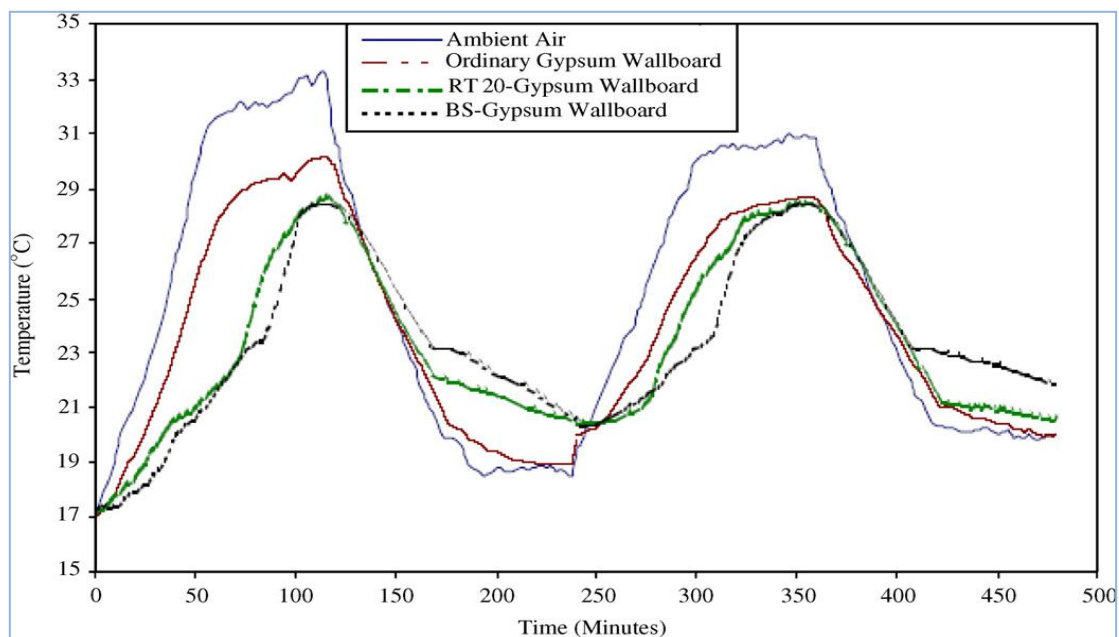


Σχήμα 4.2.1.6.1.7: Πειραματικά αποτελέσματα μια τυπικής χειμερινής μέρας με ηλιοφάνεια, [22]

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Ο Khudhair και οι συνεργάτες του μελέτησαν, επίσης, την θερμική απόδοση γυψοσανίδας με PCM. Σε αυτά τα πειράματα, χρησιμοποίησαν γυψοσανίδες οι οποίες είχαν βυθιστεί σε τετηγμένο PCM για αρκετά λεπτά. Δύο δείγματα γυψοσανίδων με διαστάσεις 100 x 100 x 10 mm εμποτίστηκαν με παραφίνη (23,2% σε βάρος του RT20) και BS (22% σε βάρος του BS) και η θερμική απόδοση συγκρίθηκε με εκείνη γυψοσανίδας χωρίς PCM.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η θερμική συμπεριφορά της γυψοσανίδας με PCM κατά την διάρκεια των κύκλων θέρμανσης-ψύξης.



Σχήμα 4.2.1.6.1.8: Θερμική συμπεριφορά της γυψοσανίδας PCM κατά την διάρκεια των κύκλων θέρμανσης-ψύξης, [1]

Ζεστός και δροσερός αέρας με θερμοκρασίες 30-33 και 17-20 °C, αντίστοιχα, χρησιμοποιήθηκαν για τους κύκλους ψύξης-θέρμανσης, έτσι, το PCM έλιωσε και στερεοποιήθηκε πλήρως. Τα θερμικά τεστ για τα ανωτέρω δύο PCMs κατέδειξαν ότι δεν υπήρχε τάση του PCM να διαρρεύσει εντός της γυψοσανίδας και δεν υπήρχε αισθητή υποβάθμιση της θερμικής ικανότητας αποθήκευσης ενέργειας της γυψοσανίδας

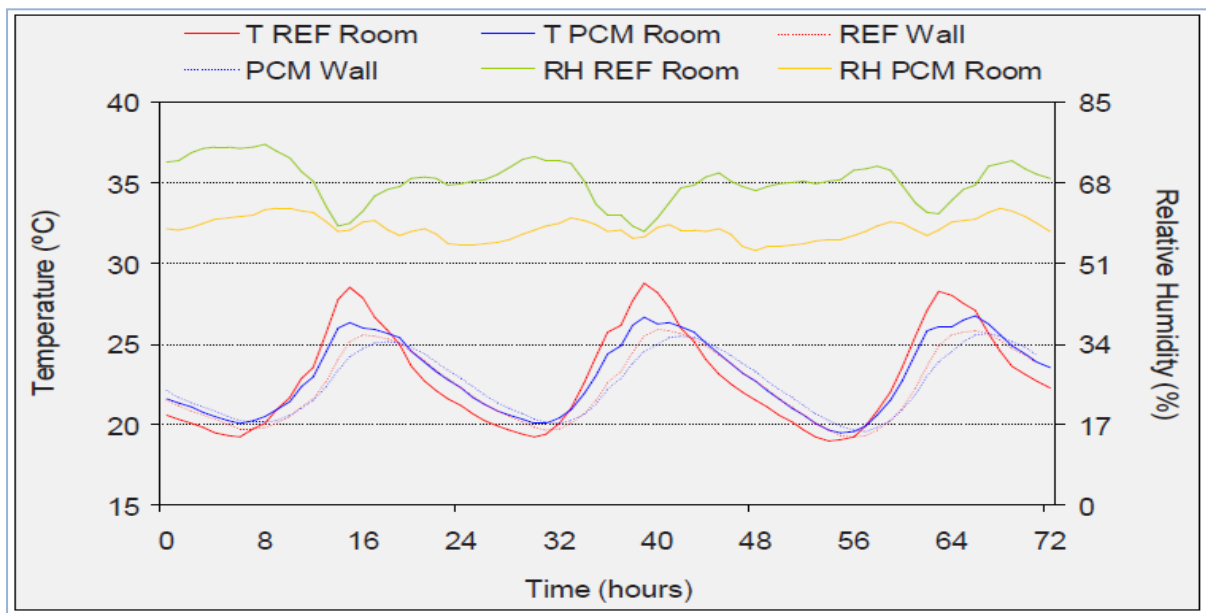
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο –ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM)

Ένα πειραματικό πρόγραμμα έρευνας διεξήχθη στο Πανεπιστήμιο του Μίνχο, προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση της γυψοσανίδας PCM όσον αφορά τη θερμική απόδοση ενός δωματίου. Η επιρροή της γυψοσανίδας PCM μελετήθηκε μέσω μετρήσεων της θερμοκρασίας σε αδιαβατικό κελί δοκιμής, διαστάσεων 4,24 m x 2,58 m x 3 m, στο Κτίριο Εργαστηρίων Φυσικής και Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου του Μίνχο στο Guimarães.



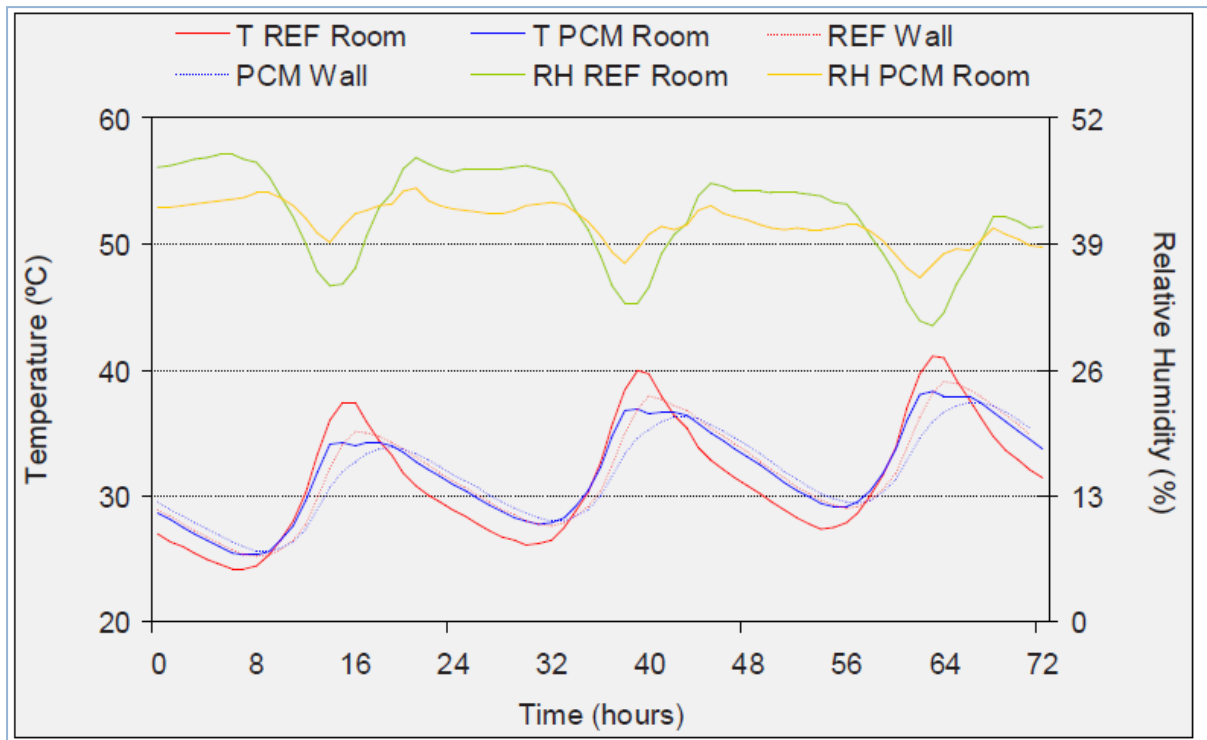
Σχήμα 4.2.1.6.1.9: Δυτικό δωμάτιο του αδιαβατικού κελιού δοκιμής –
πρόσοψη γυψοσανίδας PCM, [23]

Κατά τη διάρκεια της παραπάνω περιόδου, παρακολουθούνταν τόσο η θερμοκρασία του δωματίου όσο και η σχετική υγρασία, καθώς και θερμοκρασίες στην επιφάνεια του τοίχου.



Σχήμα 4.2.1.6.1.10: Προφίλ θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας για την περίοδο που φιλοξενεί την πιο κρύα ημέρα ($14.9^{\circ}\text{C} < T_{\text{out}} < 36.8^{\circ}\text{C}$), [23]

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ



Σχήμα 4.2.1.6.1.11: Προφίλ θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας για την περίοδο που φιλοξενεί την πιο ζεστή μέρα ($14.9^{\circ}\text{C} < T_{\text{out}} < 36.8^{\circ}\text{C}$), [23]

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν εξακριβώθηκε ότι το PCM επιδρά θετικά στο περιβάλλον του δωματίου, μειώνοντας τη μέγιστη θερμοκρασία μέχρι 5°C και αυξάνοντας την ελάχιστη θερμοκρασία μέχρι 1.5°C . Επιπλέον, οι εγγεγραμμένες ελάχιστες και μέγιστες θερμοκρασίες στην πλευρά PCM, παρατηρήθηκαν με μια χρονική καθυστέρηση από 2 και 3 ώρες αντίστοιχα, μετά από την εμφάνιση των ελάχιστων και μέγιστων θερμοκρασιών της πλευράς αναφοράς. Αυτά τα δεδομένα είναι πολύ σημαντικά λόγω της μετατόπισης των μέγιστων καταναλώσεων ενέργειας σε περιόδους όπου η ενέργεια είναι λιγότερο ακριβή.

Λαμβάνοντας υπόψη τη ροή θερμότητας, από την επιφάνεια του τοιχώματος στο δωμάτιο, η διαφορά μεταξύ του δωματίου PCM και του χώρου αναφοράς υπολογίστηκε ανά επιφάνεια τοίχου και δαπέδου, λαμβάνοντας ως παράδειγμα ένα δωμάτιο μεταξύ 12 έως 16 m^2 , η πιθανότητα εξοικονόμησης ενέργειας ψύξης με αυτό το σύστημα θα είναι περίπου 15% (ισχύει μόνο για την περίοδο που αναλύθηκε). Λαμβάνοντας υπόψη έναν ανεμιστήρα ή AC παροχής 1000 W και $0,1143\text{ € / kWh}$ (πορτογαλική τιμή της ενέργειας), έως 2 c € / h θα μπορούσαν να εξοικονομηθούν.

4.2.1.6.2 Τσιμεντοκονίαμα και Τσιμέντο Ενισχυμένο με PCM

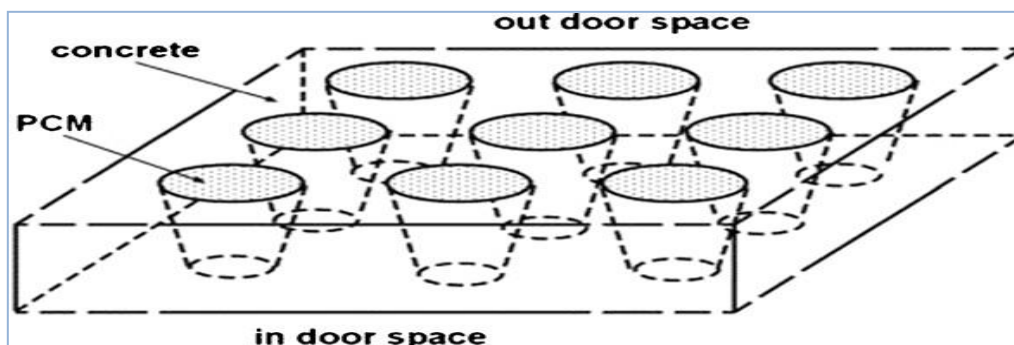
Το σκυρόδεμα είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο δομικό υλικό με ετήσια παραγωγή περίπου έντεκα χιλιάδες μετρικούς τόνους. Οι τοίχοι από σκυρόδεμα διαθέτουν μεγάλη θερμική μάζα και μπορούν να αποθηκεύουν θερμότητα κατά την διάρκεια της ημέρας και να την απελευθερώνουν κατά την διάρκεια της νύχτας μειώνοντας κατά αυτό τον τρόπο την απαίτηση για θέρμανση ή ψύξη. [20]

Κύριος στόχος ενσωμάτωσης των PCM σε υλικά βαριάς κατασκευής όπως το σκυρόδεμα είναι να αυξηθεί περαιτέρω η ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας αυτών των υλικών. Ο συνδυασμός της υψηλής πυκνότητας του σκυροδέματος και της υψηλής λανθάνουσας θερμοχωρητικότητας του PCM αποτελεί μια ενδιαφέρουσα ιδέα όσον αφορά την αποθήκευση ενέργειας στα κτίρια και την εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη των κτιρίων.[20]

Ο τοίχος από σκυρόδεμα θεωρείται κατάλληλος για ενσωμάτωση PCM καθώς διαθέτει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά [20]

- είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο δομικό υλικό
- μπορεί να σχηματιστούν σε μια ποικιλία σχημάτων και μεγεθών
- παρουσιάζουν μεγαλύτερη επιφάνεια ανταλλαγής θερμότητας και μικρότερο βάθος ανταλλαγής θερμότητας
- το PCM συγκρατείται με δυνάμεις επιφανειακής τάσης
- η παραγωγή και ο έλεγχος της ποιότητας μπορούν να επιτευχθούν εύκολα
- εύκολος για δοκιμές

Προκειμένου να βρεθεί μια μέθοδος για την μείωση των θερμικών κερδών στα κτίρια κατά την διάρκεια των ωρών λειτουργίας Alawadhi και Alqallaf μελέτησαν μια στέγη από σκυρόδεμα η οποία αποτελούνταν από τρύπες κολουρου κώνου γεμισμένες με PCM. Τα αποτελέσματα για την καλύτερη διαμόρφωση έδειξαν ότι η ροή θερμότητας στο εσωτερικό του κτιρίου μπορεί να μειωθεί έως και 39% όταν το PCM εισάγεται στην οροφή. [21]



Σχήμα 4.2.1.6.2.1: Alawadhi και Alqallaf ,Στέγη από σκυρόδεμα, [21]

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Ο Castellon και οι συνεργάτες του μελέτησαν τη θερμική συμπεριφορά θαλάμων διαστάσεων 2m x 2 m x 3 m κατά τη διάρκεια του 2005 και του 2006 στην Ισπανία. Τα πάνελ (νότια, δυτικά και οροφή τοιχώματα) ήταν μικροενθυλακωμένα με 5% κ.β. PCM με σημείο τήξεως 26 °C και λανθάνουσα θερμότητα τήξης 100 kJ/kg. Τα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια των δύο καλοκαιριών ήταν πολύ καλά, αφού οι διαφορές θερμοκρασίας έως 4 °C παρατηρήθηκαν μεταξύ του θαλάμου αναφοράς και του θαλάμου με σκυρόδεμα ενισχυμένο με PCM. [20]

Η μέγιστη θερμοκρασία στους τοίχους με PCM εμφανίστηκε περίπου 2 ώρες αργότερα απ' ότι στο θάλαμο χωρίς PCM. Επιπλέον, προκειμένου να έχουμε μια πραγματική προσομοίωση ενός κτιρίου, διεξήχθησαν τα ακόλουθα πειράματα:

Περίπτωση 1: (Ελεύθερη ψύξη): Τα παράθυρα ήταν ανοιχτά τη νύχτα και κλειστά κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Περίπτωση 2: Τα παράθυρα του νότιου τοίχου ήταν ανοιχτά για ολόκληρη την ημέρα.

Περίπτωση 3: Τα παράθυρα ήταν κλειστά για όλη την ημέρα



Σχήμα 4.2.1.6.2.1: Πειραματικό σπίτι στην Ισπανία, [20]

Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν ήταν διαφορετικά σε κάθε πείραμα, ωστόσο, σύμφωνα με τους συγγραφείς, η καλύτερη επιλογή ήταν η πρώτη καθώς επέτρεπε στο PCM να ολοκληρώνει τον κύκλο τήξης / στερεοποίησης.

Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι το σκυρόδεμα που ήταν μακροενθλακωμένο με PCM έφτασε σε θλιπτική αντοχή πάνω από 25 MPa και αντοχή σε εφελκυσμό διάσπαση πάνω από 6MPa (μετά από 28 ημέρες).

4.2.1.6.3 Τούβλο με PCM

Η Silva και οι συνεργάτες της αξιολόγησαν την πιθανότητα ενσωμάτωσης μικροενθλακωμένης παραφίνης σε μια τυπική τοιχοποιία από τούβλο στην Πορτογαλία. [21]

Τα αποτελέσματα της πειραματικής μελέτης κατέδειξαν ότι η ενσωμάτωση του PCM συνεισφέρει στην εξομάλυνση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του χώρου, μειώνοντας το θερμικό πλάτος από 5 σε 10 °C και αυξάνοντας την χρονική υστέρηση περίπου τρεις ώρες.[21]



Σχήμα 4.2.1.6.3.1: Τούβλα με μακροκάψουλες PCM, [21]

4.2.1.7 PCMs Ενσωματωμένα σε Μείγμα Ξύλου- Ελαφρύ

Σκυροδέματος

Πρόκειται για ένα μείγμα το οποίο αποτελείται από τσιμέντο, ροκανίδια ή πριονίδι, το οποίο δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 15 % κατά βάρος, νερό και πρόσθετα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή τόσο εξωτερικού τοίχου όσο και εσωτερικού. Η προσθήκη PCM στο μείγμα έχει ως σκοπό να αυξηθεί η θερμοχωρητικότητα του τοίχου και να δημιουργηθούν ελαφρότερα και λεπτότερα δομικά στοιχεία τοίχου με βελτιωμένη θερμική απόδοση. [13]

Δύο PCM της εταιρείας Rubitherm GR40 και GR50 μελετήθηκαν από Mehling και τους συνεργάτες του. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα PCMs μπορούν να συνδυαστούν με μείγμα ξύλου-ελαφρύ σκυροδέματος και οι μηχανικές τους ιδιότητες δεν φαίνεται να αλλάζουν σημαντικά. [13]

Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα της ενσωμάτωσης PCM στο μείγμα που αναφέρονται είναι [13]

- Θερμική αγωγιμότητα: $\lambda=0,15 - 0,75 \text{ W / m K}$
- Μόνωση θορύβου
- Πυκνότητα μεταξύ 600 και 1700 kg/m^3
- Θερμοχωρητικότητα: $c_p= 0,39 - 0,48 \text{ kJ / kg K}$ για $\rho = 1300 \text{ kg/m}^3$
- Πυκνότητα περίπου 60-70% της αξίας του καθαρού σκυροδέματος ($0,67 \text{ kJ / kg K}$ για $\rho = 2400 \text{ kg / m}^3$)

4.2.2 Ενεργητικά Συστήματα Αποθήκευσης

4.2.2.1 Ενδοδαπέδιο Ηλεκτρικό Σύστημα Θέρμανσης με PCMs

Η θέρμανση με ακτινοβολία παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συστήματα θέρμανσης αέρα με συναγωγή. [13]

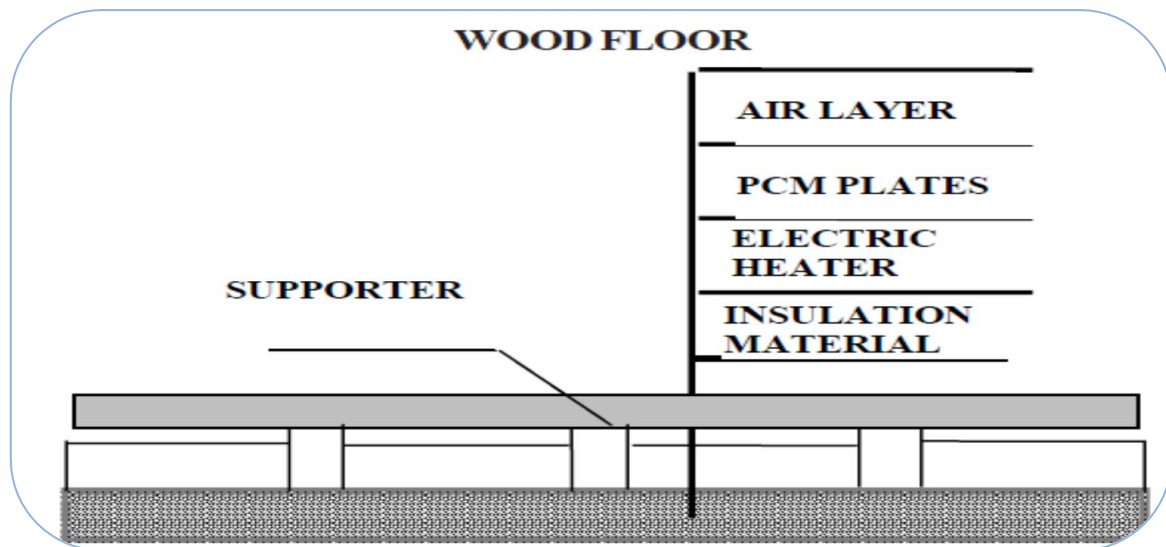
- ο δεν καταλαμβάνει χώρο στο εσωτερικό του σπιτιού αφού το σύστημα είναι ενσωματωμένο στο κτιριακό κέλυφος
- ο η θερμική μάζα που είναι ενσωματωμένη στο ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εκτός αιχμής αποθήκευση θερμικής ενέργειας. Συνεπώς, τα φορτία αιχμής μπορούν να μειωθούν και να μετατοπιστούν κατά την διάρκεια της νύχτας όπου το κόστος ηλεκτρισμού είναι χαμηλότερο

Όσον αφορά τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος οι ηλεκτρικές θερμάστρες θερμαίνουν και λιώνουν το στρώμα του PCM χρησιμοποιώντας ηλεκτρικό ρεύμα κατά την διάρκεια της νύχτας και το σύστημα αποθηκεύει θερμότητα. Κατά την διάρκεια της ημέρας, οι ηλεκτρικές θερμάστρες κλείνουν και το στρώμα του ΥΑΦ στερεοποιείται, απελευθερώνοντας την αποθηκευμένη θερμότητα.[13]

Ένα σύστημα ενδοδαπέδιας ηλεκτρικής θέρμανσης χρησιμοποιώντας ως PCM παραφίνη κεριού (σημείο τήξης 40°C) προτάθηκε από τους Farid και Chen. Τοποθέτησαν στρώμα PCM πάχους 30mm μεταξύ της θερμαινόμενης επιφάνειας και των πλακιδίων του πατώματος. Με χρήση προσομοίωσης υπολογιστή βρέθηκε ότι η παραγόμενη θερμότητα του δαπέδου θα μπορούσε να αυξηθεί από τα 30 στα 75 W/m² στην περίπτωση χρήσης PCM.

Ο Keeping Lina και άλλοι πρότειναν ένα νέο σύστημα ενδοδαπέδιας ηλεκτρικής θέρμανσης με πλάκες PCM σταθερού σχήματος. Προκειμένου να μελετήσουν την θερμική απόδοση του συστήματος, ένα πειραματικό σπίτι με αυτό το σύστημα θέρμανσης δημιουργήθηκε στο πανεπιστήμιο Tsinghua στο Πεκίνο. Οι διαστάσεις του πειραματικού σπιτιού ήταν 3m (βάθος) x 2m (πλάτος) x 2m (ύψος). Στην νότια πλευρά υπήρχε παράθυρο από διπλό τζάμι διαστάσεων 1,6m x 1,5m, το οποίο ήταν καλυμμένο με μαύρη κουρτίνα. Η οροφή και οι τοίχοι ήταν φτιαγμένοι με πολυστερίνη πάχους 100 mm τυλιγμένη από μεταλλικό στρώμα. Το σύστημα ενδοδαπέδιας ηλεκτρικής θέρμανσης περιλάμβανε μόνωση πολυστερίνης πάχους 120mm, ηλεκτρικές θερμάστρες, PCM πάχους 15mm, ξύλινα στηρίγματα, στρώμα αέρα πάχους 10 mm και ξύλινο πάτωμα πάχους 8 mm.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ



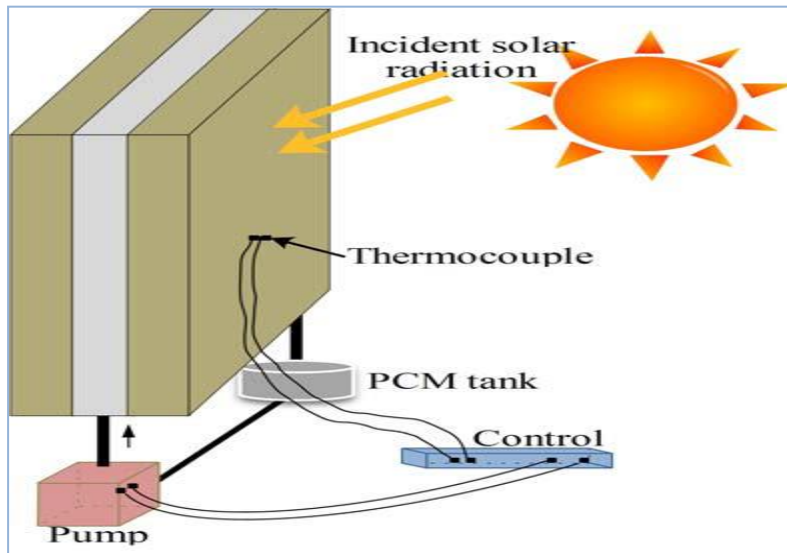
Σχήμα 4.2.2.1.1: Ενδοδαπέδιο ηλεκτρικό σύστημα θέρμανσης, [13]

Χρησιμοποίησαν 75% κατά βάρος παραφίνη ως διεσπαρμένο PCM και 25% κατά βάρος πολυαιθυλένιο ως υποστηρικτικό υλικό.[13]

- Το σύστημα αύξησε την εσωτερική θερμοκρασία χωρίς να αυξηθεί η θερμοκρασιακή διαφορά
- Η θερμοκρασία των πλακών PCM διατηρήθηκαν στη θερμοκρασία αλλαγής φάσεως για μεγάλο χρονικό διάστημα αφότου οι θερμάστρες σταμάτησαν να λειτουργούν. Περισσότερο από το μισό της συνολικής θερμότητας ηλεκτρικής ενέργειας είχε μετατοπιστεί από την περίοδο αιχμής στην περίοδο εκτός αιχμής, το οποίο θα μπορούσε να παρέχει σημαντικά οικονομικά οφέλη λόγω της διαφοράς τιμολόγησης της ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ ημέρας και νύχτας.
- Κατά μήκος της κατακόρυφης κατεύθυνσης εμφανίστηκε μικρή εσωτερική θερμοκρασιακή διαφορά επειδή η ενδοδαπέδια θέρμανση μπορούσε να ζεστάνει ομοιόμορφα τον αέρα στους εσωτερικούς χώρους. Επιπλέον, το σύστημα θέρμανσης ήταν άνετο και ενεργειακά αποδοτικό

4.2.2.2 Θερμικά Αποτελεσματικά Παράθυρα

Η ιδέα για τα θερμικά αποτελεσματικά παράθυρα χρησιμοποιώντας μετακινούμενες κουρτίνες PCM προτάθηκε από τον Ismail και άλλους. [14]



Σχήμα 4.2.2.2.1: Θερμικό αποτελεσματικό παράθυρο, [14]

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε από το παραπάνω σχήμα το παράθυρο αποτελείται από δύο φύλλα μεταξύ των οποίων υπάρχει κενό και μια δίοδο αέρα στην κορυφή.

Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα του συστήματος που αναφέρονται είναι :

- το παράθυρο από διπλό τζάμι στο οποίο στον χώρο μεταξύ των τζαμιών υπάρχει PCM είναι θερμικά πιο αποδοτικό από ένα παράθυρο στο οποίο στον χώρο μεταξύ των τζαμιών υπάρχει αέρας
- τα έγχρωμα παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση στην μείωση των ακτινοβολούμενων κερδών θερμότητας (το πράσινο παρουσιάζει την μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα)
- η θερμική ακτινοβολία φιλτράρεται και μειώνονται τα κέρδη θερμότητας ή οι απώλειες διότι το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που μεταφέρεται απορροφάται κατά την διάρκεια αλλαγής φάσης PCM.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Ένα εσωτερικό σύστημα προστασίας από τον ήλιο που αποτελείται από κάθετα ελάσματα γεμισμένα με PCM εγκαταστάθηκε σε δυτικά δωμάτια γραφείου τα οποία βρίσκονταν στην Karlsruhe και σε νοτιοανατολικά δωμάτια γραφείου που βρίσκονταν στο Kassel. Τα συστήματα προστασίας από τον ήλιο, παρακολούθηθηκαν από το χειμώνα του 2008 μέχρι το καλοκαίρι του 2010 από τον Weinlaeder και τους συνεργάτες του.[21]



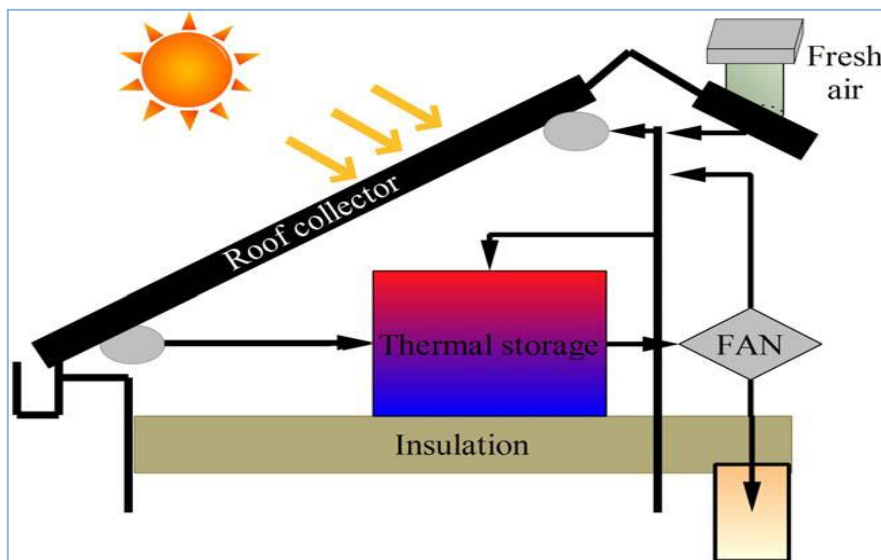
Σχήμα 4.2.2.2: Σύστημα προστασίας από τον ήλιο PCM, [21]

Το σύστημα έδειξε μια σημαντική δυνατότητα ψύξης, το καλοκαίρι, και ακόμη και μερικά πλεονεκτήματα και το χειμώνα σε σύγκριση με ένα συμβατικό σύστημα, χωρίς PCM. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ενώ τα συμβατικά συστήματα συχνά θερμαίνονται σε θερμοκρασίες που μπορεί να ξεπεράσουν τους 40°C, τα αποτελέσματα της παρακολούθησης έδειξαν ότι η θερμοκρασία της επιφάνειας στην εσωτερική πλευρά των ελασμάτων που ήταν γεμισμένα με PCMs σχεδόν ποτέ δεν ξεπέρασε την θερμοκρασία τήξης του PCM, 28 °C. Τα PCMs μείωσαν επίσης το συντελεστή κέρδους ηλιακής θερμότητας της προστασίας από τον ήλιο.

4.2.2.3 Οροφές PCMs για Ενεργή Θέρμανση και Ψύξη

Οι οροφές στις οποίες είναι ενσωματωμένα PCM για συστήματα κλιματισμού διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην εξομάλυνση του φορτίου. [14]

Μια ερευνητική ομάδα στο Πανεπιστήμιο της Νότιας Αυστραλίας, το 1997, κατασκεύασε ένα σύστημα αποθήκευσης, αέρα θέρμανσης, το οποίο ενσωματώνεται στην οροφή. Το σύστημα χρησιμοποιεί την υφιστάμενη οροφή, η οποία αποτελείται από φύλλα σιδήρου κυματοειδούς μορφής, ως ηλιακό συλλέκτη για την θέρμανση του αέρα. Στο σύστημα υπάρχει και μονάδα αποθήκευσης της θερμότητας που περιέχει PCM προκειμένου να αποθηκεύεται η θερμότητα κατά την διάρκεια της ημέρας και να χρησιμοποιείται την νύχτα ή τις ώρες που δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία.



Σχήμα 4.2.2.3.2: Οροφή PCM για ενεργή θέρμανση και ψύξη, [14]

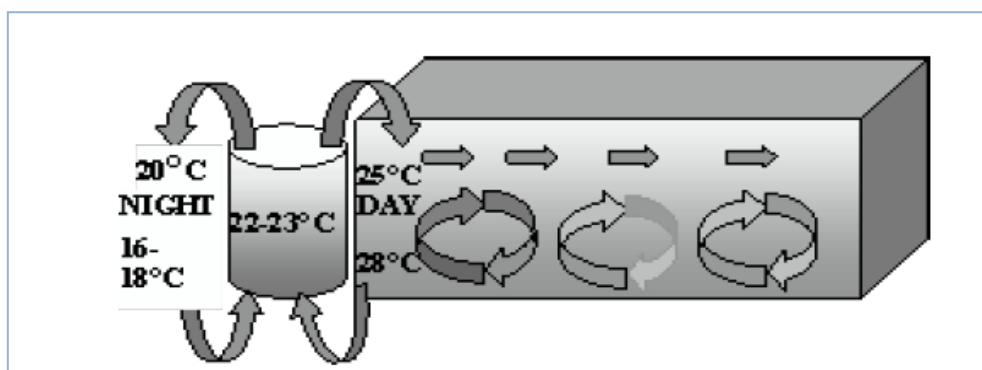
Το σύστημα λειτουργεί με τρεις τρόπους. Κατά την διάρκεια της ημέρας και όταν απαιτείται θερμότητα, ο αέρας περνά από τον συλλέκτη και στη συνέχεια στο σπίτι. Όταν δεν υπάρχει ανάγκη για θέρμανση ο αέρας διοχετεύεται στην μονάδα αποθήκευσης, λιώνοντας το PCM, φορτίζοντας το για μελλοντική χρήση. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία δεν είναι διαθέσιμη, ο αέρας του δωματίου περνάει από την μονάδα αποθήκευσης, θερμαίνεται και διοχετεύεται στο σπίτι. Όταν η εγκατάσταση αποθήκευσης έχει κρυώσει χρησιμοποιείται βοηθητικός θερμαντήρας αέρα για την θέρμανση του δωματίου. Επιπλέον, καθώς το ηλιακό σύστημα θέρμανσης μεταφέρει θερμότητα στο σπίτι, διοχετεύεται με επαρκείς ποσότητες φρέσκου αέρα.

4.2.2.4 Free-Cooling [13, 14]

Ένα σύστημα θέρμανσης χώρου το οποίο περιλαμβάνει PCM τοποθετημένο στον κενό χώρο της οροφής αναπτύχθηκε από τους Gutherz και Sciler. Στο σύστημα χρησιμοποιήθηκαν ηλιακοί ανακλαστήρες ώστε να κατευθύνεται η ηλιακή ενέργεια που εισέρχεται από τα παράθυρα στο PCM. Το κύριο πλεονέκτημα του συστήματος ήταν ότι επέτρεπε μια μεγάλη περιοχή να είναι αφιερωμένη στην αποθήκευση θερμότητας και δεν απαιτούνταν μεγάλοι όγκοι του μέσου αποθήκευσης, όπως απαιτούνται στην αποθήκευση αισθητής θερμότητας. Αποδείχθηκε ότι η χρήση ενός τέτοιου συστήματος έχει τη δυνατότητα να ανακτήσει 17-36% της θερμότητας που χάνεται σε σχέση με τα αρχικά κέρδη.

Ο Turpenney και οι συνεργάτες του ανέπτυξαν μια μονάδα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας ενσωματώνοντας αγωγούς θερμότητας οι οποίοι ήταν εμποτισμένοι με PCMs. Το σύστημα τους αποθήκευε το ψύχος κατά την διάρκεια της νύχτας και το απελευθέρωνε κατά την διάρκεια της ημέρας, (μονάδα ελεύθερης ψύξης).

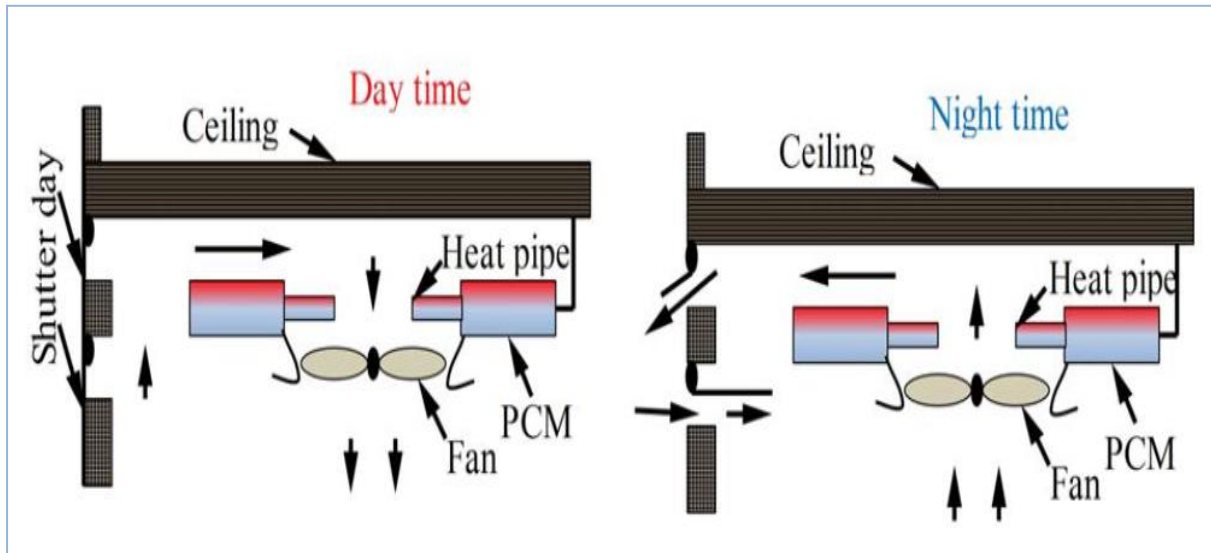
Η ελεύθερη ψύξη μελετήθηκε και στο Πανεπιστήμιο της Ζαραγόνα στην Ισπανία από τον Zalba. Στόχος της μελέτης ήταν να σχεδιασθεί και να κατασκευαστεί μια πειραματική εγκατάσταση και να μελετηθούν PCMs με θερμοκρασία τήξεως εντός του θερμοκρασιακού εύρους, 20-25°C.



Σχήμα 4.2.2.4.1: free cooling, [13]

Το συγκεκριμένο θερμοκρασιακό εύρος θεωρείται από τα πιο κατάλληλα για ελεύθερη ψύξη καθώς κατά την διάρκεια της νύχτας οι εξωτερικές θερμοκρασίες πέφτουν πιο κάτω και καθώς οι θερμοκρασίες αυτές είναι αρκετά χαμηλές ώστε να ψύξουν τον αέρα του κτιρίου. Αυτή η ιδέα είναι εφικτή μόνο σε κλίματα στα οποία η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ μιας καλοκαιρινής μέρας και νύχτας ξεπερνά τους 15°C.

Η τοποθέτηση PCM στην οροφή μελετήθηκε στο πανεπιστήμιο του Nottingham (2002). Πρόκειται για αντικατάσταση ενός πλήρους συστήματος κλιματισμού με ένα νέο σύστημα νυκτερινής ψύξης, το οποίο είναι εύκολο να αναβαθμιστεί.



Σχήμα 4.2.2.4.2: free cooling, University of Nottingham, [14]

Στην οροφή είναι τοποθετημένος ένας ανεμιστήρας για να ρίξει τον αέρα πάνω από τα εκτεθειμένα άκρα των αγωγών θερμότητας. Το άλλο άκρο των αγωγών θερμότητας είναι σε μια αποθηκευτική μονάδα PCM. Κατά την διάρκεια της ημέρας, ο θερμός αέρας που παράγεται στο δωμάτιο ψύχεται από το PCM, δηλαδή η θερμότητα μεταφέρεται στο PCM. Κατά την διάρκεια της νύχτας, ο ανεμιστήρας αντιστρέφεται και τα παράθυρα είναι ανοιχτά ώστε ο ψυχρός αέρας να περνάει από τους σωλήνες θερμότητας και να εξάγει θερμότητα από το PCM. Ο κύκλος επαναλαμβάνεται την επόμενη μέρα.

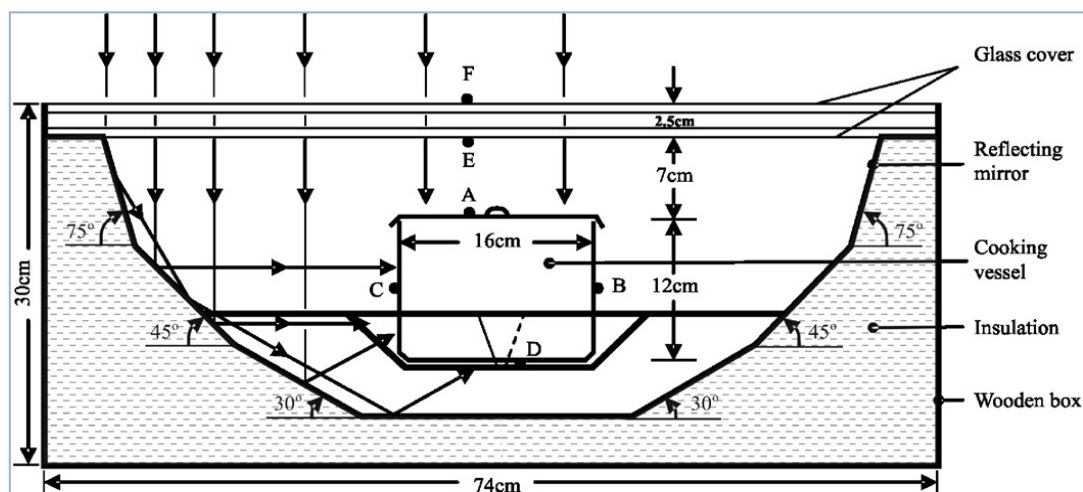
Οι θερμοκρασίες τήξης και πήξης του PCM είναι περίπου 22°C και 20 °C αντίστοιχα. Η πλήρης τήξη λαμβάνει χώρα σε 8 περίπου ώρες όταν η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του PCM και του αέρα είναι περίπου 2 °C και σε διάστημα 3 ωρών είναι 3,5 °C. Οι ρυθμοί μεταφοράς θερμότητας είναι 80W και 200W ανά μονάδα αντίστοιχα.

4.3 Άλλες Εφαρμογές

4.3.1 Ηλιακοί Φούρνοι PCMs [1, 16]

Μια από τις κύριες εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας είναι στην μαγειρική χρησιμοποιώντας διαφορετικούς τύπους ηλιακών φούρνων. Όμως, η χρήση των ηλιακών φούρνων είναι περιορισμένη εάν δεν είναι εξοπλισμένοι με σύστημα αποθήκευσης θερμότητας καθώς το μαγείρεμα δεν είναι δυνατό το βράδυ. Με την αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας σε έναν ηλιακό φούρνο η χρησιμότητα και η αξιοπιστία αυτών των ηλιακών φούρνων θα μπορούσε να αυξηθεί.

Ο Domanski και οι συνεργάτες ήταν οι πρώτοι που μελέτησαν την πιθανότητα μαγειρέματος τις ώρες που δεν έχει ηλιοφάνεια. Στην έρευνα τους, χρησιμοποίησαν έναν ηλιακό φούρνο τύπου κουτιού με ανακλαστές στο εσωτερικό. η συσκευή μαγειρέματος αποτελούνταν από δύο ομόκεντρα κυλινδρικά δοχεία αλουμινίου. Το κενό μεταξύ των δοχείων ήταν γεμισμένο με PCM (1,1 kg, 95% εμπορικού στεατικού οξέος ή 2 kg ένυδρου νιτρικού). Ο ηλιακός φούρνος μπορούσε να επιτύχει υψηλότερες θερμοκρασίες χρησιμοποιώντας PCM με θερμοκρασία τήξεως που υπερβαίνει τους 100 °C.

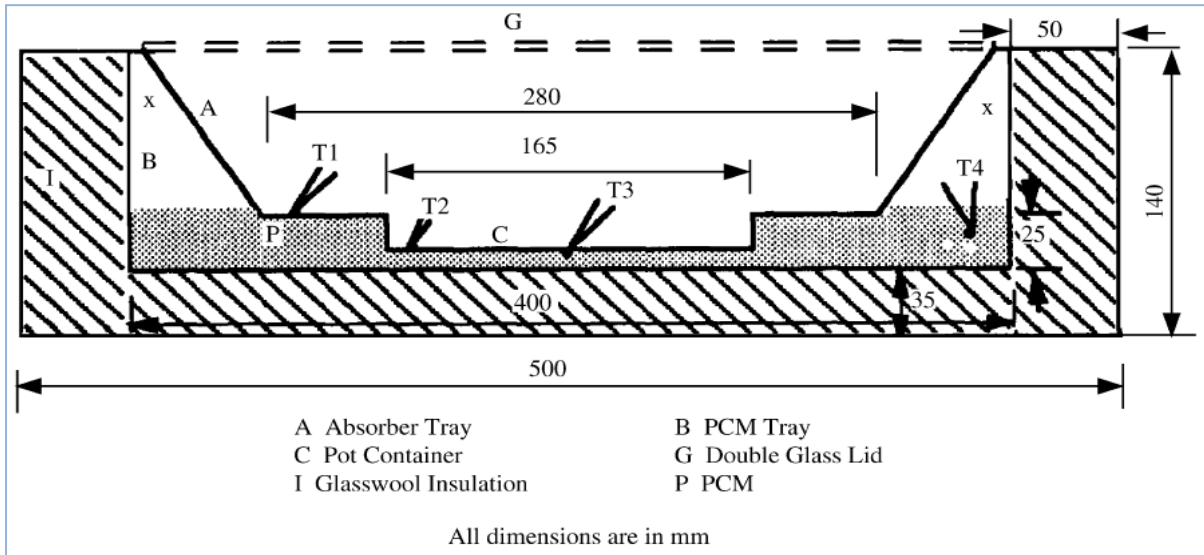


Σχήμα 4. 3.1.1: Domanski, ηλιακός φούρνος, [1]

Οι Buddhi και Sahoo πρότειναν την χρήση του εμπορικού στεατικού οξέος (θερμοκρασία τήξης 51 °C και θερμότητα τήξης 160 kJ/kg) ως μέσο αποθήκευσης της λανθάνουσας θερμότητας. Ο ηλιακός φούρνος από αλουμίνιο περιείχε 3,2 kg PCM.

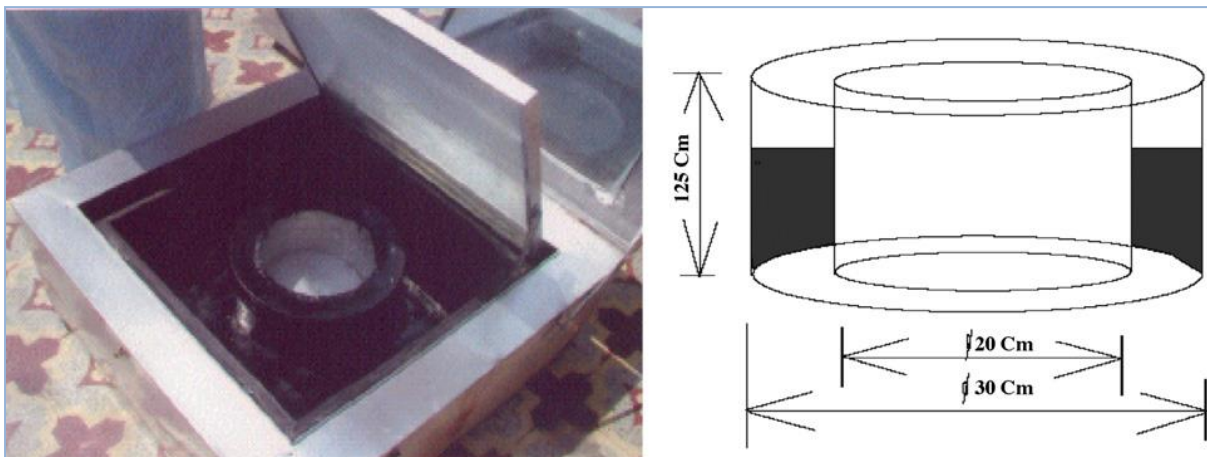
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο –ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

Ακόμα και αν τα πειράματα κατέδειξαν ότι αυτός ο σχεδιασμός επέτρεπε στους χρήστες να μαγειρεύουν τις ώρες που δεν έχει ηλιοφάνεια, η ποσότητα της θερμότητας που μπορούσε να αποθηκευθεί ήταν ανεπαρκής και η θερμοκρασία τήξης του PCM δεν ήταν ιδιαίτερα υψηλή.



Σχήμα 4. 3.1.2: Buddhi και Sahoo, ηλιακός φούρνος, [1]

Το 2000 ο Sharma και οι συνεργάτες του κατασκεύασαν ως μονάδα αποθήκευσης θερμότητας ακεταμίδιο με θερμοκρασία τήξεως 82 °C και θερμότητα τήξης 263kJ/kg και την χρησιμοποίησαν σε ένα ηλιακό φούρνο σχήματος κουτιού για μαγείρεμα τις βραδινές ώρες. Συνέστησαν ότι η θερμοκρασία τήξεως του PCM πρέπει να κυμαίνεται από 105-110 °C για χρήση του ηλιακού φούρνου το βράδυ.

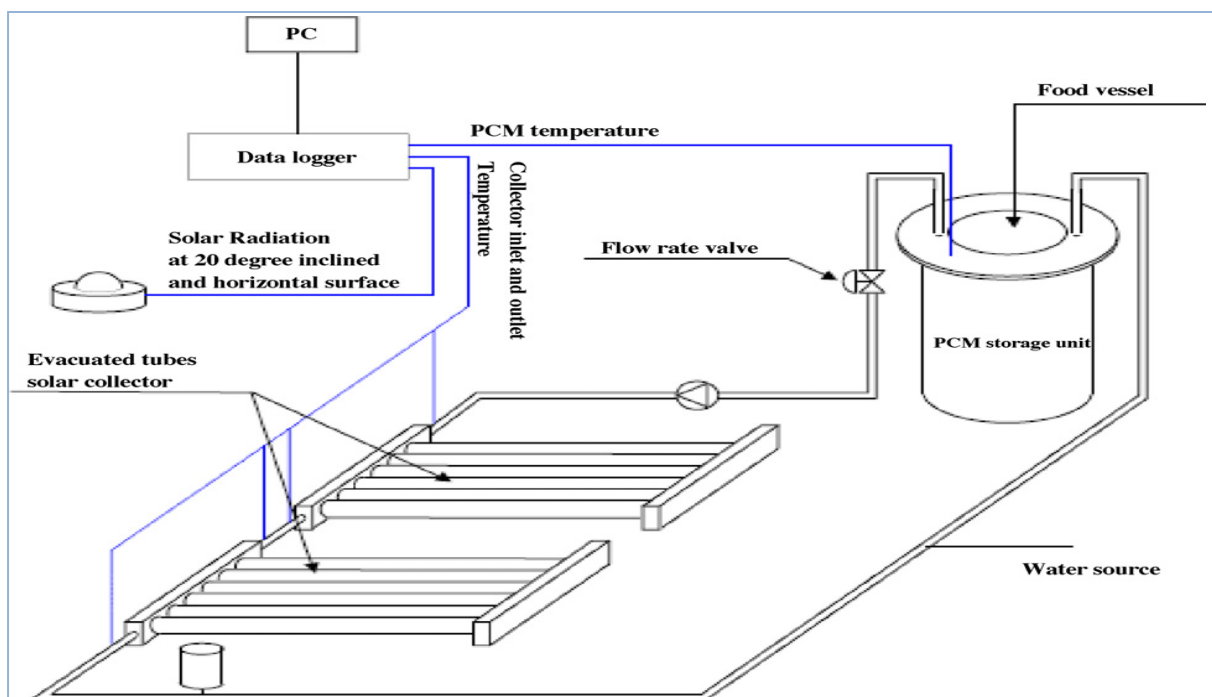


Σχήμα 4. 3.1.3: Sharma, ηλιακός φούρνος, [16]

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Επιπλέον, ο Sharma και οι συνεργάτες του χρησιμοποίησαν ως PCM ερυθριτόλη (θερμοκρασία τήξης 122 °C και θερμότητα τήξης 338,8 kJ/kg), για αποθήκευση της θερμότητας, και η λειτουργία του ηλιακού φούρνου βασιζόταν στην χρήση ηλιακού συλλέκτη με σωλήνες κενού. Το σύστημα αποτελούνταν από δύο συλλέκτες με σωλήνες κενού με επιφάνεια 1,82 m² ο καθένας. Η μονάδα αποθήκευσης είχε κοίλους ομόκεντρους κυλίνδρους αλουμινίου, το κενό μεταξύ των οποίων ήταν γεμισμένο με PCM (45 kg).

Με βάση τα πειράματα, το σύστημα μαγειρέματος μπορούσε να αποθηκεύσει επαρκή ποσότητα θερμότητας για μαγείρεμα την ημέρα και το βράδυ.



Σχήμα 4. 3.1.4: Sharma, ηλιακός φούρνος, λειτουργία βασισμένη σε ηλιακό συλλέκτη με σωλήνες κενού, [16]

Προς το παρόν, η έρευνα βρίσκεται σε εξέλιξη πάνω σε νέα PCMs τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά σε εφαρμογές ηλιακού μαγειρέματος.

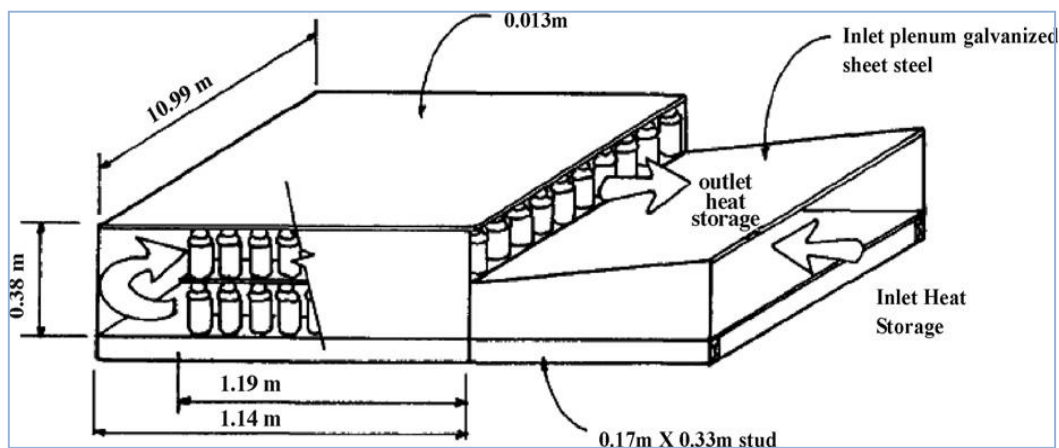
4.3.2 Ηλιακό Θερμοκήπιο [1, 16]

Η εφαρμογή των PCMs σε θερμοκήπια, ώστε να λειτουργούν ως μέσα αποθήκευσης θερμότητας, ξεκίνησε στην δεκαετία του 1980.

Όλα τα ηλιακά θερμοκήπια που μελετήθηκαν με χρήση PCM, για αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας, παρουσίαζαν κοινή λειτουργία. Κατά την διάρκεια της μέρας, η θερμότητα αποθηκευόταν στο PCM, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση του αέρα στο θερμοκήπιο την νύχτα ή γενικά τις νεφελώδεις μέρες.

Οι Kern και Aldrich χρησιμοποίησαν PCM ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), σε ένα θερμοκήπιο εκτάσεως 36 m², προκειμένου να μελετήσουν τις δυνατότητες αποθήκευσης ενέργειας. Για το σκοπό αυτό εισήγαγαν σε δοχεία αεροζόλ 1650 kg PCM. Τα δοχεία περιείχαν διαφορετικές ποσότητες PCM και το ένα ήταν τοποθετημένο στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, ενώ το άλλο στο εξωτερικό του θερμοκηπίου. Η διεύθυνση της ροής του αέρα αντιστρεφόταν κατά την διάρκεια της ημέρας και της νύχτας.

- Την ημέρα, που ο αέρας στην κορυφή του θερμοκηπίου είναι ζεστός, το PCM στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, απορροφούσε την θερμότητα του ζεστού αέρα
- Την νύχτα, που ο αέρας στην κορυφή του θερμοκηπίου είναι κρύος, απελευθέρωνε την θερμότητα, που είχε αποθηκεύσει κατά την διάρκεια της μέρας



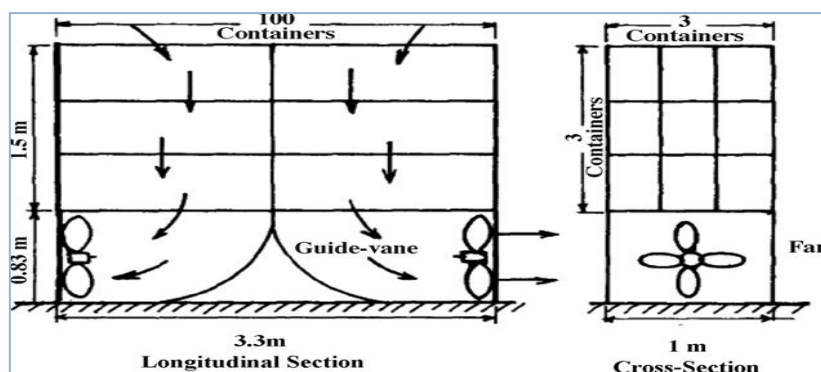
Σχήμα 4. 3.2.1: μονάδα αποθήκευσης στο ηλιακό θερμοκήπιο, [16]

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Σε μία πειραματική μελέτη από τους Boulard και Baille και τον Boulard με τους συνεργάτες του χρησιμοποιήθηκε σε θερμοκήπιο εκτάσεως 176 m², διπλού πολυανθρακικού καλύμματος και μηχανικού αερισμού, PCM (CaCl₂ 6H₂O), με θερμοκρασία τήξης 21 °C.

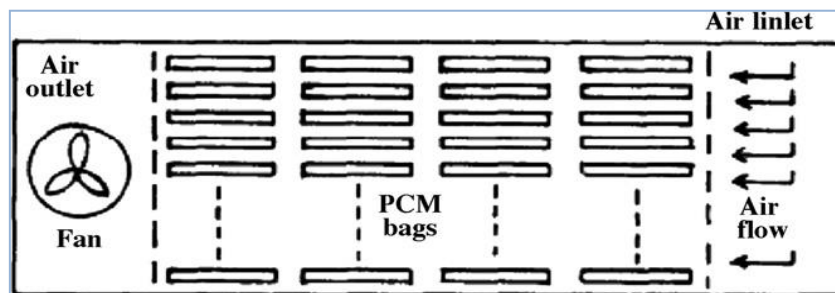
Με αυτή την μέθοδο επιτεύχθηκαν τα ακόλουθα

- Απαίτηση για καύσιμο 7,2 l/m²
- Καλυπτόταν το 40% του φορτίου θέρμανσης
- Επιτεύχθηκε 30% συνολική εξοικονόμηση ενέργειας



Σχήμα 4. 3.2.2: Boulard και Baille και Boulard, μονάδα αποθήκευσης, [16]

Οι Nishina και Takakura χρησιμοποίησαν για την θέρμανση θερμοκηπίου στην Ιαπωνία ως PCM , Na₂SO₄ .10H₂O, με μερικά πρόσθετα προκειμένου να αποφευχθεί ο διαχωρισμός φάσης.

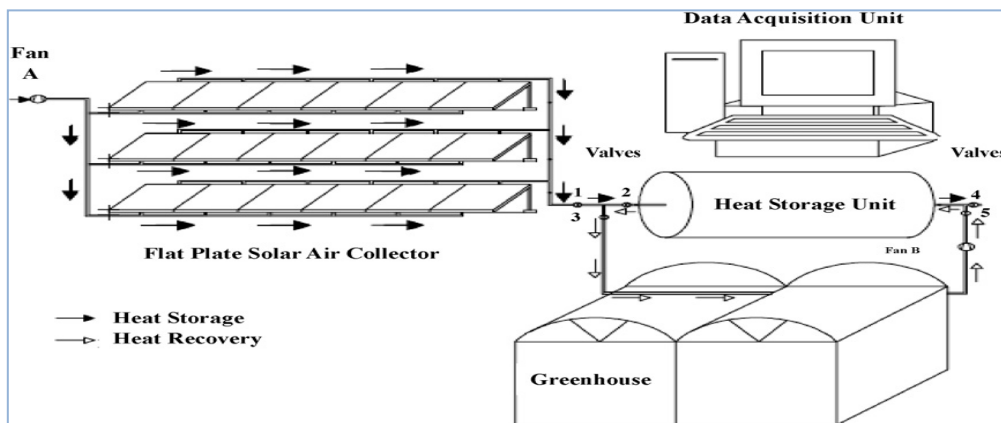


Σχήμα 4. 3.2.3: Nishina και Takakura , μονάδα αποθήκευσης, [16]

Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι μόνο 40-60% της δυνατότητας λανθάνουσας θερμότητας του PCM πραγματοποιήθηκε, δηλαδή σχεδόν το μισό του PCM δεν χρησιμοποιήθηκε αποτελεσματικά κατά τις διαδικασίες συναλλαγής θερμότητας.

Ο Ozturk για την θέρμανση 180 m² θερμοκηπίου χρησιμοποίησε ως PCM, παραφίνη κεριού. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε και από την σχηματική απεικόνιση της εγκατάστασης, το σύστημα αποτελείται κυρίως από πέντε μονάδες.

- ο επίπεδη πλάκα ηλιακών συλλεκτών (ως μονάδα συλλογής θερμότητας)
- ο μονάδα λανθάνουσας θερμότητας αποθήκευσης
- ο μονάδα μεταφοράς θερμότητας
- ο μονάδα απόκτησης δεδομένων



Σχήμα 4. 3.2.4: Ozturk, διάταξη μονάδα αποθήκευσης, [16]

Η μονάδα αποθήκευσης της λανθάνουσας θερμότητας περιείχε 6000 kg παραφίνης, που αντιστοιχούν σε 33.33 kg PCM ανά τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειας του θερμοκηπίου. Αναλύσεις ενέργειας και εξέργειας εφαρμόστηκαν προκειμένου να εκτιμηθεί η αποδοτικότητα του συστήματος. Το ποσοστό της θερμότητας που μεταφέρεται στη μονάδα λανθάνουσας θερμότητας αποθήκευσης κυμαινόταν από 1,22 έως 2,63 kW, ενώ το ποσοστό της θερμότητας που αποθηκεύεται στη μονάδα λανθάνουσας θερμότητας αποθήκευσης κυμαινόταν από 0,65 έως 2,1 kW. Η μέση ημερήσια τιμή της θερμικής εξέργειας που μεταφέρεται και αποθηκεύεται στη μονάδα λανθάνουσας θερμότητας αποθήκευσης ήταν 111,2 W και 79,9 W, αντίστοιχα. Κατά την διάρκεια της πειραματικής περιόδου, διαπιστώθηκε ότι οι μέσες καθαρές αποδόσεις ενέργειας και εξέργειας ήταν 40.4% και 4.2%, αντίστοιχα. Η επίδραση της θερμοκρασιακής διαφοράς του ρευστού μεταφοράς θερμότητας στην είσοδο και την έξοδο της μονάδας λανθάνουσας θερμότητας αποθήκευσης στις υπολογιστικές τιμές της απόδοσης της ενέργειας και της εξέργειας υπολογίζεται κατά την διάρκεια της περιόδου φόρτισης.

4.3.3 Συστήματα Θέρμανσης με Αέρα [11 , 16]

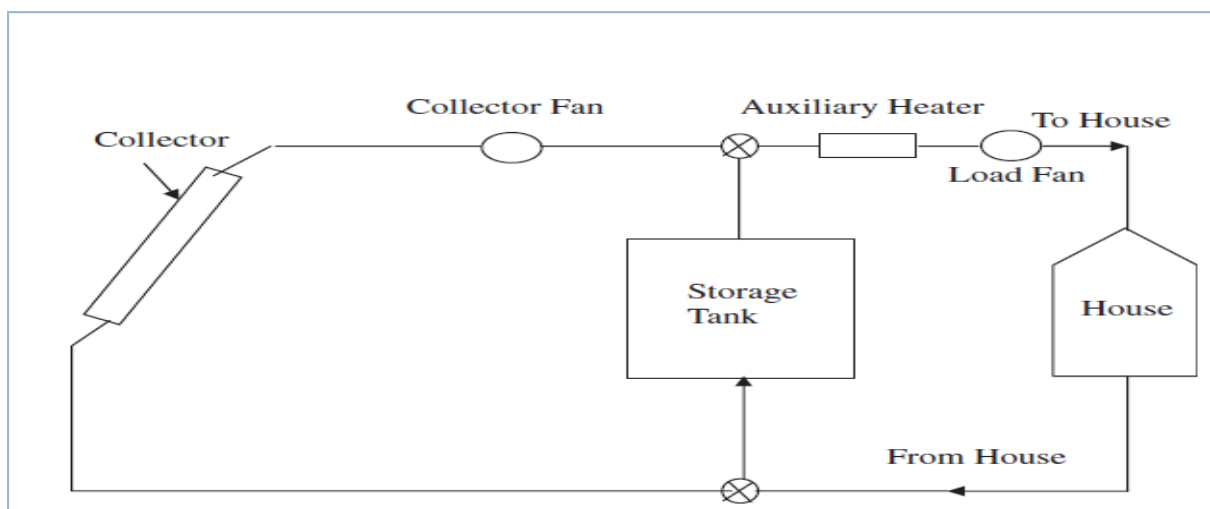
Οι Morrision και Adbel, Khalik και Jurinak ,Adbel και Khalik μελέτησαν την απόδοση ηλιακών συστημάτων θέρμανσης με αέρα ως εργαζόμενο μέσο, χρησιμοποιώντας PCM.

Οι κύριοι στόχοι της εργασίας τους ήταν :

- ο Να προσδιορίσουν την επίδραση που έχει στα συστήματα θέρμανσης με αέρα η λανθάνουσα θερμότητα και η θερμοκρασία τήξης του επιλεγμένου PCM
- ο Να αναπτύξουν ένα εμπειρικό μοντέλο μονάδων αποθήκευσης ενέργειας αλλαγής φάσης

Το συμπέρασμα ήταν τα ακόλουθα

- ο τόσο η θερμοκρασία τήξης του PCM, όσο και η λανθάνουσα θερμότητα επηρεάζουν την επίδοση του συστήματος
- ο μη χρήση δεκαένυδρου θειικού νατρίου ως PCM, απαιτείται το 1/4 περίπου του όγκου αποθήκευσης ενός rock bed και το 1/5 του όγκου αποθήκευσης μιας δεξαμενής νερού



Σχήμα 4. 3.3.1: Σχηματική απεικόνιση ενός προτύπου συστήματος θέρμανσης αέρα, [11]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο –ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

Ο Enible σχεδίασε ένα ηλιακό θερμαντήρα αέρα, φυσικής συναγωγής, με υλικό αλλαγής φάσης. Η ημερήσια απόδοση του συστήματος υπό συνθήκες χωρίς φορτίο εξετάστηκε κάτω από περιβαλλοντικές συνθήκες με μεταβολές στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος που κυμαίνονται από 19-41 °C και ημερήσια παγκόσμια ακτινοβολία στο εύρος 4,9-19,9 MJ/m². Η μέγιστη άνοδος της θερμοκρασίας του θερμαινόμενου αέρα ήταν περίπου 15 K, ενώ η μέγιστη αθροιστική ωφέλιμη απόδοση ήταν περίπου 50%.



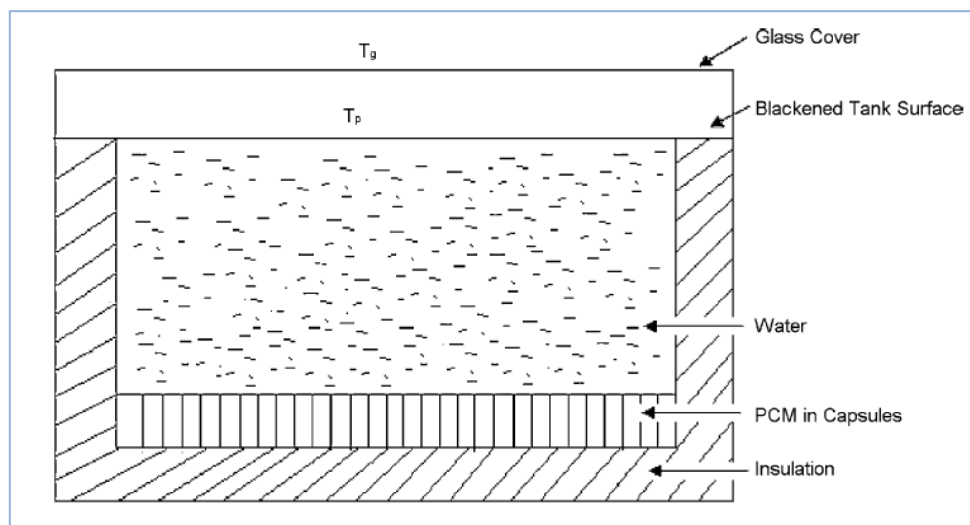
Σχήμα 4. 3.3.2: Enible , Σύστημα Θέρμανσης με Αέρα, [16]

Το σύστημα είναι κατάλληλο για χρήση ως ηλιακός ξηραντήρας καλλιέργειας για αρωματικά βότανα, φαρμακευτικά φυτά και άλλες σοδειές, οι οποίες δεν απαιτούν άμεση έκθεση στο ηλιακό φως.

4.3.4 Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης Νερού

Η έρευνα για τη δημιουργία κτιρίων στα οποία ήταν εγκατεστημένα ηλιακά θερμικά συστήματα ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του 1940 και συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Ο ηλιακός θερμοσίφοντας απέκτησε δημοτικότητα δεδομένου ότι είναι σχετικά φθηνός και απλός στην κατασκευή.

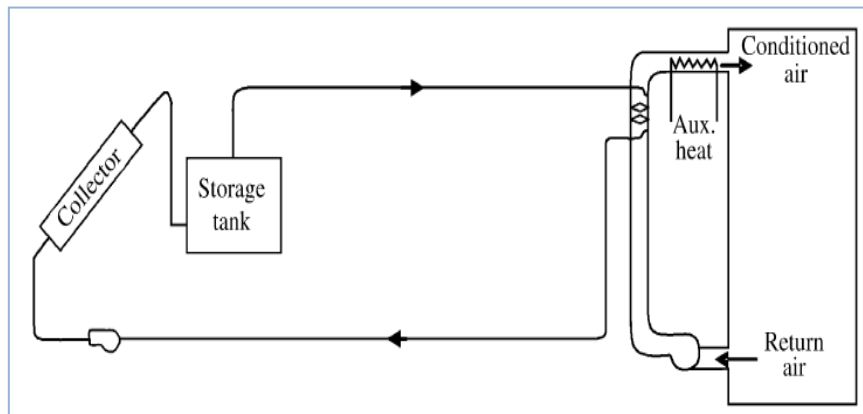
Ο Prakesh και οι συνεργάτες του ανέλυσαν έναν ηλιακό θερμοσίφωνα που περιείχε στρώμα PCM στο κάτω μέρος. Κατά τη διάρκεια των ωρών ηλιοφάνειας, το νερό θερμαίνεται και μεταφέρει θερμότητα στο PCM που βρίσκεται κάτω από αυτό. Το PCM συλλέγει την ενέργεια με τη μορφή λανθάνουσας θερμότητας και τήκεται. Τις ώρες που δεν έχει ηλιοφάνεια, το ζεστό νερό αποσύρεται και αντικαθιστάται με κρύο νερό, το οποίο συλλέγει ενέργεια από το PCM. Η ενέργεια απελευθερώνεται από το PCM κατά την αλλαγή των φάσεων του από υγρό σε στερεό. Αυτός ο τύπος συστήματος δεν μπορεί να είναι αποτελεσματικός λόγω της κακής μεταφοράς θερμότητας μεταξύ του PCM και του νερού. [24]



Σχήμα 4. 3.4.1: Ηλιακός θερμοσίφοντας, [24]

Ένα άλλο παράδειγμα πειραματικών και θεωρητικών ερευνών λανθάνουσας θερμότητας αποθήκευσης για ένα σύστημα ηλιακής θέρμανσης νερού αποτελεί η μελέτη που εκτελέστηκε από τον Kaygusuz. [1]

Το σύστημα σχεδιάστηκε για να θερμάνει ένα εργαστηριακό κτίριο στην Trabzon, στην Τουρκία, και αποτελούνταν από ένα ηλιακό συλλέκτη, μια δεξαμενή αποθήκευσης ενέργειας, ένα εναλλάκτη θερμότητας νερού-αέρα, μία βοηθητική ηλεκτρική θερμάστρα, μια αντλία κυκλοφορίας νερού και από εξοπλισμό για μέτρηση και έλεγχο.



Σχήμα 4. 3.4.12: Σύστημα θέρμανσης νερού, Trabzon, [1]

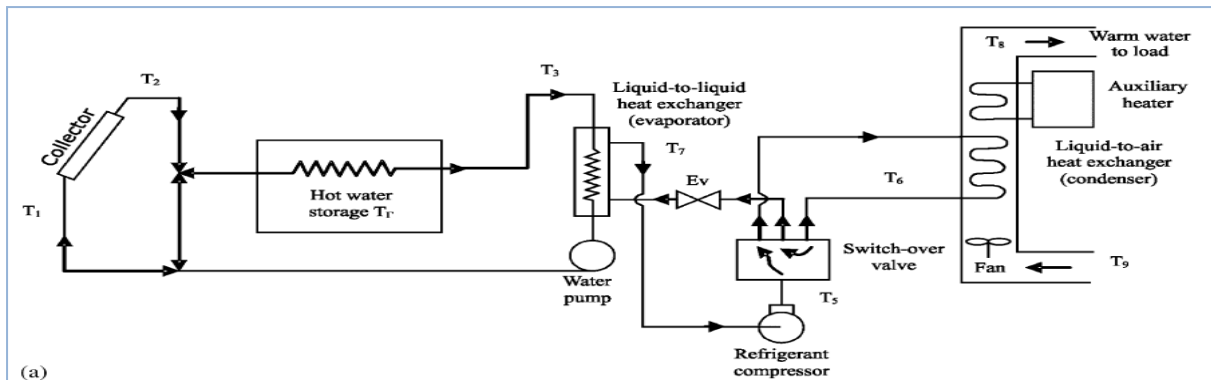
Η συλλεγόμενη ηλιακή ενέργεια μεταφερόταν στη δεξαμενή αποθήκευσης η οποία περιείχε σωλήνες από χλωριούχο πολυβινύλιο με 1.500 kg εξαένυδρο χλωριούχο ασβέστιο. Η απαίτηση για φορτίο θέρμανσης χώρου, ήταν ικανοποιούταν με τη χρήση της δεξαμενής αποθήκευσης ενέργειας και τη βοηθητική πηγή ενέργειας. Κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης, οι μετρούμενες τιμές απόδοσης των μέσων συλλογής και αποθήκευσης ήταν 0,60 και 0,70, αντίστοιχα, με την χρήση στο σύστημα 30-m² ηλιακών συλλεκτών νερού. Στο συμβατικό σύστημα χωρίς PCM η μέγιστη τιμή του κλάσματος της ηλιακής ενέργειας που παρέχεται στο φορτίο ήταν περίπου 0.30-0.35, διότι υπήρχαν αρκετές μέρες με συννεφιά στην περιοχή κατά τη διάρκεια των δοκιμών.

Ο Kaygusuz διερεύνησε, επίσης, τόσο πειραματικά όσο και θεωρητικά ένα σύστημα θερμικής αντλίας χρησιμοποιώντας αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας για τη θέρμανση κατοικιών. Στην πειραματική διάταξη χρησιμοποιήθηκαν δύο πηγές θερμότητας. Όπως φαίνεται και στα σχήματα που ακολουθούν, μελετήθηκαν δύο τρόποι λειτουργίας του συστήματος

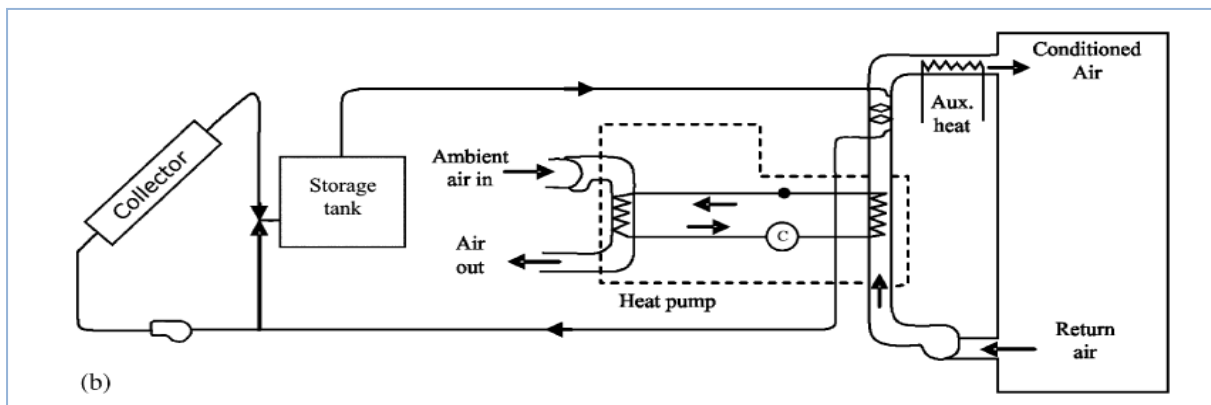
(α) το σύστημα θερμικής αντλίας ήταν συνδεδεμένο με τη δεξαμενή αποθήκευσης σε σειρά,

(β) το σύστημα θερμικής αντλίας ήταν συνδεδεμένο με τη δεξαμενή αποθήκευσης παράλληλα.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ



Σχήμα 4.2.3.4.3: Σύστημα θερμικής αντλίας συνδεδεμένο με τη δεξαμενή αποθήκευσης σε σειρά, [1]



Σχήμα 4.2.3.4.4: Σύστημα θερμικής αντλίας συνδεδεμένο με τη δεξαμενή αποθήκευσης σε σειρά, [1]

Στην περίπτωση της εν σειρά λειτουργίας, τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι σχετικά υψηλή τιμή απόδοσης του συλλέκτη, 60-68% ,θα μπορούσε να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας 30m² επίπεδες πλάκες συλλεκτών θέρμανσης νερού, ενώ η αποτελεσματικότητα του συλλέκτη κυμαινόταν από 48% έως 60% στην περίπτωση της παράλληλης λειτουργίας. Και για τους δύο τρόπους λειτουργίας καταγράφηκε 62% μέση καθαρή αποτελεσματικότητα αποθήκευσης. Οι μέσες τιμές απόδοσης εποχικής θέρμανσης ήταν 4,0 και 2,5 για τον (α) και (β) τρόπο λειτουργίας, αντίστοιχα.

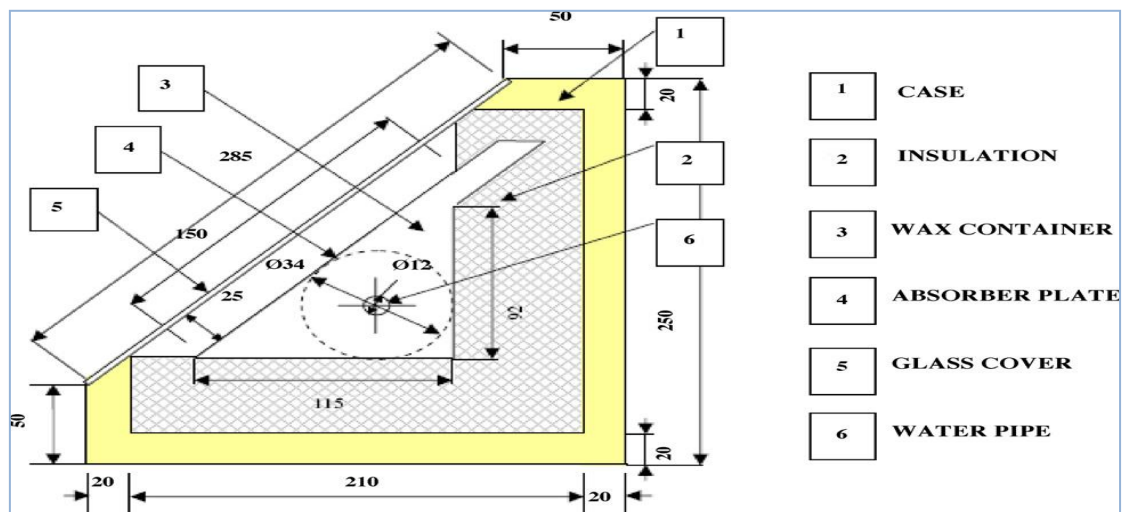
Από τα αποτελέσματα των παραπάνω μελετών συμπεράθηκαν τα ακόλουθα :

- ο το παράλληλο σύστημα θερμικής αντλίας αποθήκευε περισσότερη ενέργεια από το σύστημα θερμικής αντλίας σε σειρά. Ο λόγος ήταν ότι το παράλληλο σύστημα χρησιμοποιούσε ως πηγές θερμότητας τόσο τον αέρα και τον ήλιο ως πηγή θερμότητας, ενώ το σύστημα εν σειρά χρησιμοποιούσε μόνο την ηλιακή θερμότητα που αποθηκευόταν στη δεξαμενή
- ο η εφαρμογή μόνο του ηλιακού συστήματος δεν ήταν επαρκής για να παρέχει θέρμανση για το κτίριο για τις δεδομένες κλιματικές συνθήκες ιδίως τις συννεφιασμένες ημέρες
- ο ουσιαστική εξοικονόμηση ενέργειας θα μπορούσε να επιτευχθεί με τη χρήση ενός συστήματος αντλίας θερμότητας σε συνδυασμό με ηλιακή ενέργεια και απορριπτόμενη ενέργεια ως πηγές θερμότητας
- ο χλωριούχο πολυβινύλιο χρησιμοποιήθηκε για τη κατασκευή του δοχείου στην παραπάνω εργασία και η αγωγιμότητα του ήταν πολύ χαμηλή. Ως εκ τούτου, η ηλιακή ενέργεια που συλλεγόταν κατά τη διάρκεια της ημέρας δεν ήταν επαρκής για να λιώσει το σύνολο του PCM στο σύστημα αποθήκευσης. Ως αποτέλεσμα, η ποσότητα της πειραματικώς αποθηκευμένης ενέργειας ήταν χαμηλότερη από εκείνη που χρησιμοποιούσαν σε θεωρητικούς υπολογισμούς
- ο δεκαένυδρο χλωριούχο ασβέστιο ήταν προτιμότερο ως PCM στην συγκεκριμένη περιοχή

Οι Mettawee και Assassa διερεύνησαν την θερμική απόδοση ενός ηλιακού συλλέκτη με PCM. Σε αυτόν τον συλλέκτη, κάτω από την πλάκα απορρόφησης υπάρχει το δοχείο που περιέχει το PCM. [16]

Η ηλιακή ενέργεια απορροφάται από την πλάκα απορρόφησης και αποθηκεύεται στο PCM. Στην συνέχεια, η ηλιακή ενέργεια που αποθηκεύθηκε στην παραφίνη κεριού, η οποία χρησιμοποιήθηκε ως PCM ,απορρίπτεται στο κρύο νερό που ρέει στους σωλήνες οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στο εσωτερικό του δοχείου που περιέχει το PCM.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ



Σχήμα 4. 3.4.5: Mettawee και Assassa, ηλιακός συλλέκτης PCM, [16]

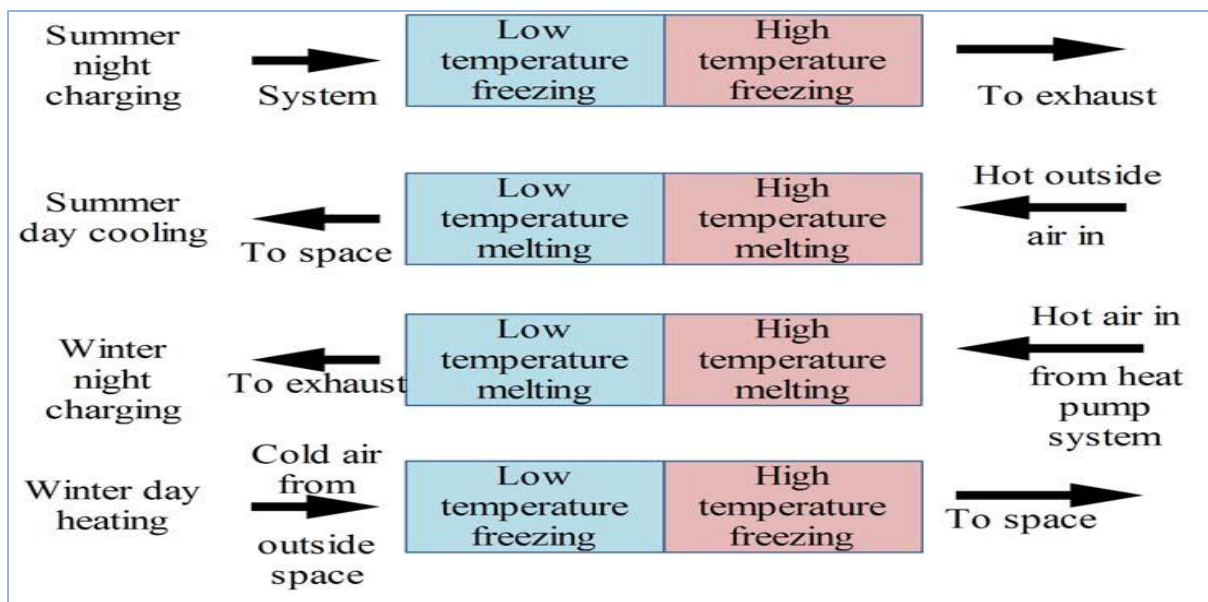
Η αποτελεσματική περιοχή του συλλέκτη θεωρήθηκε ότι είναι 1m^2 και ο συνολικός του όγκος χωρίστηκε σε 5 τομείς. Η πειραματική συσκευή σχεδιάστηκε για να προσομοιώσει έναν από τους τομείς του συλλέκτη, με μια συσκευή με αποτελεσματική επιφάνεια απορρόφησης 0.2m^2 . Εξωτερικά πειράματα διεξήχθησαν για να αποδειχθεί η δυνατότητα εφαρμογής της χρήσης ενός συμπαγούς ηλιακού συλλέκτη για τη θέρμανση του νερού.

Οι θερμοκρασίες του PCM καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια των διαδικασιών της φόρτισης και αποφόρτισης. Διεξήχθησαν πειράματα για διαφορετικούς ρυθμούς ροής του νερού από $8,3$ έως $21,7 \text{ kg / h}$. Η επίδραση του ρυθμού ροής του νερού στο χρήσιμο κέρδος θερμότητας μελετήθηκε επίσης. Οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας υπολογίστηκαν για τη διαδικασία φόρτισης.

Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι στη διαδικασία φόρτισης, ο μέσος συντελεστής μεταφοράς θερμότητας αυξάνεται απότομα με την αύξηση του πάχους του τηγμένου στρώματος, καθώς η φυσική συναγωγή δυναμώνει. Κατά τη διαδικασία της αποφόρτισης, το κέρδος της ωφέλιμης θερμότητας βρέθηκε να αυξάνει καθώς αυξάνεται ο ρυθμός ροής της μάζας του νερού.

4.3.5 PCMs για Θέρμανση και Ψύξη Χώρων [14]

Το κέντρο Βιώσιμης Ενέργειας στο Πανεπιστήμιο της Νότιας Αυστραλίας (2000) ξεκίνησε τις εργασίες με PCM στα μέσα της δεκαετίας του 1990 με την ανάπτυξη μιας μονάδας αποθήκευσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη χώρων. Το σύστημα αποθήκευσης αποτελείται από δυο διαφορετικά PCM και χρησιμοποιεί την εκτός αιχμής ηλεκτρική ενέργεια. Δεδομένου ότι ο αέρας ωθείται μέσα από το σύστημα υποβάλλεται σε μια διαδικασία θέρμανσης ή ψύξης δυο βαθμίδων. Περνά αρχικά από το πρώτο PCM και στην συνέχεια από το δεύτερο.



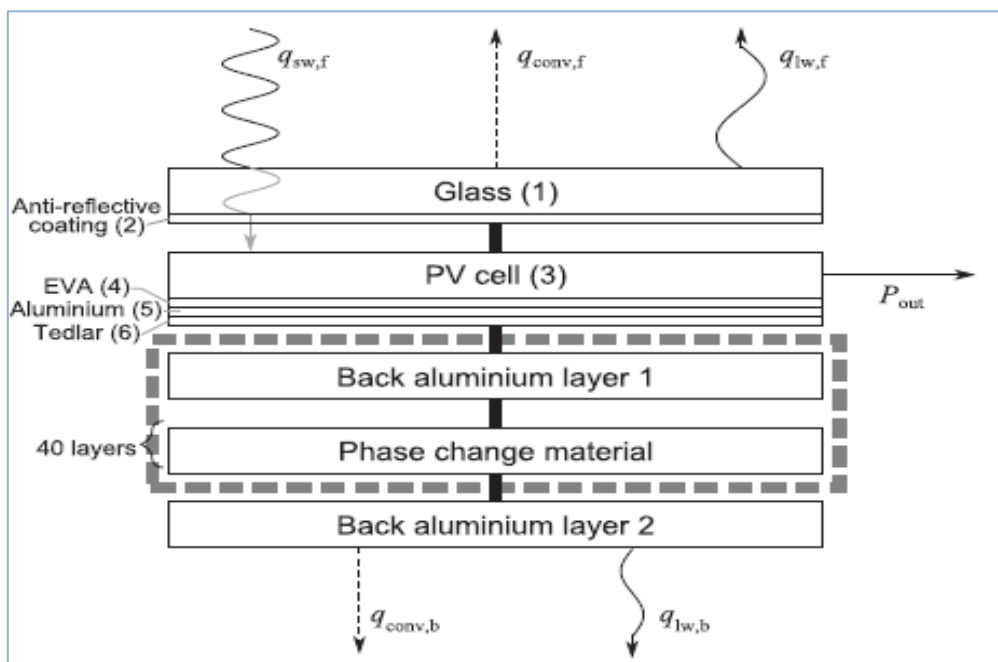
Σχήμα 4. 3.5.1: Σύστημα PCM για θέρμανση και ψύξη χώρων, [14]

Το σημείο τήξης/πήξης του πρώτου υλικού είναι κάτω από την θερμοκρασία άνεσης, ενώ το δεύτερο υλικό έχει σημείο τήξης/πήξης πάνω από την θερμοκρασία άνεσης. Κατά την διάρκεια του χειμώνα, η ροή του αέρα ρυθμίζεται ώστε το σύστημα να αποθηκεύει θερμότητα την νύχτα (και από τα δυο τηγμένα υλικά) και να απελευθερώνει την θερμότητα σε θερμοκρασία πάνω από την συνθήκες άνεσης την ημέρα. Κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, η διεύθυνση της ροής του αέρα αντιστρέφεται και το σύστημα αποθηκεύει την ψυχρή ενέργεια τη νύχτα και απελευθερώνει τον ψυχρό αέρα κάτω από την θερμοκρασία άνεσης την ημέρα.

4.3.6 Φωτοβολταϊκά Συστήματα PCMs

Είναι γνωστό ότι η αποδοτικότητα ενός ηλιακού κυττάρου εξαρτάται από την θερμοκρασία του κυττάρου. Κατά συνέπεια, η χρήση ενός μηχανισμού που μειώνει την θερμοκρασία του κυττάρου, ιδιαίτερα σε περιόδους υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας, θα αυξήσει την αποτελεσματικότητα του κυττάρου. [25]

Προκειμένου να αυξηθεί η ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια και να διατηρηθεί η θερμοκρασία του κυττάρου έχει προταθεί η προσθήκη PCM στο φωτοβολταϊκό κύτταρο, το οποίο λόγω της υψηλής λανθάνουσας θερμοχωρητικότητας του θα δρα ως θερμοδοχείο, απορροφώντας την θερμότητα που μεταφέρεται από το φωτοβολταϊκό κύτταρο.



Σχήμα 4. 3.6.1: Φωτοβολταϊκό σύστημα PCM, [25]

4.3.7 Εφαρμογή PCMs για Διατήρηση της Θερμοκρασίας Ευαίσθητων Προϊόντων και Υλικών

Τα PCMs παρέχουν την δυνατότητα θερμικής προστασίας λόγω της υψηλής θερμικής τους αδράνειας. Αυτή η προστασία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ενάντια στην θερμότητα και το κρύο κατά την μεταφορά ή την αποθήκευση.[26]

Με την χρήση PCM είναι δυνατή η θερμική προστασία στερεών τροφίμων, ποτών, ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, παραγώγων του αίματος, μαγειρεμένων φαγητών, βιοϊατρικών προϊόντων κ.α.[26]

Γενικά δοχεία για τρόφιμα ευαίσθητα στην θερμοκρασία [26]

Μια από τις πιο γνωστές εφαρμογές των PCMs είναι η μεταφορά τροφίμων ευαίσθητων στην θερμοκρασία με χρήση παγοκυψελών. Πριν την χρήση οι παγοκυψέλες διατηρούνται σε ψυγείο-καταψύκτη ώστε να στερεοποιηθεί το PCM σε αυτήν. Παράδειγμα μιας τέτοιας συσκευής είναι εμπορεύσιμη παγοκυψέλη από την SOFRIGAM με σημείο τήξης των PCM 0,-15 και -20°C.



Σχήμα 4. 3.7.1: παγοκυψέλες από την SOFRIGAM, [26]

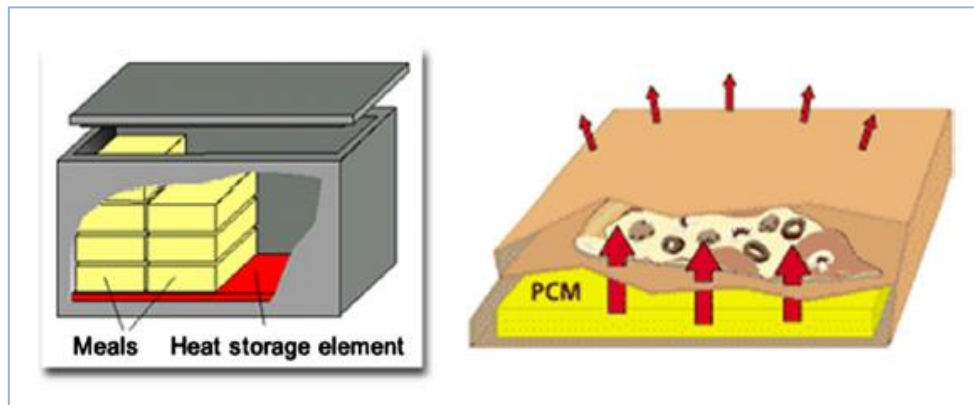
Μια εφαρμογή άλλη εφαρμογή που έχει εμπορευματοποιηθεί είναι το λεγόμενο «ισοθερμικό μπουκάλι νερού», το οποίο αναπτύχθηκε ειδικά για την ποδηλασία. Πρόκειται για ένα μπουκάλι διπλού τοιχώματος με PCM ως ενεργό μέρος. Αυτή η ιδέα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και για πολλά άλλα προϊόντα, όπως η ισοθερμική διατήρηση δροσερών ποτών όπως το κρασί, η σαμπάνια ,τα αναψυκτικά κα.



Σχήμα 4. 3.7.2: «ισοθερμικό μπουκάλι νερού», [26]

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Σε πολλές εφαρμογές catering , μαγειρεμένα γεύματα ή κατεψυγμένα προϊόντα παράγονται σε ένα σημείο και πρέπει να μεταφερθούν. Σε αυτές τις περιπτώσεις δοχεία με PCM μπορούν να χρησιμοποιηθούν ,προκειμένου να αποφευχθεί το σπάσιμο της ψυκτικής αλυσίδας κατά την διάρκεια της μεταφοράς μαγειρεμένων γευμάτων, καπνιστού σολομού, γαλακτοκομικών προϊόντων και πολλών άλλων.



Σχήμα 4. 3.7.3: εφαρμογές catering, [26]

Οι κυριότερες εταιρίες που εμπορευματοποιούν αυτά τα προϊόντα είναι οι ακόλουθες

- Rubitherm
- Climator
- Teap PCM

Ιατρικές εφαρμογές

Στον τομέα της ιατρικής οι κυριότερες εφαρμογές είναι η μεταφορά του αίματος και των οργάνων. Άλλες ιατρικές εφαρμογές μπορεί να είναι κρύες ή ζεστές κομπρέσες για την θεραπεία του τοπικού πόνου στο σώμα.



Σχήμα 4. 3.7.4: Δοχεία PCM για μεταφορά αίματος και οργάνων, [26]

Ενσωμάτωση PCM σε υφάσματα [27]

Πριν την χρήση των PCMs στην κλωστοϋφαντουργία, τα PCMs ενθυλακώνονται σε πολύ μικρές σφαίρες ώστε να αποφεύγεται η διαρροή τους κατά την υγρή φάση. Οι μικροκάψουλες έχουν κατά προσέγγιση διάμετρο 1μm έως 3 μm και είναι ανθεκτικές στην μηχανική δράση, την θερμότητα και τα διάφορα είδη χημικών ουσιών

Καθώς η θερμοκρασία ανεβαίνει λόγω της υψηλότερης θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, οι μικροκάψουλες αντιδρούν απορροφώντας θερμότητα. Τα PCM στις μικροκάψουλες λιώνουν. Αντλούν την θερμότητα από το περιβάλλον τους και αποθηκεύουν την πλεονάζουσα ενέργεια. Όταν η θερμοκρασία πέφτει λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας του περιβάλλοντος απελευθερώνουν την αποθηκευμένη θερμότητα.

εφαρμογές των PCMs σε υφάσματα

- ο Διάστημα

Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιήθηκε αρχικά σε διαστημικές στολές και γάντια προκειμένου να προστατευθούν οι αστροναύτες από το κρύο καθώς εργάζονται στο διάστημα. Τα PCMs διατηρούν τους αστροναύτες σε θερμική άνεση στο διάστημα.

- ο Αθλητικός εξοπλισμός

Στις μέρες μας τα PCMs πέρα από τις εφαρμογές τους για διαστημικές στολές και γάντια χρησιμοποιούνται επιπλέον και σε είδη αθλητικής ένδυσης προκειμένου να βελτιωθεί η θερμική απόδοση των αθλητικών ενδυμάτων. Με την εφαρμογή των PCM στον αθλητικό εξοπλισμό αυτός εμφανίζει θερμορυθμιστικές ιδιότητες. Μερικά παραδείγματα εφαρμογών των PCM σε είδη αθλητικής ένδυσης είναι: γάντια σνόουμπορτ, εξοπλισμός για ποδηλασία, τρέξιμο κ.α

Είναι γνωστό, ότι η ενέργεια που παράγεται από το σώμα κατά την διάρκεια της άσκησης δεν απελευθερώνεται συχνά στην επιθυμητή ποσότητα, με χρήση συμβατικών αθλητικών ενδυμάτων, οδηγώντας σε θερμική δυσφορία το άτομο που αθλείται .

Με την ενσωμάτωση των PCMs σε αθλητικά ενδύματα, κατά την διάρκεια της φυσικής δραστηριότητας, η θερμότητα του σώματος αυξάνεται, απορροφάται από τα μικροενθυλακωμένα PCMs και απελευθερώνεται όταν είναι απαραίτητο.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

- ο Κλινοσκεπάσματα και αξεσουάρ

Ενσωματωμένες μικροκάψουλες σε μαξιλάρια ,παπλώματα και καλύμματα στρωμάτων εξασφαλίζουν την ενεργό ρύθμιση της θερμοκρασίας στο κρεβάτι. Όταν η θερμοκρασία του σώματος ανεβαίνει, η πλεονάζουσα θερμική ενέργεια απορροφάται , ενώ όταν η θερμοκρασία του σώματος πέφτει, η αποθηκευμένη ενέργεια απελευθερώνεται και το σώμα διατηρείται ζεστό.

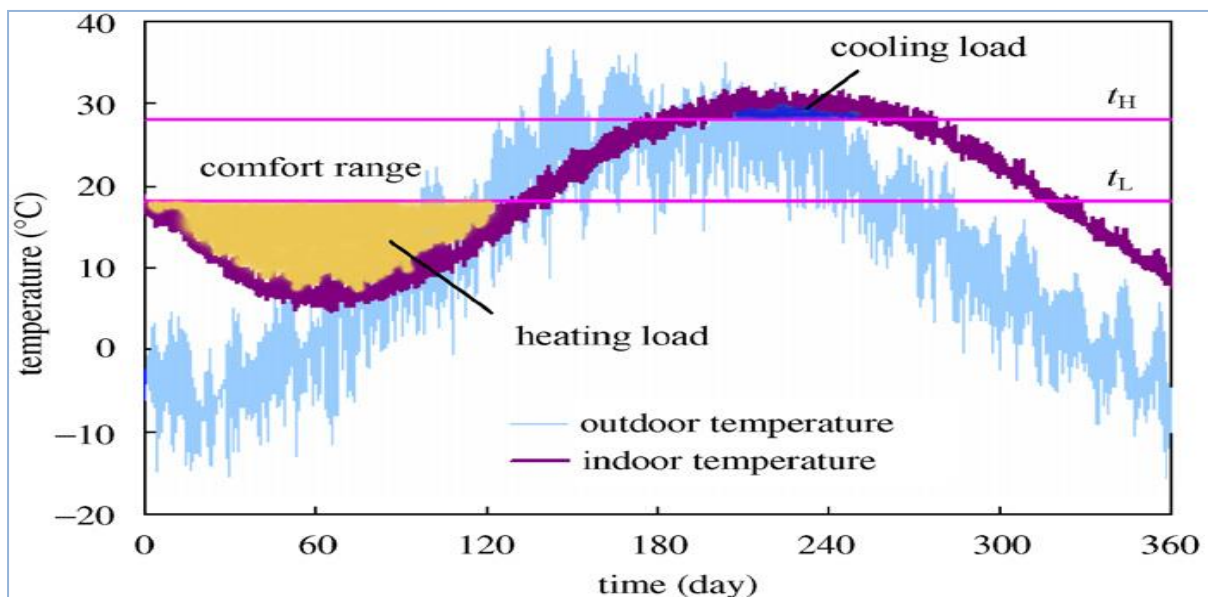
Όσον αφορά τα υφάσματα, τα PCMs χρησιμοποιούνται επίσης στα καθίσματα του αυτοκινήτου, σε κράνη, σε στολές πυροσβεστών και σε πολλές άλλες εφαρμογές.

4.4 Λειτουργικές Αρχές Εφαρμογής των PCMs

4.4.1 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Εσωτερική Θερμοκρασία του Αέρα [12]

Πολλοί παράγοντες επιδρούν στην θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα του κτιρίου. Αυτοί περιλαμβάνουν τις κλιματικές συνθήκες (εξωτερική θερμοκρασία, ταχύτητα του αέρα, ηλιακή ακτινοβολία κτλ), την κατασκευή του κτιρίου και τις θερμοφυσικές ιδιότητες των δομικών υλικών (πάχος τοίχου, επιφάνεια του τοίχου που καλύπτουν τα παράθυρα, θερμική αγωγιμότητα, ειδική θερμότητα του υλικού του τοίχου κτλ), τις εσωτερικές πηγές θερμότητας, τις εναλλαγές του αέρα ανά ώρα, την ύπαρξη βοηθητικών εγκαταστάσεων θέρμανσης/ψύξης κτλ.

Το διάγραμμα που ακολουθεί δείχνει ότι η διαφορά μεταξύ της εσωτερικής θερμοκρασίας και του εύρους άνεσης καθορίζει το φορτίο θέρμανσης και ψύξης όταν δεν υπάρχει θέρμανση και ψύξη του χώρου. Μειώνοντας την θερμοκρασιακή αυτή διαφορά μειώνεται και το φορτίο θέρμανσης και ψύξης.



Σχήμα 4.4.1.1: Η εσωτερική / εξωτερική θερμοκρασία του αέρα και το φορτίο θέρμανσης / ψύξης,[12]

Η εσωτερική θερμοκρασία ενός δεδομένου κτιρίου χωρίς ενεργή θέρμανση ή ψύξη εξαρτάται από την θερμική αγωγιμότητα k των υλικών κατασκευής του και το γινόμενο ρ^*c_p . Οι επιθυμητές τιμές k και ρ^*c_p μπορούν να καθορισθούν διατηρώντας την t_{in} στην περιοχή θερμικής άνεσης. Τα ολοκληρωμένα επίπεδα δυσαρέσκειας I_{sum} , για το καλοκαίρι και I_{win} , για τον χειμώνα περιγράφουν το επίπεδο δυσαρέσκειας του κτιρίου τον χειμώνα και το καλοκαίρι.

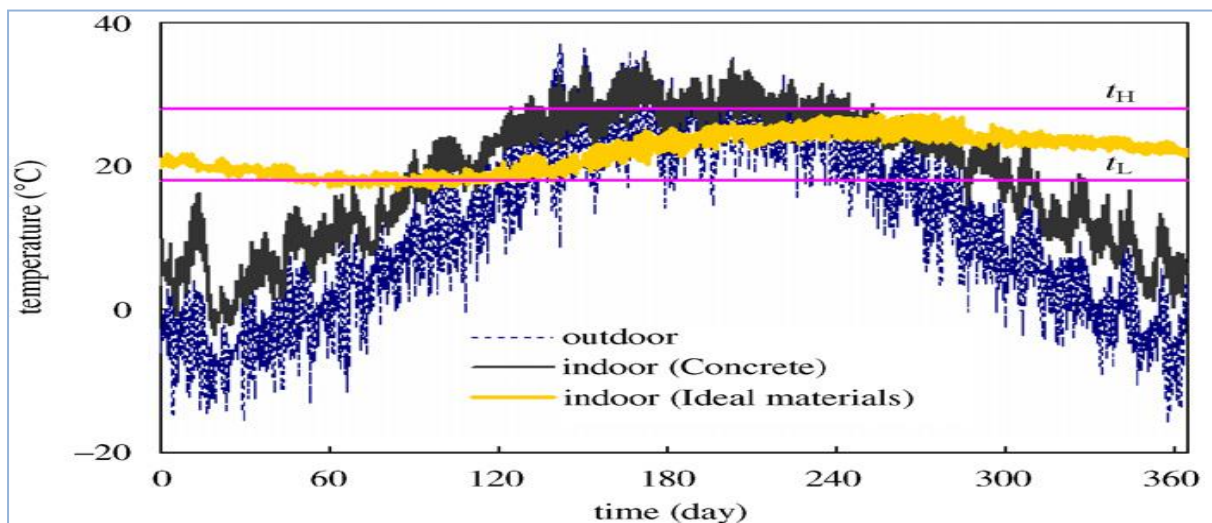
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Πρόκειται για 2 παραμέτρους που έχουν καθορισθεί για μελέτη των επιδράσεων των θερμοφυσικών ιδιοτήτων διαφόρων υλικών στην θερμική άνεση.

$$I_{\text{sum}} = \int_{\text{year}} t_{\text{in}} - t_{\text{H}}, \text{ όταν } t_{\text{in}} > t_{\text{H}} \quad (4.4.1.1)$$

$$I_{\text{win}} = \int_{\text{year}} t_{\text{L}} - t_{\text{in}}, \text{ όταν } t_{\text{in}} < t_{\text{L}} \quad (4.4.1.2)$$

Εάν υπάρχουν συγκεκριμένα δομικά υλικά των οποίων οι τιμές των k και ρ^*c_p οδηγούν σε $I_{\text{sum}} = I_{\text{win}} = 0$ μπορούν να καλεστούν ιδανικά. Αυτό σημαίνει ότι η εσωτερική θερμοκρασία θα βρίσκεται στο εύρος θερμικής άνεσης καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου χωρίς επιπρόσθετη θέρμανση ή ψύξη. Στην πραγματικότητα είναι δύσκολο να βρεθεί υλικό με τόσο υψηλή τιμή ρ^*c_p . Δεδομένου ότι τα PCMs μπορούν να παρέχουν υψηλή πυκνότητα λανθάνουσας θερμότητας πάνω από ένα στενό θερμοκρασιακό εύρος πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη για εφαρμογές.



Σχήμα 4.4.1.2: Εσωτερική θερμοκρασία του αέρα εφαρμόζοντας ως υλικά τσιμέντο και ιδανικά υλικά, [12]

4.4.2 Παράμετροι Αξιολόγησης

Η θερμική αντίσταση R, ο συντελεστής αποθήκευσης θερμότητας S και ο δείκτης θερμικής αδράνειας D θεωρούνται ότι είναι οι πιο συχνές χρησιμοποιούμενες παράμετροι για την αξιολόγηση της θερμικής απόδοσης των κτιρίων. [17]

Χρονική υστέρηση και παράγοντας μείωσης [17]

Για την παθητική ηλιακή θέρμανση των κτιρίων, η διακύμανση της θερμοκρασίας στην εσωτερική επιφάνεια προκαλείται από την ημερήσια μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας. Η θερμότητα ρέει αργά μέσα από τον τοίχο προκαλώντας μια «χρονική υστέρηση» όσον αφορά τις μέγιστες θερμοκρασίες της εξωτερικής επιφάνειας και της εσωτερικής επιφάνειας. Ο ρυθμός μείωσης του πλάτους θερμότητας καλείται «παράγων μείωσης». Η «χρονική υστέρηση» και ο «παράγοντας Μείωσης», που εκπροσωπούν την θερμική αδράνεια, είναι πρακτικά για το σχεδιασμό τοίχου.

Η χρονική υστέρηση καθορίζεται ως εξής:[25]

$$\phi = \begin{cases} t_{T_o}^{\max} > t_{T_e}^{\max} \rightarrow t_{T_o}^{\max} - t_{T_e}^{\max} & (4.4.2.1) \\ t_{T_o}^{\max} < t_{T_e}^{\max} \rightarrow t_{T_o}^{\max} t_{T_e}^{\max} + P & (4.4.2.2) \\ t_{T_o}^{\max} = t_{T_e}^{\max} \rightarrow P & (4.4.2.3) \end{cases}$$

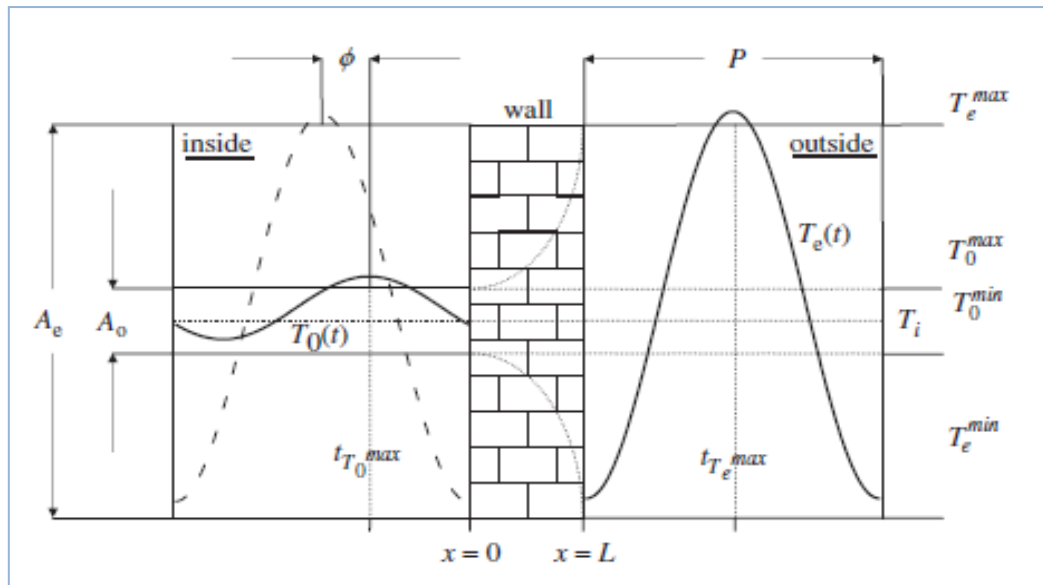
Όπου t_o^{\max} και t_e^{\max} αντιπροσωπεύουν το χρόνο σε ώρες όταν οι μέσα και έξω θερμοκρασίες της επιφάνειας έχουν την μέγιστη τιμή τους, αντίστοιχα, και P (24 h) είναι η περίοδος του κύματος.

Ο συντελεστής μείωσης ορίζεται ως:[25]

$$f = \frac{A_o}{A_e} = \frac{T_o^{\max} - T_o^{\min}}{T_e^{\max} - T_e^{\min}} \quad (4.4.2.4)$$

όπου A_o και A_e είναι τα πλάτη του κύματος στις εσωτερικές και εξωτερικές επιφάνειες του τοιχώματος, αντίστοιχα.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ



Σχήμα 4.4.2. 1: Σχηματική απεικόνιση της Χρονικής υστέρησης και του παράγοντα μείωσης, [17]

Οι Ashan και Sancaktar μελέτησαν τις επιδράσεις των θερμοφυσικών ιδιοτήτων συνηθισμένων τοίχων στην χρονική υστέρηση και τον παράγοντα μείωσης. Για υλικά τοίχου με σταθερές θερμοφυσικές ιδιότητες η αλλαγή στην θερμοκρασία στην εσωτερική επιφάνεια του τοίχου είναι παρόμοια με την εξωτερική με γραμμικές ιδιότητες, λόγω του ότι η μεταφορά θερμότητας και οι οριακές συνθήκες είναι γραμμικές εξισώσεις. Αντιθέτως, για τα PCMs, η αλλαγή της θερμοκρασίας της εσωτερικής επιφάνειας παρουσιάζει μη γραμμικά χαρακτηριστικά.[12]

Η θερμοκρασία τήξης και η λανθάνουσα θερμότητα τήξης μπορούν να διατηρήσουν την θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας σε μια επιθυμητή τιμή (κοντά στην θερμοκρασία τήξης του PCM) για μερική περίοδο, η οποία ορίζεται ως «υστέρηση του PCM». Αυτό σχετίζεται με το γεγονός ότι οι εξισώσεις μεταφοράς θερμότητας είναι μη γραμμικές εφόσον η θερμοχωρητικότητα του PCM μεταβάλλεται με την θερμοκρασία. Για δεδομένο κτίριο και κλίμα, η υστέρηση του PCM επηρεάζεται από τις θερμοφυσικές ιδιότητες του τοίχου PCM. Εάν η υστέρηση του PCM είναι αρκετά μεγάλη με κατάλληλη θερμοκρασία τήξης, η εσωτερική θερμοκρασία του αέρα μπορεί να διατηρηθεί στο εύρος άνεσης.[12]

Θερμοκρασία ηλίου αέρος [28]

Η θερμοκρασία ηλίου-αέρος, T_{sa} , περιλαμβάνει τις επιπτώσεις της ηλιακής ακτινοβολίας σε συνδυασμό με την εξωτερική θερμοκρασία του αέρα και αλλάζει σε τακτά χρονικά διαστήματα. Αυτή η θερμοκρασία υιοθετείται για να δείξει τις ημιτονοειδείς μεταβολές κατά τη διάρκεια ενός 24-ώρου.

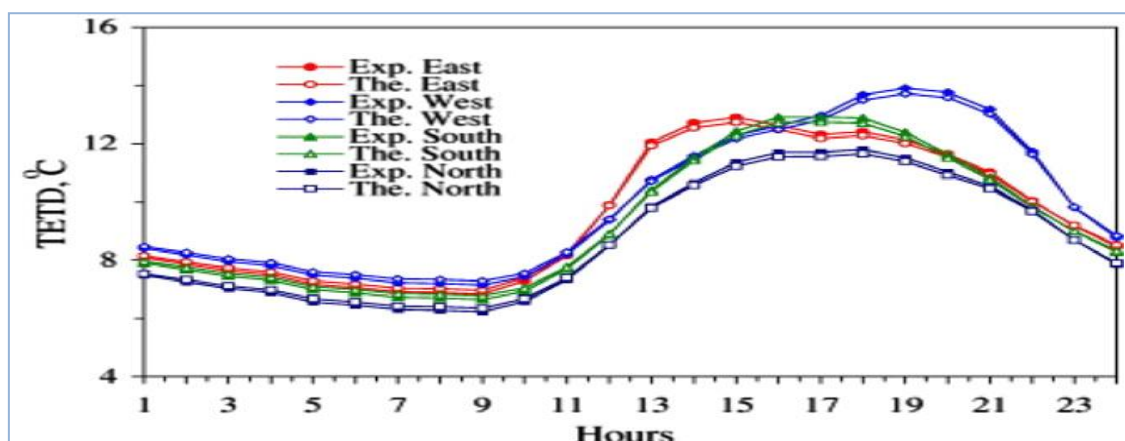
Εφόσον, η χρονική υστέρηση και ο παράγοντας Μείωσης εξαρτώνται μόνο το υλικό του τοίχου, και όχι από τα κλιματολογικά δεδομένα, μια πολύ γενική εξίσωση για τη θερμοκρασία ηλίου-αέρος λαμβάνεται ως εξής

$$T_{sa}(t) = \frac{T_{max} - T_{min}}{2} * \sin\left(\frac{2\pi t}{P} - \frac{\pi}{2}\right) + \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad ((4.4.2.5))$$

Συνολική ισοδύναμη διαφορά θερμοκρασίας (TETD) [28]

Η συνολική ισοδύναμη διαφορά θερμοκρασίας (TETD), η χρονική υστέρηση, ο παράγοντας Μείωσης και η θερμοκρασία ηλίου αέρος, είναι μία μέθοδος για τον υπολογισμό του φορτίου ψύξης λόγω του θερμικού κέρδους από τους τοίχους ή τις επίπεδες στέγες. Ο Kaska και οι συνεργάτες του μελέτησαν πειραματικά και αριθμητικά τη «χρονική υστέρηση», τον «παράγοντα Μείωσης» και την TETD οκτώ ειδών τοίχων και δύο τύπων επίπεδων στεγών στην Τουρκία.

Οι υψηλότερες τιμές TETD ελήφθησαν για την δυτική κατεύθυνση, λόγω της υψηλής εξωτερικής θερμοκρασίας του αέρα και της υψηλής ροής ηλιακής ακτινοβολίας το απόγευμα όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί



Σχήμα 4.4.2.2: Kaska, TETD, [28]

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Ο Αντωνόπουλος και η Κορωνάκη έκριναν ότι η αποτελεσματική θερμοχωρητικότητα, η σταθερά του χρόνου και η θερμική καθυστέρηση είναι οι βασικές παράμετροι για τον έλεγχο της δυναμικής θερμικής συμπεριφοράς των κτιρίων. Οι παράμετροι αυτές υπολογίστηκαν με τη χρήση πολλών αριθμητικών προσομοιώσεων. Επίσης ανέπτυξαν τις συσχετίσεις αυτών των σημαντικών παραμέτρων, σε σχέση με το πάχος των εξωτερικών στρωμάτων του τοιχώματος, το ποσοστό της επιφάνειας του οπλισμένου σκυροδέματος.

4.4.3 Μεθοδολογία Σχεδιασμού Τοίχου PCM [17]

Ο Ρεϊπρο και οι συνεργάτες του διαπίστωσαν ότι μια θερμοκρασία αλλαγής φάσης από 1-3 ° C υψηλότερη από ό, τι η μέση θερμοκρασία του δωματίου μπορεί να πάρει τα βέλτιστη ημερήσια αποτελέσματα αποθήκευσης θερμότητας.

Η βέλτιστη θερμοκρασία αλλαγής φάσης και το πάχος του πάνελ PCM παρουσιάζονται ως εξής

$$T_{m,opt} = \bar{T}_r + \frac{Q}{ht_{stor}} \quad (4.4. 3.1)$$

$$D_{opt} = \frac{t_n * h}{\rho \Delta H} * (T_{m,opt} - T_n) \quad (4.4. 3.2)$$

$$\bar{T}_r = \frac{t_d * T_d + t_n * T_n}{t_d + t_n} \quad (4.4. 3.3)$$

όπου $T_{m,opt}$ είναι η θερμοκρασία αλλαγής φάσης και D_{opt} είναι το βέλτιστο πάχος του τοιχώματος. Το Q είναι θερμότητα που απορροφάται ανά μονάδα επιφάνειας του δωματίου \bar{T}_r είναι η μέση θερμοκρασία δωματίου, h είναι ο μέσο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας μεταξύ της επιφάνειας του τοίχου και του περιβάλλοντος, ρ είναι η πυκνότητα του PCM και ΔH είναι λανθάνουσα θερμότητα τήξης. Τέλος, T είναι η θερμοκρασία και t είναι ο χρόνος και οι δείκτες n και d αντιπροσωπεύουν την νύχτα και τη διάρκεια της ημέρας, αντιστοίχως.

Βιβλιογραφία 4^{ου} Κεφαλαίου

1. Murat Kenisarin, Khamid Mahkamov : Solar energy storage using phase change materials
2. <http://bwaf.org/built-by-women-dover-sun-house-eleanor-raymond-and-maria-telkes/>
3. <http://www.technologyreview.com/article/419445/the-house-of-the-day-after-tomorrow/>
4. http://freespace.virgin.net/m.eckert/carl_vener's_dissertation.htm
5. ALICE HARLAND, CHRISTINA MACKAY, BRENDA VALE : PHASE CHANGE MATERIALS IN ARCHITECTURE
6. <http://www.rubitherm.de/english/>
7. http://issuu.com/gale-snowden/docs/pcm_tower_botanical_garden_berlin_study_tour_notes
8. http://www.building4change.com/article.jsp?id=2089#.U_Btj1_vHQ
9. <http://ecobuildingboards.weebly.com/news.html>
10. http://www.celsius.co.kr/phase_change_materials/download/energy/Advanced_Thermal_Energy_Storage_through_application_of_PCMS.pdf
11. Vineet Veer Tyagi, D. Buddhi: PCM thermal storage in buildings: A state of art
12. Yinping Zhang, Guobing Zhou, Kunping Lin, Qunli Zhang, Hongfa Di: Application of latent heat thermal energy storage in buildings: State-of-the-art and outlook
13. A. Pasupathy and R. Velraj: Phase Change Material Based Thermal Storage for Energy Conservation in Building Architecture
14. Lavinia Gabriela SOCACIU: Thermal Energy Storage with Phase Change Material
15. Omidreza Saadatian n, K.Sopian, C.H.Lim, Nilofar Asim, M.Y.Sulaiman: Trombe walls: A review of opportunities and challenges in research and development
16. Atul Sharma a,*, V.V. Tyagi b, C.R. Chen a, D. Buddhi : Review on thermal energy storage with phase change materials and applications
17. D. Zhou a, C.Y. Zhao b,†, Y. Tian: Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications
18. Barbara Pause: NEW ENERGY EFFICIENT ROOFING MATERIALS WITH PHASE CHANGE MATERIAL (PCM) TREATMENT
19. Branislav Todorovic: Could Near Zero Cooling Load Building be Achieved
20. Shazim Ali Memon: Phase change materials integrated in building walls: A state of the art review
21. N. Soares, J.J. Costa, A.R. Gaspar, P. Santos: Review of passive PCM latent heat thermal energy storage systems towards buildings' energy efficiency

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ**

22. Amar M. Khudhair, Mohammed M. Farid: A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials
23. Sergio Russo Ermolli, Heli Koukkari, Luis Braganca: 5.7. Phase changing materials in building elements
24. Atul Sharma, C. R. Chen: Solar Water Heating System with Phase Change Materials
25. Christopher J. Smith ,Piers M. Forster, Rolf Crook : Global analysis of photovoltaic energy output enhanced by phase change material cooling
26. E.Oro, A.de Gracia, A. Castell, M.M Farid, L.F. Cabeza: Review on phase change materials (PCMs) for cold thermal energy storage applications
27. S. Mondal: Phase change materials for smart textiles-An overview
28. H.Asan: Numerical computation of time lags and decrement factor for different building materials

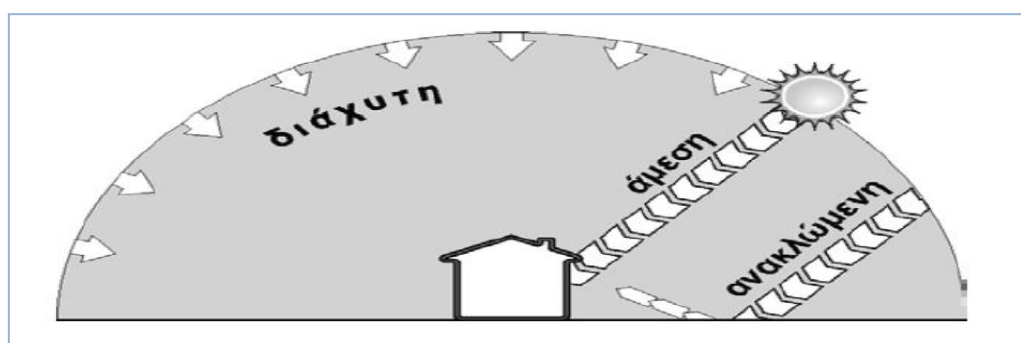
ΜΕΡΟΣ 2^ο –ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ

ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

5.1 Υπολογισμός προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

Η συνολική ηλιακή ακτινοβολία στα κτίρια, εμφανίζεται και με τις τρεις συνιστώσες της: άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη. [1]



Σχήμα 5.1.1 Συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας

Άμεση ηλιακή ακτινοβολία

Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία που προέρχεται από την απευθείας έκθεση των δομικών στοιχείων του κτιρίου στον ήλιο, έχει κατά κανόνα το μεγαλύτερο ενεργητικό περιεχόμενο και συνεπώς παρουσιάζει και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον στο πλαίσιο του ενεργητικού σχεδιασμού των κτιρίων. Σχεδόν πάντα η προσπάθεια αύξησης του ηλιακού κέρδους τον χειμώνα και ηλιοπροστασίας το καλοκαίρι στοχεύει στον έλεγχο της προσπίπτουσας άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας.

Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία

Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία που προέρχεται από το σύνολο του ουράνιου θόλου, έχει κατά κανόνα μικρότερο ενεργειακό περιεχόμενο από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Παρόλα αυτά αποτελεί αξιόλογο μέρος του ηλιακού κέρδους στα κτήρια, ενώ καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την ένταση και την ποσότητα του φυσικού φωτισμού σε αυτά καθ' όλη την διάρκεια του έτους.

Ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία

Η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από την γεωμετρία της περιοχής του κτιρίου, τα επιφανειακά υλικά των δαπέδων αλλά και των κατακόρυφων επιφανειών που βρίσκονται σε οπτική επαφή με το κτίριο (π.χ γειτονικά κτίρια).

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ**

- Υπολογισμός της στιγμιαίας άμεσης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου, $G_b \left(\frac{W}{m^2}\right)$, και της στιγμιαίας διάχυτης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου, $G_d \left(\frac{W}{m^2}\right)$.

Η στιγμιαία άμεση και διάχυτη αντίστοιχα ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου υπολογίζονται για την περιοχή της Αθήνας από τις σχέσεις (5.1.1) και (5.1.2) για κάθε ώρα, $t = 7:00 \div 18:00$, της ζητούμενης ημέρας του αντίστοιχου μήνα. [2]

$$G_b = M_t + A_t * \sin\left(\frac{360}{365} * D - P_t\right) \quad (5.1.1)$$

$$G_d = m_t + a_t * \sin\left(\frac{360}{365} * D - p_t\right) \quad (5.1.2)$$

Το μέγεθος D είναι ο αύξων αριθμός της ημέρας του έτους, για την οποία ζητείται να υπολογισθεί η ηλιακή ακτινοβολία δηλαδή, $D = 1 \div 365$. Τιμές του D δίνονται για την 21^η ημέρα κάθε μήνα στον Πίνακα 5.1.2.

Οι τιμές των συντελεστών $M_t, A_t, P_t, m_t, a_t, p_t$ των εξισώσεων (5.1.1) και (5.1.2) δίνονται για κάθε ώρα, $t = 7:00 \div 18:00$, στον Πίνακα 5.1.1.

Πίνακας 5.1.1 : Σταθερές για τον υπολογισμό των G_b, G_d , [2]

| t (hours) | M_t (kW/m²) | A_t (kW/m²) | P_t (°) | m_t (kW/m²) | a_t (kW/m²) | p_t (°) |
|----------------------|---|---|------------------------------|---|---|------------------------------|
| 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 | 85,6 |
| 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 | 0,21 | 0,083 | 87,23 |
| 15.00 | 0,269 | 0,166 | 86,22 | 0,176 | 0,087 | 89,53 |
| 16.00 | 0,183 | 0,147 | 82,1 | 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 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

- Υπολογισμός της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου $G_T \left(\frac{W}{m^2} \right)$.

Η ολική ηλιακή ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου σύμφωνα με το μοντέλο Liu και Jordan, 1963, δίνεται από την σχέση (5.1.3). Θεωρείται ότι η ακτινοβολία που δέχεται μια κεκλιμένη επιφάνεια αποτελείται από τις παρακάτω τρεις συνιστώσες: [2]

1. Άμεση ακτινοβολία: $G_b * R_b$
2. Διάχυτη ακτινοβολία (προερχόμενη από τον ουρανό): $G_d * \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right)$
3. Διάχυτη ακτινοβολία που προέρχεται από ανάκλαση της ολικής στο έδαφος: $(G_b + G_d) * \rho * \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right)$

Προσθέτοντας τις παραπάνω τρεις συνιστώσες, προκύπτει η ολική ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου:

$$G_T = G_b * R_b + G_d * \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + (G_b + G_d) * \rho * \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (5.1.3)$$

- β : είναι η γωνία κλίσης του κεκλιμένου επιπέδου ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Αφού πρόκειται για τοίχο-κατακόρυφο επίπεδο, $\beta=90^\circ$
- ρ : είναι η ανακλαστικότητα του εδάφους. Θεωρείται συνηθισμένο έδαφος οπότε λαμβάνεται $\rho=0.2$
- G_b : είναι η στιγμιαία άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
- G_d : είναι η στιγμιαία διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
- R_b : είναι ο λόγος της αμέσου ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου

Για τον υπολογισμό της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου, $G_T \left(\frac{W}{m^2} \right)$, είναι απαραίτητο να υπολογιστούν οι τιμές της στιγμιαίας άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου, $G_b \left(\frac{W}{m^2} \right)$ και $G_d \left(\frac{W}{m^2} \right)$ αντίστοιχα, καθώς επίσης και ο λόγος της αμέσου ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου, R_b .

Η στιγμιαία άμεση, $G_b \left(\frac{W}{m^2} \right)$, και διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου, $G_d \left(\frac{W}{m^2} \right)$, υπολογίζονται σύμφωνα με τις σχέσεις (5.1.1) και (5.1.2) αντίστοιχα. Η διαδικασία υπολογισμού του λόγου, R_b , παρουσιάζεται στην συνέχεια.

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ**

- Υπολογισμός του λόγου της αμέσου ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου, R_b . [2]

$$R_b = \frac{G_{bT}}{G_b} = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (5.1.4)$$

$$\cos\theta = \sin\delta * \sin\phi * \cos\beta - \sin\delta * \cos\phi * \sin\beta * \cos\gamma + \cos\delta * \cos\phi * \cos\beta * \cos\omega + \cos\delta * \sin\beta * \sin\gamma * \sin\omega \quad (5.1.5)$$

$$\cos\theta_z = -\sin\delta * \sin\phi + \cos\delta * \cos\phi * \cos\omega \quad (5.1.6)$$

- $\theta(^{\circ})$: η γωνία πρόσπτωσης της αμέσου ακτινοβολίας πάνω σε μια επιφάνεια, είναι η γωνία μεταξύ των προσπιπτουσών ηλιακών ακτινών και της καθέτου στην επιφάνεια
- $\theta_z(^{\circ})$: η γωνία ζενίθ, πρόκειται για την γωνία που σχηματίζεται από την κατακόρυφο και την ευθεία όρασης του ήλιου
- $\phi(^{\circ})$: γεωγραφικό πλάτος του τόπου, για την Αθήνα $\phi=37.97^{\circ}$
- $\gamma(^{\circ})$: το αζιμούθιο της επιφάνειας, είναι η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της κάθετης στη επιφάνεια πάνω στο οριζόντιο επίπεδο και την νότια κατεύθυνση
για τοίχο νοτίου προσανατολισμού : $\gamma=0^{\circ}$
για τοίχο ανατολικού προσανατολισμού : $\gamma=-90^{\circ}$
για τοίχο δυτικού προσανατολισμού: $\gamma=90^{\circ}$
- $\omega(^{\circ})$: ωριαία γωνία, είναι η γωνιακή μετατόπιση του ήλιου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού λόγω περιστροφής της γης περί τον άξονα της με ρυθμό $0,25^{\circ}/\text{min}$.

$$\omega=0,25*(\text{min από το ηλιακό μεσημέρι}) \quad (5.1.7)$$

λαμβάνεται : $\omega > 0$ για μ.μ. και $\omega < 0$ για π.μ.

Όταν πρόκειται για τοίχο νοτίου προσανατολισμού, αζιμούθιο επιφάνειας $\gamma=0$, η εξίσωση (5.1.4) γίνεται λόγω των (5.1.5) και (5.1.6) :

$$R_b = \frac{\sin\delta * \sin(\phi - \beta) + \cos\delta * \cos(\phi - \beta) * \cos\omega}{\sin\delta * \sin\phi + \cos\delta * \cos\phi * \cos\omega} \quad (5.1.8)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

- ο δ (°): η ηλιακή απόκλιση, είναι η γωνιακή θέση του ήλιου κατά το ηλιακό μεσημέρι ως προς το επίπεδο του ισημερινού και υπολογίζεται από την σχέση:

$$\delta = 23,45 * \sin \frac{360*(284+n)}{365} \quad (5.1.9)$$

Με n συμβολίζεται ο αύξων αριθμός της ημέρας και δίνεται στον Πίνακα 5.1.2. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζονται και οι τιμές της ηλιακής απόκλισης, δ (°), οι οποίες έχουν υπολογιστεί για την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους.

Πίνακας 5.1.2: Τιμές του αύξοντα αριθμού της 21^{ης} ημέρας κάθε μήνα (n/D) και της γωνιακής απόκλισης ,δ(°)

| Μήνας | D/n | δ(°) |
|-------------|-----|----------|
| Ιανουάριος | 21 | -20,1380 |
| Φεβρουάριος | 52 | -11,2263 |
| Μάρτιος | 80 | -0,4037 |
| Απρίλιος | 111 | 11,5790 |
| Μάιος | 141 | 20,1380 |
| Ιούνιος | 172 | 23,4498 |
| Ιούλιος | 202 | 20,4415 |
| Αύγουστος | 233 | 11,7541 |
| Σεπτέμβριος | 264 | -0,2018 |
| Οκτώβριος | 294 | -11,7541 |
| Νοέμβριος | 325 | -20,4415 |
| Δεκέμβριος | 355 | -23,4498 |

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ**

- Υπολογισμός των ωρών ανατολής και δύσης του ήλιου [2]

Η ηλιακή ακτινοβολία υπάρχει μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας, δηλαδή πριν την ανατολή του ήλιου και μετά τη δύση λαμβάνεται ίση με μηδέν. Για το λόγο αυτό κρίνεται αναγκαίος ο υπολογισμός της ώρας δύσης και ανατολής αντίστοιχα, ο οποίος θα πραγματοποιηθεί σύμφωνα με τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\text{ώρα δύσης} = 12 + N/2 \quad (5.1.10)$$

$$\text{ώρα ανατολής} = 12 - N/2 \quad (5.1.11)$$

όπου N είναι η διάρκεια της ημέρας σε ώρες και δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$N = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \delta) \quad (5.1.12)$$

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται η ώρα ανατολής και δύσης καθώς και η διάρκεια της 21^{ης} ημέρας κάθε μήνα του έτους.

Πίνακας 5.1.3: Τιμές της διάρκειας της ημέρας ,N(hours), και των ωρών ανατολής και δύσης

| 21 ^η ημέρα | N (hours) | Ωρα ανατολής | Ωρα δύσης |
|-----------------------|-----------|--------------|-----------|
| Ιανουαρίου | 9.7827 | 7,1086 | 16,8913 |
| Φεβρουαρίου | 10.8118 | 6,5941 | 17,4059 |
| Μαρτίου | 11.9580 | 6,0210 | 17,9790 |
| Απριλίου | 13.2268 | 5,3866 | 18,6134 |
| Μάιου | 14.2173 | 4,8913 | 19,1087 |
| Ιουνίου | 14.6383 | 4,6808 | 19,3192 |
| Ιουλίου | 14.2548 | 4,8726 | 19,1274 |
| Αυγούστου | 13.2461 | 5,3770 | 18,6230 |
| Σεπτεμβρίου | 11.9790 | 6,0105 | 17,9895 |
| Οκτωβρίου | 10.7539 | 6,6230 | 17,3770 |
| Νοεμβρίου | 9.7452 | 7,1274 | 16,8726 |
| Δεκεμβρίου | 9.3617 | 7,3192 | 16,6808 |

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ
(PCMs)**

Στην συνέχεια παρουσιάζονται σε πίνακες οι τιμές της άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου καθώς επίσης και οι τιμές της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου, για νότιο, ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό. Στους ίδιους πίνακες παρουσιάζονται και οι υπολογισμοί που προηγήθηκαν για την εύρεση των τιμών της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου. Οι τιμές αυτές αναφέρονται στην 21^η ημέρα του εκάστοτε μήνα.

Πίνακας 5.1.3 : G_b, G_d, G_T για την 21^η Ιανουαρίου

| t(hours) | Νότος | | | | | Ανατολή | | Δύση | |
|----------|------------------------------------|------------------------------------|------|----------------|------------------------------------|----------------|------------------------------------|----------------|------------------------------------|
| | G _b (W/m ²) | G _d (W/m ²) | ω(°) | R _b | G _T (W/m ²) | R _b | G _T (W/m ²) | R _b | G _T (W/m ²) |
| 7:00 | 0 | 0 | -75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 44.7675 | 0 |
| 8:00 | 0 | 22.1398 | -60 | 3.5401 | 13.2839 | 5.1380 | 13.2839 | 0 | 13.2839 |
| 9:00 | 23.1068 | 89.2571 | -45 | 2.1823 | 106.2902 | 2.1310 | 105.1049 | 0 | 55.8650 |
| 10:00 | 71.7356 | 144.1934 | -30 | 1.7981 | 222.6748 | 1.0938 | 172.1570 | 0 | 93.6896 |
| 11:00 | 115.5118 | 176.6724 | -15 | 1.6485 | 307.9765 | 0.4830 | 173.3466 | 0 | 117.5546 |
| 12:00 | 148.4795 | 187.1218 | 0 | 1.6071 | 365.7377 | 0 | 127.1210 | 0 | 127.1210 |
| 13:00 | 159.5753 | 171.9935 | 15 | 1.6485 | 382.2144 | 0 | 119.1536 | 0.4830 | 196.2282 |
| 14:00 | 157.1810 | 133.8738 | 30 | 1.7981 | 378.6640 | 0 | 96.0424 | 1.0938 | 267.9736 |
| 15:00 | 117.9372 | 94.8781 | 45 | 2.1823 | 326.0915 | 0 | 68.7206 | 2.1310 | 320.0415 |
| 16:00 | 53.9516 | 60.5839 | 60 | 3.5401 | 232.7419 | 0 | 41.7455 | 5.1380 | 318.9467 |
| 17:00 | 0 | 29.6156 | 75 | 0 | 17.7694 | 44.7675 | 17.7694 | 0 | 17.7694 |
| 18:00 | 0 | 0 | 90 | 0 | 0 | 4.4324 | 0 | 0 | 0 |

Πίνακας 5.1.4: G_b, G_d, G_T για την 21^η Φεβρουαρίου

| t(hours) | Νότος | | | | | Ανατολή | | Δύση | |
|----------|------------------------------------|------------------------------------|------|----------------|------------------------------------|----------------|------------------------------------|----------------|------------------------------------|
| | G _b (W/m ²) | G _d (W/m ²) | ω(°) | R _b | G _T (W/m ²) | R _b | G _T (W/m ²) | R _b | G _T (W/m ²) |
| 7:00 | 0 | 0 | -75 | 3.8539 | 0 | 11.7912 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 17.0092 | 68.2820 | -60 | 1.7059 | 71.6863 | 3.1833 | 96.8159 | 0 | 42.6701 |
| 9:00 | 56.9164 | 136.2412 | -45 | 1.3588 | 164.7750 | 1.6243 | 179.8879 | 0 | 87.4363 |
| 10:00 | 113.3257 | 188.2822 | -30 | 1.2296 | 263.6426 | 0.8919 | 225.3772 | 0 | 124.3019 |
| 11:00 | 163.6727 | 216.2897 | -15 | 1.1742 | 338.3318 | 0.4048 | 212.3979 | 0 | 146.1411 |
| 12:00 | 203.0617 | 221.4725 | 0 | 1.1584 | 388.4083 | 0 | 153.1897 | 0 | 153.1897 |
| 13:00 | 218.5164 | 201.6918 | 15 | 1.1742 | 399.4570 | 0 | 142.8667 | 0.4048 | 231.3249 |
| 14:00 | 217.6361 | 161.2814 | 30 | 1.2296 | 386.1290 | 0 | 118.5325 | 0.8919 | 312.6424 |
| 15:00 | 173.9470 | 122.1480 | 45 | 1.3588 | 327.0446 | 0 | 90.6835 | 1.6243 | 373.2325 |
| 16:00 | 107.7025 | 85.7717 | 60 | 1.7059 | 245.9646 | 0 | 62.2333 | 3.1833 | 405.0857 |
| 17:00 | 15.3670 | 53.4925 | 75 | 3.8539 | 92.8549 | 0 | 33.6322 | 11.7912 | 214.8270 |
| 18:00 | 0 | 0 | 90 | 0 | 0 | 8.1889 | 0 | 0 | 0 |

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ**

Πίνακας 5.1.5 : G_b, G_d, G_τ για την 21^η Μαρτίου

| t(hours) | | | | Νότος | | Ανατολή | | Δύση | |
|----------|------------------------------------|------------------------------------|------|----------------|------------------------------------|----------------|------------------------------------|----------------|------------------------------------|
| | G _b (W/m ²) | G _d (W/m ²) | ω(°) | R _b | G _τ (W/m ²) | R _b | G _τ (W/m ²) | R _b | G _τ (W/m ²) |
| 7:00 | 1.1742 | 43.4953 | -75 | 0.8252 | 27.1835 | 4.8369 | 31.8942 | 0 | 26.2146 |
| 8:00 | 47.0594 | 126.1453 | -60 | 0.8034 | 118.1992 | 2.2215 | 184.9373 | 0 | 80.3931 |
| 9:00 | 102.6665 | 196.3253 | -45 | 0.7966 | 209.8460 | 1.2784 | 259.3148 | 0 | 128.0618 |
| 10:00 | 169.9179 | 245.9587 | -30 | 0.7936 | 299.4166 | 0.7370 | 289.8046 | 0 | 164.5670 |
| 11:00 | 230.2600 | 268.4456 | -15 | 0.7922 | 366.5160 | 0.3418 | 262.8053 | 0 | 184.0934 |
| 12:00 | 280.7011 | 264.6942 | 0 | 0.7918 | 409.1576 | 0 | 186.8867 | 0 | 186.8867 |
| 13:00 | 301.9437 | 238.6960 | 15 | 0.7922 | 412.6258 | 0 | 173.4120 | 0.3418 | 276.6282 |
| 14:00 | 298.5642 | 197.9813 | 30 | 0.7936 | 385.5907 | 0 | 148.6452 | 0.7370 | 368.7014 |
| 15:00 | 247.8616 | 159.9576 | 45 | 0.7966 | 318.2074 | 0 | 120.7607 | 1.2784 | 437.6370 |
| 16:00 | 174.8048 | 122.0152 | 60 | 0.8034 | 231.1221 | 0 | 90.6896 | 2.2215 | 479.0245 |
| 17:00 | 75.8374 | 87.4052 | 75 | 0.8252 | 122.6075 | 0 | 60.0269 | 4.8369 | 426.8419 |
| 18:00 | 0 | 38.5147 | 90 | 0 | 23.1088 | 230.7046 | 23.1088 | 0 | 23.1088 |

Πίνακας 5.1.6 : G_b, G_d, G_τ για την 21^η Απριλίου

| t(hours) | | | | Νότος | | Ανατολή | | Δύση | |
|----------|------------------------------------|------------------------------------|------|----------------|------------------------------------|----------------|------------------------------------|----------------|------------------------------------|
| | G _b (W/m ²) | G _d (W/m ²) | ω(°) | R _b | G _τ (W/m ²) | R _b | G _τ (W/m ²) | R _b | G _τ (W/m ²) |
| 7:00 | 25.1947 | 100.5375 | -75 | 0 | 62.8420 | 2.9262 | 136.5672 | 0 | 62.8420 |
| 8:00 | 82.6596 | 191.7150 | -60 | 0.2808 | 146.5096 | 1.6647 | 260.8996 | 0 | 123.2949 |
| 9:00 | 157.1827 | 265.3406 | -45 | 0.4002 | 237.8252 | 1.0345 | 337.5357 | 0 | 174.9226 |
| 10:00 | 237.5854 | 313.2210 | -30 | 0.4591 | 320.7642 | 0.6182 | 358.5711 | 0 | 211.6911 |
| 11:00 | 310.6538 | 329.5215 | -15 | 0.4876 | 380.2547 | 0.2916 | 319.3704 | 0 | 228.7783 |
| 12:00 | 376.0109 | 313.7882 | 0 | 0.4962 | 412.4535 | 0 | 225.8740 | 0 | 225.8740 |
| 13:00 | 404.0689 | 280.4386 | 15 | 0.4876 | 405.6961 | 0 | 208.6700 | 0.2916 | 326.5036 |
| 14:00 | 394.3502 | 241.4271 | 30 | 0.4591 | 365.3335 | 0 | 184.2913 | 0.6182 | 428.0862 |
| 15:00 | 334.5526 | 205.6836 | 45 | 0.4002 | 290.7493 | 0 | 156.8654 | 1.0345 | 502.9762 |
| 16:00 | 250.6026 | 166.7996 | 60 | 0.2808 | 195.5210 | 0 | 125.1400 | 1.6647 | 542.3219 |
| 17:00 | 142.7649 | 129.0010 | 75 | 0 | 91.6771 | 0 | 91.6771 | 2.9262 | 509.4385 |
| 18:00 | 35.6122 | 86.1020 | 90 | 0 | 55.2224 | 0 | 55.2224 | 7.9329 | 337.7294 |

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ
(PCMs)**

Πίνακας 5.1.7 : G_b, G_d, G_T για την 21^η Μαΐου

| t(hours) | G _b (W/m ²) | G _d (W/m ²) | ω(°) | Νότος | | Ανατολή | | Δύση | |
|----------|------------------------------------|------------------------------------|------|----------------|------------------------------------|----------------|------------------------------------|----------------|------------------------------------|
| | | | | R _b | G _T (W/m ²) | R _b | G _T (W/m ²) | R _b | G _T (W/m ²) |
| 7:00 | 43.6833 | 141.9672 | -75 | 0 | 89.5486 | 2.2482 | 187.7566 | 0 | 89.5486 |
| 8:00 | 110.4078 | 240.0482 | -60 | 0.0299 | 158.3729 | 1.3973 | 309.3441 | 0 | 155.0697 |
| 9:00 | 199.9698 | 317.1180 | -45 | 0.1864 | 247.5433 | 0.9030 | 390.8442 | 0 | 210.2678 |
| 10:00 | 290.9087 | 364.6553 | -30 | 0.2683 | 325.9459 | 0.5505 | 408.0182 | 0 | 247.8841 |
| 11:00 | 374.7202 | 376.4631 | -15 | 0.3092 | 379.2120 | 0.2622 | 361.6037 | 0 | 263.3499 |
| 12:00 | 453.4003 | 350.0894 | 0 | 0.3217 | 401.2438 | 0 | 255.3937 | 0 | 255.3937 |
| 13:00 | 486.7317 | 311.0234 | 15 | 0.3092 | 385.7829 | 0 | 235.2872 | 0.2622 | 362.9111 |
| 14:00 | 468.9273 | 275.2606 | 30 | 0.2683 | 337.8800 | 0 | 212.0491 | 0.5505 | 470.1756 |
| 15:00 | 401.3089 | 242.1933 | 45 | 0.1864 | 260.2530 | 0 | 185.4468 | 0.9030 | 547.8363 |
| 16:00 | 306.2405 | 203.4260 | 60 | 0.0299 | 161.8416 | 0 | 152.6796 | 1.3973 | 580.5939 |
| 17:00 | 190.5454 | 162.7439 | 75 | 0 | 116.7009 | 0 | 116.7009 | 2.2482 | 545.0815 |
| 18:00 | 75.3824 | 122.9804 | 90 | 0 | 81.3265 | 0 | 81.3265 | 4.4324 | 415.4506 |

Πίνακας 5.1.8 : G_b, G_d, G_T για την 21^η Ιουνίου

| t(hours) | G _b (W/m ²) | G _d (W/m ²) | ω(°) | Νότος | | Ανατολή | | Δύση | |
|----------|------------------------------------|------------------------------------|------|----------------|------------------------------------|----------------|------------------------------------|----------------|------------------------------------|
| | | | | R _b | G _T (W/m ²) | R _b | G _T (W/m ²) | R _b | G _T (W/m ²) |
| 7:00 | 52.7010 | 158.9575 | -75 | 0 | 100.6446 | 2.0512 | 208.7438 | 0 | 100.6446 |
| 8:00 | 124.3922 | 260.8477 | -60 | 0 | 168.9478 | 1.3101 | 331.9127 | 0 | 168.9478 |
| 9:00 | 221.9117 | 340.6263 | -45 | 0.1129 | 251.6278 | 0.8578 | 416.9259 | 0 | 226.5669 |
| 10:00 | 318.5272 | 389.3036 | -30 | 0.2010 | 329.4579 | 0.5265 | 433.1526 | 0 | 265.4349 |
| 11:00 | 408.8099 | 399.2694 | -15 | 0.2454 | 380.7536 | 0.2517 | 383.3337 | 0 | 280.4427 |
| 12:00 | 496.3814 | 365.8640 | 0 | 0.2590 | 397.7164 | 0 | 269.1565 | 0 | 269.1565 |
| 13:00 | 532.3210 | 323.9344 | 15 | 0.2454 | 378.2100 | 0 | 247.5927 | 0.2517 | 381.5696 |
| 14:00 | 506.4067 | 292.2735 | 30 | 0.2010 | 327.7910 | 0 | 226.0048 | 0.5265 | 492.6488 |
| 15:00 | 433.9078 | 261.7081 | 45 | 0.1129 | 249.4175 | 0 | 200.4157 | 0.8578 | 572.6278 |
| 16:00 | 329.8650 | 224.0909 | 60 | 0 | 167.4411 | 0 | 167.4411 | 1.3101 | 599.5934 |
| 17:00 | 208.9992 | 181.4452 | 75 | 0 | 129.7670 | 0 | 129.7670 | 2.0512 | 558.4618 |
| 18:00 | 88.9094 | 141.2931 | 90 | 0 | 93.6668 | 0 | 93.6668 | 3.7470 | 426.8147 |

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ**

Πίνακας 5.1.9 : G_b , G_d , G_T για την 21^η Ιουλίου

| t(hours) | $G_b(W/m^2)$ | $G_d(W/m^2)$ | $\omega(^{\circ})$ | Νότος | | Ανατολή | | Δύση | |
|----------|--------------|--------------|--------------------|--------|--------------|---------|--------------|--------|--------------|
| | | | | Rb | $G_T(W/m^2)$ | Rb | $G_T(W/m^2)$ | Rb | $G_T(W/m^2)$ |
| 7:00 | 49.3266 | 146.0046 | -75 | 0 | 92.5354 | 2.2290 | 202.4826 | 0 | 92.5354 |
| 8:00 | 120.0827 | 247.3755 | -60 | 0.0221 | 163.0906 | 1.3890 | 327.2299 | 0 | 160.4336 |
| 9:00 | 215.9006 | 328.2500 | -45 | 0.1795 | 257.2931 | 0.8988 | 412.5844 | 0 | 218.5401 |
| 10:00 | 311.4940 | 379.1811 | -30 | 0.2620 | 340.2831 | 0.5482 | 429.4271 | 0 | 258.6581 |
| 11:00 | 401.8796 | 390.5526 | -15 | 0.3032 | 396.3893 | 0.2612 | 379.5007 | 0 | 274.5195 |
| 12:00 | 491.0307 | 356.0018 | 0 | 0.3158 | 417.7940 | 0 | 262.7042 | 0 | 262.7042 |
| 13:00 | 526.0682 | 314.9891 | 15 | 0.3032 | 401.1302 | 0 | 241.6003 | 0.2612 | 379.0227 |
| 14:00 | 494.6473 | 286.9547 | 30 | 0.2620 | 351.2566 | 0 | 221.6375 | 0.5482 | 492.8159 |
| 15:00 | 421.7892 | 257.9065 | 45 | 0.1795 | 272.6317 | 0 | 196.9228 | 0.8988 | 576.0130 |
| 16:00 | 313.8228 | 222.1003 | 60 | 0.0221 | 171.5863 | 0 | 164.6424 | 1.3890 | 600.5461 |
| 17:00 | 192.1482 | 179.0466 | 75 | 0 | 126.6428 | 0 | 126.6428 | 2.2290 | 554.9340 |
| 18:00 | 71.8113 | 135.1077 | 90 | 0 | 88.2458 | 0 | 88.2458 | 4.3608 | 401.3993 |

Πίνακας 5.1.10 : G_b , G_d , G_T για την 21^η Αυγούστου

| t(hours) | $G_b(W/m^2)$ | $G_d(W/m^2)$ | $\omega(^{\circ})$ | Νότος | | Ανατολή | | Δύση | |
|----------|--------------|--------------|--------------------|--------|--------------|---------|--------------|--------|--------------|
| | | | | Rb | $G_T(W/m^2)$ | Rb | $G_T(W/m^2)$ | Rb | $G_T(W/m^2)$ |
| 7:00 | 34.2790 | 105.8681 | -75 | 0 | 66.9488 | 2.9089 | 166.6646 | 0 | 66.9488 |
| 8:00 | 98.3975 | 202.5019 | -60 | 0.2750 | 158.3985 | 1.6585 | 294.5297 | 0 | 131.3409 |
| 9:00 | 183.2171 | 282.6261 | -45 | 0.3954 | 260.3375 | 1.0316 | 376.9022 | 0 | 187.8973 |
| 10:00 | 271.3075 | 336.4445 | -30 | 0.4549 | 352.4103 | 0.6167 | 396.3195 | 0 | 228.9975 |
| 11:00 | 355.4060 | 352.1697 | -15 | 0.4837 | 418.7547 | 0.2910 | 350.2566 | 0 | 246.8424 |
| 12:00 | 438.4883 | 322.6041 | 0 | 0.4924 | 453.3252 | 0 | 237.4113 | 0 | 237.4113 |
| 13:00 | 469.3056 | 286.0933 | 15 | 0.4837 | 445.5928 | 0 | 218.5865 | 0.2910 | 355.1427 |
| 14:00 | 436.1543 | 260.4373 | 30 | 0.4549 | 398.2765 | 0 | 199.8778 | 0.6167 | 468.8649 |
| 15:00 | 367.5350 | 231.5982 | 45 | 0.3954 | 321.0280 | 0 | 175.7124 | 1.0316 | 554.8577 |
| 16:00 | 261.5320 | 197.8781 | 60 | 0.2750 | 216.7968 | 0 | 144.8800 | 1.6585 | 578.6219 |
| 17:00 | 143.5827 | 156.0591 | 75 | 0 | 107.9937 | 0 | 107.9937 | 2.9089 | 525.6679 |
| 18:00 | 27.7307 | 105.7421 | 90 | 0 | 66.2183 | 0 | 66.2183 | 7.8114 | 282.8338 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ
(PCMs)

Πίνακας 5.1.11: G_b , G_d , G_T για την 21^η Σεπτεμβρίου

| t(hours) | $G_b(W/m^2)$ | $G_d(W/m^2)$ | $\omega(^{\circ})$ | Νότος | | Ανατολή | | Δύση | |
|----------|--------------|--------------|--------------------|--------|--------------|----------|--------------|--------|--------------|
| | | | | Rb | $G_T(W/m^2)$ | Rb | $G_T(W/m^2)$ | Rb | $G_T(W/m^2)$ |
| 7:00 | 11.6457 | 49.6398 | -75 | 0.8026 | 40.2951 | 4.7849 | 86.6725 | 0 | 30.9484 |
| 8:00 | 65.2005 | 138.5794 | -60 | 0.7918 | 141.2962 | 2.2093 | 233.7120 | 0 | 89.6677 |
| 9:00 | 132.6763 | 216.2502 | -45 | 0.7885 | 247.6317 | 1.2735 | 311.9745 | 0 | 143.0178 |
| 10:00 | 208.7893 | 272.7285 | -30 | 0.7870 | 348.8350 | 0.7347 | 337.9137 | 0 | 184.5160 |
| 11:00 | 281.8460 | 294.5522 | -15 | 0.7863 | 426.5392 | 0.3409 | 300.9869 | 0 | 204.9159 |
| 12:00 | 352.7188 | 274.8563 | 0 | 0.7861 | 477.4673 | 0 | 200.1857 | 0 | 200.1857 |
| 13:00 | 377.1421 | 245.2142 | 15 | 0.7863 | 481.4000 | 0 | 184.8427 | 0.3409 | 313.3967 |
| 14:00 | 346.7518 | 219.8943 | 30 | 0.7870 | 439.5085 | 0 | 166.6118 | 0.7347 | 421.3706 |
| 15:00 | 285.8804 | 189.8294 | 45 | 0.7885 | 367.8996 | 0 | 142.4857 | 1.2735 | 506.5402 |
| 16:00 | 187.4031 | 157.8393 | 60 | 0.7918 | 261.8376 | 0 | 113.4439 | 2.2093 | 527.4648 |
| 17:00 | 76.7801 | 118.5951 | 75 | 0.8026 | 140.4571 | 0 | 78.8351 | 4.7849 | 446.2225 |
| 18:00 | 0 | 61.1538 | 90 | 0 | 36.6923 | 461.3979 | 36.6923 | 0 | 36.6923 |

Πίνακας 5.1.12: G_b , G_d , G_T για την 21^η Οκτωβρίου

| t(hours) | $G_b(W/m^2)$ | $G_d(W/m^2)$ | $\omega(^{\circ})$ | Νότος | | Ανατολή | | Δύση | |
|----------|--------------|--------------|--------------------|--------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|
| | | | | Rb | $G_T(W/m^2)$ | Rb | $G_T(W/m^2)$ | Rb | $G_T(W/m^2)$ |
| 7:00 | 0 | 0 | -75 | 4.2526 | 0 | 12.7066 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 30.7993 | 75.3135 | -60 | 1.7722 | 102.8493 | 3.2539 | 148.4866 | 0 | 48.2680 |
| 9:00 | 79.9861 | 149.6286 | -45 | 1.3951 | 209.3641 | 1.6467 | 229.4860 | 0 | 97.7758 |
| 10:00 | 143.3809 | 207.7657 | -30 | 1.2563 | 319.1234 | 0.9014 | 268.2398 | 0 | 138.9975 |
| 11:00 | 204.1117 | 235.5562 | -15 | 1.1971 | 406.0905 | 0.4086 | 245.1418 | 0 | 161.7449 |
| 12:00 | 260.5126 | 227.4834 | 0 | 1.1802 | 469.9895 | 0 | 162.5413 | 0 | 162.5413 |
| 13:00 | 278.3514 | 204.9446 | 15 | 1.1971 | 484.0211 | 0 | 150.8019 | 0.4086 | 264.5320 |
| 14:00 | 254.1948 | 177.9129 | 30 | 1.2563 | 451.5058 | 0 | 132.1672 | 0.9014 | 361.2961 |
| 15:00 | 202.1371 | 145.6136 | 45 | 1.3951 | 389.5829 | 0 | 107.5819 | 1.6467 | 440.4340 |
| 16:00 | 114.2764 | 114.5042 | 60 | 1.7722 | 282.6461 | 0 | 80.1302 | 3.2539 | 451.9765 |
| 17:00 | 12.2574 | 78.3550 | 75 | 4.2526 | 100.3643 | 0 | 48.2387 | 12.7066 | 203.9887 |
| 18:00 | 0 | 15.1767 | 90 | 0 | 9.1060 | 7.8114 | 9.1060 | 0 | 9.1060 |

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ**

Πίνακας 5.1.13: G_b , G_d , G_T για την 21^η Νοεμβρίου

| t(hours) | Νότος | | | | | Ανατολή | | Δύση | |
|----------|---------------------------|---------------------------|--------------|--------|---------------------------|---------|---------------------------|---------|---------------------------|
| | G_b (W/m ²) | G_d (W/m ²) | ω (°) | Rb | G_T (W/m ²) | Rb | G_T (W/m ²) | Rb | G_T (W/m ²) |
| 7:00 | 0 | 0 | -75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 38.2077 | 0 |
| 8:00 | 2.5233 | 26.1830 | -60 | 3.6485 | 25.1684 | 5.2534 | 29.2181 | 0 | 15.9621 |
| 9:00 | 36.3721 | 96.9551 | -45 | 2.2214 | 142.6064 | 2.1550 | 140.1933 | 0 | 61.8103 |
| 10:00 | 89.0177 | 155.3967 | -30 | 1.8232 | 264.4390 | 1.1028 | 200.3066 | 0 | 102.1398 |
| 11:00 | 138.7647 | 187.7509 | -15 | 1.6689 | 358.1116 | 0.4864 | 194.0167 | 0 | 126.5270 |
| 12:00 | 181.5145 | 190.5781 | 0 | 1.6262 | 427.6788 | 0 | 132.4983 | 0 | 132.4983 |
| 13:00 | 193.9812 | 173.8639 | 15 | 1.6689 | 447.4518 | 0 | 123.7165 | 0.4864 | 218.0612 |
| 14:00 | 178.2027 | 143.4371 | 30 | 1.8232 | 428.7860 | 0 | 103.8825 | 1.1028 | 300.4007 |
| 15:00 | 134.1469 | 108.3712 | 45 | 2.2214 | 376.4279 | 0 | 78.4374 | 2.1550 | 367.5281 |
| 16:00 | 57.7317 | 77.1054 | 60 | 3.6485 | 262.6700 | 0 | 52.0364 | 5.2534 | 355.3252 |
| 17:00 | 0 | 43.9119 | 75 | 0 | 26.3471 | 38.2077 | 26.3471 | 0 | 26.3471 |
| 18:00 | 0 | 0 | 90 | 0 | 0 | 4.3608 | 0 | 0 | 0 |

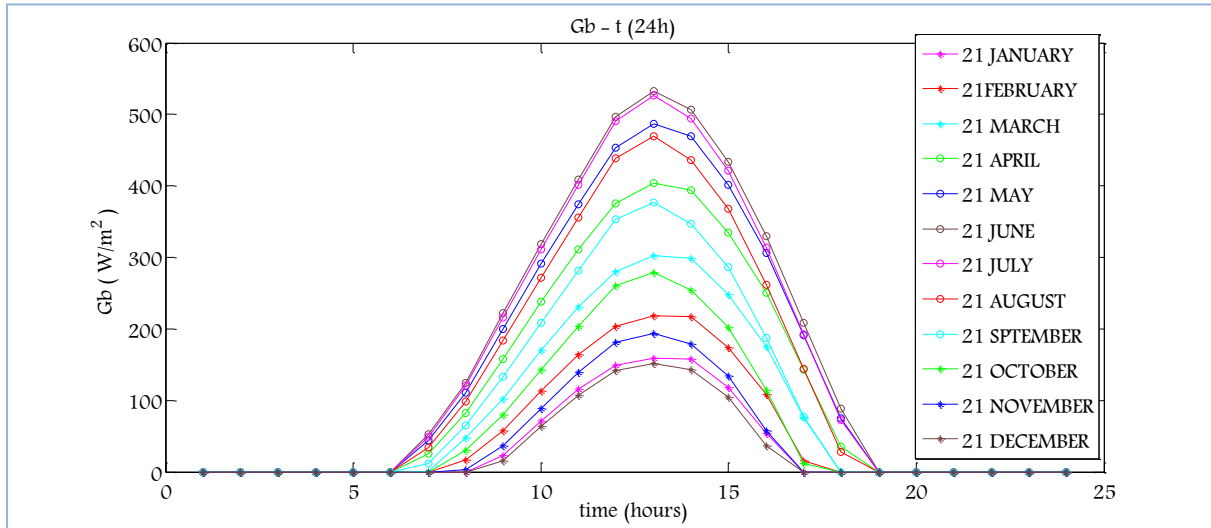
Πίνακας 5.1.14: G_b , G_d , G_T για την 21^η Δεκεμβρίου

| t(hours) | Νότος | | | | | Ανατολή | | Δύση | |
|----------|---------------------------|---------------------------|--------------|--------|---------------------------|---------|---------------------------|---------|---------------------------|
| | G_b (W/m ²) | G_d (W/m ²) | ω (°) | Rb | G_T (W/m ²) | Rb | G_T (W/m ²) | Rb | G_T (W/m ²) |
| 7:00 | 0 | 0 | -75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.3709 | 0 |
| 8:00 | 0 | 7.1035 | -60 | 5.1032 | 4.2621 | 6.8036 | 4.2621 | 0 | 4.2621 |
| 9:00 | 15.9630 | 75.2929 | -45 | 2.6742 | 89.4596 | 2.4336 | 85.6197 | 0 | 46.7720 |
| 10:00 | 63.3102 | 132.5859 | -30 | 2.1036 | 219.0645 | 1.2024 | 162.0059 | 0 | 85.8826 |
| 11:00 | 106.9737 | 166.6225 | -15 | 1.8929 | 313.1663 | 0.5233 | 166.6497 | 0 | 110.6709 |
| 12:00 | 141.3152 | 176.0958 | 0 | 1.8356 | 379.1926 | 0 | 119.7890 | 0 | 119.7890 |
| 13:00 | 151.3624 | 162.0405 | 15 | 1.8929 | 398.8815 | 0 | 112.3606 | 0.5233 | 191.5679 |
| 14:00 | 143.3926 | 127.6352 | 30 | 2.1036 | 392.5668 | 0 | 90.9204 | 1.2024 | 263.3338 |
| 15:00 | 103.9347 | 90.1665 | 45 | 2.6742 | 342.4319 | 0 | 64.4934 | 2.4336 | 317.4299 |
| 16:00 | 36.0863 | 57.7580 | 60 | 5.1032 | 222.4176 | 0 | 38.2634 | 6.8036 | 283.7792 |
| 17:00 | 0 | 26.4234 | 75 | 0 | 15.8541 | 15.3709 | 15.8541 | 0 | 15.8541 |
| 18:00 | 0 | 0 | 90 | 0 | 0 | 3.7470 | 0 | 0 | 0 |

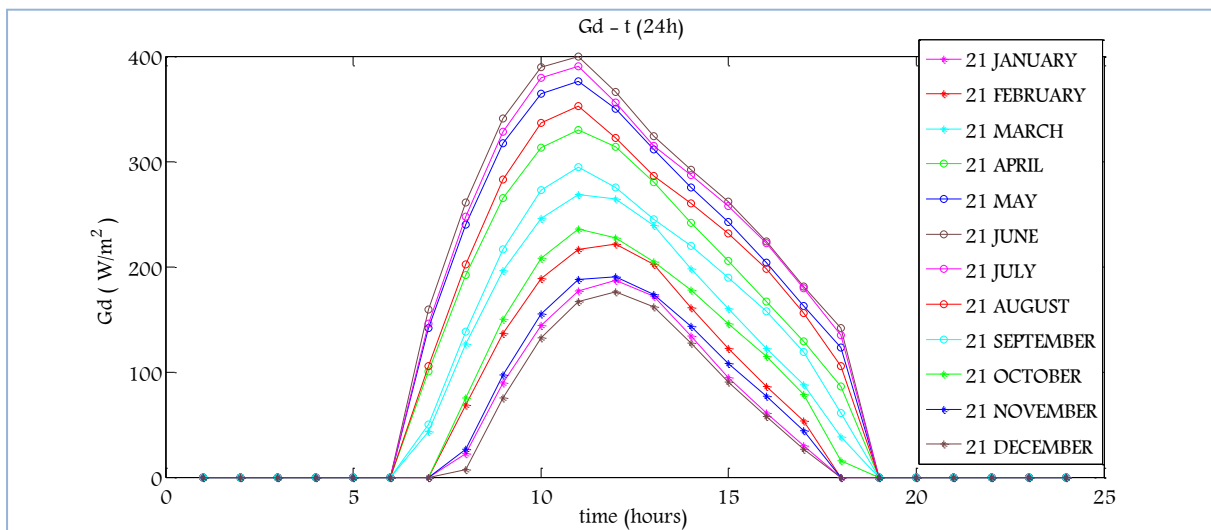
Στους πίνακες που προηγήθηκαν παρατηρούνται σε ορισμένους μήνες μηδενικές τιμές της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου. Οι μηδενικές τιμές αιτιολογούνται αν λάβουμε υπόψη την ώρα ανατολής και δύσης του ήλιου της 21^{ης} ημέρα του εκάστοτε μήνα, Πίνακας 5.1.3.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

Στην συνέχεια παρουσιάζονται σε διαγράμματα η κατανομή της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους.



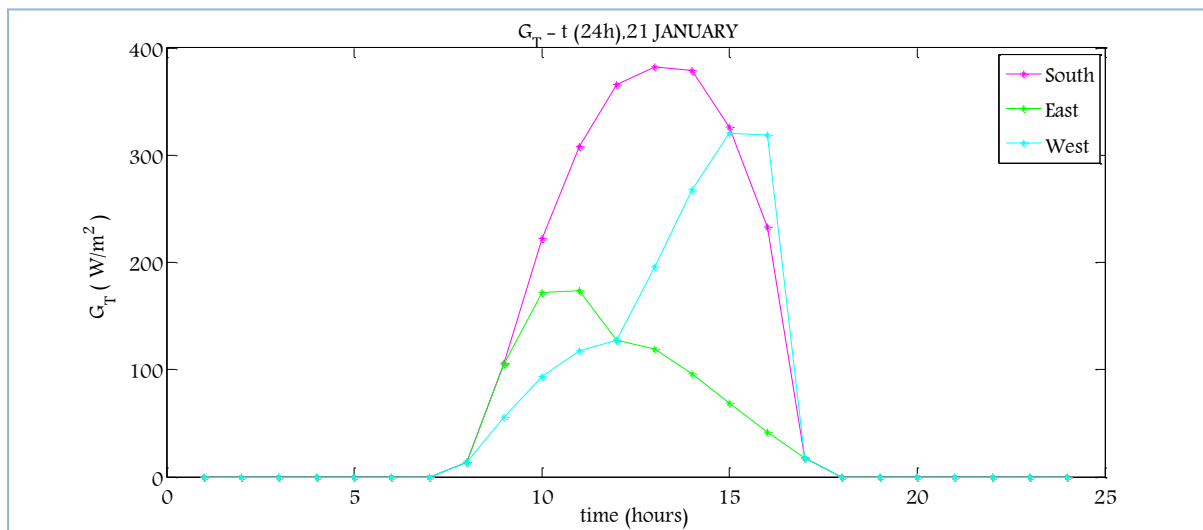
Διάγραμμα 5.1.1: Μεταβολή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, G_b , συναρτήσει της ώρας για την 21^η μέρα κάθε μήνα του έτους



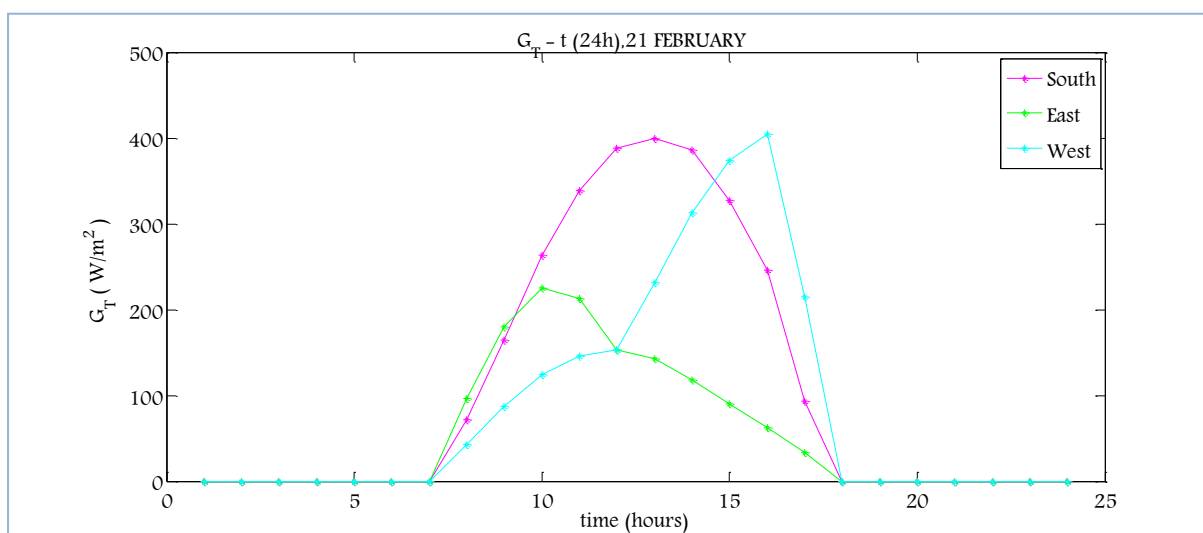
Διάγραμμα 5.1.2: Μεταβολή της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας, G_d , συναρτήσει της ώρας για την 21^η μέρα κάθε μήνα του έτους

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Στην συνέχεια παρουσιάζεται σε κοινό διάγραμμα η μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους για νότιο, ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό.

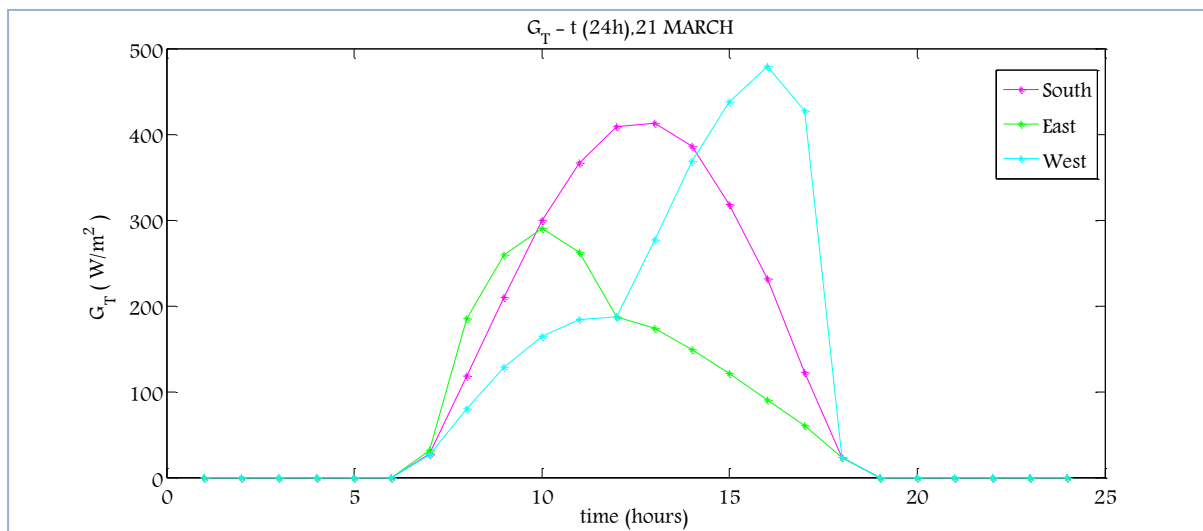


Διάγραμμα 5.1.3: Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου, G_T , συναρτήσει της ώρας, την 21^η Ιανουαρίου για νότιο, ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό

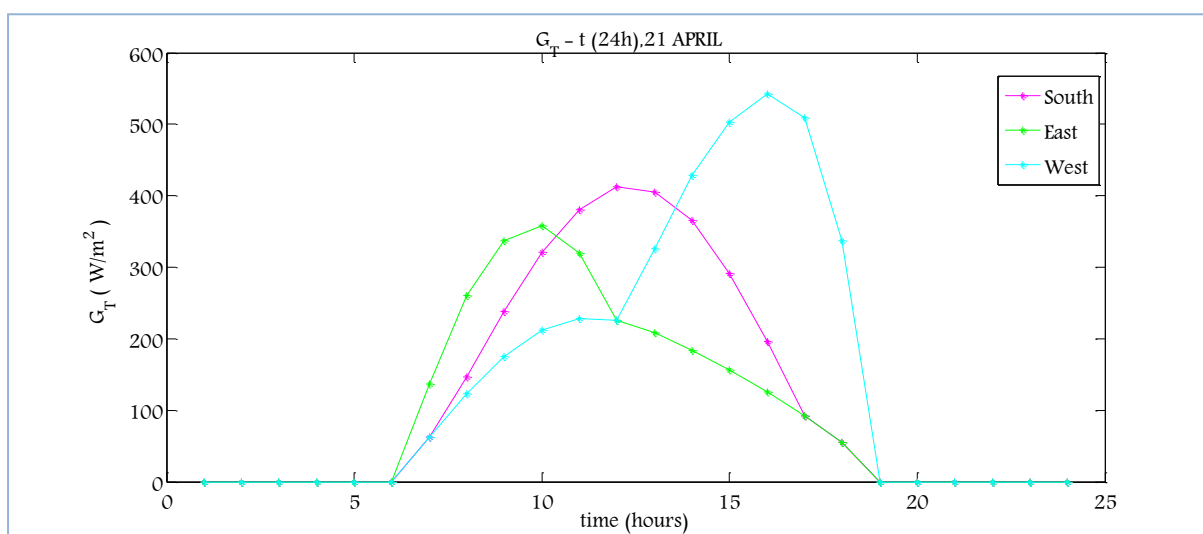


Διάγραμμα 5.1.4: Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου, G_T , συναρτήσει της ώρας, την 21^η Φεβρουαρίου για νότιο, ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

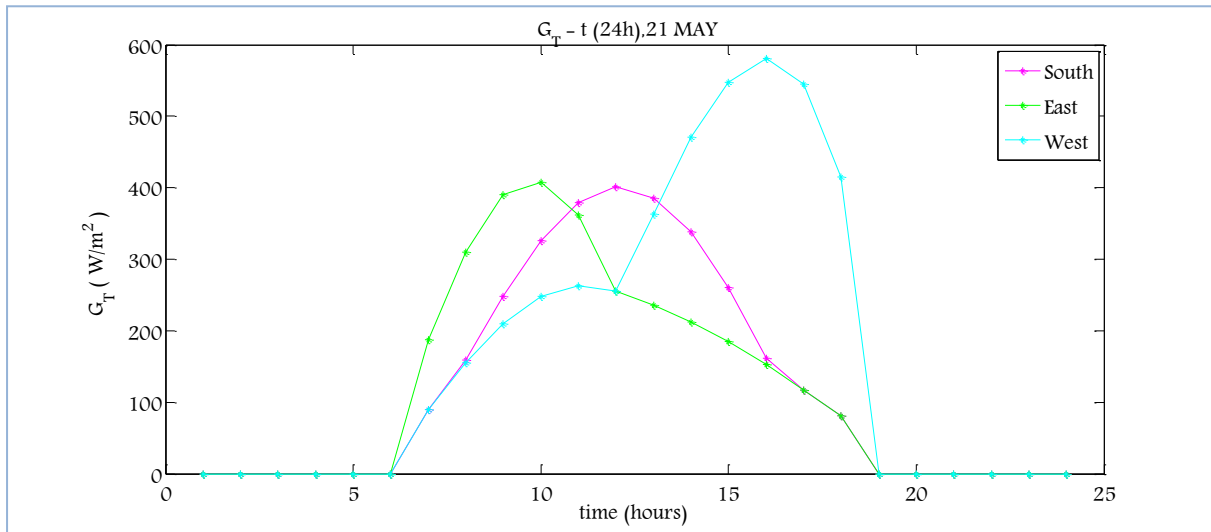


Διάγραμμα 5.1.5: Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου, G_T , συναρτήσει της ώρας, την 21^η Μαρτίου για νότιο, ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό

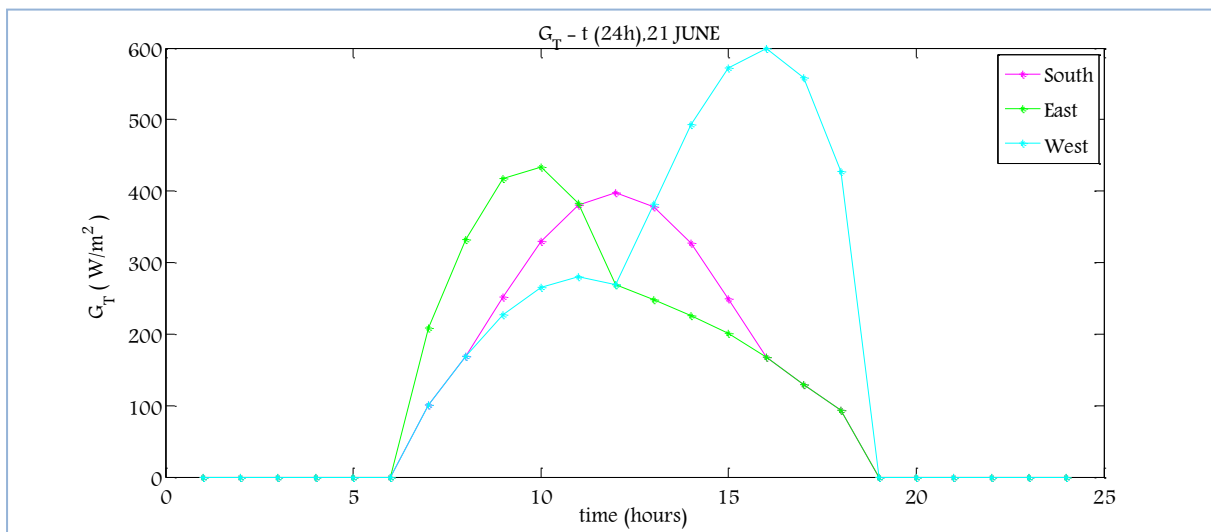


Διάγραμμα 5.1.6: Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου, G_T , συναρτήσει της ώρας, την 21^η Απριλίου για νότιο, ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

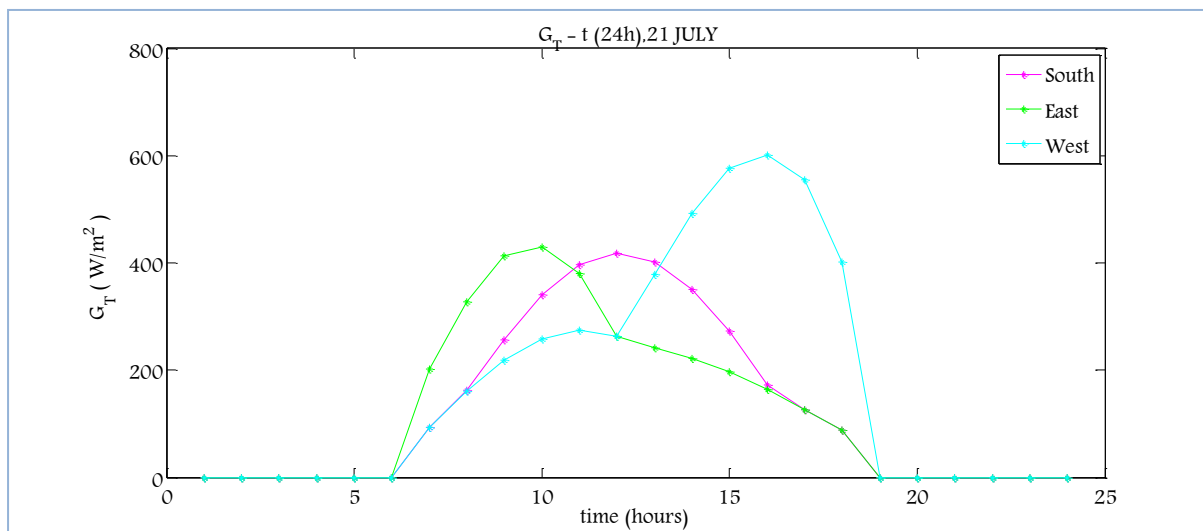


Διάγραμμα 5.1.7: Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου, G_t , συναρτήσει της ώρας ,την 21^η Μαΐου για νότιο, ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό

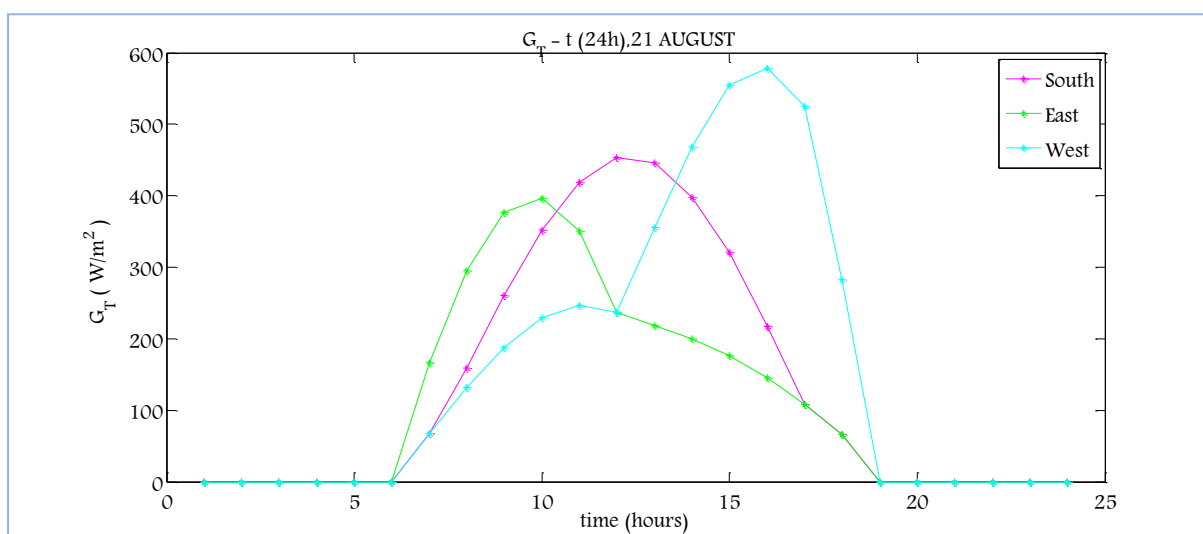


Διάγραμμα 5.1.8: Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου, G_t , συναρτήσει της ώρας ,την 21^η Ιουνίου για νότιο, ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

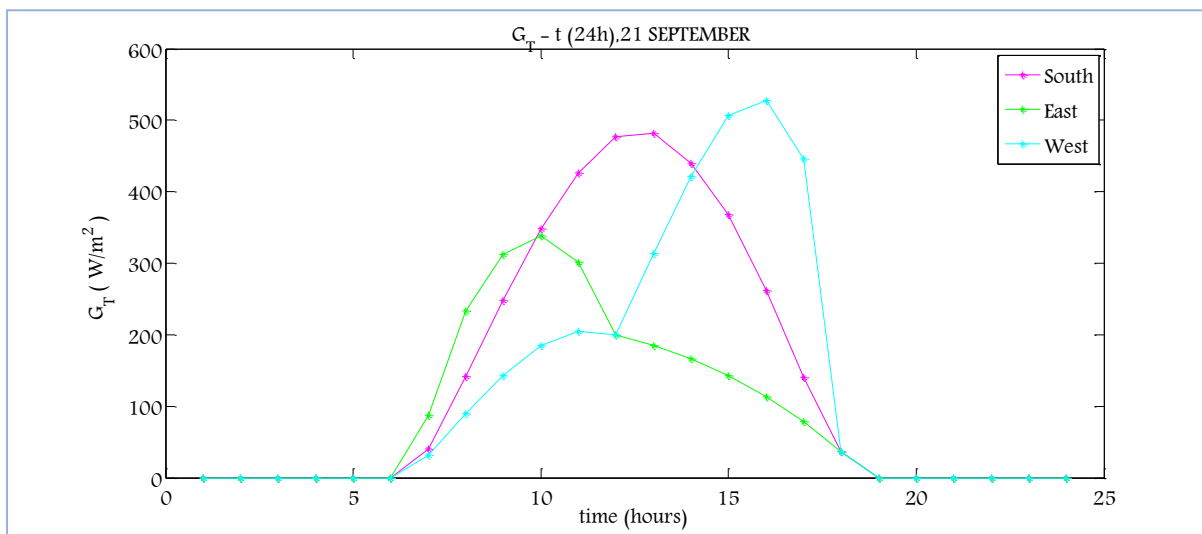


Διάγραμμα 5.1.9: Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου, G_T , συναρτήσει της ώρας, την 21^η Ιουλίου για νότιο, ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό

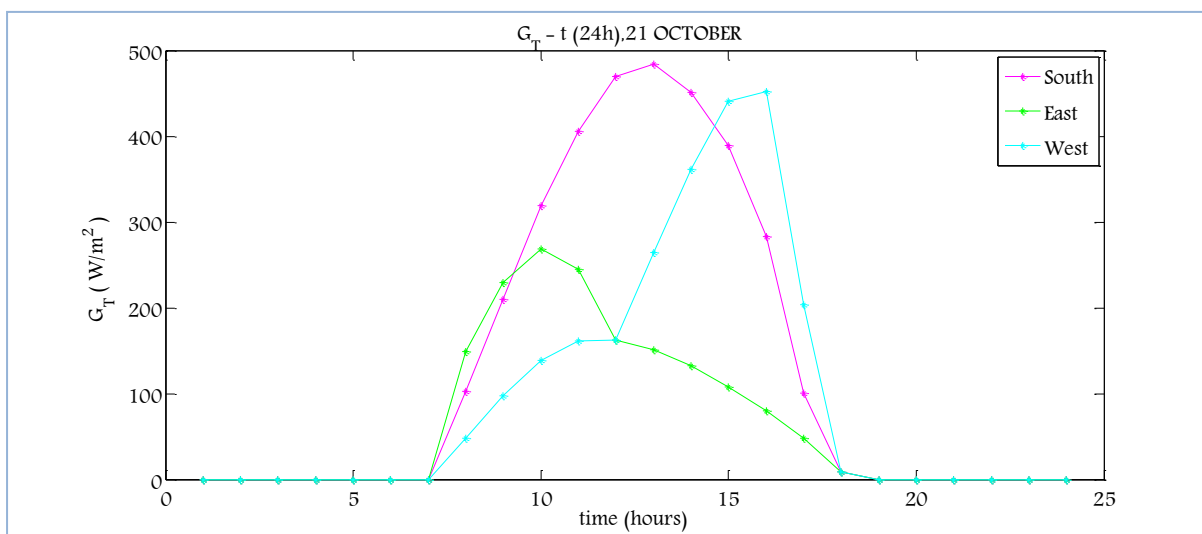


Διάγραμμα 5.1.10: Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου, G_T , συναρτήσει της ώρας, την 21^η Αυγούστου για νότιο, ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ**

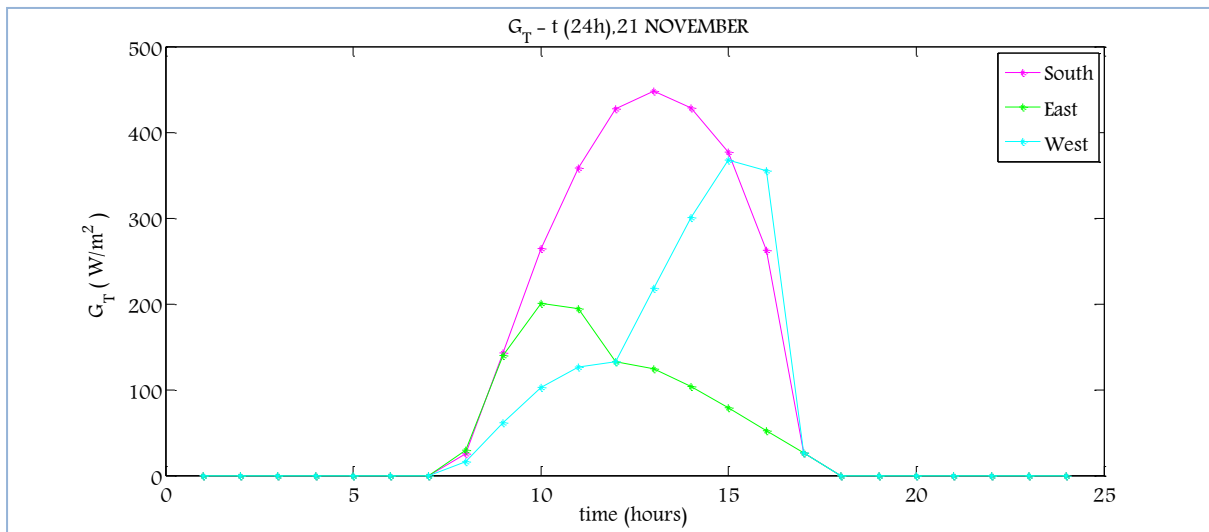


Διάγραμμα 5.1.11: Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου, G_T , συναρτήσει της ώρας ,την 21^η Σεπτεμβρη για νότιο, ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό

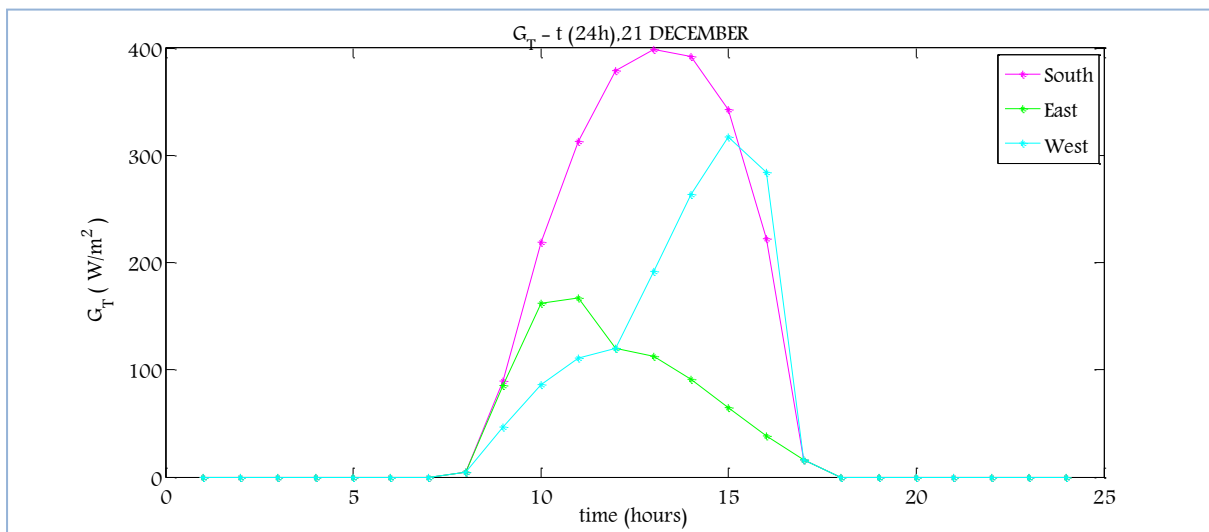


Διάγραμμα 5.1.12: Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου, G_T , συναρτήσει της ώρας ,την 21^η Οκτωβριου για νότιο, ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)



Διάγραμμα 5.1.13: Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου, G_T , συναρτήσει της ώρας, την 21^η Νοεμβρίου για νότιο, ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό



Διάγραμμα 5.1.14: Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου, G_T , συναρτήσει της ώρας, την 21^η Δεκέμβρη για νότιο, ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Ο τοίχος με νότιο προσανατολισμό δέχεται, κατά τη χειμερινή περίοδο, το μεγαλύτερο ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με τον τοίχο ανατολικού και δυτικού προσανατολισμού. Αυτό οφείλεται στο ότι ο ήλιος κινείται χαμηλά στο στερέωμα, στην περιοχή του Νότου, και βλέπει τον τοίχο, για μεγάλο χρονικό διάστημα, σχεδόν κάθετα. Αντιθέτως, το καλοκαίρι δέχεται μικρά ποσά ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς ο ήλιος βλέπει τον τοίχο, τις περισσότερες ώρες από ψηλά, πλάγια και ελάχιστα.

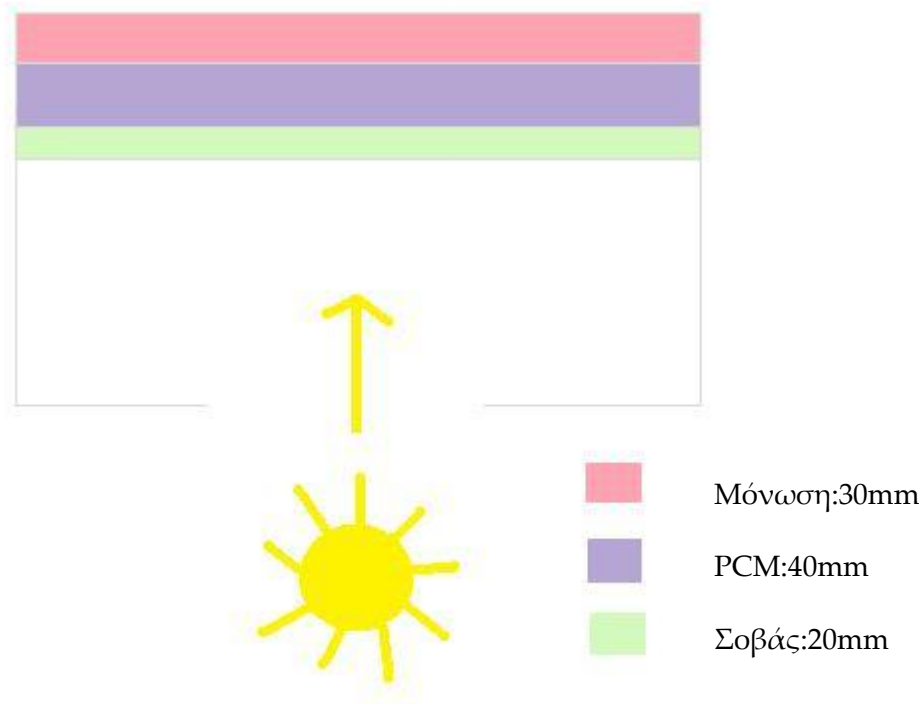
Ο τοίχος ανατολικού και δυτικού προσανατολισμού κατά την περίοδο του καλοκαιριού δέχεται πολύ μεγαλύτερα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας, σε σχέση με τον τοίχο νοτίου προσανατολισμού. Κατά την διάρκεια όλων σχεδόν των πρωινών ωρών, ο ήλιος βλέπει τον ανατολικό τοίχο κάθετα, ενώ από το μεσημέρι και μετά ο δυτικός τοίχος είναι πλήρως εκτεθειμένος στην έντονη ηλιακή ακτινοβολία.

Από τα διαγράμματα που προηγήθηκαν παρατηρείται επιπλέον ότι, καθ' όλη την διάρκεια του έτους στην ανατολή αναπτύσσεται χαμηλότερη σε μέτρο ακτινοβολία. Ο λόγος είναι ότι τις πρωινές ώρες η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς είναι ιδιαίτερα αυξημένη, με αποτέλεσμα να συγκρατεί την αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

5.2 Παραμετρικές Μελέτες Εσωτερικού Μονωμένου Τοίχου

5.2.1 Περιγραφή Εξεταζόμενης Μελέτης

Το εξεταζόμενο δωμάτιο βρίσκεται το οποίο βρίσκεται στην περιοχή της Αθήνας, έχει διαστάσεις 4m x 3m x 3m. Απέναντι από τον εσωτερικό τοίχο, υπάρχει υαλοπίνακας διαστάσεων, 1.5 m x 2m



Παραδοχές:

- ✓ Θεωρείται αδιαβατικό όριο μεταξύ του στρώματος PCM και της μόνωσης , για την αποφυγή συναλλαγής θερμότητας.
- ✓ Η θερμοκρασία μέσα στο δωμάτιο θεωρείται σταθερή και ομοιόμορφη.
- ✓ Η θερμοκρασία στο στρώμα PCM θεωρείται ομοιόμορφη.

Ισολογισμός ενέργειας στο στρώμα PCM

Η μεταβολή της θερμοκρασίας του στρώματος του PCM με το χρόνο εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στον τοίχο κατά τη διάρκεια της ημέρας, τη συναλλαγή θερμότητας με συναγωγή με τον αέρα στο εσωτερικό του δωματίου, την συναλλαγή θερμότητας με αγωγή με το στρώμα του σοβά καθώς επίσης και από τη μάζα και τη θερμοχωρητικότητα του ίδιου του PCM.

Ο ισολογισμός ενέργειας στο στρώμα του PCM διαμορφώνεται όπως φαίνεται ακολούθως:

$$Q_{\text{απορροφούμενη}} = Q_{\text{ακτινοβολίας}} + Q_{\text{συναγωγής,αγωγής}} \quad (5.2.1.1)$$

- **Υπολογισμός απορροφημένης ενέργειας**

Πρόκειται για την θερμότητα που απορροφάται από το στρώμα PCM και υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Q_{\text{απορροφούμενη}} = M_{\text{PCM}} * c_{\text{eff}} * (T_{\text{PCM}} - T_{\text{PCM}}^0) \quad (5.2.1.2)$$

- T_{PCM}^0 : η θερμοκρασία του PCM την χρονική στιγμή t
- T_{PCM} : η θερμοκρασία του PCM την χρονική στιγμή $t+\Delta t$
- M_{PCM} : η μάζα του επιλεγμένου PCM
- c_{eff} : είναι η ενεργός θερμοχωρητικότητα του PCM ,η τιμή της οποίας εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία του PCM

Υπολογισμός της μάζας του PCM, M_{PCM}

Η μάζα του διατιθέμενου PCM, μπορεί να προσεγγισθεί με μεγάλη ακρίβεια από την ακόλουθη σχέση:

$$M_{\text{PCM}} = \rho_{\text{PCM}} * V_{\text{PCM}} \quad (5.2.1.3)$$

- ρ_{PCM} : η πυκνότητα του επιλεγμένου PCM

Στην συγκεκριμένη μελέτη θεωρείται σταθερή και ανεξάρτητη της θερμοκρασίας του PCM

- V_{PCM} : ο όγκος του PCM

$$V = (\text{πλάτος τοίχου}) \times (\text{ύψος τοίχου}) \times (\text{πάχος στρώματος PCM}) \quad (5.2.1.4)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

Υπολογισμός ενεργού θερμοχωρητικότητας του PCM

Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί η τριγωνική συνάρτηση με αναλυτική έκφραση: [3]

$$C_{p,eff}(T) = \frac{4*(H-b*C_{ps})*(T-T_s)}{b^2} + C_{ps} , \text{ για } T_s \leq T \leq T_c \quad (5.2.1.5)$$

$$C_{p,eff}(T) = \frac{4*(b*C_{pl}-H)*(T-T_s-\frac{b}{2})}{b^2} + \frac{2*H}{b} - C_{pl} , \text{ για } T_c \leq T \leq T_l \quad (5.2.1.6)$$

- C_{pl} : θερμοχωρητικότητα του υγρού PCM
- C_{ps} : θερμοχωρητικότητα του στερεού PCM
- T_s : θερμοκρασία του στερεού PCM
- T_l : θερμοκρασία του υγρού PCM
- $b = (T_l - T_s)$: εύρος θερμοκρασιών
- $T_c = \frac{T_l+T_s}{2}$: το μέσον του εύρους θερμοκρασιών
- H : η θερμότητα αλλαγής φάσης

• Υπολογισμός ενέργειας που εισέρχεται λόγω συναγωγής και αγωγής

Είναι η θερμότητα που προσφέρεται από το υλικό αλλαγής φάσης στον εσωτερικό χώρο και στο στρώμα σοβά, και δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Q_{\text{συναγωγής,αγωγής}} = 3600 * A_{\text{τοίχου}} * U_1 * (T_{\text{in}} - T_{\text{PCM}}^0) \quad (5.2.1.7)$$

- $U_1 = \left(\frac{1}{h_{\text{in}}} + \frac{l_{\Sigma}}{k_{\Sigma}}\right)^{-1}$
- $h_{\text{in}} = 8 \text{ W/m}^2\text{C}$
- $k_{\Sigma} = 0.87 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$
- $A_{\text{τοίχου}} = (\text{πλάτος τοίχου}) \times (\text{ύψος τοίχου})$
- $T_{\text{in}} = 20^{\circ}\text{C}$, για τους μήνες: Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο, Δεκέμβριο
- $T_{\text{in}} = 26^{\circ}\text{C}$, για τους μήνες: Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο
- $A_{\text{τοίχου}} = (\text{πλάτος τοίχου}) \times (\text{ύψος τοίχου})$

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

- **Υπολογισμός ενέργειας που εισέρχεται λόγω ακτινοβολίας**

Είναι η θερμότητα που προσπίπτει στο στρώμα του τοίχου από την ηλιακή ακτινοβολία και δίνεται από την παρακάτω σχέση

$$Q_{\text{ακτινοβολίας}} = 3600 \cdot 0.9 \cdot G_T \cdot A_{\text{υαλοπίνακα}} \quad (5.2.1.8)$$

- $A_{\text{υαλοπίνακα}} = (\text{πλάτος υαλοπίνακα}) \times (\text{ύψος υαλοπίνακα})$
- G_T : η προσπίπτουσα στον τοίχο ηλιακή ακτινοβολία (ενότητα 5.1)

Λαμβάνοντας υπόψη ότι ένα ποσοστό της ακτινοβολίας που προσπίπτει στον υαλοπίνακα ,απορροφάται από αυτόν καθώς επίσης και από τον αέρα του εσωτερικού περιβάλλοντος τελικά καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι στον τοίχο μελέτης προσπίπτει το 90% της αρχικής υπολογισθείσας ακτινοβολίας. Άρα θα πάρουμε ένα ποσοστό 90% της ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου για τους υπολογισμούς μας.

Ισολογισμός ενέργειας στο στρώμα μπετόν

Η μεταβολή της θερμοκρασίας του στρώματος του μπετόν με το χρόνο εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στον τοίχο κατά τη διάρκεια της ημέρας, τη συναλλαγή θερμότητας με συναγωγή με τον αέρα στο εσωτερικό του δωματίου, την συναλλαγή θερμότητας με αγωγή με το στρώμα του σοβά καθώς επίσης και από τη μάζα και τη θερμοχωρητικότητα του ίδιου του μπετόν.

Ο ισολογισμός ενέργειας στο στρώμα του μπετόν διαμορφώνεται όπως φαίνεται ακολούθως:

$$Q_{\text{απορροφούμενη}} = Q_{\text{ακτινοβολίας}} + Q_{\text{συναγωγής,αγωγής}} \quad (5.2.1.9)$$

- **Υπολογισμός απορροφημένης ενέργειας**

Πρόκειται για την θερμότητα που απορροφάται από το στρώμα μπετόν και υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Q_{\text{απορροφούμενη}} = M_{\text{μπετόν}} \cdot c_{p\text{μπετόν}} \cdot (T_{\text{μπετόν}} - T_{\text{μπετόν}}^0) \quad (5.2.1.10)$$

- $T_{\text{μπετόν}}^0$: η θερμοκρασία του μπετόν την χρονική στιγμή t
- $T_{\text{μπετόν}}$: η θερμοκρασία του μπετόν την χρονική στιγμή $t+\Delta t$
- $M_{\text{μπετόν}}$: η μάζα του επιλεγμένου μπετόν
- $c_{p\text{μπετόν}}$: είναι η ενεργός θερμοχωρητικότητα του μπετόν

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

Υπολογισμός της μάζας του μπετόν, $M_{\text{μπετόν}}$

Η μάζα του διατιθέμενου μπετόν, μπορεί να προσεγγισθεί με μεγάλη ακρίβεια από την ακόλουθη σχέση:

$$M_{\text{μπετόν}} = \rho_{\text{μπετόν}} * V_{\text{μπετόν}} \quad (5.2.1.11)$$

- $\rho_{\text{μπετόν}}$: η πυκνότητα του επιλεγμένου μπετόν
- $V_{\text{μπετόν}}$: ο όγκος του μπετόν

$$V = (\text{πλάτος τοίχου}) \times (\text{ύψος τοίχου}) \times (\text{πάχος στρώματος μπετόν}) \quad (5.2.1.12)$$

- **Υπολογισμός ενέργειας που εισέρχεται λόγω συναγωγής και αγωγής**

Είναι η θερμότητα που προσφέρεται από το μπετόν στον εσωτερικό χώρο και στο στρώμα σοβά και δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Q_{\text{συναγωγής,αγωγής}} = 3600 * A_{\text{τοίχου}} * U_1 * (T_{\text{in}} - T_{\text{μπετόν}}^0) \quad (5.2.1.13)$$

- $U_1 = \left(\frac{1}{h_{\text{in}}} + \frac{l_{\Sigma}}{k_{\Sigma}} \right)^{-1}$
- $h_{\text{in}} = 8 \text{ W/m}^2\text{C}$
- $k_{\Sigma} = 0.87 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$
- $A_{\text{τοίχου}} = (\text{πλάτος τοίχου}) \times (\text{ύψος τοίχου})$
- $T_{\text{in}} = 20^{\circ}\text{C}$, για τους μήνες: Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο, Δεκέμβριο
- $T_{\text{in}} = 26^{\circ}\text{C}$, για τους μήνες: Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο
- $A_{\text{τοίχου}} = (\text{πλάτος τοίχου}) \times (\text{ύψος τοίχου})$

- **Υπολογισμός ενέργειας που εισέρχεται λόγω ακτινοβολίας**

Υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση (5.2.1.8).

5.2.2 Παραμετρική μελέτη ως προς το πάχος του PCM το 24ωρο

Στην παρούσα μελέτη γίνεται επιλογή ενός εμπορικού PCM, συγκεκριμένα του RT20, της εταιρείας Rubitherm. Στην ενότητα 5.2.1, είχε επιλεγεί στρώμα PCM πάχους 40 mm. Προκειμένου να εξεταστεί πώς επιδρά η μεταβολή του πάχους του στρώματος, δηλαδή η μεταβολή της μάζας του PCM στις θερμοκρασίες που αναπτύσσει και κατά συνέπεια στην απόδοση του, πραγματοποιείται αρχικά μια αύξηση των 20 mm, από το επιλεγμένο πάχος, και έπειτα μια μείωση των 20 mm από το επιλεγμένο πάχος του στρώματος. Εξετάζονται οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους, προκειμένου να αναδειχθούν τα πιθανά οφέλη του PCM σε σχέση με το σύνηθες δομικό υλικό, το μπετόν. Παρουσιάζεται επιπλέον, το τμήμα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας που καλύπτει το PCM, η θερμότητα που αποθηκεύεται σε αυτό και ο βαθμός χρησιμοποίησης του PCM με βάση την καμπύλη της ενεργού θερμοχωρητικότητας, για κάθε ένα από τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος PCM.

Εξετάζονται τρεις περιπτώσεις μονωμένου τοίχου. Στην πρώτη περίπτωση ο τοίχος δέχεται ακτινοβολία από υαλοπίνακα που είναι τοποθετημένος σε νότιο προσανατολισμό και στην συνέχεια εξετάζονται οι περιπτώσεις που ο υαλοπίνακας είναι τοποθετημένος σε ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό.

Και για τις τρεις περιπτώσεις, η εξέταση θα πραγματοποιηθεί για την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους, με σκοπό να ερευνηθεί αν το επιλεγμένο PCM μπορεί να είναι αποδοτικό την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους.

5.2.2.1 Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού

A. Υπολογισμός προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για την 21^η ημέρα κάθε μήνα καθώς επίσης και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της έχουν παρουσιαστεί στην ενότητα 5.1 . Στην παρούσα παραμετρική μελέτη λαμβάνονται υπόψη οι τιμές της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου που έχουν υπολογιστεί για νότιο προσανατολισμό.

B. Επιλογή PCM

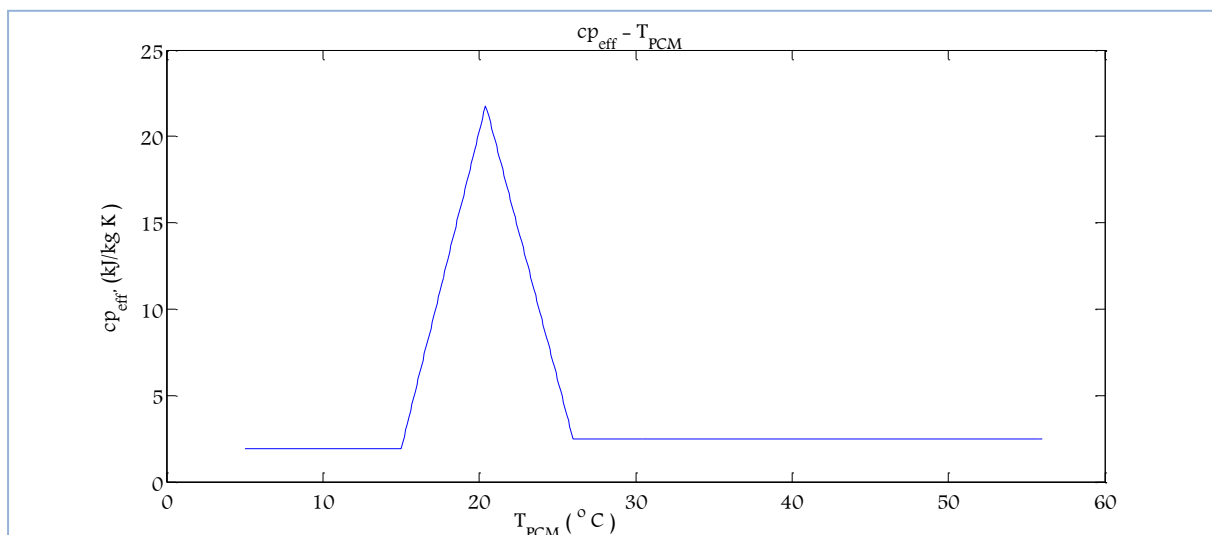
Ως PCM στην εξεταζόμενη μελέτη επιλέχθηκε το RT20, της εταιρείας Rubitherm, τα χαρακτηριστικά του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζονται και τα χαρακτηριστικά του μπετόν.

| Πίνακας 5.2.2.1.1: Χαρακτηριστικά PCM και χαρακτηριστικά μπετόν, [4] | | |
|--|-------|-----------------------|
| Χαρακτηριστικά PCM | | Χαρακτηριστικά μπετόν |
| H (kJ/kg) | 132.1 | - |
| ρ (kg/m ³) | 820 | 2300 |
| T _s (°C) | 15 | |
| T _l (°C) | 26 | - |
| T _c (°C) | 20,5 | |
| B | 11 | |
| c _{ps} (kJ/kg°C) | 1900 | 1,0 |
| c _{pl} (kJ/kg°C) | 2500 | |

C. Προσομοίωση της αλλαγής φάσης

Η ειδική θερμοχωρητικότητα του PCM, κατά την διάρκεια αλλαγής φάσης, μεταβάλλεται συναρτήσει της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM. Για την προσομοίωση της αλλαγής φάσης, επιλέγεται η τριγωνική μορφή της μεθόδου της ενεργούς θερμοχωρητικότητας.

Λαμβάνοντας υπόψη τις σχέσεις (5.2.1.5) και (5.2.1.6) καθώς επίσης και τα χαρακτηριστικά του PCM, RT20, τα οποία παρουσιάστηκαν στον πίνακα (5.2.2.1.1) προκύπτει η καμπύλη της ενεργού θερμοχωρητικότητας ως συνάρτηση της θερμοκρασίας.



Διάγραμμα 5.2.2.1.1: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM (RT20) συναρτήσει της θερμοκρασίας

Από το παραπάνω διάγραμμα επιβεβαιώνεται η τριγωνική μορφή της καμπύλης της ενεργού θερμοχωρητικότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

D. Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν

Λαμβάνοντας υπόψη τις σχέσεις που αφορούν τον ισολογισμό ενέργειας του PCM (5.2.1.1) και του μπετόν (5.2.1.9) ,υπολογίζονται οι θερμοκρασίες που αναπτύσσουν τα δυο υλικά κατά την διάρκεια του 24ωρου την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους.

$$T_{PCM} = T_{PCM}^0 + \frac{3600 * 0,9 * G_T * A_{υαλοπίνακα} + 3600 * A_{τοιχου} * U_1 * (T_{in} - T_{PCM}^0)}{M_{PCM} * c_{p,eff}(T)} \quad (5.2.2.1.1)$$

$$T_{μπετόν} = T_{μπετόν}^0 + \frac{3600 * 0,9 * G_T * A_{υαλοπίνακα} + 3600 * A_{τοιχου} * U_1 * (T_{in} - T_{μπετόν}^0)}{M_{μπετόν} * c_{p,μπετόν}} \quad (5.2.2.1.2)$$

Οι θερμοκρασίες του PCM και του αντίστοιχου μπετόν υπολογίζονται από τη 1:00 έως τις 00:00, δηλαδή για ένα 24ωρο με βήμα μιας ώρας.

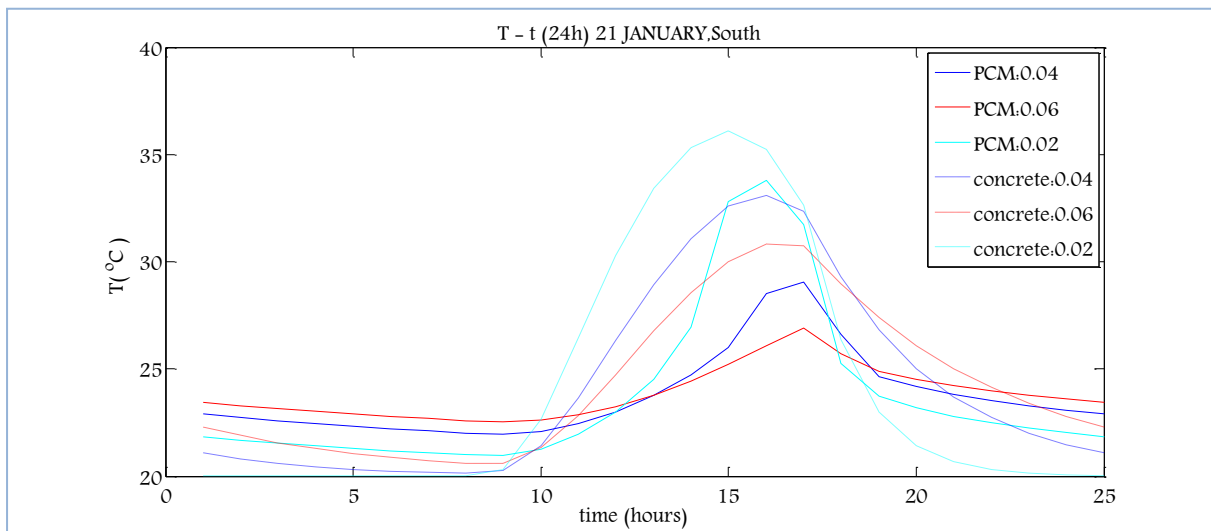
Καθώς δεν γνωρίζουμε την θερμοκρασία του PCM και του μπετόν την ώρα που ξεκινάνε οι υπολογισμοί μας, θέτουμε αυθαίρετα μια αρχική θερμοκρασία και ακολουθείται επαναληπτική διαδικασία έως ότου οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται για το 24ωρο να συγκλίνουν με εκείνες της προηγούμενης επανάληψης. Για παράδειγμα, όσον αφορά τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται την 21^η ημέρα του Ιανουαρίου η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

- $T_{PCM}^0 = 22^{\circ}C$, θερμοκρασία στη 1:00 / $T_{Μπετόν}^0 = 22^{\circ}C$,θερμοκρασία στη 1:00
- Υπολογίζονται οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει κατά την διάρκεια του 24ωρου από τις 2:00 έως τις 00:00, με βήμα μιας ώρας
- Η διαδικασία επαναλαμβάνεται λαμβάνοντας σαν αρχική τιμή στην νέα επανάληψη την τιμή της θερμοκρασίας στις 00:00
- Η επαναληπτική διαδικασία συνεχίζεται έως ότου οι τιμές του 24ωρου να συγκλίνουν με εκείνες της προηγούμενης επανάληψης.

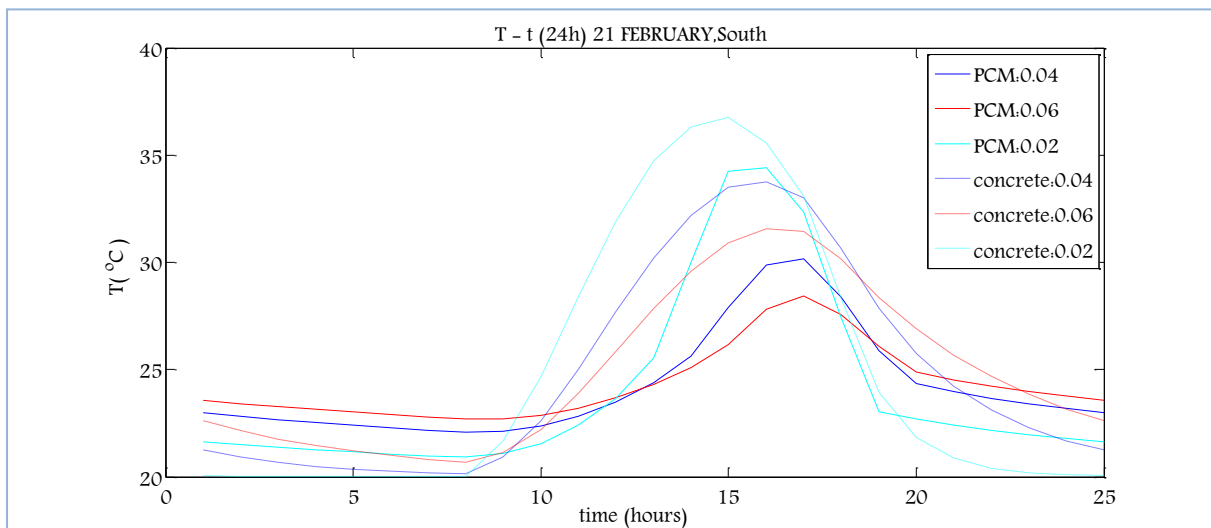
Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για την εύρεση των θερμοκρασιών που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο μπετόν την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM και του αντίστοιχου στρώματος μπετόν, συναρτήσει της ώρας για όλο το 24ωρο την 21^η ημέρα κάθε μήνα ,για όλα τα εξεταζόμενα πάχη στρώματος PCM και μπετόν που επιλέχθηκαν. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στα διαγράμματα έχουν δοθεί οι τιμές των εξεταζόμενων παχών σε m.

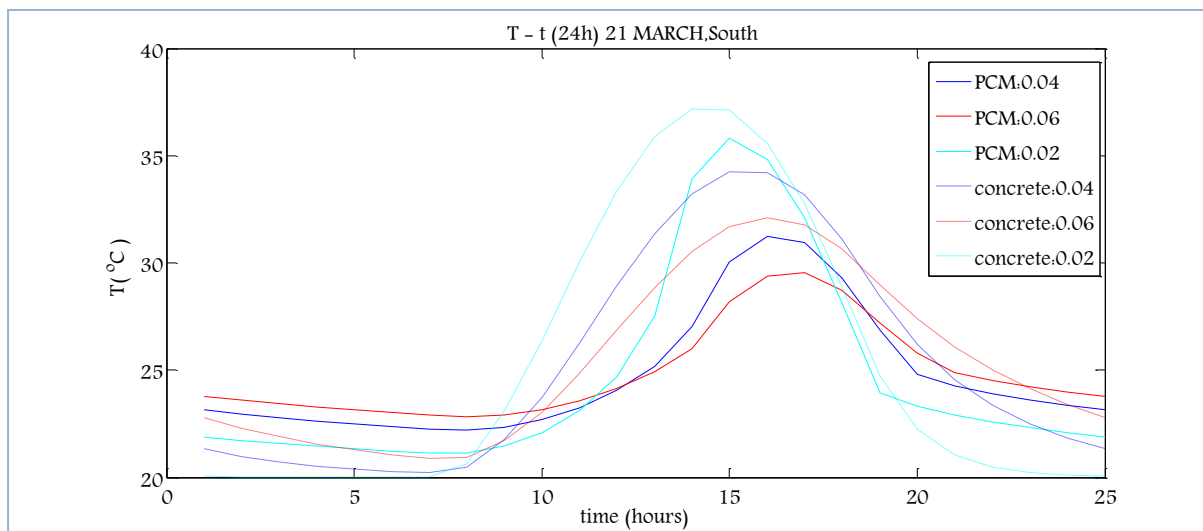


Διάγραμμα 5.2.2.1.2: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιανουαρίου για ένα 24ωρο

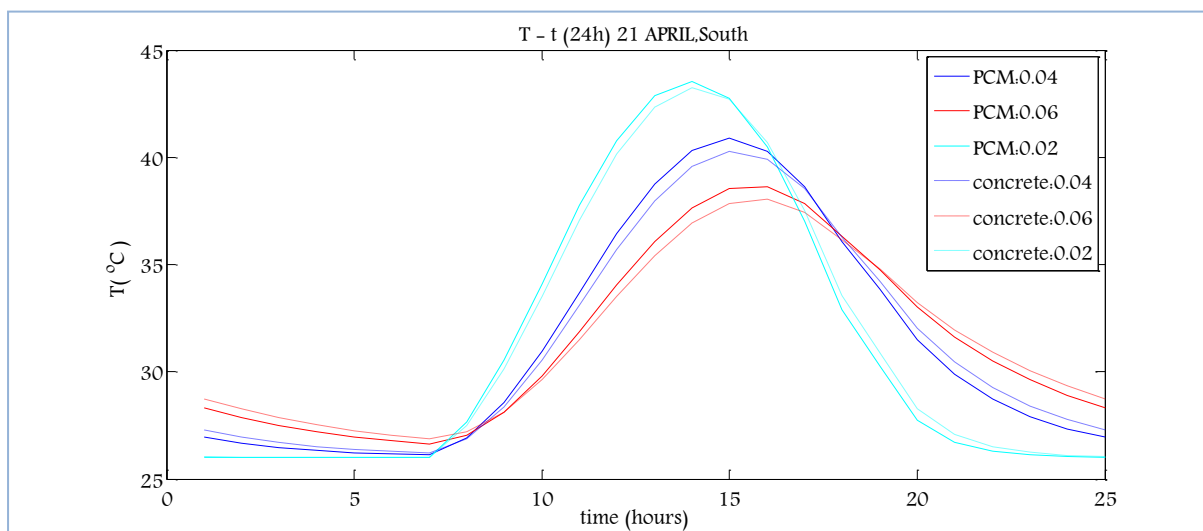


Διάγραμμα 5.2.2.1.3: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Φεβρουαρίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

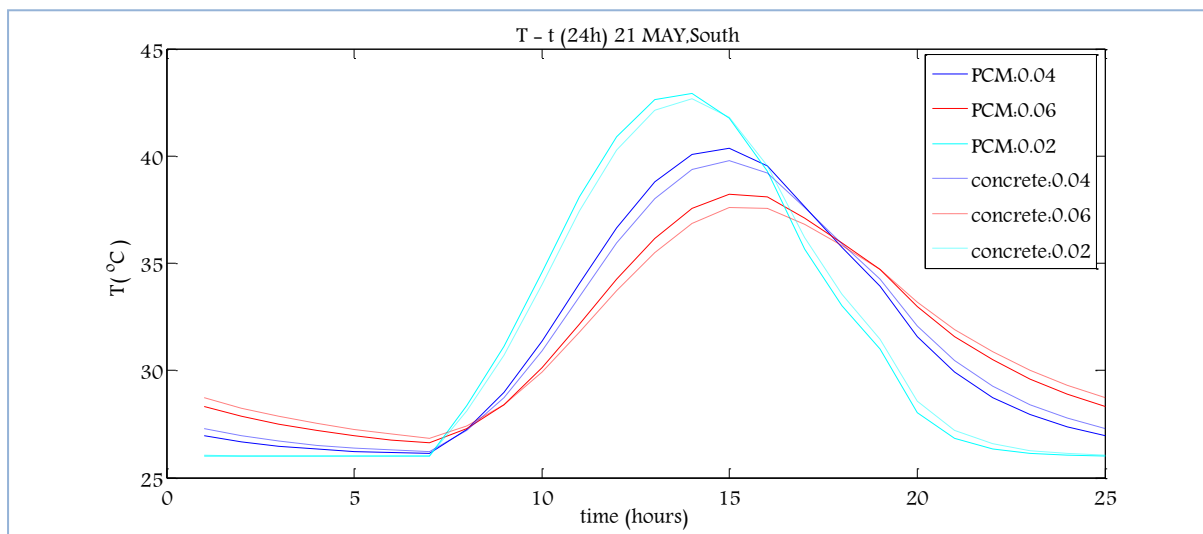


Διάγραμμα 5.2.2.1.4: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαρτίου για ένα 24ωρο

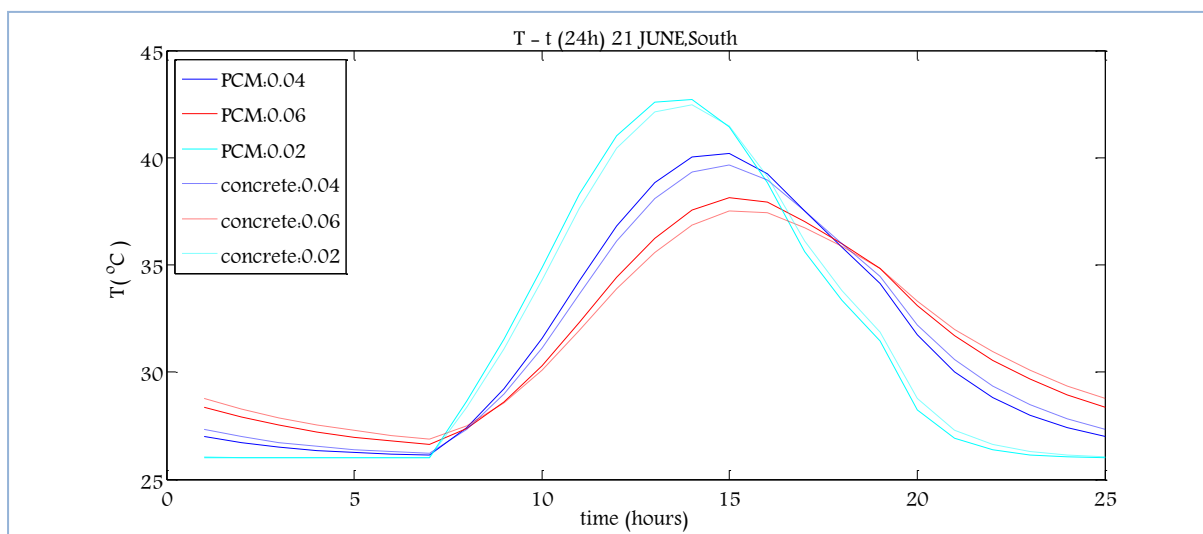


Διάγραμμα 5.2.2.1.5: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Απριλίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

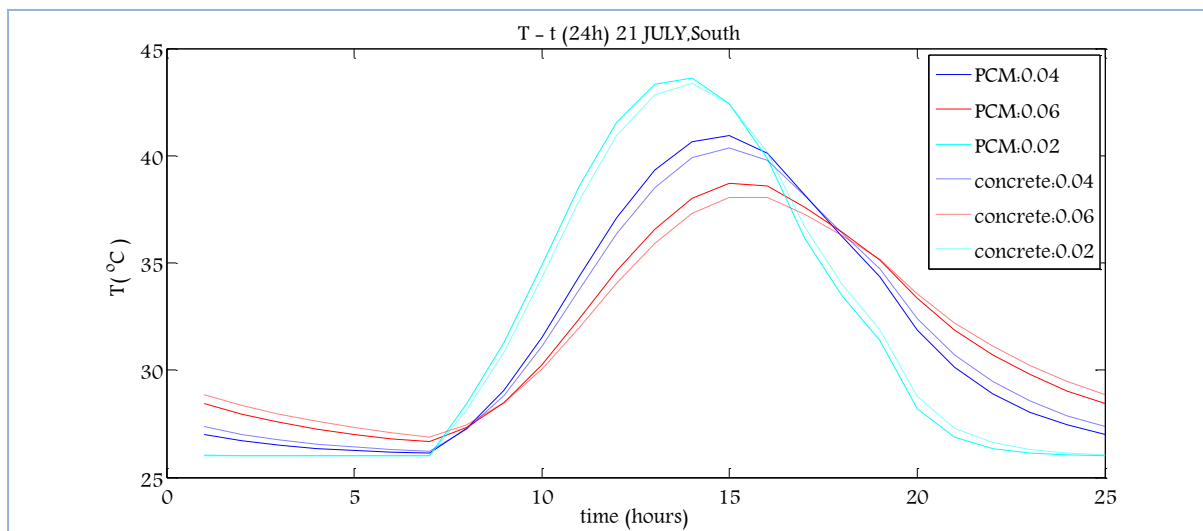


Διάγραμμα 5.2.2.1.6: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαΐου για ένα 24ωρο

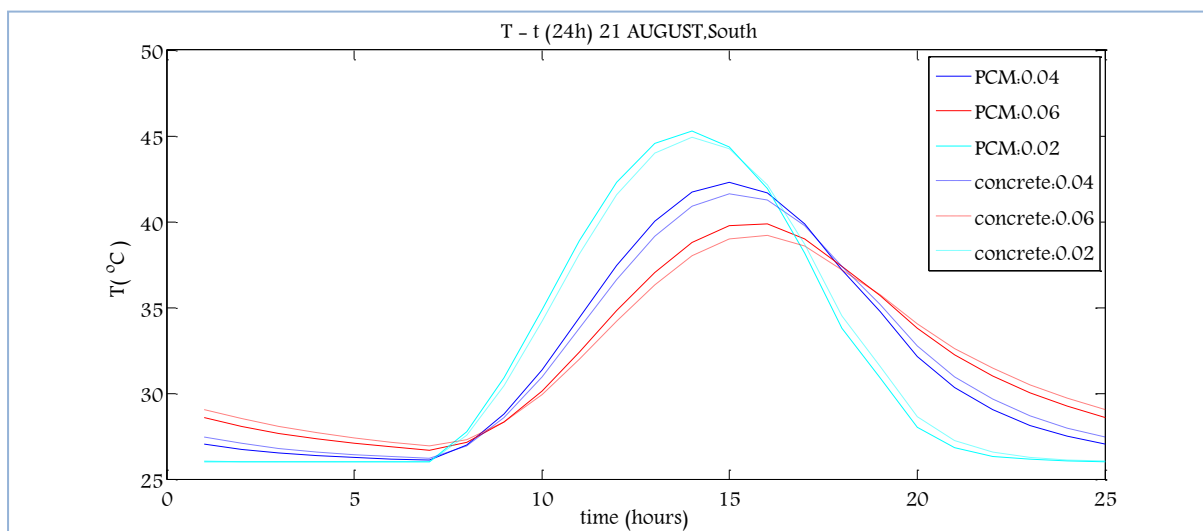


Διάγραμμα 5.2.2.1.7: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουνίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

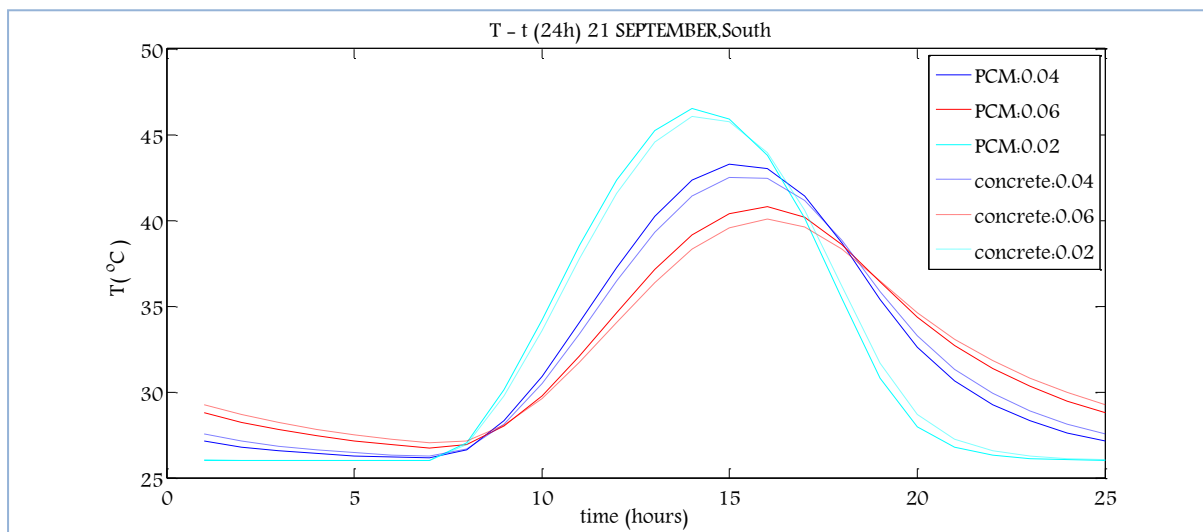


Διάγραμμα 5.2.2.1.8: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουλίου για ένα 24ωρο

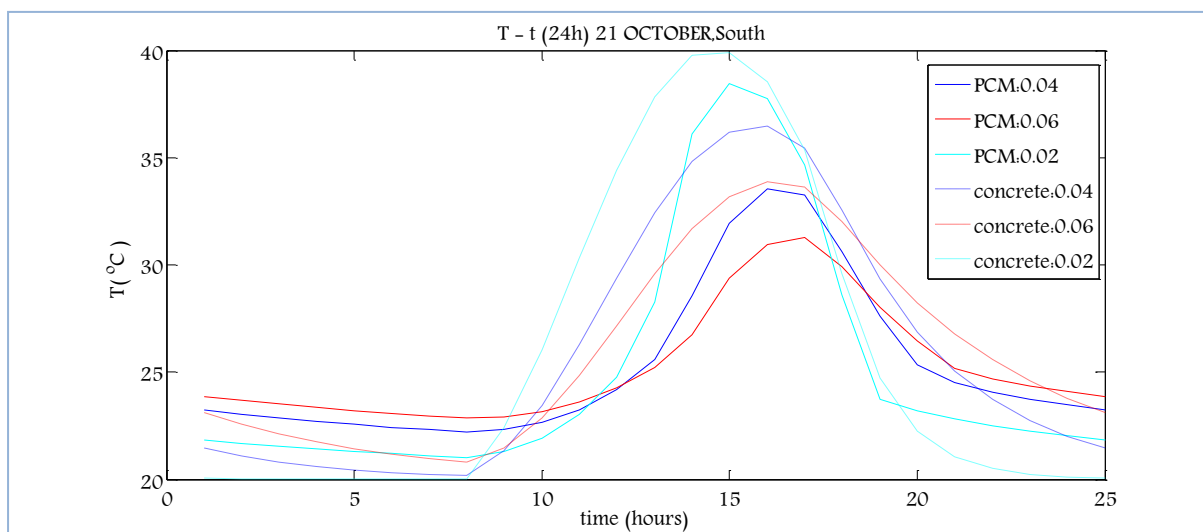


Διάγραμμα 5.2.2.1.9: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Αυγούστου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

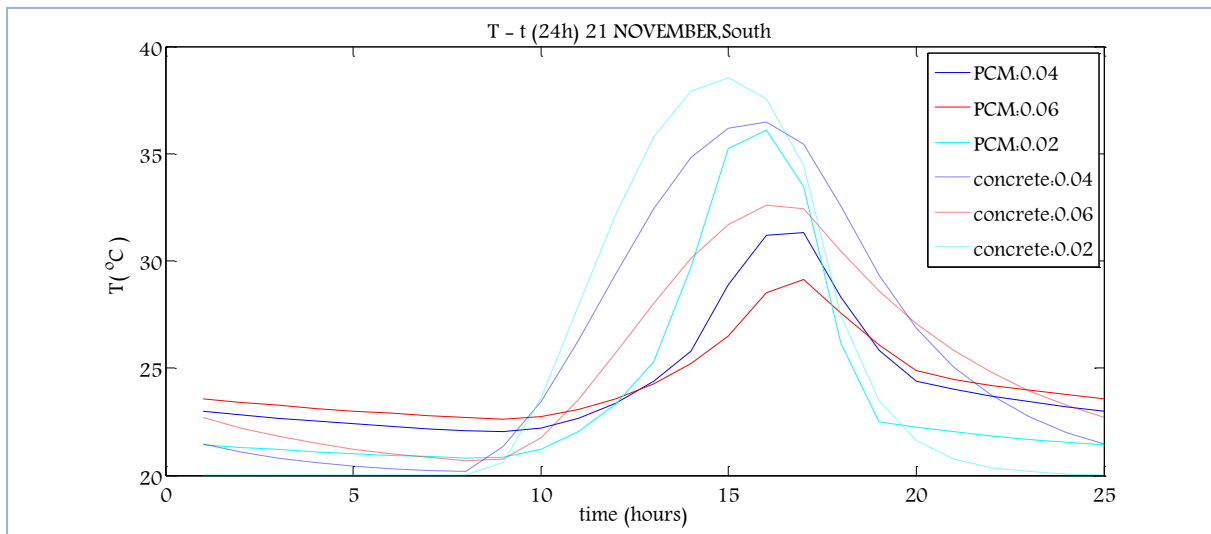


Διάγραμμα 5.2.2.1.10: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Σεπτεμβρίου για ένα 24ωρο

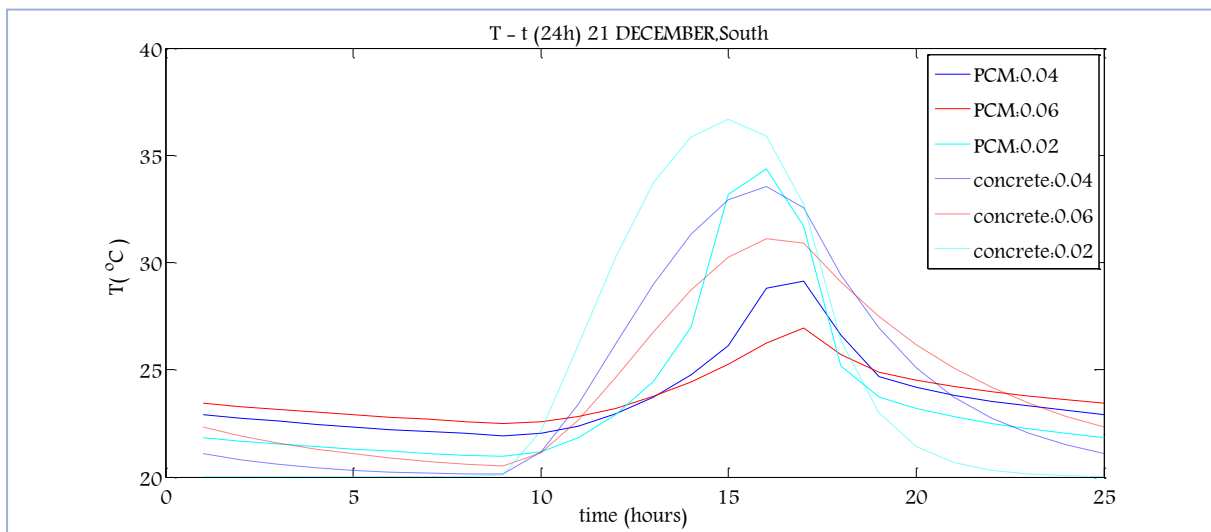


Διάγραμμα 5.2.2.1.11: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Οκτωβρίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)



Διάγραμμα 5.2.2.1.12: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Νοεμβρίου για ένα 24ωρο



Διάγραμμα 5.2.2.1.13: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Δεκεμβρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Το PCM και το μπετόν χρησιμοποιούν με διαφορετικό τρόπο την θερμότητα που λαμβάνουν κατά την διάρκεια της ημέρας και αποδίδουν διαφορετικά ποσά θερμότητας κατά την διάρκεια της νύχτας. Το PCM τόσο τους χειμερινούς όσο και τους θερινούς μήνες, από την θερμότητα που παίρνει κατά την διάρκεια της ημέρας, χρησιμοποιεί ένα μέρος της για να αλλάξει φάση. Όσον αφορά το μπετόν, παίρνει την ίδια θερμότητα κατά την διάρκεια της ημέρας και χρησιμοποιεί όλη την θερμότητα που δέχεται για αύξηση της θερμοκρασίας.

Λόγω της αλλαγής φάσης που υφίστανται το PCM, η μέγιστη θερμοκρασία που αναπτύσσει κατά την διάρκεια της ημέρας θα πρέπει να είναι χαμηλότερη από την μέγιστη θερμοκρασία που αναπτύσσει το αντίστοιχο μπετόν. Διαφορές πρέπει να παρατηρούνται και στις ελάχιστες θερμοκρασίες που αναπτύσσουν τα δύο υλικά. Κατά την διάρκεια της νύχτας και τα δυο υλικά χάνουν θερμότητα, αλλά η θερμοκρασία του μπετόν τη νύχτα θα πρέπει να είναι χαμηλότερη από την θερμοκρασία του αντίστοιχου PCM καθώς το μπετόν εξαντλείται περισσότερο λόγω του ότι έχει αποθηκεύσει λιγότερη θερμότητα κατά την διάρκεια της ημέρας.

Με βάση αυτές τις παρατηρήσεις και τα διαγράμματα μεταβολής της θερμοκρασίας (5.2.2.1.2 έως 5.2.2.1.13) θα γίνει ο έλεγχος της απόδοσης του PCM. Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο, το PCM χρησιμοποιεί μέρος της θερμότητας που παίρνει για να αλλάξει φάση. Εμφανίζει χαμηλότερες μέγιστες θερμοκρασίες κατά την διάρκεια της ημέρας και υψηλότερες ελάχιστες κατά την διάρκεια της νύχτας, δεν συμβαίνει το ίδιο όμως τους υπόλοιπους μήνες, δηλαδή τους μήνες από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο, στους οποίους ανεβάζει μεγαλύτερη θερμοκρασία από το αντίστοιχο στρώμα μπετόν και εμφανίζει χαμηλότερες ελάχιστες θερμοκρασίες.

Αυτό συμβαίνει διότι το εκάστοτε στρώμα PCM τους μήνες από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο αναπτύσσει θερμοκρασίες υψηλότερες από τους 26°C, που είναι η θερμοκρασία που το PCM βρίσκεται στην υγρή φάση, δεν αλλάζει δηλαδή φάση, αλλά συμπεριφέρεται ως σύνθετος δομικό υλικό και δεν ισχύει η αναφερθείσα σύγκριση με το μπετόν. Όσον αφορά τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο, το PCM αλλάζει φάση και αναπτύσσει θερμοκρασίες υψηλότερες της $T_c = 20,5^\circ\text{C}$, που είναι το μέσο του εύρους θερμοκρασιών υγρής και στερεάς φάσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

Μια άλλη παρατήρηση που αφορά στην επίδραση της μεταβολής του πάχους του στρώματος PCM στις θερμοκρασίες που αναπτύσσει, είναι ότι όσο πιο λεπτό είναι το στρώμα του PCM, όσο πιο μικρή είναι η μάζα του PCM, αναπτύσσονται σε αυτό μεγαλύτερες μέγιστες θερμοκρασίες . Αυτό μπορεί να αιτιολογηθεί και από την σχέση (5.2.2.1.1) , στην οποία είναι φανερό ότι καθώς μειώνεται η μάζα του PCM, αυξάνεται και η θερμοκρασία που αναπτύσσει. Μειωμένου του πάχους, αυξάνονται οι μέγιστες θερμοκρασίες που αναπτύσσει και μειώνονται οι ελάχιστες. Η μείωση στις ελάχιστες θερμοκρασίες οφείλεται στο ότι μειωμένου του πάχους του PCM, αποθηκεύεται σε αυτό λιγότερη θερμότητα κατά την διάρκεια της ημέρας και κατά συνέπεια εξαντλείται περισσότερο κατά την διάρκεια της νύχτας.

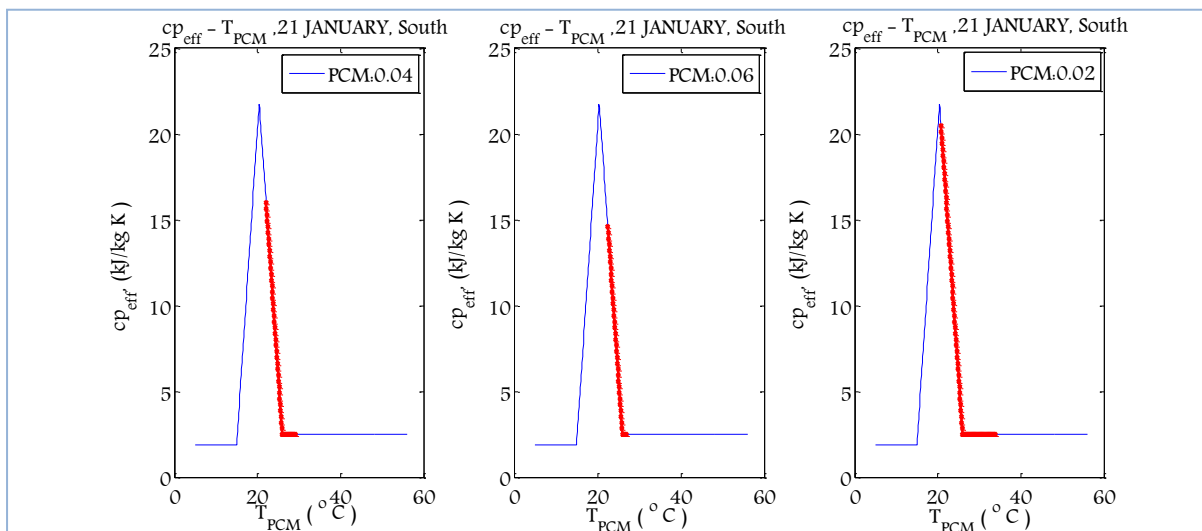
Τέλος, παρατηρώντας τα διαγράμματα, διαπιστώνουμε ότι το PCM λόγω της αλλαγής φάσης που υφίστανται εμφανίζει την μέγιστη θερμοκρασία του αργότερα από το μπετόν.

Ε. Έλεγχος της απόδοσης με βάση την καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας

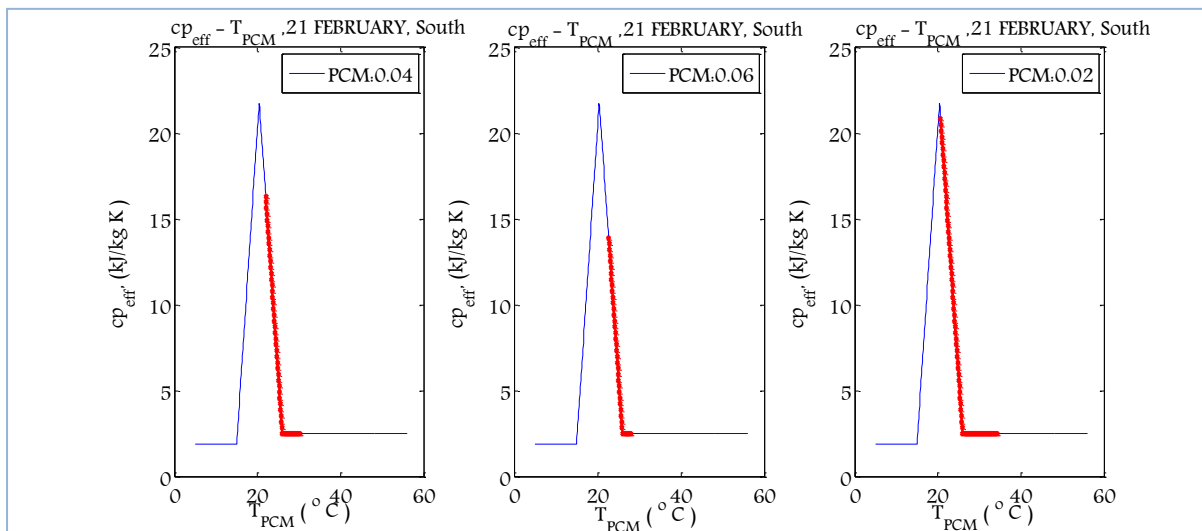
Προκειμένου το PCM να είναι αποδοτικό εκατό τοις εκατό θα πρέπει να καλύπτει το εύρος θερμοκρασιών της διφασικής περιοχής. Κάτι τέτοιο είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί διότι απαιτείται συνδυασμός παραμέτρων προκειμένου το PCM να είναι αποδοτικό εκατό τοις εκατό κάποιους μήνες του έτους πόσο μάλλον καθ' όλη την διάρκεια του έτους.

Λαμβάνοντας υπόψη το εύρος των θερμοκρασιών που αναπτύσσει το επιλεγμένο PCM και τις αντίστοιχες τιμές της ενεργού θερμοχωρητικότητας απεικονίζεται στα διαγράμματα που ακολουθούν το τμήμα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας που καταλαμβάνει το PCM, ανάλογα με το εξεταζόμενο πάχος, την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους. Αυτό γίνεται με σκοπό να επιβεβαιωθεί και από τα διαγράμματα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας ότι το εξεταζόμενο PCM τους μήνες από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο δεν εισέρχεται στην διφασική περιοχή, δεν αλλάζει δηλαδή φάση, και ότι καθώς αυξάνεται το πάχος του στρώματος PCM, το PCM αναπτύσσει υψηλότερες μέγιστες θερμοκρασίες και χαμηλότερες ελάχιστες, καταλαμβάνει δηλαδή μεγαλύτερο τμήμα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας.

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ**

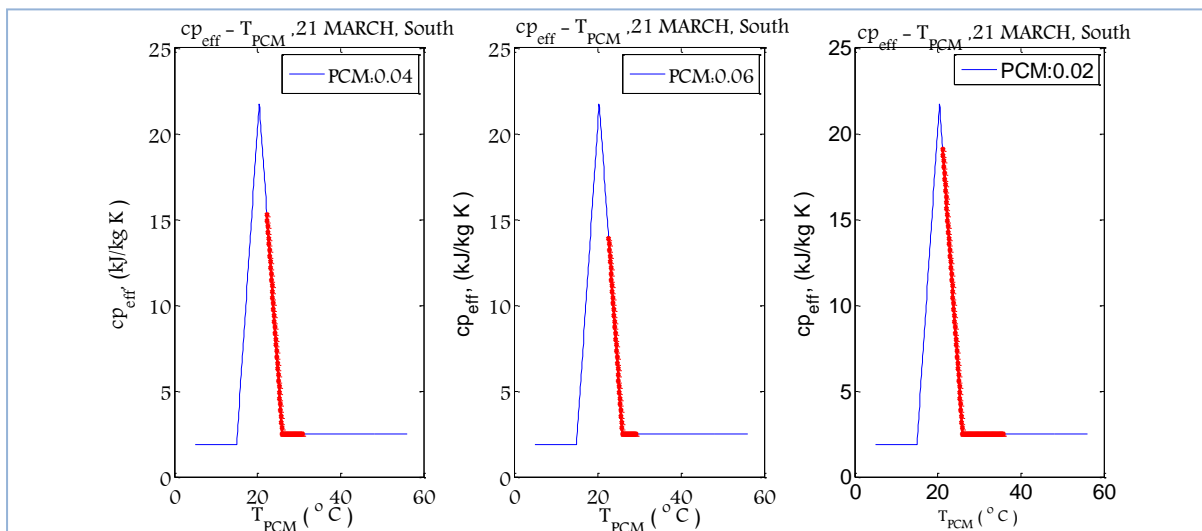


Διάγραμμα 5.2.2.1.14: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Ιανουαρίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

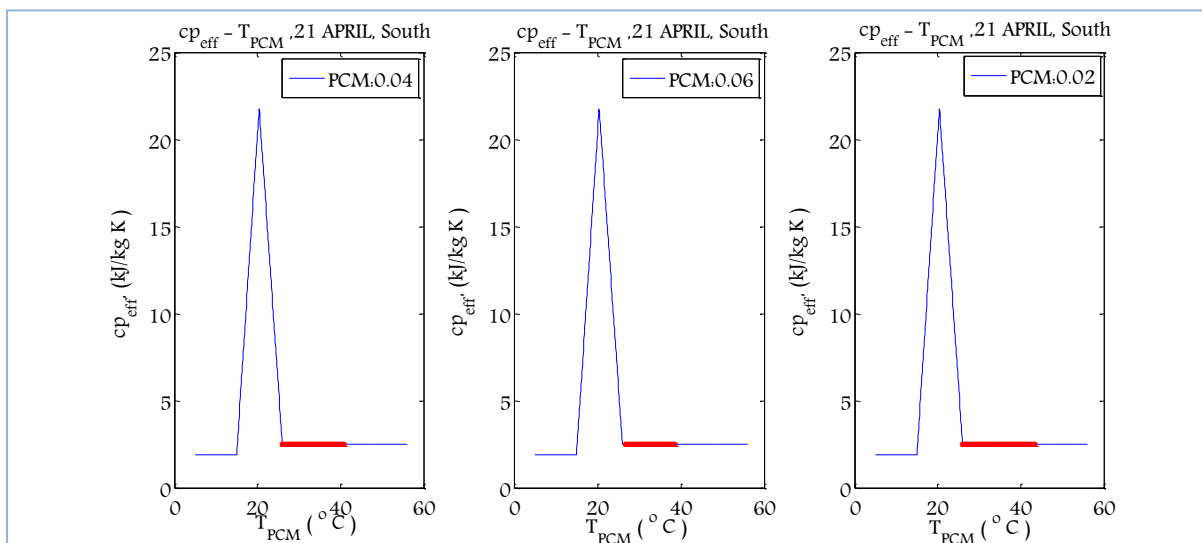


Διάγραμμα 5.2.2.1.15: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Φεβρουαρίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

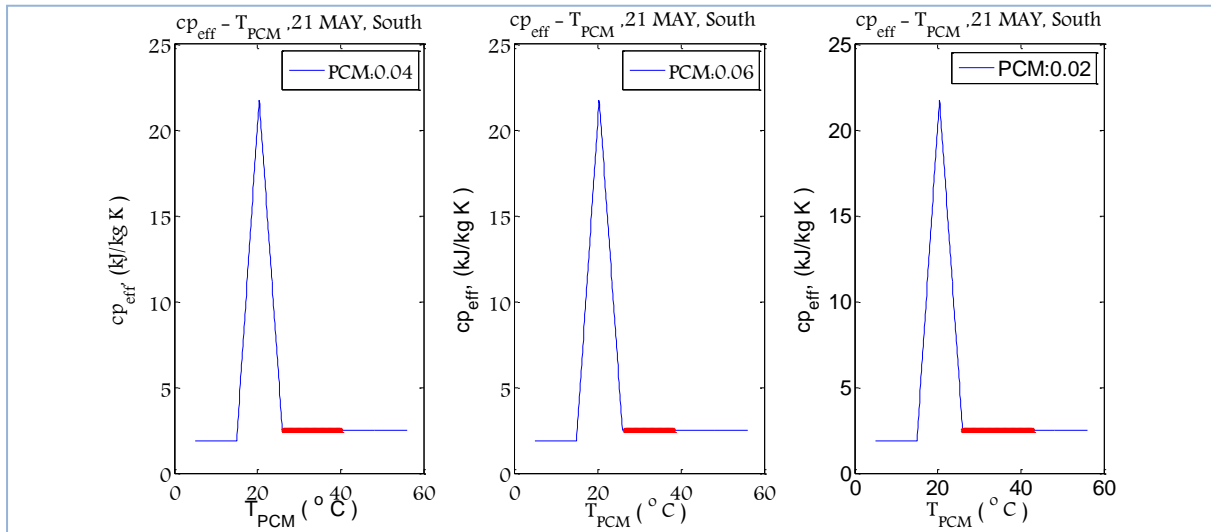


Διάγραμμα 5.2.2.1.16: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Μαρτίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

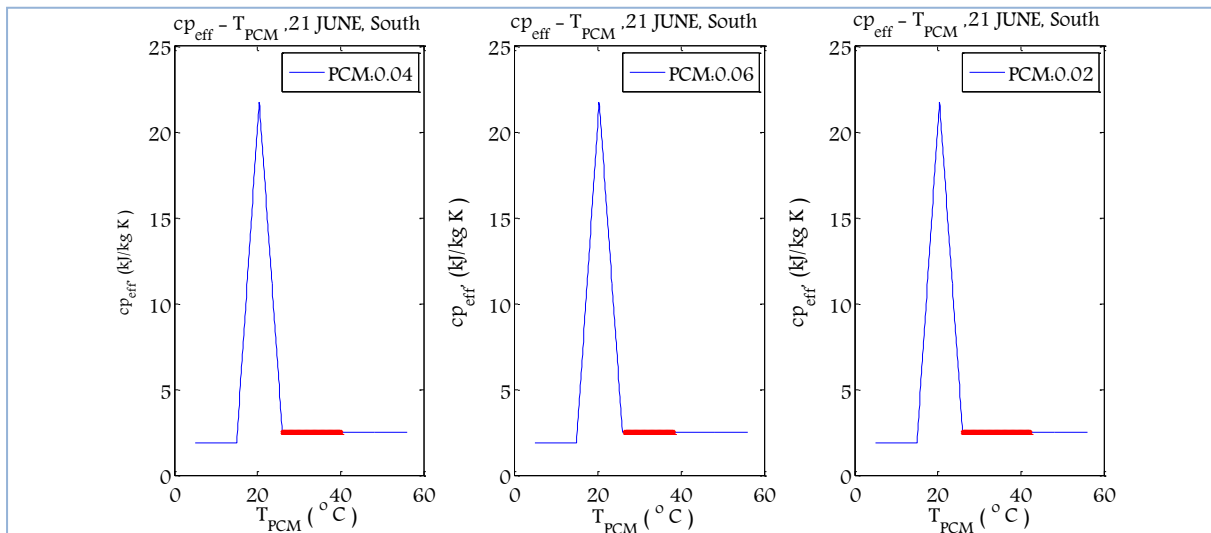


Διάγραμμα 5.2.2.1.17: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Απριλίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ**

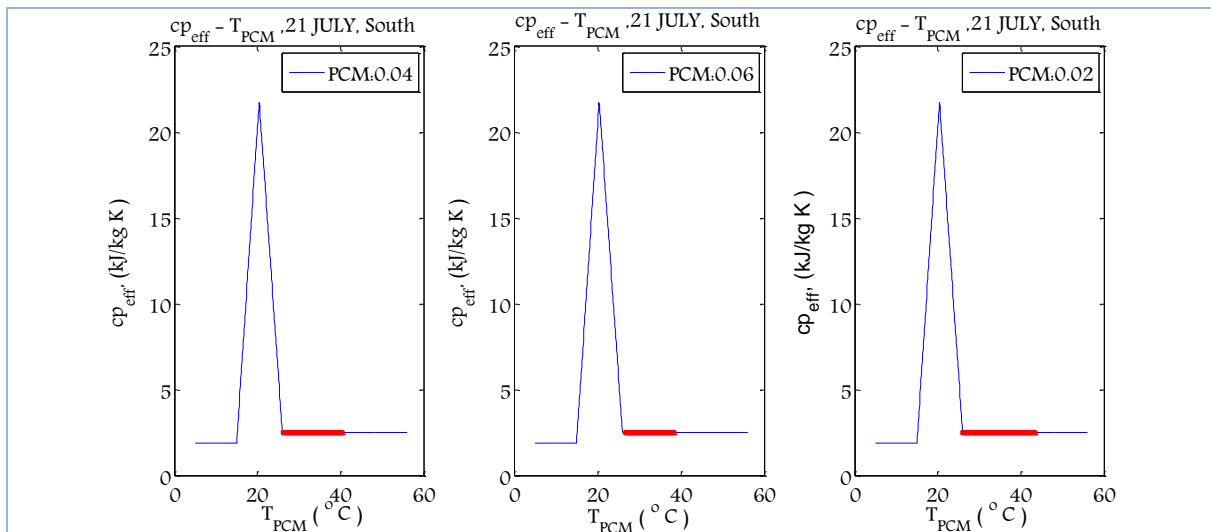


Διάγραμμα 5.2.2.1.18: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Μαΐου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

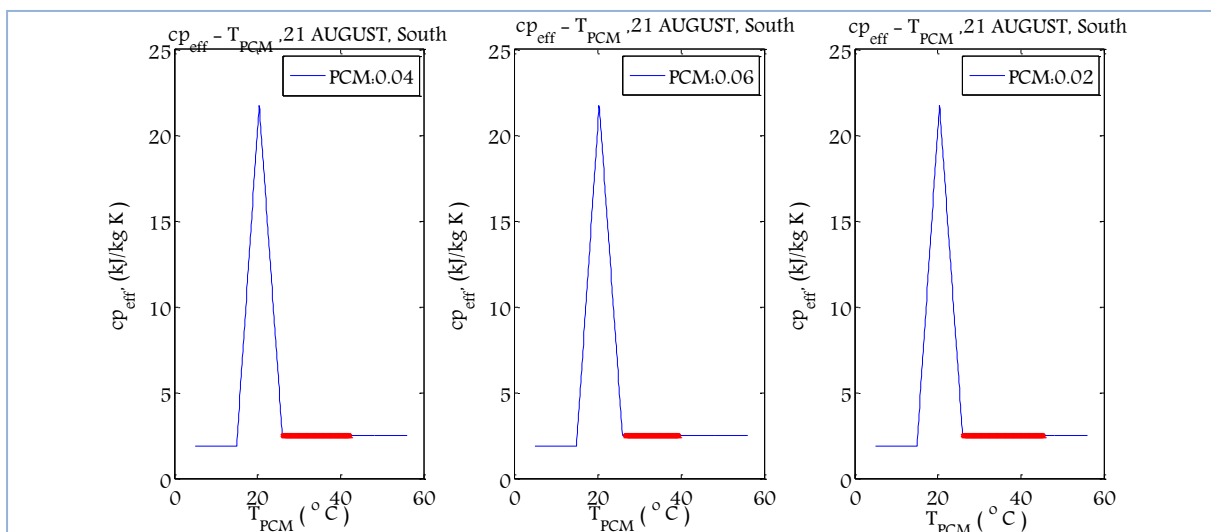


Διάγραμμα 5.2.2.1.19: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Ιουνίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

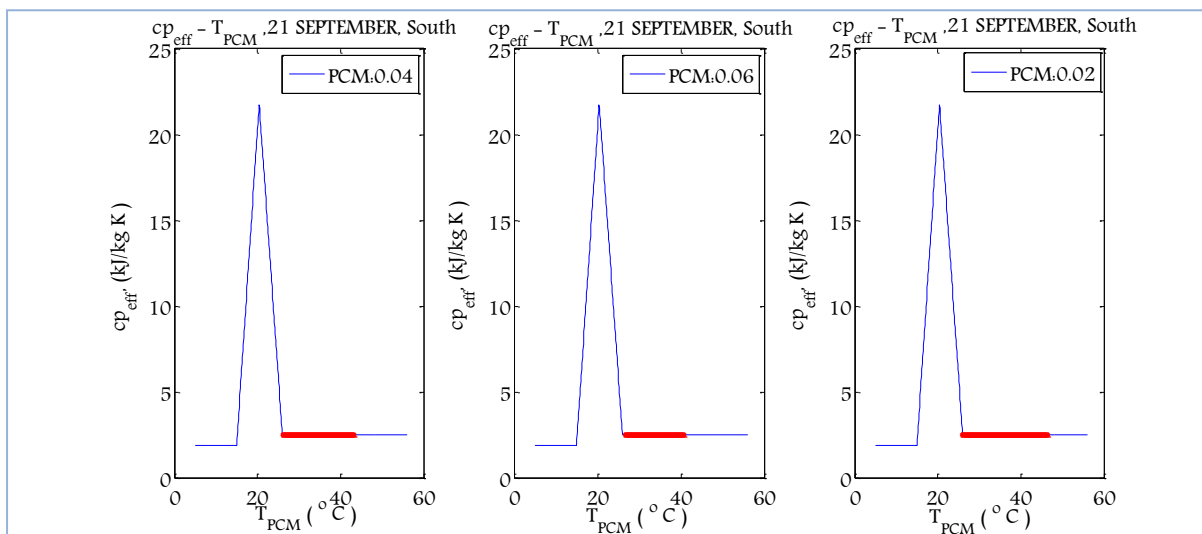


Διάγραμμα 5.2.2.1.20: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Ιουλίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

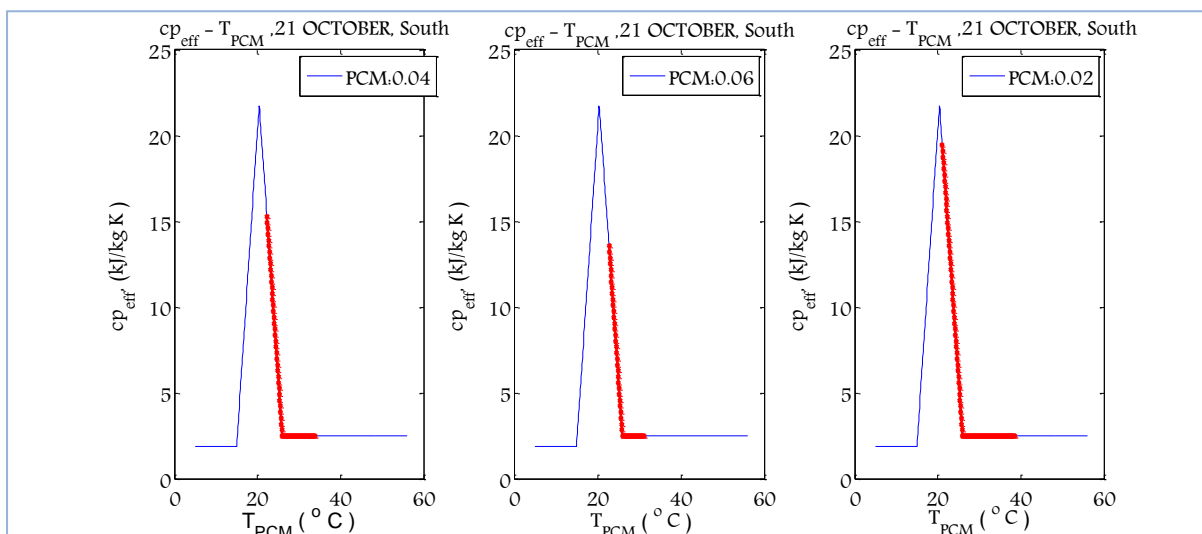


Διάγραμμα 5.2.2.1.21: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Αυγούστου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

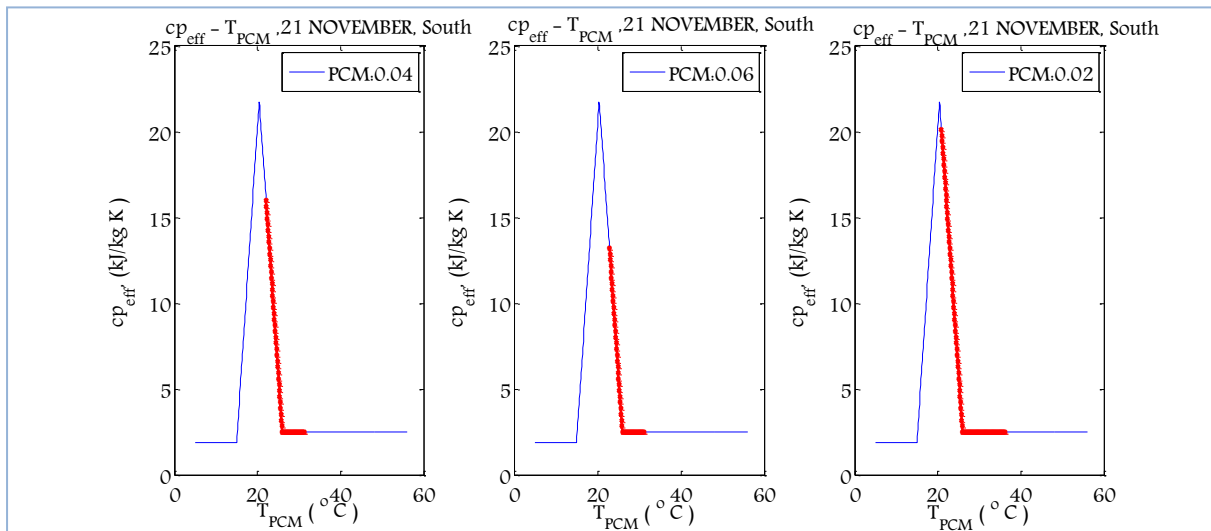


Διάγραμμα 5.2.2.1.22: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Σεπτεμβρίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

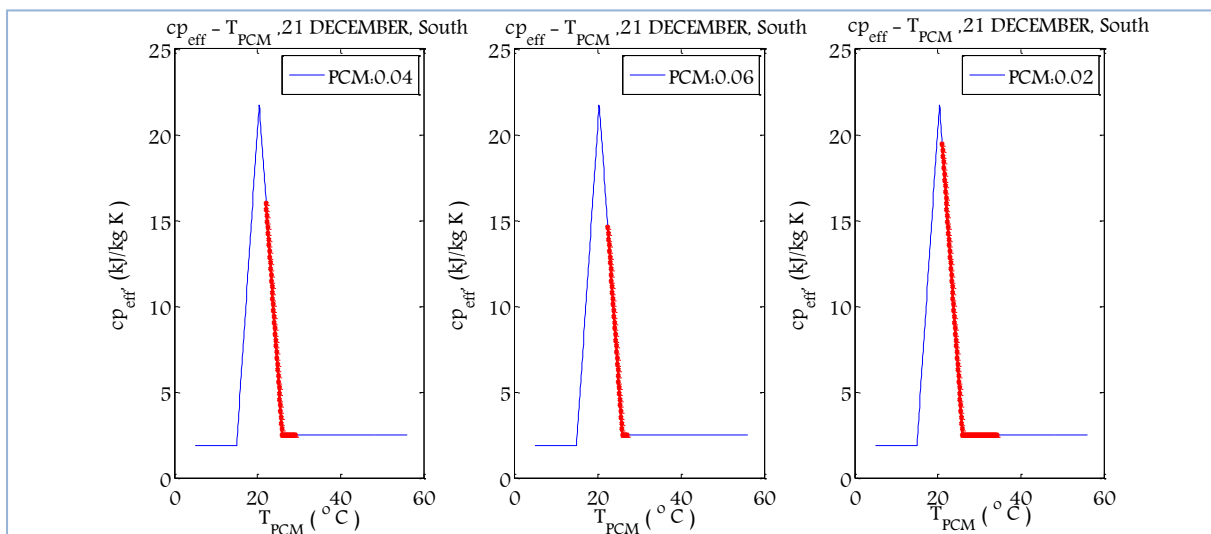


Διάγραμμα 5.2.2.1.23: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Οκτωβρίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)



Διάγραμμα 5.2.2.1.24: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Νοεμβρίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM



Διάγραμμα 5.2.2.1.25: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Φεβρουαρίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Από τα παραπάνω διαγράμματα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας επιβεβαιώνεται η μη αποδοτικότητα του PCM τους μήνες από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβρη καθώς το PCM δεν καταλαμβάνει μέρος της διφασικής περιοχής αλλά αναπτύσσει θερμοκρασίες στην υγρή περιοχή. Με λίγα λόγια δεν αλλάζει φάση, συμπεριφέρεται δηλαδή σαν σύνηθες δομικό υλικό.

Επιπλέον, από τα παραπάνω διαγράμματα επιβεβαιώνεται ότι όσο μικρότερο είναι το πάχος του στρώματος PCM, το PCM καταλαμβάνει μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών, δηλαδή καταλαμβάνει μεγαλύτερο τμήμα στην καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι το εμβαδό κάτω από την καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας μας δίνει την θερμότητα που αποθηκεύεται στο PCM μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι όσο μεγαλύτερο είναι το τμήμα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας που καταλαμβάνει το PCM, αποθηκεύεται σε αυτό περισσότερη θερμότητα. Συνεπώς, μειωμένου του πάχους του στρώματος PCM αυξάνεται η θερμότητα που αποθηκεύεται σε αυτό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

F. ΒΑΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΙ ΣΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ

Προκειμένου να έχουμε ένα ποσοτικό έλεγχο της απόδοσης του PCM για την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους, για όλα τα εξεταζόμενα πάχη, κρίθηκε αναγκαίος ο υπολογισμός του βαθμού χρησιμοποίησης του PCM, ο οποίος δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\eta = \frac{A_{\text{προσιδόμενο}}}{A_{\text{theoretical}}} \quad (5.2.2.1.3)$$

$A_{\text{προσιδόμενο}}$: είναι η θερμότητα που αποθηκεύει το PCM, η οποία υπολογίζεται από το εμβαδόν του τμήματος της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας που καταλαμβάνει το PCM. Για τον υπολογισμό λαμβάνονται υπόψη οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM και οι αντίστοιχες τιμές της ενεργού θερμοχωρητικότητας.

$A_{\text{theoretical}}$: η θερμότητα αλλαγής φάσης

$A_{\text{theoretical}} = H = 132,1\text{kJ/kg}$, (Πίνακας 5.2.2.1.1)

Πίνακας 5.2.2.1.2: Η θερμότητα που αποθηκεύει το εκάστοτε στρώμα πάχους PCM και ο βαθμός χρησιμοποίησης του

| 21 ^η ημέρα μήνα | Πάχος PCM:0.04 m | | | | Πάχος PCM:0.06 m | | | | Πάχος PCM:0.02 m | | | |
|----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------------|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------------|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------------|----------|
| | $T_{PCM, \max}$ (°C) | $T_{PCM, \min}$ (°C) | $A_{\text{προσιδόμενο}}$ (KJ/kg) | $\eta\%$ | $T_{PCM, \max}$ (°C) | $T_{PCM, \min}$ (°C) | $A_{\text{προσιδόμενο}}$ (KJ/kg) | $\eta\%$ | $T_{PCM, \max}$ (°C) | $T_{PCM, \min}$ (°C) | $A_{\text{προσιδόμενο}}$ (KJ/kg) | $\eta\%$ |
| ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ | 29,06 | 21,95 | 46,07 | 34,88 | 26,92 | 22,53 | 31,81 | 24,08 | 33,79 | 20,99 | 75,44 | 57,11 |
| ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ | 30,17 | 22,06 | 47,04 | 35,61 | 28,44 | 22,69 | 33,34 | 25,24 | 34,41 | 20,91 | 78,52 | 59,44 |
| ΜΑΡΤΙΟΣ | 31,24 | 22,20 | 47,52 | 35,97 | 29,54 | 22,84 | 34,02 | 25,75 | 35,82 | 21,13 | 77,75 | 58,86 |
| ΑΠΡΙΛΙΟΣ | 40,88 | 26,11 | 36,92 | 27,95 | 38,62 | 26,62 | 30,00 | 22,71 | 43,55 | 26 | 43,88 | 33,21 |
| ΜΑΪΟΣ | 40,35 | 26,12 | 35,58 | 26,93 | 38,22 | 26,62 | 29 | 21,95 | 42,93 | 26 | 42,33 | 32,04 |
| ΙΟΥΝΙΟΣ | 40,18 | 26,12 | 35,15 | 26,61 | 38,14 | 26,63 | 28,78 | 21,78 | 42,71 | 26 | 41,78 | 31,62 |
| ΙΟΥΛΙΟΣ | 40,93 | 26,12 | 37,02 | 28,03 | 38,72 | 26,65 | 30,18 | 22,84 | 43,62 | 26 | 44,05 | 33,35 |
| ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ | 42,31 | 26,13 | 40,45 | 30,62 | 39,85 | 26,69 | 32,90 | 24,91 | 45,28 | 26 | 48,20 | 36,49 |
| ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ | 43,28 | 26,14 | 42,85 | 32,44 | 40,79 | 26,74 | 35,13 | 26,59 | 46,5 | 26 | 51,25 | 38,80 |
| ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ | 33,54 | 22,20 | 53,35 | 40,38 | 31,26 | 22,85 | 38,21 | 28,92 | 38,44 | 21,01 | 86,54 | 65,51 |
| ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ | 31,34 | 22,03 | 50,54 | 38,26 | 29,14 | 22,63 | 35,92 | 27,19 | 36,11 | 20,81 | 84,80 | 64,20 |
| ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ | 29,13 | 21,94 | 46,50 | 35,20 | 26,95 | 22,51 | 32,14 | 24,33 | 34,38 | 20,96 | 77,50 | 58,67 |

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε από τον παραπάνω πίνακα τους χειμερινούς μήνες το PCM αποθηκεύει περισσότερη θερμότητα και συνεπώς εμφανίζει υψηλότερες τιμές όσον αφορά τον βαθμό χρησιμοποίησης του. Παρόλο που αναπτύσσει μικρότερα εύρη θερμοκρασιών, τους χειμερινούς μήνες, αποθηκεύει λιγότερη θερμότητα. Αυτό είναι λογικό καθώς τους μήνες Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο το PCM βρίσκεται στην υγρή φάση, το εμβαδόν δηλαδή κάτω από την καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας είναι μικρότερο από το εμβαδόν των υπόλοιπων μηνών στους οποίους εισέρχεται στην διφασική περιοχή.

Από τον παραπάνω πίνακα επιβεβαιώνεται επίσης, ότι μειωμένου του πάχους του στρώματος PCM αυξάνεται η θερμότητα που αποθηκεύεται σε αυτό και κατά συνέπεια ο βαθμός χρησιμοποίησης του.

5.2.2.2 Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα ανατολικού προσανατολισμού

A. Υπολογισμός προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για την 21^η ημέρα κάθε μήνα καθώς επίσης και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της έχουν παρουσιαστεί στην ενότητα 5.1. Στην προκείμενη παραμετρική μελέτη λαμβάνονται υπόψη οι τιμές της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου που έχουν υπολογιστεί για ανατολικό προσανατολισμό.

B. Επιλογή PCM

Τα χαρακτηριστικά του PCM και του μπετόν έχουν δοθεί στον Πίνακα 5.2.2.1.1

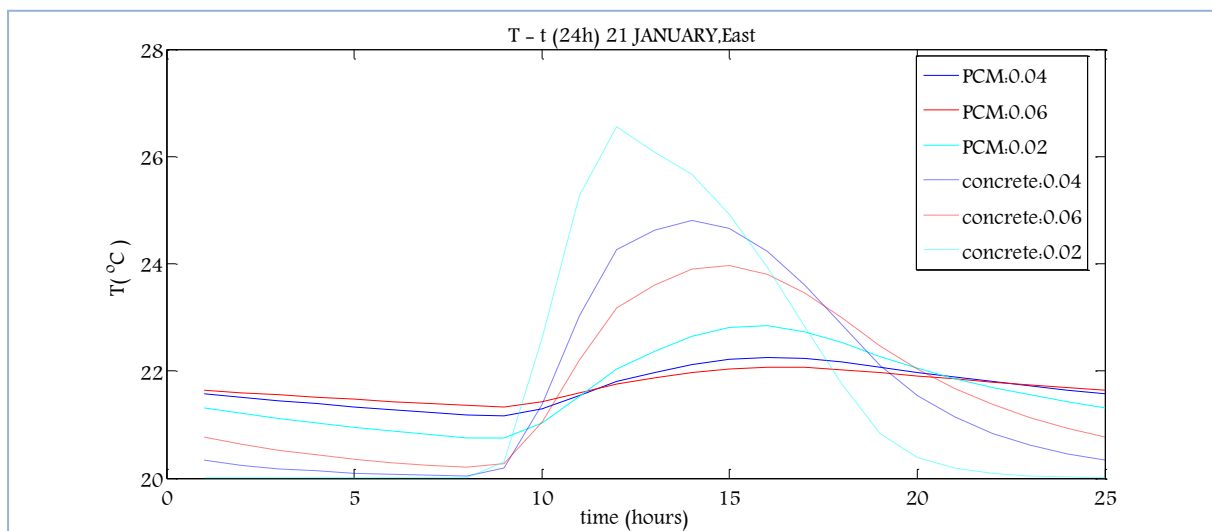
C. Προσομοίωση της αλλαγής φάσης

Για την προσομοίωση της αλλαγής φάσης, επιλέγεται η τριγωνική μορφή της μεθόδου της ενεργού θερμοχωρητικότητας, η οποία έχει περιγραφεί στην ενότητα 5.2.1 και η μορφή της καμπύλης έχει απεικονιστεί στο Διάγραμμα 5.2.2.1.1.

D. Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν

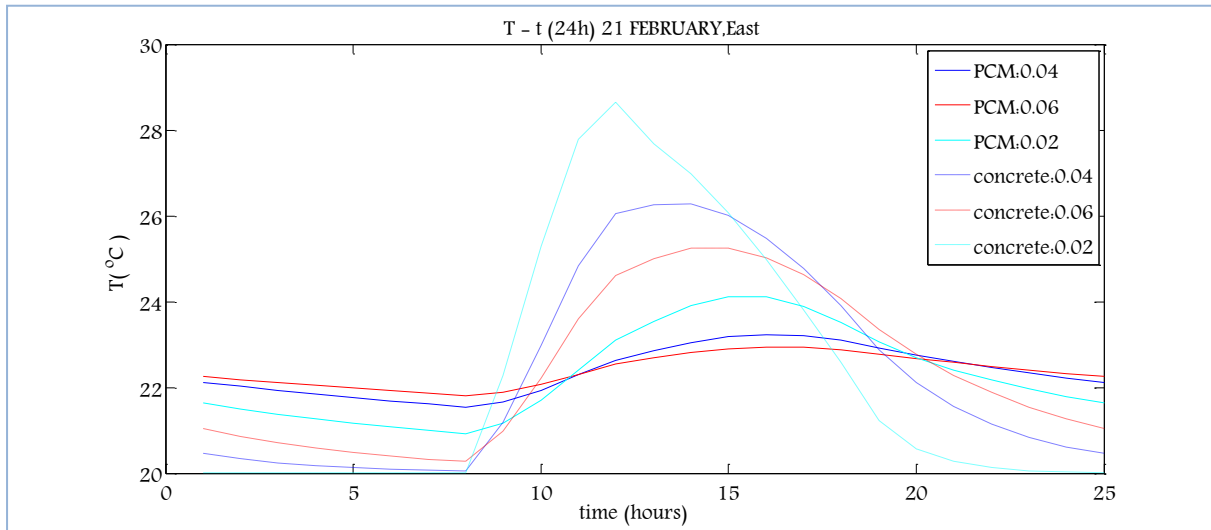
Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο μπετόν, την 21^η μέρα κάθε μήνα υπολογίζονται από τις σχέσεις (5.2.2.1.1) και (5.2.2.1.2) αντίστοιχα. Για την εύρεση της κατανομής της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο μπετόν ακολουθείται η επαναληπτική διαδικασία η οποία παρουσιάστηκε στην ενότητα (5.2.2.1-D Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν).

Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM και του αντίστοιχου στρώματος μπετόν, συναρτήσει της ώρας για όλο το 24ωρο την 21^η μέρα κάθε μήνα ,για όλα τα εξεταζόμενα πάχη στρώματος PCM και μπετόν που επιλέχθηκαν. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στα διαγράμματα έχουν δοθεί οι τιμές των εξεταζόμενων παχών σε m.

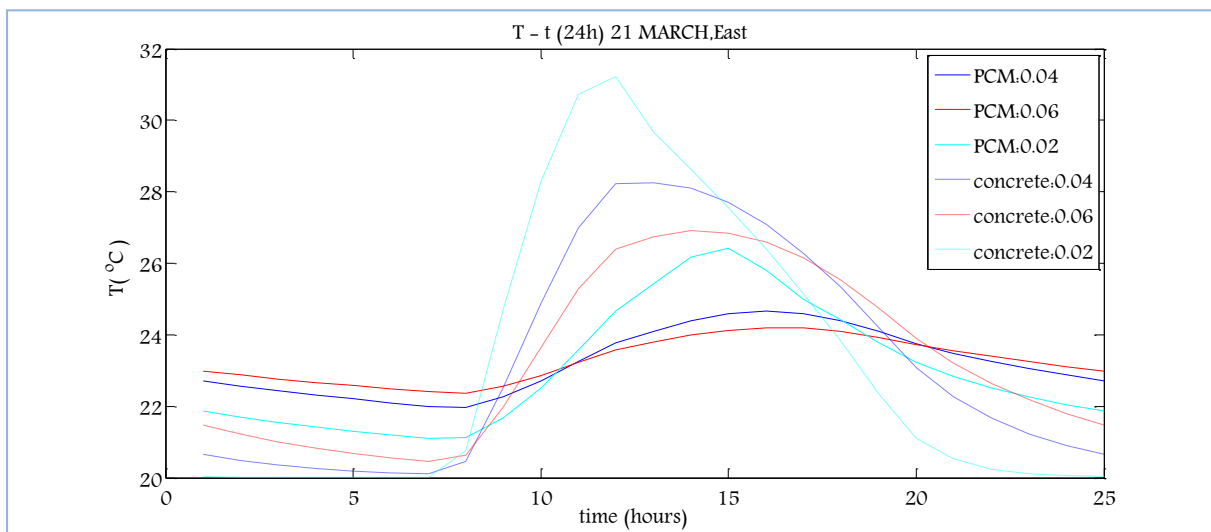


Διάγραμμα 5.2.2.2.1: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιανουαρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

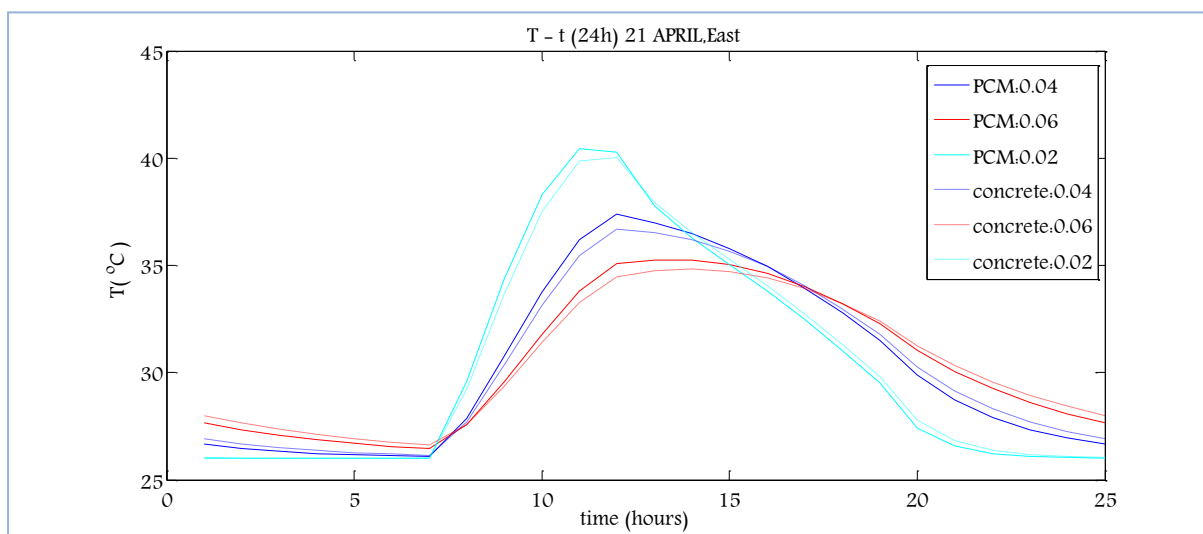


Διάγραμμα 5.2.2.2.2: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{\text{μπετόν}}$, την 21^η Φεβρουαρίου για ένα 24ωρο

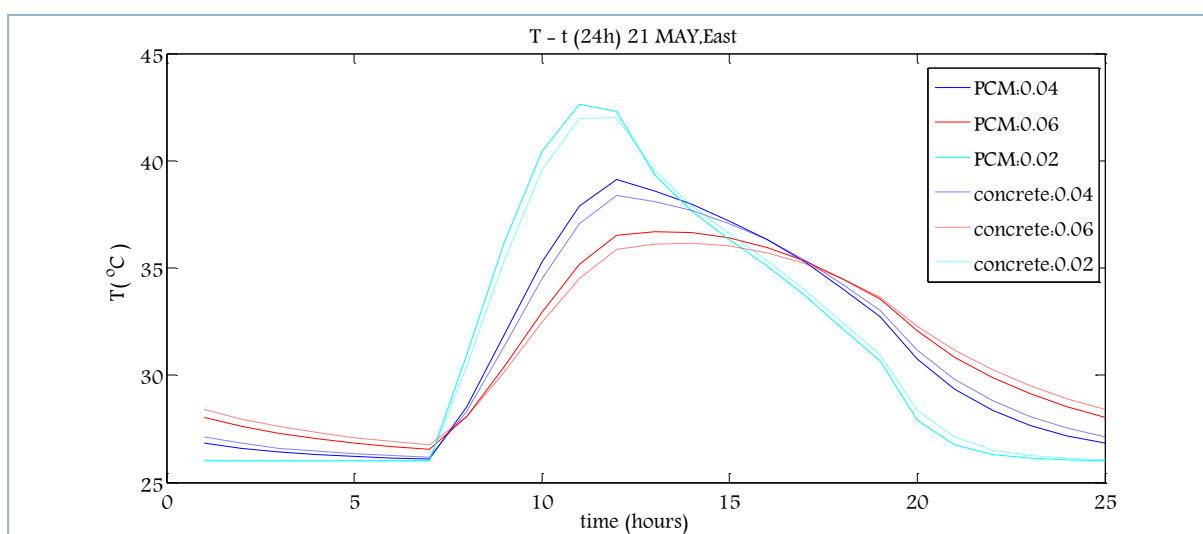


Διάγραμμα 5.2.2.2.3: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{\text{μπετόν}}$, την 21^η Μαρτίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

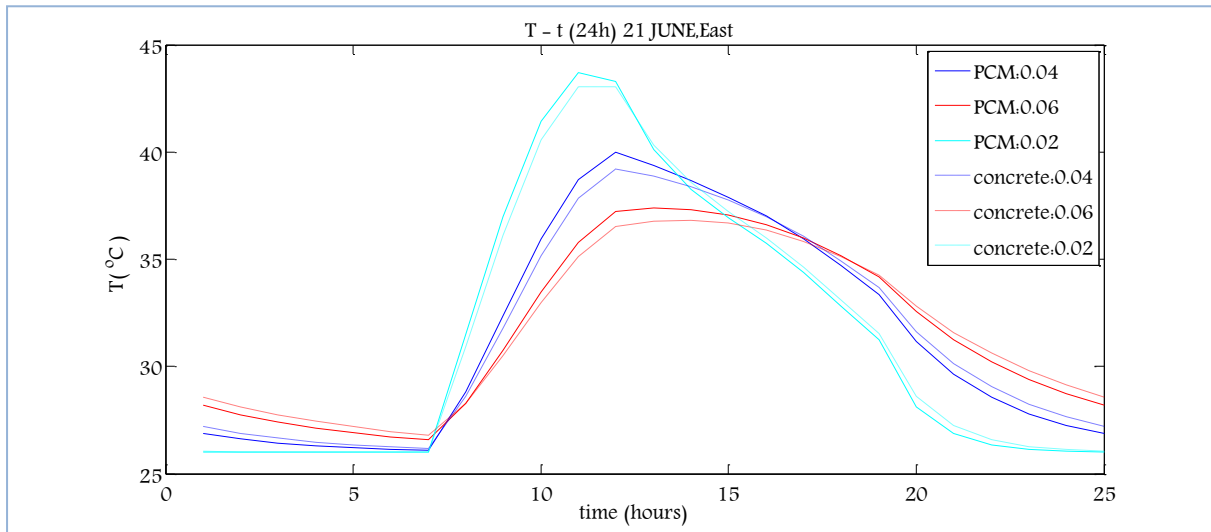


Διάγραμμα 5.2.2.2.4: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Απριλίου για ένα 24ωρο

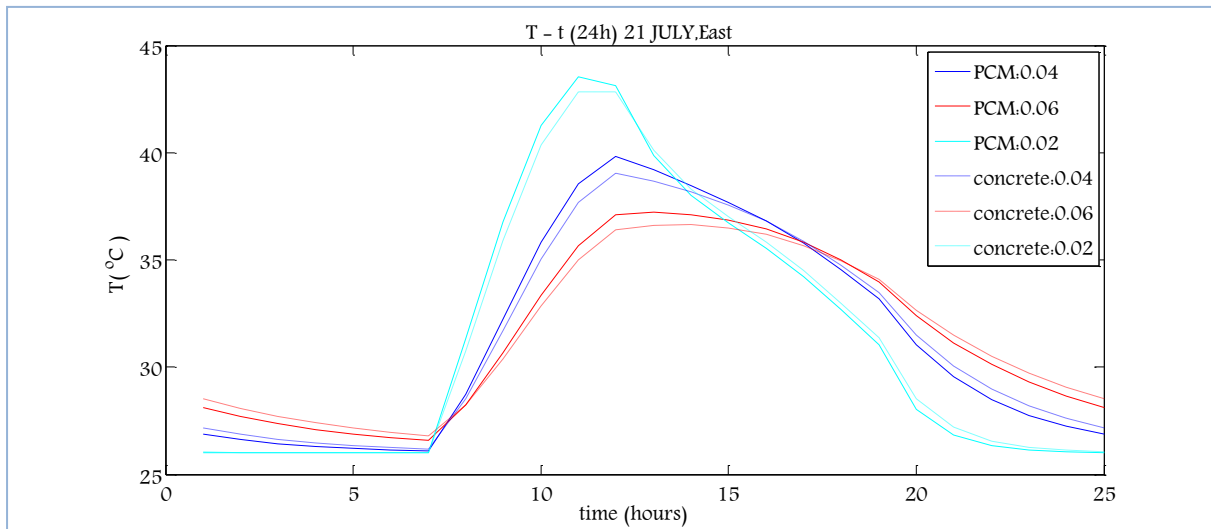


Διάγραμμα 5.2.2.2.5: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαΐου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

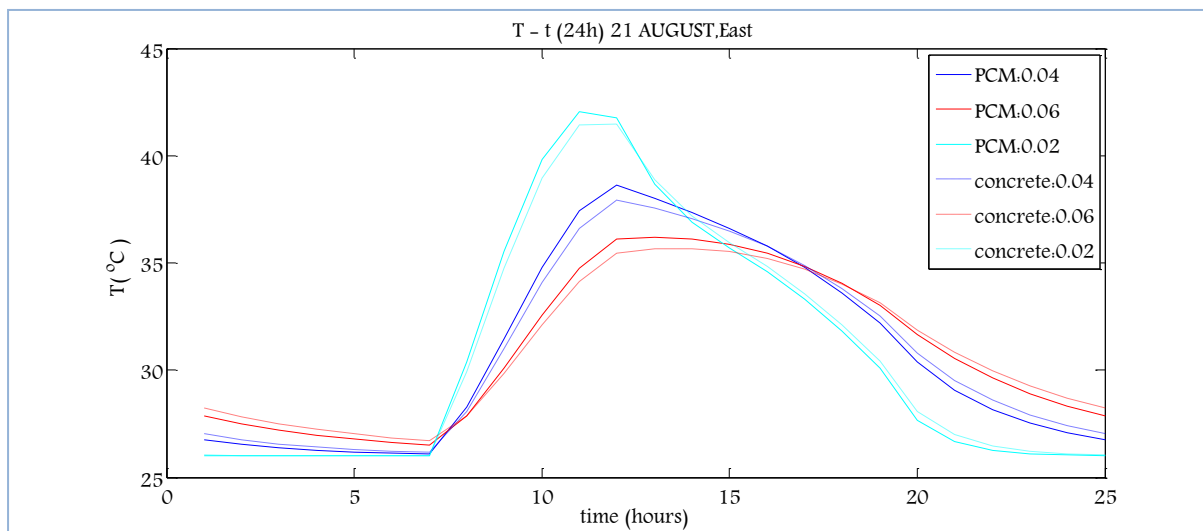


Διάγραμμα 5.2.2.2.6: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουνίου για ένα 24ωρο

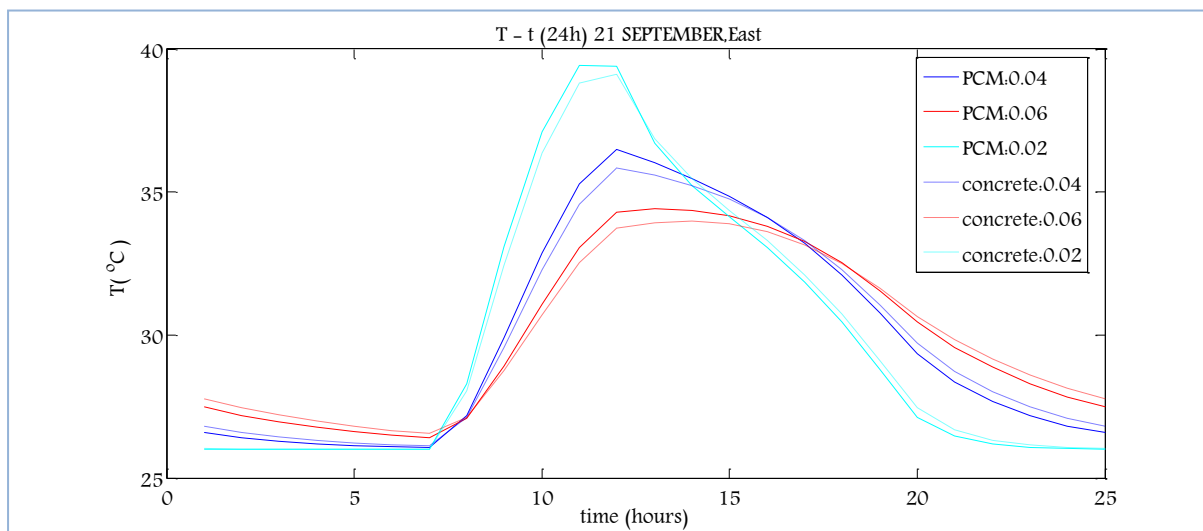


Διάγραμμα 5.2.2.2.7: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουλίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

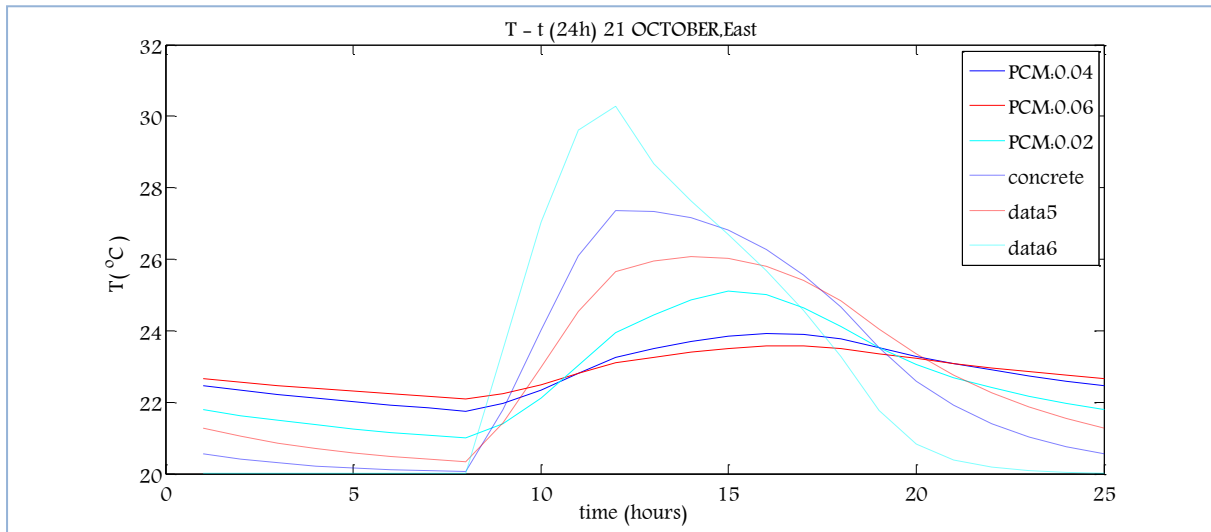


Διάγραμμα 5.2.2.2.8: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Αυγούστου για ένα 24ωρο

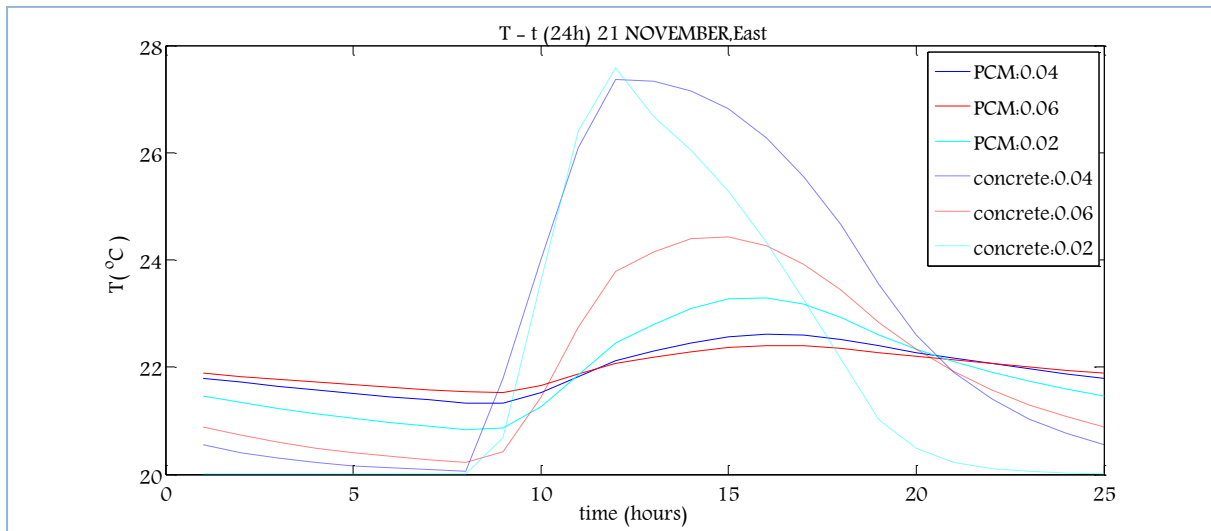


Διάγραμμα 5.2.2.2.9: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Σεπτεμβρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

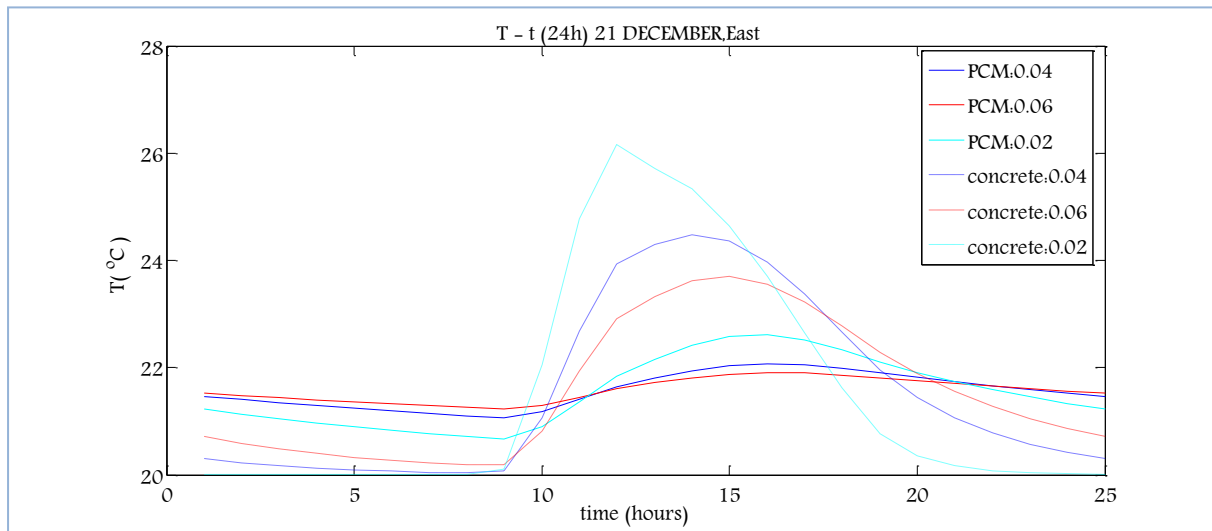


Διάγραμμα 5.2.2.2.10: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Οκτωβρίου για ένα 24ωρο



Διάγραμμα 5.2.2.2.11: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Νοεμβρίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)



Διάγραμμα 5.2.2.2.12: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Δεκεμβρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Με βάση τις παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στην υποενότητα (5.2.2.1-D υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν), οι οποίες αφορούσαν στις διαφορές που πρέπει να υπάρχουν στην κατανομή της θερμοκρασίας μεταξύ PCM και αντίστοιχου στρώματος μπετόν και τα διαγράμματα μεταβολής της θερμοκρασίας (5.2.2.2.1 έως 5.2.2.2.12) θα γίνει ο έλεγχος της απόδοσης του PCM.

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο, το PCM χρησιμοποιεί μέρος της θερμότητας που παίρνει για να αλλάξει φάση. Σε σύγκριση με το μπετόν, εμφανίζει χαμηλότερες μέγιστες θερμοκρασίες κατά την διάρκεια της ημέρας και υψηλότερες ελάχιστες κατά την διάρκεια της νύχτας, δεν συμβαίνει το ίδιο όμως τους υπόλοιπους μήνες δηλαδή τους μήνες από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο, στους οποίους ανεβάζει μεγαλύτερη θερμοκρασία από το αντίστοιχο στρώμα μπετόν και χαμηλότερες ελάχιστες.

Αυτό συμβαίνει διότι το εκάστοτε στρώμα PCM τους μήνες από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο αναπτύσσει θερμοκρασίες υψηλότερες από τους 26°C, που είναι η θερμοκρασία που το PCM βρίσκεται στην υγρή φάση, δεν αλλάζει δηλαδή φάση αλλά συμπεριφέρεται ως σύνηθες δομικό υλικό και δεν ισχύει η

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

αναφερθείσα σύγκριση με το μπετόν. Όσον αφορά τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο, το PCM αλλάζει φάση και αναπτύσσει θερμοκρασίες υψηλότερες της $T_c = 20,5^{\circ}\text{C}$, που είναι το μέσο του εύρους θερμοκρασιών υγρής και στερεάς φάσης.

Επιπλέον, όπως ήταν αναμενόμενο αναπτύσσει χαμηλότερες θερμοκρασίες από την περίπτωση νοτίου προσανατολισμού. Αυτό αιτιολογείται από το γεγονός ότι οι τιμές της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας για ανατολικό προσανατολισμό είναι χαμηλότερες από τις αντίστοιχες για νότιο προσανατολισμό.

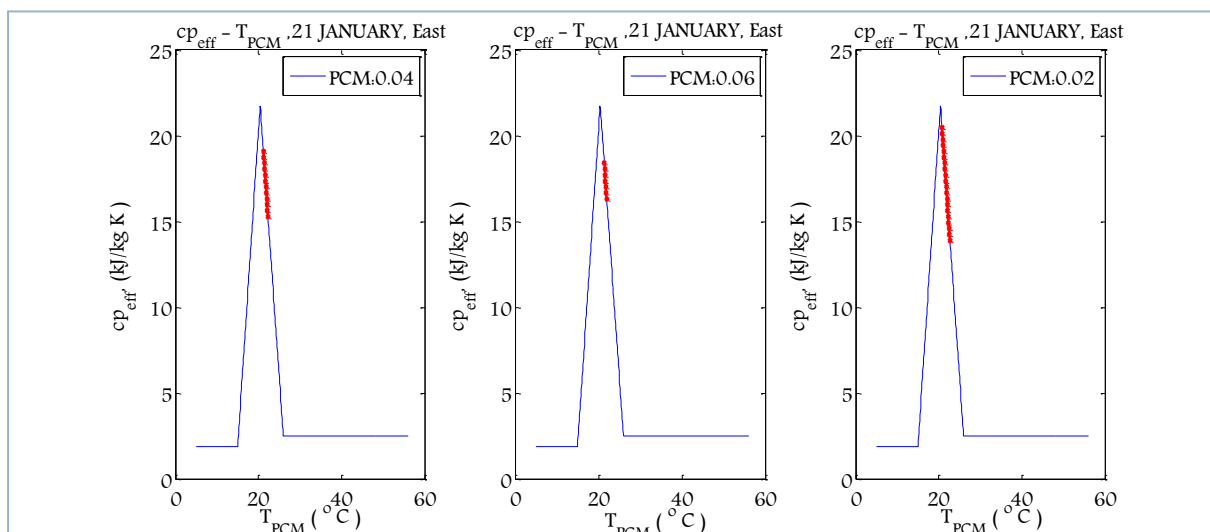
Μια άλλη παρατήρηση αφορά στην ώρα εμφάνισης των μεγίστων. Στην περίπτωση ανατολικού προσανατολισμού οι μέγιστες θερμοκρασίες εμφανίζονται νωρίτερα σε σχέση με την περίπτωση νοτίου προσανατολισμού. Αυτό είναι λογικό, αν λάβουμε υπόψη ότι για νότιο προσανατολισμό η μέγιστη ένταση της ακτινοβολίας παρατηρείται κοντά στη 13:00, ενώ για ανατολικό προσανατολισμό κοντά στις 10:00, το οποίο μπορεί να επιβεβαιωθεί και από τους πίνακες της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου, οι οποίοι παρουσιάστηκαν στην ενότητα 5.1.

Και σε αυτή την περίπτωση που ο τοίχος δέχεται ακτινοβολία από υαλοπίνακα ανατολικού προσανατολισμού ισχύουν οι ίδιες παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στην υποενότητα (5.2.2.1-D υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν), όσον αφορά την επίδραση της μεταβολής του πάχους του στρώματος στις θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM. Μειωμένου του πάχους δηλαδή του στρώματος PCM, αυξάνονται οι μέγιστες και μειώνονται οι ελάχιστες θερμοκρασίες που αναπτύσσει. Ωστόσο, στην παρούσα μελέτη εμφανίζονται μικρότερες διαφορές στα εύρη θερμοκρασιών που αναπτύσσει καθώς μεταβάλλεται το πάχος του PCM σε σχέση με την περίπτωση του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από νότιο υαλοπίνακα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

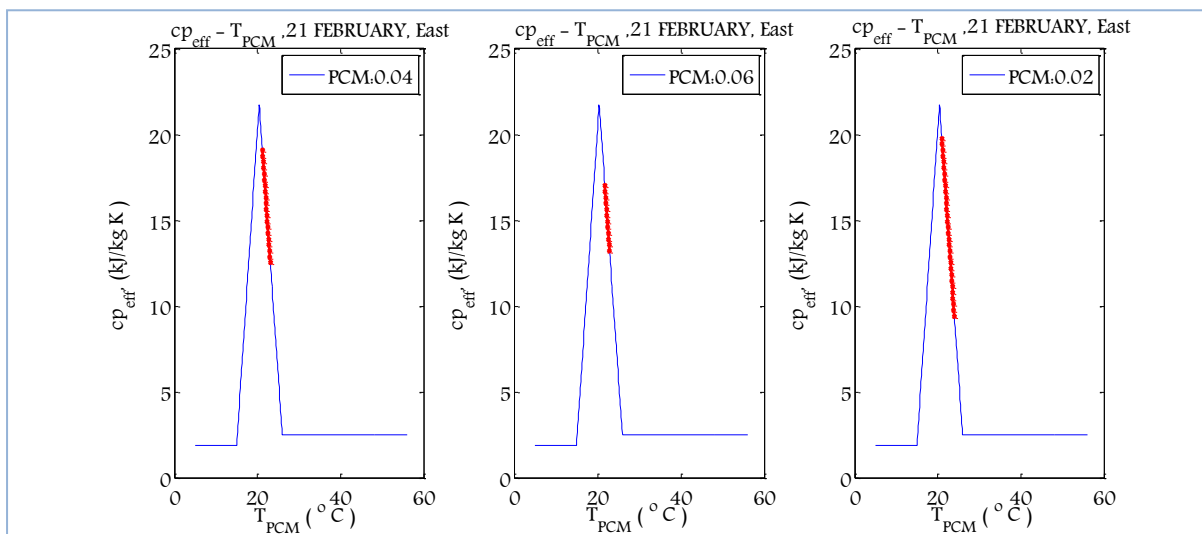
Ε. Έλεγχος της απόδοσης με βάση την καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας

Λαμβάνοντας υπόψη το εύρος τιμών που αναπτύσσει το επιλεγμένο PCM και τις αντίστοιχες τιμές της ενεργού θερμοχωρητικότητας απεικονίζεται στα διαγράμματα που ακολουθούν το εύρος της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας που καταλαμβάνει το PCM, ανάλογα με το εξεταζόμενο πάχος την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους. Αυτό γίνεται με σκοπό να επιβεβαιωθεί από τα διαγράμματα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας ότι το εξεταζόμενο PCM τους μήνες Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο δεν εισέρχεται στην διφασική περιοχή, δεν αλλάζει δηλαδή φάση, ότι καθώς αυξάνεται το πάχος του στρώματος PCM, το PCM αναπτύσσει υψηλότερες μέγιστες θερμοκρασίες και χαμηλότερες ελάχιστες, καταλαμβάνει δηλαδή μεγαλύτερο τμήμα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας και να μπορεί να γίνει μια σύγκριση με τα αντίστοιχα διαγράμματα (5.2.2.1.14 έως 5.2.2.1.25), που αφορούσαν την περίπτωση που ο τοίχος δεχόταν ακτινοβολία από υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού.

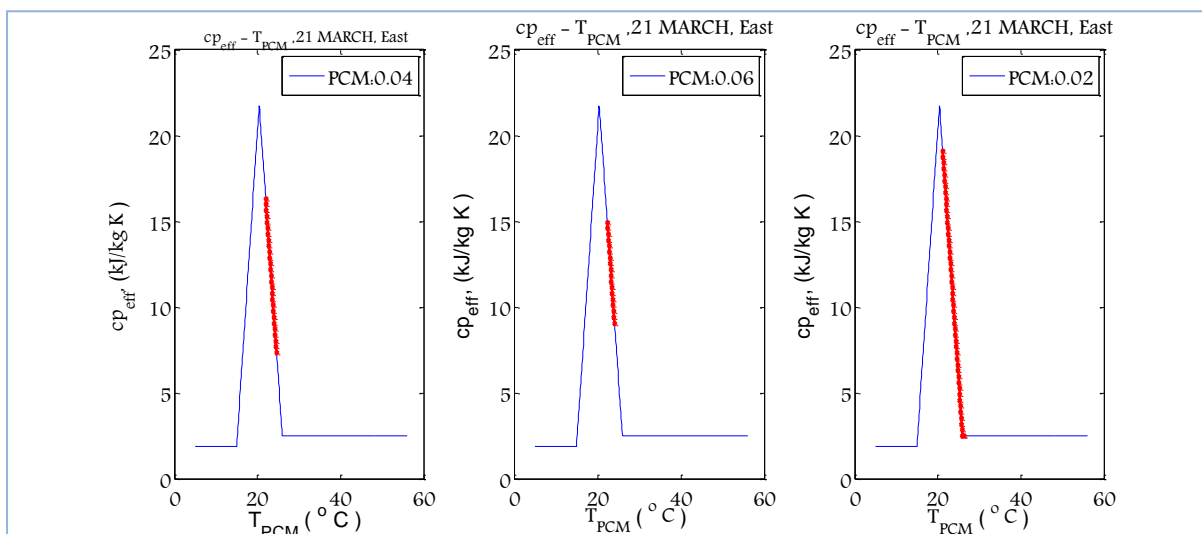


Διάγραμμα 5.2.2.2.13: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Ιανουαρίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ**

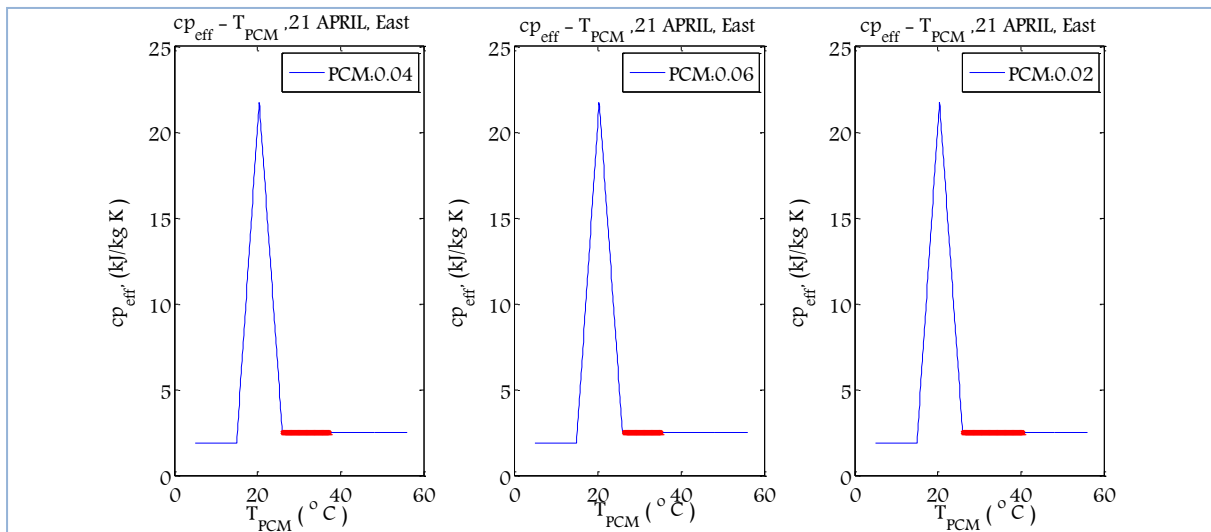


Διάγραμμα 5.2.2.14: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Φεβρουαρίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

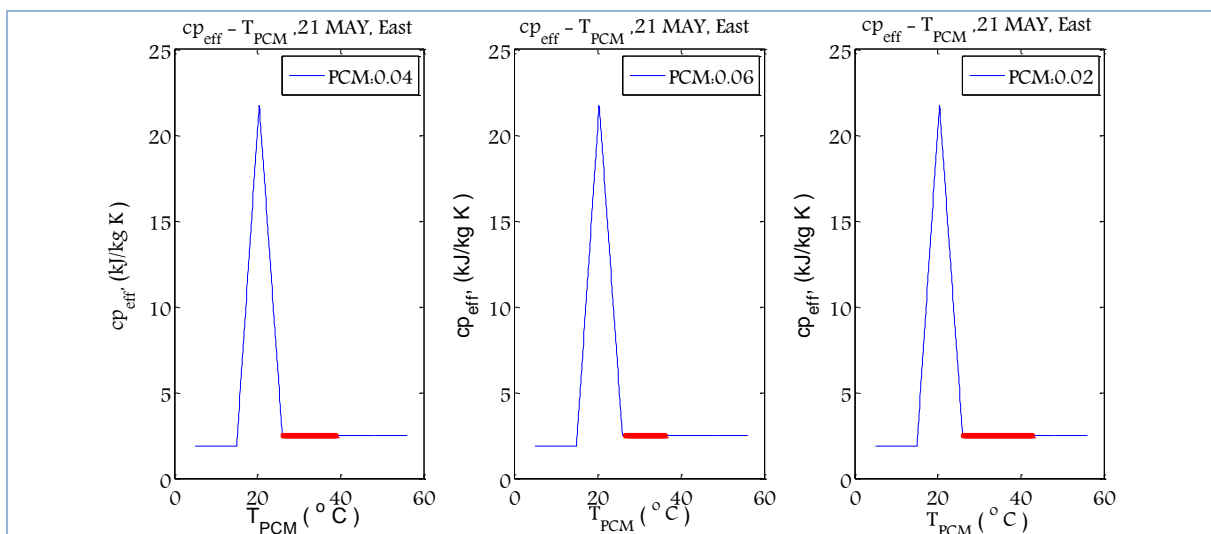


Διάγραμμα 5.2.2.15: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Μαρτίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

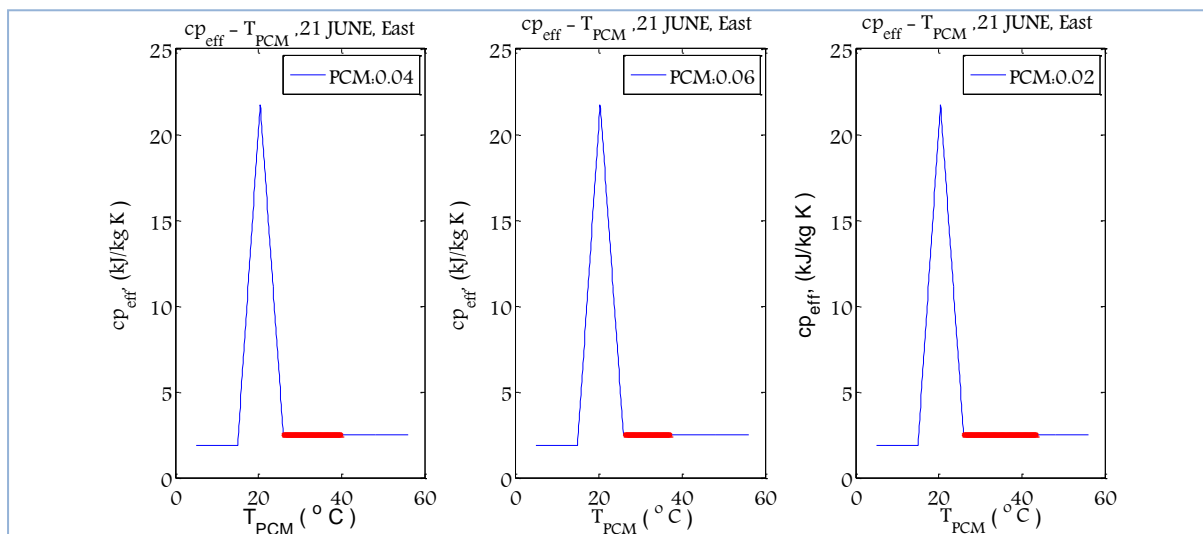


Διάγραμμα 5.2.2.16: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Απριλίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

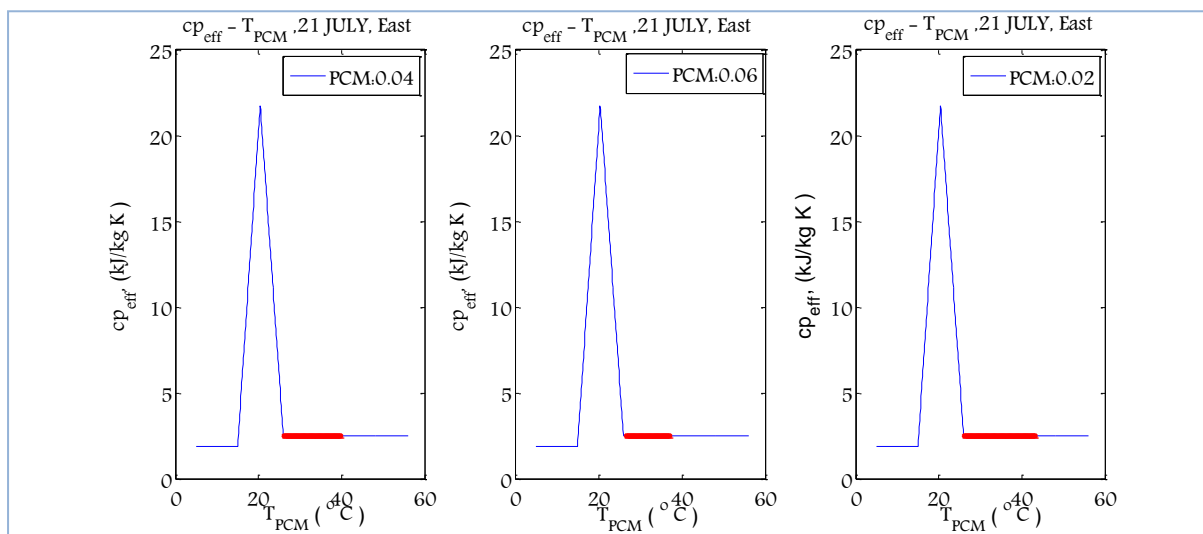


Διάγραμμα 5.2.2.17: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Μαΐου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

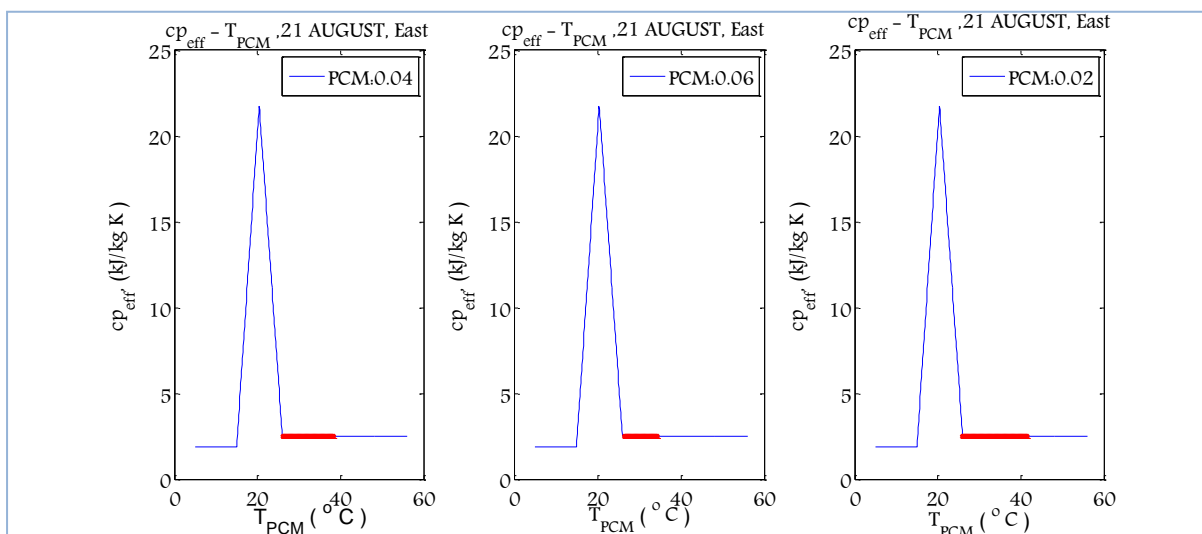


Διάγραμμα 5.2.2.18: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Ιουνίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

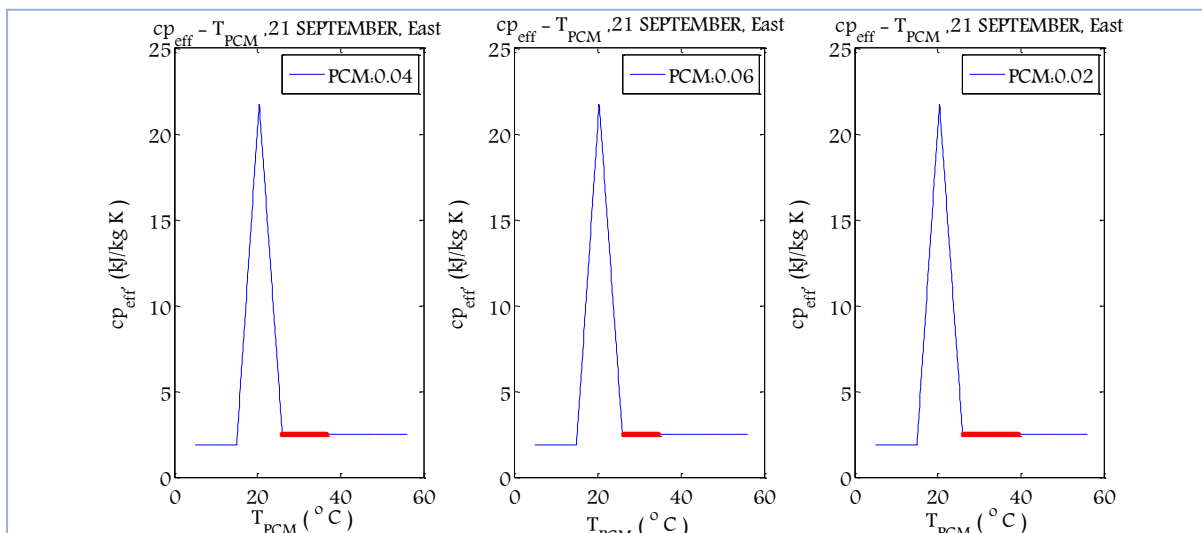


Διάγραμμα 5.2.2.19: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Ιουλίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

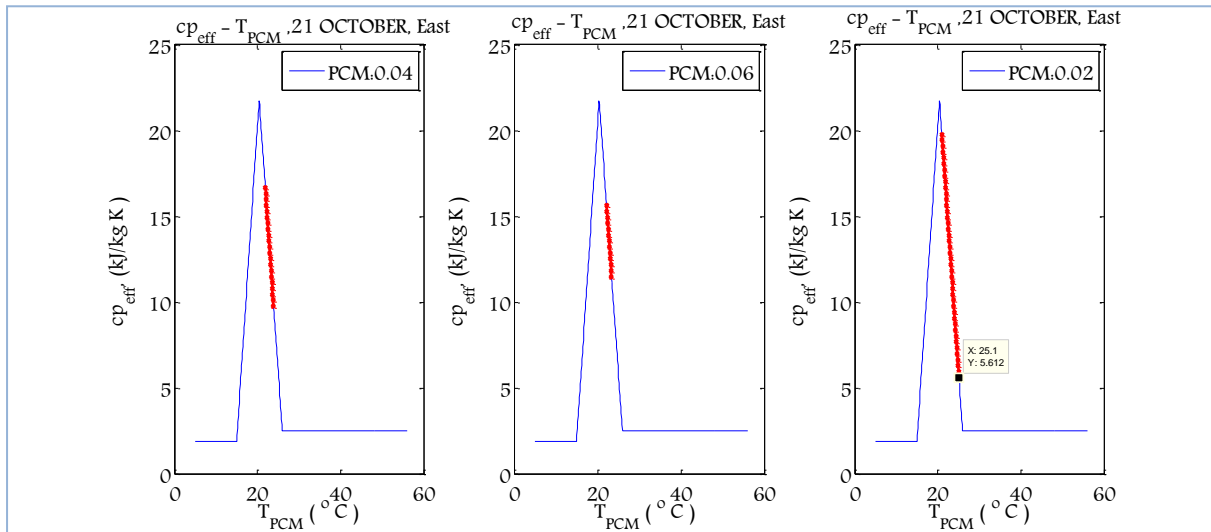


Διάγραμμα 5.2.2.20: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Αυγούστου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

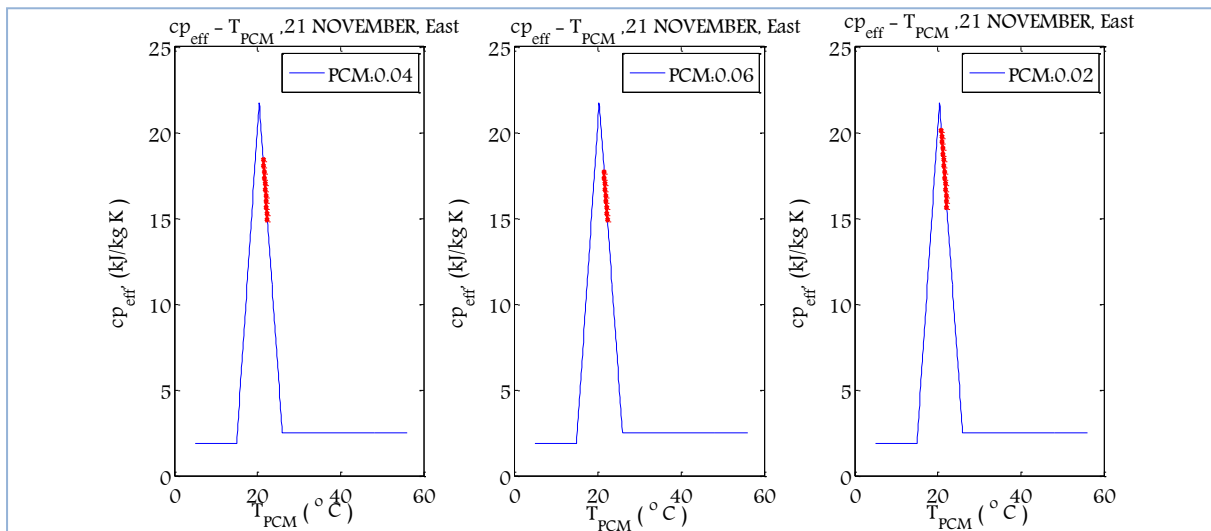


Διάγραμμα 5.2.2.21: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Σεπτεμβρίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ**

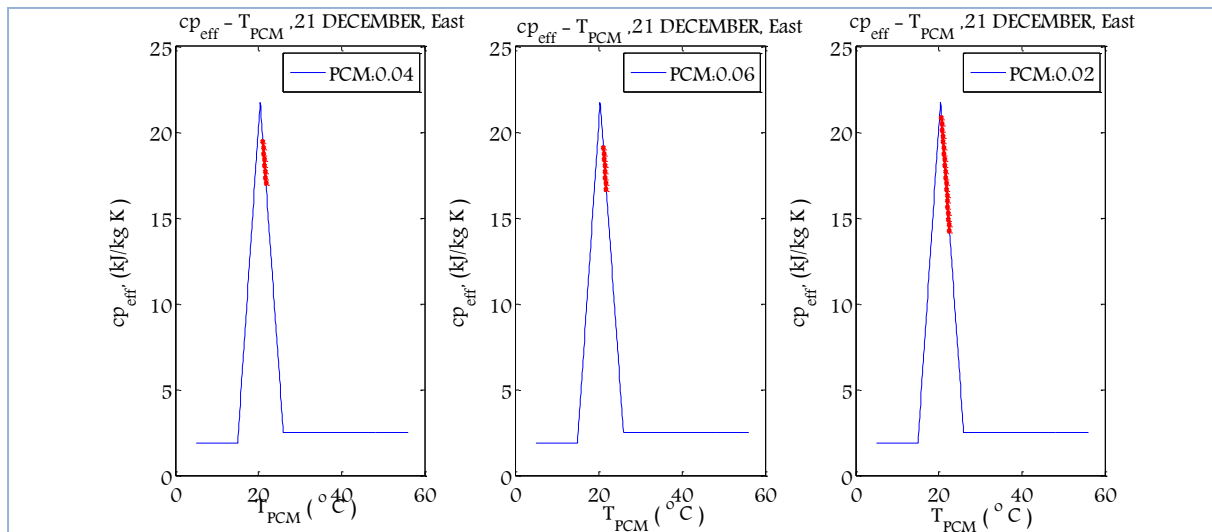


Διάγραμμα 5.2.2.2.22: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Οκτωβρίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM



Διάγραμμα 5.2.2.2.23: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Νοεμβρίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)



Διάγραμμα 5.2.2.24: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Δεκεμβρίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Όπως και στην περίπτωση του τοίχου έναντι υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού παρατηρείται ότι τους μήνες Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο το PCM δεν βρίσκεται εντός της διφασικής περιοχής. Επιπλέον, όσο πιο μικρό είναι το πάχος τόσο μεγαλύτερο είναι το εύρος θερμοκρασιών που καταλαμβάνει το PCM στο διάγραμμα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας, συνεπώς για μικρότερα πάχη το PCM παρουσιάζει μεγαλύτερη αποδοτικότητα.

Με σύγκριση των διαγραμμάτων της μεταβολής της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας που αφορούσαν την περίπτωση του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού (5.2.2.1.14 έως 5.2.2.1.25) με τα αντίστοιχα διαγράμματα (5.2.2.2.13 έως 5.2.2.2.24) που αφορούν την περίπτωση του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα ανατολικού προσανατολισμού παρατηρείται ότι στην περίπτωση του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα ανατολικού προσανατολισμού το PCM καλύπτει μικρότερο τμήμα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας και είναι αναμενόμενο ότι θα είναι λιγότερο αποδοτικό από την περίπτωση του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Το γεγονός ότι το PCM καταλαμβάνει μικρότερο τμήμα στην καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας όταν δέχεται ακτινοβολία από υαλοπίνακα ανατολικού προσανατολισμού και όχι νοτίου προσανατολισμού μπορεί να εξηγηθεί από την παρατήρηση που είχε προηγηθεί και αφορούσε στην σύγκριση των μεγίστων θερμοκρασιών που αναπτύσσει σε σύγκριση με τον τοίχο που δέχεται ακτινοβολία από υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού. Μεταξύ των δυο αναφερόμενων προσανατολισμών οι διαφορές παρατηρούνται κυρίως στις μέγιστες θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM καθώς οι ελάχιστες διαφέρουν ελαφρώς. Συνεπώς, ήταν αναμενόμενο στον εξεταζόμενο τοίχο να καταλαμβάνει το PCM μικρότερο τμήμα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας αφού αναπτύσσει μικρότερες μέγιστες σε σχέση με το PCM της υποενότητας 5.2.2.1.

F. ΒΑΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΙ ΣΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ

Προκειμένου να έχουμε ένα ποσοτικό έλεγχο της απόδοσης του PCM για την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους και για όλα τα εξεταζόμενα πάχη, κρίθηκε αναγκαίος ο υπολογισμός του βαθμού χρησιμοποίησης του PCM. Ο βαθμός χρησιμοποίησης υπολογίζεται από την σχέση (5.2.2.1.3) και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζεται και η θερμότητα που αποθηκεύει κάθε ένα από τα εξεταζόμενα πάχη PCM την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ
(PCMs)**

Πίνακας 5.2.2.2.1: Η θερμότητα που αποθηκεύει το εκάστοτε στρώμα πάχους PCM και ο βαθμός χρησιμοποίησής του

| 21 ^η ημέρα μήνα | Πάχος PCM:0.04 m | | | | Πάχος PCM:0.06 m | | | | Πάχος PCM:0.02 m | | | |
|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------|
| | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμεν} (KJ/kg) | n% | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% |
| ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ | 22,26 | 21,16 | 19,07 | 14,44 | 22,07 | 21,33 | 12,85 | 9,72 | 22,85 | 20,74 | 35,96 | 27,23 |
| ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ | 23,23 | 21,55 | 25,19 | 19,07 | 22,95 | 21,81 | 17,12 | 12,96 | 24,12 | 20,92 | 46,51 | 35,21 |
| ΜΑΡΤΙΟΣ | 24,7 | 21,97 | 31,66 | 23,97 | 24,2 | 22,37 | 21,78 | 16,49 | 26,43 | 21,11 | 54,64 | 41,37 |
| ΑΠΡΙΛΙΟΣ | 37,38 | 26,08 | 28,25 | 21,39 | 35,26 | 26,45 | 22,03 | 16,67 | 40,44 | 26 | 36,10 | 27,33 |
| ΜΑΪΟΣ | 39,13 | 26,1 | 32,58 | 24,66 | 36,68 | 26,54 | 25,35 | 19,19 | 42,62 | 26 | 41,55 | 31,45 |
| ΙΟΥΝΙΟΣ | 39,99 | 26,11 | 34,70 | 26,27 | 37,37 | 26,58 | 26,98 | 20,42 | 43,69 | 26 | 44,23 | 33,48 |
| ΙΟΥΛΙΟΣ | 39,83 | 26,11 | 34,30 | 25,97 | 37,21 | 26,57 | 26,60 | 20,14 | 43,52 | 26 | 43,80 | 33,16 |
| ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ | 38,44 | 26,09 | 30,88 | 23,37 | 36,19 | 26,5 | 24,23 | 18,34 | 42,06 | 26 | 40,15 | 30,39 |
| ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ | 36,49 | 26,07 | 26,05 | 19,72 | 34,41 | 26,39 | 20,05 | 15,18 | 39,41 | 26 | 33,53 | 25,38 |
| ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ | 23,93 | 21,76 | 29,14 | 22,06 | 23,57 | 22,09 | 19,93 | 15,09 | 25,1 | 20,99 | 52,26 | 39,56 |
| ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ | 22,61 | 21,33 | 21,02 | 15,92 | 22,4 | 21,53 | 14,32 | 10,84 | 23,3 | 20,83 | 42,74 | 32,36 |
| ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ | 22,07 | 21,07 | 17,82 | 13,49 | 21,9 | 21,23 | 11,95 | 9,04 | 22,61 | 20,68 | 20,18 | 15,27 |

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε από τον παραπάνω πίνακα, τους θερινούς μήνες το PCM, ενώ βρίσκεται στην υγρή φάση, αποθηκεύει περισσότερη θερμότητα και συνεπώς εμφανίζει υψηλότερες τιμές όσον αφορά τον βαθμό χρησιμοποίησής του. Αυτό οφείλεται στο εύρος θερμοκρασιών που αναπτύσσει σε σχέση με τους υπόλοιπους μήνες καθώς η θερμότητα που αποθηκεύεται υπολογίζεται από το εμβαδόν του τμήματος που καλύπτει στην καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας.

Όσον αφορά την μεταβολή του πάχους ισχύουν οι ίδιες παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στην υποενότητα (5.2.2.1-Ε βαθμοί απόδοσης βασισμένοι στην αλλαγή φάσης). Σε αυτή την περίπτωση όμως παρατηρούνται μικρότερες διαφορές στην θερμότητα που αποθηκεύεται καθώς μεταβάλλεται το πάχος του PCM.

Σε σύγκριση με τον βαθμό χρησιμοποίησής όταν το PCM είναι τοποθετημένο σε τοίχο απέναντι από τον οποίο βρίσκεται υαλοπίνακας νοτίου προσανατολισμού στην προκειμένη μελέτη το PCM εμφανίζει μικρότερες τιμές όσον αφορά τον βαθμό χρησιμοποίησής του και αυτό οφείλεται στο εύρος θερμοκρασιών που αναπτύσσει, λόγω της μικρότερης ακτινοβολίας που δέχεται ο υαλοπίνακας ανατολικού προσανατολισμού, στο PCM αναπτύσσονται χαμηλότερες μέγιστες

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

θερμοκρασίες. Οι διαφορές στις θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM μεταξύ των δυο προσανατολισμών έγκεινται κυρίως στα μέγιστα των θερμοκρασιών και όχι τόσο στα ελάχιστα.

5.2.2.3 Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα δυτικού προσανατολισμού

A. Υπολογισμός προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για την 21^η ημέρα κάθε μήνα καθώς επίσης και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της έχουν παρουσιαστεί στην ενότητα 5.1 . Στην προκειμένη παραμετρική μελέτη λαμβάνονται υπόψη οι τιμές της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου που έχουν υπολογιστεί για δυτικό προσανατολισμό.

B. Επιλογή PCM

Τα χαρακτηριστικά του PCM και του μπετόν έχουν δοθεί στον Πίνακα 5.2.2.1.1

C. Προσομοίωση της αλλαγής φάσης

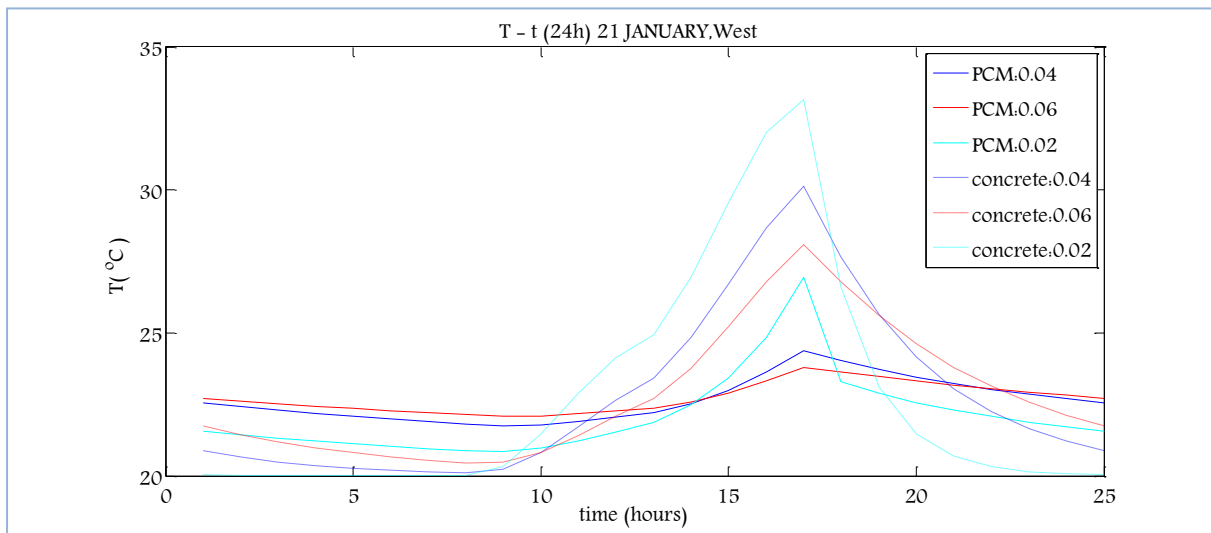
Για την προσομοίωση της αλλαγής φάσης, επιλέγεται η τριγωνική μορφή της μεθόδου της ενεργούς θερμοχωρητικότητας, η οποία έχει περιγραφεί στην ενότητα 5.2.1 και η μορφή της καμπύλης έχει απεικονιστεί στο Διάγραμμα 5.2.2.1.1.

D. Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν

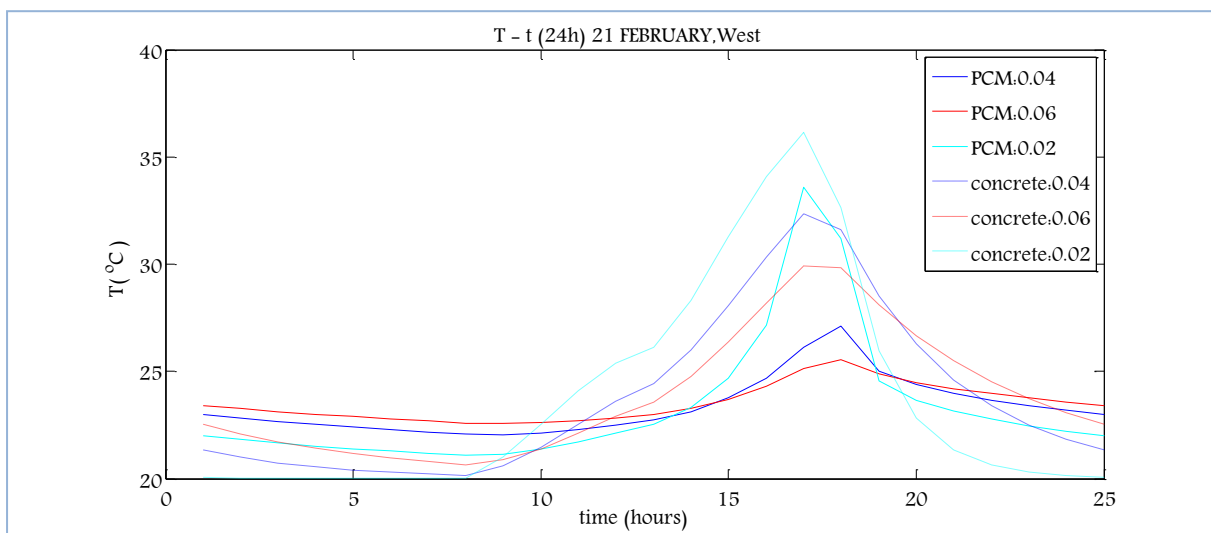
Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο μπετόν, την 21^η μέρα κάθε μήνα υπολογίζονται από τις σχέσεις (5.2.2.1.1) και (5.2.2.1.2) αντίστοιχα. Για την εύρεση της κατανομής της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο μπετόν ακολουθείται η επαναληπτική διαδικασία η οποία παρουσιάστηκε στην ενότητα (5.2.2.1-D Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM και του αντίστοιχου στρώματος μπετόν, συναρτήσει της ώρας για όλο το 24ωρο την 21^η μέρα κάθε μήνα ,για όλα τα εξεταζόμενα πάχη στρώματος PCM και μπετόν που επιλέχθηκαν. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στα διαγράμματα έχουν δοθεί οι τιμές των εξεταζόμενων παχών σε m.

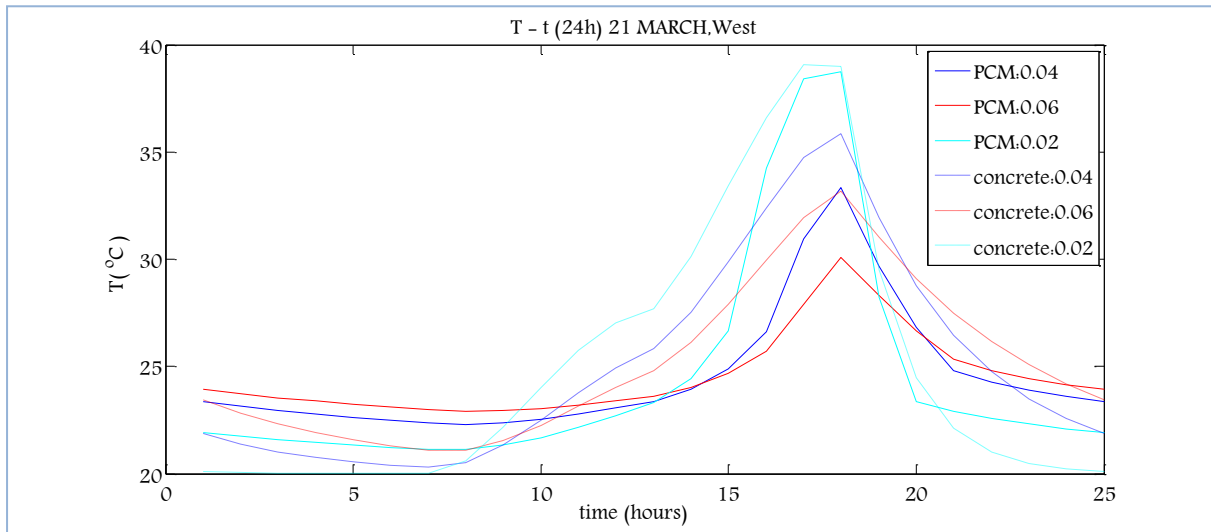


Διάγραμμα 5.2.2.3.1: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιανουαρίου για ένα 24ωρο

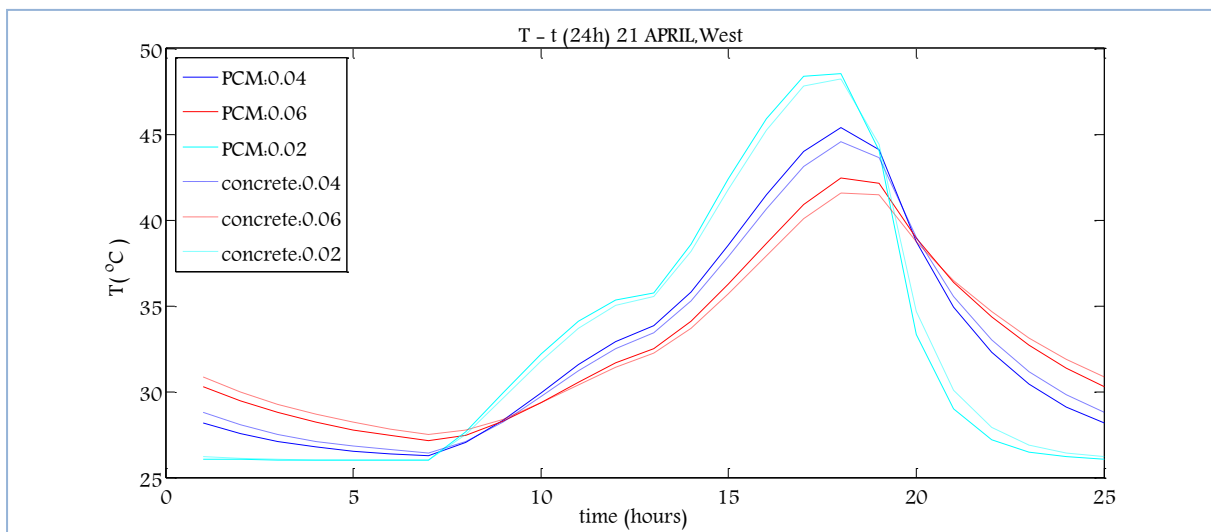


Διάγραμμα 5.2.2.3.2: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Φεβρουαρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

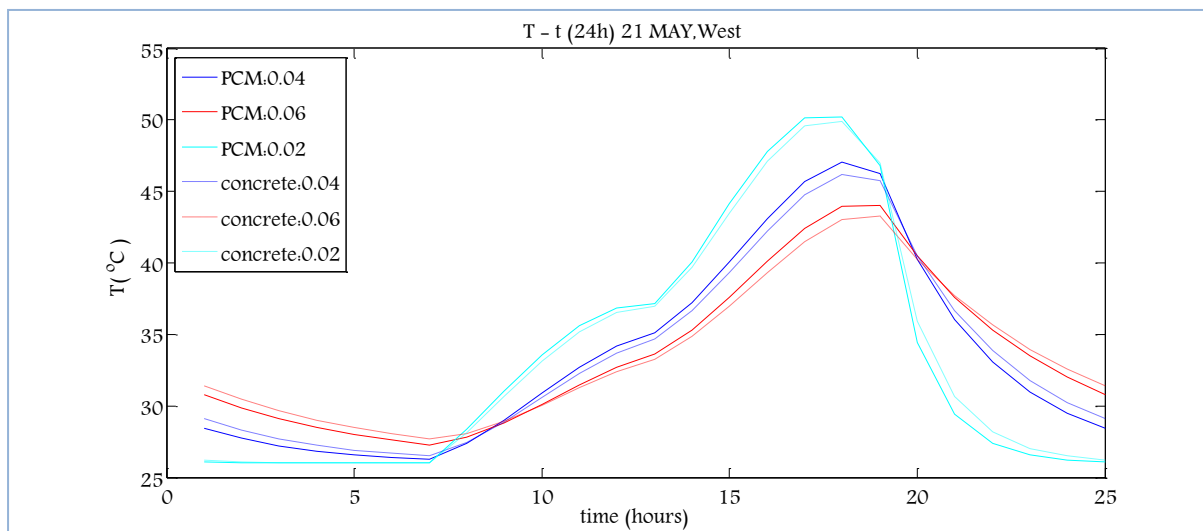


Διάγραμμα 5.2.2.3.3: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαρτίου για ένα 24ωρο

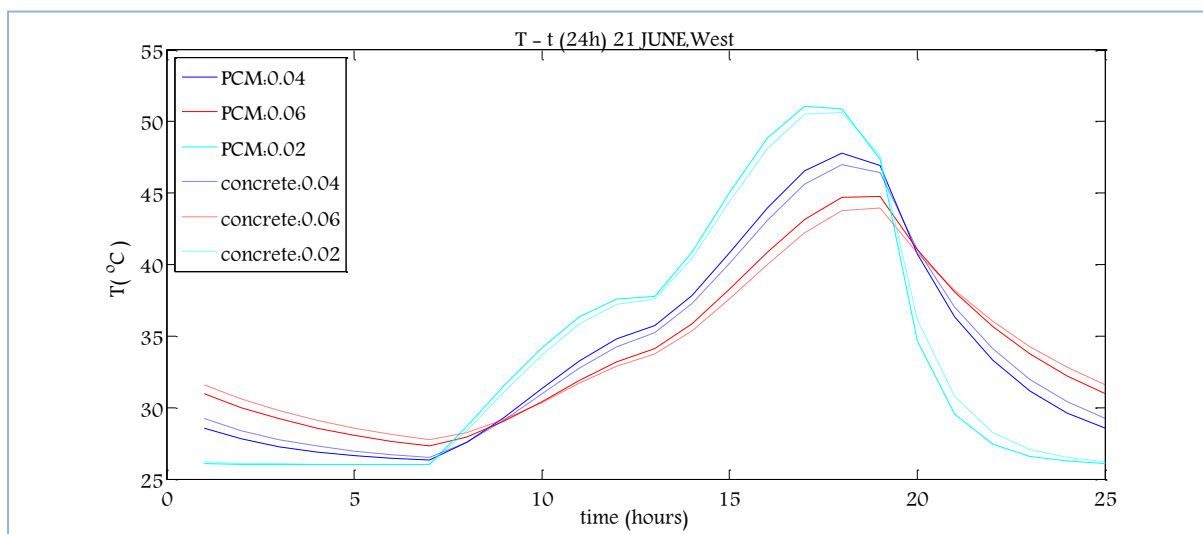


Διάγραμμα 5.2.2.3.4: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Απριλίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

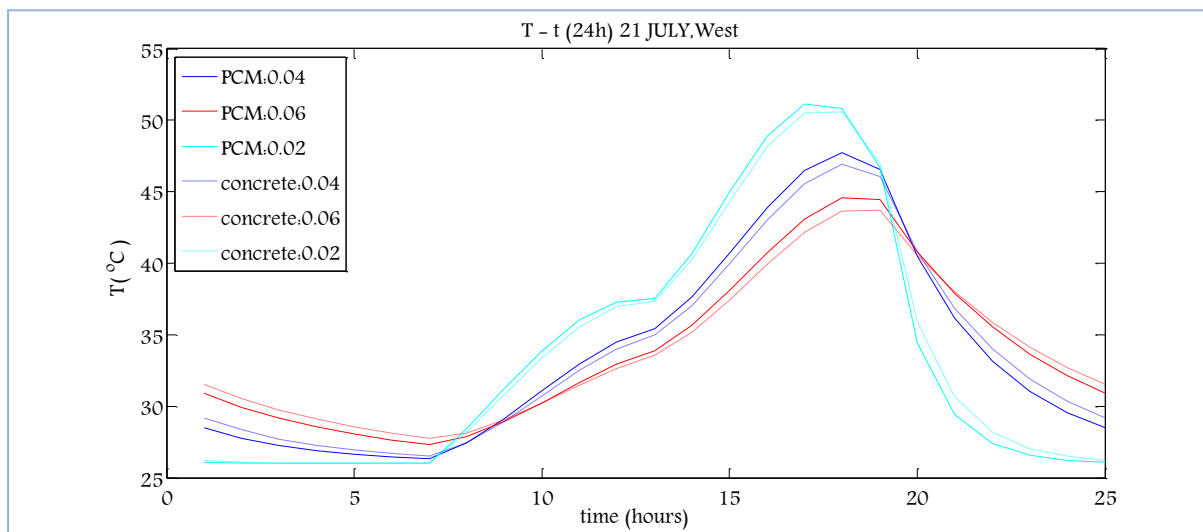


Διάγραμμα 5.2.2.3.5: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαΐου για ένα 24ωρο

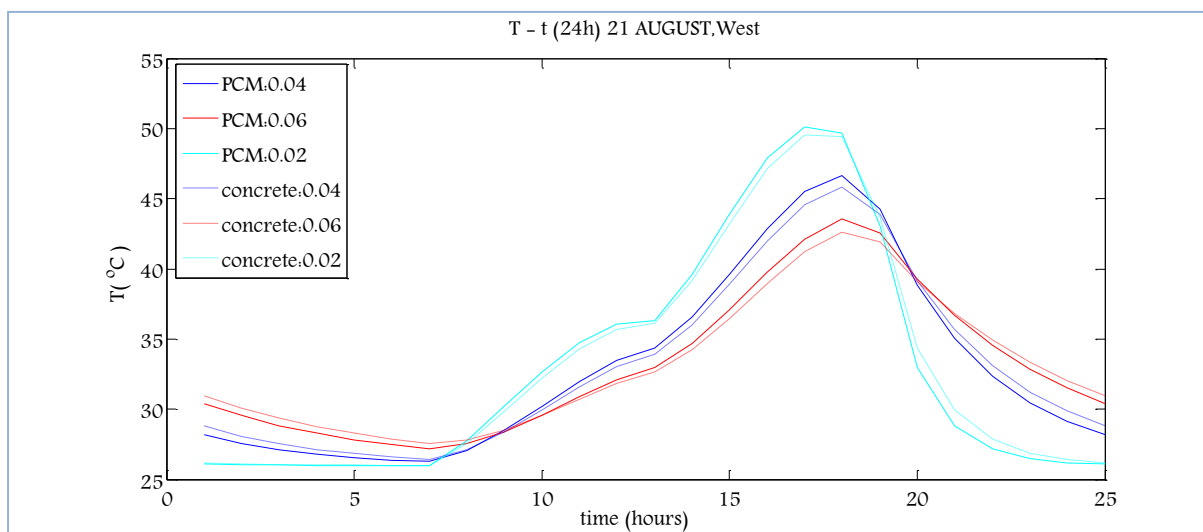


Διάγραμμα 5.2.2.3.6: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουνίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

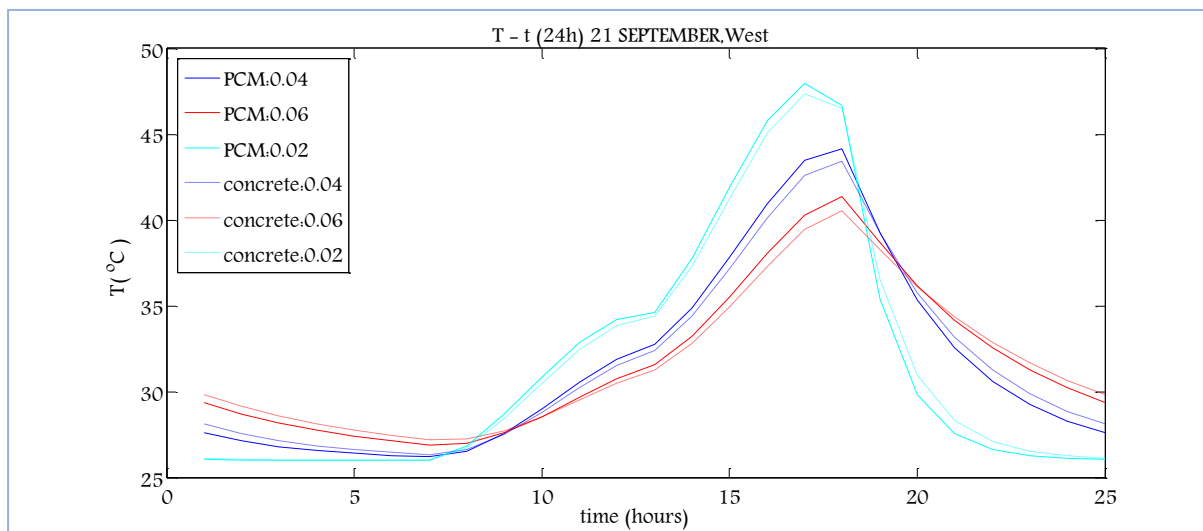


Διάγραμμα 5.2.2.3.7: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουλίου για ένα 24ωρο

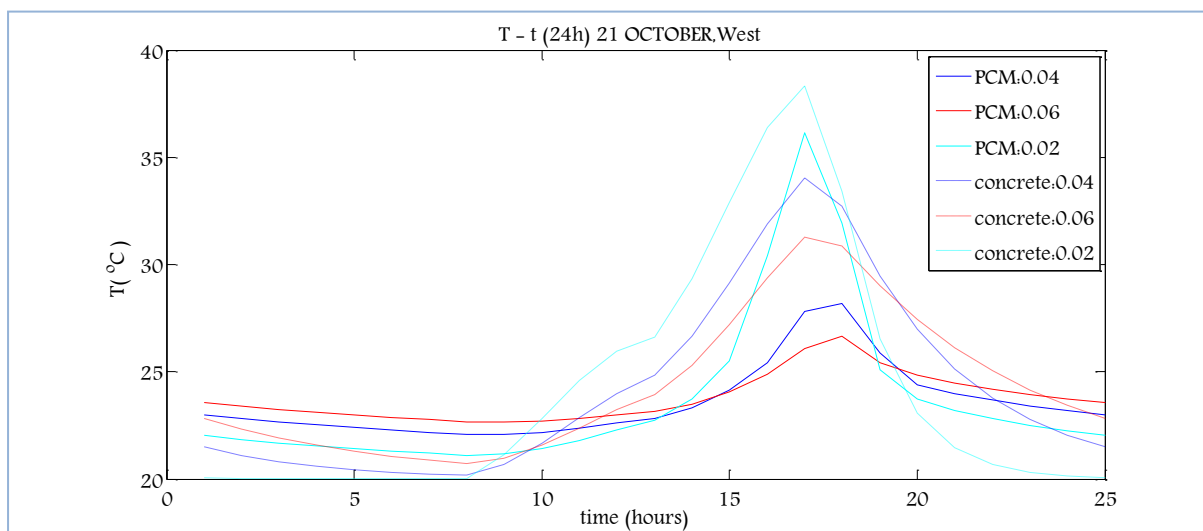


Διάγραμμα 5.2.2.3.8: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Αυγούστου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

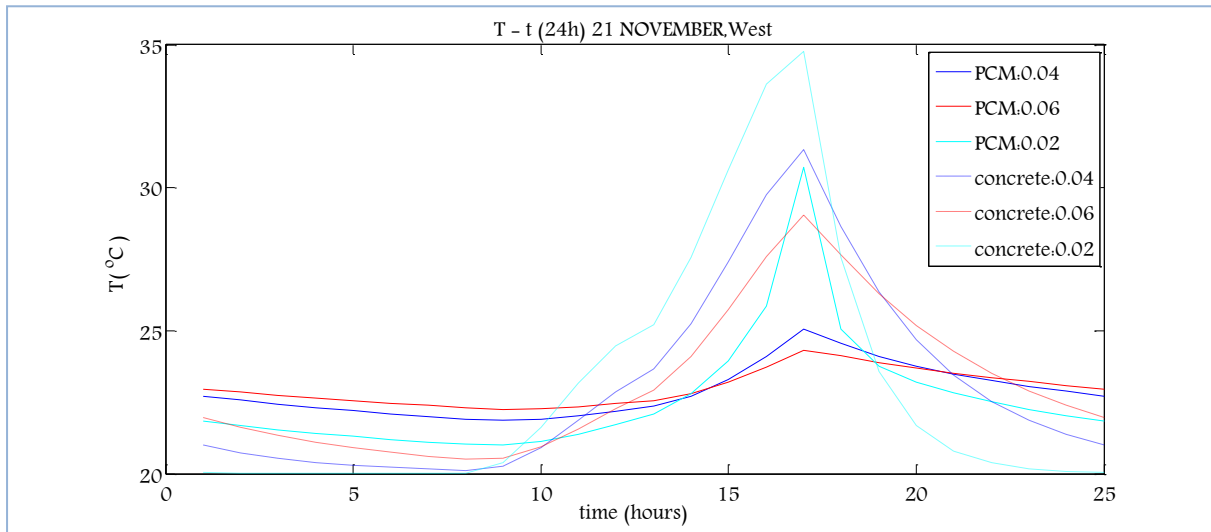


Διάγραμμα 5.2.2.3.9: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Σεπτεμβρίου για ένα 24ωρο

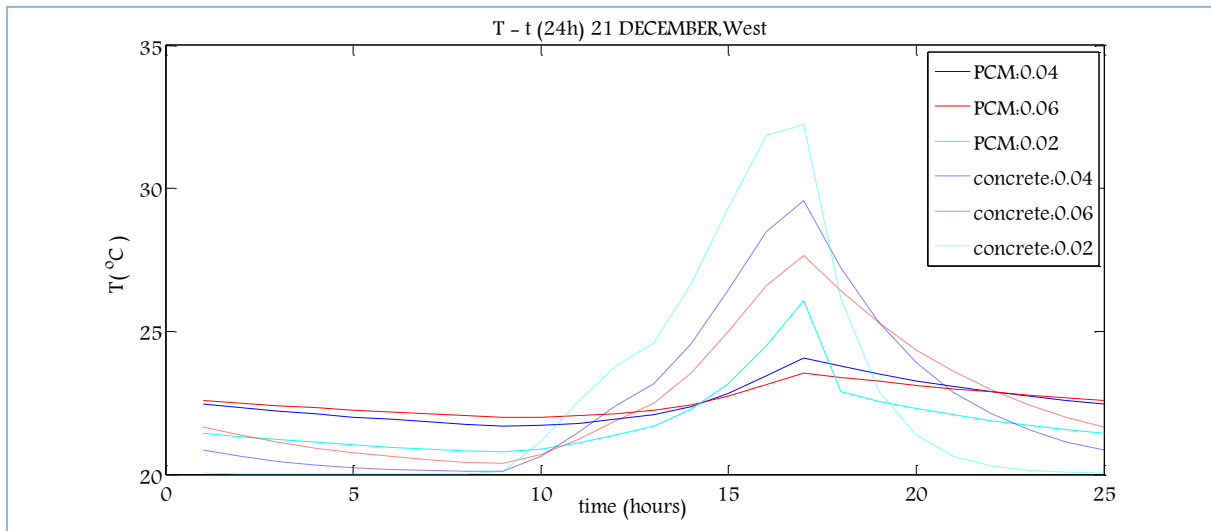


Διάγραμμα 5.2.2.3.10: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Οκτωβρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ



Διάγραμμα 5.2.2.3.11: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Νοεμβρίου για ένα 24ωρο



Διάγραμμα 5.2.2.3.12: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Δεκεμβρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Με βάση τις παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στην υποενότητα (5.2.2.1-D υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν), οι οποίες αφορούσαν στις διαφορές που πρέπει να υπάρχουν στην κατανομή της θερμοκρασίας μεταξύ PCM και αντίστοιχου στρώματος μπετόν και τα διαγράμματα μεταβολής της θερμοκρασίας (5.2.2.3.1 έως 5.2.2.3.12) θα γίνει ο έλεγχος της απόδοσης του PCM.

Όπως και στις δυο προηγούμενες μελέτες, παρατηρείται ότι το επιλεγμένο PCM, δεν μπορεί να συγκριθεί με το μπετόν κατά την διάρκεια των μηνών Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο. Μόνο κατά την διάρκεια των υπολοίπων μηνών παρατηρούνται οι διαφορές μεταξύ των δυο υλικών. Αυτό συμβαίνει διότι το εκάστοτε στρώμα PCM τους μήνες από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο αναπτύσσει θερμοκρασίες υψηλότερες από τους 26°C, που είναι η θερμοκρασία που το PCM βρίσκεται στην υγρή φάση, δεν αλλάζει δηλαδή φάση αλλά συμπεριφέρεται ως σύννητες δομικό υλικό και δεν ισχύει η αναφερθείσα σύγκριση με το μπετόν. Όσον αφορά τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο, το PCM αλλάζει φάση και αναπτύσσει θερμοκρασίες υψηλότερες της $T_c = 20,5^\circ\text{C}$ που είναι το μέσο του εύρους θερμοκρασιών υγρής και στερεάς φάσης.

Μια άλλη παρατήρηση, εξετάζοντας τα διαγράμματα (5.2.2.3.1 μέχρι και 5.2.2.3.12) είναι ότι το PCM αναπτύσσει υψηλότερες θερμοκρασίες τους θερινούς μήνες, σε σχέση με τους άλλους προσανατολισμούς, το οποίο αιτιολογείται από το γεγονός ότι κατά την διάρκεια των θερινών μηνών η ηλιακή ακτινοβολία είναι εντονότερη για δυτικό προσανατολισμό, σε σύγκριση με την περίπτωση του νοτίου προσανατολισμού, και πιο ασθενής τους χειμερινούς μήνες.

Οι διαφορές στο εύρος θερμοκρασιών που αναπτύσσουν τα PCMs στις τρεις εξεταζόμενες μελέτες είναι εντονότερες στις τιμές των μεγίστων θερμοκρασιών και μικρότερες στις τιμές των ελαχίστων.

Μια άλλη παρατήρηση αφορά στην ώρα εμφάνισης των μεγίστων. Στην περίπτωση δυτικού προσανατολισμού οι μέγιστες θερμοκρασίες εμφανίζονται αργότερα σε σχέση με την περίπτωση νοτίου και ανατολικού προσανατολισμού. Αυτό είναι λογικό, αν λάβουμε υπόψη ότι για νότιο προσανατολισμό η μέγιστη ένταση της ακτινοβολίας παρατηρείται κοντά στη 13:00, για δυτικό προσανατολισμό κοντά στις 16:00, ενώ για ανατολικό προσανατολισμό κοντά

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

στις 10:00 , το οποίο μπορεί να επιβεβαιωθεί και από τους πίνακες της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου, οι οποίοι παρουσιάστηκαν στην ενότητα 5.1.

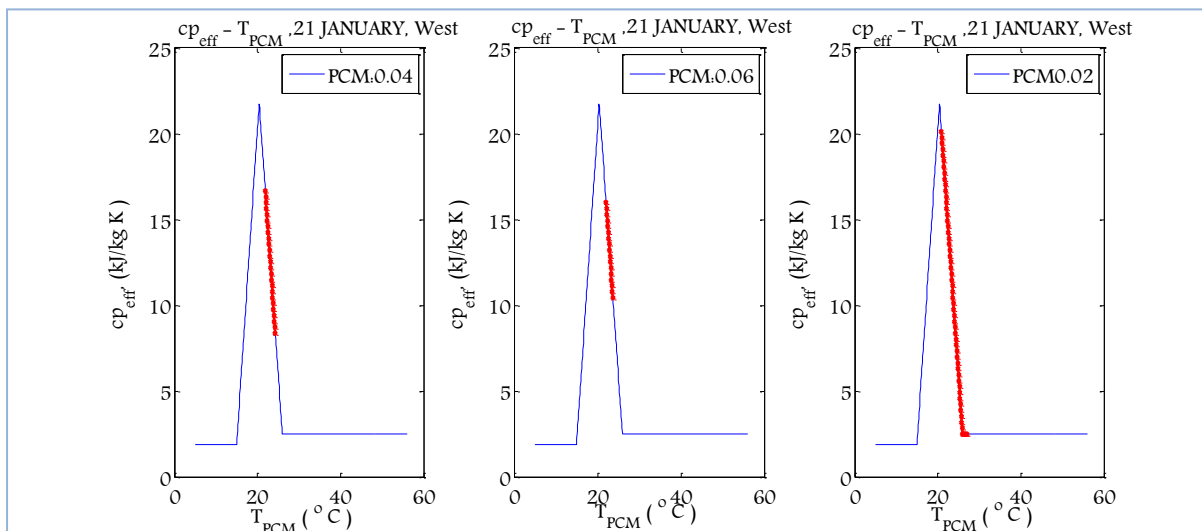
Και σε αυτή την περίπτωση που ο τοίχος δέχεται ακτινοβολία από υαλοπίνακα δυτικού προσανατολισμού ισχύουν οι ίδιες παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στην υποενότητα (5.2.2.1-D υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν), όσον αφορά την επίδραση της μεταβολής του πάχους του στρώματος στις θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM.

Στο PCM που είναι τοποθετημένο σε τοίχο δυτικού προσανατολισμού, εμφανίζονται μικρότερα θερμοκρασιακά εύρη, κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών και μεγαλύτερα θερμοκρασιακά εύρη κατά την διάρκεια των θερινών μηνών σε σχέση με τον τοίχο νοτίου προσανατολισμού. Όσον αφορά την σύγκριση του με τον τοίχο ανατολικού προσανατολισμού εμφανίζει μεγαλύτερα θερμοκρασιακά εύρη την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους.

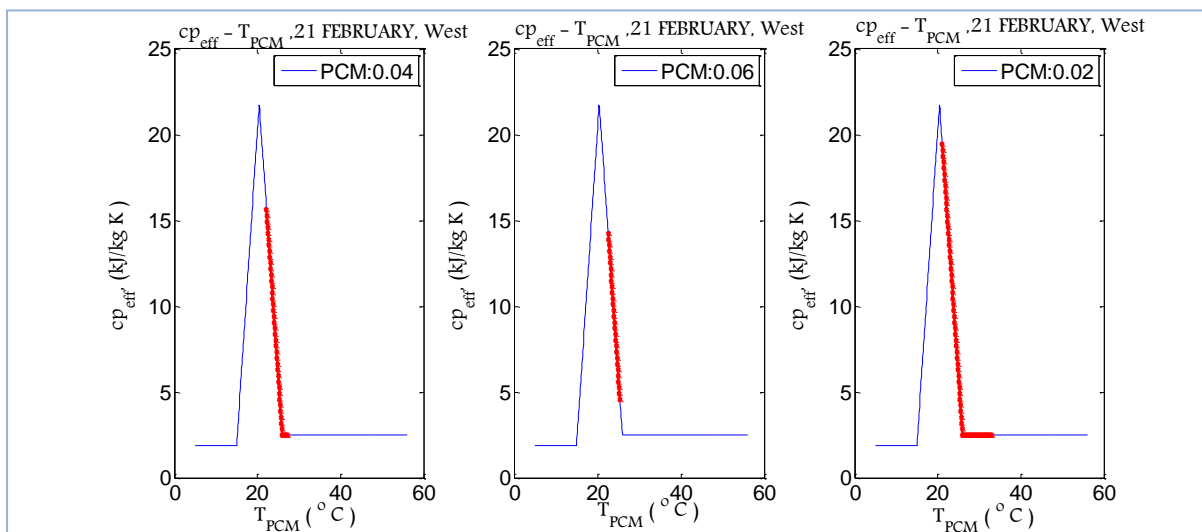
Ε. Έλεγχος της απόδοσης με βάση την καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας

Λαμβάνοντας υπόψη το εύρος τιμών που αναπτύσσει το επιλεγμένο PCM και τις αντίστοιχες τιμές της ενεργού θερμοχωρητικότητας απεικονίζεται στα διαγράμματα που ακολουθούν το τμήμα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας που καταλαμβάνει το PCM, ανάλογα με το εξεταζόμενο πάχος την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους. Αυτό γίνεται με σκοπό να επιβεβαιωθεί και από τα διαγράμματα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας ότι το εξεταζόμενο PCM τους μήνες Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο δεν εισέρχεται στην διφασική περιοχή, δεν αλλάζει δηλαδή φάση, και ότι καθώς αυξάνεται το πάχος του στρώματος PCM, το PCM αναπτύσσει υψηλότερες μέγιστες θερμοκρασίες και χαμηλότερες ελάχιστες, καταλαμβάνει δηλαδή μεγαλύτερο τμήμα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας. Συγκρίνοντας τα διαγράμματα που ακολουθούν με τα αντίστοιχα, που αφορούσαν τους δυο άλλους εξεταζόμενους προσανατολισμούς, μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για την απόδοση του PCM, ανάλογα με τον προσανατολισμό του τοίχου στον οποίο τοποθετείται, προτού υπολογισθούν οι βαθμοί χρησιμοποίησης του, με βάση την καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

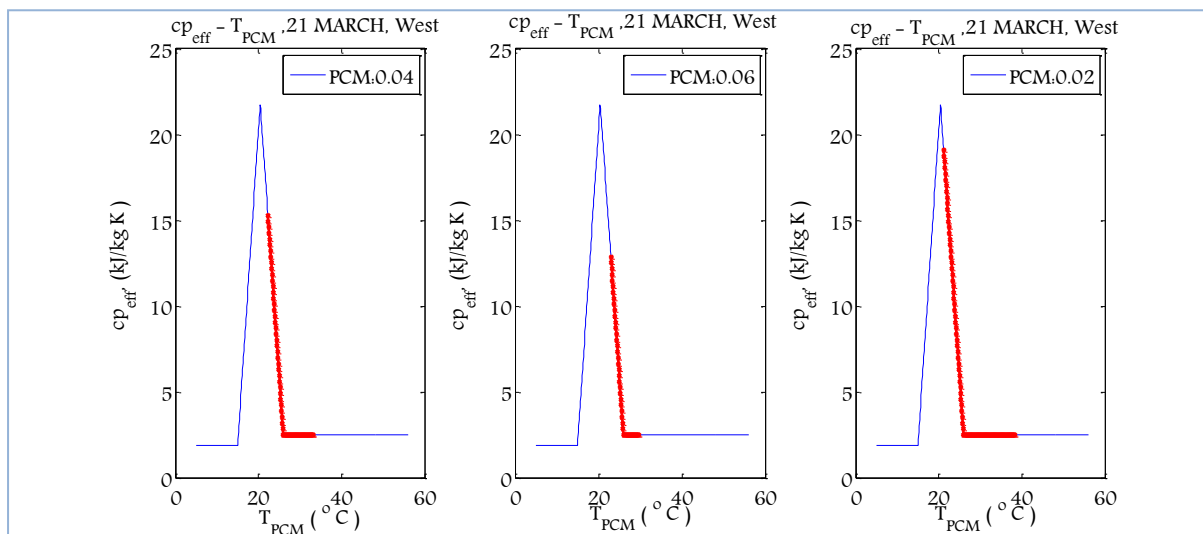


Διάγραμμα 5.2.2.3.13: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Ιανουαρίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

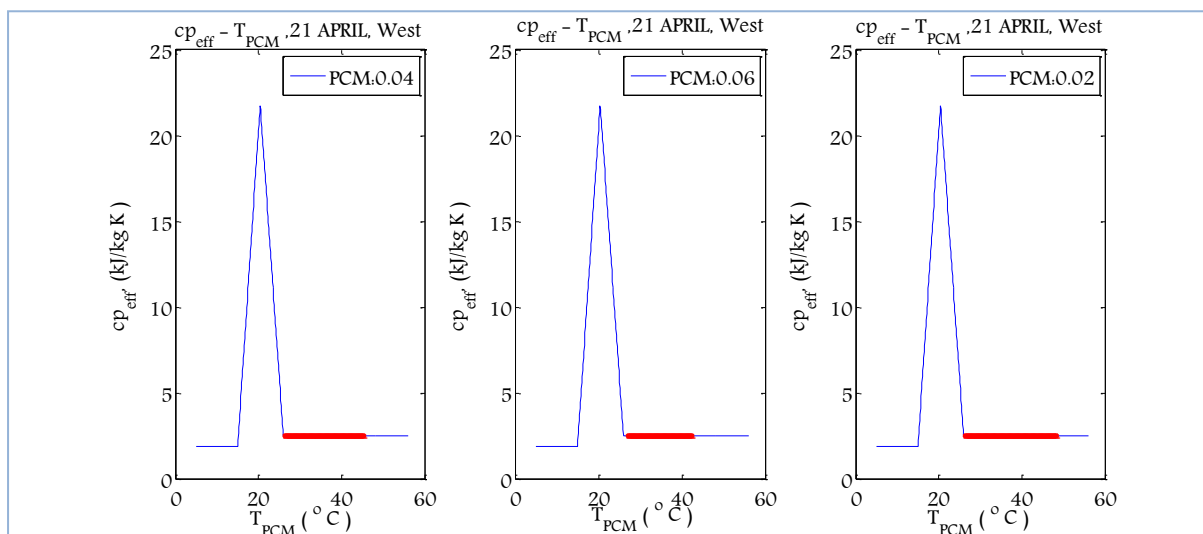


Διάγραμμα 5.2.2.3.14: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Φεβρουαρίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

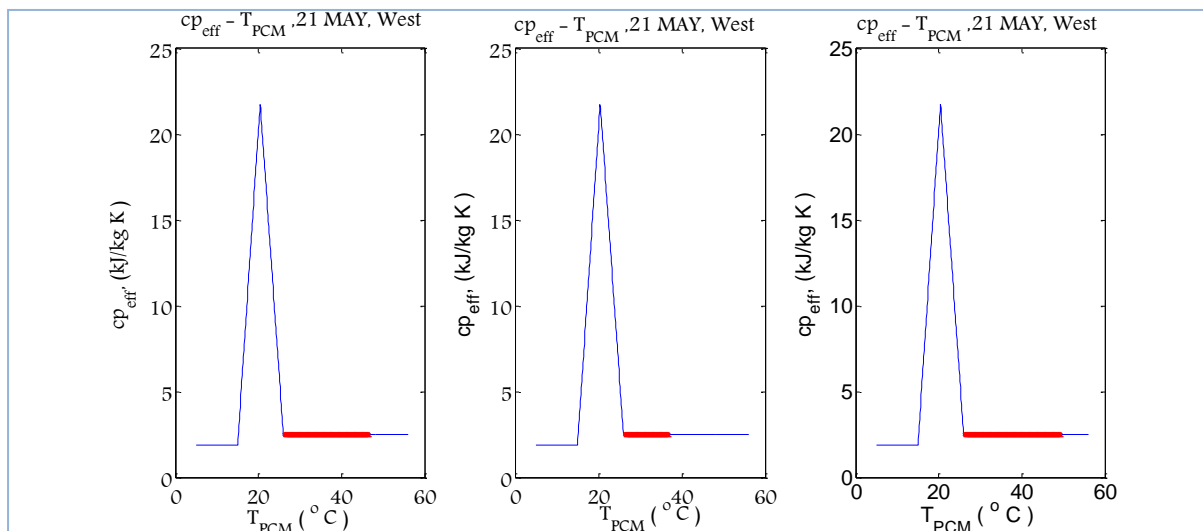


Διάγραμμα 5.2.2.3.15: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Μαρτίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

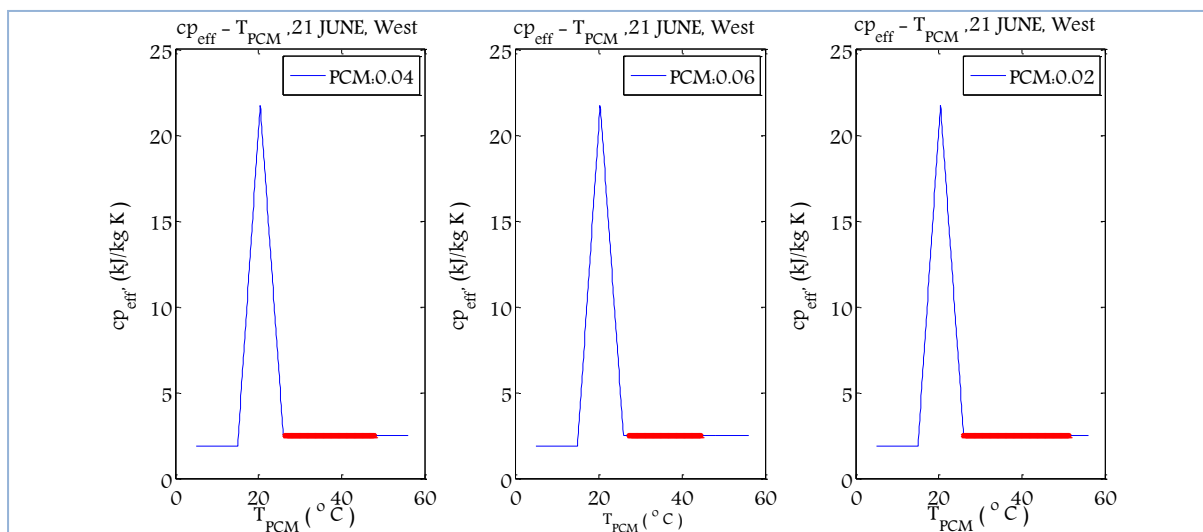


Διάγραμμα 5.2.2.3.16: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Απριλίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

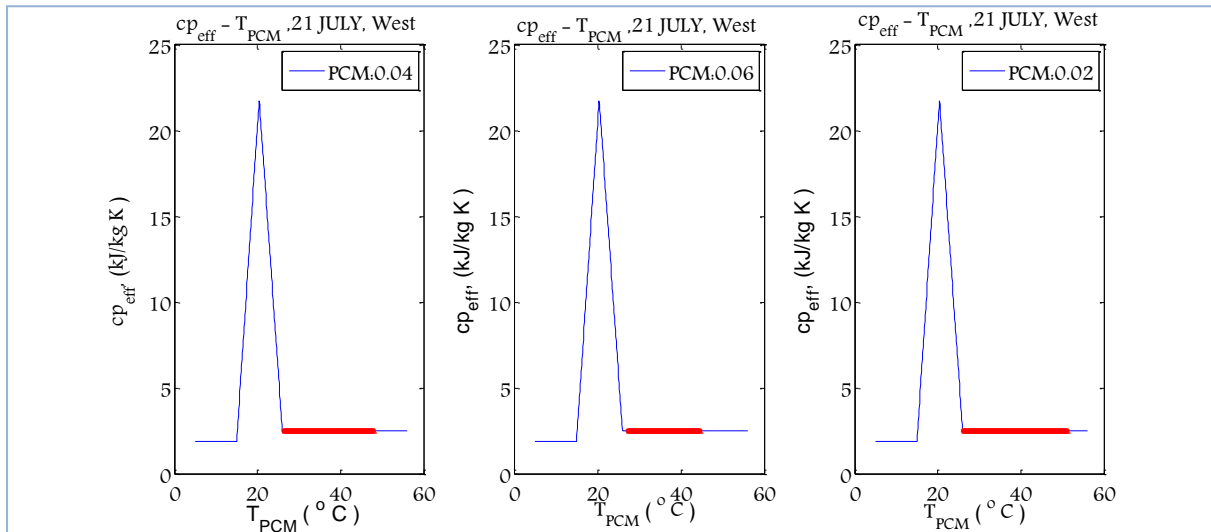


Διάγραμμα 5.2.2.3.17: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Μαΐου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

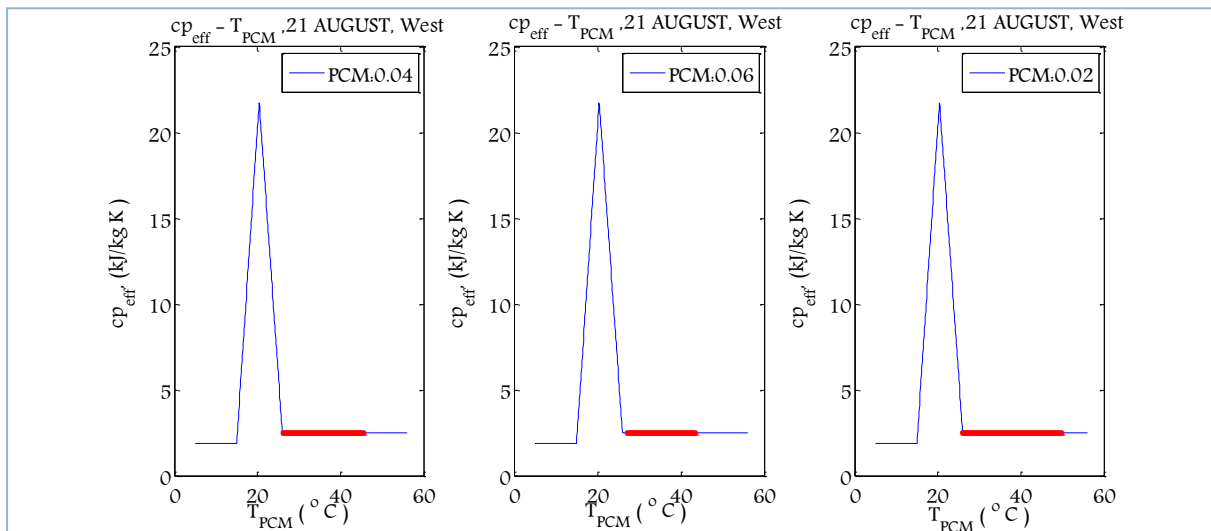


Διάγραμμα 5.2.2.3.18: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Ιουνίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

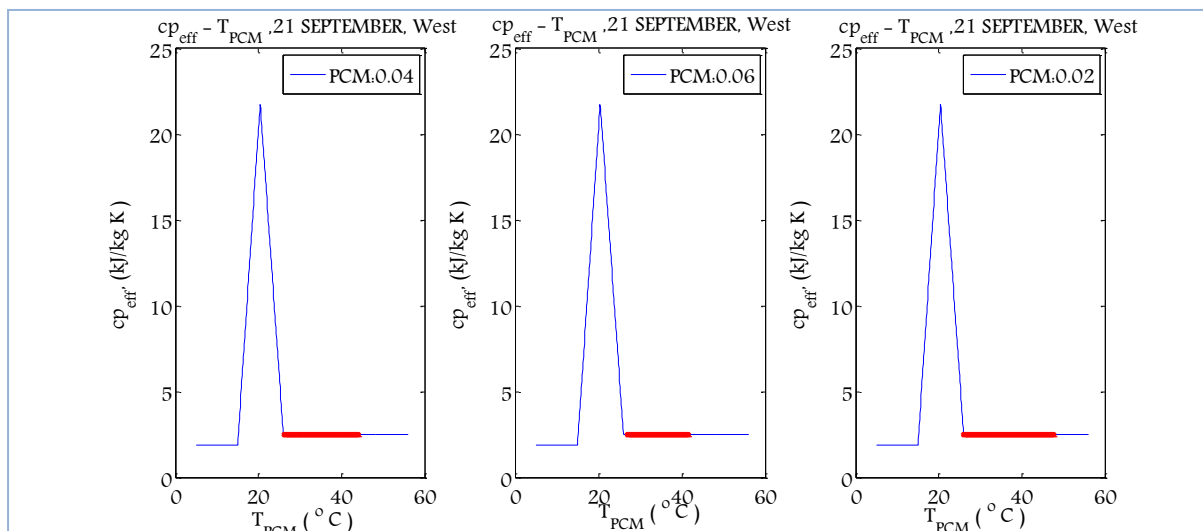


Διάγραμμα 5.2.2.3.19: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Ιουλίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

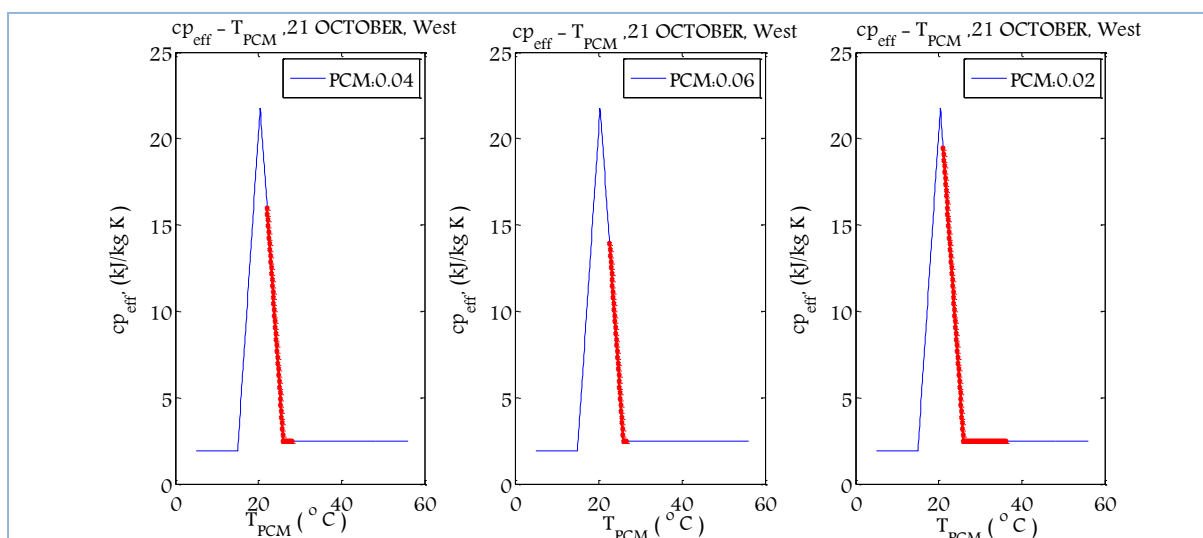


Διάγραμμα 5.2.2.3.20: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Αυγούστου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

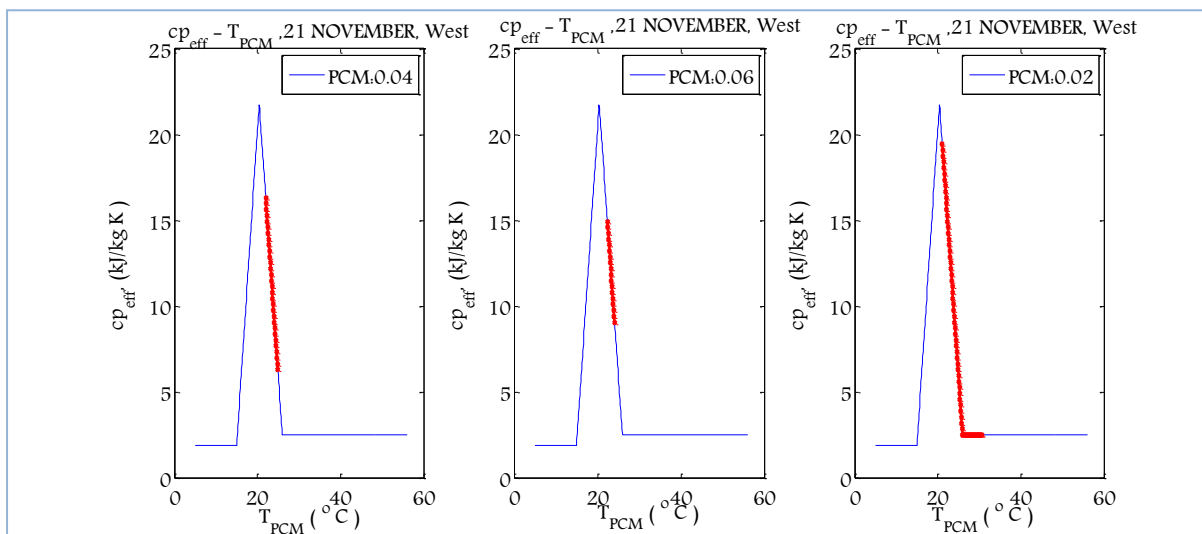


Διάγραμμα 5.2.2.3.21: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Σεπτεμβρίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

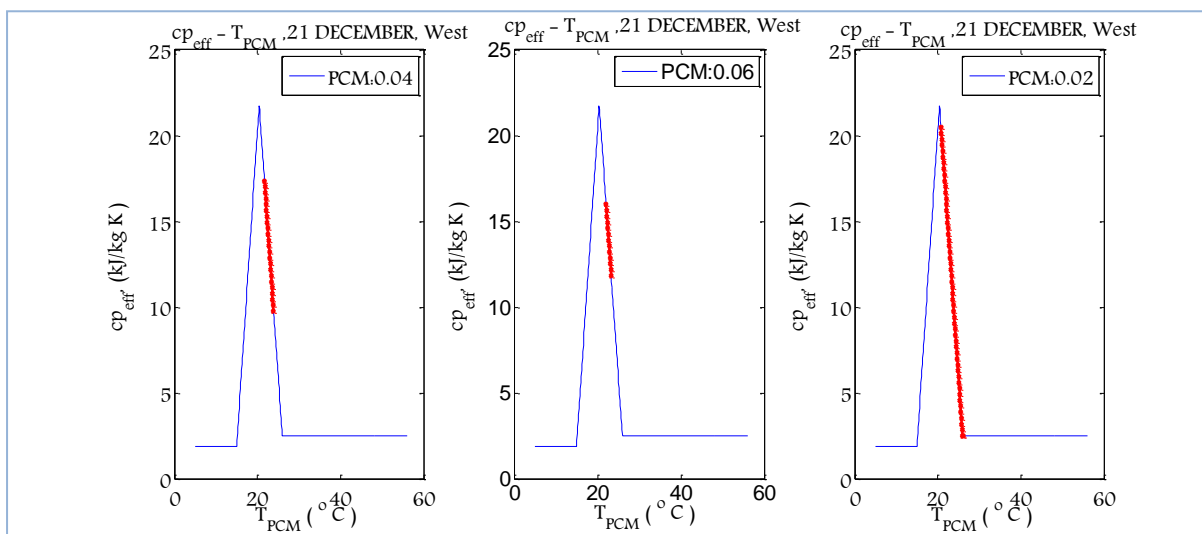


Διάγραμμα 5.2.2.3.22: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Οκτωβρίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ**



Διάγραμμα 5.2.2.3.23: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Νοεμβρίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM



Διάγραμμα 5.2.2.3.24: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Δεκεμβρίου για όλα τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος του PCM

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Όπως και στην περίπτωση του τοίχου έναντι υαλοπίνακα νοτίου και ανατολικού προσανατολισμού παρατηρείται ότι τους μήνες Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο το PCM δεν βρίσκεται εντός της διφασικής περιοχής. Επιπλέον, όσο πιο μικρό είναι το πάχος τόσο μεγαλύτερο είναι το εύρος θερμοκρασιών που καταλαμβάνει το PCM στο διάγραμμα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας, συνεπώς για μικρότερα πάχη το PCM παρουσιάζει μεγαλύτερη αποδοτικότητα.

Με σύγκριση των διαγραμμάτων της μεταβολής της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας στην περίπτωση του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού (5.2.2.1.14 έως 5.2.2.1.25) με τα αντίστοιχα διαγράμματα (5.2.2.3.13 έως 5.2.2.3.24) που αφορούν την περίπτωση του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα δυτικού προσανατολισμού, παρατηρείται ότι στην περίπτωση του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα δυτικού προσανατολισμού το PCM καλύπτει μικρότερο τμήμα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο. Αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς το PCM αναπτύσσει χαμηλότερες μέγιστες θερμοκρασίες στην προκειμένη μελέτη που ο τοίχος δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα δυτικού προσανατολισμού, σε σχέση με τις μέγιστες θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM όταν ο τοίχος δέχεται ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού. Μεταξύ των δυο αναφερόμενων προσανατολισμών οι διαφορές παρατηρούνται στις μέγιστες θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM καθώς οι ελάχιστες διαφέρουν ελαφρώς. Συνεπώς, ήταν αναμενόμενο στον εξεταζόμενο τοίχο να καταλαμβάνει το PCM μικρότερο τμήμα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας αφού αναπτύσσει μικρότερες μέγιστες σε σχέση με το PCM της υποενότητας 5.2.2.1.

Με σύγκριση των διαγραμμάτων της μεταβολής της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας στην περίπτωση του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα ανατολικού προσανατολισμού (5.2.2.2.13 έως 5.2.2.2.24) με τα αντίστοιχα διαγράμματα (5.2.2.3.13 έως 5.2.2.3.24) που αφορούν την περίπτωση του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα δυτικού προσανατολισμού, παρατηρείται ότι στην περίπτωση του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα δυτικού προσανατολισμού το PCM καλύπτει μεγαλύτερο τμήμα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς το PCM αναπτύσσει υψηλότερες μέγιστες θερμοκρασίες στην προκειμένη μελέτη που ο τοίχος δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα δυτικού προσανατολισμού, σε σχέση με τις μέγιστες θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM όταν ο τοίχος δέχεται ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα ανατολικού προσανατολισμού. Μεταξύ των δυο αναφερόμενων προσανατολισμών οι διαφορές παρατηρούνται στις μέγιστες θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM καθώς οι ελάχιστες διαφέρουν ελαφρώς. Συνεπώς, ήταν αναμενόμενο στον εξεταζόμενο τοίχο να καταλαμβάνει το PCM μεγαλύτερο τμήμα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας αφού αναπτύσσει μεγαλύτερες μέγιστες θερμοκρασίες σε σχέση με το PCM της υποενότητας 5.2.2.2.

Ε. ΒΑΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΙ ΣΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ

Προκειμένου να έχουμε ένα ποσοτικό έλεγχο της απόδοσης του PCM για την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους και για όλα τα εξεταζόμενα πάχη, κρίθηκε αναγκαίος ο υπολογισμός του βαθμού χρησιμοποίησης του PCM. Ο βαθμός χρησιμοποίησης υπολογίζεται από την σχέση (5.2.2.1.3) και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 5.2.2.3.1: Η θερμότητα που αποθηκεύει το εκάστοτε στρώμα πάχους PCM και ο βαθμός χρησιμοποίησης του

| 21 ^η ημέρα μήνα | Πάχος PCM:0.04 m | | | | Πάχος PCM:0.06 m | | | | Πάχος PCM:0.02 m | | | |
|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------|
| | T _{PCM,max} (°C) | T _{PCM,min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% | T _{PCM,max} (°C) | T _{PCM,min} (°C) | A _{προσιδόμε} (KJ/kg) | n% | T _{PCM,max} (°C) | T _{PCM,min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% |
| ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ | 24,37 | 21,76 | 33,00 | 24,98 | 23,78 | 22,09 | 22,14 | 16,76 | 26,95 | 20,86 | 60,87 | 46,08 |
| ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ | 27,12 | 22,06 | 39,50 | 29,90 | 25,53 | 22,56 | 27,49 | 20,81 | 33,58 | 21,09 | 72,89 | 55,18 |
| ΜΑΡΤΙΟΣ | 33,33 | 22,31 | 51,11 | 38,69 | 30,08 | 22,92 | 34,32 | 25,98 | 38,73 | 21,13 | 85,01 | 64,35 |
| ΑΠΡΙΛΙΟΣ | 45,38 | 26,26 | 47,80 | 36,18 | 42,43 | 27,15 | 38,20 | 28,92 | 48,52 | 26 | 56,30 | 42,62 |
| ΜΑΪΟΣ | 47,02 | 26,3 | 51,80 | 39,21 | 44,05 | 27,28 | 41,93 | 31,74 | 50,18 | 26 | 60,45 | 45,76 |
| ΙΟΥΝΙΟΣ | 47,8 | 26,31 | 53,73 | 40,67 | 44,73 | 27,33 | 43,50 | 32,93 | 51,07 | 26 | 62,68 | 47,45 |
| ΙΟΥΛΙΟΣ | 47,73 | 26,3 | 53,58 | 40,56 | 44,59 | 27,31 | 43,20 | 32,70 | 51,12 | 26 | 62,80 | 47,54 |
| ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ | 46,63 | 26,27 | 50,90 | 38,53 | 43,56 | 27,18 | 40,95 | 31,00 | 50,14 | 26 | 60,35 | 45,69 |
| ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ | 44,17 | 26,19 | 44,95 | 34,03 | 41,39 | 26,9 | 36,23 | 27,42 | 47,94 | 26 | 54,85 | 41,52 |
| ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ | 28,19 | 22,07 | 42,02 | 31,81 | 26,67 | 22,66 | 29,33 | 22,20 | 36,14 | 21,11 | 78,94 | 59,76 |
| ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ | 25,05 | 21,86 | 36,06 | 27,30 | 24,3 | 22,26 | 24,30 | 18,39 | 30,71 | 21 | 67,53 | 51,12 |
| ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ | 24,06 | 21,68 | 31,70 | 24,00 | 23,53 | 21,99 | 21,11 | 15,98 | 26,07 | 20,78 | 60,36 | 45,69 |

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Σε σύγκριση με τον βαθμό χρησιμοποίησης όταν το PCM είναι τοποθετημένο σε τοίχο απέναντι από τον οποίο βρίσκεται υαλοπίνακας νοτίου προσανατολισμού στην παρούσα μελέτη το PCM εμφανίζει μικρότερες τιμές όσον αφορά τον βαθμό χρησιμοποίησης του, τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο και αυτό οφείλεται στο εύρος θερμοκρασιών που αναπτύσσει, λόγω της μικρότερης ακτινοβολίας που δέχεται ο υαλοπίνακας δυτικού προσανατολισμού, στο PCM αναπτύσσονται χαμηλότερες μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες. Οι διαφορές στις θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM μεταξύ των δυο προσανατολισμών έγκεινται κυρίως στα μέγιστα των θερμοκρασιών και όχι τόσο στα ελάχιστα.

Σε σύγκριση με τον βαθμό χρησιμοποίησης όταν το PCM είναι τοποθετημένο σε τοίχο απέναντι από τον οποίο βρίσκεται υαλοπίνακας ανατολικού προσανατολισμού στην προκείμενη μελέτη το PCM εμφανίζει υψηλότερες τιμές όσον αφορά τον βαθμό χρησιμοποίησης καθ' όλη την διάρκεια του έτους και αυτό οφείλεται στο εύρος θερμοκρασιών που αναπτύσσει, λόγω της υψηλότερης ακτινοβολίας που δέχεται ο υαλοπίνακας δυτικού προσανατολισμού, στο PCM αναπτύσσονται υψηλότερες μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες. Οι διαφορές στις θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM μεταξύ των δυο προσανατολισμών έγκεινται κυρίως στα μέγιστα των θερμοκρασιών και όχι τόσο στα ελάχιστα.

Όσον αφορά τους μήνες Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο, σε όλες τις μελέτες το PCM βρίσκεται στην υγρή φάση. Παρ' όλα αυτά, η απόδοση του στην εξεταζόμενη μελέτη είναι υψηλότερη διότι αναπτύσσει πολύ υψηλές θερμοκρασίες κατά την διάρκεια των αυτών των μηνών, μεγαλύτερο εμβαδόν στην καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας, σε σχέση με τους άλλους προσανατολισμούς.

Όσον αφορά την μεταβολή του πάχους ισχύουν οι ίδιες παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στην υποενότητα (5.2.2.1-Ε βαθμοί απόδοσης βασισμένοι στην αλλαγή φάσης).

5.2.3 Παραμετρική μελέτη ως προς το πάχος PCM το 48ωρο

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η εξέταση της συμπεριφοράς του PCM κατά την διάρκεια του 48ωρου. Για τον σκοπό αυτό δεν γίνεται αλλαγή στο PCM, χρησιμοποιείται δηλαδή το RT20, της εταιρείας Rubitherm.

Τα χαρακτηριστικά του δωματίου έχουν αναφερθεί στην ενότητα 5.2.1. Μεταβάλλεται το πάχος του PCM και γίνεται σύγκριση με το αντίστοιχο στρώμα μπετόν όπως και στην παραμετρική μελέτη (5.2.2), μόνο που σε αυτήν την περίπτωση εξετάζεται η απόδοση του το 48ωρο και ελέγχεται μόνο η περίπτωση του τοίχου που βρίσκεται έναντι υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού.

Καθώς εξετάζεται η 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους, το δεύτερο 24ωρο αναφέρεται στην 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους μόνο που η ηλιακή ακτινοβολία είναι η μισή από εκείνη του πρώτου 24ωρου. Αυτό έγινε με σκοπό να εξεταστεί η συμπεριφορά του PCM, στην περίπτωση νεφосκεπούς ημέρας, μειωμένης δηλαδή ηλιοφάνειας.

Πραγματοποιείται έλεγχος των θερμοκρασιών που αναπτύσσει και υπολογίζονται οι βαθμοί απόδοσης του με βάση την καμπύλη της ενεργού θερμοχωρητικότητας.

5.2.3.1 Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού

A. Υπολογισμός προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για την 21^η ημέρα κάθε μήνα καθώς επίσης και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της έχουν παρουσιαστεί στην ενότητα 5.1 . Στην εξεταζόμενη παραμετρική μελέτη για το πρώτο 24ωρο λαμβάνονται υπόψη οι τιμές της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου που έχουν υπολογιστεί για νότιο προσανατολισμό. Στο δεύτερο 24ωρο η ολική ηλιακή ακτινοβολία θα είναι η μισή της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου του πρώτου 24ωρου καθώς θεωρείται νεφосκεπή ημέρα, με μειωμένη δηλαδή ηλιακή ακτινοβολία.

B. Επιλογή PCM

Τα χαρακτηριστικά του PCM και του μπετόν έχουν δοθεί στον Πίνακα 5.2.2.1.1

C. Προσομοίωση της αλλαγής φάσης

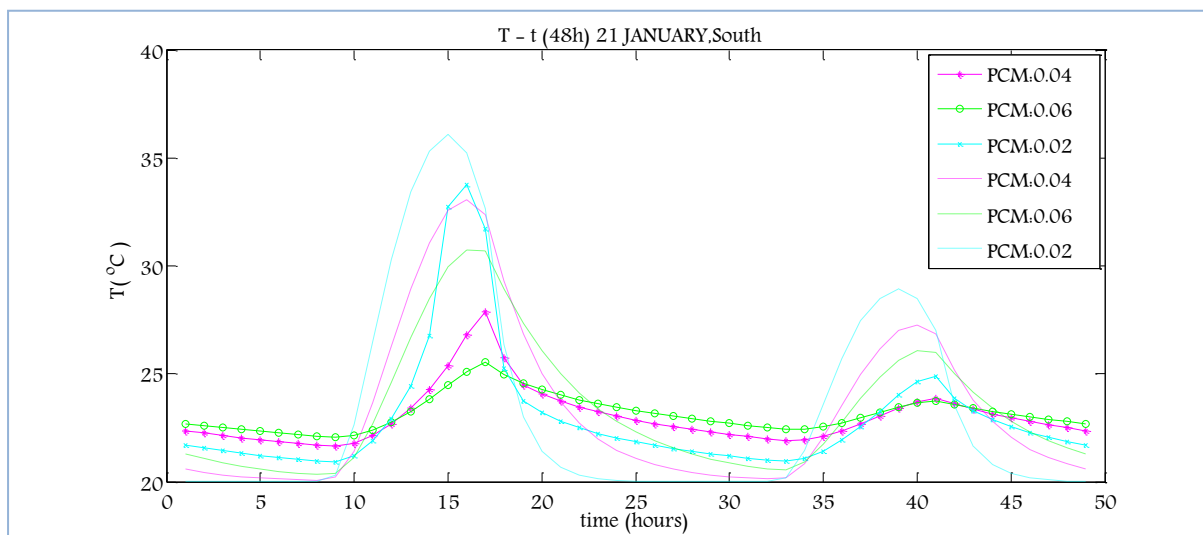
Για την προσομοίωση της αλλαγής φάσης, επιλέγεται η τριγωνική μορφή της μεθόδου της ενεργού θερμοχωρητικότητας, η οποία έχει περιγραφεί στην ενότητα 5.2.1 και η μορφή της καμπύλης έχει απεικονιστεί στο Διάγραμμα 5.2.2.1.1.

D. Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν

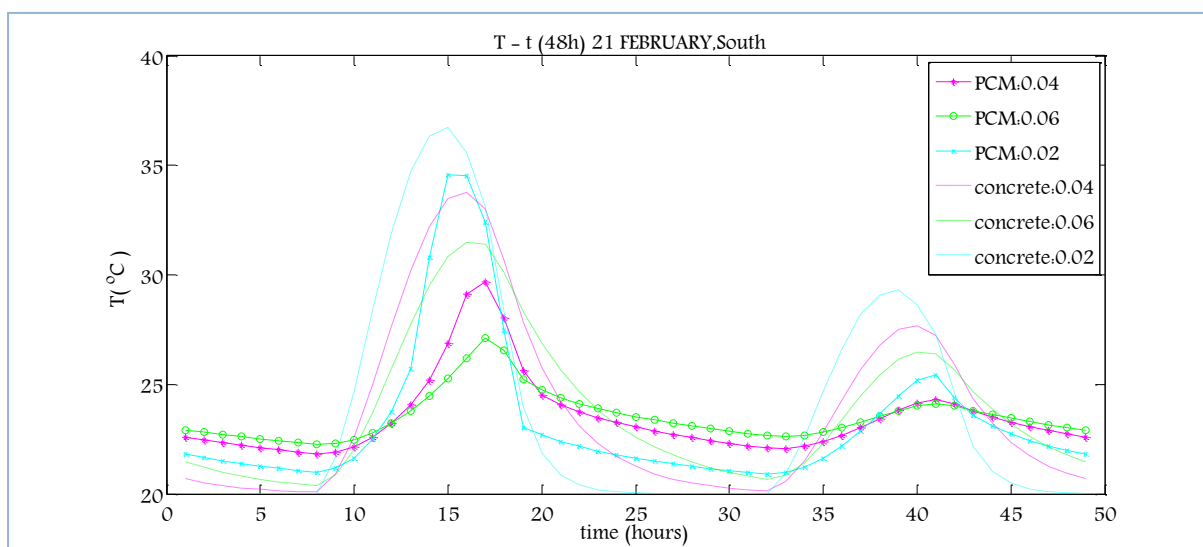
Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο μπετόν, την 21^η μέρα κάθε μήνα υπολογίζονται από τις σχέσεις (5.2.2.1.1) και (5.2.2.1.2) αντίστοιχα, μόνο που στο δεύτερο 24ωρο λαμβάνονται οι μισές τιμές της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας. Για την εύρεση της κατανομής της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο μπετόν ακολουθείται η επαναληπτική διαδικασία η οποία παρουσιάστηκε στην ενότητα (5.2.2.1-D Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν), εδώ όμως πραγματοποιείται επαναληπτική διαδικασία για το 48ωρο.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM και του αντίστοιχου στρώματος μπετόν, συναρτήσει της ώρας για όλο το 48ωρο την 21^η μέρα κάθε μήνα, για όλα τα εξεταζόμενα πάχη στρώματος PCM και μπετόν που επιλέχθηκαν. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στα διαγράμματα έχουν δοθεί οι τιμές των εξεταζόμενων παχών σε m.

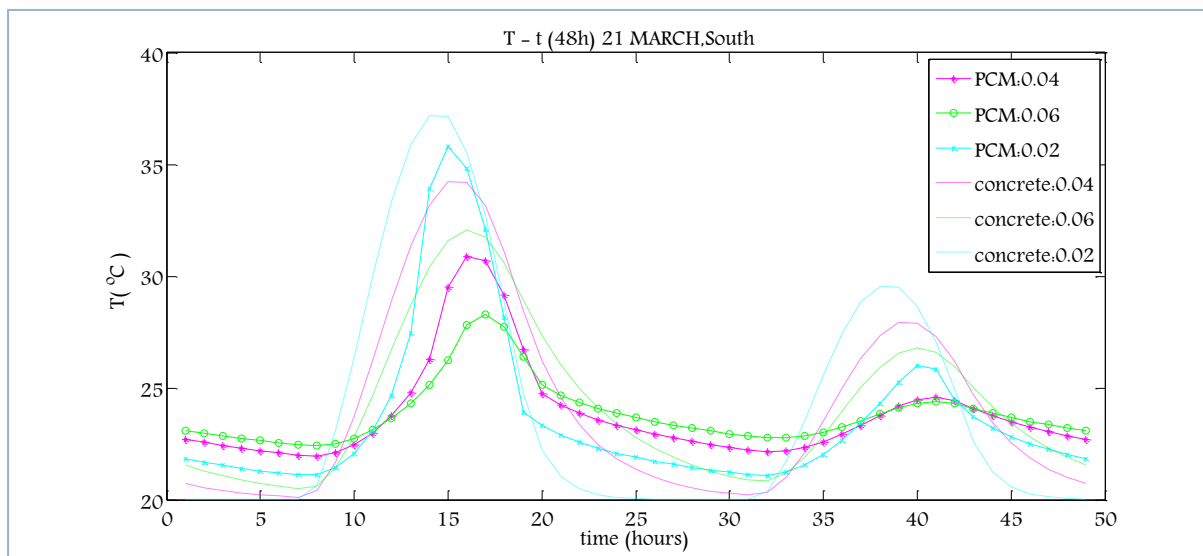


Διάγραμμα 5.2.3.1.1: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιανουαρίου για ένα 48ωρο

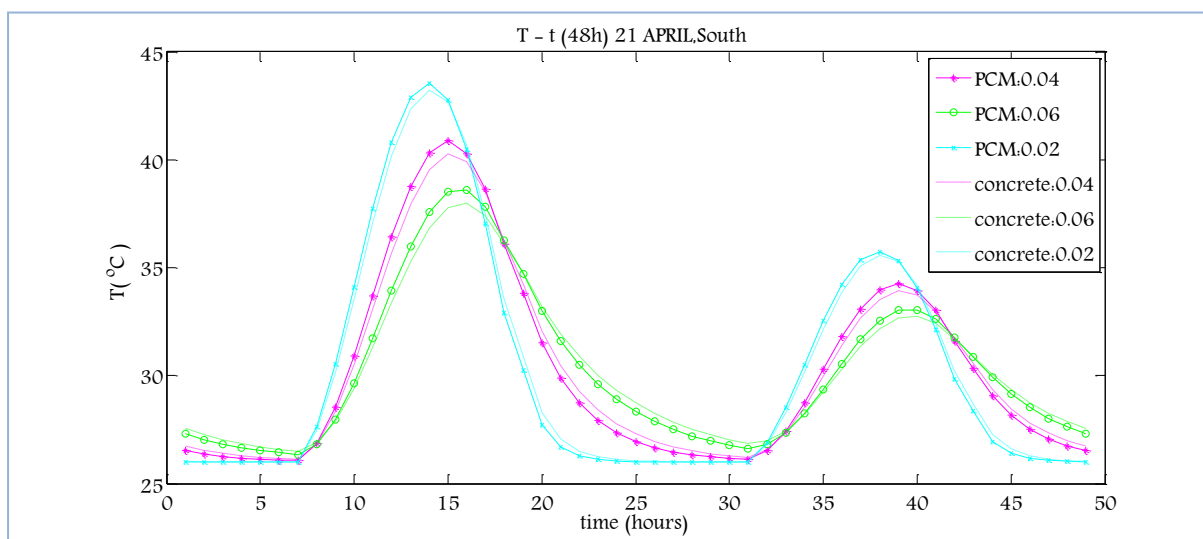


Διάγραμμα 5.2.3.1.2: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Φεβρουαρίου για ένα 48ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

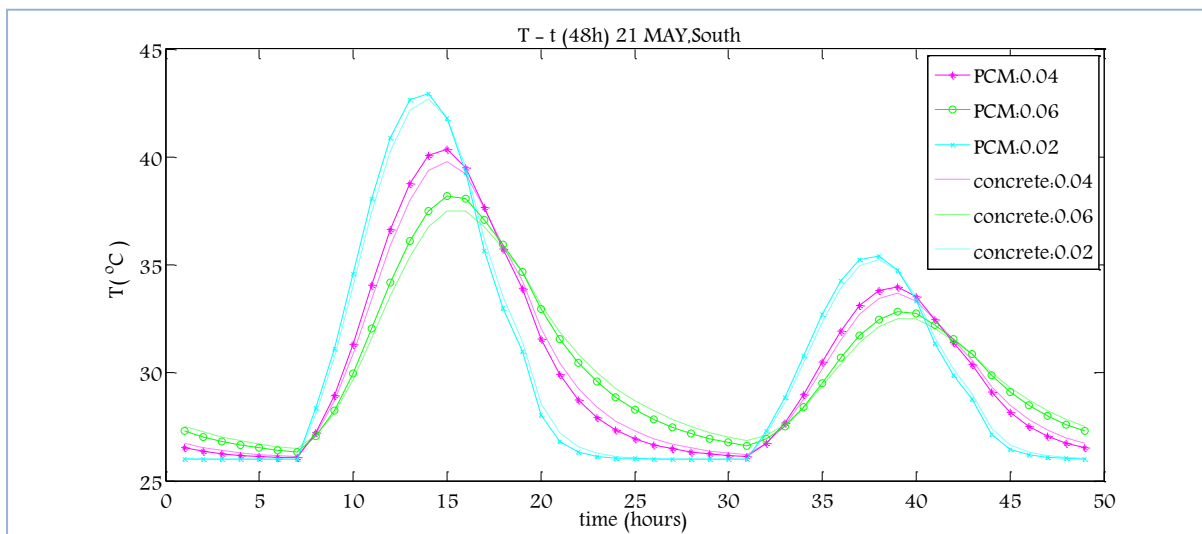


Διάγραμμα 5.2.3.1.3: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαρτίου για ένα 48ωρο

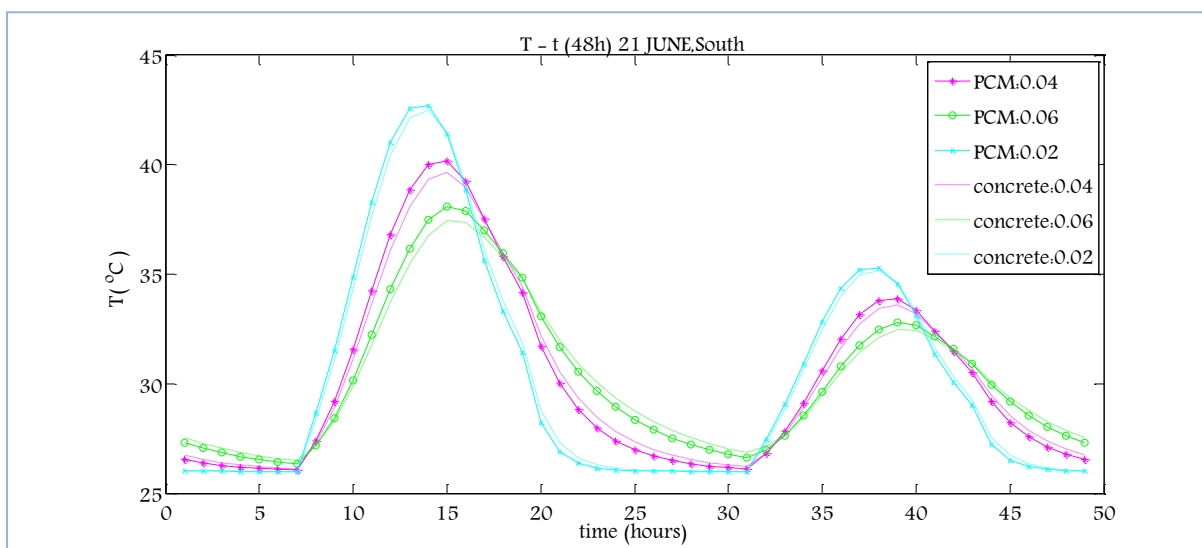


Διάγραμμα 5.2.3.1.4: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Απριλίου για ένα 48ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

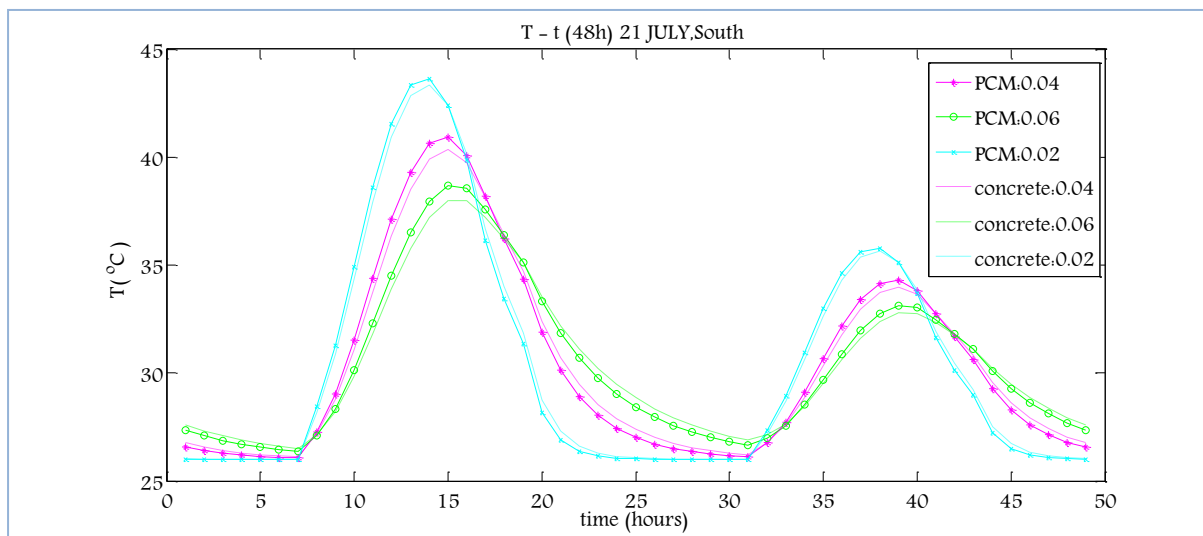


Διάγραμμα 5.2.3.1.5: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαΐου για ένα 48ωρο

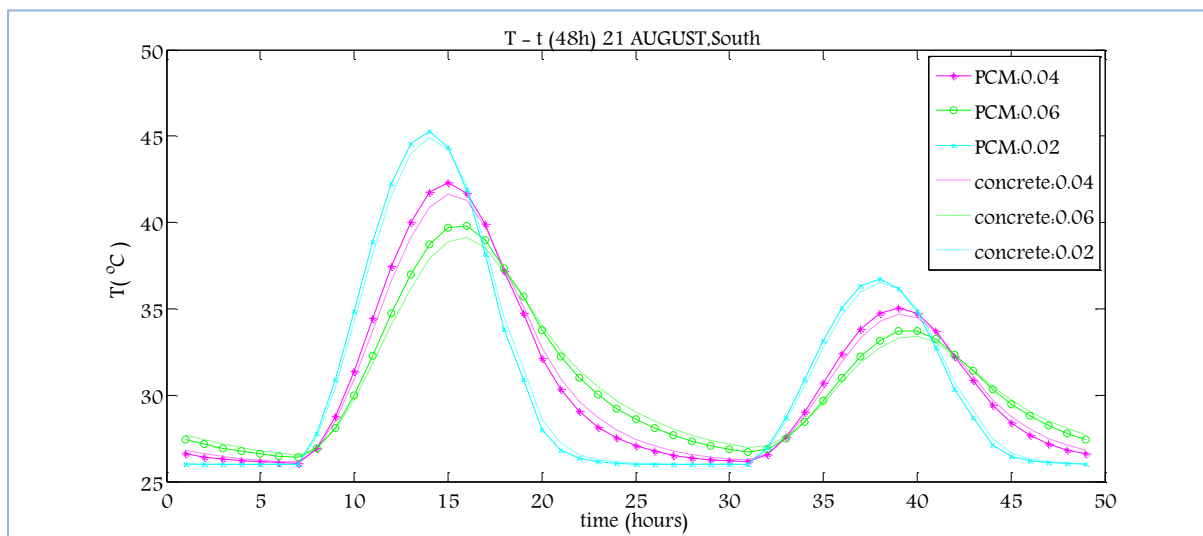


Διάγραμμα 5.2.3.1.6: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουνίου για ένα 48ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

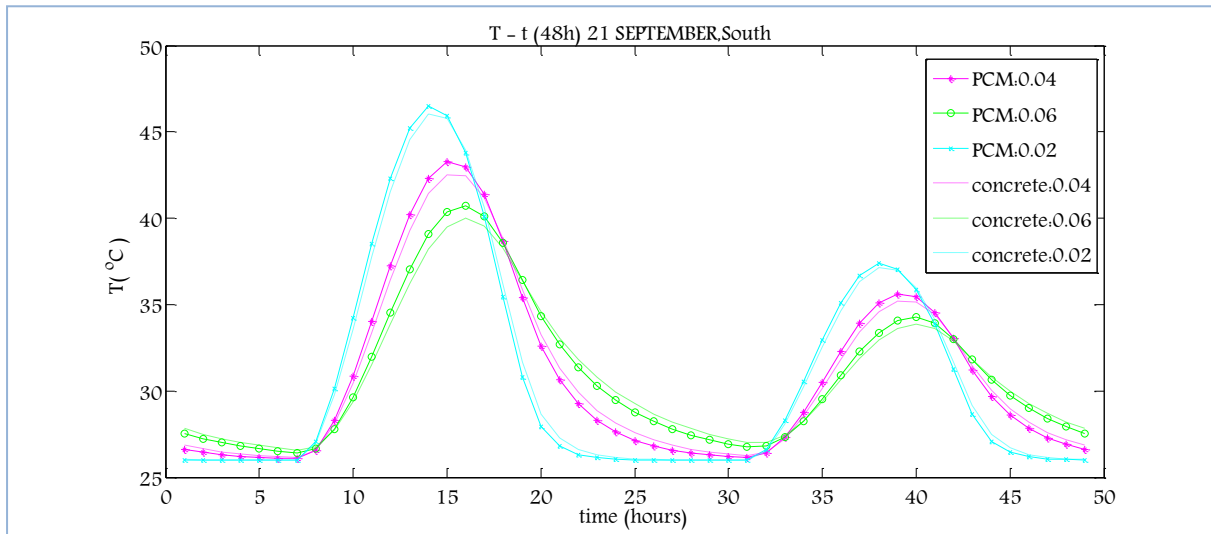


Διάγραμμα 5.2.3.1.7: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουλίου για ένα 48ωρο

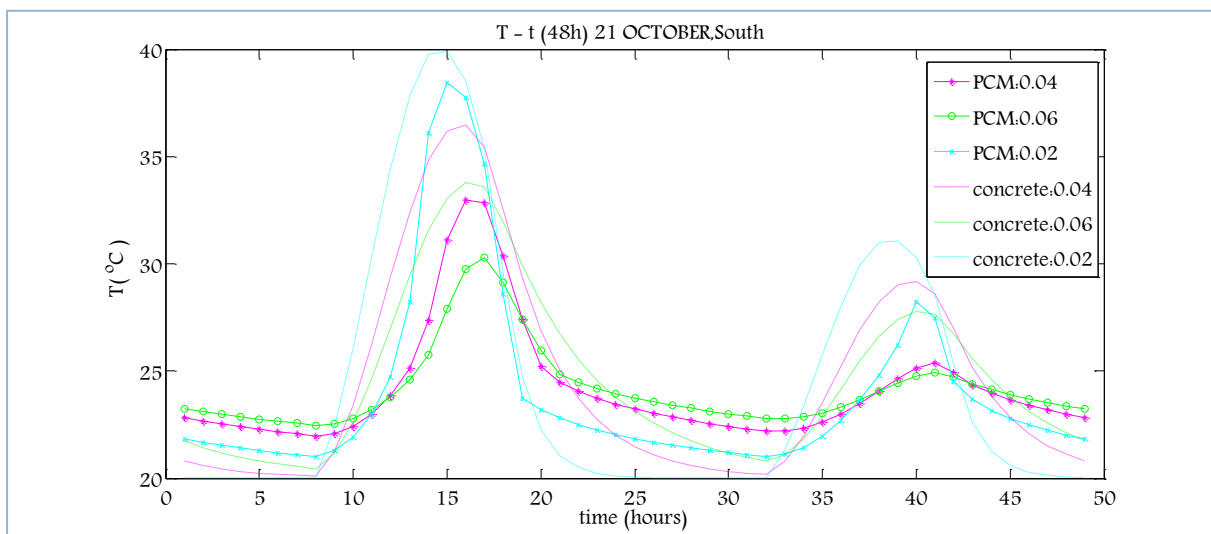


Διάγραμμα 5.2.3.1.8: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Αυγούστου για ένα 48ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

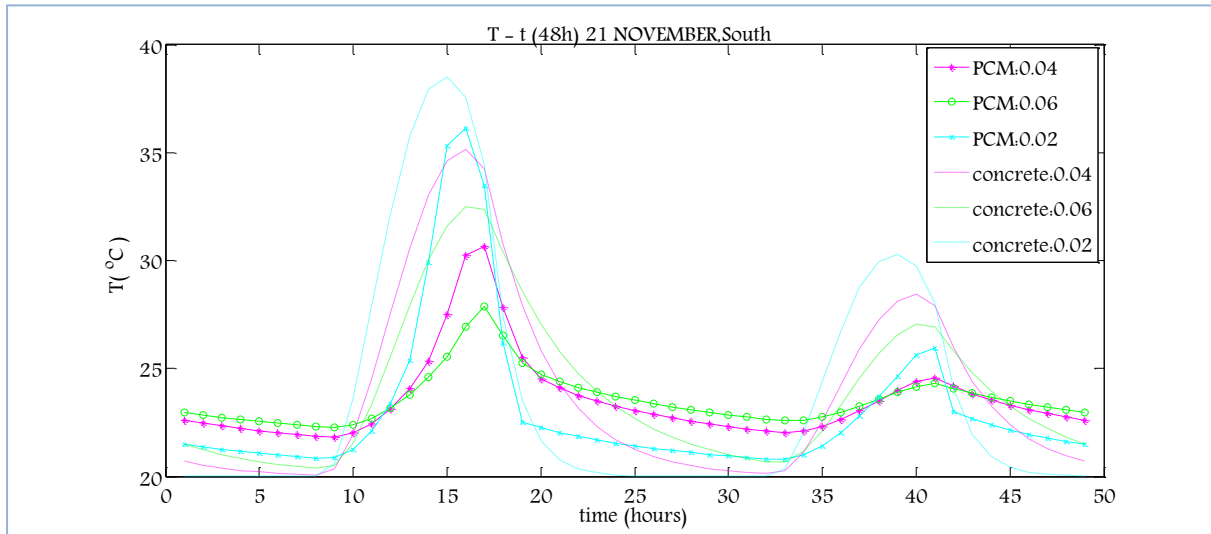


Διάγραμμα 5.2.3.1.9: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Σεπτεμβρίου για ένα 48ωρο

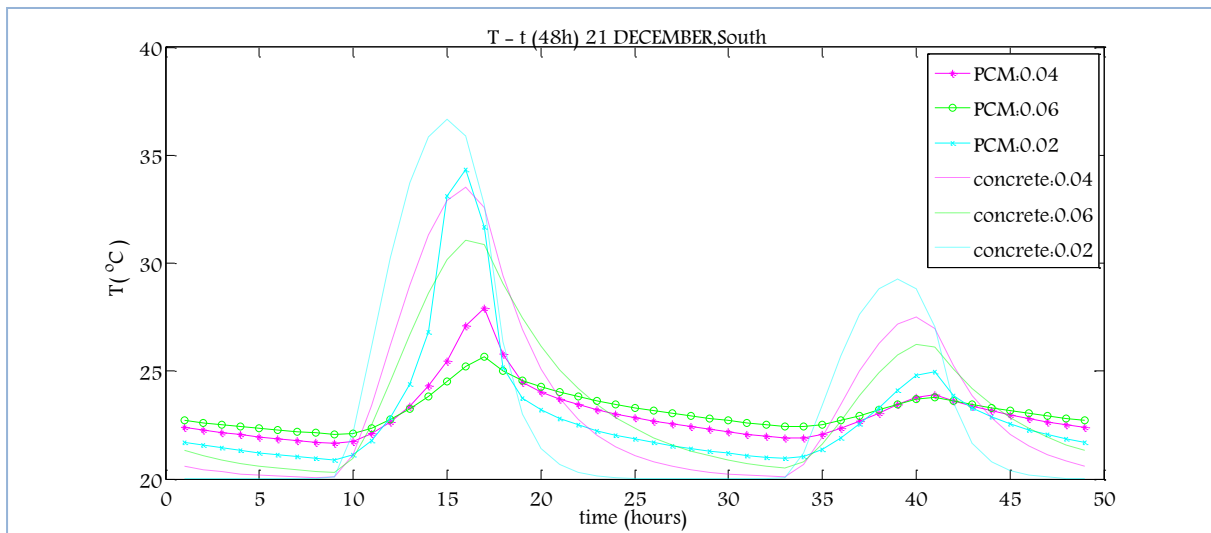


Διάγραμμα 5.2.3.1.10: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Οκτωβρίου για ένα 48ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)



Διάγραμμα 5.2.3.1.11: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Νοεμβρίου για ένα 48ωρο



Διάγραμμα 5.2.3.1.12: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Δεκεμβρίου για ένα 48ωρο

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι κατά την διάρκεια του δευτέρου 24ώρου μειώνονται τα μέγιστα των θερμοκρασιών που αναπτύσσει το εκάστοτε στρώμα PCM , το οποίο είναι λογικό αφού θεωρήθηκε το δεύτερο 24ωρο, ημέρα με μειωμένη ηλιοφάνεια και λήφθηκε ότι ο τοίχος δέχεται τη μισή τιμή της προσπίπτουσας ακτινοβολίας του πρώτου 24ωρου.

Με βάση τις παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στην υποενότητα (5.2.2.1-D υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν), οι οποίες αφορούσαν στις διαφορές που πρέπει να υπάρχουν στην κατανομή της θερμοκρασίας μεταξύ PCM και αντίστοιχου στρώματος μπετόν και τα διαγράμματα μεταβολής της θερμοκρασίας (5.2.3.1.1 έως 5.2.3.1.12) θα γίνει ο έλεγχος της απόδοσης του PCM.

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο, το PCM χρησιμοποιεί μέρος της θερμότητας που παίρνει για να αλλάξει φάση. Εμφανίζει χαμηλότερες μέγιστες θερμοκρασίες κατά την διάρκεια της ημέρας και υψηλότερες ελάχιστες κατά την διάρκεια της νύχτας, δεν συμβαίνει το ίδιο όμως τους υπόλοιπους μήνες δηλαδή τους μήνες από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο, στους οποίους ανεβάζει λίγο μεγαλύτερη θερμοκρασία από το αντίστοιχο στρώμα μπετόν και εμφανίζει λίγο χαμηλότερες ελάχιστες θερμοκρασίες.

Αυτό συμβαίνει διότι το εκάστοτε στρώμα PCM τους μήνες από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο αναπτύσσει θερμοκρασίες υψηλότερες από τους 26°C, που είναι η θερμοκρασία που το PCM βρίσκεται στην υγρή φάση, δεν αλλάζει δηλαδή φάση αλλά συμπεριφέρεται ως σύνηθες δομικό υλικό και δεν ισχύει η αναφερθείσα σύγκριση με το μπετόν. Όσον αφορά τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο, το PCM αλλάζει φάση και αναπτύσσει θερμοκρασίες ψηλότερες της $T_c = 20,5^{\circ}\text{C}$ που είναι το μέσο του εύρους θερμοκρασιών υγρής και στερεάς φάσης.

Και στην περίπτωση του 48ωρου, ισχύουν οι ίδιες παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στην υποενότητα (5.2.2.1-D υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν), όσον αφορά την επίδραση της μεταβολής του πάχους του στρώματος στις θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

Ε. ΒΑΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΙ ΣΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ

Προκειμένου να έχουμε ένα ποσοτικό έλεγχο της απόδοσης του PCM για την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους και για όλα τα εξεταζόμενα πάχη, κρίθηκε αναγκαίος ο υπολογισμός του βαθμού χρησιμοποίησης του PCM. Ο βαθμός χρησιμοποίησης υπολογίζεται από την σχέση (5.2.2.1.3) και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 5.2.3.1.1: Η θερμότητα που αποθηκεύει το εκάστοτε στρώμα πάχους PCM και ο βαθμός χρησιμοποίησης του

| 21 ^η ημέρα μήνα | Πάχος PCM:0.04 m | | | | Πάχος PCM:0.06 m | | | | Πάχος PCM:0.02 m | | | |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------|
| | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% |
| ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ | 27,85 | 21,66 | 48,07 | 36,39 | 25,55 | 22,07 | 35,04 | 26,53 | 33,77 | 20,93 | 76,56 | 57,96 |
| ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ | 29,67 | 21,83 | 49,64 | 37,58 | 27,13 | 22,28 | 36,08 | 27,31 | 34,56 | 20,92 | 78,75 | 59,62 |
| ΜΑΡΤΙΟΣ | 30,88 | 21,96 | 50,52 | 38,24 | 28,29 | 22,42 | 36,85 | 27,90 | 35,81 | 21,09 | 78,46 | 59,40 |
| ΑΠΡΙΛΙΟΣ | 40,88 | 26,06 | 37,05 | 28,05 | 38,58 | 26,35 | 30,58 | 23,15 | 43,55 | 26 | 43,88 | 33,21 |
| ΜΑΪΟΣ | 40,34 | 26,06 | 35,70 | 27,02 | 38,18 | 26,34 | 29,60 | 22,41 | 42,93 | 26 | 42,33 | 32,04 |
| ΙΟΥΝΙΟΣ | 40,18 | 26,07 | 35,28 | 26,70 | 38,09 | 26,35 | 29,35 | 22,22 | 42,71 | 26 | 41,78 | 31,62 |
| ΙΟΥΛΙΟΣ | 40,93 | 26,07 | 37,15 | 28,12 | 38,67 | 26,36 | 30,78 | 23,30 | 43,62 | 26 | 44,05 | 33,35 |
| ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ | 42,3 | 26,07 | 40,58 | 30,72 | 39,81 | 26,38 | 33,58 | 25,42 | 45,28 | 26 | 48,20 | 36,49 |
| ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ | 43,27 | 26,08 | 42,98 | 32,53 | 40,74 | 26,41 | 35,83 | 27,12 | 46,5 | 26 | 51,25 | 38,80 |
| ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ | 32,96 | 21,97 | 55,56 | 42,06 | 30,31 | 22,47 | 41,13 | 31,14 | 38,44 | 21,01 | 86,61 | 65,57 |
| ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ | 30,65 | 21,81 | 52,44 | 39,69 | 27,86 | 22,26 | 38,20 | 28,92 | 36,15 | 20,8 | 85,15 | 64,46 |
| ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ | 27,93 | 21,64 | 48,56 | 36,76 | 25,65 | 22,07 | 35,46 | 26,84 | 34,35 | 20,9 | 78,61 | 59,51 |

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Με σύγκριση του παραπάνω πίνακα, με τον Πίνακα 5.2.2.1.2, ο οποίος αναφέρεται στην περίπτωση τοίχου που δέχεται ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού αλλά το 24ωρο, γίνεται εμφανές ότι στην περίπτωση του 48ωρου το PCM αποθηκεύει περισσότερη θερμότητα και κατά συνέπεια αυξάνεται ο βαθμός χρησιμοποίησης του.

Στην περίπτωση του 48ωρου τα μέγιστα και τα ελάχιστα των θερμοκρασιών που αναπτύσσει το εκάστοτε στρώμα PCM έχουν μειωθεί.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Και σε αυτή την περίπτωση όσο πιο λεπτό είναι το στρώμα του PCM παρατηρούνται καλύτεροι βαθμοί απόδοσης. Παρόλα αυτά για το στρώμα των 20 mm οι διαφορές μεταξύ 48ωρου και 24ωρου είναι μικρές και καθώς αυξάνεται το πάχος είναι πιο εμφανείς οι διαφορές στον βαθμό απόδοσης του PCM μεταξύ 24ωρου και 48ωρου. Αυτό συμβαίνει διότι αυξανόμενου του πάχους του PCM αυξάνονται οι διαφορές των μέγιστων θερμοκρασιών μεταξύ 24ωρου και 48ωρου. Εμφανίζονται δηλαδή πιο χαμηλά μέγιστα στο 48ωρο σε σχέση με το 24ωρο, αυξανόμενου του πάχους του PCM.

Μεταξύ 24ωρου και 48ωρου οι διαφορές στις ελάχιστες θερμοκρασίες είναι πολύ μικρές.

5.2.4 Παραμετρική μελέτη ως προς το PCM το 24ωρο

Σκοπός της παρούσας παραμετρικής μελέτης είναι να εξεταστούν τρία εμπορικά PCMs, το RT20, το RT27 και το SP25A8 προκειμένου να ελεγχθεί αν κάποιο από τα εξεταζόμενα εμπορικά PCMs είναι αποδοτικό την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους. Σε προηγούμενη παραμετρική μελέτη που είχε επιλεχθεί ως PCM μελέτης το RT20 διαπιστώθηκε ότι κατά την διάρκεια των μηνών από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο δεν είναι αποδοτικό, δεν αλλάζει φάση, συμπεριφέρεται δηλαδή σαν σύννηθες δομικό υλικό και δεν παρουσιάζει διαφορές από το σύννηθες δομικό υλικό το μπετόν, όπως στην περίπτωση των υπολοίπων μηνών.

Όπως και στην παραμετρική μελέτη ως προς το πάχος του PCM θα εξεταστούν τρεις περιπτώσεις μονωμένου τοίχου. Στην πρώτη περίπτωση ο τοίχος δέχεται ακτινοβολία από υαλοπίνακα που είναι τοποθετημένος σε νότιο προσανατολισμό και στην συνέχεια εξετάζονται οι περιπτώσεις που ο υαλοπίνακας είναι τοποθετημένος σε ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό.

Εξετάζονται οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους, προκειμένου να αναδειχθούν τα πιθανά οφέλη του PCM σε σχέση με το σύννηθες δομικό υλικό, το μπετόν. Παρουσιάζεται επιπλέον, το τμήμα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας που καλύπτει το PCM, η θερμότητα που αποθηκεύεται σε αυτό και ο βαθμός χρησιμοποίησης του PCM με βάση την καμπύλη της ενεργού θερμοχωρητικότητας, για κάθε ένα από τα εξεταζόμενα PCMs.

Και για τις τρεις περιπτώσεις, η εξέταση θα πραγματοποιηθεί για την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους.

5.2.4.1 Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού

A. Υπολογισμός προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για την 21^η ημέρα κάθε μήνα καθώς επίσης και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της έχουν παρουσιαστεί στην ενότητα 5.1 . Στην παρούσα παραμετρική μελέτη λαμβάνονται υπόψη οι τιμές της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου που έχουν υπολογιστεί για νότιο προσανατολισμό.

B. Επιλογή PCM

Τα χαρακτηριστικά του PCM,RT20, και του μπετόν έχουν δοθεί στον Πίνακα 5.2.2.1.1.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των δυο νέων προς εξέταση PCMs, του RT27 και του SP25A8.

| Πίνακας 5.2.4.1.1: Χαρακτηριστικά PCMs, [4] | | |
|---|-------|--------|
| | RT27 | SP25A8 |
| H (kJ/kg) | 167.4 | |
| ρ (kg/m ³) | 820 | 1380 |
| T _s (°C) | 22 | 22 |
| T _i (°C) | 31 | 32 |
| T _c (°C) | 26,5 | 27 |
| b | 9 | 10 |
| c _{p,s} (kJ/kg°C) | 2000 | 2600 |
| c _{p,l} (kJ/kg°C) | 2300 | 2700 |

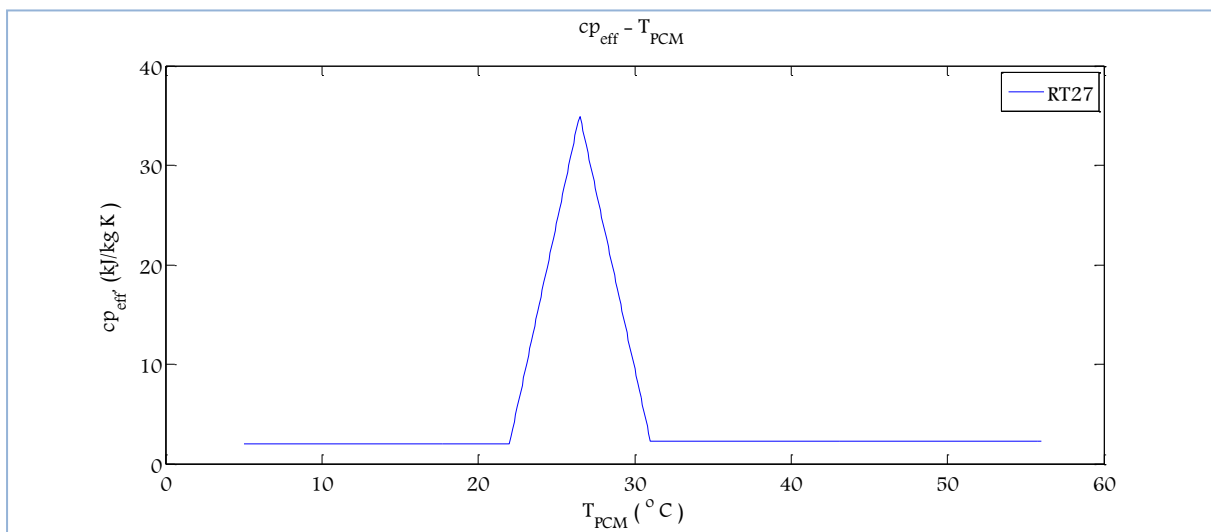
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

C. Προσομοίωση της αλλαγής φάσης

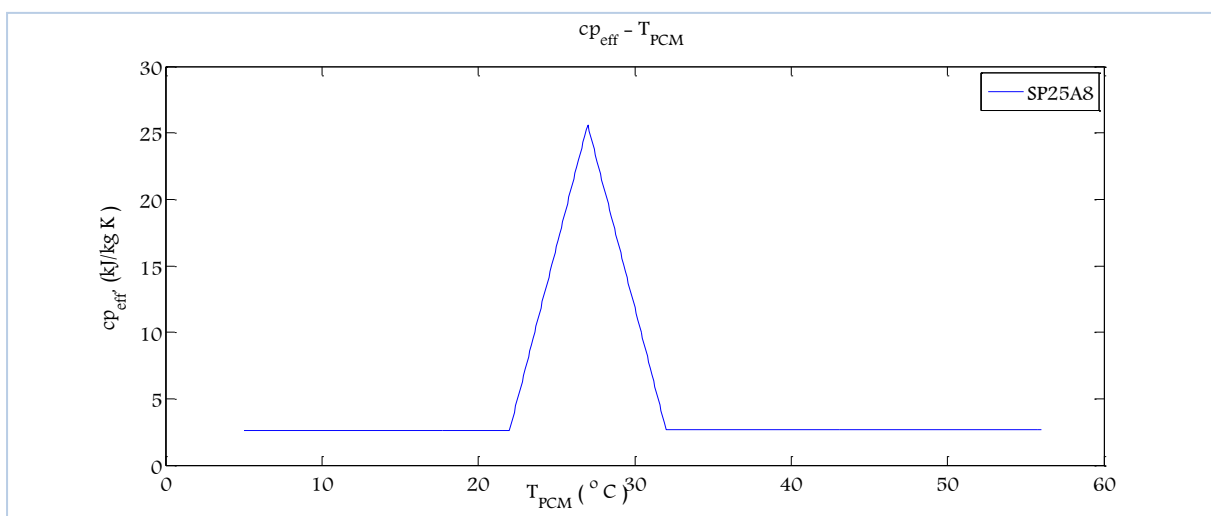
Για την προσομοίωση της αλλαγής φάσης, επιλέγεται η τριγωνική μορφή της μεθόδου της ενεργού θερμοχωρητικότητας, η οποία έχει περιγραφεί στην ενότητα 5.2.1.

Η μορφή της καμπύλης όσον αφορά το RT20 έχει απεικονιστεί στο Διάγραμμα 5.2.2.1.1.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η μορφή της καμπύλης για το RT27 και το SP25A8.



Διάγραμμα 5.2.4.1.1: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM (RT27) συναρτήσει της θερμοκρασίας



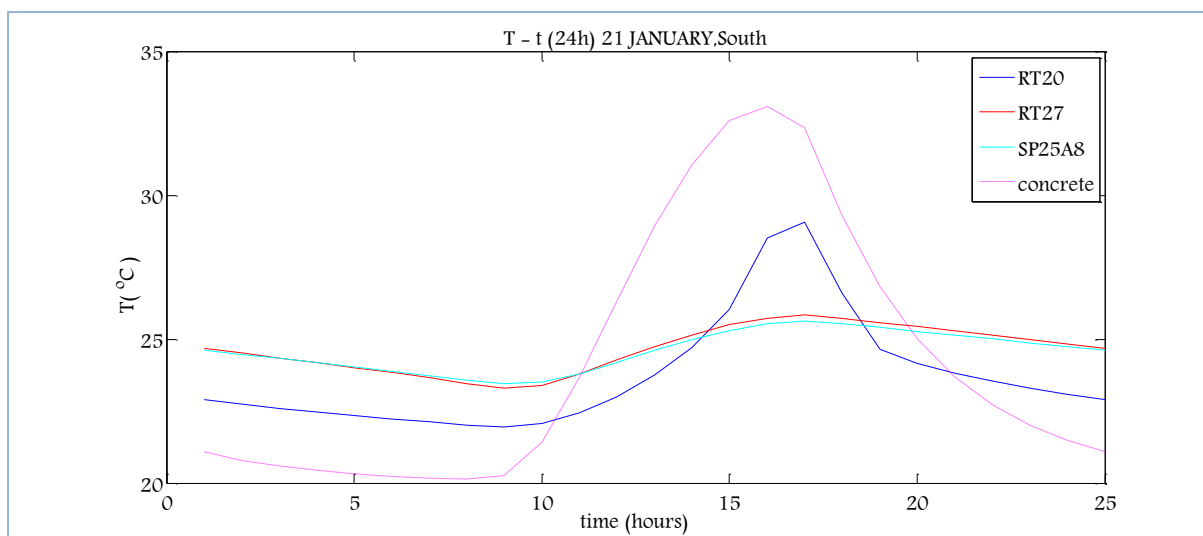
Διάγραμμα 5.2.4.1.2: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM (SP25A8) συναρτήσει της θερμοκρασίας

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

D. Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν

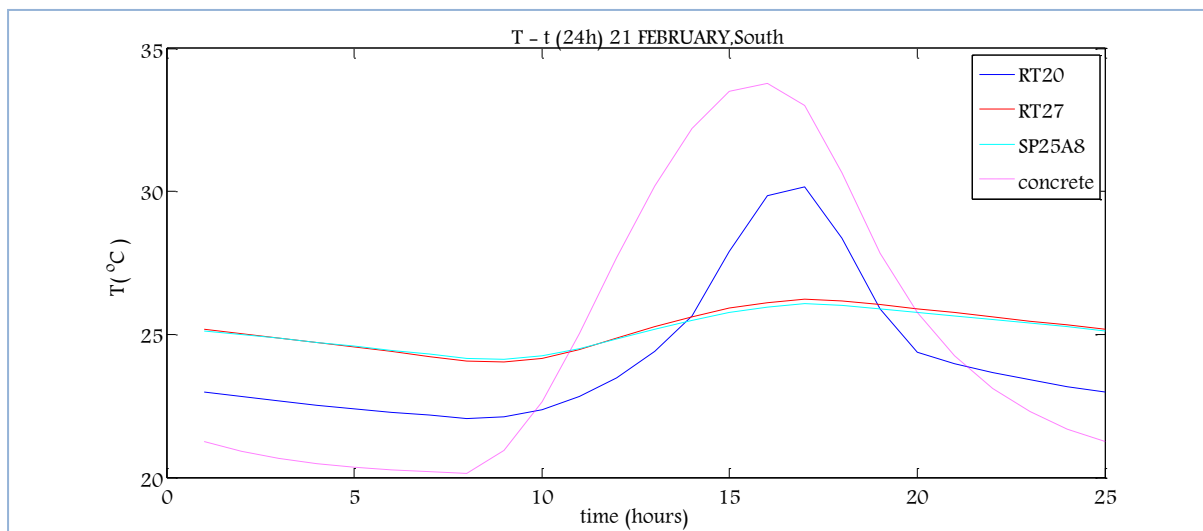
Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο μπετόν, την 21^η μέρα κάθε μήνα υπολογίζονται από τις σχέσεις (5.2.2.1.1) και (5.2.2.1.2) αντίστοιχα. Για την εύρεση της κατανομής της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο μπετόν ακολουθείται η επαναληπτική διαδικασία η οποία παρουσιάστηκε στην ενότητα (5.2.2.1-D Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν).

Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του εκάστοτε PCM συναρτήσει της ώρας για όλο το 24ωρο την 21^η μέρα κάθε μήνα του έτους καθώς επίσης και η αντίστοιχη μεταβολή της θερμοκρασίας του μπετόν.

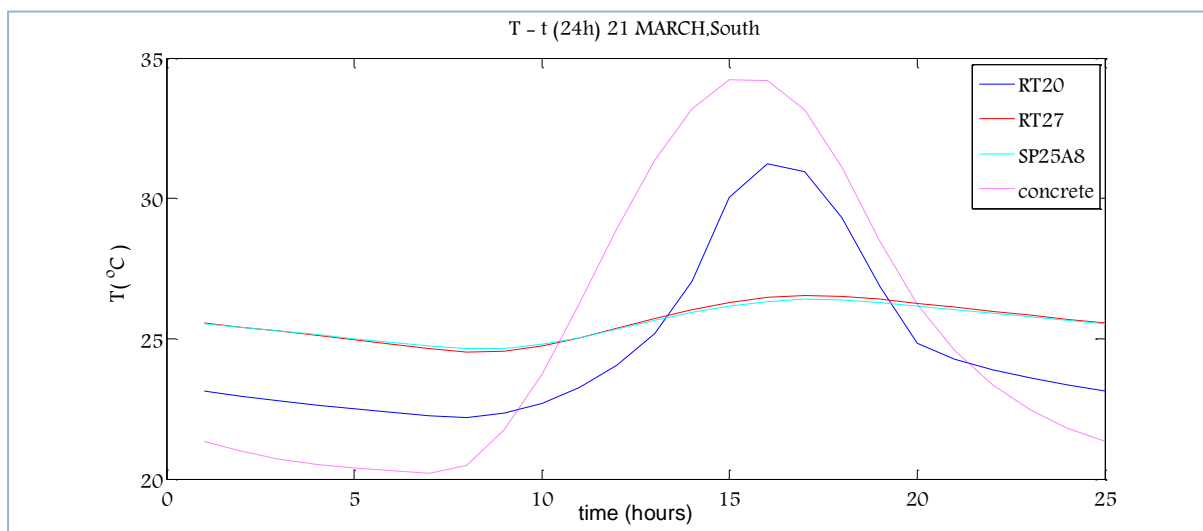


Διάγραμμα 5.2.4.1.3: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιανουαρίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

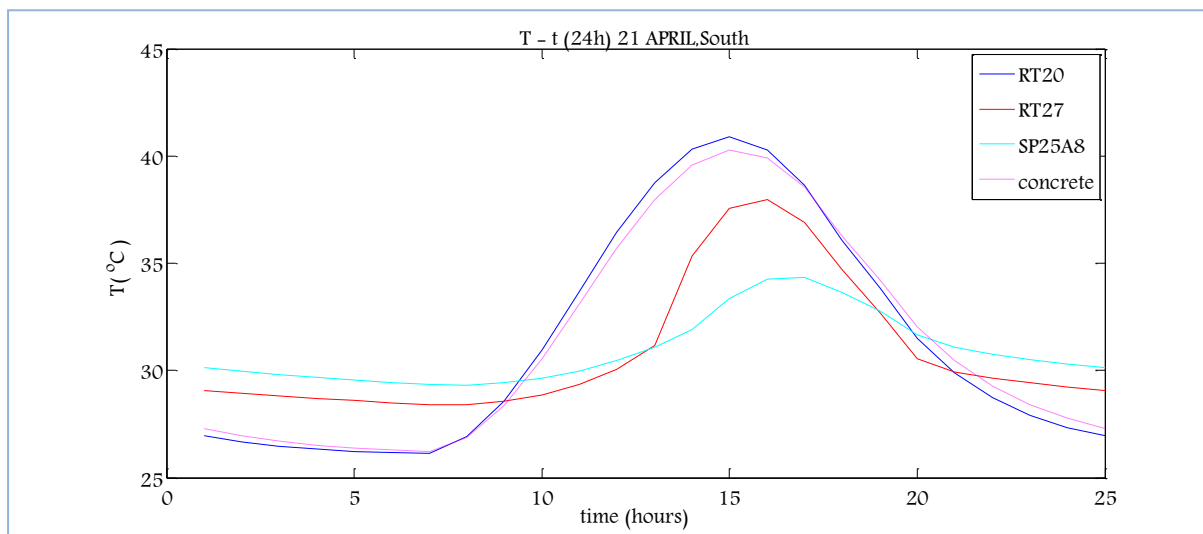


Διάγραμμα 5.2.4.1.4: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Φεβρουαρίου για ένα 24ωρο

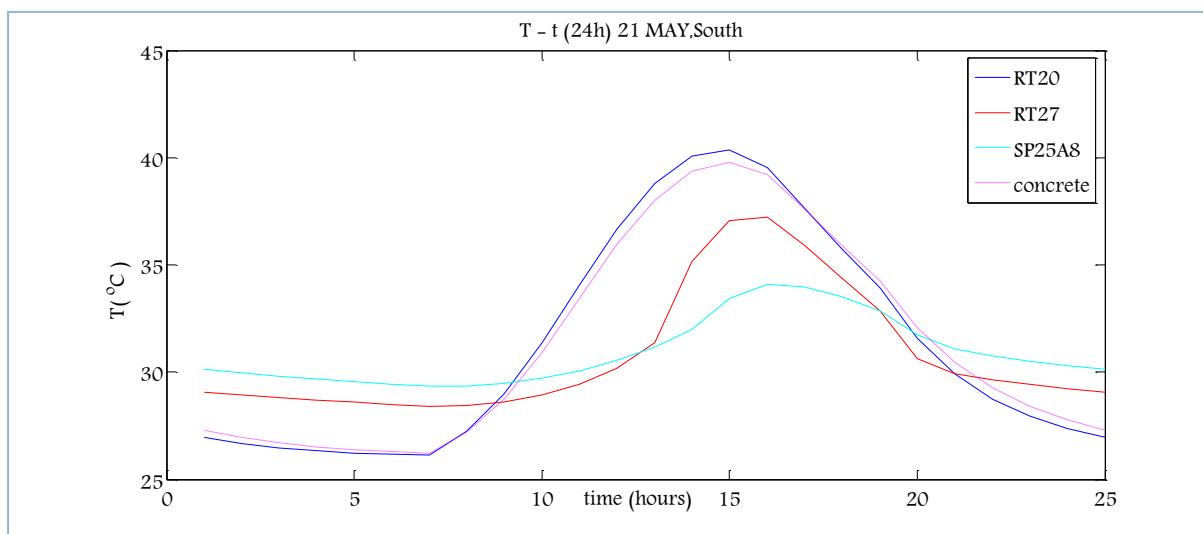


Διάγραμμα 5.2.4.1.5: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαρτίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

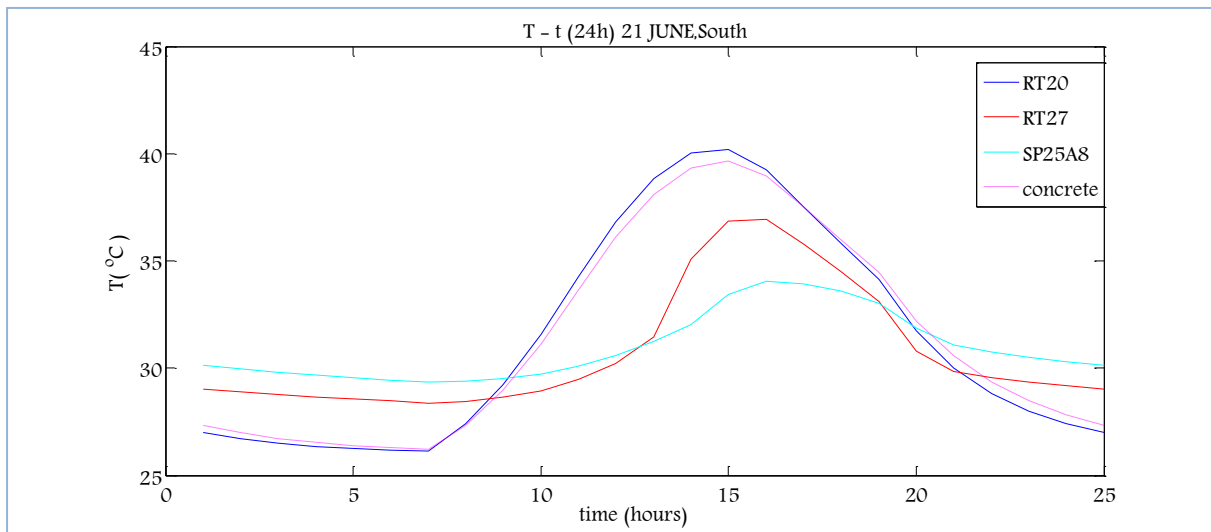


Διάγραμμα 5.2.4.1.6: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Απριλίου για ένα 24ωρο

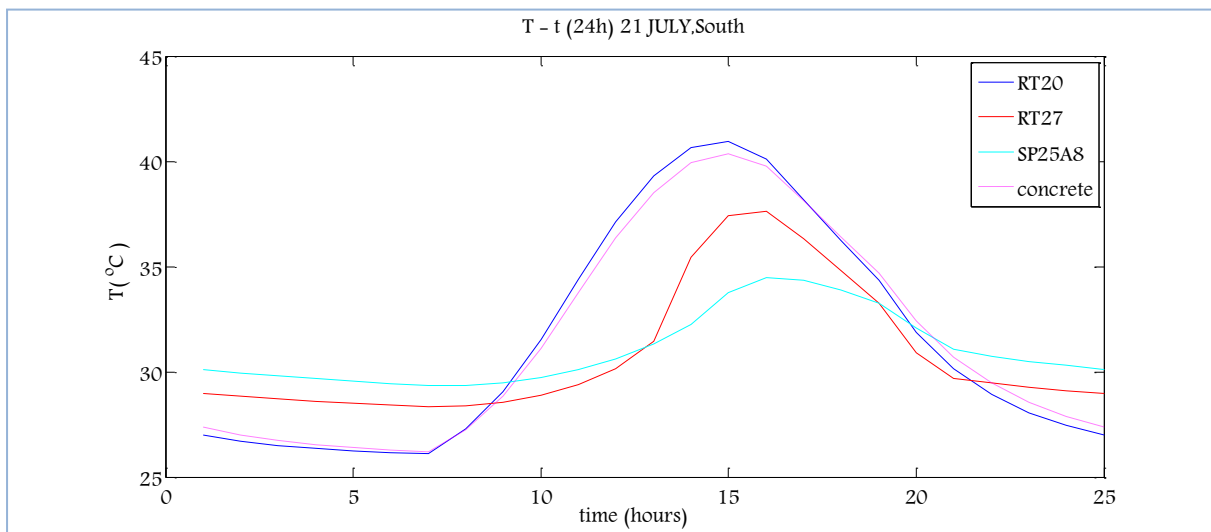


Διάγραμμα 5.2.4.1.7: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαΐου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

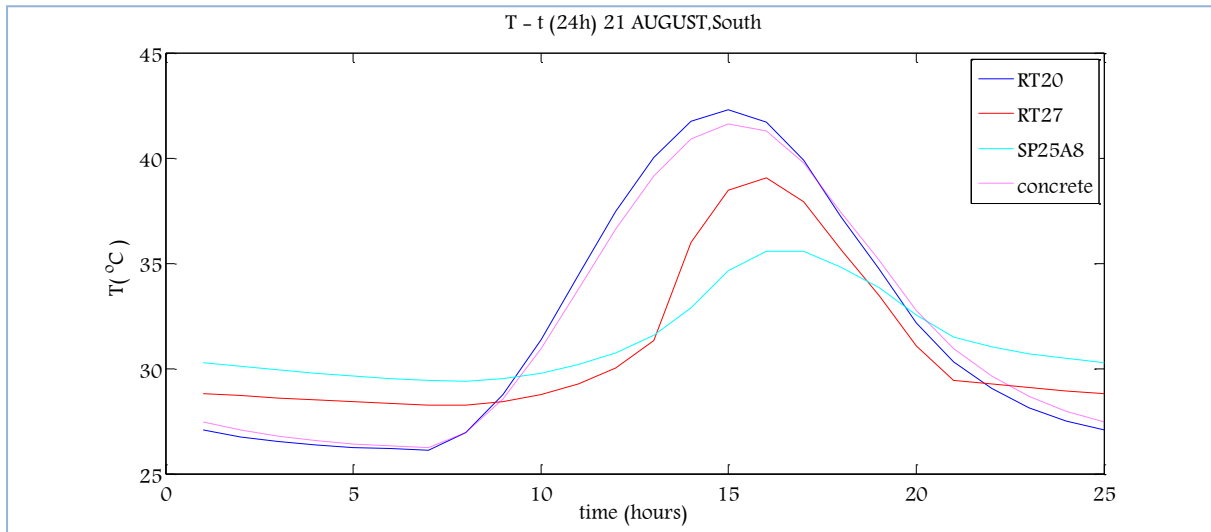


Διάγραμμα 5.2.4.1.8: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουνίου για ένα 24ωρο

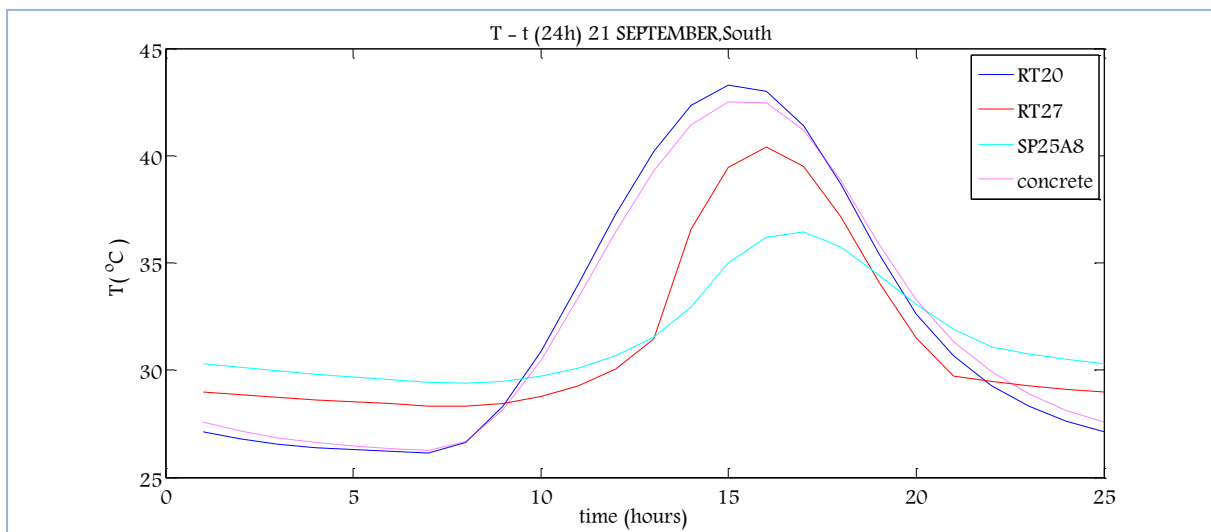


Διάγραμμα 5.2.4.1.9: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουλίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

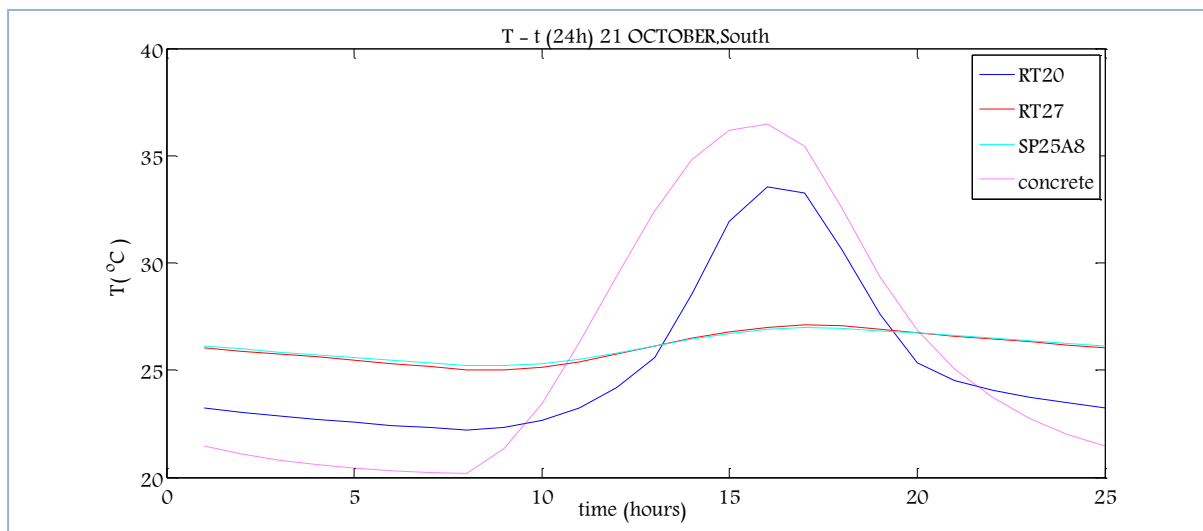


Διάγραμμα 5.2.4.1.10: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Αυγούστου για ένα 24ωρο

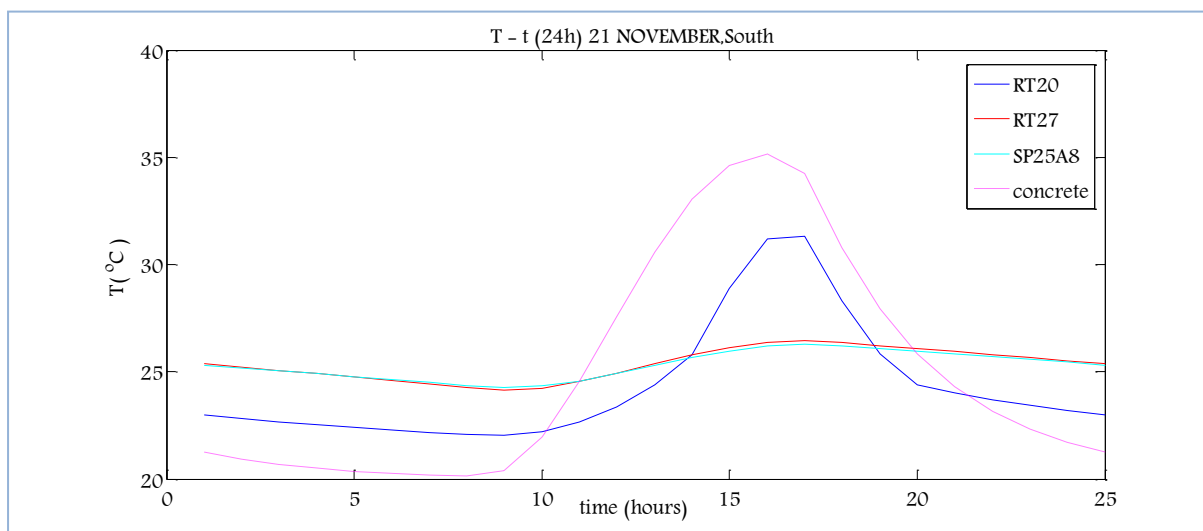


Διάγραμμα 5.2.4.1.11: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Σεπτεμβρίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

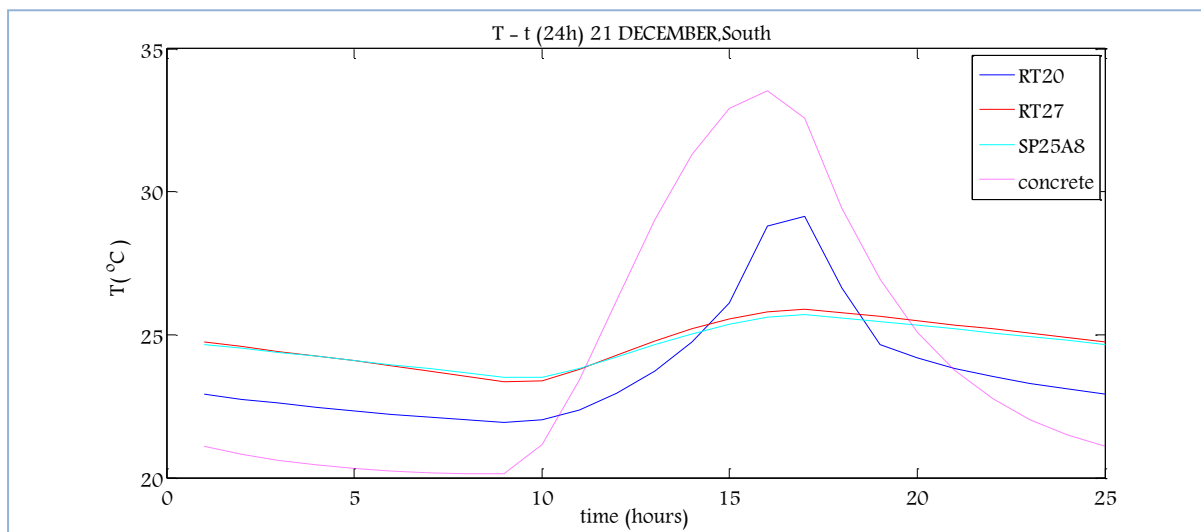


Διάγραμμα 5.2.4.1.12: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Οκτωβρίου για ένα 24ωρο



Διάγραμμα 5.2.4.1.13: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Νοεμβρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ



Διάγραμμα 5.2.4.1.14: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Δεκεμβρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Με βάση τις παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στην υποενότητα (5.2.2.1-D υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν), οι οποίες αφορούσαν στις διαφορές που πρέπει να υπάρχουν στην κατανομή της θερμοκρασίας μεταξύ PCM και αντίστοιχου στρώματος μπετόν και τα διαγράμματα μεταβολής της θερμοκρασίας (5.2.4.1.3 έως 5.2.4.1.14) θα γίνει ο έλεγχος της απόδοσης των PCMs.

Παρατηρείται ότι στα RT27 και SP25A8, τους μήνες από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο η μέγιστη θερμοκρασία που αναπτύσσουν κατά την διάρκεια της ημέρας είναι χαμηλότερη από την μέγιστη θερμοκρασία που αναπτύσσει το αντίστοιχο στρώμα μπετόν. Διαφορές παρατηρούνται και στις ελάχιστες θερμοκρασίες που αναπτύσσουν τα δύο νέα προς εξέταση PCMs σε σχέση με το αντίστοιχο στρώμα μπετόν. Κατά την διάρκεια της νύχτας, όπου και τα δύο υλικά χάνουν θερμότητα, η θερμοκρασία του μπετόν τη νύχτα είναι χαμηλότερη από την θερμοκρασία των RT27 και SP25A8.

Αυτό συμβαίνει διότι σε αντίθεση με το RT20, τα RT27 και SP25A8 εισέρχονται στην διφασική περιοχή την 21^η η ημέρα κάθε μήνα του έτους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

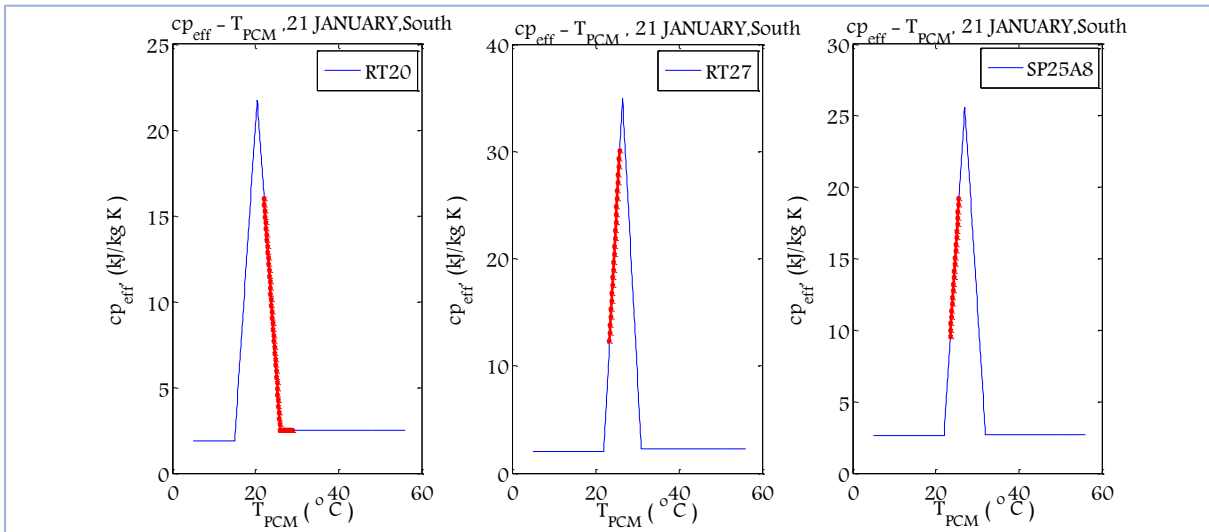
Μια άλλη παρατήρηση που αφορά στην συμπεριφορά των RT27 και SP25A8 την 21^η ημέρα των μηνών από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο παρατηρείται ότι το RT27 εμφανίζει υψηλότερες μέγιστες θερμοκρασίες κατά την διάρκεια της ημέρας και χαμηλότερες ελάχιστες σε σύγκριση με το SP25A8. Τους υπόλοιπους μήνες αναπτύσσουν σχεδόν τις ίδιες θερμοκρασίες.

Τις υψηλότερες θερμοκρασίες την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους τις εμφανίζει το RT20 και όπως είχε αναφερθεί στην υποενότητα 5.2.2.1, τους μήνες από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο αναπτύσσει θερμοκρασίες υψηλότερες από τους 26°C, που είναι η θερμοκρασία που το PCM βρίσκεται στην υγρή φάση, δεν αλλάζει δηλαδή φάση αλλά συμπεριφέρεται ως σύνηθες δομικό υλικό και δεν ισχύει η αναφερθείσα σύγκριση με το μπετόν. Όσον αφορά τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο, το PCM αλλάζει φάση και αναπτύσσει θερμοκρασίες υψηλότερες της $T_c = 20,5^{\circ}\text{C}$ που είναι το μέσο του εύρους θερμοκρασιών υγρής και στερεάς φάσης.

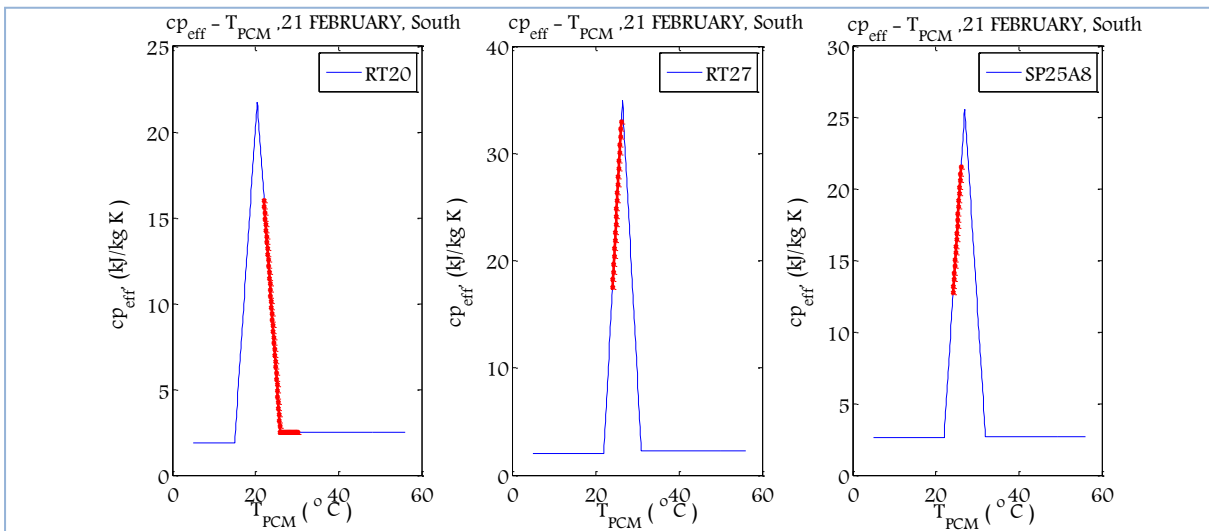
Ε. Έλεγχος της απόδοσης με βάση την καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας

Λαμβάνοντας υπόψη το εύρος των θερμοκρασιών που αναπτύσσουν τα PCMs προς μελέτη και τις αντίστοιχες τιμές της ενεργού θερμοχωρητικότητας απεικονίζεται στα διαγράμματα που ακολουθούν το τμήμα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας που καταλαμβάνει το κάθε ένα από αυτά, στην καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας του ,την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους. Αυτό γίνεται προκειμένου να είναι πιο εμφανές πως συμπεριφέρεται κάθε ένα από τα εξεταζόμενα PCMs κυρίως τους μήνες από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο όπου το RT20 δεν άλλαζε φάση.

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ**

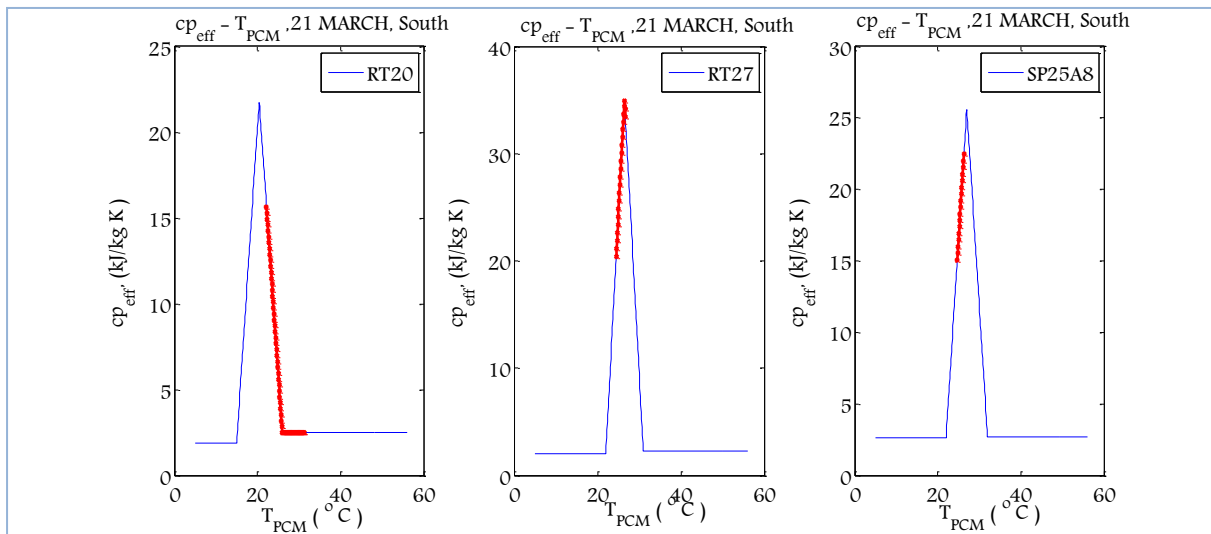


Διάγραμμα 5.2.4.1.15: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Ιανουαρίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

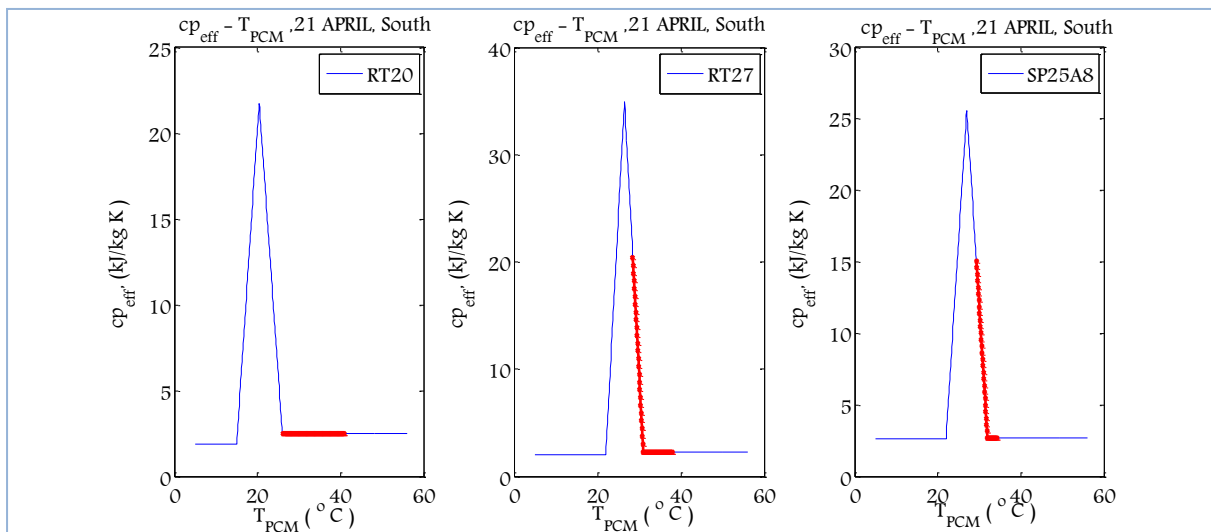


Διάγραμμα 5.2.4.1.16: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Φεβρουαρίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

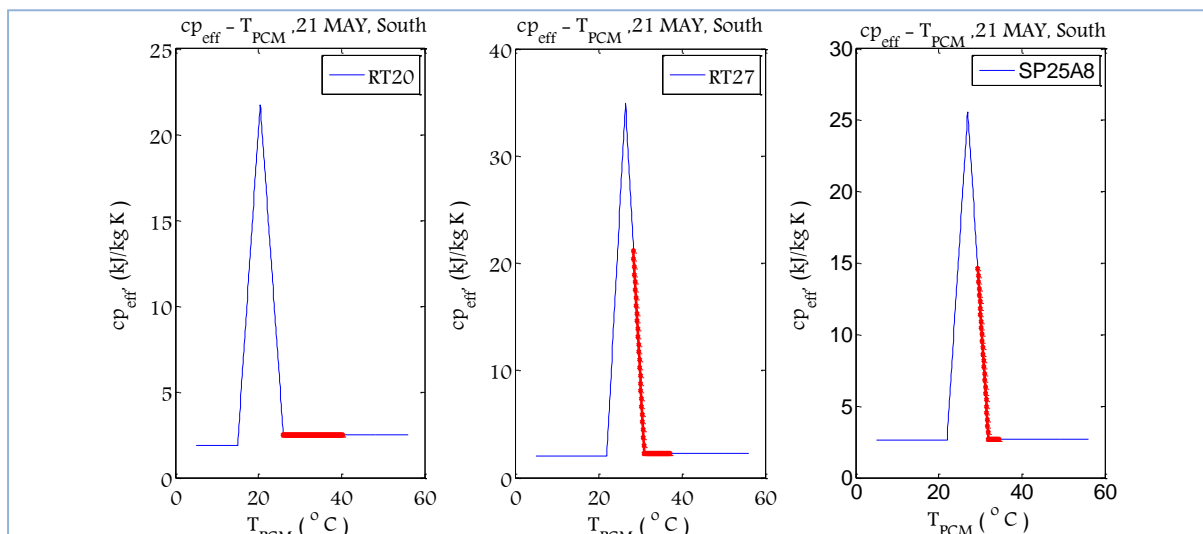


Διάγραμμα 5.2.4.1.17: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Μαρτίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

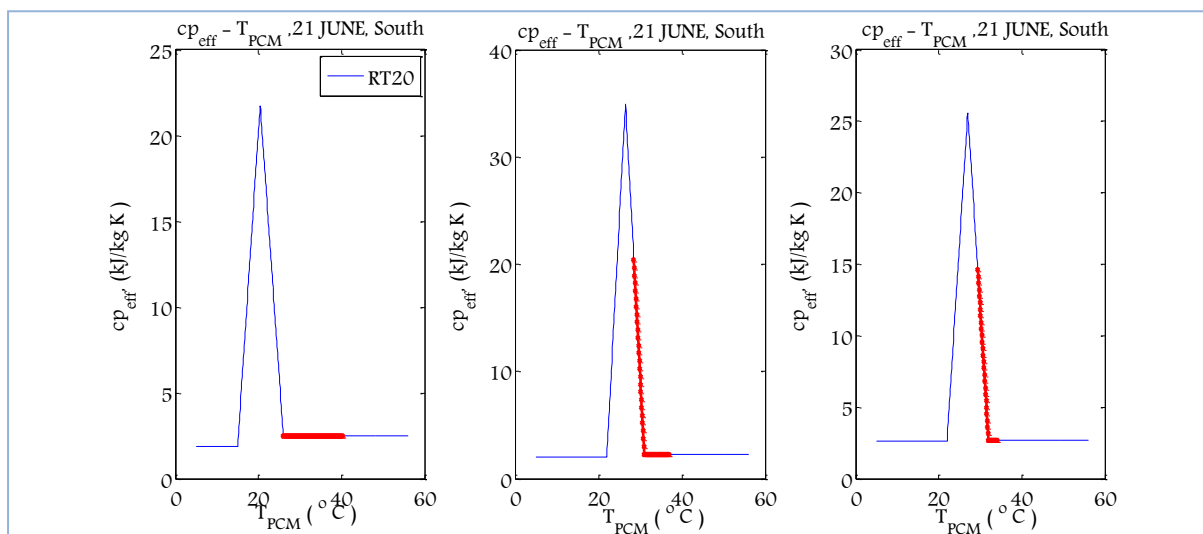


Διάγραμμα 5.2.4.1.18: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Απριλίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

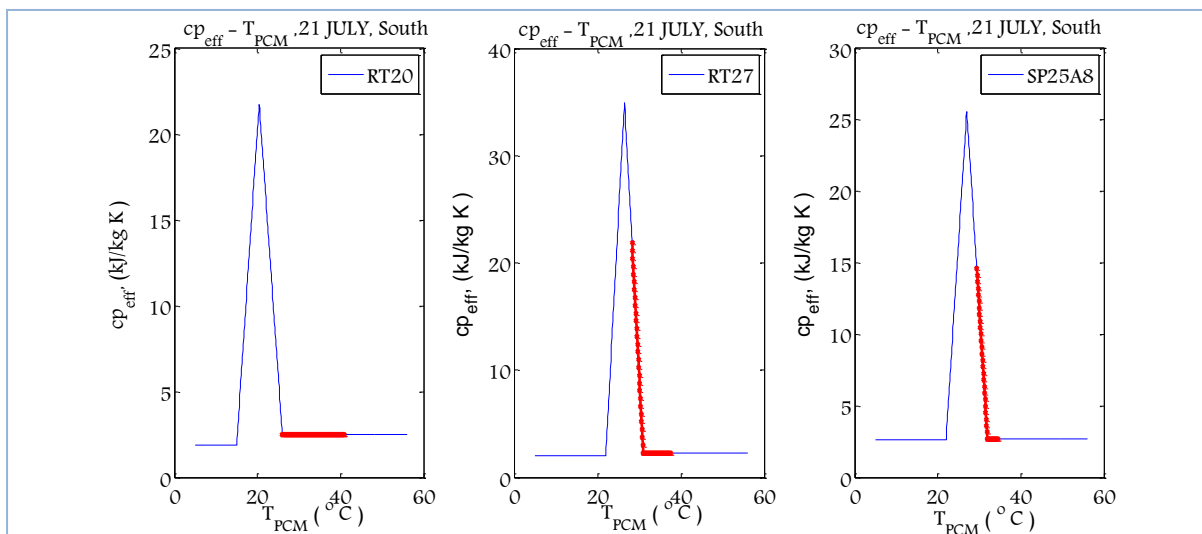


Διάγραμμα 5.2.4.1.19: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Μαΐου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

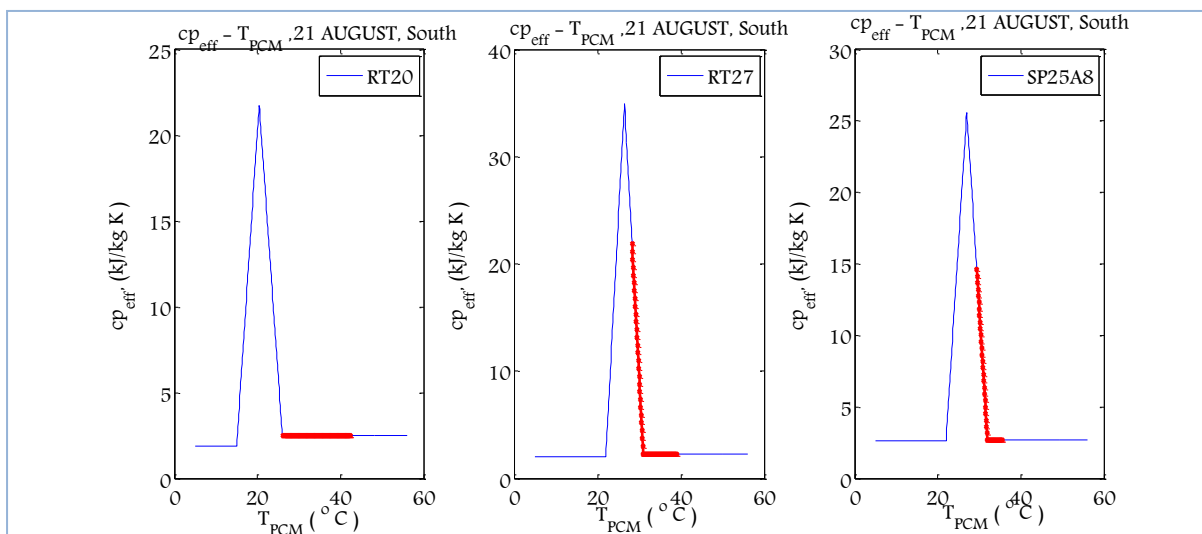


Διάγραμμα 5.2.4.1.20: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Ιουνίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

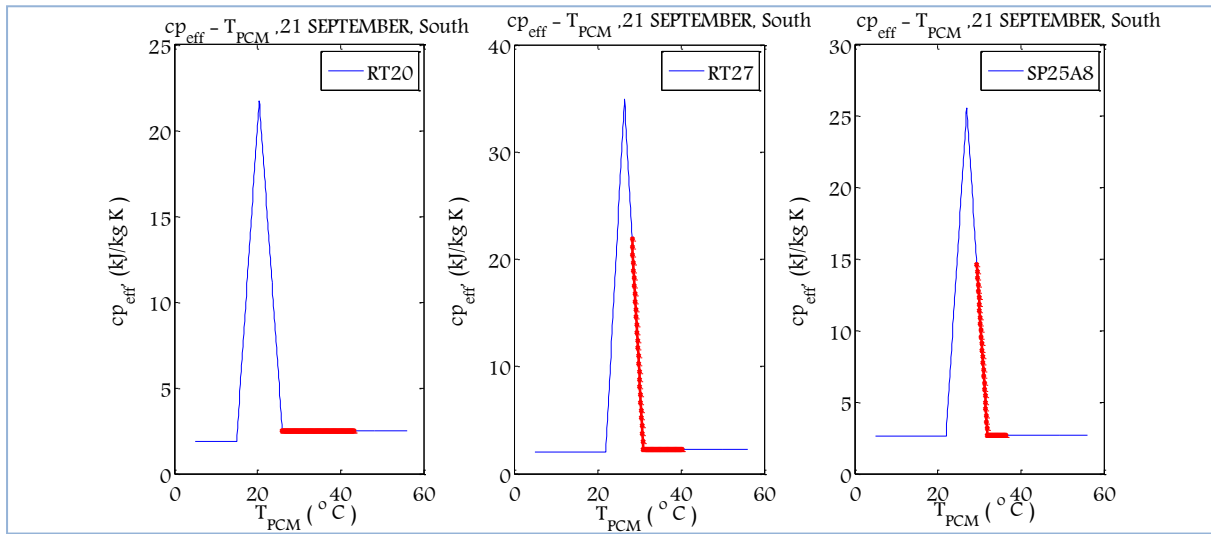


Διάγραμμα 5.2.4.1.21: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Ιουλίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

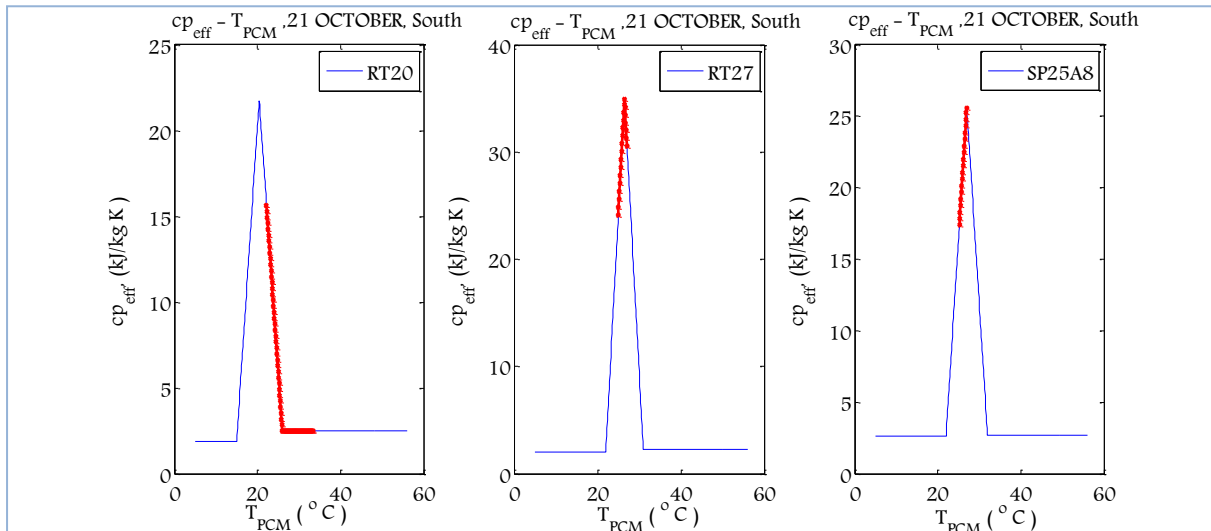


Διάγραμμα 5.2.4.1.22: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Αυγούστου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ**

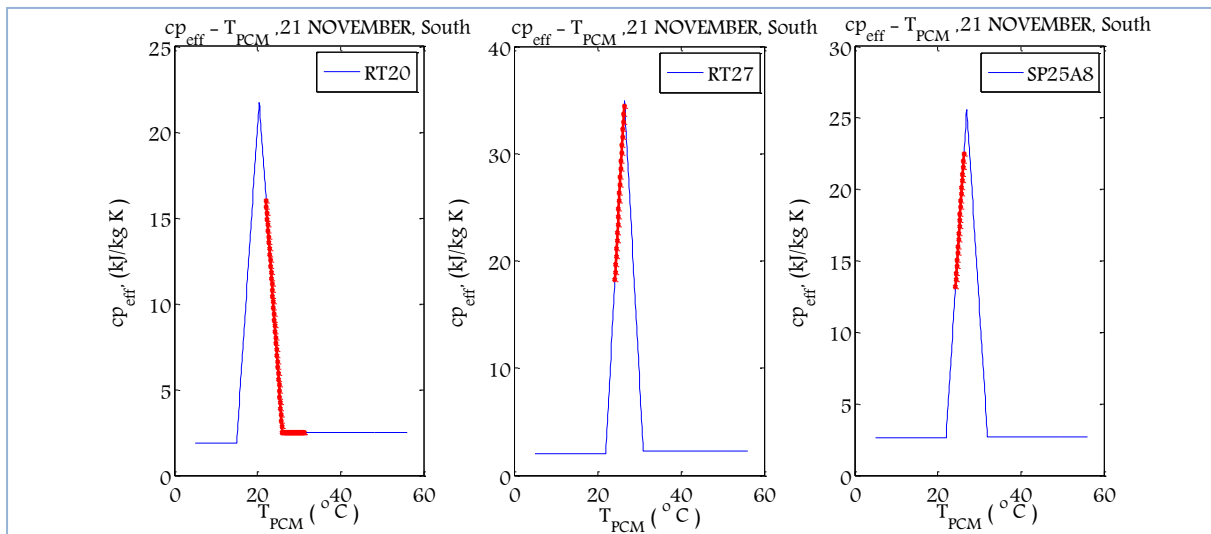


Διάγραμμα 5.2.4.1.23: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Σεπτεμβρίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

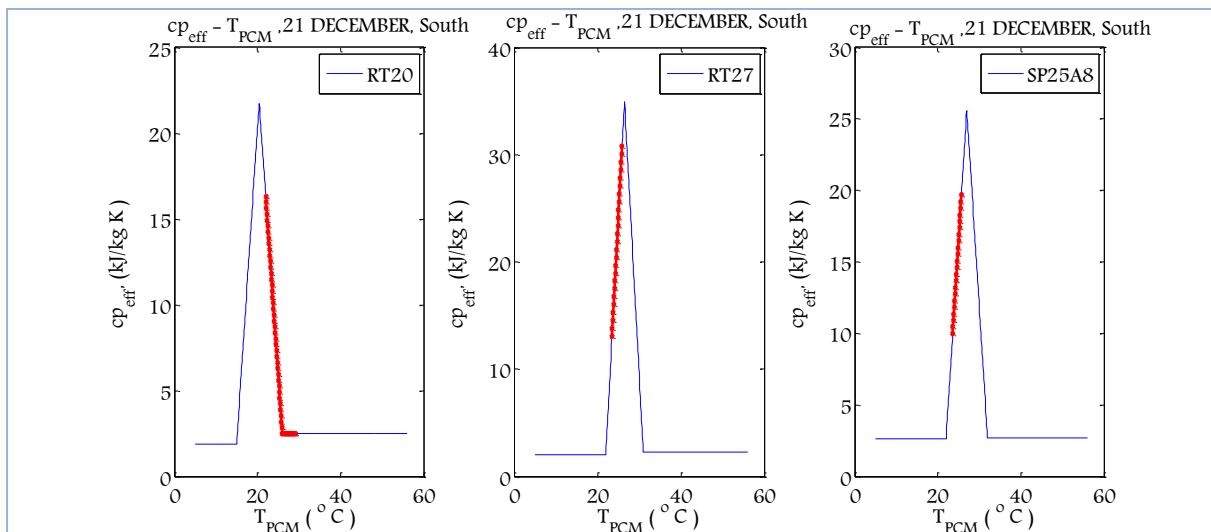


Διάγραμμα 5.2.4.1.24: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Οκτωβρίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)



Διάγραμμα 5.2.4.1.25: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Νοεμβρίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs



Διάγραμμα 5.2.4.1.26: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Δεκεμβρίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Από τα ανωτέρω διαγράμματα είναι εμφανές ότι τα RT27 και SP25A8, εισέρχονται στην διφασική περιοχή κατά την διάρκεια των μηνών από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο, σε αντίθεση με το RT20.

Καθώς κάθε ένα από αυτά έχει διαφορετική καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας δεν μπορεί να είναι εμφανές από τα ανωτέρω διαγράμματα πιο από αυτά είναι περισσότερο αποδοτικό, δηλαδή πιο από τα εξεταζόμενα PCMs αποθηκεύει περισσότερη θερμότητα.

Ε. ΒΑΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΙ ΣΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ

Λόγω του ότι τα διαγράμματα των καμπυλών ενεργού θερμοχωρητικότητας παρέχουν μια οπτική εικόνα για την συμπεριφορά των PCMs, στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η θερμότητα που απορροφά κάθε ένα από αυτά καθώς επίσης και ο βαθμός χρησιμοποίησης του την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους. Ο βαθμός χρησιμοποίησης υπολογίζεται από την σχέση (5.2.2.1.3) και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 5.2.4.1.2: Η θερμότητα που αποθηκεύει το εκάστοτε PCM και ο βαθμός χρησιμοποίησης του

| 21 ^η ημέρα μήνα | RT20 | | | | RT27 | | | | SP25A8 | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------|
| | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% |
| ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ | 29,06 | 21,95 | 46,07 | 34,87 | 25,85 | 23,3 | 53,51 | 31,97 | 25,64 | 23,45 | 31,46 | 22,23 |
| ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ | 30,17 | 22,06 | 47,04 | 35,61 | 26,23 | 24,02 | 55,36 | 33,07 | 26,07 | 24,14 | 32,67 | 23,09 |
| ΜΑΡΤΙΟΣ | 31,24 | 22,20 | 47,52 | 35,97 | 26,54 | 24,53 | 55,84 | 33,36 | 26,4 | 24,64 | 33,22 | 23,48 |
| ΑΠΡΙΛΙΟΣ | 40,88 | 26,11 | 36,92 | 27,95 | 37,98 | 28,4 | 46,49 | 27,77 | 34,32 | 29,32 | 29,93 | 21,15 |
| ΜΑΪΟΣ | 40,35 | 26,12 | 35,58 | 26,93 | 37,21 | 28,4 | 44,72 | 26,71 | 34,1 | 29,34 | 29,04 | 20,52 |
| ΙΟΥΝΙΟΣ | 40,18 | 26,12 | 35,15 | 26,61 | 36,93 | 28,38 | 44,56 | 26,62 | 34,03 | 29,34 | 28,86 | 20,40 |
| ΙΟΥΛΙΟΣ | 40,93 | 26,12 | 37,02 | 28,03 | 37,64 | 28,33 | 47,22 | 28,21 | 34,48 | 29,34 | 30,09 | 21,27 |
| ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ | 42,31 | 26,13 | 40,45 | 30,62 | 39,04 | 28,24 | 52,40 | 31,30 | 35,57 | 29,41 | 31,99 | 22,61 |
| ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ | 43,28 | 26,14 | 42,85 | 32,44 | 40,39 | 28,32 | 53,77 | 32,12 | 36,42 | 29,4 | 34,46 | 24,36 |
| ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ | 33,54 | 22,20 | 53,35 | 40,38 | 27,13 | 25 | 64,52 | 38,54 | 27 | 25,2 | 38,76 | 27,39 |
| ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ | 31,34 | 22,03 | 50,54 | 38,26 | 26,47 | 24,15 | 61,28 | 36,61 | 26,3 | 24,23 | 36,77 | 25,99 |
| ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ | 29,13 | 21,94 | 46,50 | 35,20 | 25,91 | 23,36 | 54,60 | 32,61 | 25,7 | 23,5 | 32,16 | 22,73 |

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι το RT27 αποθηκεύει την περισσότερη θερμότητα την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους. Το γεγονός ότι το RT20 παρουσιάζει υψηλότερους βαθμούς χρησιμοποίησης έγκειται στο ότι παρουσιάζει την χαμηλότερη θερμότητα αλλαγής φάσης. Καθώς πρόκειται για διαφορετικά PCMs , καθένα από αυτά παρουσιάζει την δική του καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας, έχει δηλαδή διαφορετικά χαρακτηριστικά, δεν μπορεί να γίνει σύγκριση μεταξύ τους ως προς τον βαθμό χρησιμοποίησης.

Επιπλέον, το RT20 προκύπτει ότι αποθηκεύει περισσότερη θερμότητα την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους από το SP25A8. Η θερμότητα που αποθηκεύεται στα PCMs υπολογίζεται από το εμβαδόν του τμήματος της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας που καλύπτουν. Δεν είναι ορθό το συμπέρασμα ότι το RT20 είναι περισσότερο αποδοτικό από το SP25A8 ,τους μήνες από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο στους οποίους το RT20 δεν αλλάζει φάση, δεν λειτουργεί δηλαδή ως PCM.

5.2.4.2 Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα ανατολικού προσανατολισμού

A. Υπολογισμός προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για την 21^η ημέρα κάθε μήνα καθώς επίσης και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της έχουν παρουσιαστεί στην ενότητα 5.1 . Στην προκείμενη παραμετρική μελέτη λαμβάνονται υπόψη οι τιμές της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου που έχουν υπολογιστεί για ανατολικό προσανατολισμό.

B. Επιλογή PCM

Τα χαρακτηριστικά του PCM RT20 και του μπετόν έχουν δοθεί στον Πίνακα 5.2.2.1.1

Τα χαρακτηριστικά των δυο νέων προς εξέταση PCM του RT27 και του SP25A8 έχουν δοθεί στον Πίνακα 5.2.4.1.1

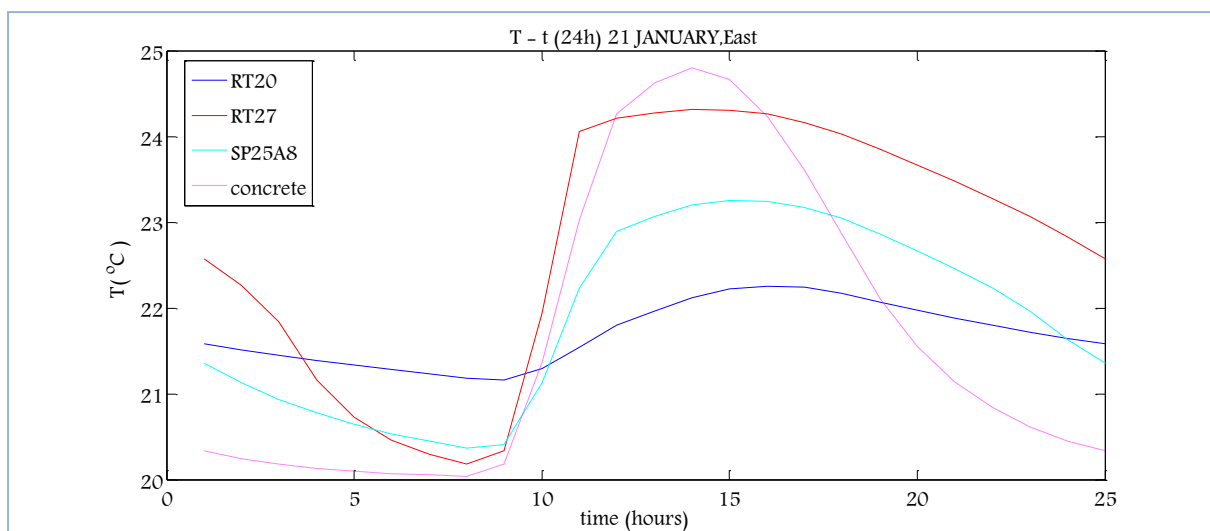
C. Προσομοίωση της αλλαγής φάσης

Για την προσομοίωση της αλλαγής φάσης, επιλέγεται η τριγωνική μορφή της μεθόδου της ενεργού θερμοχωρητικότητας, η οποία έχει περιγραφεί στην ενότητα 5.2.1 και η μορφή της καμπύλης έχει απεικονιστεί στο Διάγραμμα 5.2.2.1.1 για το RT20, στο Διάγραμμα 5.2.4.1.2 για το RT27 και στο Διάγραμμα 5.2.4.1.3 για το SP25A8.

D. Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν

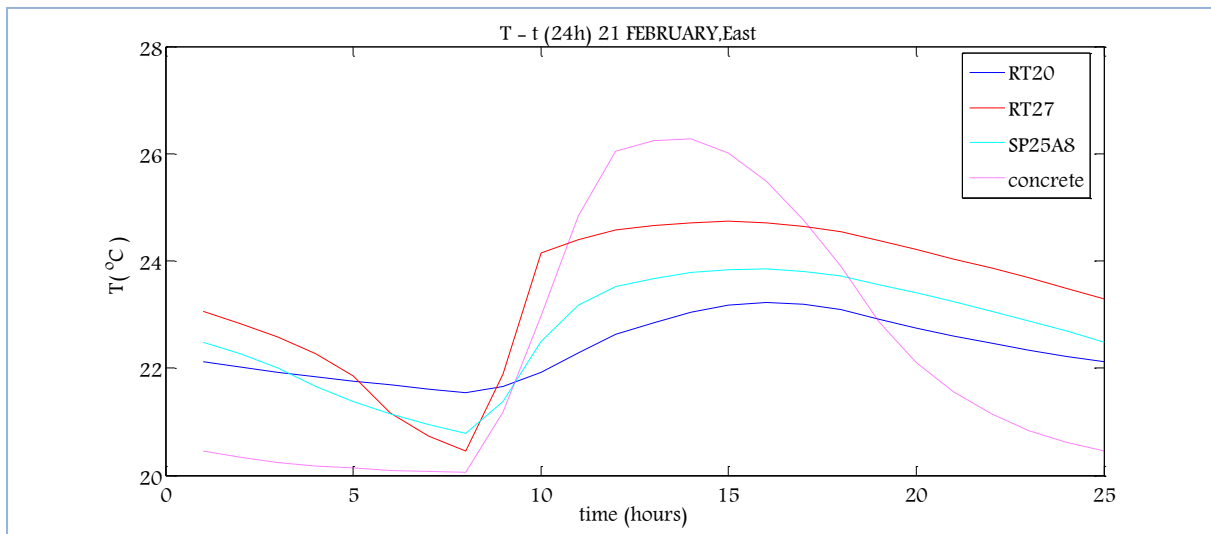
Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει το κάθε ένα από τα εξεταζόμενα PCMs και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν, την 21^η μέρα κάθε μήνα υπολογίζονται από τις σχέσεις (5.2.2.1.1) και (5.2.2.1.2) αντίστοιχα. Για την εύρεση της κατανομής της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο μπετόν ακολουθείται η επαναληπτική διαδικασία η οποία παρουσιάστηκε στην ενότητα (5.2.2.1-D Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν)

Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του εκάστοτε PCM συναρτήσει της ώρας για όλο το 24ωρο την 21^η μέρα κάθε μήνα του έτους καθώς επίσης και η αντίστοιχη μεταβολή της θερμοκρασίας του μπετόν.

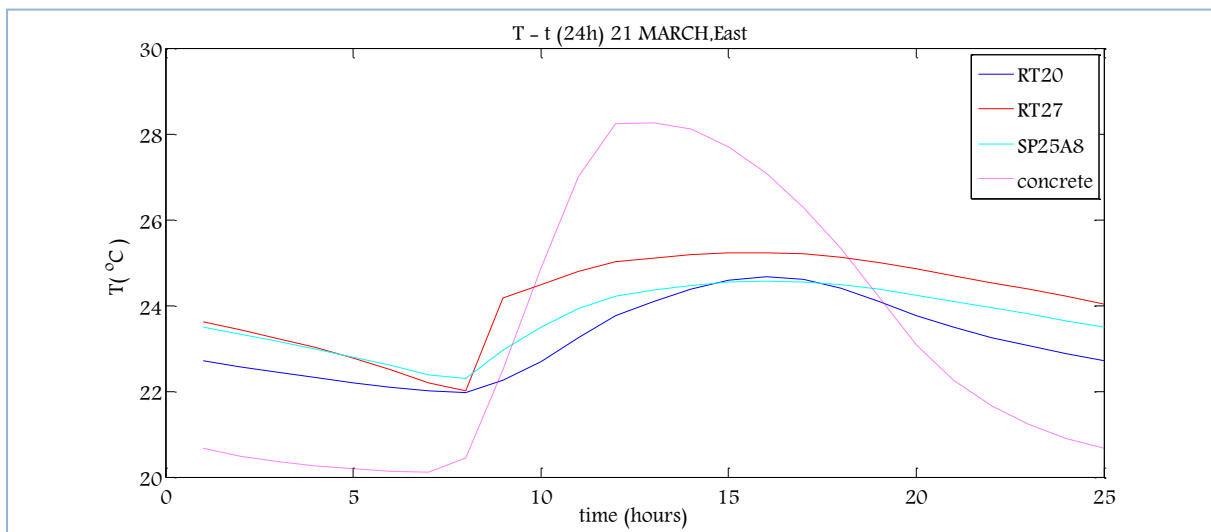


Διάγραμμα 5.2.4.2.1: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιανουαρίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

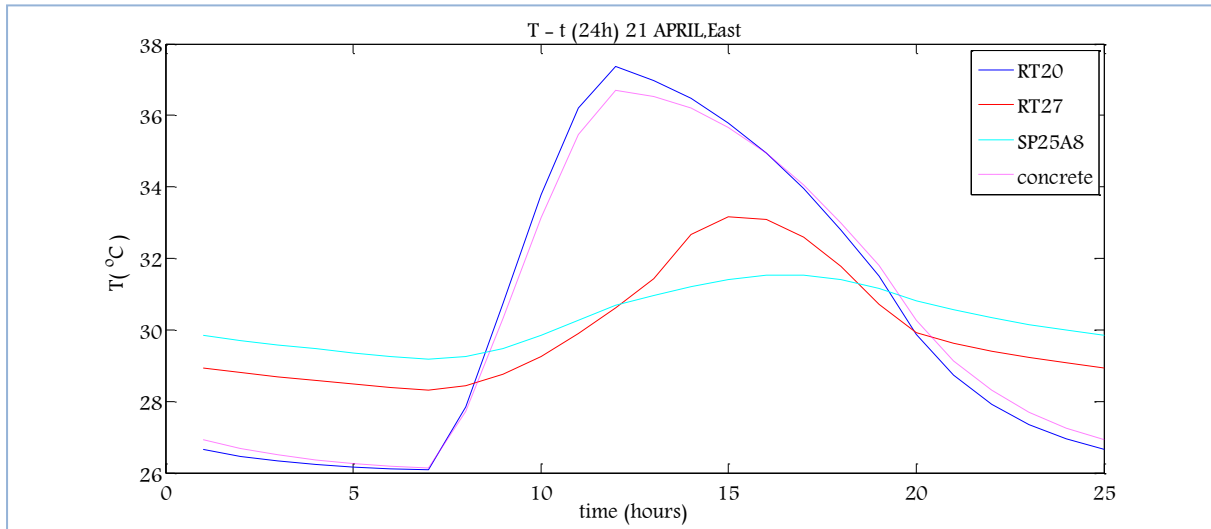


Διάγραμμα 5.2.4.2.2: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Φεβρουαρίου για ένα 24ωρο

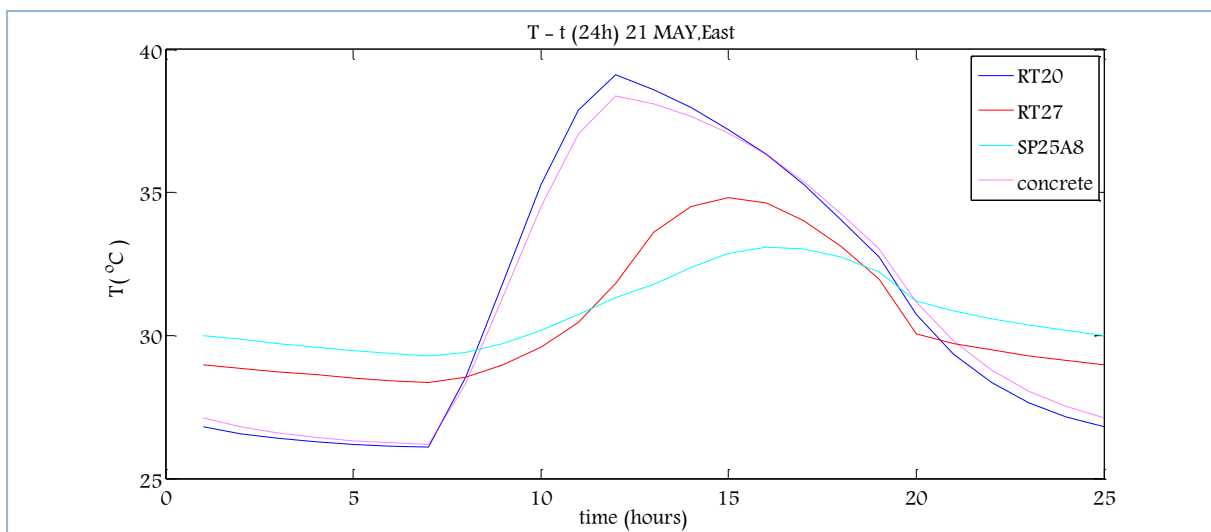


Διάγραμμα 5.2.4.2.3: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαρτίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

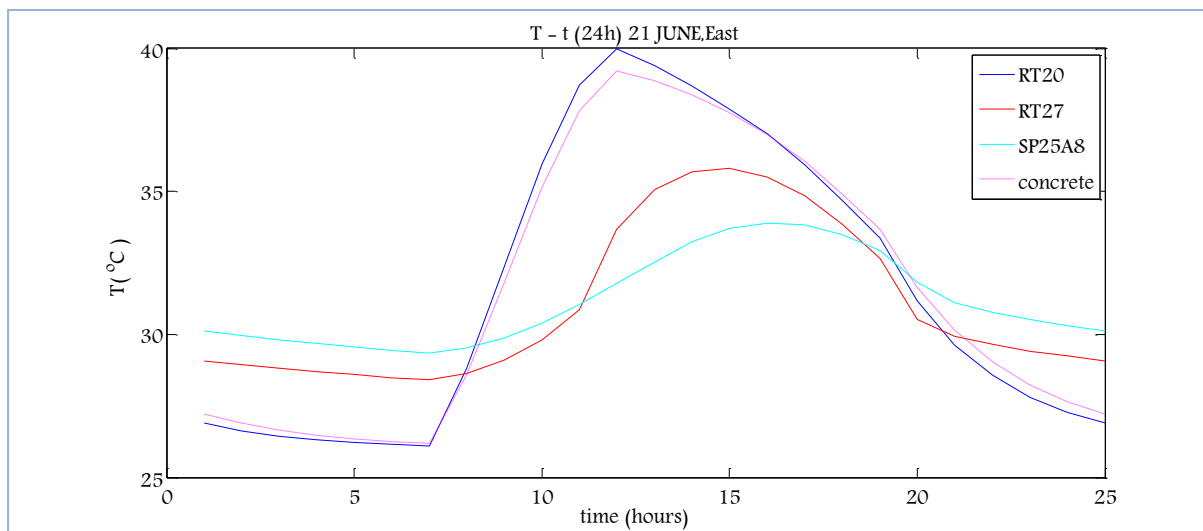


Διάγραμμα 5.2.4.2.4: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Απριλίου για ένα 24ωρο

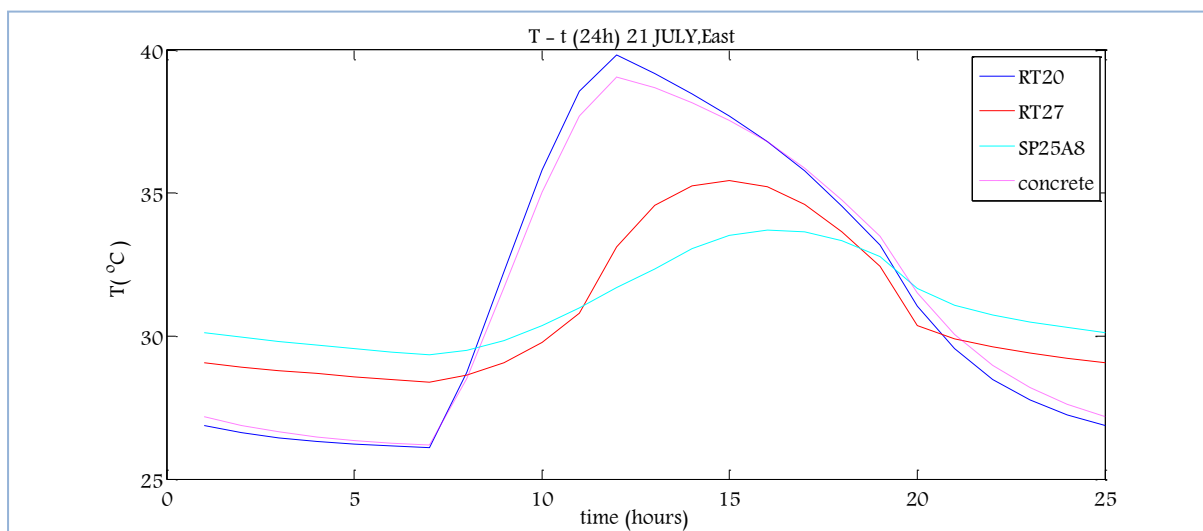


Διάγραμμα 5.2.4.2.5: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαΐου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

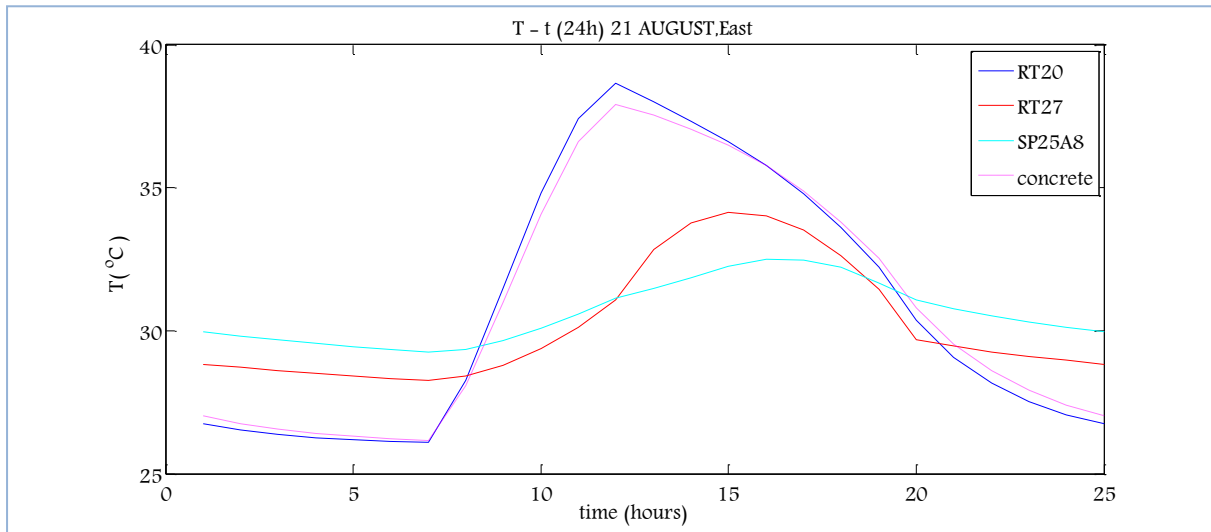


Διάγραμμα 5.2.4.2.6: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουνίου για ένα 24ωρο

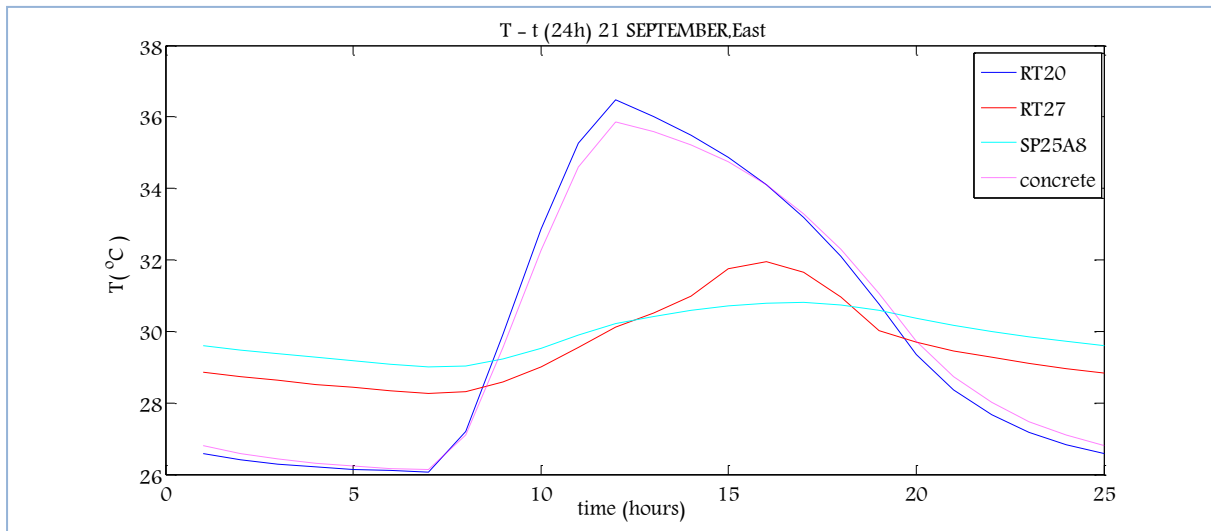


Διάγραμμα 5.2.4.2.7: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουλίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

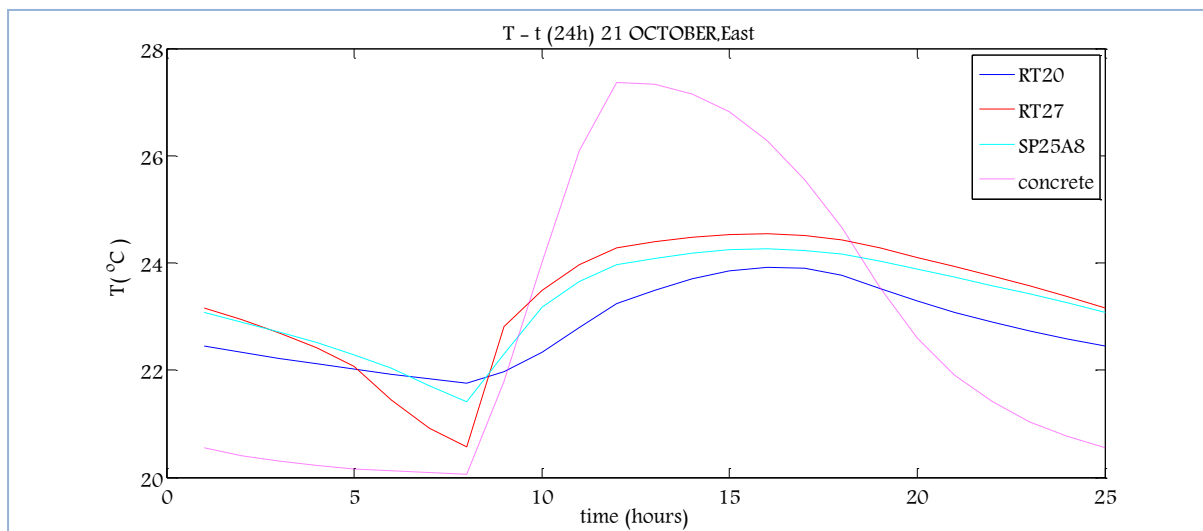


Διάγραμμα 5.2.4.2.8: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Αυγούστου για ένα 24ωρο

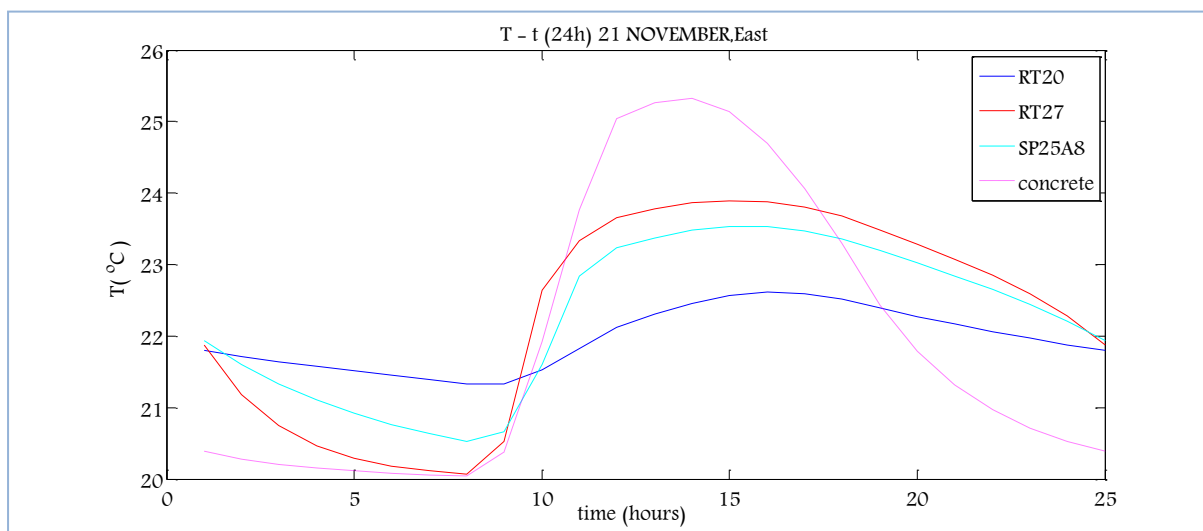


Διάγραμμα 5.2.4.2.9: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Σεπτεμβρίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

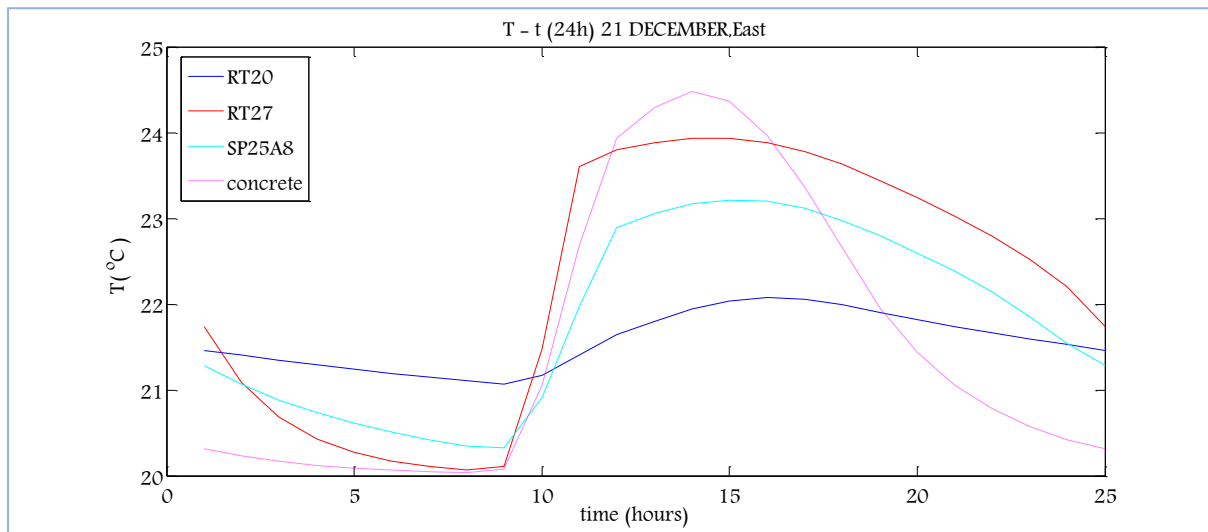


Διάγραμμα 5.2.4.2.10: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Οκτωβρίου για ένα 24ωρο



Διάγραμμα 5.2.4.2.11: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Νοεμβρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ



Διάγραμμα 5.2.4.2.12: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Δεκεμβρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Με βάση τις παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στην υποενότητα (5.2.2.1-D υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν), οι οποίες αφορούσαν στις διαφορές που πρέπει να υπάρχουν στην κατανομή της θερμοκρασίας μεταξύ PCM και αντίστοιχου στρώματος μπετόν και τα διαγράμματα μεταβολής της θερμοκρασίας (5.2.4.2.1 έως 5.2.4.2.12) θα γίνει ο έλεγχος της απόδοσης των PCMs.

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους τα RT27 και SP25A8 εμφανίζουν τις διαφορές που είχαν αναφερθεί στην υποενότητα 5.2.2.1 (D- Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν).

Ισχύουν επιπλέον, οι παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στην υποενότητα 5.2.4.1(D- Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν).

Μια άλλη παρατήρηση, η οποία αφορά στην συμπεριφορά του εκάστοτε PCM ανάλογα με τον προσανατολισμό είναι ότι στην εξεταζόμενη μελέτη που τα PCMs είναι τοποθετημένα σε τείχος που δέχεται ηλιακή ακτινοβολία από

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

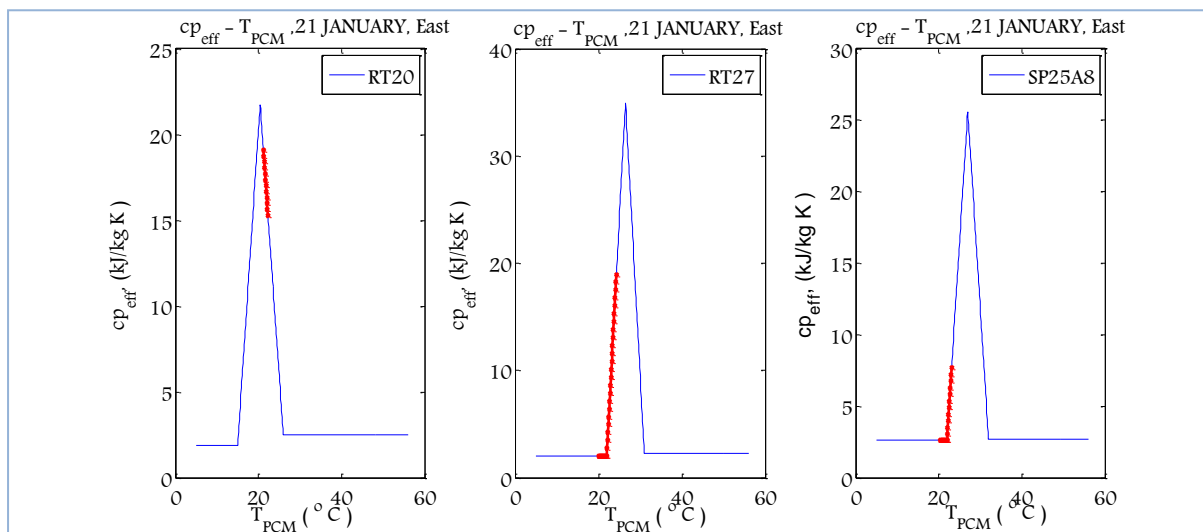
υαλοπίνακα ανατολικού προσανατολισμού, τα PCMs αναπτύσσουν χαμηλότερες μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες από την περίπτωση νοτίου προσανατολισμού. Αυτό αιτιολογείται από το γεγονός ότι οι τιμές της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας για ανατολικό προσανατολισμό είναι χαμηλότερες από τις αντίστοιχες για νότιο προσανατολισμό

Μια άλλη παρατήρηση αφορά στην ώρα εμφάνισης των μεγίστων. Στην περίπτωση ανατολικού προσανατολισμού οι μέγιστες θερμοκρασίες εμφανίζονται νωρίτερα σε σχέση με την περίπτωση νοτίου προσανατολισμού. Αυτό είναι λογικό, αν λάβουμε υπόψη ότι για νότιο προσανατολισμό η μέγιστη ένταση της ακτινοβολίας παρατηρείται κοντά στη 13:00 ,ενώ για ανατολικό προσανατολισμό κοντά στις 10:00 , το οποίο μπορεί να επιβεβαιωθεί και από τους πίνακες της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου, οι οποίοι παρουσιάστηκαν στην ενότητα 5.1.

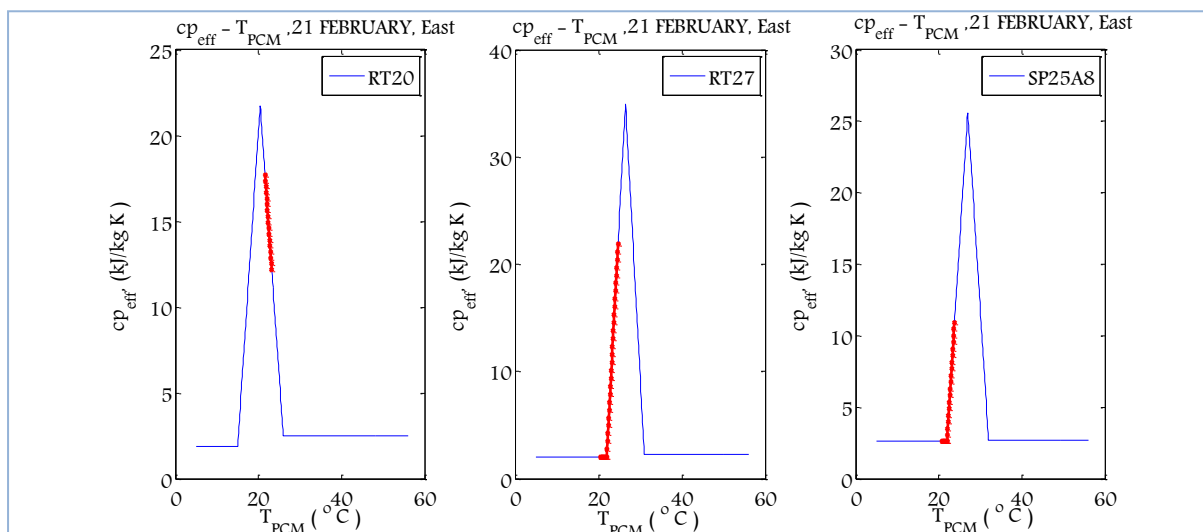
F. Έλεγχος της απόδοσης με βάση την καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας

Λαμβάνοντας υπόψη το εύρος τιμών που αναπτύσσουν τα PCMs προς μελέτη και τις αντίστοιχες τιμές της ενεργού θερμοχωρητικότητας απεικονίζεται στα διαγράμματα που ακολουθούν το εύρος της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας που καταλαμβάνει το κάθε ένα από αυτά, την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους. Αυτό γίνεται προκειμένου να είναι πιο εμφανές πως συμπεριφέρεται κάθε ένα από τα εξεταζόμενα PCMs κυρίως τους μήνες από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο όπου το RT20 δεν άλλαζε φάση.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

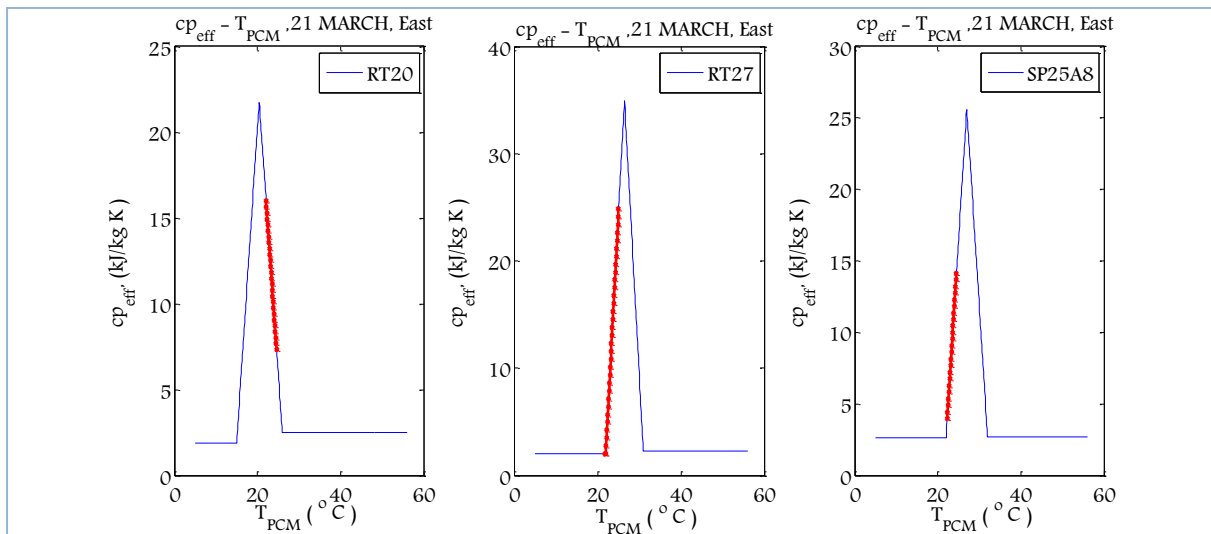


Διάγραμμα 5.2.4.2.13: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Ιανουαρίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

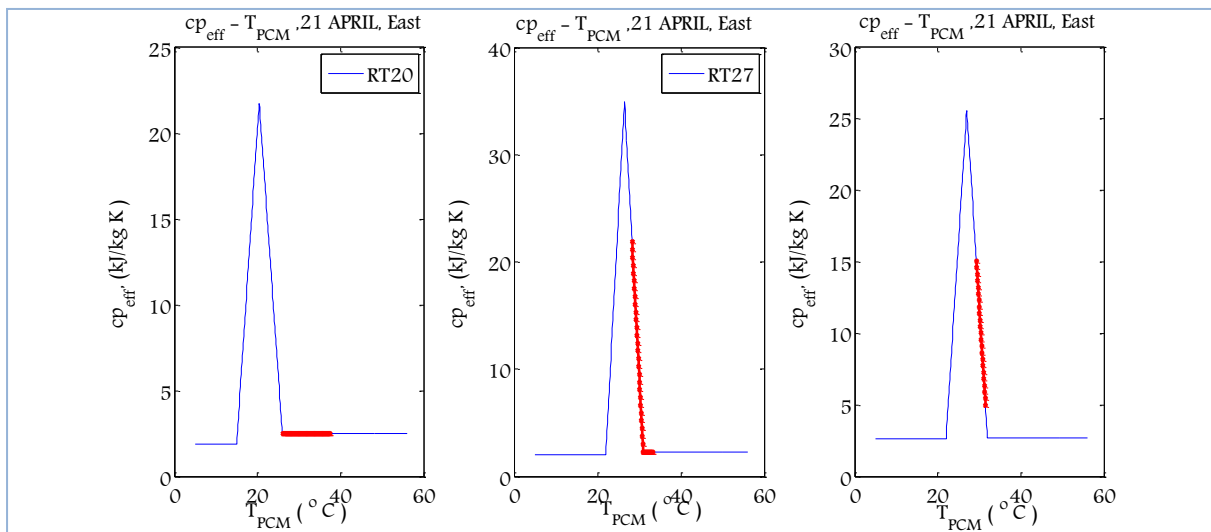


Διάγραμμα 5.2.4.2.14: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Φεβρουαρίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

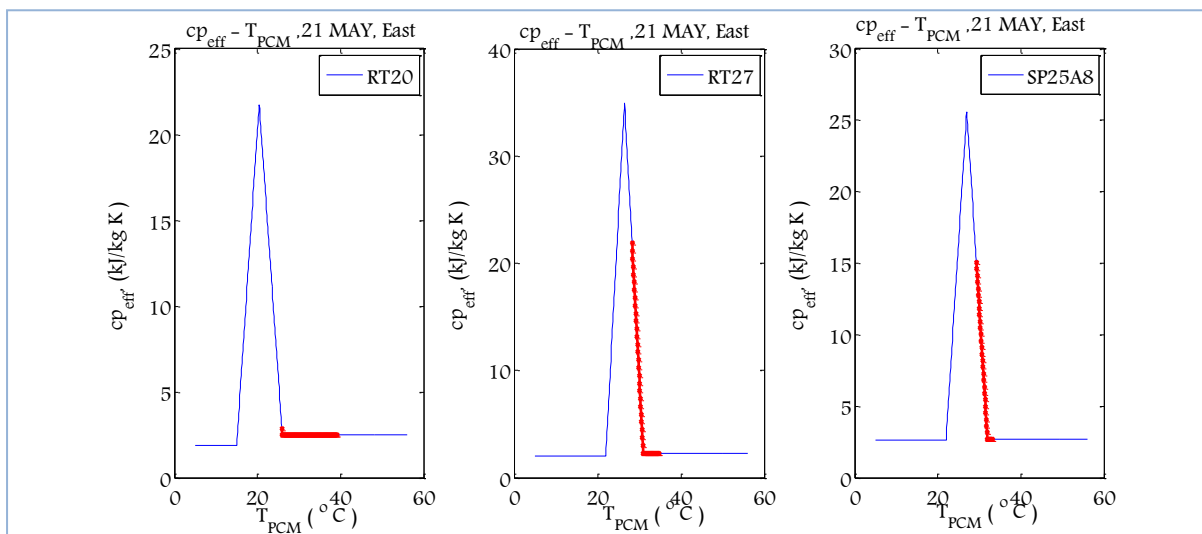


Διάγραμμα 5.2.4.2.15: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Μαρτίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

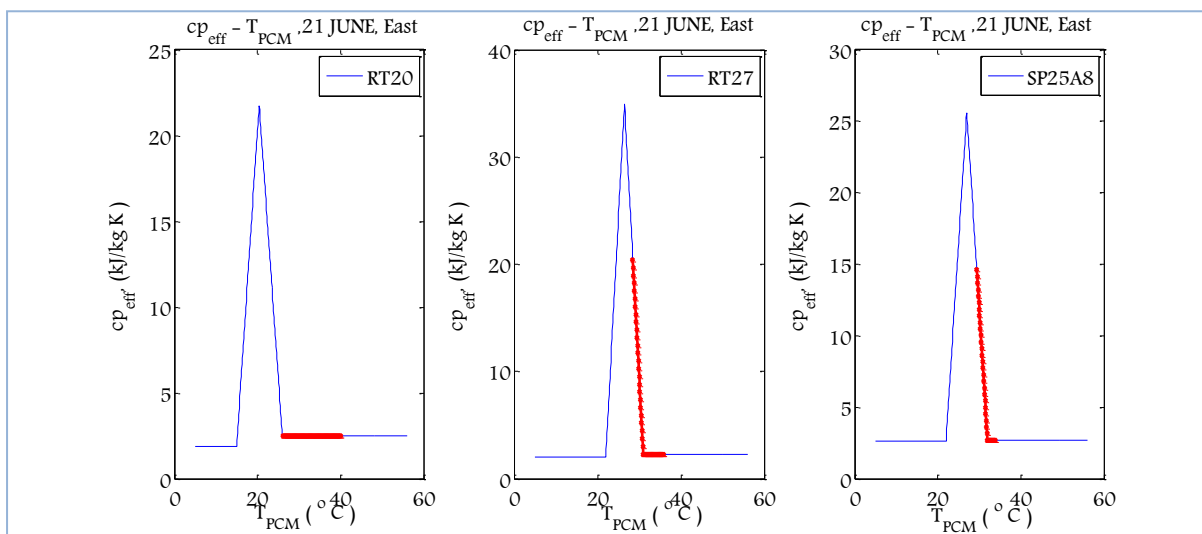


Διάγραμμα 5.2.4.2.16: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Απριλίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

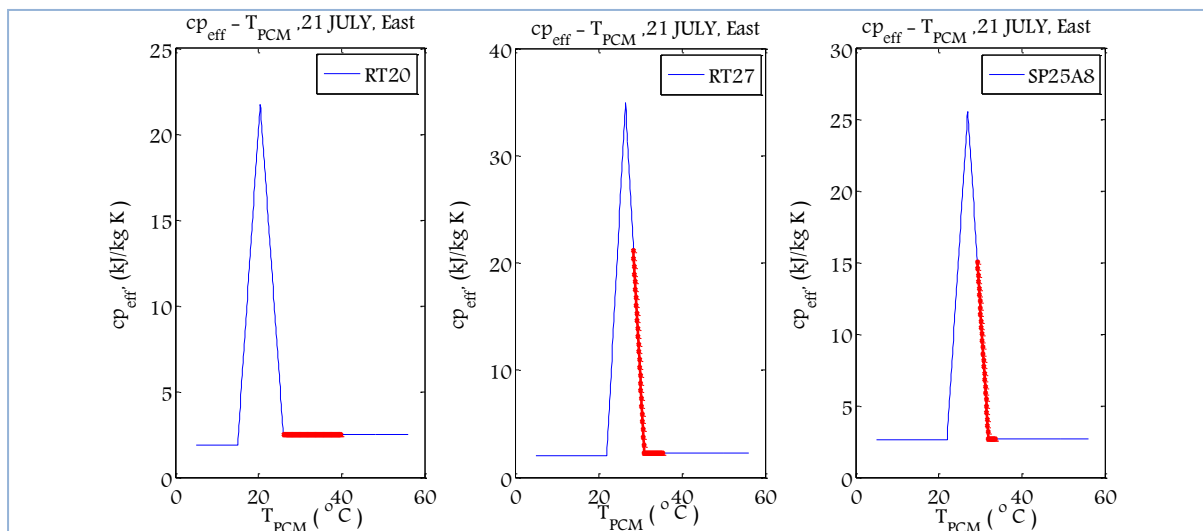


Διάγραμμα 5.2.4.2.17: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Μαΐου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

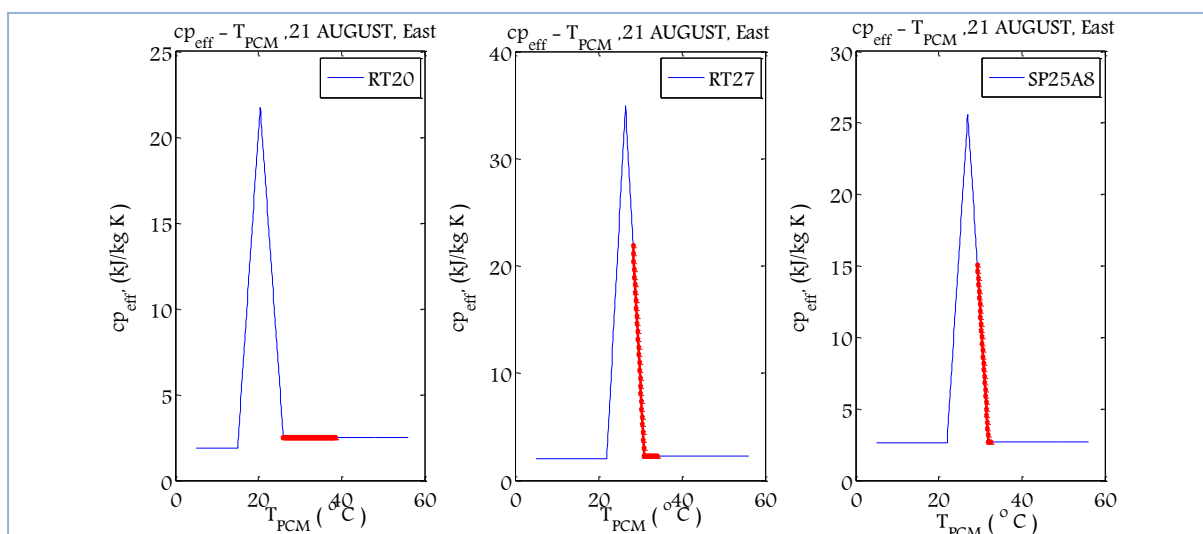


Διάγραμμα 5.2.4.2.18: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Ιουνίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

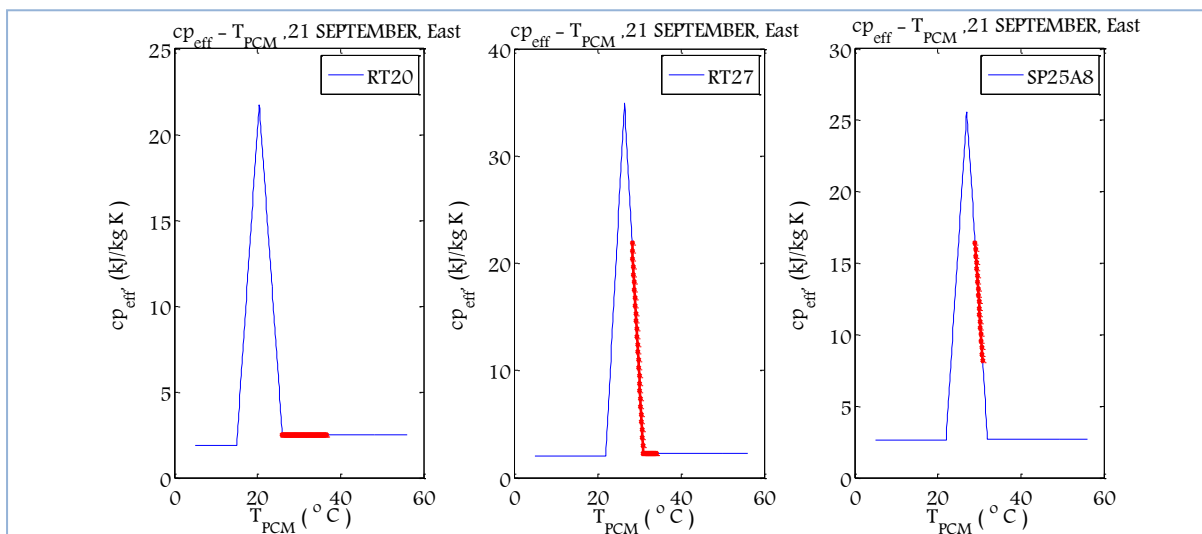


Διάγραμμα 5.2.4.2.19: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Ιουλίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

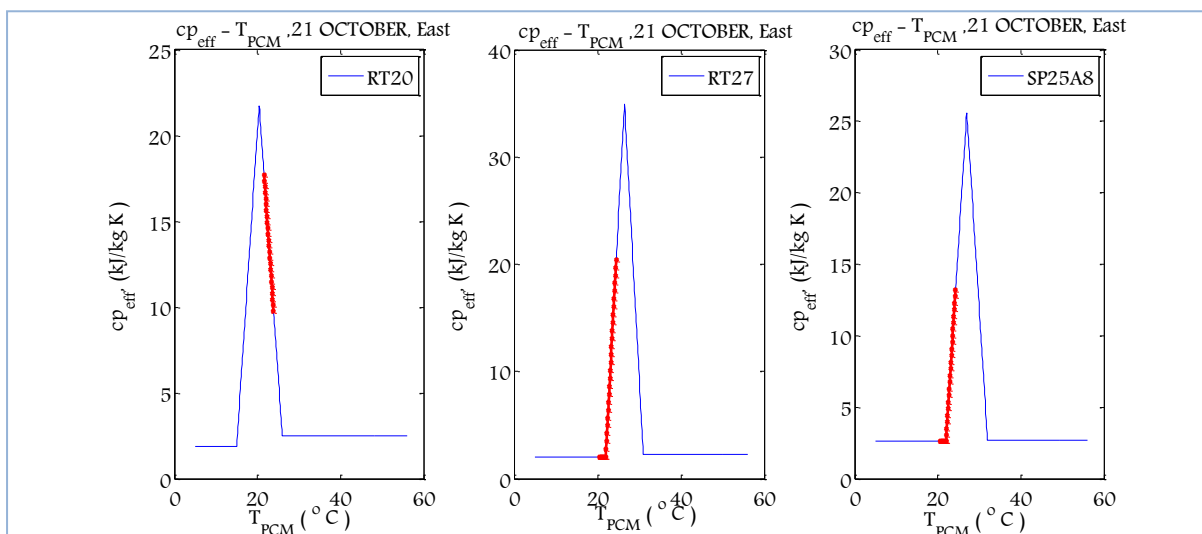


Διάγραμμα 5.2.4.2.20: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Αυγούστου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ**

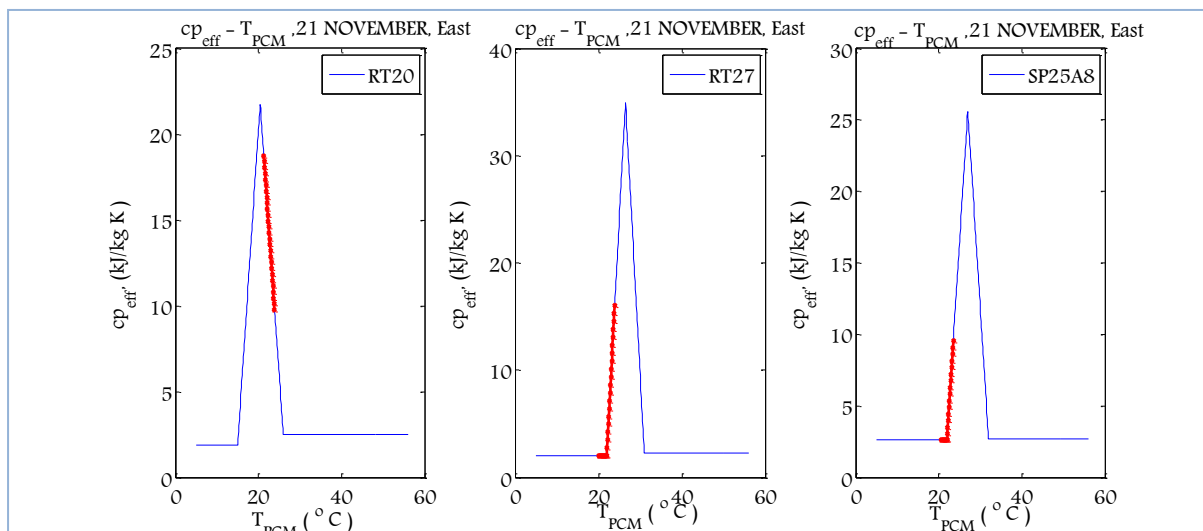


Διάγραμμα 5.2.4.2.21: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Σεπτεμβρίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

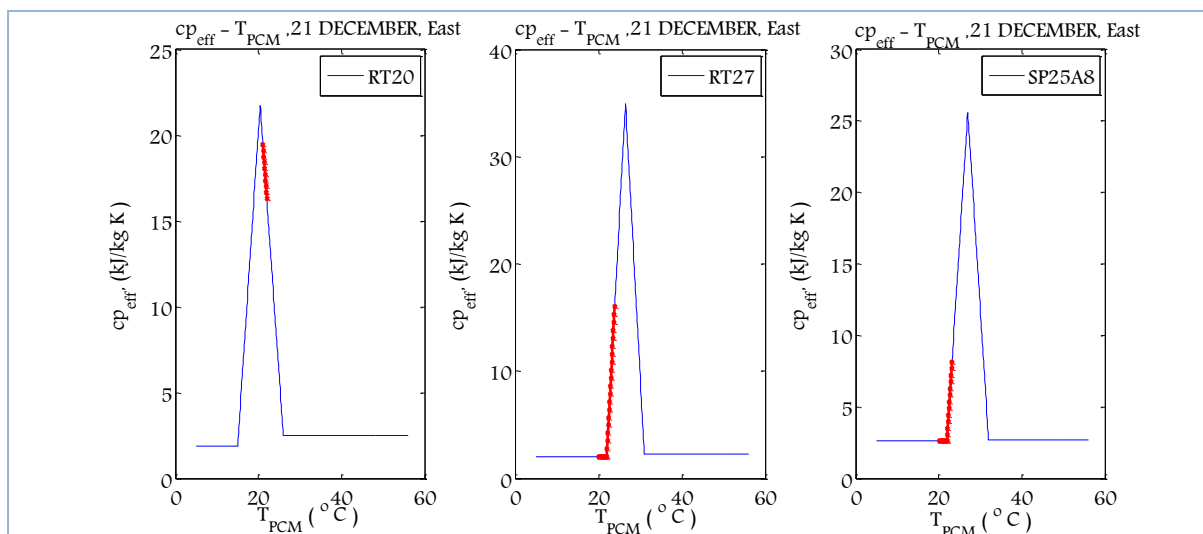


Διάγραμμα 5.2.4.2.22: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Οκτωβρίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)



Διάγραμμα 5.2.4.2.23: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Νοεμβρίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs



Διάγραμμα 5.2.4.2.24: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Δεκεμβρίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Με σύγκριση των διαγραμμάτων της μεταβολής της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας που αφορούσαν την περίπτωση του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού (5.2.4.1.13 έως 5.2.4.1.24) με τα αντίστοιχα διαγράμματα (5.2.4.2.13 έως 5.2.4.2.24) που αφορούν την περίπτωση του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα ανατολικού προσανατολισμού παρατηρείται ότι στην περίπτωση του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα ανατολικού προσανατολισμού, το RT20 καλύπτει μικρότερο τμήμα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας και είναι αναμενόμενο ότι θα είναι λιγότερο αποδοτικό από την περίπτωση του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού. Το γεγονός ότι το RT20 καταλαμβάνει μικρότερο τμήμα στην καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας όταν δέχεται ακτινοβολία από υαλοπίνακα ανατολικού προσανατολισμού και όχι νοτίου προσανατολισμού μπορεί να εξηγηθεί από την παρατήρηση που είχε προηγηθεί και αφορούσε στην σύγκριση των μεγίστων θερμοκρασιών που αναπτύσσει σε σύγκριση με τον τοίχο που δέχεται ακτινοβολία από υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού. Μεταξύ των δυο αναφερόμενων προσανατολισμών οι διαφορές παρατηρούνται κυρίως στις μέγιστες θερμοκρασίες που αναπτύσσει το RT20 καθώς οι ελάχιστες διαφέρουν ελαφρώς. Συνεπώς, ήταν αναμενόμενο στον εξεταζόμενο τοίχο να καταλαμβάνει το RT20 μικρότερο τμήμα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας αφού αναπτύσσει μικρότερες μέγιστες σε σχέση με το RT20 της υποενότητας 5.2.4.1.

Με σύγκριση των διαγραμμάτων της μεταβολής της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας στην περίπτωση του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού (5.2.4.1.13 έως 5.2.4.1.24) με τα αντίστοιχα διαγράμματα (5.2.4.2.13 έως 5.2.4.2.24) που αφορούν την περίπτωση του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα ανατολικού προσανατολισμού παρατηρείται ότι στην περίπτωση του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα ανατολικού προσανατολισμού παρατηρείται ότι τα RT27 και SP25A8 αναπτύσσουν μικρότερες μέγιστες θερμοκρασίες και μικρότερες ελάχιστες από την περίπτωση του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού και ότι αυξάνεται το εύρος των θερμοκρασιών που αναπτύσσουν κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών, ενώ μειώνεται κατά την διάρκεια των θερινών μηνών σε

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

σχέση με την περίπτωση του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού.

Επιπλέον, από τα παραπάνω διαγράμματα είναι εμφανές ότι τα RT27 και SP25A8, εισέρχονται στην διφασική περιοχή κατά την διάρκεια των μηνών από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο, σε αντίθεση με το RT20. Καθώς κάθε ένα από αυτά έχει διαφορετική καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας δεν μπορεί να είναι εμφανές από τα ανωτέρω διαγράμματα πιο από αυτά είναι περισσότερο αποδοτικό, δηλαδή πιο από τα εξεταζόμενα PCMs αποθηκεύει περισσότερη θερμότητα.

Ε. ΒΑΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΙ ΣΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ

Λόγω του ότι τα διαγράμματα των καμπυλών ενεργού θερμοχωρητικότητας παρέχουν μια οπτική εικόνα για την συμπεριφορά των PCMs, στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η θερμότητα που αποθηκεύεται σε κάθε ένα από αυτά καθώς επίσης και ο βαθμός χρησιμοποίησης του, την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους. Ο βαθμός χρησιμοποίησης υπολογίζεται από την σχέση (5.2.2.1.3) και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζεται και η θερμότητα που αποθηκεύει κάθε ένα από τα εξεταζόμενα PCMs την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους.

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ**

**Πίνακας 5.2.4.2.1: Η θερμότητα που αποθηκεύει το εκάστοτε PCM και ο βαθμός
χρησιμοποίησης του**

| 21 ^η ημέρα μήνα | RT20 | | | | RT27 | | | | SP25A8 | | | |
|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------|
| | T _{PCM,max} (°C) | T _{PCM,min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% | T _{PCM,max} (°C) | T _{PCM,min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% | T _{PCM,max} (°C) | T _{PCM,min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% |
| ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ | 22,26 | 21,16 | 19,07 | 14,44 | 24,31 | 20,18 | 27,95 | 16,70 | 23,26 | 20,37 | 11,17 | 7,90 |
| ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ | 23,23 | 21,55 | 25,19 | 19,07 | 24,74 | 20,46 | 36,21 | 21,63 | 23,85 | 20,79 | 15,86 | 11,21 |
| ΜΑΡΤΙΟΣ | 24,7 | 21,97 | 31,66 | 23,97 | 25,23 | 22 | 44,98 | 26,87 | 24,56 | 22,29 | 20,86 | 14,74 |
| ΑΠΡΙΛΙΟΣ | 37,38 | 26,08 | 28,25 | 21,39 | 33,15 | 28,31 | 37,31 | 22,29 | 31,54 | 29,17 | 24,28 | 17,16 |
| ΜΑΪΟΣ | 39,13 | 26,1 | 32,58 | 24,66 | 34,81 | 28,34 | 40,47 | 24,18 | 33,09 | 29,27 | 27,38 | 19,35 |
| ΙΟΥΝΙΟΣ | 39,99 | 26,11 | 34,70 | 26,27 | 35,8 | 28,4 | 41,47 | 24,77 | 33,9 | 29,34 | 28,50 | 20,14 |
| ΙΟΥΛΙΟΣ | 39,83 | 26,11 | 34,30 | 25,97 | 35,45 | 28,39 | 40,89 | 24,43 | 33,72 | 29,34 | 28,04 | 19,82 |
| ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ | 38,44 | 26,09 | 30,88 | 23,37 | 34,12 | 28,25 | 40,88 | 24,42 | 32,49 | 29,24 | 26,22 | 18,53 |
| ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ | 36,49 | 26,07 | 26,05 | 19,72 | 31,95 | 28,26 | 35,64 | 21,29 | 30,81 | 29 | 22,25 | 15,73 |
| ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ | 23,93 | 21,76 | 29,14 | 22,06 | 24,54 | 20,57 | 31,78 | 18,98 | 24,26 | 21,42 | 19,17 | 13,55 |
| ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ | 22,61 | 21,33 | 21,02 | 15,92 | 23,9 | 20,07 | 20,96 | 12,52 | 23,53 | 20,53 | 13,21 | 9,33 |
| ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ | 22,07 | 21,07 | 17,82 | 13,49 | 23,93 | 20,07 | 21,48 | 12,83 | 23,22 | 20,32 | 10,97 | 7,75 |

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Ισχύουν οι ίδιες παρατηρήσεις που είχαν αναφερθεί στην υποενότητα 5.2.4.1 (F-ΒΑΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΙ ΣΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ).

Όσον αφορά την θερμότητα που αποθηκεύει το RT20 σε σύγκριση με τον βαθμό χρησιμοποίησης όταν είναι τοποθετημένο σε τοίχο απέναντι από τον οποίο βρίσκεται υαλοπίνακας νοτίου προσανατολισμού στην παρούσα μελέτη το RT20 εμφανίζει μικρότερες τιμές όσον αφορά τον βαθμό χρησιμοποίησης του και αυτό οφείλεται στο εύρος θερμοκρασιών που αναπτύσσει, λόγω της μικρότερης ακτινοβολίας που δέχεται ο υαλοπίνακας ανατολικού προσανατολισμού, στο RT20 αναπτύσσονται χαμηλότερες μέγιστες θερμοκρασίες. Οι διαφορές στις θερμοκρασίες που αναπτύσσει το RT20 μεταξύ των δυο προσανατολισμών έγκεινται στα μέγιστα των θερμοκρασιών και όχι τόσο στα ελάχιστα.

Όσον αφορά την θερμότητα που αποθηκεύουν τα RT27 και SP25A8 σε σύγκριση με τον βαθμό χρησιμοποίησης όταν είναι τοποθετημένα σε τοίχο απέναντι από τον οποίο βρίσκεται υαλοπίνακας νοτίου προσανατολισμού στην προκείμενη μελέτη τα RT27 και SP25A8 εμφανίζουν μικρότερες τιμές όσον αφορά τον βαθμό χρησιμοποίησης τους και αυτό οφείλεται στο εύρος θερμοκρασιών που αναπτύσσουν, λόγω της μικρότερης ακτινοβολίας που δέχεται ο υαλοπίνακας ανατολικού προσανατολισμού, στα RT27 και SP25A8 αναπτύσσονται χαμηλότερες μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες. Μπορεί το εύρος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

θερμοκρασιών τους να είναι μεγαλύτερο από εκείνο της περίπτωσης που είναι τοποθετημένα σε τοίχο απέναντι από τον οποίο βρίσκεται υαλοπίνακας νοτίου προσανατολισμού κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών, αλλά το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας προκύπτει μικρότερο και για τα δυο, αποθηκεύουν δηλαδή λιγότερη θερμότητα.

5.2.4.3 Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα δυτικού προσανατολισμού

A. Υπολογισμός προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για την 21^η ημέρα κάθε μήνα καθώς επίσης και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της έχουν παρουσιαστεί στην ενότητα 5.1 . Στην παρούσα παραμετρική μελέτη λαμβάνονται υπόψη οι τιμές της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου που έχουν υπολογιστεί για δυτικό προσανατολισμό.

B. Επιλογή PCM

Τα χαρακτηριστικά του PCM RT20 και του μπετόν έχουν δοθεί στον Πίνακα 5.2.2.1.1

Τα χαρακτηριστικά των δυο νέων προς εξέταση PCM του RT27 και του SP25A8 έχουν δοθεί στον Πίνακα 5.2.4.1.1

C. Προσομοίωση της αλλαγής φάσης

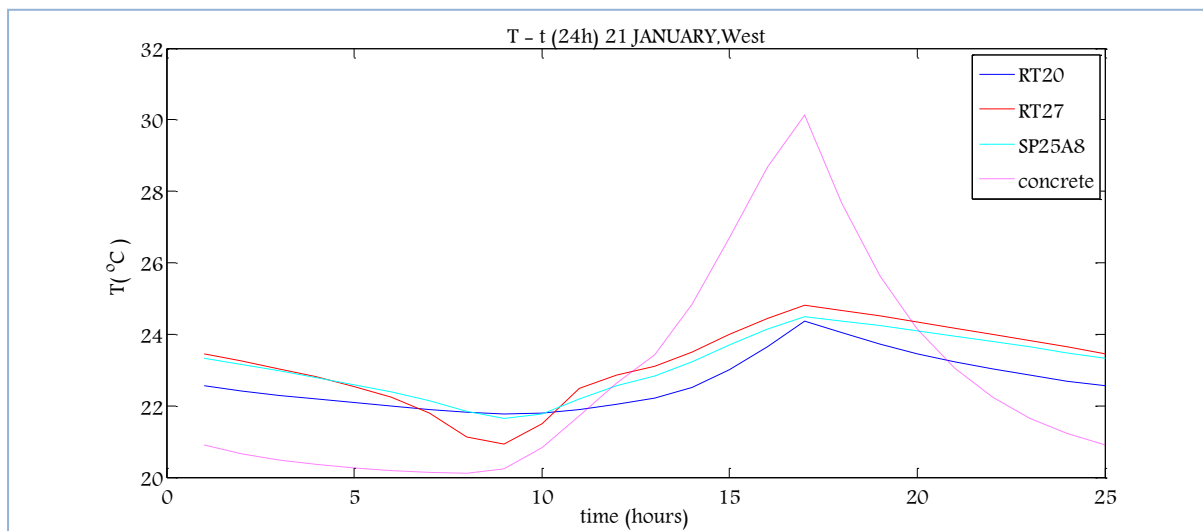
Για την προσομοίωση της αλλαγής φάσης, επιλέγεται η τριγωνική μορφή της μεθόδου της ενεργούς θερμοχωρητικότητας, η οποία έχει περιγραφεί στην ενότητα 5.2.1 και η μορφή της καμπύλης έχει απεικονιστεί στο Διάγραμμα 5.2.2.1.1 για το RT20, στο Διάγραμμα 5.2.4.1.2 για το RT27 και στο Διάγραμμα 5.2.4.1.3 για το SP25A8.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

D. Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν

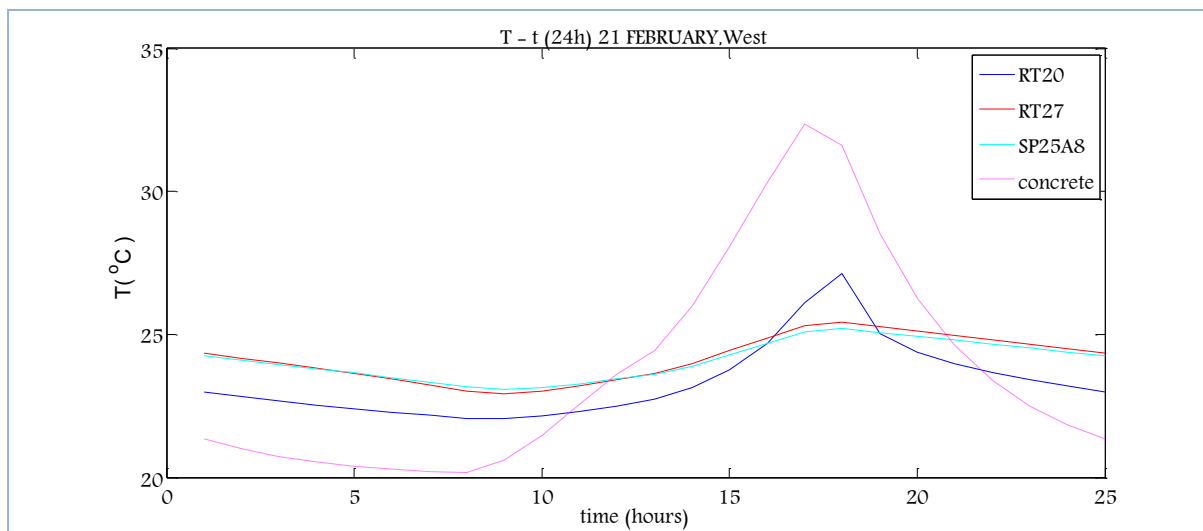
Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει το κάθε ένα από τα εξεταζόμενα PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν, την 21^η μέρα κάθε μήνα υπολογίζονται από τις σχέσεις (5.2.2.1.1) και (5.2.2.1.2) αντίστοιχα. Για την εύρεση της κατανομής της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο μπετόν ακολουθείται η επαναληπτική διαδικασία η οποία παρουσιάστηκε στην ενότητα (5.2.2.1-D Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν)

Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του εκάστοτε PCM συναρτήσει της ώρας για όλο το 24ωρο την 21^η μέρα κάθε μήνα του έτους καθώς επίσης και η αντίστοιχη μεταβολή της θερμοκρασίας του μπετόν.

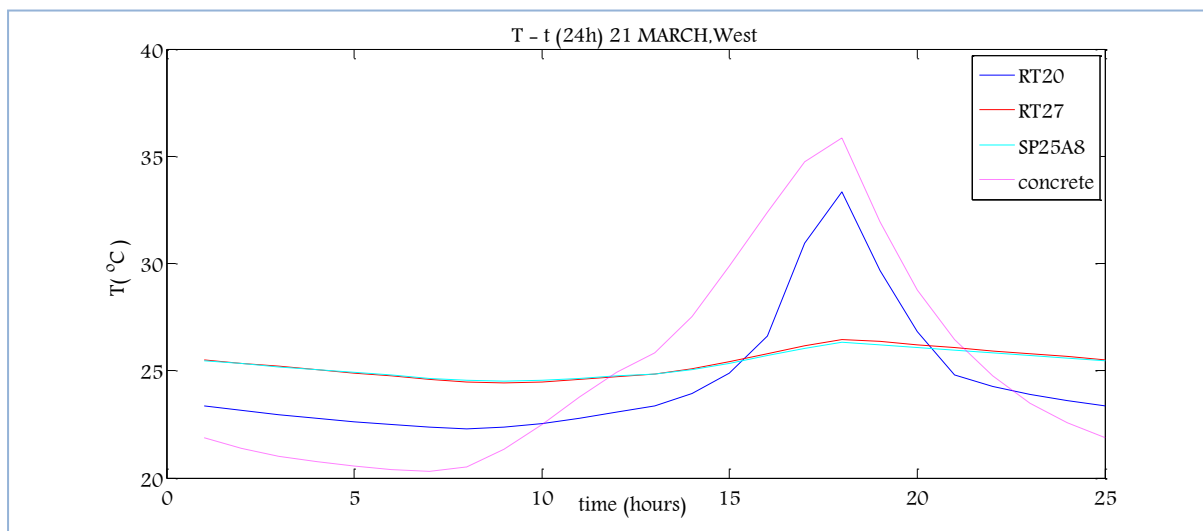


Διάγραμμα 5.2.4.3.1: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιανουαρίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

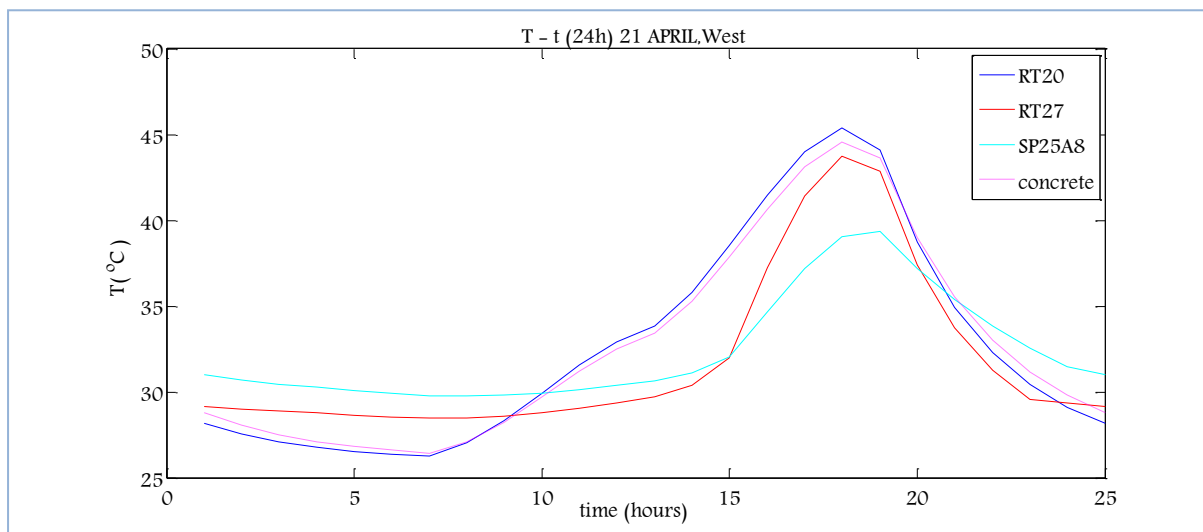


Διάγραμμα 5.2.4.3.2: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Φεβρουαρίου για ένα 24ωρο

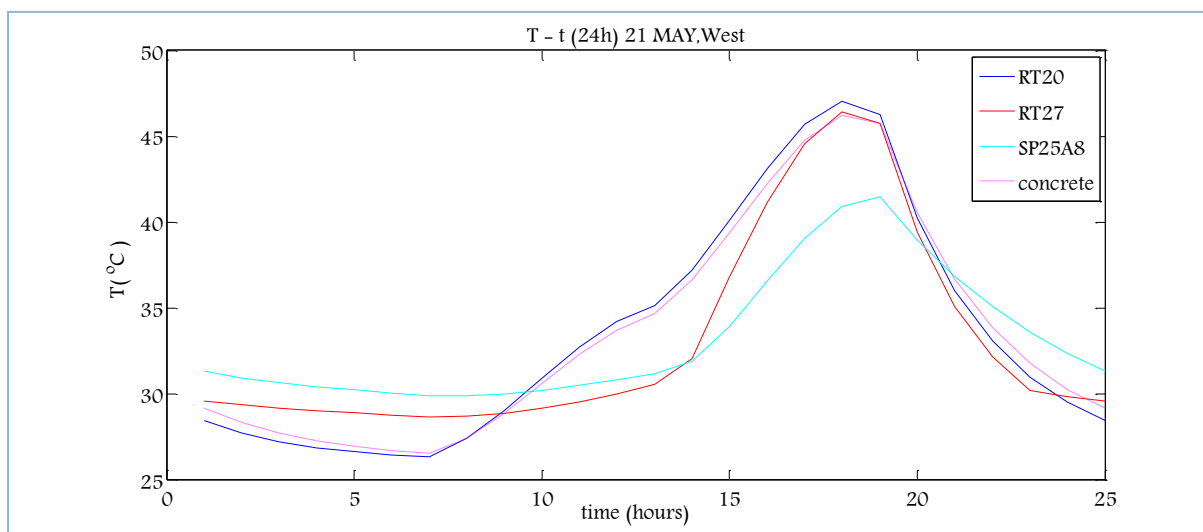


Διάγραμμα 5.2.4.3.3: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαρτίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

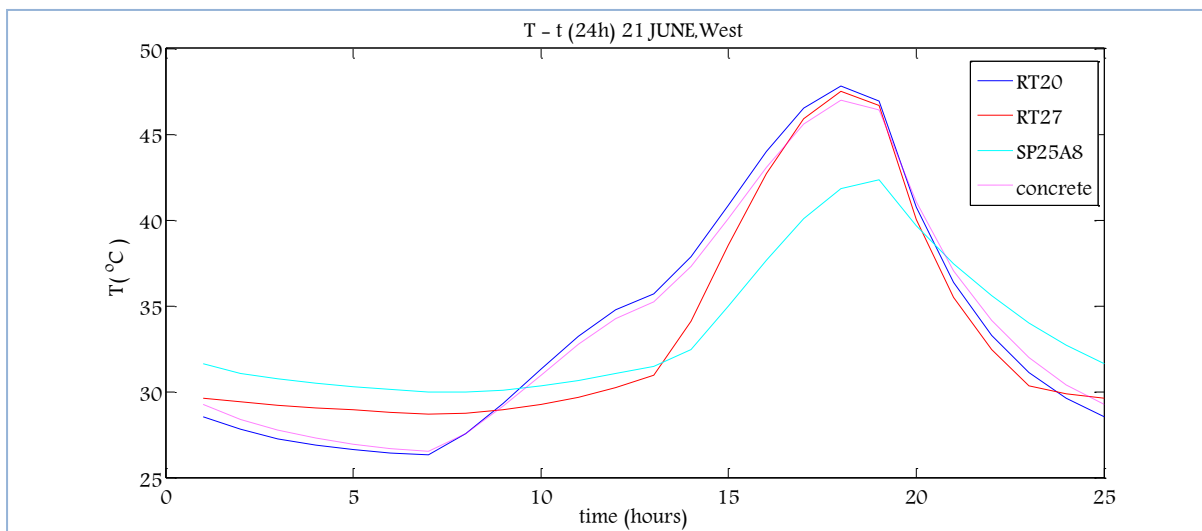


Διάγραμμα 5.2.4.3.4: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Απριλίου για ένα 24ωρο

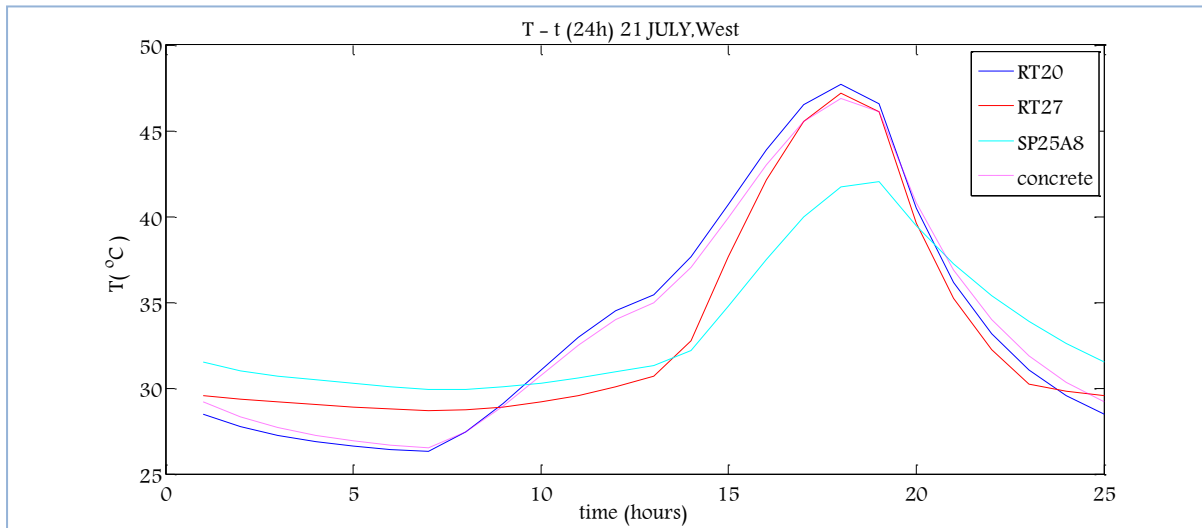


Διάγραμμα 5.2.4.3.5: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαΐου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

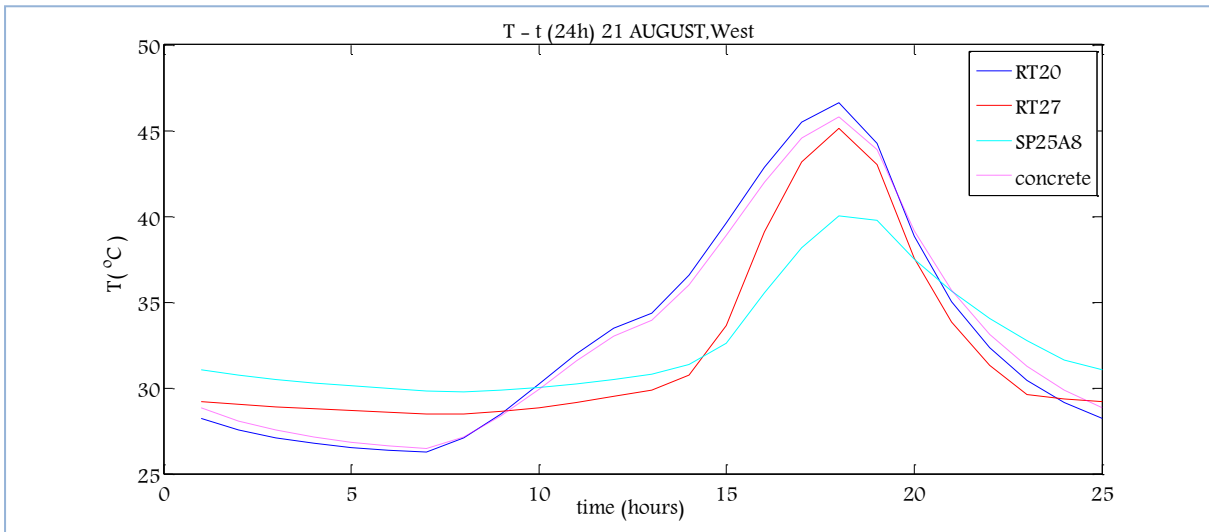


Διάγραμμα 5.2.4.3.6: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουνίου για ένα 24ωρο

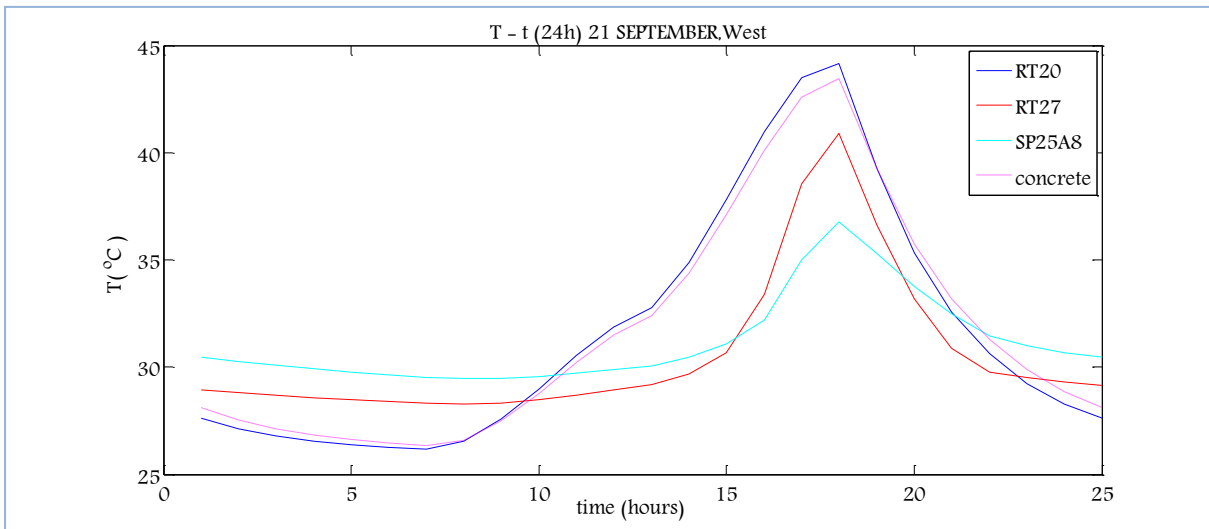


Διάγραμμα 5.2.4.3.7: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουλίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

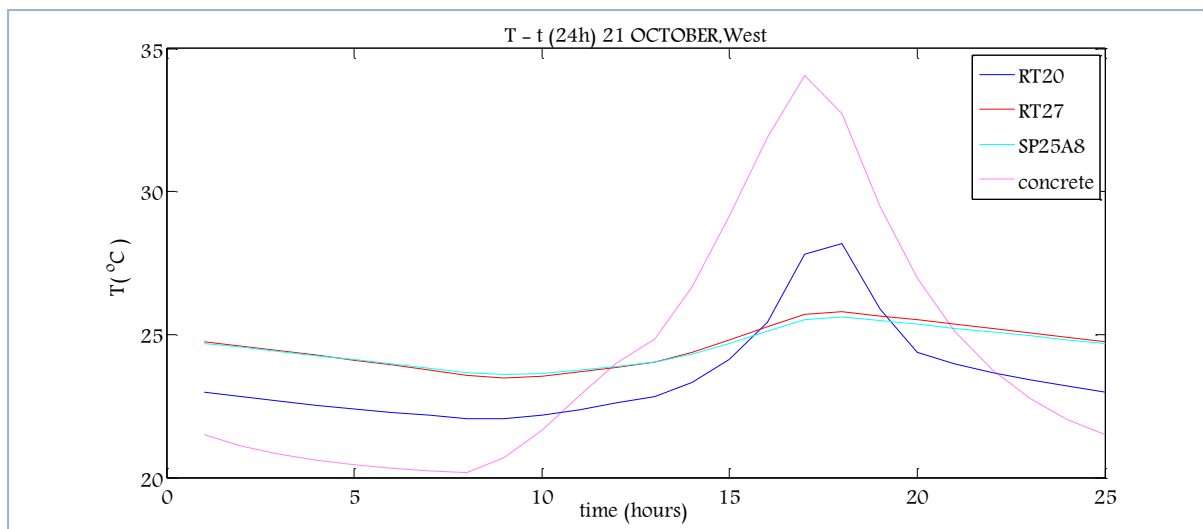


Διάγραμμα 5.2.4.3.8: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Αυγούστου για ένα 24ωρο

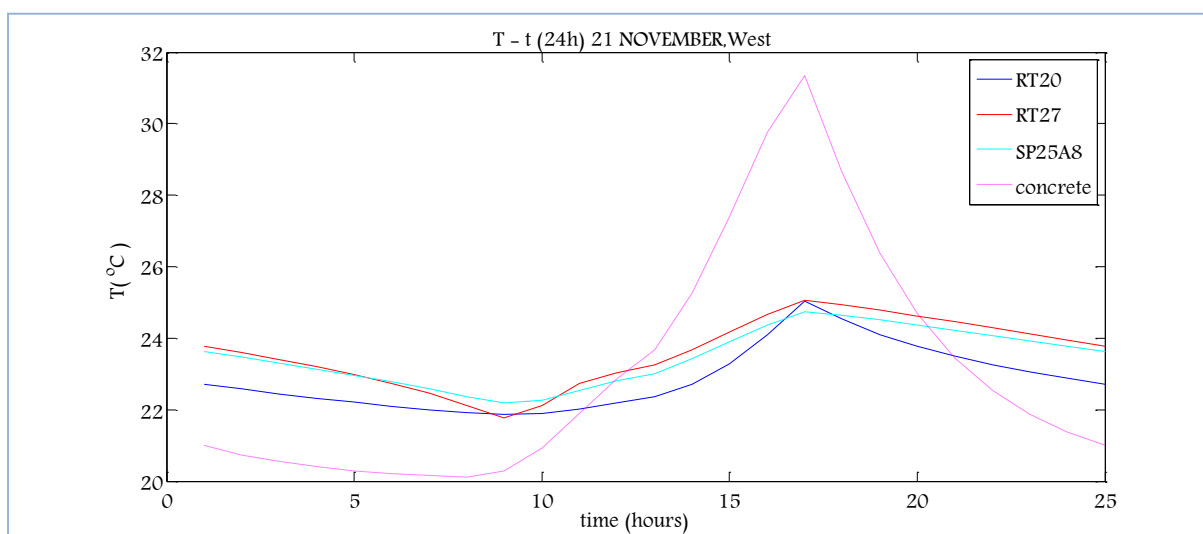


Διάγραμμα 5.2.4.3.9: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Σεπτεμβρίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

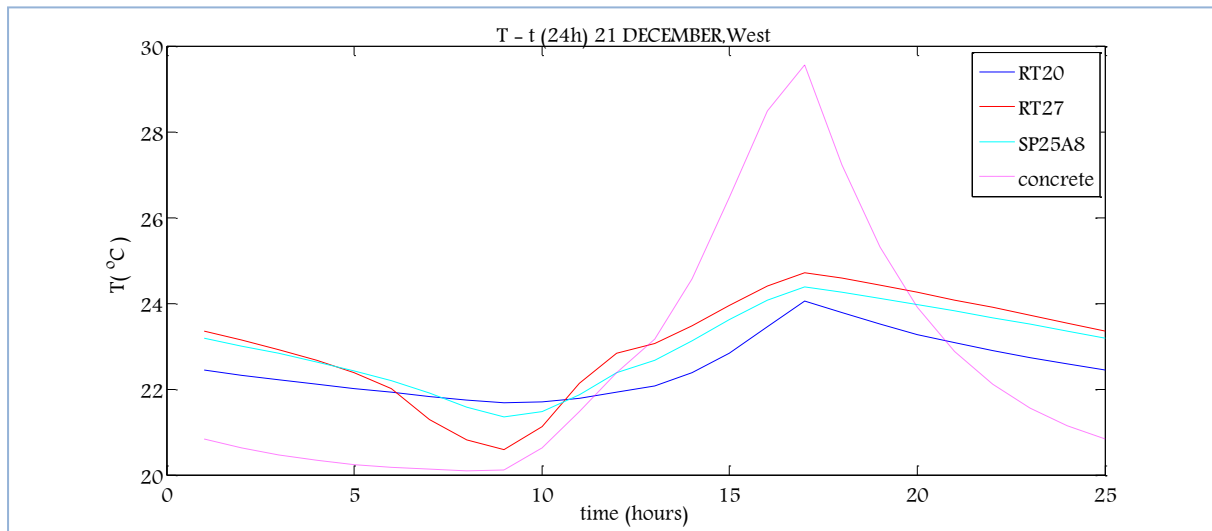


Διάγραμμα 5.2.4.3.10: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Οκτωβρίου για ένα 24ωρο



Διάγραμμα 5.2.4.3.11: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Νοεμβρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ



Διάγραμμα 5.2.4.3.12: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Δεκεμβρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Με βάση τις παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στην υποενότητα (5.2.2.1-D υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν), οι οποίες αφορούσαν στις διαφορές που πρέπει να υπάρχουν στην κατανομή της θερμοκρασίας μεταξύ PCM και αντίστοιχου στρώματος μπετόν και τα διαγράμματα μεταβολής της θερμοκρασίας (5.2.4.3.1 έως 5.2.4.3.12) θα γίνει ο έλεγχος της απόδοσης των PCMs.

Τα RT27 και SP25A8 αναπτύσσουν χαμηλότερες θερμοκρασίες από το μπετόν κατά την διάρκεια της ημέρας, την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους, το οποίο είναι λογικό διότι ένας μέρος της θερμότητας που δέχονται το χρησιμοποιούν για να αλλάξουν φάση.

Μια άλλη παρατήρηση, η οποία αφορά στην συμπεριφορά του εκάστοτε PCM ανάλογα με τον προσανατολισμό είναι ότι στην εξεταζόμενη μελέτη που τα PCMs είναι τοποθετημένα σε τοίχο που δέχεται ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα δυτικού προσανατολισμού, τα PCMs αναπτύσσουν χαμηλότερες θερμοκρασίες από την περίπτωση νοτίου προσανατολισμού κατά την διάρκεια των θερινών μηνών. Αυτό αιτιολογείται από το γεγονός ότι οι τιμές της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας για δυτικό προσανατολισμό είναι χαμηλότερες από τις αντίστοιχες για νότιο προσανατολισμό τον χειμώνα. Το αντίθετο συμβαίνει κατά την διάρκεια των θερινών μηνών. Όσον αφορά την

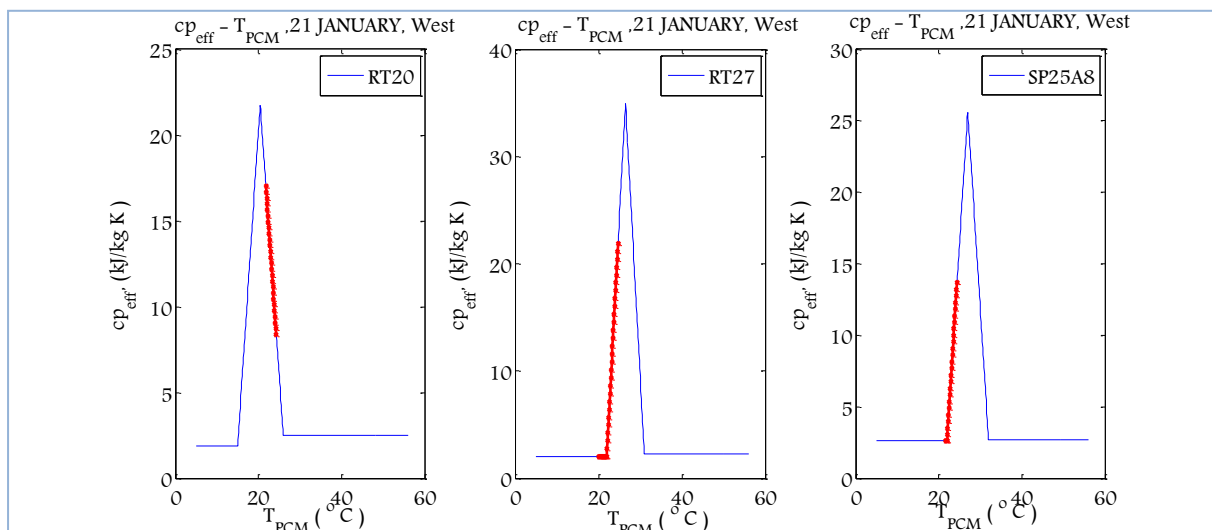
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

σύγκριση με τον ανατολικό προσανατολισμό, αναπτύσσουν υψηλότερες θερμοκρασίες την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους.

Μια άλλη παρατήρηση αφορά στην ώρα εμφάνισης των μεγίστων. Στην περίπτωση ανατολικού προσανατολισμού οι μέγιστες θερμοκρασίες εμφανίζονται νωρίτερα σε σχέση με την περίπτωση νοτίου προσανατολισμού. Αυτό είναι λογικό, αν λάβουμε υπόψη ότι για νότιο προσανατολισμό η μέγιστη ένταση της ακτινοβολίας παρατηρείται κοντά στη 13:00, ενώ για ανατολικό προσανατολισμό κοντά στις 10:00 και για δυτικό κοντά στις 16:00, το οποίο μπορεί να επιβεβαιωθεί και από τους πίνακες της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου, οι οποίοι παρουσιάστηκαν στην ενότητα 5.1.

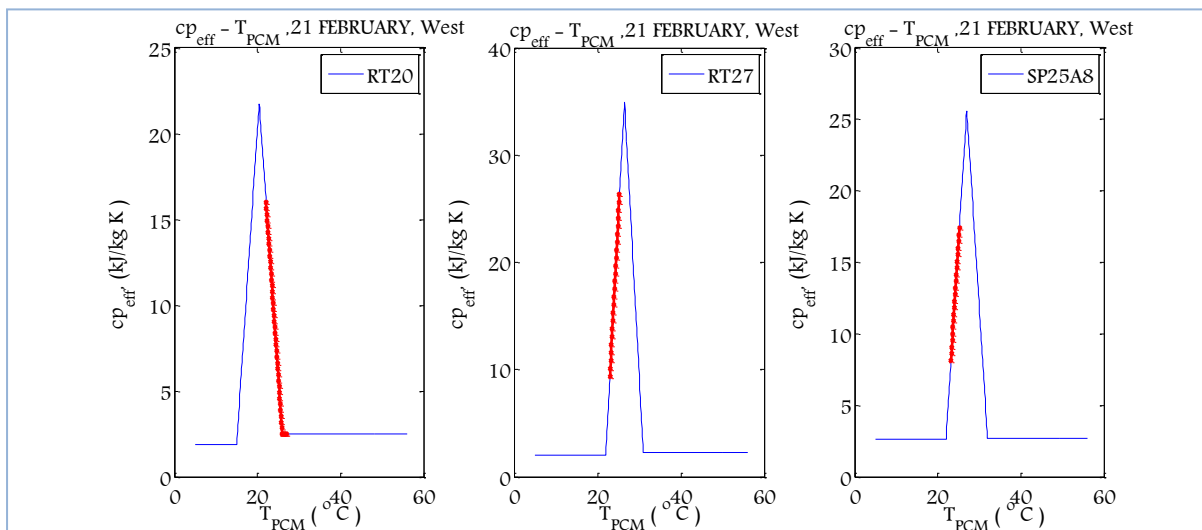
Ε. Έλεγχος της απόδοσης με βάση την καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας

Λαμβάνοντας υπόψη το εύρος τιμών που αναπτύσσουν τα PCMs προς μελέτη και τις αντίστοιχες τιμές της ενεργούς θερμοχωρητικότητας απεικονίζεται στα διαγράμματα που ακολουθούν το εύρος της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας που καταλαμβάνει το κάθε ένα από αυτά, την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους. Αυτό γίνεται προκειμένου να είναι πιο εμφανές πως συμπεριφέρεται κάθε ένα από τα εξεταζόμενα PCMs κυρίως τους μήνες από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο όπου το RT20 δεν άλλαξε φάση.

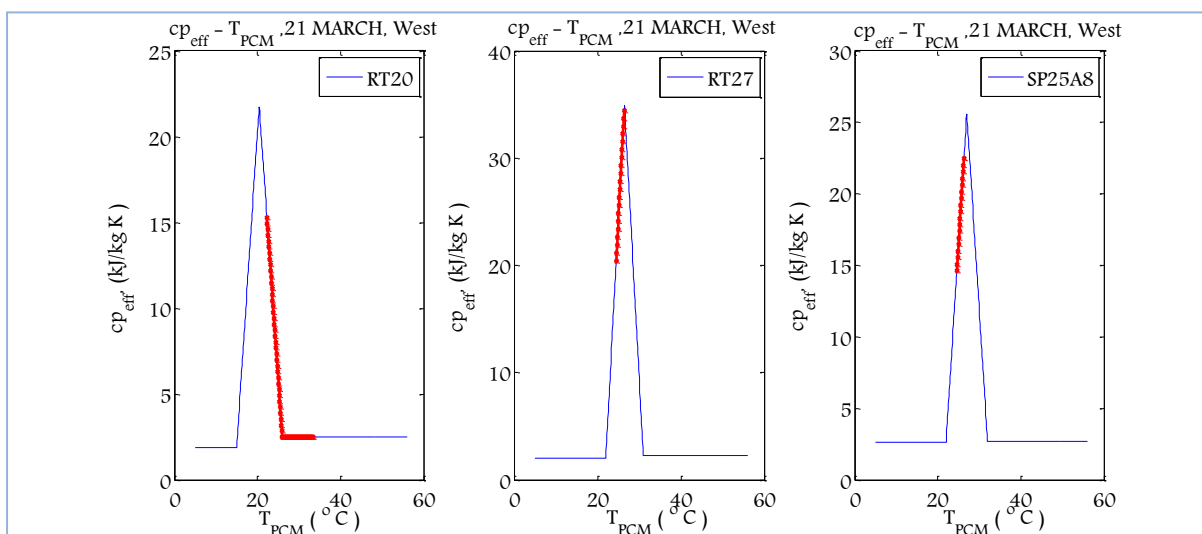


Διάγραμμα 5.2.4.3.13: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Ιανουαρίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

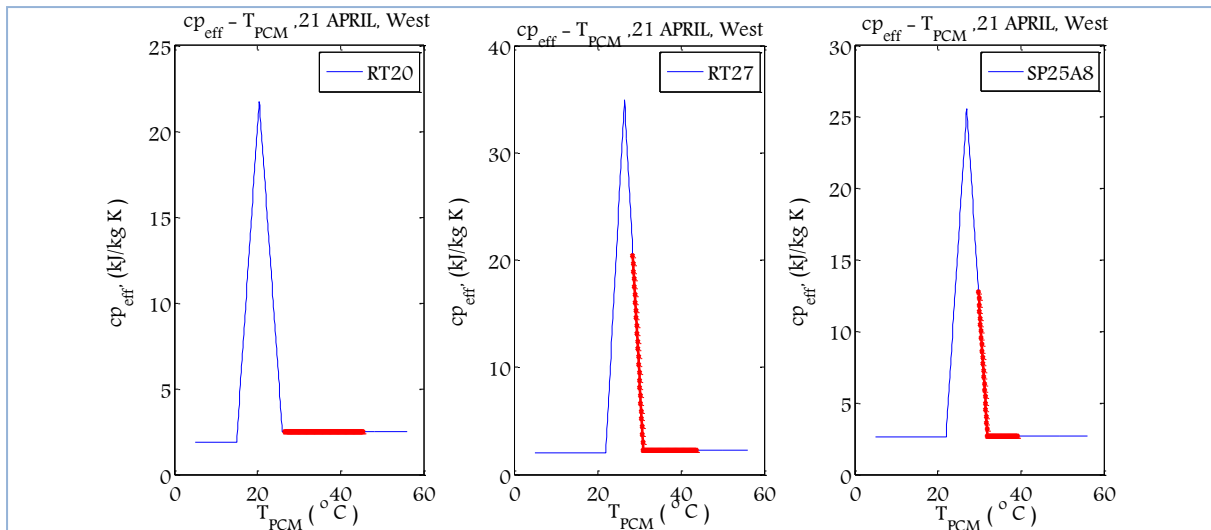


Διάγραμμα 5.2.4.3.14: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Φεβρουαρίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

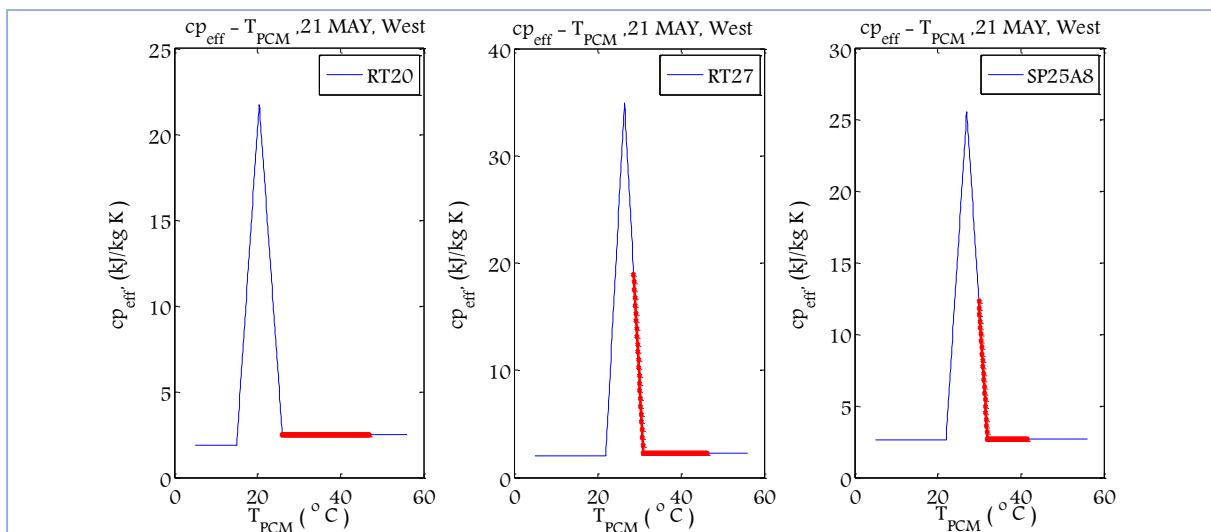


Διάγραμμα 5.2.4.3.15: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Μαρτίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

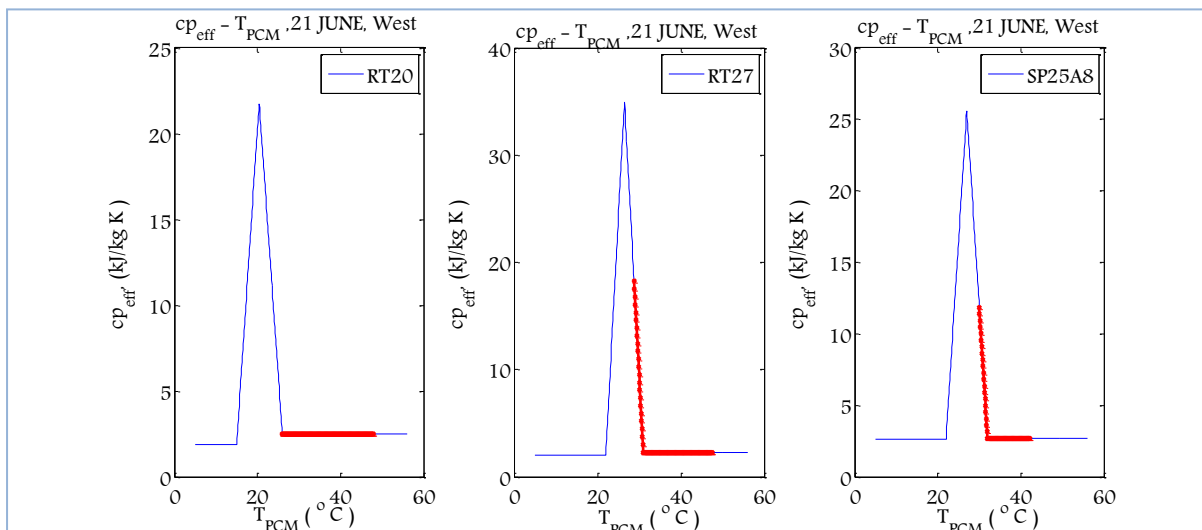


Διάγραμμα 5.2.4.3.16: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Απριλίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

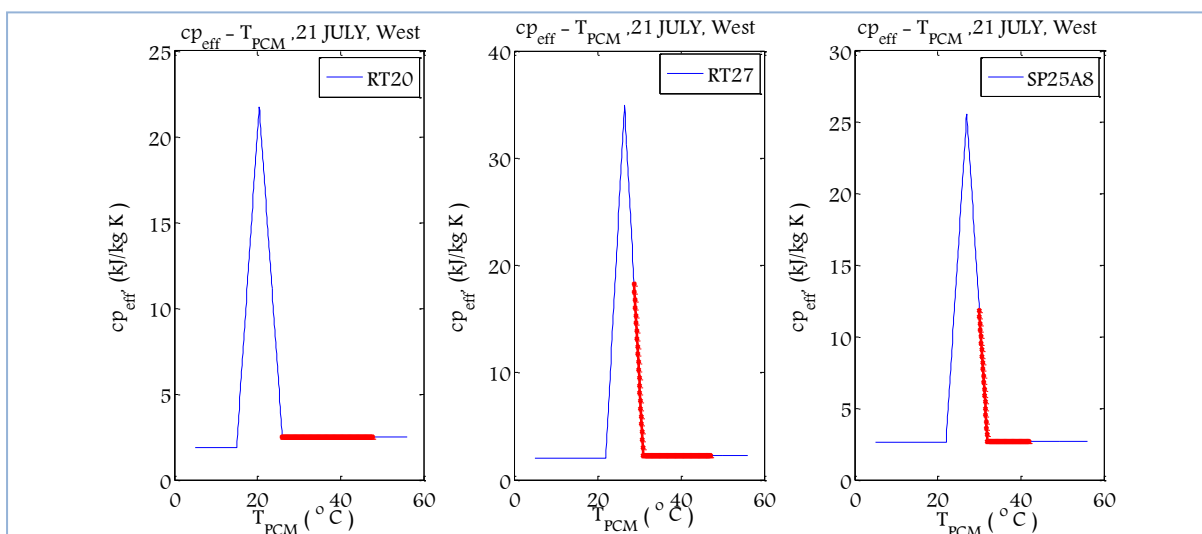


Διάγραμμα 5.2.4.3.17: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Μαΐου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

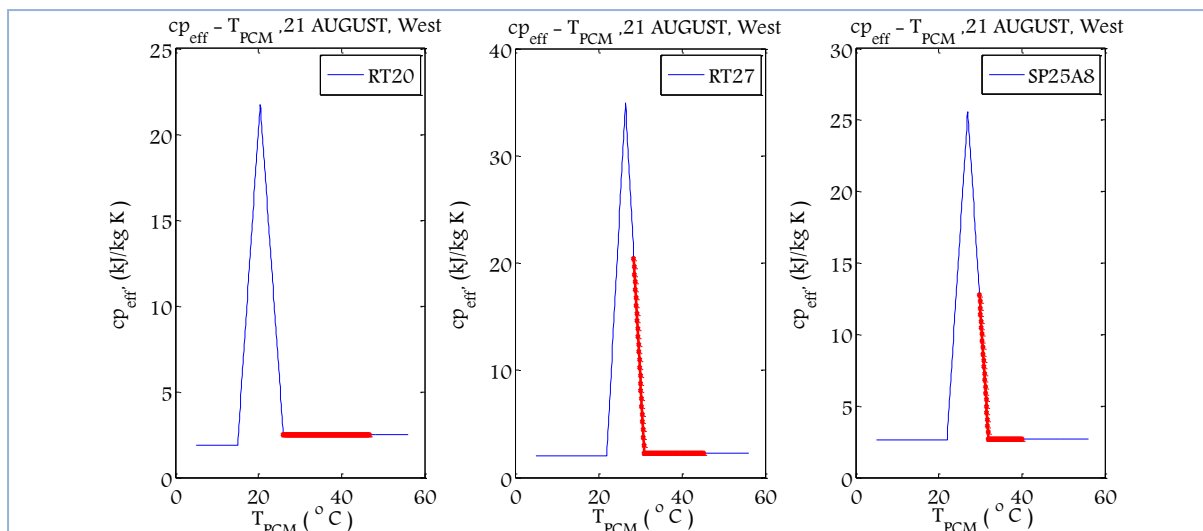


Διάγραμμα 5.2.4.3.18: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Ιουνίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

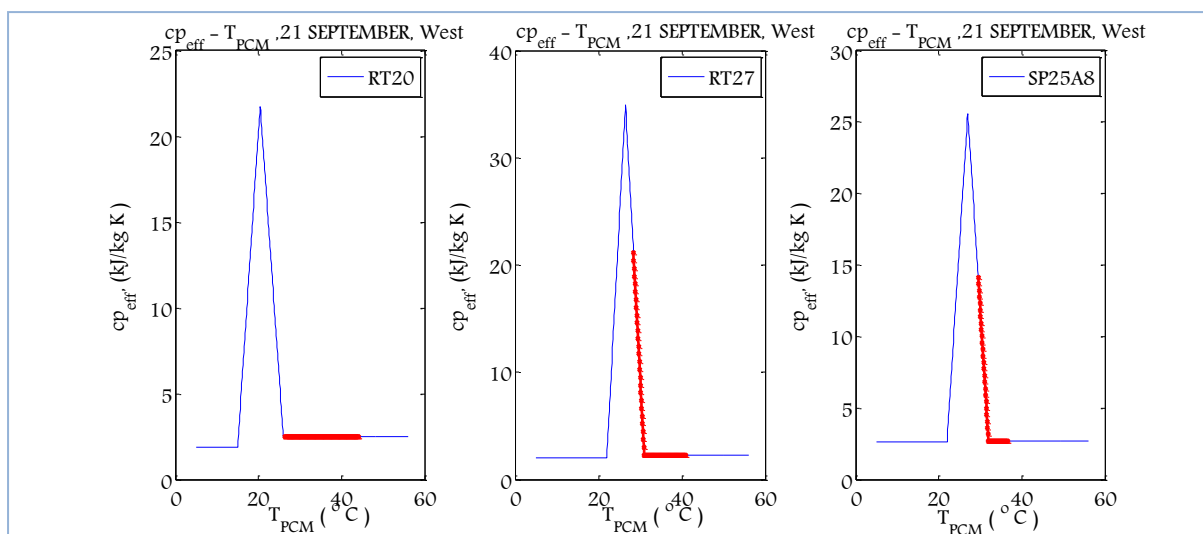


Διάγραμμα 5.2.4.3.19: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Ιουλίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

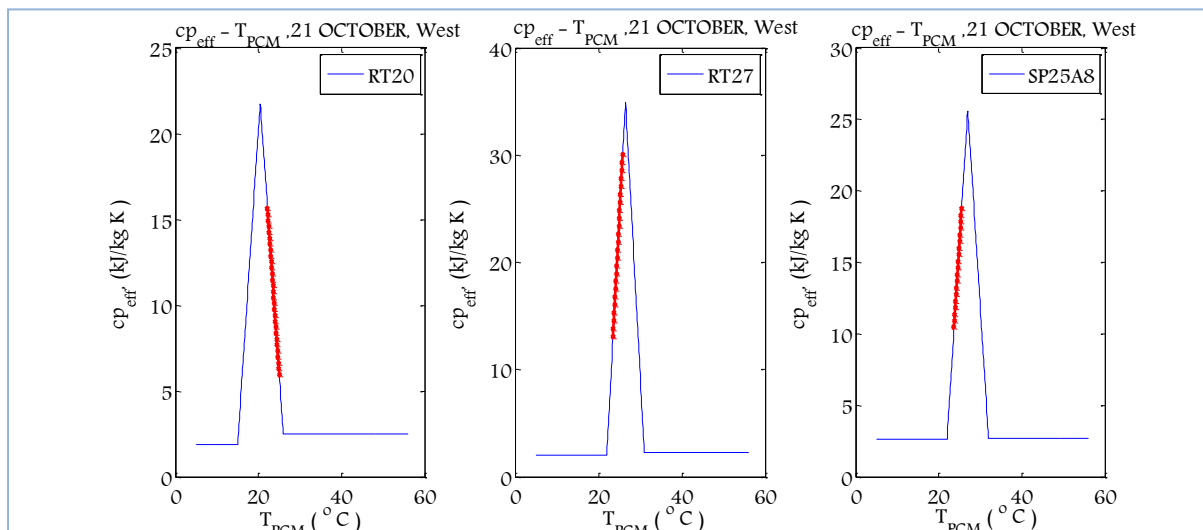


Διάγραμμα 5.2.4.3.20: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Αυγούστου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

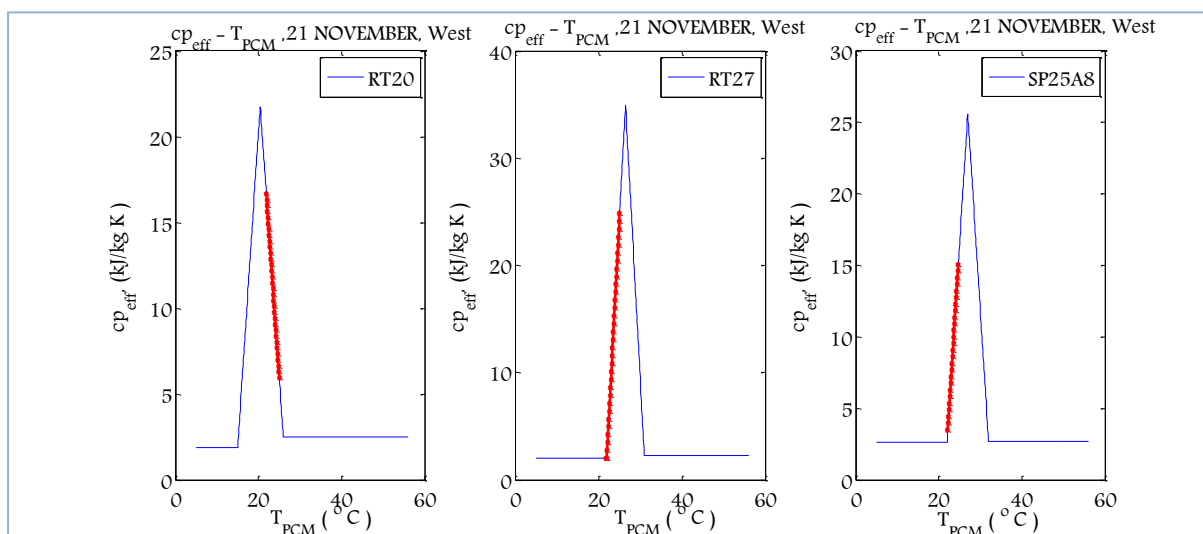


Διάγραμμα 5.2.4.3.21: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Σεπτεμβρίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

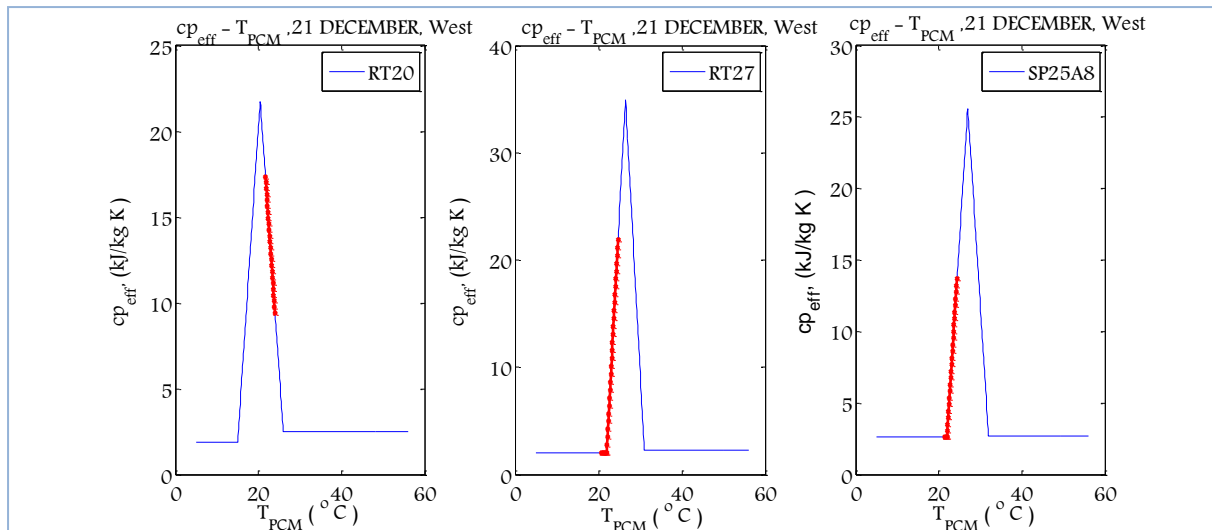


Διάγραμμα 5.2.4.3.22: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Οκτωβρίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs



Διάγραμμα 5.2.4.3.23: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Νοεμβρίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)



Διάγραμμα 5.2.4.3.24: Μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του PCM, $c_{p,eff}(T)$, το 24ωρο, την 21^η Δεκεμβρίου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Από τα ανωτέρω διαγράμματα είναι εμφανές ότι τα RT27 και SP25A8, εισέρχονται στην διφασική περιοχή κατά την διάρκεια των μηνών από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο, σε αντίθεση με το RT20. Καθώς κάθε ένα από αυτά έχει διαφορετική καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας δεν μπορεί να είναι εμφανές από τα ανωτέρω διαγράμματα πιο από αυτά είναι περισσότερο αποδοτικό, δηλαδή πιο από τα εξεταζόμενα PCMs αποθηκεύει περισσότερη θερμότητα.

Με σύγκριση των διαγραμμάτων της μεταβολής της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας που αφορούσαν την περίπτωση του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού (5.2.4.1.13 έως 5.2.4.1.24) με τα αντίστοιχα διαγράμματα (5.2.4.3.13 έως 5.2.4.3.24) που αφορούν την περίπτωση του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα δυτικού προσανατολισμού παρατηρείται ότι στην περίπτωση του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα δυτικού προσανατολισμού, το RT20 καλύπτει μικρότερο τμήμα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας και είναι αναμενόμενο ότι θα είναι λιγότερο αποδοτικό από την περίπτωση του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού. Το γεγονός ότι το RT20 καταλαμβάνει μικρότερο τμήμα στην καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας όταν δέχεται ακτινοβολία από υαλοπίνακα ανατολικού προσανατολισμού και όχι νοτίου

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

προσανατολισμού μπορεί να εξηγηθεί από την παρατήρηση που είχε προηγηθεί και αφορούσε στην σύγκριση των μεγίστων θερμοκρασιών που αναπτύσσει σε σύγκριση με τον τοίχο που δέχεται ακτινοβολία από υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού. Μεταξύ των δυο αναφερόμενων προσανατολισμών οι διαφορές παρατηρούνται κυρίως στις μέγιστες θερμοκρασίες που αναπτύσσει το RT20 καθώς οι ελάχιστες διαφέρουν ελαφρώς. Συνεπώς, ήταν αναμενόμενο στον εξεταζόμενο τοίχο να καταλαμβάνει το RT20 μικρότερο τμήμα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας αφού αναπτύσσει μικρότερες μέγιστες σε σχέση με το RT20 της υποενότητας 5.2.4.1. Όσον αφορά τα RT27 και SP25A8, αναπτύσσουν μικρότερες μέγιστες θερμοκρασίες και μικρότερες ελάχιστες από την περίπτωση του τοίχου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών και υψηλότερες κατά την διάρκεια των θερινών μηνών. Παρόλα αυτά εμφανίζουν μεγαλύτερα θερμοκρασιακά εύρη στην εξεταζόμενη μελέτη

Ε. ΒΑΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΙ ΣΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ

Λόγω του ότι τα διαγράμματα των καμπυλών ενεργού θερμοχωρητικότητας παρέχουν μια οπτική εικόνα για την συμπεριφορά των PCMs, στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η θερμότητα που απορροφά κάθε ένα από αυτά καθώς επίσης και ο βαθμός χρησιμοποίησης του την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους. Ο βαθμός χρησιμοποίησης υπολογίζεται από την σχέση (5.2.2.1.3) και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ
(PCMs)

Πίνακας 5.2.4.3.1: Η θερμότητα που αποθηκεύει το εκάστοτε στρώμα πάχους PCM και ο βαθμός χρησιμοποίησής του

| 21 ^η ημέρα μήνα | RT20 | | | | RT27 | | | | SP25A8 | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------|
| | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% |
| ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ | 24,37 | 21,76 | 33,00 | 24,98 | 24,8 | 20,93 | 36,66 | 21,90 | 24,49 | 21,63 | 21,77 | 15,38 |
| ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ | 27,12 | 22,06 | 39,50 | 29,90 | 25,41 | 22,93 | 44,73 | 26,72 | 25,2 | 23,09 | 26,41 | 18,66 |
| ΜΑΡΤΙΟΣ | 33,33 | 22,31 | 51,11 | 38,69 | 26,47 | 24,44 | 55,78 | 33,32 | 26,31 | 24,52 | 32,92 | 23,26 |
| ΑΠΡΙΛΙΟΣ | 45,38 | 26,26 | 47,80 | 36,18 | 43,73 | 28,46 | 58,53 | 34,96 | 39,37 | 29,75 | 37,56 | 26,55 |
| ΜΑΪΟΣ | 47,02 | 26,3 | 51,80 | 39,21 | 46,4 | 28,65 | 60,85 | 36,35 | 41,46 | 29,89 | 41,46 | 29,30 |
| ΙΟΥΝΙΟΣ | 47,8 | 26,31 | 53,73 | 40,67 | 47,48 | 28,68 | 62,73 | 37,47 | 42,34 | 29,95 | 43,08 | 30,44 |
| ΙΟΥΛΙΟΣ | 47,73 | 26,3 | 53,58 | 40,56 | 47,17 | 28,66 | 62,39 | 37,27 | 42,06 | 29,93 | 42,55 | 30,07 |
| ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ | 46,63 | 26,27 | 50,90 | 38,53 | 45,15 | 28,47 | 61,54 | 36,76 | 40 | 29,78 | 38,87 | 27,47 |
| ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ | 44,17 | 26,19 | 44,95 | 34,03 | 40,9 | 28,28 | 55,82 | 33,34 | 36,77 | 29,46 | 34,51 | 24,39 |
| ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ | 28,19 | 26,07 | 5,30 | 4,01 | 25,79 | 23,49 | 49,42 | 29,52 | 25,6 | 23,61 | 29,12 | 20,58 |
| ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ | 25,05 | 21,86 | 36,06 | 27,30 | 25,05 | 21,76 | 40,91 | 24,44 | 24,75 | 22,19 | 24,04 | 16,99 |
| ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ | 24,06 | 21,68 | 31,70 | 24,00 | 24,71 | 20,58 | 35,37 | 21,13 | 24,38 | 21,35 | 20,96 | 14,81 |

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Το RT27 όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις στις οποίες ο τοίχος δεχόταν ηλιακή ακτινοβολία από νότιο και ανατολικό υαλοπίνακα, αποθηκεύει την περισσότερη θερμότητα την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους σε σύγκριση με τα άλλα δυο εξεταζόμενα PCMs.

Μια άλλη παρατήρηση, η οποία αφορά στην θερμότητα που αποθηκεύει κάθε ένα από τα PCMs είναι ότι κάθε ένα από αυτά τους χειμερινούς μήνες αποθηκεύει περισσότερη θερμότητα όταν ο τοίχος βρίσκεται απέναντι από υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού, την λιγότερη θερμότητα καθ' όλη την διάρκεια του έτους για ανατολικό προσανατολισμό και την περισσότερη θερμότητα κατά την διάρκεια των θερινών μηνών για δυτικό προσανατολισμό. Αυτό οφείλεται στα θερμοκρασιακά εύρη που αναπτύσσει κάθε ένα από τα εξεταζόμενα PCMs και στο εμβαδόν που προκύπτει από την καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας.

5.2.5 Παραμετρική μελέτη ως προς το PCM το 48ωρο

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η εξέταση της συμπεριφοράς των PCMs κατά την διάρκεια του 48ωρου. Για τον σκοπό αυτό δεν γίνεται αλλαγή στα PCMs, αλλά χρησιμοποιούνται εκείνα που χρησιμοποιήθηκαν στην περίπτωση του 24ωρου.

Τα χαρακτηριστικά του δωματίου έχουν αναφερθεί στην ενότητα 5.2.1. Εξετάζονται τρία διαφορετικά PCMs και γίνεται σύγκριση με το αντίστοιχο στρώμα μπετόν όπως και στην παραμετρική μελέτη (5.2.4), μόνο που σε αυτήν την περίπτωση εξετάζεται η απόδοση τους το 48ωρο και ελέγχεται μόνο η περίπτωση του τοίχου που βρίσκεται έναντι υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού.

Καθώς εξετάζεται η 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους, το δεύτερο 24ωρο αναφέρεται στην 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους μόνο που η ηλιακή ακτινοβολία είναι η μισή από εκείνη του πρώτου 24ωρου. Αυτό έγινε με σκοπό να εξεταστεί η συμπεριφορά των PCMs, στην περίπτωση νεφροσκεπούς ημέρας, μειωμένης δηλαδή ηλιοφάνειας.

Πραγματοποιείται έλεγχος των θερμοκρασιών που αναπτύσσουν και υπολογίζονται οι βαθμοί απόδοσης τους με βάση την καμπύλη της ενεργού θερμοχωρητικότητας.

5.2.5.1 Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα νότιου προσανατολισμού

A. Υπολογισμός προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για την 21^η ημέρα κάθε μήνα καθώς επίσης και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της έχουν παρουσιαστεί στην ενότητα 5.1 . Στην παρούσα παραμετρική μελέτη για το πρώτο 24ωρο λαμβάνονται υπόψη οι τιμές της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου που έχουν υπολογιστεί για νότιο προσανατολισμό. Στο δεύτερο 24ωρο η ολική ηλιακή ακτινοβολία θα είναι η μισή της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου του πρώτου 24ωρου καθώς θεωρείται νεφосκεπή ημέρα με μειωμένη δηλαδή ηλιακή ακτινοβολία.

B. Επιλογή PCM

Τα χαρακτηριστικά του PCM RT20 και του μπετόν έχουν δοθεί στον Πίνακα 5.2.2.1.1

Τα χαρακτηριστικά των δυο νέων προς εξέταση PCM του RT27 και του SP25A8 έχουν δοθεί στον Πίνακα 5.2.4.1.1

C. Προσομοίωση της αλλαγής φάσης

Για την προσομοίωση της αλλαγής φάσης, επιλέγεται η τριγωνική μορφή της μεθόδου της ενεργούς θερμοχωρητικότητας, η οποία έχει περιγραφεί στην ενότητα 5.2.1 και η μορφή της καμπύλης έχει απεικονιστεί στο Διάγραμμα 5.2.2.1.1 για το RT20, στο Διάγραμμα 5.2.4.1.2 για το RT27 και στο Διάγραμμα 5.2.4.1.3 για το SP25A8.

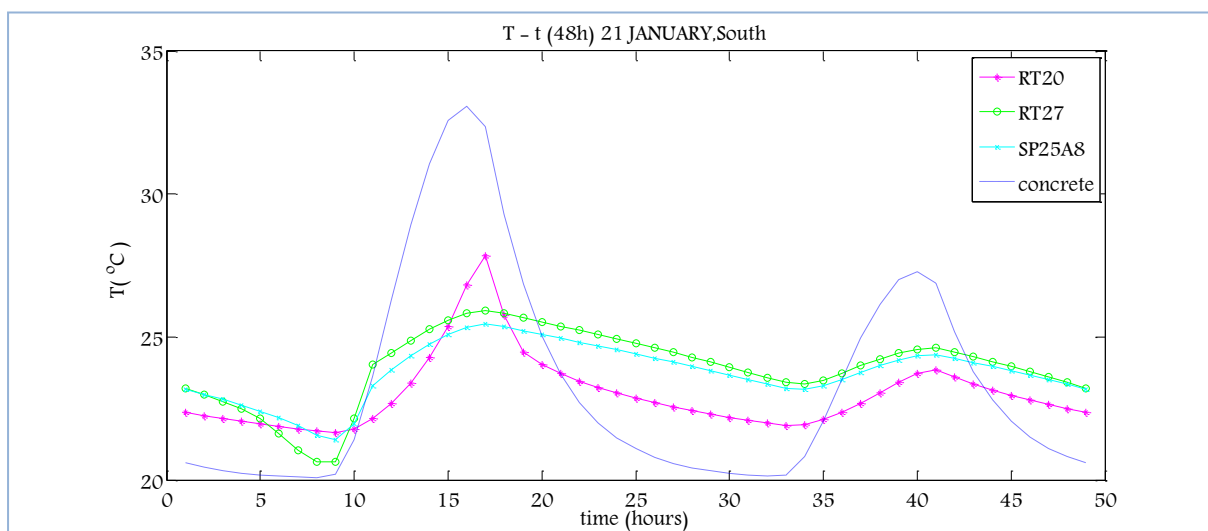
D. Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν

Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει το εκάστοτε PCM και το αντίστοιχο μπετόν, την 21^η μέρα κάθε μήνα υπολογίζονται από τις σχέσεις (5.2.2.1.1) και (5.2.2.1.2) αντίστοιχα μόνο που στο δεύτερο 24ωρο λαμβάνονται οι μισές τιμές της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

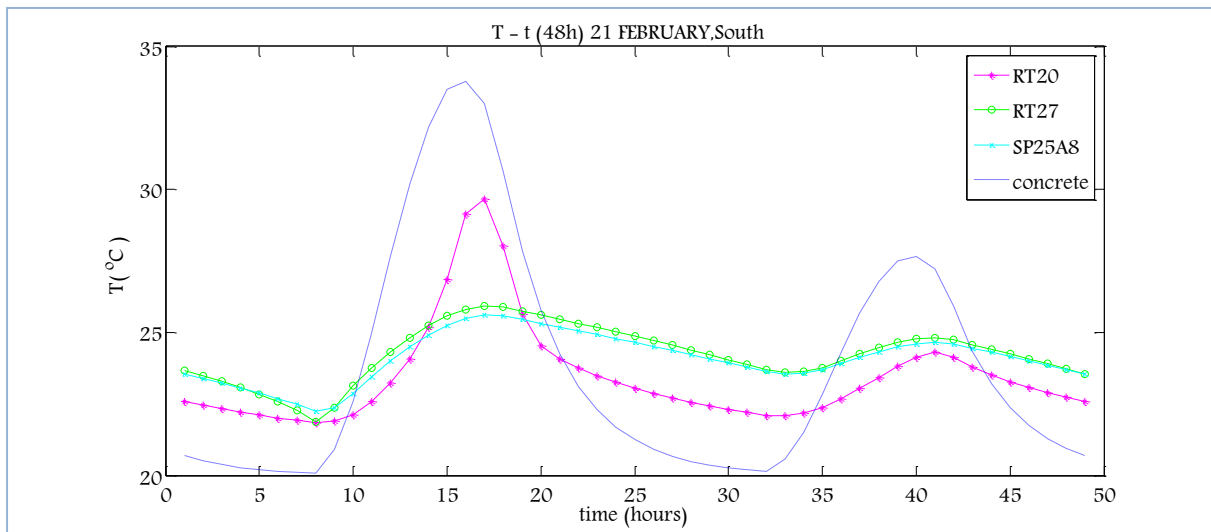
Για την εύρεση της κατανομής της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το εκάστοτε PCM και το αντίστοιχο μπετόν ακολουθείται η επαναληπτική διαδικασία η οποία παρουσιάστηκε στην ενότητα (5.2.2.1-D Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν), εδώ όμως πραγματοποιείται επαναληπτική διαδικασία για το 48ωρο.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας των PCMs και του αντίστοιχου στρώματος μπετόν, συναρτήσει της ώρας για όλο το 48ωρο την 21^η μέρα κάθε μήνα ,για όλα τα εξεταζόμενα PCMs που επιλέχθηκαν.

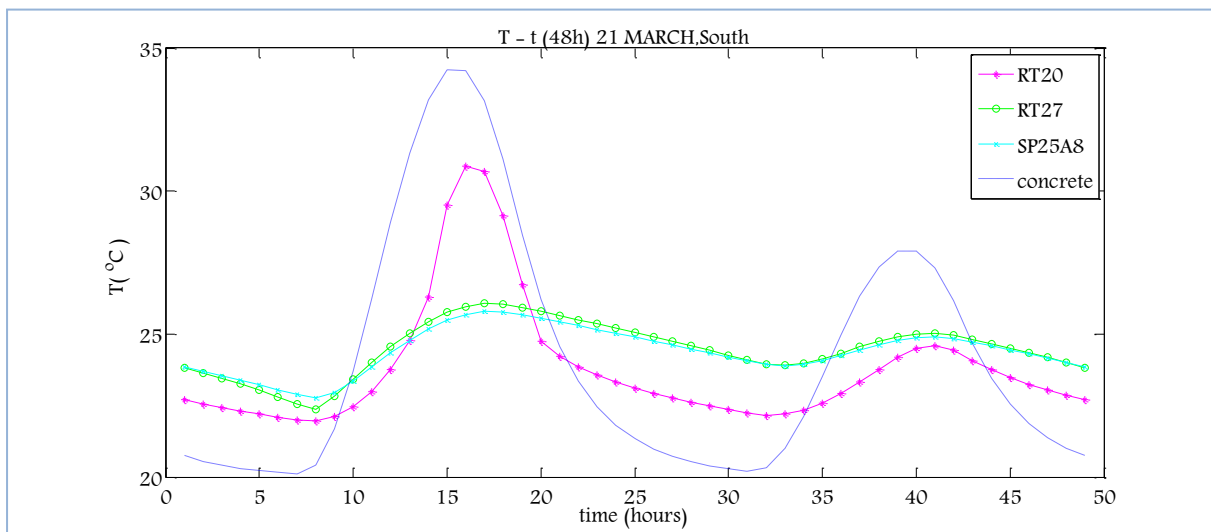


Διάγραμμα 5.2.5.1.1: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιανουαρίου για ένα 48ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

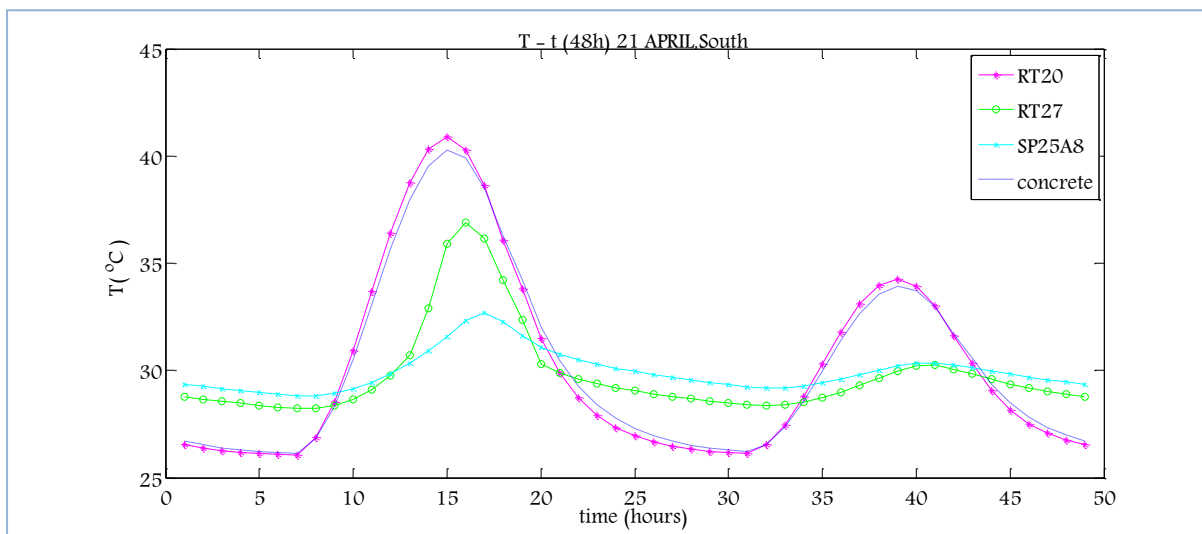


Διάγραμμα 5.2.5.1.2: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Φεβρουαρίου για ένα 48ωρο

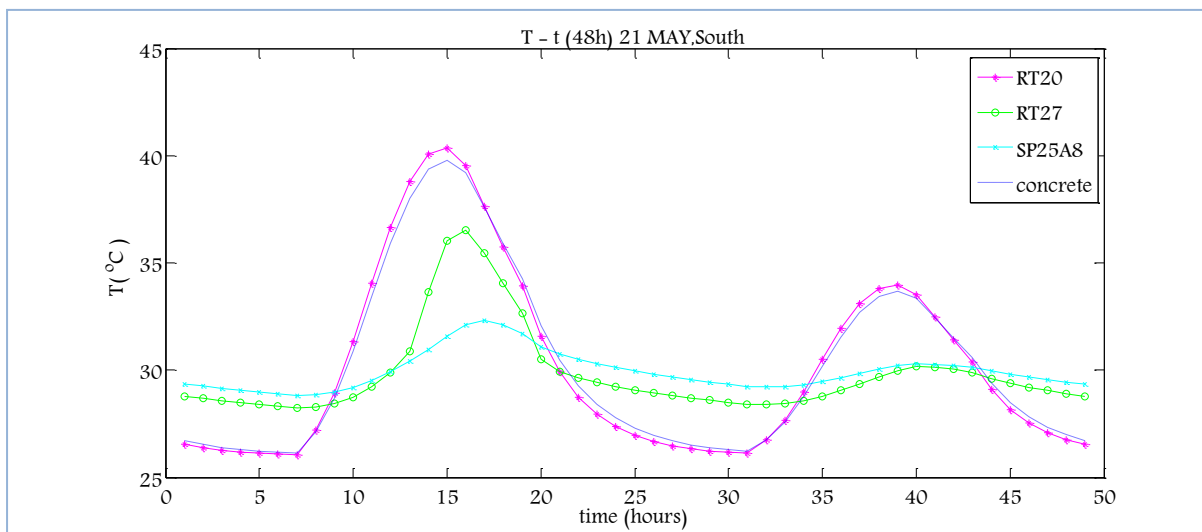


Διάγραμμα 5.2.5.1.3: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαρτίου για ένα 48ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

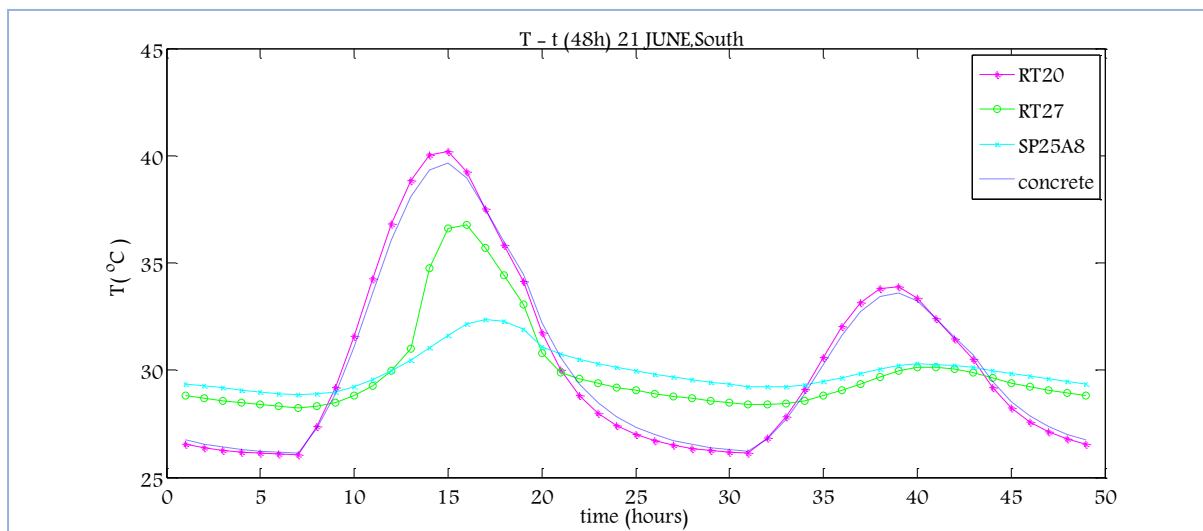


Διάγραμμα 5.2.5.1.4: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Απριλίου για ένα 48ωρο

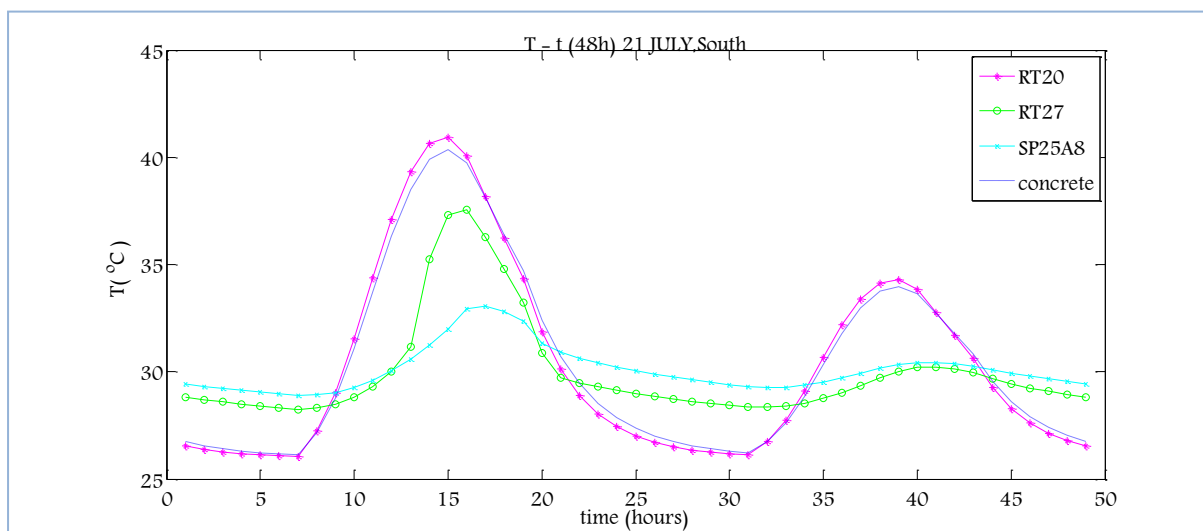


Διάγραμμα 5.2.5.1.5: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαΐου για ένα 48ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

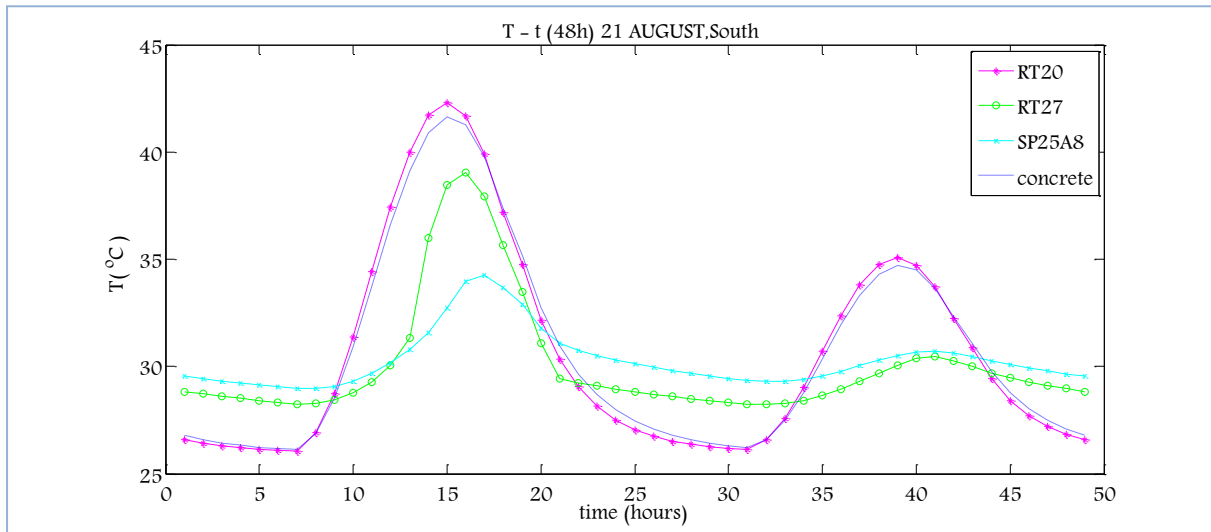


Διάγραμμα 5.2.5.1.6: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουνίου για ένα 48ωρο

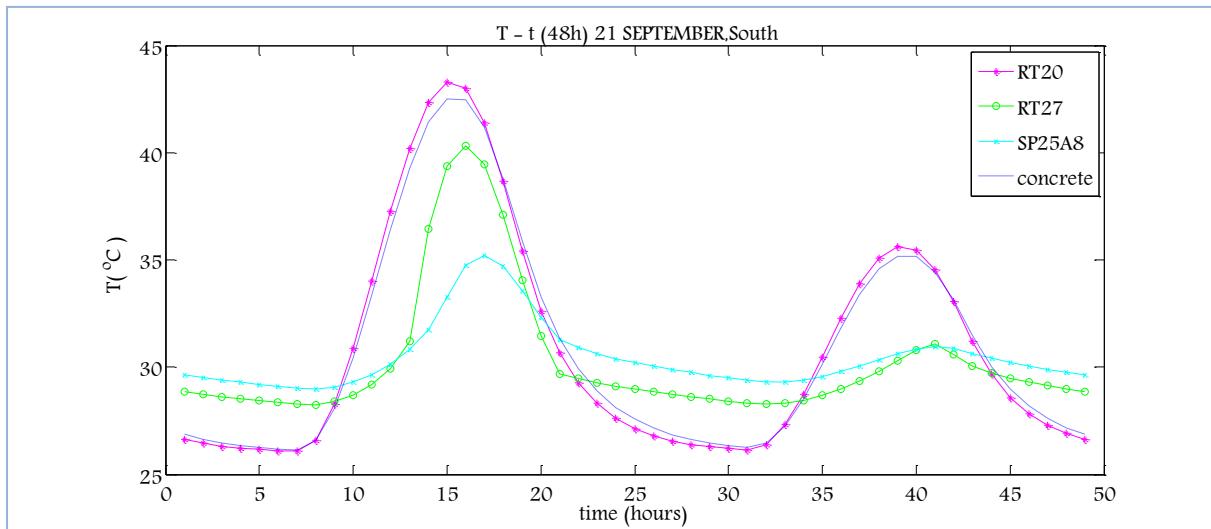


Διάγραμμα 5.2.5.1.7: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουλίου για ένα 48ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

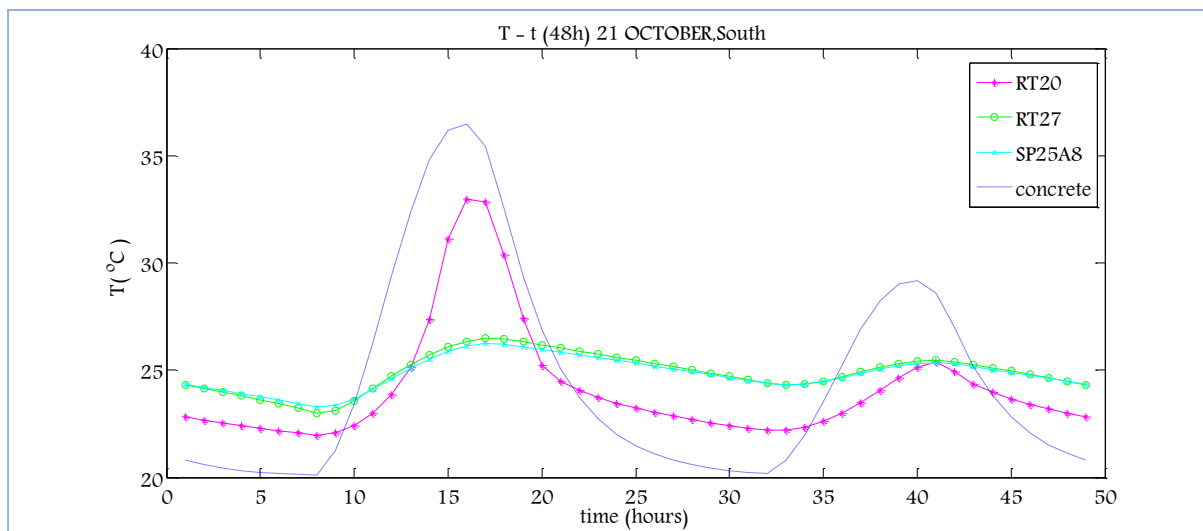


Διάγραμμα 5.2.5.1.8: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Αυγούστου για ένα 48ωρο

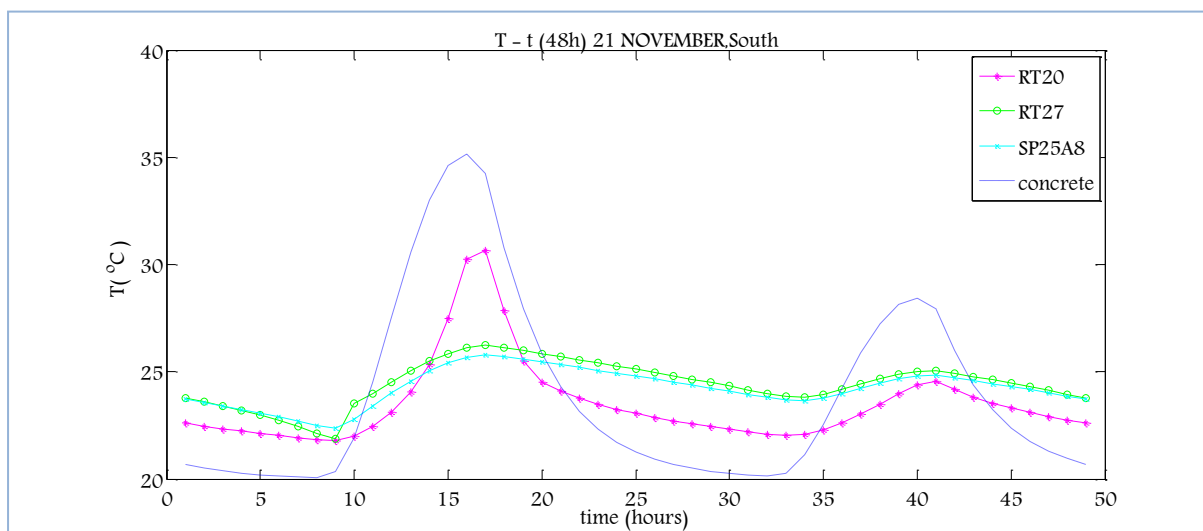


Διάγραμμα 5.2.5.1.9: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Σεπτεμβρίου για ένα 48ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

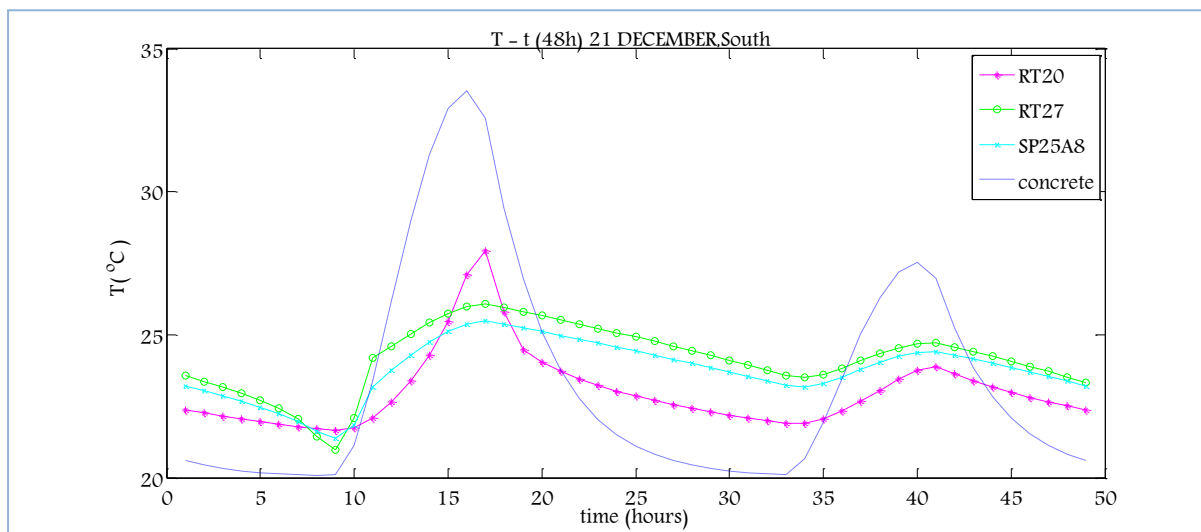


Διάγραμμα 5.2.5.1.10: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Οκτωβρίου για ένα 48ωρο



Διάγραμμα 5.2.5.1.11: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Νοεμβρίου για ένα 48ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ



Διάγραμμα 5.2.5.1.12: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Δεκεμβρίου για ένα 48ωρο

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι κατά την διάρκεια του δευτέρου 24ώρου μειώνονται τα μέγιστα των θερμοκρασιών που αναπτύσσει το εκάστοτε στρώμα PCM, το οποίο είναι λογικό αφού θεωρήθηκε το δεύτερο 24ωρο, ημέρα με μειωμένη ηλιοφάνεια και λήφθηκε ότι ο τοίχος δέχεται τη μισή τιμή της προσπίπτουσας ακτινοβολίας του πρώτου 24ώρου.

Με βάση τις παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στην υποενότητα (5.2.2.1-D υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν), οι οποίες αφορούσαν στις διαφορές που πρέπει να υπάρχουν στην κατανομή της θερμοκρασίας μεταξύ PCM και αντίστοιχου στρώματος μπετόν και τα διαγράμματα μεταβολής της θερμοκρασίας (5.2.5.1.1 έως 5.2.5.1.12) θα γίνει ο έλεγχος της απόδοσης του PCM.

Στα RT27 και SP25A8, παρατηρούνται οι ανωτέρω διαφορές με το μπετόν την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους, καθώς αναπτύσσουν θερμοκρασίες εντός της διφασικής περιοχής, αλλάζουν δηλαδή φάση.

Τα μέγιστα και τα ελάχιστα των θερμοκρασιών έχουν μειωθεί στην περίπτωση του 48ώρου για όλα τα εξεταζόμενα PCMs.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

F. ΒΑΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΙ ΣΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η θερμότητα που αποθηκεύεται σε κάθε ένα από τα εξεταζόμενα PCMs, καθώς επίσης και ο βαθμός χρησιμοποίησης τους την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους. Ο βαθμός χρησιμοποίησης υπολογίζεται από την σχέση (5.2.2.1.3) και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 5.2.5.1.1: Η θερμότητα που αποθηκεύει το εκάστοτε στρώμα πάχους PCM και ο βαθμός χρησιμοποίησης του

| 21 ^η ημέρα μήνα | RT20 | | | | RT27 | | | | SP25A8 | | | |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------|
| | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% |
| ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ | 27,85 | 21,66 | 48,07 | 36,39 | 25,94 | 20,62 | 67,87 | 40,54 | 25,46 | 21,41 | 38,19 | 26,99 |
| ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ | 29,67 | 21,83 | 49,64 | 37,58 | 25,94 | 21,87 | 65,37 | 39,05 | 25,6 | 22,26 | 38,48 | 27,19 |
| ΜΑΡΤΙΟΣ | 30,88 | 21,96 | 50,52 | 38,24 | 26,07 | 22,38 | 67,88 | 40,55 | 25,79 | 22,77 | 39,62 | 28,00 |
| ΑΠΡΙΛΙΟΣ | 40,88 | 26,06 | 37,05 | 28,05 | 36,88 | 28,22 | 47,93 | 28,63 | 32,69 | 28,83 | 33,44 | 23,63 |
| ΜΑΪΟΣ | 40,34 | 26,06 | 35,70 | 27,02 | 36,52 | 28,22 | 47,04 | 28,10 | 32,3 | 28,83 | 32,40 | 22,90 |
| ΙΟΥΝΙΟΣ | 40,18 | 26,07 | 35,28 | 26,70 | 36,76 | 28,23 | 47,39 | 28,31 | 32,36 | 28,84 | 32,40 | 22,90 |
| ΙΟΥΛΙΟΣ | 40,93 | 26,07 | 37,15 | 28,12 | 37,55 | 28,24 | 48,97 | 29,25 | 33,07 | 28,89 | 33,44 | 23,64 |
| ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ | 42,3 | 26,07 | 40,58 | 30,72 | 39,05 | 28,22 | 52,86 | 31,58 | 34,2 | 28,96 | 35,29 | 24,94 |
| ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ | 43,27 | 26,08 | 42,98 | 32,53 | 40,32 | 28,25 | 55,15 | 32,95 | 35,2 | 28,99 | 37,52 | 26,52 |
| ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ | 32,96 | 21,97 | 55,56 | 42,06 | 26,48 | 23 | 77,36 | 46,21 | 26,24 | 23,28 | 45,42 | 32,10 |
| ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ | 30,65 | 21,81 | 52,44 | 39,69 | 26,24 | 21,87 | 75,10 | 44,86 | 25,81 | 22,37 | 42,23 | 29,84 |
| ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ | 27,93 | 21,64 | 48,56 | 36,76 | 26,07 | 20,98 | 71,29 | 42,59 | 25,48 | 21,39 | 38,61 | 27,29 |

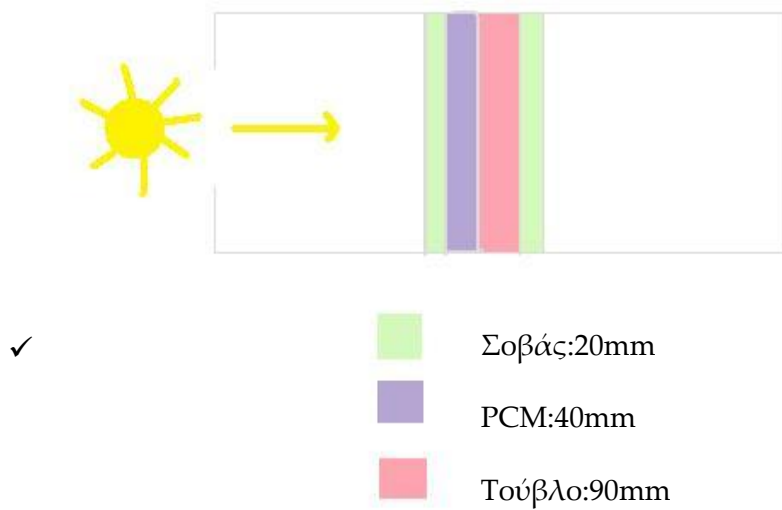
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Με σύγκριση του παραπάνω πίνακα, με τον Πίνακα 5.2.4.1.2, ο οποίος αναφέρεται στην περίπτωση τοίχου που δέχεται ηλιακή ακτινοβολία από υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού αλλά το 24ωρο, γίνεται εμφανές ότι στην περίπτωση του 48ωρου το PCM αποθηκεύει περισσότερη θερμότητα και κατά συνέπεια αυξάνεται ο βαθμός χρησιμοποίησης του. Στην περίπτωση του 48ωρου τα μέγιστα και τα ελάχιστα των θερμοκρασιών που αναπτύσσει το εκάστοτε PCM έχουν μειωθεί και αποθηκεύεται περισσότερη θερμότητα στο PCM. Σε κάθε ένα από τα εξεταζόμενα PCM στην περίπτωση του 48ωρου αυξήθηκε η θερμότητα που αποθηκεύεται σε αυτό την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους. Το RT27 στην περίπτωση του 24ωρου αποθήκευε περισσότερη ενέργεια σε σχέση με τα άλλα PCMs και είναι λογικό που αποθηκεύει περισσότερη ενέργεια στο 48ωρο.

5.3 Παραμετρικές μελέτες για συναλλαγή με 2 δωμάτια (1 υαλοπίνακας)

5.3.1 Περιγραφή εξεταζόμενης μελέτης

Τα εξεταζόμενα δωμάτια βρίσκονται στην περιοχή της Αθήνας, με κοινές διαστάσεις 4 m x 3 m x 3 m. Απέναντι από τον εσωτερικό τοίχο, υπάρχει ένας υαλοπίνακας διαστάσεων 1.5 m x 2m.



Παραδοχές:

- ✓ Η θερμοκρασία μέσα στα δωμάτια θεωρείται σταθερή και ομοιόμορφη.
- ✓ Η θερμοκρασία στο στρώμα PCM θεωρείται ομοιόμορφη

Ισολογισμός ενέργειας στο στρώμα PCM

Η μεταβολή της θερμοκρασίας του στρώματος του PCM με το χρόνο εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στον τοίχο κατά τη διάρκεια της ημέρας, τη συναλλαγή θερμότητας με συναγωγή με τον αέρα στο εσωτερικό των δωματίων, την συναλλαγή θερμότητας με αγωγή με τα στρώματα του σοβά και του τούβλου καθώς επίσης και από τη μάζα και τη θερμοχωρητικότητα του ίδιου του PCM.

Ο ισολογισμός ενέργειας στο στρώμα του PCM διαμορφώνεται όπως φαίνεται ακολούθως:

$$Q_{\text{απορροφούμενη}} = Q_{\text{ακτινοβολίας}} + Q_{\text{συναγωγής,αγωγής}} \quad (5.3.1.1)$$

- **Υπολογισμός απορροφημένης ενέργειας**

Πρόκειται για την θερμότητα που απορροφάται από το στρώμα PCM και υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Q_{\text{απορροφούμενη}} = M_{\text{PCM}} * c_{\text{peff}} * (T_{\text{PCM}} - T_{\text{PCM}}^0) \quad (5.3.1.2)$$

- T_{PCM}^0 : η θερμοκρασία του PCM την χρονική στιγμή t
- T_{PCM} : η θερμοκρασία του PCM την χρονική στιγμή t+Δt
- M_{PCM} : η μάζα του επιλεγμένου PCM
- c_{peff} : είναι η ενεργός θερμοχωρητικότητα του PCM ,η τιμή της οποίας εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία του PCM

Υπολογισμός της μάζας του PCM, M_{PCM}

Η μάζα του διατιθέμενου PCM, μπορεί να προσεγγισθεί με μεγάλη ακρίβεια από την ακόλουθη σχέση:

$$M_{\text{PCM}} = \rho_{\text{PCM}} * V_{\text{PCM}} \quad (5.3.1.3)$$

- ρ_{PCM} : η πυκνότητα του επιλεγμένου PCM

Στην συγκεκριμένη μελέτη θεωρείται σταθερή και ανεξάρτητη της θερμοκρασίας του PCM

- V_{PCM} : ο όγκος του PCM

$$V_{\text{PCM}} = (\text{πλάτος τοίχου}) \times (\text{ύψος τοίχου}) \times (\text{πάχος στρώματος PCM}) \quad (5.3.1.4)$$

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ**

Υπολογισμός ενεργού θερμοχωρητικότητας του PCM

Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί η τριγωνική συνάρτηση με αναλυτική έκφραση: [3]

$$C_{p,eff}(T) = \frac{4*(H-b*C_{ps})*(T-T_s)}{b^2} + C_{ps} , \text{ για } T_s \leq T \leq T_c \quad (5.3.1.5)$$

$$C_{p,eff}(T) = \frac{4*(b*C_{pl}-H)*(T-T_s-\frac{b}{2})}{b^2} + \frac{2*H}{b} - C_{pl} , \text{ για } T_c \leq T \leq T_l \quad (5.3.1.6)$$

- C_{pl} : θερμοχωρητικότητα του υγρού PCM
- C_{ps} : θερμοχωρητικότητα του στερεού PCM
- T_s : θερμοκρασία του στερεού PCM
- T_l : θερμοκρασία του υγρού PCM
- $b = (T_l - T_s)$: εύρος θερμοκρασιών
- $T_c = \frac{T_l+T_s}{2}$: το μέσον του εύρους θερμοκρασιών
- H : η θερμότητα αλλαγής φάσης

• Υπολογισμός ενέργειας που εισέρχεται λόγω συναγωγής και αγωγής

Είναι η θερμότητα που προσφέρεται από το υλικό αλλαγής φάσης στον εσωτερικό χώρο, στα στρώματα του σοβά και του τούβλου και δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Q_{\text{συναγωγής,αγωγής}} = 3600 * A_{\text{τοιχού}} * U_1 * (T_{in} - T_{PCM}^0) + 3600 * A_{\text{τοιχού}} * U_2 * (T_{in} - T_{PCM}^0) \quad (5.3.1.7)$$

- $U_1 = \left(\frac{1}{h_{in}} + \frac{l_{\Sigma}}{k_{\Sigma}} \right)^{-1}$
- $U_2 = \left(\frac{1}{h_{in}} + \frac{l_{\Sigma}}{k_{\Sigma}} + \frac{l_{\tau}}{k_{\tau}} \right)^{-1}$
- $h_{in} = 8 \text{ W/m}^2\text{°C}$
- $k_{\Sigma} = \frac{0.87 \text{ W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$
- $k_{\tau} = \frac{0.78 \text{ W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$
- $T_{in} = 20^{\circ}\text{C}$, για τους μήνες: Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο, Δεκέμβριο
- $T_{in} = 26^{\circ}\text{C}$, για τους μήνες: Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο
- $A_{\text{τοιχού}} = (\text{πλάτος τοίχου}) \times (\text{ύψος τοίχου})$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

• Υπολογισμός ενέργειας που εισέρχεται λόγω ακτινοβολίας

Είναι η θερμότητα που προσπίπτει στο στρώμα του τοίχου από την ηλιακή ακτινοβολία και δίνεται από την παρακάτω σχέση

$$Q_{\text{ακτινοβολίας}} = 3600 \cdot 0.9 \cdot G_T \cdot A_{\text{υαλοπίνακα}} \quad (5.3.1.8)$$

- $A_{\text{υαλοπίνακα}} = (\text{πλάτος υαλοπίνακα}) \times (\text{ύψος υαλοπίνακα})$
- G_T : η προσπίπτουσα στον τοίχο ηλιακή ακτινοβολία (ενότητα 5.1)

Λαμβάνοντας υπόψη ότι ένα ποσοστό της ακτινοβολίας που προσπίπτει στον υαλοπίνακα ,απορροφάται από αυτόν καθώς επίσης και από τον αέρα του εσωτερικού περιβάλλοντος τελικά καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι στον τοίχο μελέτης προσπίπτει το 90% της αρχικής υπολογισθείσας ακτινοβολίας. Άρα θα πάρουμε ένα ποσοστό 90% της ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου για τους υπολογισμούς μας.

Ισολογισμός ενέργειας στο στρώμα μπετόν

Η μεταβολή της θερμοκρασίας του στρώματος του μπετόν με το χρόνο εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στον τοίχο κατά τη διάρκεια της ημέρας, τη συναλλαγή θερμότητας με συναγωγή με τον αέρα στο εσωτερικό του δωματίου, την συναλλαγή θερμότητας με αγωγή με τα στρώματα του σοβά και του τούβλου καθώς επίσης και από τη μάζα και τη θερμοχωρητικότητα του ίδιου του μπετόν.

Ο ισολογισμός ενέργειας στο στρώμα του μπετόν διαμορφώνεται όπως φαίνεται ακολούθως:

$$Q_{\text{απορροφούμενη}} = Q_{\text{ακτινοβολίας}} + Q_{\text{συναγωγής,αγωγής}} \quad (5.3.1.9)$$

• Υπολογισμός απορροφημένης ενέργειας

Πρόκειται για την θερμότητα που απορροφάται από το στρώμα μπετόν και υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Q_{\text{απορροφούμενη}} = M_{\text{μπετόν}} \cdot c_{p\text{μπετόν}} \cdot (T_{\text{μπετόν}} - T_{\text{μπετόν}}^0) \quad (5.3.1.10)$$

- $T_{\text{μπετόν}}^0$: η θερμοκρασία του μπετόν την χρονική στιγμή t
- $T_{\text{μπετόν}}$: η θερμοκρασία του μπετόν την χρονική στιγμή t+Δt
- $M_{\text{μπετόν}}$: η μάζα του επιλεγμένου PCM
- $c_{p\text{μπετόν}}$: είναι η ενεργός θερμοχωρητικότητα του μπετόν

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Υπολογισμός της μάζας του μπετόν, $M_{\mu\beta\epsilon\tau\acute{o}\nu}$

Η μάζα του διατιθέμενου μπετόν, μπορεί να προσεγγισθεί με μεγάλη ακρίβεια από την ακόλουθη σχέση:

$$M_{\mu\beta\epsilon\tau\acute{o}\nu} = \rho_{\mu\beta\epsilon\tau\acute{o}\nu} * V_{\mu\beta\epsilon\tau\acute{o}\nu} \quad (5.3.1.11)$$

- $\rho_{\mu\beta\epsilon\tau\acute{o}\nu}$: η πυκνότητα του επιλεγμένου μπετόν
- $V_{\mu\beta\epsilon\tau\acute{o}\nu}$: ο όγκος του μπετόν

$$V_{\mu\beta\epsilon\tau\acute{o}\nu} = (\text{πλάτος τοίχου}) \times (\text{ύψος τοίχου}) \times (\text{πάχος στρώματος μπετόν}) \quad (5.3.1.12)$$

• Υπολογισμός ενέργειας που εισέρχεται λόγω συναγωγής και αγωγής

Είναι η θερμότητα που προσφέρεται από το μπετόν στον εσωτερικό χώρο, στα στρώματα του σοβά και τούβλου και δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Q_{\text{συναγωγής}} = 3600 * A_{\text{τοίχου}} * U_1 * (T_{\text{in}} - T_{\mu\beta\epsilon\tau\acute{o}\nu}^0) + 3600 * A_{\text{τοίχου}} * U_2 * (T_{\text{in}} - T_{\mu\beta\epsilon\tau\acute{o}\nu}^0) \quad (5.3.1.13)$$

- $U_1 = \left(\frac{1}{h_{\text{in}}} + \frac{l_{\Sigma}}{k_{\Sigma}} \right)^{-1}$
- $U_2 = \left(\frac{1}{h_{\text{in}}} + \frac{l_{\Sigma}}{k_{\Sigma}} + \frac{l_{\tau}}{k_{\tau}} \right)^{-1}$
- $h_{\text{in}} = 8 \text{ W/m}^2\text{C}$
- $k_{\Sigma} = \frac{0.87 \text{ W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$
- $k_{\tau} = \frac{0.78 \text{ W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$
- $T_{\text{in}} = 20^{\circ}\text{C}$, για τους μήνες: Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο, Δεκέμβριο
- $T_{\text{in}} = 26^{\circ}\text{C}$, για τους μήνες: Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο
- $A_{\text{τοίχου}} = (\text{πλάτος τοίχου}) \times (\text{ύψος τοίχου})$

• Υπολογισμός ενέργειας που εισέρχεται λόγω ακτινοβολίας

Υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση (5.3.1.8).

5.3.2 Παραμετρική μελέτη ως προς το πάχος του στρώματος PCM

Στην παρούσα μελέτη γίνεται επιλογή ενός εμπορικού PCM, συγκεκριμένα του RT20, της εταιρείας Rubitherm. Επιλέγεται το ίδιο εμπορικό PCM με την αντίστοιχη παραμετρική μελέτη 5.2.1, που αφορούσε μονωμένο τοίχο, προκειμένου να μπορεί να γίνει σύγκριση των θερμοκρασιών που αναπτύσσει το PCM, σε μια πραγματική μελέτη, στην οποία συναλλάσει θερμότητα με το διπλανό δωμάτιο, με την ιδανική περίπτωση όπου δεν συναλλάσσεται θερμότητα με το διπλανό δωμάτιο. Στην ενότητα 5.3.1, είχε επιλεγεί στρώμα PCM πάχους 40 mm. Προκειμένου να εξεταστεί πώς επιδρά η μεταβολή του πάχους του στρώματος, δηλαδή η μεταβολή της μάζας του PCM στις θερμοκρασίες που αναπτύσσει και κατά συνέπεια στην απόδοση του, πραγματοποιείται αρχικά μια αύξηση των 20 mm, από το επιλεγμένο πάχος, και έπειτα μια μείωση των 20 mm από το επιλεγμένο πάχος του στρώματος. Εξετάζονται οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους, προκειμένου να αναδειχθούν τα πιθανά οφέλη του PCM σε σχέση με το σύνηθες δομικό υλικό, το μπετόν. Παρουσιάζεται επιπλέον, η θερμότητα που αποθηκεύεται σε αυτό και ο βαθμός χρησιμοποίησης του PCM με βάση την καμπύλη της ενεργού θερμοχωρητικότητας, για κάθε ένα από τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος PCM.

Εξετάζονται τρεις περιπτώσεις τοίχου. Στην πρώτη περίπτωση ο τοίχος δέχεται ακτινοβολία από υαλοπίνακα που είναι τοποθετημένος σε νότιο προσανατολισμό και το PCM συναλλάσει θερμότητα με το βορινό δωμάτιο και στην συνέχεια εξετάζονται οι περιπτώσεις στις οποίες ο υαλοπίνακας είναι τοποθετημένος σε ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό και το PCM συναλλάσει θερμότητα με το δυτικό και ανατολικό δωμάτιο αντίστοιχα.

Και για τις τρεις περιπτώσεις, η εξέταση θα πραγματοποιηθεί για την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους, με σκοπό να ερευνηθεί αν το επιλεγμένο PCM μπορεί να είναι αποδοτικό την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους και να μπορεί να γίνει σύγκριση με τις αντίστοιχες περιπτώσεις που αφορούσαν τον μονωμένο τοίχο.

5.3.2.1 Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού

A. Υπολογισμός προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για την 21^η ημέρα κάθε μήνα καθώς επίσης και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της έχουν παρουσιαστεί στην ενότητα 5.1. Στην παρούσα παραμετρική μελέτη λαμβάνονται υπόψη οι τιμές της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου που έχουν υπολογιστεί για νότιο προσανατολισμό.

B. Επιλογή PCM

Ως PCM στην εξεταζόμενη μελέτη επιλέγεται το RT20, όπως και στην περίπτωση του μονωμένου τοίχου. Τα χαρακτηριστικά του έχουν παρουσιαστεί στον πίνακα 5.2.2.1.1. Στον ίδιο πίνακα έχουν παρουσιαστεί και τα χαρακτηριστικά του μπετόν.

C. Προσομοίωση της αλλαγής φάσης

Για την προσομοίωση της αλλαγής φάσης, επιλέγεται η τριγωνική μορφή της μεθόδου της ενεργού θερμοχωρητικότητας, η οποία έχει περιγραφεί στην ενότητα 5.2.1 και η μορφή της καμπύλης έχει απεικονιστεί στο Διάγραμμα 5.2.2.1.1.

D. Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν

Λαμβάνοντας υπόψη τις σχέσεις που αφορούν τον ισολογισμό ενέργειας του PCM (5.3.1.1) και του μπετόν (5.3.1.9), υπολογίζονται οι θερμοκρασίες που αναπτύσσουν τα δυο υλικά κατά την διάρκεια του 24ωρου την 21^η ημέρα κ μήνα του έτους. (5.3.2.1.1)

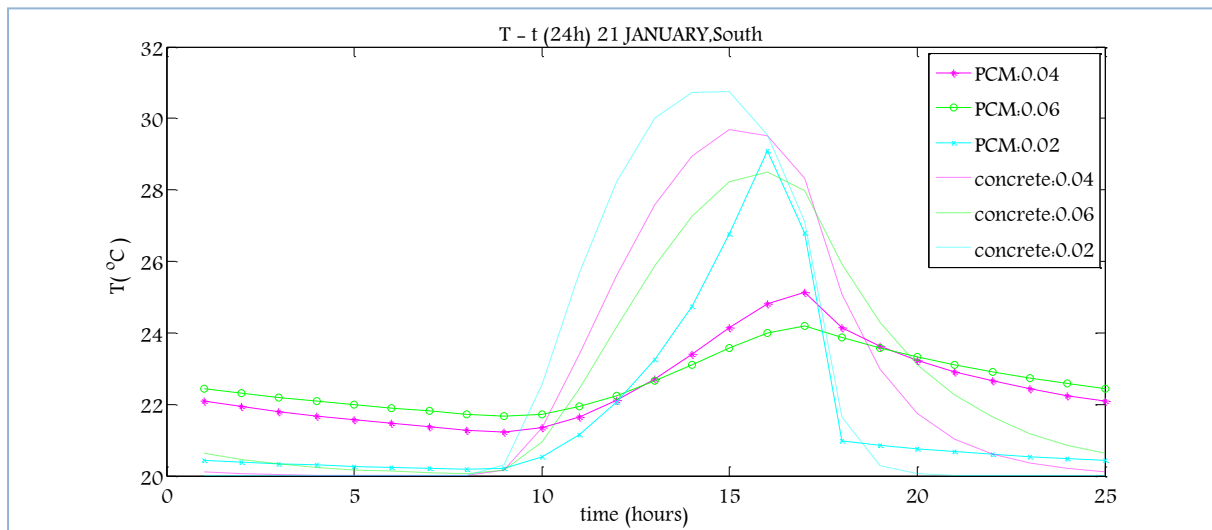
$$T_{PCM} = T_{PCM}^0 + \frac{3600 \cdot 0,9 \cdot G_T \cdot A_{υαλοπίνακα} + 3600 \cdot A_{τοίχου} \cdot U_1 \cdot (T_{in} - T_{PCM}^0) + 3600 \cdot U_2 \cdot (T_{in} - T_{PCM}^0)}{M_{PCM} \cdot c_{p,eff}(T)}$$

$$T_{μπετόν} = T_{μπετόν}^0 + \frac{3600 \cdot 0,9 \cdot G_T \cdot A_{υαλοπίνακα} + 3600 \cdot A_{τοίχου} \cdot U_{τοίχου} \cdot (T_{in} - T_{μπετόν}^0) + 3600 \cdot U_2 \cdot (T_{in} - T_{μπετόν}^0)}{M_{μπετόν} \cdot c_{p,μπετόν}} \quad (5.3.2.1.2)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

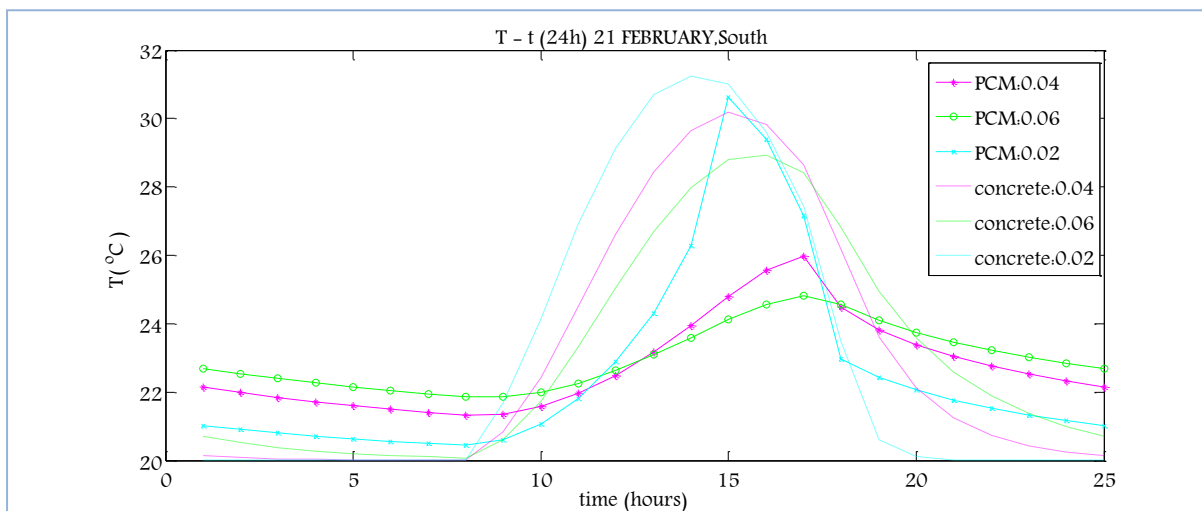
Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο μπετόν, την 21^η μέρα κάθε μήνα υπολογίζονται από τις σχέσεις (5.3.2.1.1) και (5.3.2.1.2) αντίστοιχα. Για την εύρεση της κατανομής της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο μπετόν ακολουθείται η επαναληπτική διαδικασία η οποία παρουσιάστηκε στην ενότητα (5.2.2.1-D Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν)

Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM συναρτήσει της ώρας για όλο το 24ωρο την 21^η μέρα κάθε μήνα για όλα τα πάχη στρώματος PCM που επιλέχθηκαν καθώς επίσης και οι αντίστοιχες μεταβολές της θερμοκρασίας του μπετόν. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στα διαγράμματα έχουν δοθεί οι τιμές των εξεταζόμενων παχών σε m.

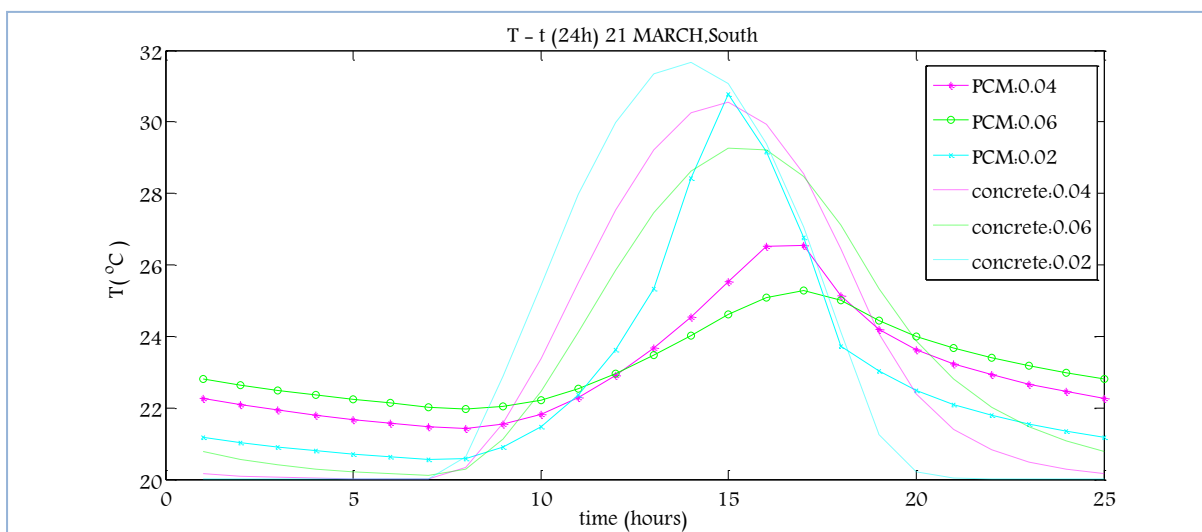


Διάγραμμα 5.3.2.1.1: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιανουαρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

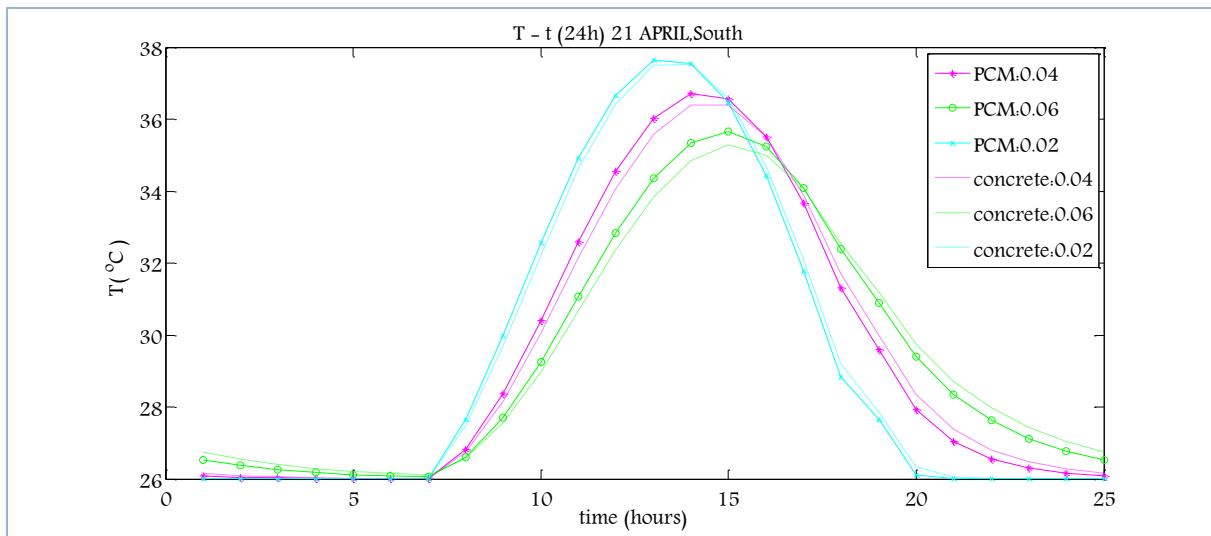


Διάγραμμα 5.3.2.1.2: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Φεβρουαρίου για ένα 24ωρο

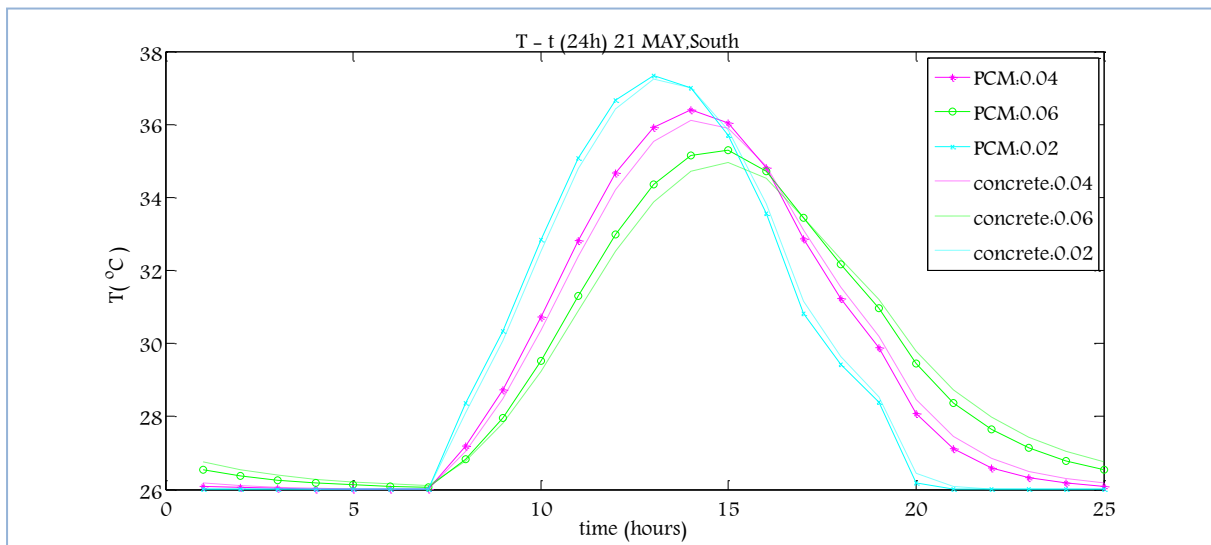


Διάγραμμα 5.3.2.1.3: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαρτίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

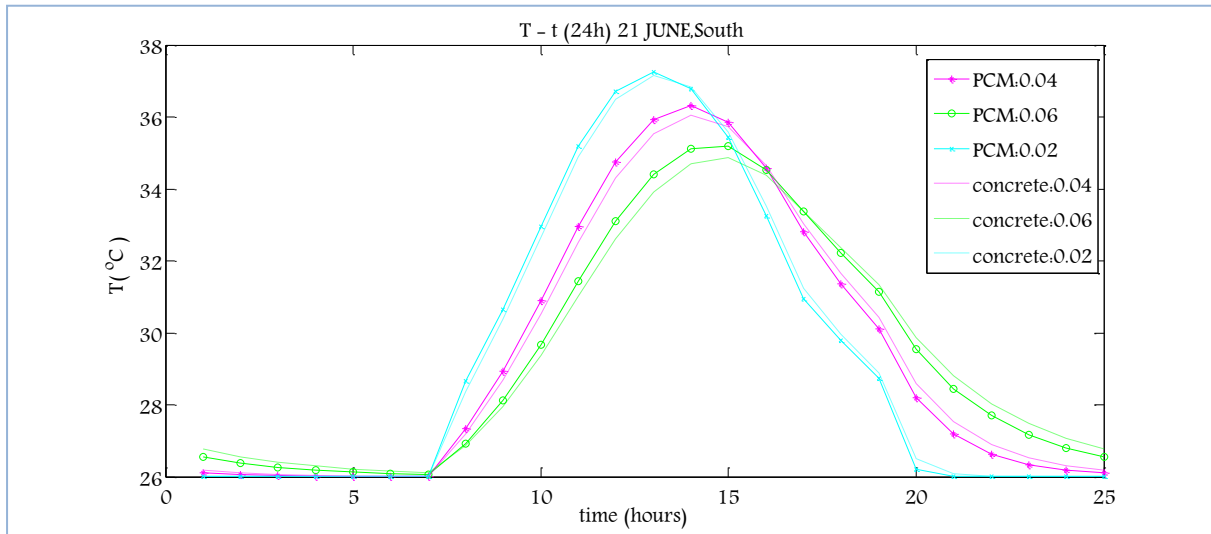


Διάγραμμα 5.3.2.1.4: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαρτίου για ένα 24ωρο

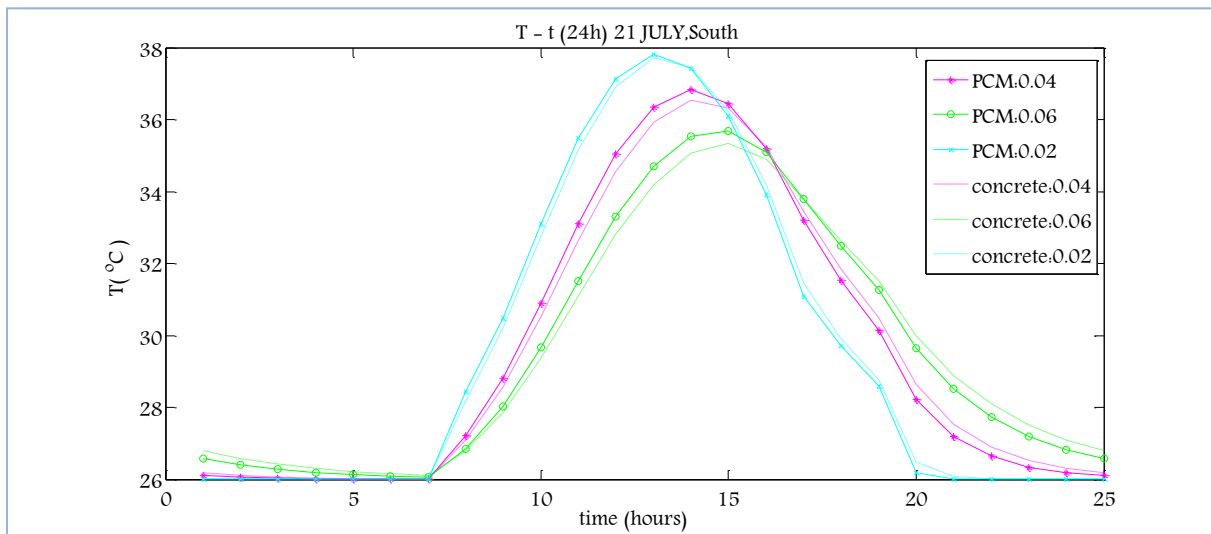


Διάγραμμα 5.3.2.1.5: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαΐου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

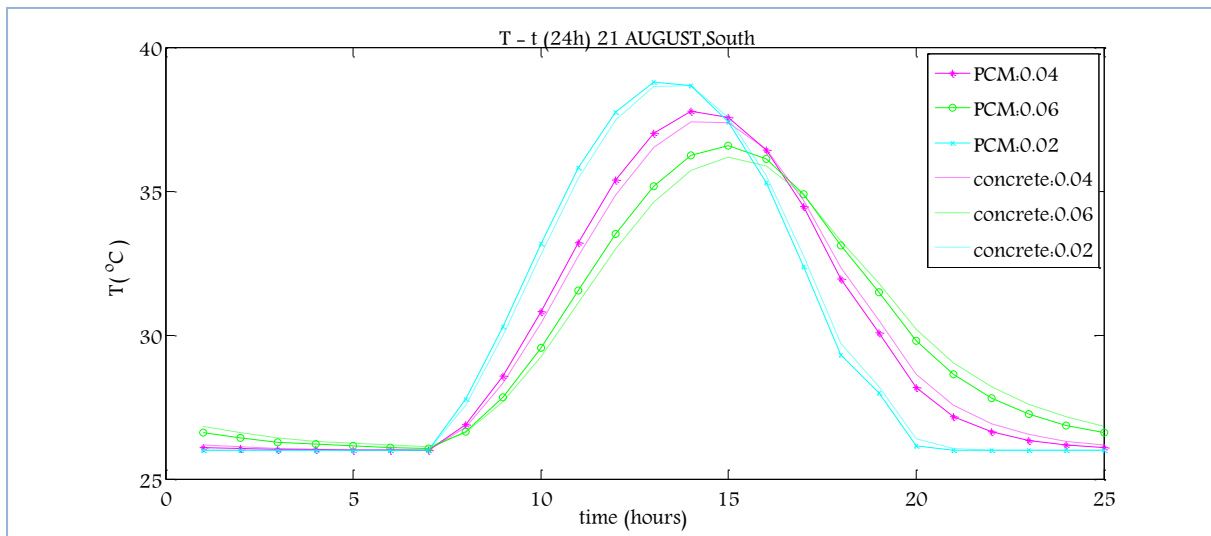


Διάγραμμα 5.3.2.1.6: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουνίου για ένα 24ωρο

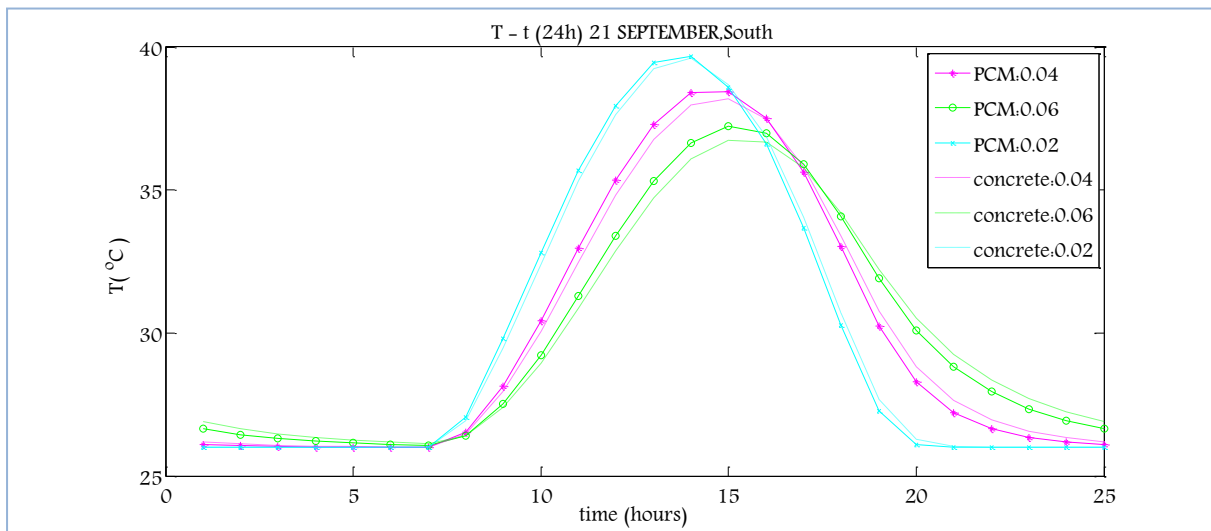


Διάγραμμα 5.3.2.1.7: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουλίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

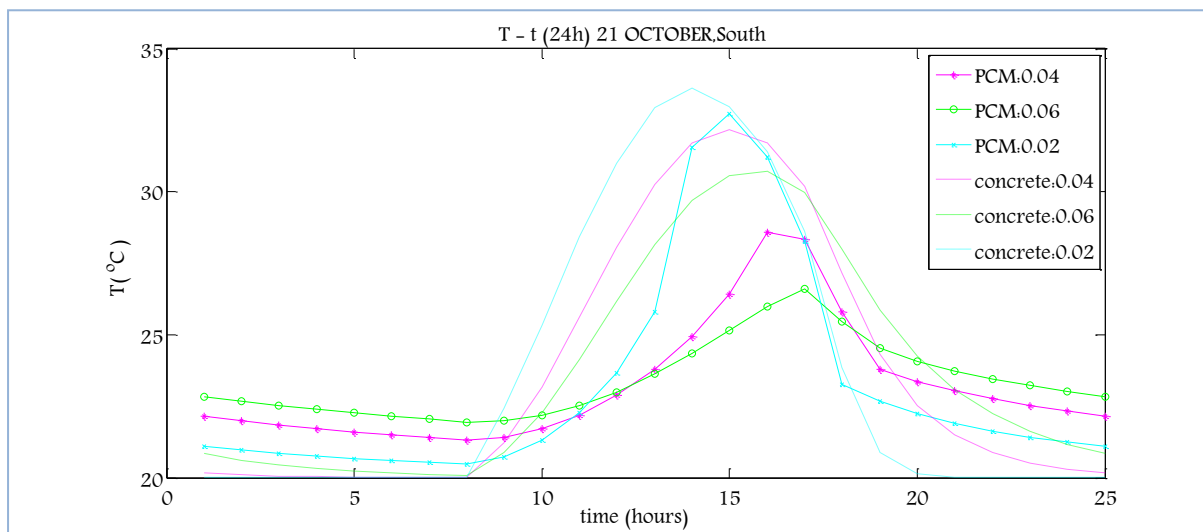


Διάγραμμα 5.3.2.1.8: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Αυγούστου για ένα 24ωρο

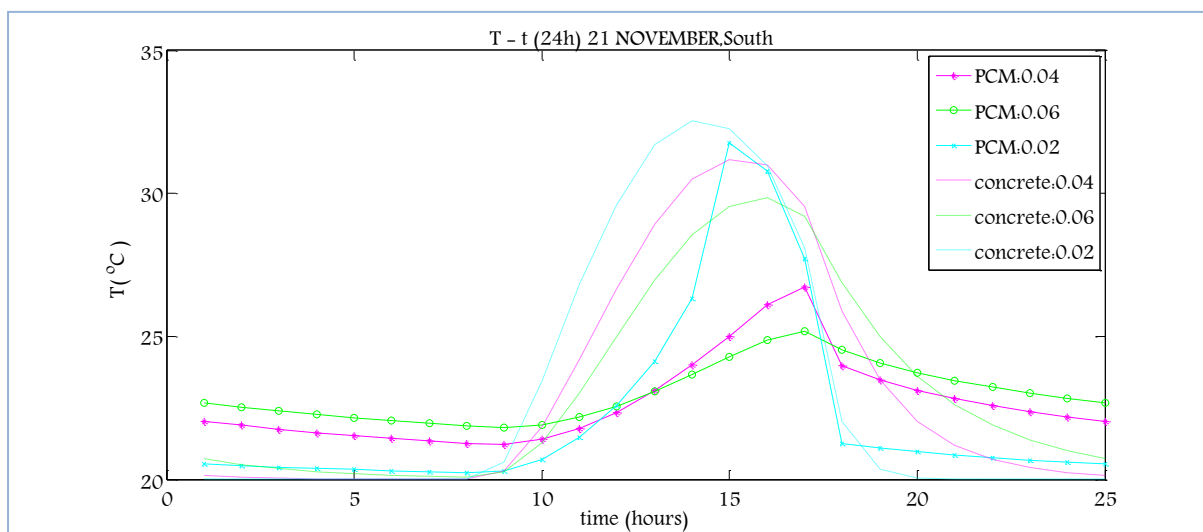


Διάγραμμα 5.3.2.1.9: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Σεπτεμβρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

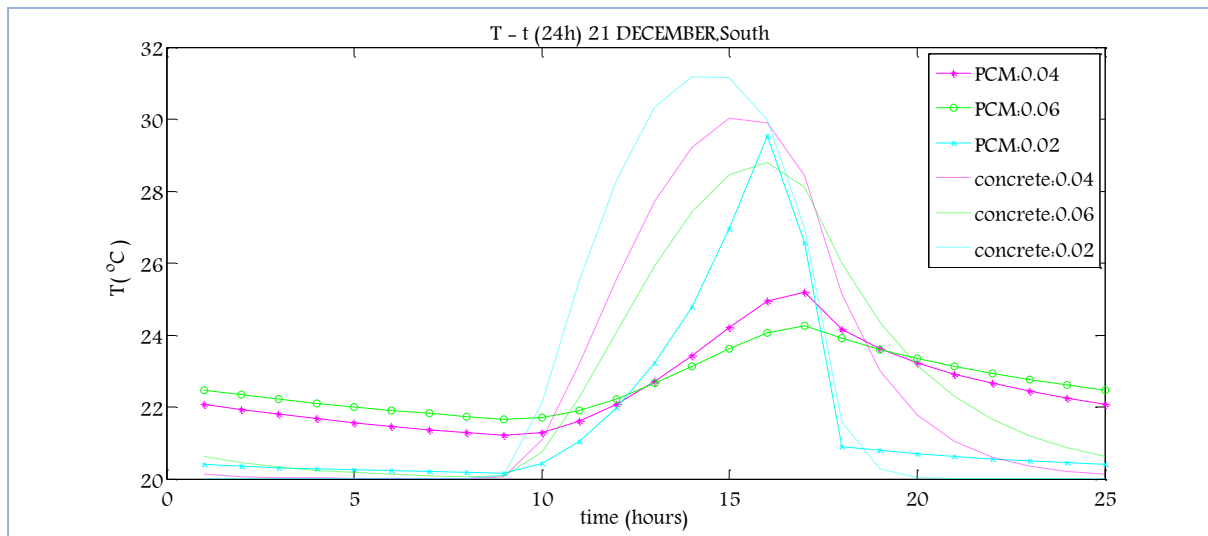


Διάγραμμα 5.3.2.1.10: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Οκτωβρίου για ένα 24ωρο



Διάγραμμα 5.3.2.1.11: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Νοεμβρίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)



Διάγραμμα 5.3.2.1.12: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Δεκεμβρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Με βάση τις παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στην υποενότητα (5.2.2.1-D υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν), οι οποίες αφορούσαν στις διαφορές που πρέπει να υπάρχουν στην κατανομή της θερμοκρασίας μεταξύ PCM και αντίστοιχου στρώματος μπετόν και τα διαγράμματα μεταβολής της θερμοκρασίας (5.3.2.1.1 έως 5.3.2.1.12) θα γίνει ο έλεγχος της απόδοσης του PCM.

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο, το PCM χρησιμοποιεί μέρος της θερμότητας που παίρνει για να αλλάξει φάση. Εμφανίζει χαμηλότερες μέγιστες θερμοκρασίες κατά την διάρκεια της ημέρας και υψηλότερες ελάχιστες, την νύχτα δηλαδή εξαντλείται περισσότερο το μπετόν, αφού έχει αποθηκεύσει λιγότερη θερμότητα κατά την διάρκεια της ημέρας, κατά την διάρκεια της νύχτας, δεν συμβαίνει το ίδιο όμως τους υπόλοιπους μήνες δηλαδή τους μήνες από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο, στους οποίους ανεβάζει μεγαλύτερη θερμοκρασία από το αντίστοιχο στρώμα μπετόν και χαμηλότερες ελάχιστες.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Αυτό συμβαίνει διότι το εκάστοτε στρώμα PCM τους μήνες από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο αναπτύσσει θερμοκρασίες υψηλότερες από τους 26°C, που είναι η θερμοκρασία που το PCM βρίσκεται στην υγρή φάση, δεν αλλάζει δηλαδή φάση αλλά συμπεριφέρεται ως σύνηθες δομικό υλικό και δεν ισχύει η αναφερθείσα σύγκριση με το μπετόν. Όσον αφορά τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο, το PCM αλλάζει φάση και αναπτύσσει θερμοκρασίες υψηλότερες της $T_c = 20,5^\circ\text{C}$ που είναι το μέσο του εύρους θερμοκρασιών υγρής και στερεάς φάσης.

Επιπλέον, παρατηρείται ότι στην περίπτωση που το PCM συναλλάσσει θερμότητα με δυο δωμάτια, σε μια πραγματική περίπτωση εσωτερικού τοίχου δηλαδή, το PCM αναπτύσσει χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με την περίπτωση του μονωμένου τοίχου. Αυτό είναι λογικό αν σκεφτούμε ότι στο στρώμα του τοίχου είναι τοποθετημένο στρώμα τούβλου το οποίο απορροφά μέρος της θερμότητας που λαμβάνει το PCM κατά την διάρκεια της ημέρας.

Όσον αφορά την επίδραση του πάχους στις θερμοκρασίες που αναπτύσσει ισχύουν οι ίδιες παρατηρήσεις με την περίπτωση του μονωμένου τοίχου, μόνο που στην περίπτωση της συναλλαγής θερμότητας με δυο δωμάτια οι διαφορές δεν είναι τόσο έντονες στις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται μεταξύ των διαφορετικών παχών.

Ε. ΒΑΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΙ ΣΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ

Προκειμένου να έχουμε ένα ποσοτικό έλεγχο της απόδοσης του PCM για την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους, για όλα τα εξεταζόμενα πάχη, κρίθηκε αναγκαίος ο υπολογισμός του βαθμού χρησιμοποίησης του PCM. Ο βαθμός χρησιμοποίησης υπολογίζεται από την σχέση (5.2.2.1.3) και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζεται και η θερμότητα που αποθηκεύει κάθε ένα από τα εξεταζόμενα πάχη PCM την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ
(PCMs)**

Πίνακας 5.3.2.1.1: Η θερμότητα που αποθηκεύει το εκάστοτε στρώμα πάχους PCM και ο βαθμός χρησιμοποίησης του

| 21 ^η ημέρα μήνα | Πάχος PCM:0.04 | | | | Πάχος PCM:0.06 | | | | Πάχος PCM:0.02 | | | |
|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------|
| | T _{PCM,max} (°C) | T _{PCM,min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% | T _{PCM,max} (°C) | T _{PCM,min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% | T _{PCM,max} (°C) | T _{PCM,min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% |
| ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ | 25,12 | 21,23 | 47,73 | 36,13 | 24,2 | 21,67 | 33,17 | 25,11 | 29,09 | 20,19 | 80,37 | 60,84 |
| ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ | 25,98 | 21,32 | 49,56 | 37,52 | 24,81 | 21,86 | 34,54 | 26,15 | 30,63 | 20,45 | 79,90 | 60,48 |
| ΜΑΡΤΙΟΣ | 26,55 | 21,42 | 49,08 | 37,15 | 25,28 | 21,97 | 35,47 | 26,85 | 30,78 | 20,57 | 76,54 | 57,94 |
| ΑΠΡΙΛΙΟΣ | 36,72 | 26 | 26,80 | 20,29 | 36,66 | 26,06 | 26,50 | 20,06 | 37,65 | 26 | 29,13 | 22,05 |
| ΜΑΪΟΣ | 36,41 | 26 | 26,03 | 19,70 | 35,3 | 26,06 | 23,10 | 17,49 | 37,35 | 26 | 28,38 | 21,48 |
| ΙΟΥΝΙΟΣ | 36,31 | 26 | 25,78 | 19,51 | 35,18 | 26,06 | 22,80 | 17,26 | 37,26 | 26 | 28,15 | 21,31 |
| ΙΟΥΛΙΟΣ | 36,84 | 26 | 27,10 | 20,51 | 35,68 | 26,06 | 24,05 | 18,21 | 37,82 | 26 | 29,55 | 22,37 |
| ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ | 37,78 | 26 | 29,45 | 22,29 | 36,58 | 26,07 | 26,28 | 19,89 | 38,8 | 26 | 32,00 | 24,22 |
| ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ | 38,45 | 26 | 31,13 | 23,56 | 37,23 | 21,07 | 40,40 | 30,58 | 39,67 | 26 | 34,18 | 25,87 |
| ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ | 28,58 | 21,32 | 56,06 | 42,44 | 26,61 | 21,25 | 46,67 | 35,33 | 32,74 | 20,47 | 84,62 | 64,06 |
| ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ | 26,74 | 21,22 | 53,28 | 40,34 | 26,19 | 21,81 | 41,35 | 31,30 | 31,76 | 20,24 | 85,99 | 65,09 |
| ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ | 25,2 | 21,21 | 48,54 | 36,74 | 24,26 | 21,66 | 33,81 | 25,60 | 29,53 | 20,17 | 81,85 | 61,96 |

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε από τον παραπάνω πίνακα τους χειμερινούς μήνες το PCM αποθηκεύει περισσότερη θερμότητα και συνεπώς εμφανίζει υψηλότερες τιμές όσον αφορά τον βαθμό χρησιμοποίησης του. Αυτό είναι λογικό καθώς τους μήνες Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο το PCM βρίσκεται στην υγρή φάση, το εμβαδόν δηλαδή κάτω από την καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας είναι μικρότερο από το εμβαδόν των υπόλοιπων μηνών στους οποίους εισέρχεται στην διφασική περιοχή. Από τον παραπάνω πίνακα επιβεβαιώνεται επίσης, ότι μειωμένου του πάχους του στρώματος PCM αυξάνεται η θερμότητα που αποθηκεύεται σε αυτό και κατά συνέπεια ο βαθμός χρησιμοποίησης του. Με σύγκριση του παραπάνω πίνακα με τον Πίνακα 5.2.2.1.2 προκύπτει ότι στην εξεταζόμενη μελέτη το PCM αποθηκεύει περισσότερη θερμότητα τον χειμώνα. Αυτό οφείλεται στο ότι έχουν μειωθεί οι μέγιστες και οι ελάχιστες θερμοκρασίες που αναπτύσσει, καταλαμβάνει δηλαδή μεγαλύτερο εμβαδόν στην διφασική περιοχή της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας. Αντιθέτως, το καλοκαίρι η θερμότητα που αποθηκεύει είναι μικρότερη σε σχέση με την περίπτωση του μονωμένου τοίχου. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως το καλοκαίρι το PCM δεν εισέρχεται στην διφασική περιοχή, στην περίπτωση του μονωμένου τοίχου η θερμότητα που αποθηκεύεται προκύπτει μεγαλύτερη, καθώς αναπτύσσει μεγαλύτερες μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες.

5.3.2.2 Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα ανατολικού προσανατολισμού

A. Υπολογισμός προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για την 21^η ημέρα κάθε μήνα καθώς επίσης και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της έχουν παρουσιαστεί στην ενότητα 5.1 . Στην παρούσα παραμετρική μελέτη λαμβάνονται υπόψη οι τιμές της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου που έχουν υπολογιστεί για ανατολικό προσανατολισμό.

B. Επιλογή PCM

Ως PCM στην εξεταζόμενη μελέτη επιλέγηκε το RT20, όπως και στην περίπτωση του μονωμένου τοίχου. Τα χαρακτηριστικά του έχουν παρουσιαστεί στον πίνακα 5.2.2.1.1. Στον ίδιο πίνακα έχουν παρουσιαστεί και τα χαρακτηριστικά του μπετόν.

C. Προσομοίωση της αλλαγής φάσης

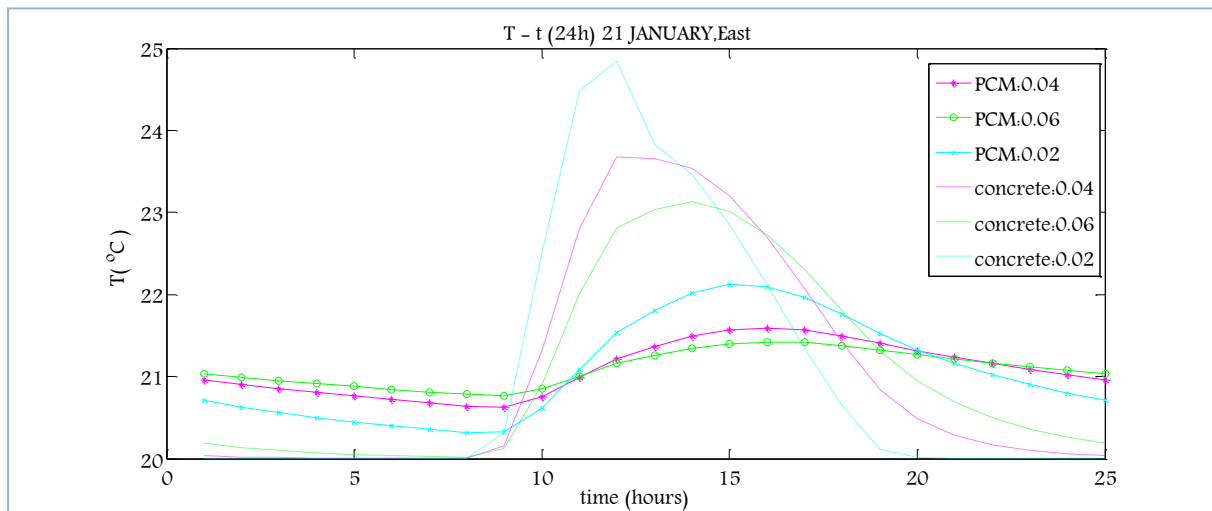
Για την προσομοίωση της αλλαγής φάσης, επιλέγεται η τριγωνική μορφή της μεθόδου της ενεργούς θερμοχωρητικότητας, η οποία έχει περιγραφεί στην ενότητα 5.2.1 και η μορφή της καμπύλης έχει απεικονιστεί στο Διάγραμμα 5.2.2.1.1.

D. Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν

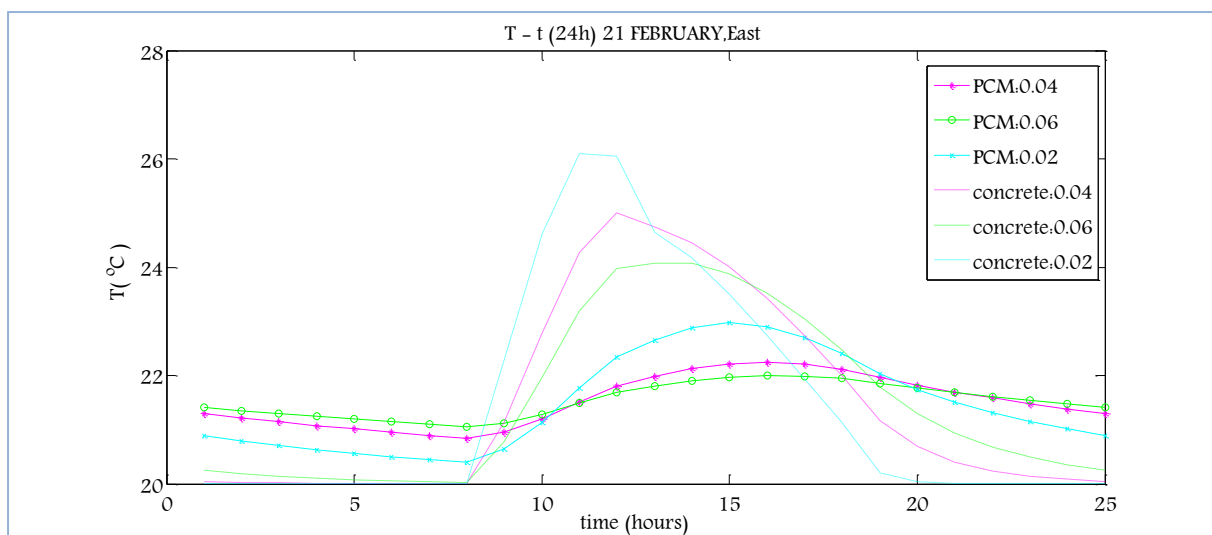
Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο μπετόν, την 21^η μέρα κάθε μήνα υπολογίζονται από τις σχέσεις (5.3.2.1.1) και (5.3.2.1.2) αντίστοιχα. Για την εύρεση της κατανομής της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο μπετόν ακολουθείται η επαναληπτική διαδικασία η οποία παρουσιάστηκε στην ενότητα (5.2.2.1-D Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM συναρτήσει της ώρας για όλο το 24ωρο την 21^η μέρα κάθε μήνα για όλα τα πάχη στρώματος PCM που επιλέχθηκαν καθώς επίσης και οι αντίστοιχες μεταβολές της θερμοκρασίας του μπετόν. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στα διαγράμματα έχουν δοθεί οι τιμές των εξεταζόμενων παχών σε m.

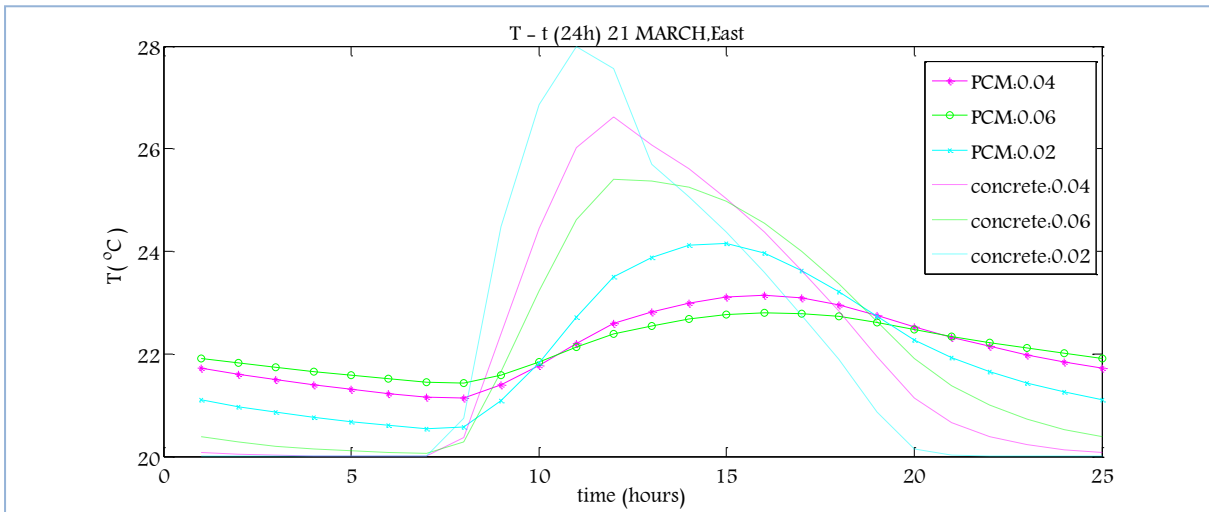


Διάγραμμα 5.3.2.2.1: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιανουαρίου για ένα 24ωρο

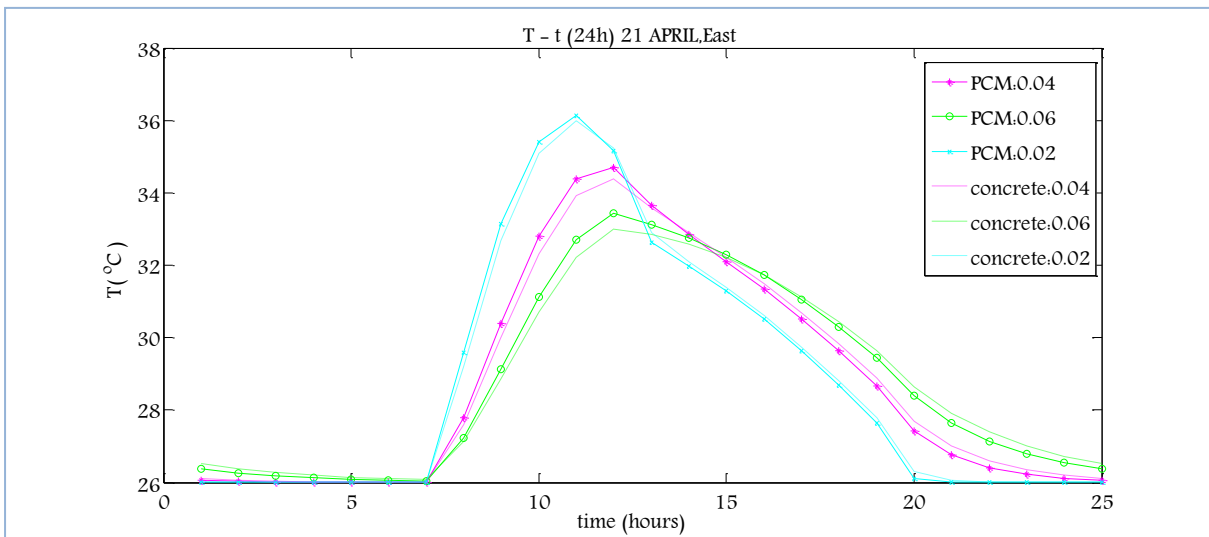


Διάγραμμα 5.3.2.2.2: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Φεβρουαρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

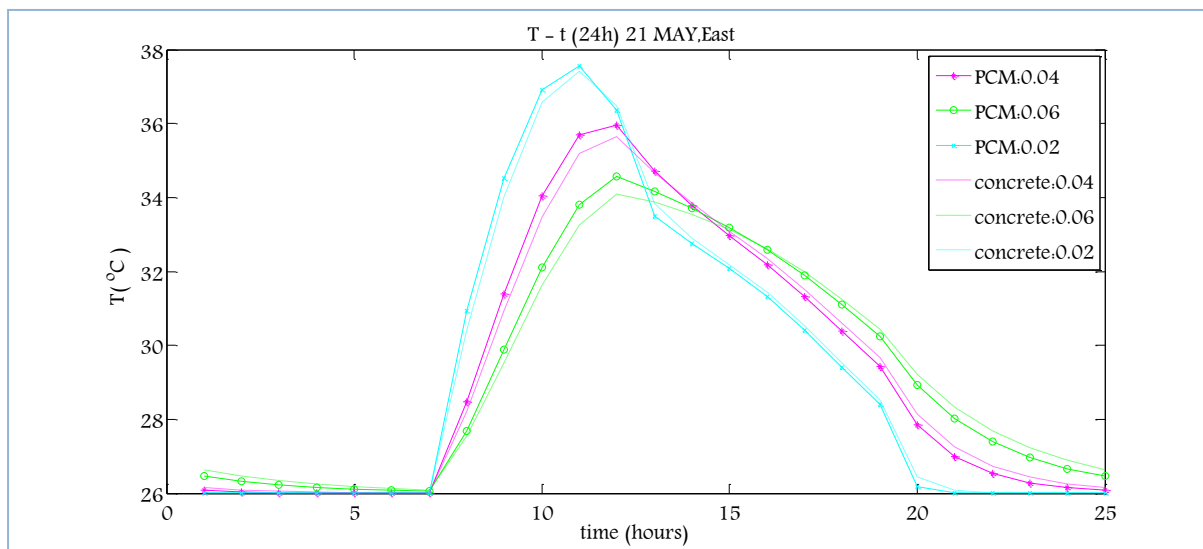


Διάγραμμα 5.3.2.2.3: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαρτίου για ένα 24ωρο

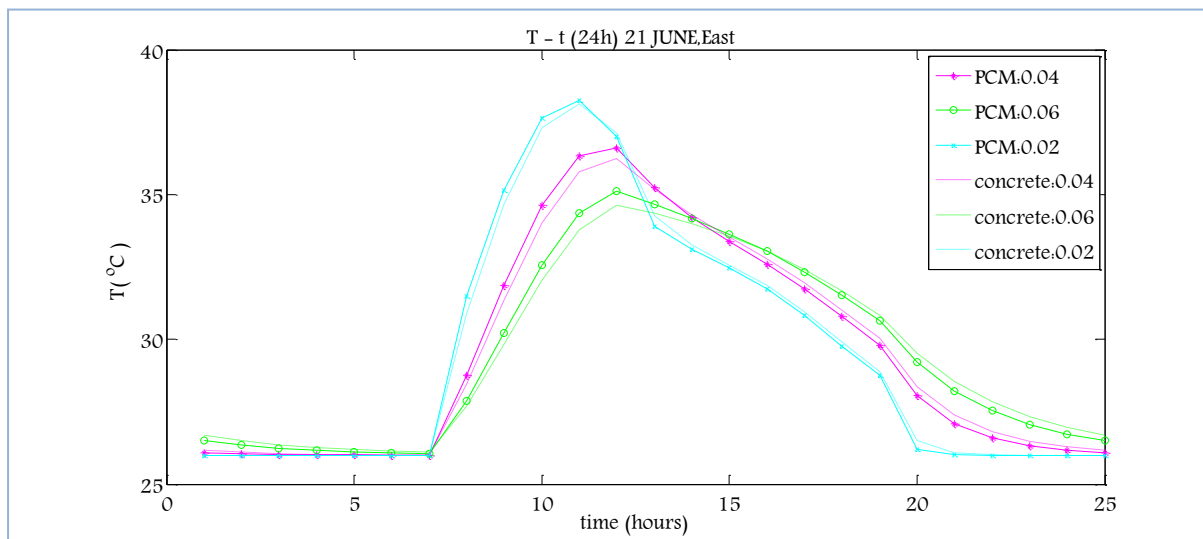


Διάγραμμα 5.3.2.2.4: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Απριλίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

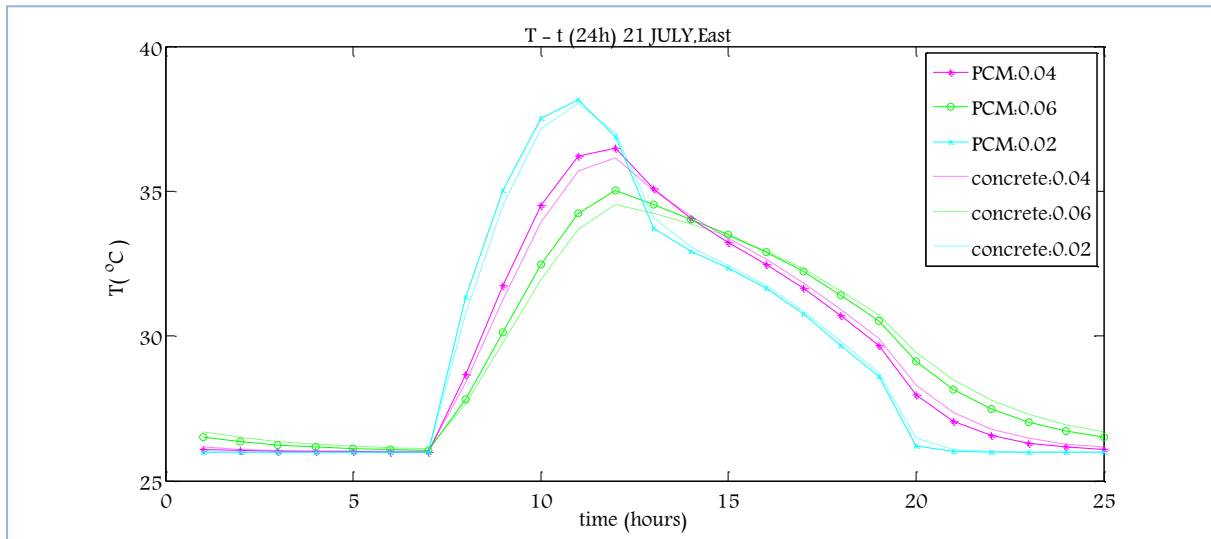


Διάγραμμα 5.3.2.2.5: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαΐου για ένα 24ωρο

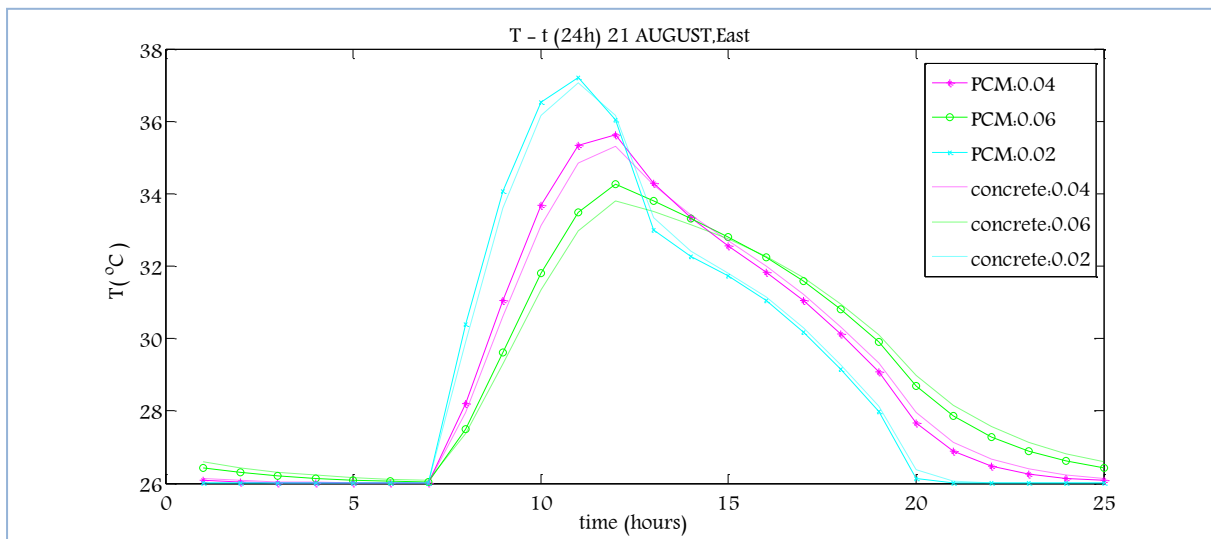


Διάγραμμα 5.3.2.2.6: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουνίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

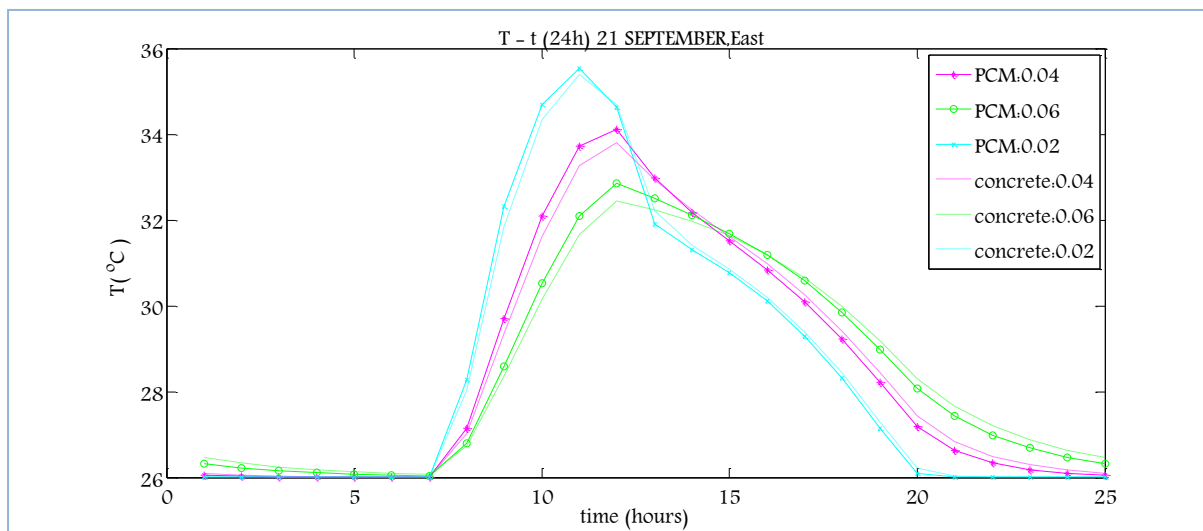


Διάγραμμα 5.3.2.2.7: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουλίου για ένα 24ωρο

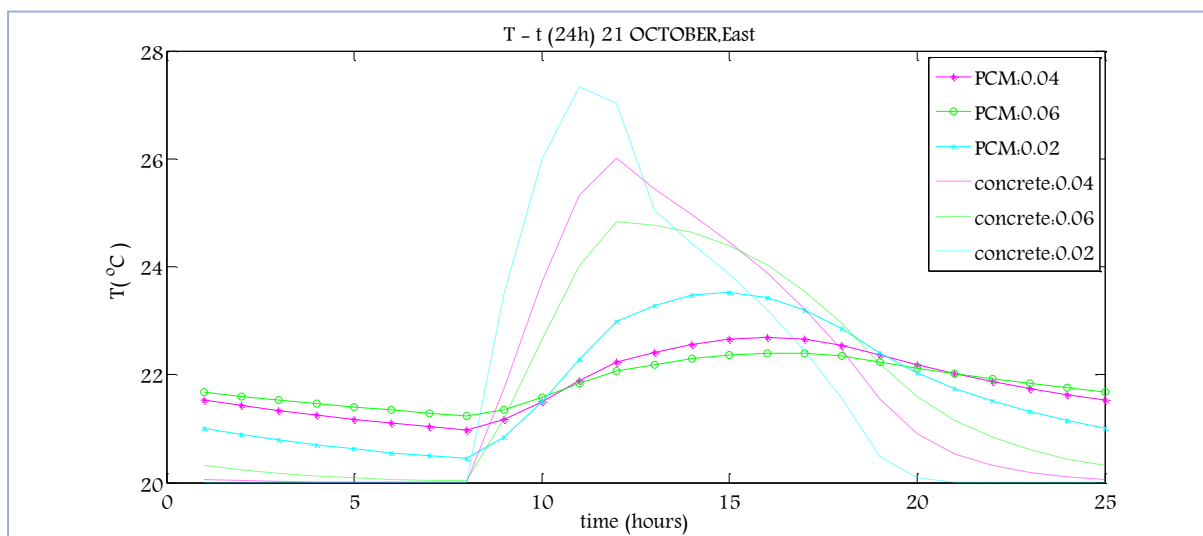


Διάγραμμα 5.3.2.2.8: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Αυγούστου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

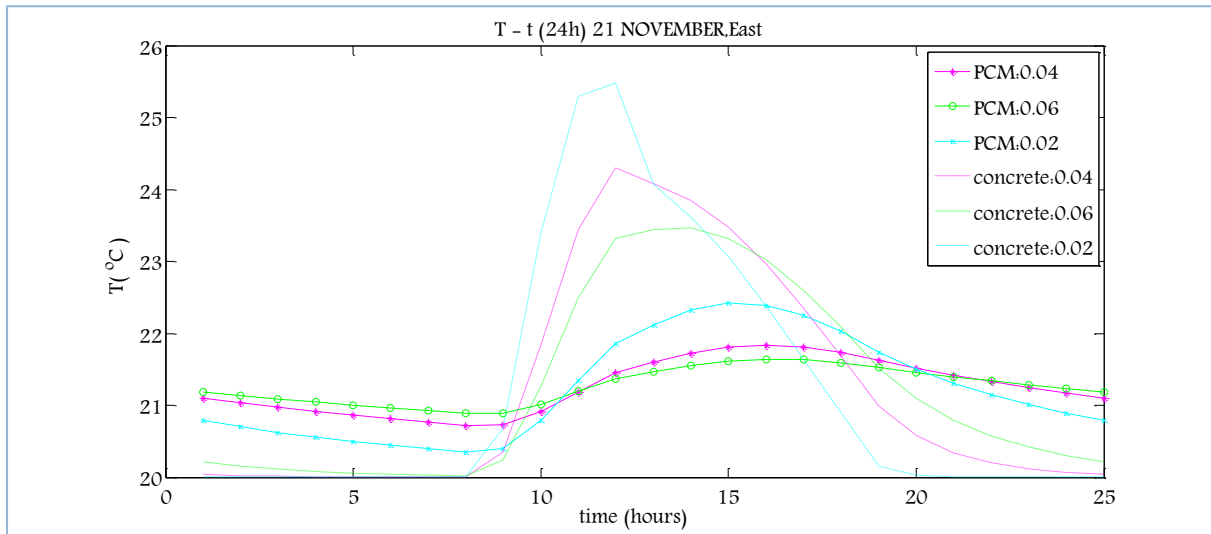


Διάγραμμα 5.3.2.2.9: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Σεπτεμβρίου για ένα 24ωρο

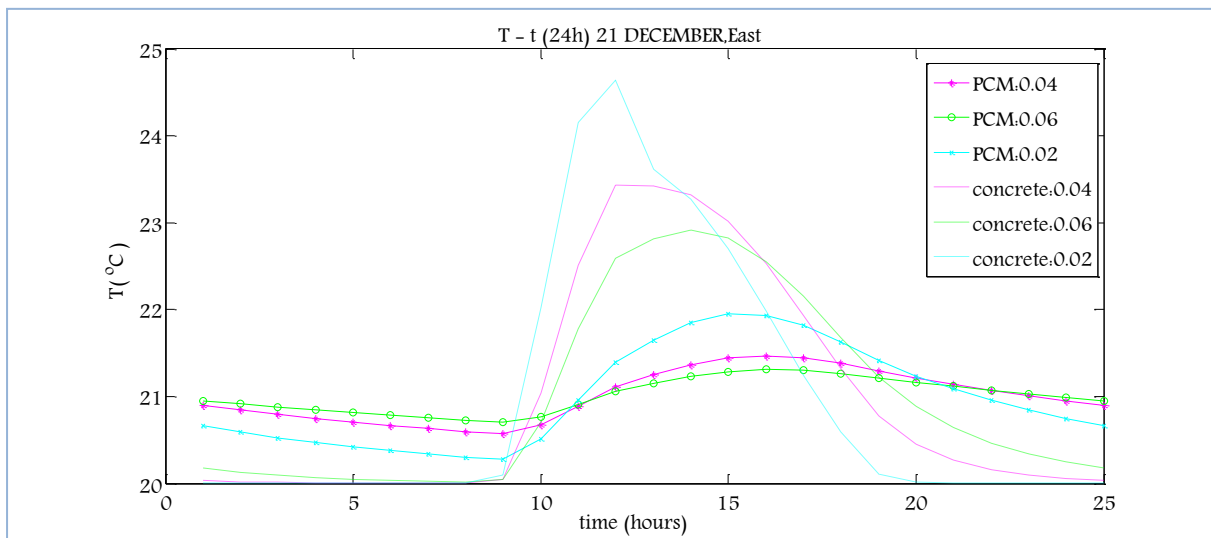


Διάγραμμα 5.3.2.2.10: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Οκτωβρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ



Διάγραμμα 5.3.2.2.11: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Νοεμβρίου για ένα 24ωρο



Διάγραμμα 5.3.2.2.12: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Δεκεμβρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Με βάση τις παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στην υποενότητα (5.2.2.1-D υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν), οι οποίες αφορούσαν στις διαφορές που πρέπει να υπάρχουν στην κατανομή της θερμοκρασίας μεταξύ PCM και αντίστοιχου στρώματος μπετόν και τα διαγράμματα μεταβολής της θερμοκρασίας (5.3.2.2.1 έως 5.3.2.2.12) θα γίνει ο έλεγχος της απόδοσης του PCM.

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο, το PCM χρησιμοποιεί μέρος της θερμότητας που παίρνει για να αλλάξει φάση. Εμφανίζει χαμηλότερες μέγιστες θερμοκρασίες κατά την διάρκεια της ημέρας και υψηλότερες ελάχιστες, την νύχτα δηλαδή εξαντλείται περισσότερο το μπετόν αφού έχει αποθηκεύσει λιγότερη θερμότητα κατά την διάρκεια της ημέρας κατά την διάρκεια της ημέρας, δεν συμβαίνει το ίδιο όμως τους υπόλοιπους μήνες δηλαδή τους μήνες από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο, στους οποίους ανεβάζει μεγαλύτερη θερμοκρασία από το αντίστοιχο στρώμα μπετόν και χαμηλότερες ελάχιστες.

Αυτό συμβαίνει διότι το εκάστοτε στρώμα PCM τους μήνες από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο αναπτύσσει θερμοκρασίες υψηλότερες από τους 26°C, που είναι η θερμοκρασία που το PCM βρίσκεται στην υγρή φάση, δεν αλλάζει δηλαδή φάση αλλά συμπεριφέρεται ως σύνηθες δομικό υλικό και δεν ισχύει η αναφερθείσα σύγκριση με το μπετόν. Όσον αφορά τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο, το PCM αλλάζει φάση και αναπτύσσει θερμοκρασίες υψηλότερες της $T_c = 20,5^\circ\text{C}$ που είναι το μέσο του εύρους θερμοκρασιών υγρής και στερεάς φάσης.

Επιπλέον, παρατηρείται ότι στην περίπτωση που το PCM συναλλάσσει θερμότητα με δυο δωμάτια, σε μια πραγματική περίπτωση εσωτερικού τοίχου δηλαδή, το PCM αναπτύσσει χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με την περίπτωση του μονωμένου τοίχου. Αυτό είναι λογικό αν σκεφτούμε ότι στο στρώμα του τοίχου είναι τοποθετημένο στρώμα τούβλου το οποίο απορροφά μέρος της θερμότητας που λαμβάνει το PCM κατά την διάρκεια της ημέρας. Όσον αφορά τα πάχη και την ώρα εμφάνισης των μεγίστων θερμοκρασιών, τις διαφορές μεταξύ των δυο προσανατολισμών ισχύουν οι ίδιες παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στην υποενότητα (5.2.2.2 -D υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν).

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ**

Ε. ΒΑΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΙ ΣΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ

Προκειμένου να έχουμε ένα ποσοτικό έλεγχο της απόδοσης του PCM για την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους, για όλα τα εξεταζόμενα πάχη, κρίθηκε αναγκαίος ο υπολογισμός του βαθμού χρησιμοποίησης του PCM. Ο βαθμός χρησιμοποίησης υπολογίζεται από την σχέση (5.2.2.1.3) και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζεται και η θερμότητα που αποθηκεύει κάθε ένα από τα εξεταζόμενα πάχη PCM την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους.

Πίνακας 5.3.2.2.1: Η θερμότητα που αποθηκεύει το εκάστοτε στρώμα πάχους PCM και ο βαθμός χρησιμοποίησης του

| 21 ^η ημέρα μήνα | Πάχος PCM:0.04 | | | | Πάχος PCM:0.06 | | | | Πάχος PCM:0.02 | | | |
|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------|
| | T _{PCM,max} (°C) | T _{PCM,min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% | T _{PCM,max} (°C) | T _{PCM,min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% | T _{PCM,max} (°C) | T _{PCM,min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% |
| ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ | 21,59 | 20,63 | 18,63 | 14,10 | 21,42 | 20,77 | 12,65 | 9,58 | 22,12 | 20,32 | 34,18 | 25,87 |
| ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ | 22,24 | 20,85 | 24,89 | 18,85 | 22 | 21,06 | 16,88 | 12,78 | 22,97 | 20,4 | 44,76 | 33,88 |
| ΜΑΡΤΙΟΣ | 23,14 | 21,14 | 31,70 | 24,00 | 22,8 | 21,43 | 21,83 | 16,53 | 24,15 | 20,53 | 54,82 | 41,50 |
| ΑΠΡΙΛΙΟΣ | 34,7 | 26 | 21,75 | 16,46 | 33,43 | 26,04 | 18,48 | 13,99 | 36,14 | 26 | 25,35 | 19,19 |
| ΜΑΪΟΣ | 35,96 | 26 | 24,90 | 18,85 | 34,57 | 26,05 | 21,30 | 16,12 | 37,55 | 26 | 28,88 | 21,86 |
| ΙΟΥΝΙΟΣ | 36,6 | 26 | 26,50 | 20,06 | 35,13 | 26,06 | 22,68 | 17,17 | 38,26 | 26 | 30,65 | 23,20 |
| ΙΟΥΛΙΟΣ | 36,49 | 26 | 26,23 | 19,85 | 35,03 | 26,05 | 22,45 | 16,99 | 38,16 | 26 | 30,40 | 23,01 |
| ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ | 36,63 | 26 | 26,58 | 20,12 | 34,26 | 26,04 | 20,55 | 15,56 | 37,21 | 26 | 28,03 | 21,21 |
| ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ | 34,11 | 26 | 20,28 | 15,35 | 32,86 | 26,04 | 17,05 | 12,91 | 35,54 | 26 | 23,85 | 18,05 |
| ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ | 22,69 | 20,98 | 28,92 | 21,90 | 22,4 | 21,23 | 19,84 | 15,02 | 23,53 | 20,44 | 50,63 | 38,32 |
| ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ | 21,83 | 20,72 | 20,90 | 15,82 | 21,64 | 20,89 | 14,16 | 10,72 | 22,42 | 20,35 | 38,19 | 28,91 |
| ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ | 21,47 | 20,57 | 17,75 | 13,44 | 21,31 | 20,7 | 12,06 | 9,13 | 21,95 | 20,28 | 32,24 | 24,41 |

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Με σύγκριση του παραπάνω πίνακα με τον Πίνακα 5.2.2.2.1, που αφορούσε την περίπτωση μονωμένου τοίχου που δεχόταν ηλιακή ακτινοβολία από ανατολικό υαλοπίνακα, προκύπτει ότι στην εξεταζόμενη μελέτη το PCM αποθηκεύει λιγότερη θερμότητα την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους. Αυτό οφείλεται στο ότι έχουν μειωθεί οι μέγιστες και οι ελάχιστες θερμοκρασίες που αναπτύσσει, καταλαμβάνει δηλαδή μικρότερο τμήμα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

Όσον αφορά την σύγκριση της παρούσας μελέτης με την 5.3.2.1, οι βαθμοί χρησιμοποίησης στην εξεταζόμενη μελέτη έχουν μειωθεί καθώς το PCM αναπτύσσει μικρότερα θερμοκρασιακά εύρη και το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας προκύπτει μικρότερο.

Μεταξύ των δυο προσανατολισμών, οι διαφορές στην εξεταζόμενη παραμετρική μελέτη που αφορούν στην θερμότητα που αποθηκεύει το PCM όταν συναλλάσει θερμότητα με 2 δωμάτια έχουν μειωθεί, σε σύγκριση με την παραμετρική μελέτη μονωμένου τοίχου

5.3.2.3 Εσωτερικός τοίχος έναντι ναλοπίνακα δυτικού προσανατολισμού

A. Υπολογισμός προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για την 21^η ημέρα κάθε μήνα καθώς επίσης και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της έχουν παρουσιαστεί στην ενότητα 5.1 . Στην παρούσα παραμετρική μελέτη λαμβάνονται υπόψη οι τιμές της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου που έχουν υπολογιστεί για δυτικό προσανατολισμό.

B. Επιλογή PCM

Ως PCM στην εξεταζόμενη μελέτη επιλέγηκε το RT20, όπως και στην περίπτωση του μονωμένου τοίχου. Τα χαρακτηριστικά του έχουν παρουσιαστεί στον πίνακα 5.2.2.1.1. Στον ίδιο πίνακα έχουν παρουσιαστεί και τα χαρακτηριστικά του μπετόν.

C. Προσομοίωση της αλλαγής φάσης

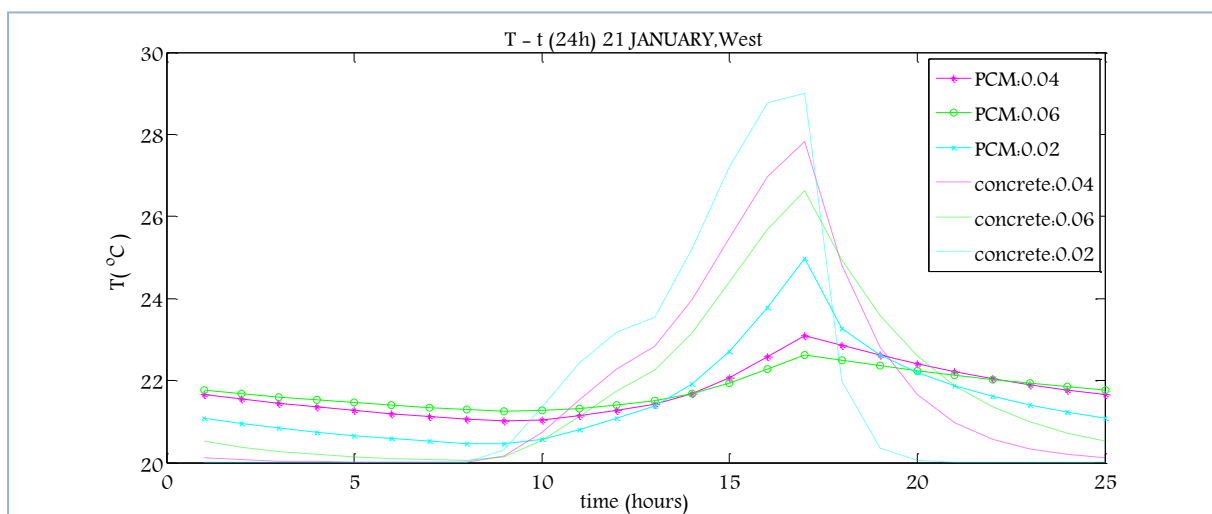
Για την προσομοίωση της αλλαγής φάσης, επιλέγεται η τριγωνική μορφή της μεθόδου της ενεργούς θερμοχωρητικότητας, η οποία έχει περιγραφεί στην ενότητα 5.2.1 και η μορφή της καμπύλης έχει απεικονιστεί στο Διάγραμμα 5.2.2.1.1.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

D. Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν

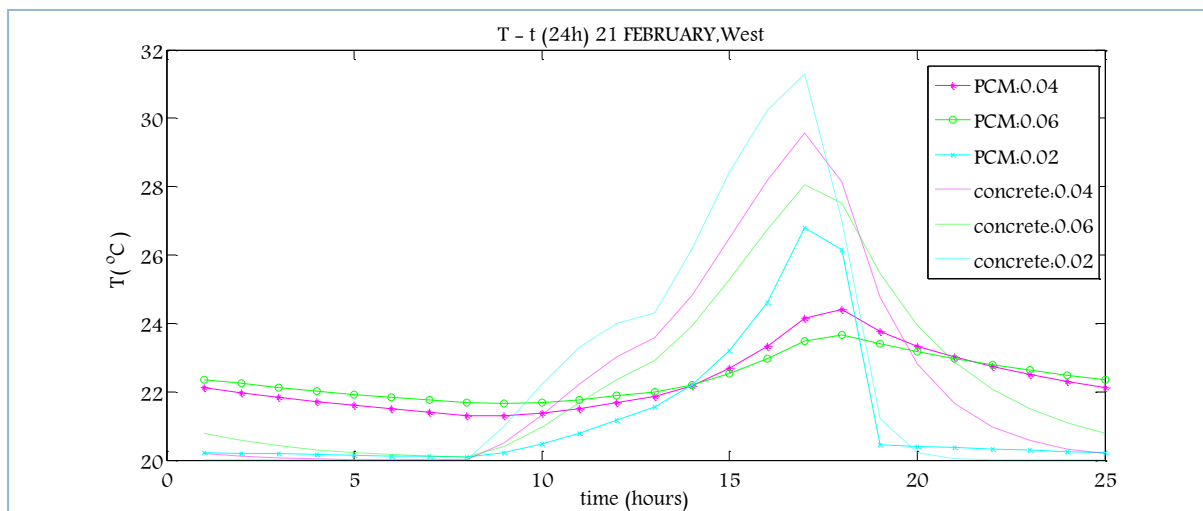
Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο μπετόν, την 21^η μέρα κάθε μήνα υπολογίζονται από τις σχέσεις (5.3.2.1.1) και (5.3.2.1.2) αντίστοιχα. Για την εύρεση της κατανομής της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο μπετόν ακολουθείται η επαναληπτική διαδικασία η οποία παρουσιάστηκε στην ενότητα (5.2.2.1-D Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν).

Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM συναρτήσει της ώρας για όλο το 24ωρο την 21^η μέρα κάθε μήνα για όλα τα πάχη στρώματος PCM που επιλέχθηκαν καθώς επίσης και οι αντίστοιχες μεταβολές της θερμοκρασίας του μπετόν. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στα διαγράμματα έχουν δοθεί οι τιμές των εξεταζόμενων παχών σε m.

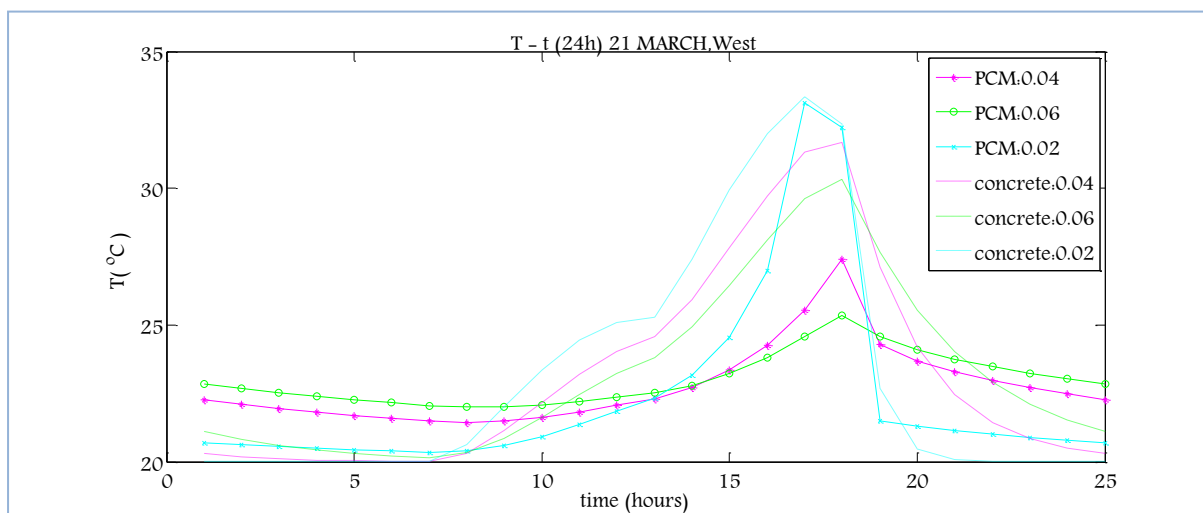


Διάγραμμα 5.3.2.3.1: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιανουαρίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

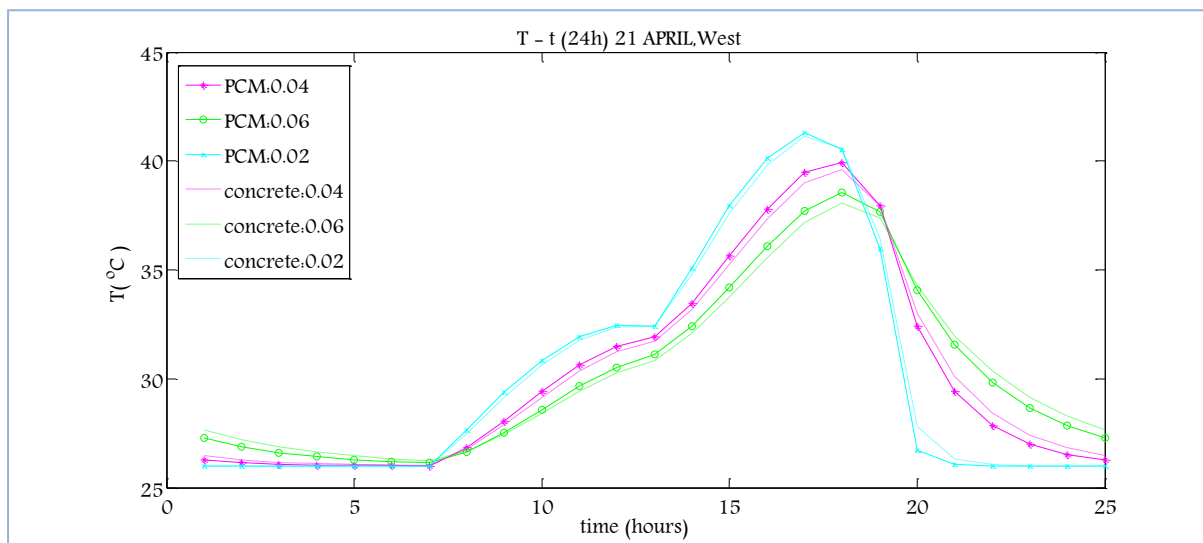


Διάγραμμα 5.3.2.3.2: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Φεβρουαρίου για ένα 24ωρο

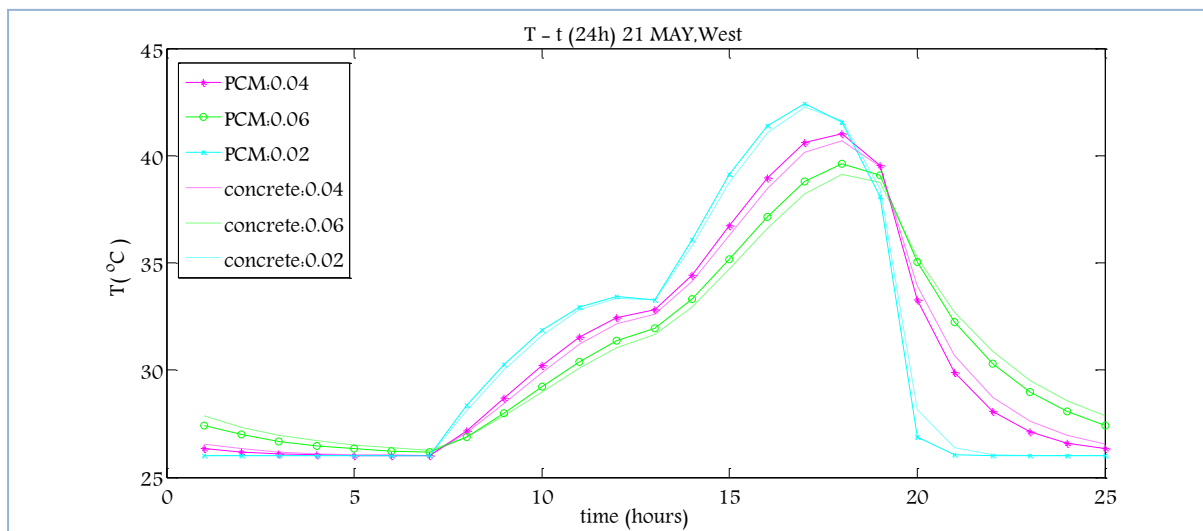


Διάγραμμα 5.3.2.3.3: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαρτίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

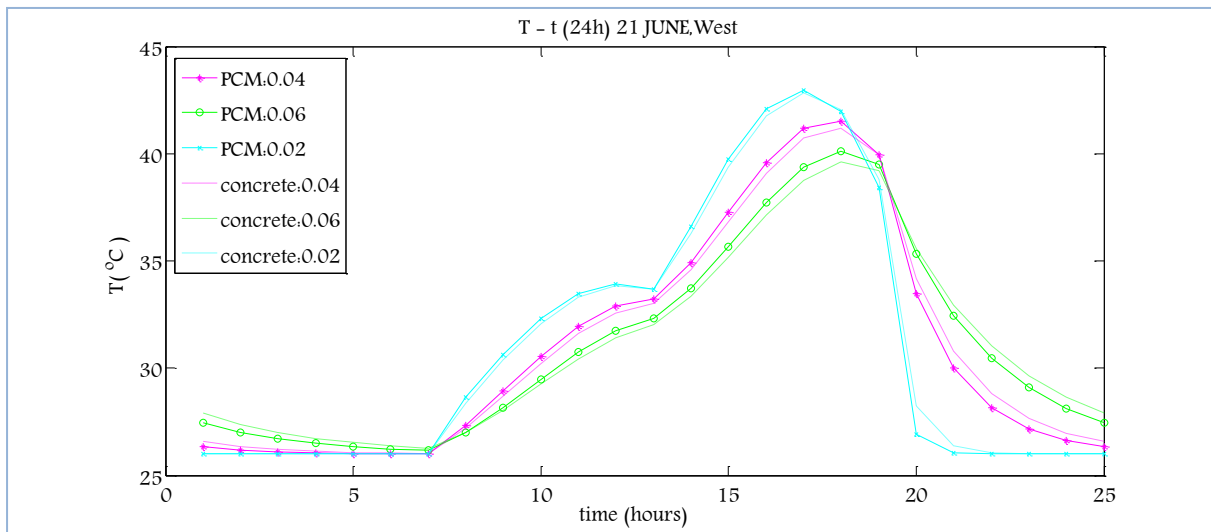


Διάγραμμα 5.3.2.3.4: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Απριλίου για ένα 24ωρο

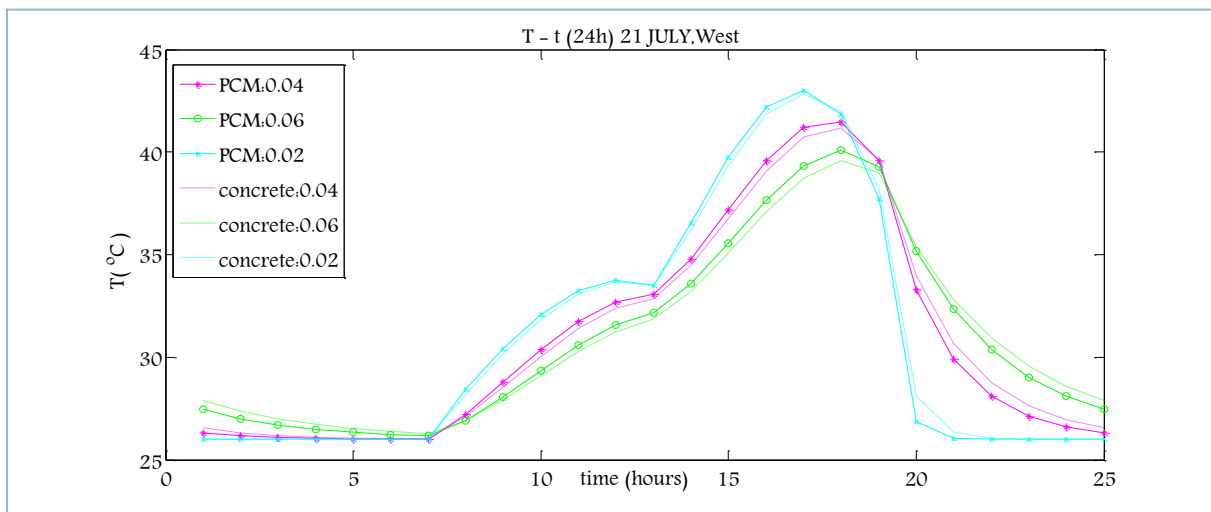


Διάγραμμα 5.3.2.3.5: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαΐου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

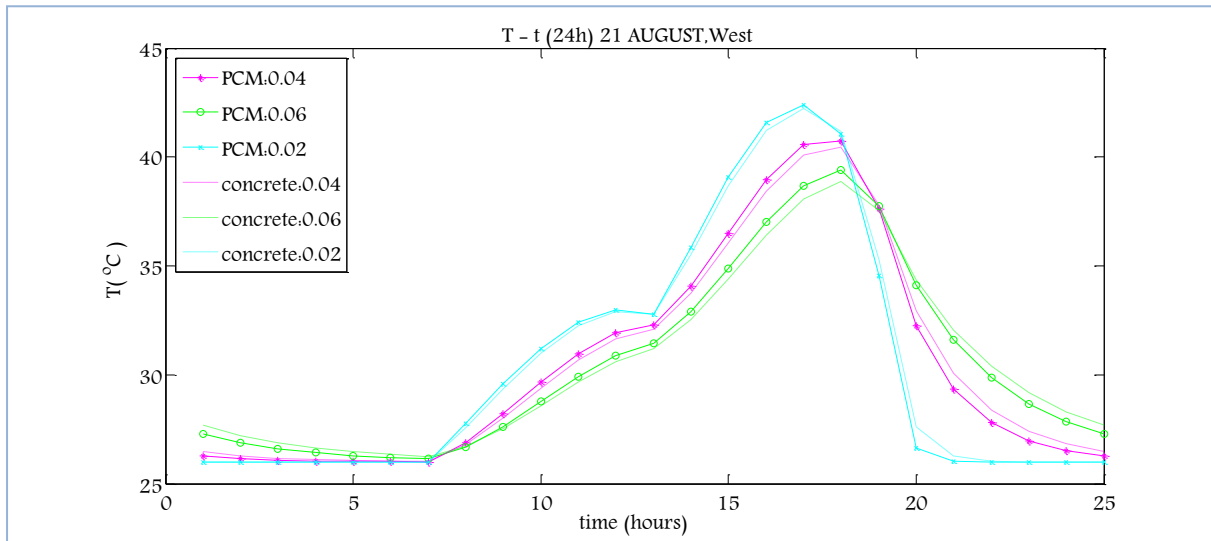


Διάγραμμα 5.3.2.3.6: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουνίου για ένα 24ωρο

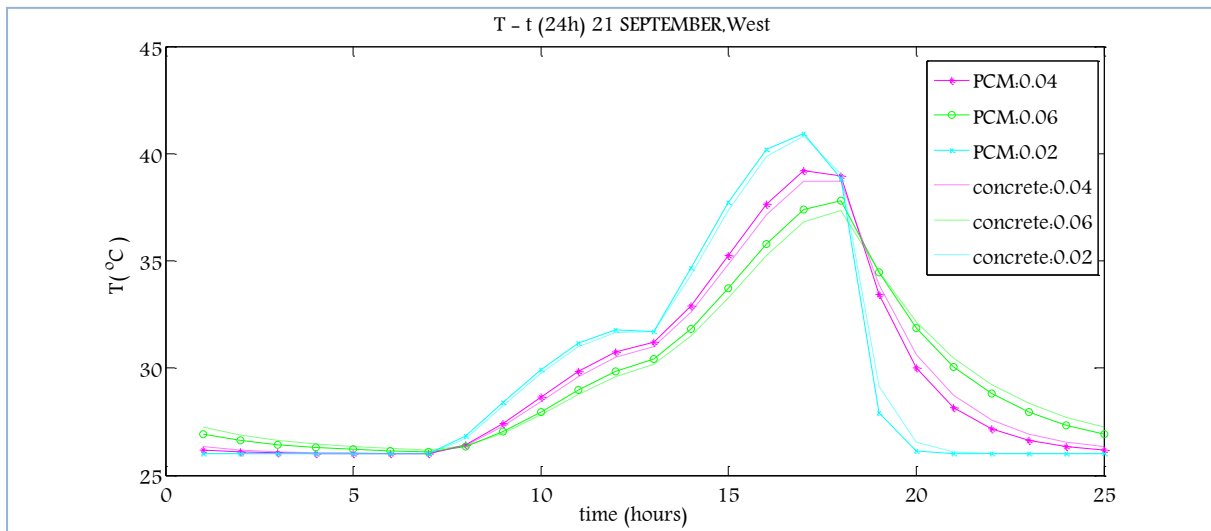


Διάγραμμα 5.3.2.3.7: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουλίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

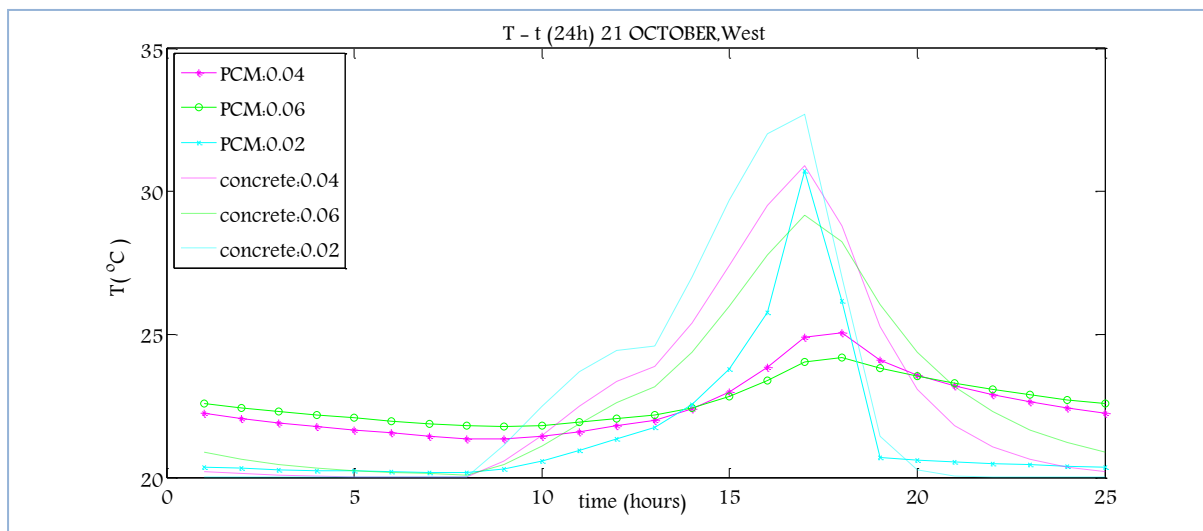


Διάγραμμα 5.3.2.3.8: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Αυγούστου για ένα 24ωρο

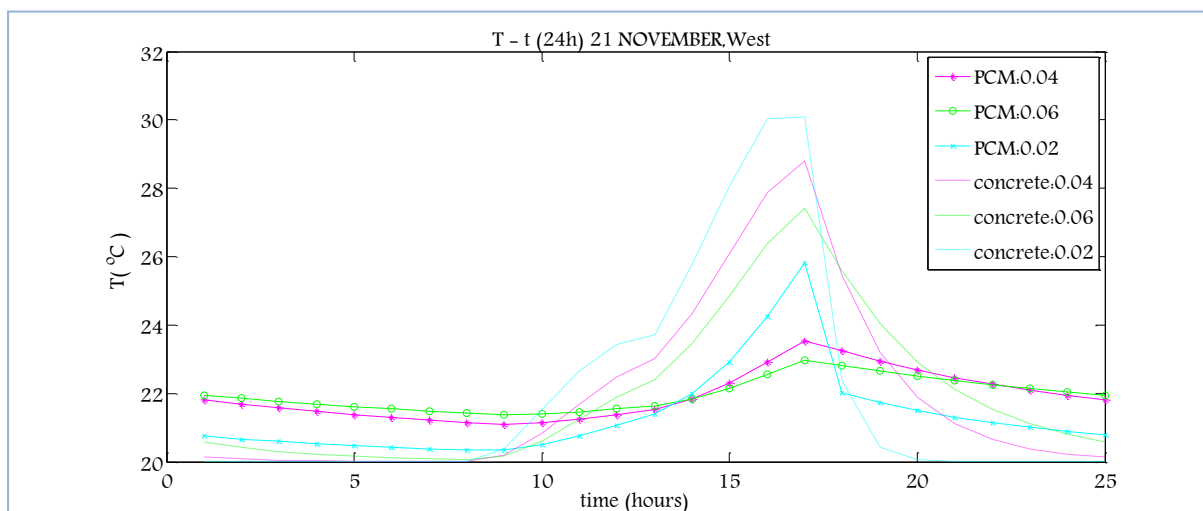


Διάγραμμα 5.3.2.3.9: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Σεπτεμβρίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

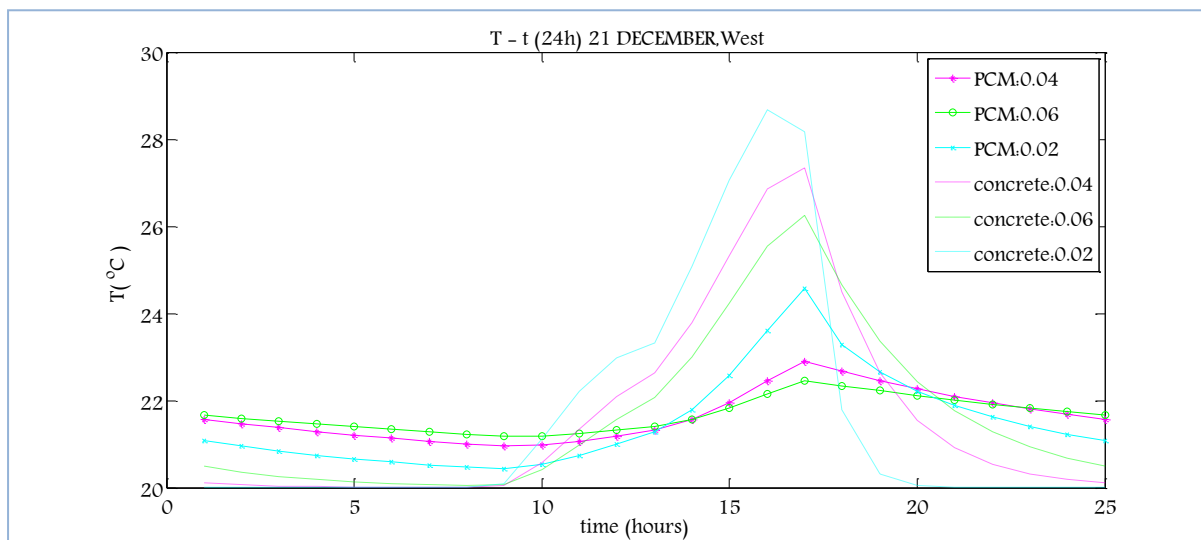


Διάγραμμα 5.3.2.3.10: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Οκτωβρίου για ένα 24ωρο



Διάγραμμα 5.3.2.3.11: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Νοεμβρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ



Διάγραμμα 5.3.2.3.12: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Δεκεμβρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Με βάση τις παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στην υποενότητα (5.2.2.1-D υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν), οι οποίες αφορούσαν στις διαφορές που πρέπει να υπάρχουν στην κατανομή της θερμοκρασίας μεταξύ PCM και αντίστοιχου στρώματος μπετόν και τα διαγράμματα μεταβολής της θερμοκρασίας (5.3.2.3.1 έως 5.3.2.3.12) θα γίνει ο έλεγχος της απόδοσης του PCM.

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο, το PCM χρησιμοποιεί μέρος της θερμότητας που παίρνει για να αλλάξει φάση. Εμφανίζει χαμηλότερες μέγιστες θερμοκρασίες κατά την διάρκεια της ημέρας και υψηλότερες ελάχιστες, την νύχτα δηλαδή εξαντλείται περισσότερο το μπετόν αφού έχει αποθηκεύσει λιγότερη θερμότητα κατά την διάρκεια της ημέρας κατά την διάρκεια της ημέρας, δεν συμβαίνει το ίδιο όμως τους υπόλοιπους μήνες δηλαδή τους μήνες από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο, στους οποίους ανεβάζει μεγαλύτερη θερμοκρασία από το αντίστοιχο στρώμα μπετόν και χαμηλότερες ελάχιστες. Αυτό συμβαίνει διότι το εκάστοτε στρώμα PCM τους μήνες από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο αναπτύσσει θερμοκρασίες υψηλότερες από τους 26°C, που είναι η θερμοκρασία που το PCM βρίσκεται στην υγρή φάση, δεν αλλάζει δηλαδή φάση αλλά συμπεριφέρεται ως σύνηθες δομικό υλικό και δεν

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

ισχύει η αναφερθείσα σύγκριση με το μπετόν. Όσον αφορά τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο, το PCM αλλάζει φάση και αναπτύσσει θερμοκρασίες υψηλότερες της $T_c = 20,5^{\circ}\text{C}$ που είναι το μέσο του εύρους θερμοκρασιών υγρής και στερεάς φάσης.

Επιπλέον, παρατηρείται ότι στην περίπτωση που το PCM συναλλάσει θερμότητα με δυο δωμάτια, σε μια πραγματική περίπτωση εσωτερικού τοίχου δηλαδή, το PCM αναπτύσσει χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με την περίπτωση του μονωμένου τοίχου. Αυτό είναι λογικό αν σκεφτούμε ότι στο στρώμα του τοίχου είναι τοποθετημένο στρώμα τούβλου το οποίο απορροφά μέρος της θερμότητας που λαμβάνει το PCM κατά την διάρκεια της ημέρας.

Όσον αφορά τα πάχη και την ώρα εμφάνισης των μεγίστων θερμοκρασιών, τις διαφορές μεταξύ των προσανατολισμών ισχύουν οι ίδιες παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στην υποενότητα (5.2.2.3 -D υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν).

Ε. ΒΑΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΙ ΣΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ

Προκειμένου να έχουμε ένα ποσοτικό έλεγχο της απόδοσης του PCM για την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους ,για όλα τα εξεταζόμενα πάχη, κρίθηκε αναγκαίος ο υπολογισμός του βαθμού χρησιμοποίησης του PCM. Ο βαθμός χρησιμοποίησης υπολογίζεται από την σχέση (5.2.2.1.3) και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 5.3.2.3.1: Η θερμότητα που αποθηκεύει το εκάστοτε στρώμα πάχους PCM και ο βαθμός χρησιμοποίησης του

| 21 ^η ημέρα μήνα | Πάχος PCM:0.04 | | | | Πάχος PCM:0.06 | | | | Πάχος PCM:0.02 | | | |
|-------------------------------|--|--|------------------------------|-------|--|--|------------------------------|-------|--|--|------------------------------|-------|
| | $T_{PCM, max}$ ($^{\circ}\text{C}$) | $T_{PCM, min}$ ($^{\circ}\text{C}$) | $A_{προσιδόμενο}$ (KJ/kg) | n% | $T_{PCM, max}$ ($^{\circ}\text{C}$) | $T_{PCM, min}$ ($^{\circ}\text{C}$) | $A_{προσιδόμενο}$ (KJ/kg) | n% | $T_{PCM, max}$ ($^{\circ}\text{C}$) | $T_{PCM, min}$ ($^{\circ}\text{C}$) | $A_{προσιδόμενο}$ (KJ/kg) | n% |
| ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ | 23,1 | 21,01 | 33,72 | 25,53 | 22,61 | 21,25 | 22,52 | 17,05 | 24,98 | 20,46 | 63,30 | 47,92 |
| ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ | 24,4 | 21,3 | 41,51 | 31,42 | 23,66 | 21,65 | 28,26 | 21,39 | 26,8 | 20,1 | 76,49 | 57,90 |
| ΜΑΡΤΙΟΣ | 27,41 | 21,43 | 51,05 | 38,65 | 25,36 | 21,99 | 35,54 | 26,90 | 33,13 | 20,35 | 87,13 | 65,95 |
| ΑΠΡΙΛΙΟΣ | 39,94 | 26,01 | 34,83 | 26,36 | 38,57 | 26,14 | 31,08 | 23,52 | 41,32 | 26 | 38,30 | 28,99 |
| ΜΑΪΟΣ | 41,02 | 26,01 | 37,53 | 28,41 | 39,63 | 26,15 | 33,70 | 25,51 | 42,42 | 26 | 41,05 | 31,07 |
| ΙΟΥΝΙΟΣ | 41,51 | 26,01 | 38,75 | 29,33 | 40,13 | 26,16 | 34,93 | 26,44 | 42,97 | 26 | 42,43 | 32,12 |
| ΙΟΥΛΙΟΣ | 41,47 | 26,01 | 38,65 | 29,26 | 40,09 | 26,16 | 34,83 | 26,36 | 43,01 | 26 | 42,53 | 32,19 |
| ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ | 40,74 | 26,01 | 36,83 | 27,88 | 39,38 | 26,14 | 33,10 | 25,06 | 42,38 | 26 | 40,95 | 31,00 |
| ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ | 39,19 | 26 | 32,98 | 24,96 | 37,79 | 26,1 | 29,23 | 22,12 | 40,94 | 26 | 37,35 | 28,27 |
| ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ | 25,07 | 21,36 | 45,04 | 34,09 | 24,18 | 21,78 | 31,07 | 23,52 | 30,71 | 20,16 | 85,06 | 64,39 |
| ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ | 23,54 | 21,09 | 30,86 | 23,36 | 22,96 | 21,37 | 25,07 | 18,98 | 25,83 | 20,34 | 70,66 | 53,49 |
| ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ | 22,9 | 20,95 | 32,35 | 24,49 | 22,45 | 21,18 | 21,55 | 16,31 | 24,57 | 20,43 | 77,58 | 58,73 |

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Τους χειμερινούς μήνες το PCM αποθηκεύει περισσότερη θερμότητα συγκρινόμενο με την περίπτωση του μονωμένου τοίχου που δέχεται ηλιακή ακτινοβολία από δυτικό υαλοπίνακα. Αντιθέτως τους θερινούς μήνες αποθηκεύει λιγότερη θερμότητα συγκρινόμενο με την περίπτωση του μονωμένου τοίχου που δέχεται ηλιακή ακτινοβολία από δυτικό υαλοπίνακα. Αυτό είναι λογικό καθώς κατά την διάρκεια των θερινών μηνών βρίσκεται στην υγρή φάση και αφού στην παρούσα μελέτη έχουν μειωθεί τα μέγιστα και τα ελάχιστα των θερμοκρασιών, το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας προκύπτει μικρότερο.

Όσον αφορά τα πάχη και τις διαφορές μεταξύ των προσανατολισμών, έχουν αναφερθεί στην περίπτωση του μονωμένου τοίχου στην υποενότητα 5.2.2.3.

Μεταξύ των προσανατολισμών, οι διαφορές στην εξεταζόμενη παραμετρική μελέτη που αφορούν στην θερμότητα που αποθηκεύει το PCM όταν συναλλάσει θερμότητα με 2 δωμάτια έχουν μειωθεί, σε σύγκριση με την παραμετρική μελέτη μονωμένου τοίχου.

5.3.3 Παραμετρική μελέτη ως προς το PCM

Σκοπός της παρούσας παραμετρικής μελέτης είναι να εξεταστούν τρία εμπορικά PCMs, το RT20, το RT27 και το SP25A8 προκειμένου να ελεγχθεί αν κάποιο από τα εξεταζόμενα εμπορικά PCMs είναι αποδοτικό την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους καθώς επίσης και να πραγματοποιηθεί σύγκριση με την περίπτωση που έγινε χρήση τους σε μονωμένο τοίχο. Σε προηγούμενη παραμετρική μελέτη που είχε επιλεγθεί ως PCM μελέτης το RT20 διαπιστώθηκε ότι κατά την διάρκεια των μηνών Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο δεν είναι αποδοτικό, δεν αλλάζει φάση, συμπεριφέρεται δηλαδή σαν σύνηθες δομικό υλικό και δεν παρουσιάζει διαφορές από το σύνηθες δομικό υλικό το μπετόν, όπως στην περίπτωση των υπολοίπων μηνών.

Εξετάζονται τρεις περιπτώσεις τοίχου. Στην πρώτη περίπτωση ο τοίχος δέχεται ακτινοβολία από υαλοπίνακα που είναι τοποθετημένος σε νότιο προσανατολισμό και το PCM συναλλάσσει θερμότητα με το βορινό δωμάτιο και στην συνέχεια εξετάζονται οι περιπτώσεις που ο υαλοπίνακας είναι τοποθετημένος σε ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό και το PCM συναλλάσσει θερμότητα με το δυτικό και ανατολικό αντίστοιχα δωμάτιο.

Εξετάζονται οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους, προκειμένου να αναδειχθούν τα πιθανά οφέλη του PCM σε σχέση με το σύνηθες δομικό υλικό, το μπετόν. Παρουσιάζεται επιπλέον, για κάθε ένα από τα εξεταζόμενα PCMs η θερμότητα που αποθηκεύεται σε αυτό και ο βαθμός χρησιμοποίησης του με βάση την καμπύλη της ενεργού θερμοχωρητικότητας.

Και για τις τρεις περιπτώσεις, η εξέταση θα πραγματοποιηθεί για την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους.

5.3.3.1 Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα νοτίου προσανατολισμού

A. Υπολογισμός προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για την 21^η ημέρα κάθε μήνα καθώς επίσης και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της έχουν παρουσιαστεί στην ενότητα 5.1 . Στην παρούσα παραμετρική μελέτη λαμβάνονται υπόψη οι τιμές της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου που έχουν υπολογιστεί για νότιο προσανατολισμό.

B. Επιλογή PCM

Τα χαρακτηριστικά του PCM RT20 και του μπετόν έχουν δοθεί στον Πίνακα 5.2.2.1.1

Τα χαρακτηριστικά των δυο νέων προς εξέταση PCM του RT27 και του SP25A8 έχουν δοθεί στον Πίνακα 5.2.4.1.1

C. Προσομοίωση της αλλαγής φάσης

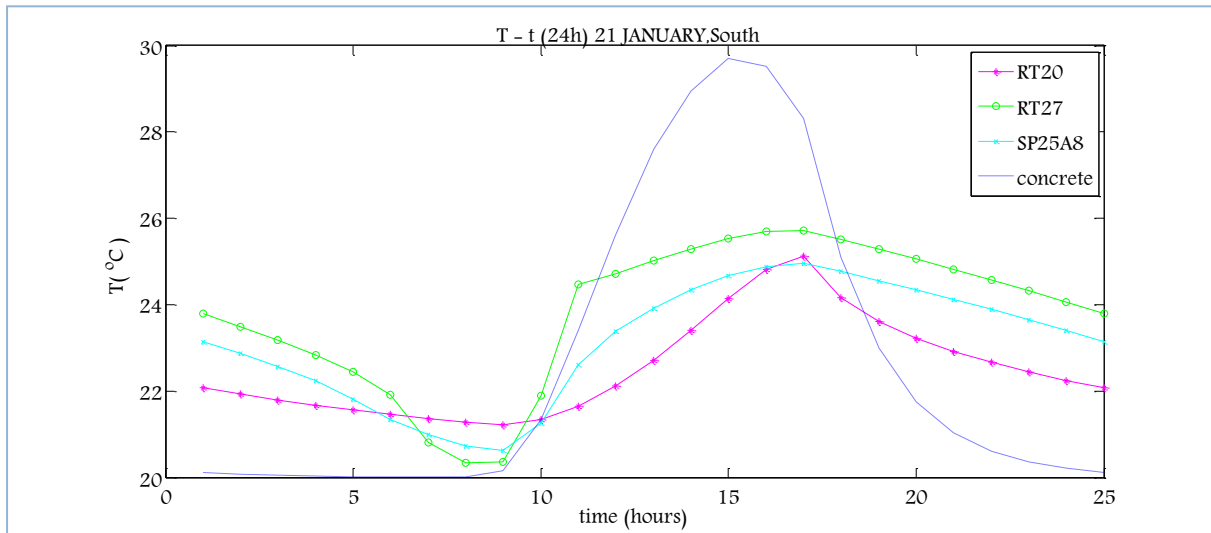
Για την προσομοίωση της αλλαγής φάσης, επιλέγεται η τριγωνική μορφή της μεθόδου της ενεργούς θερμοχωρητικότητας, η οποία έχει περιγραφεί στην ενότητα 5.2.1 και η μορφή της καμπύλης έχει απεικονιστεί στο Διάγραμμα 5.2.2.1.1 για το RT20, στο Διάγραμμα 5.2.4.1.2 για το RT27 και στο Διάγραμμα 5.2.4.1.3 για το SP25A8.

D. Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν

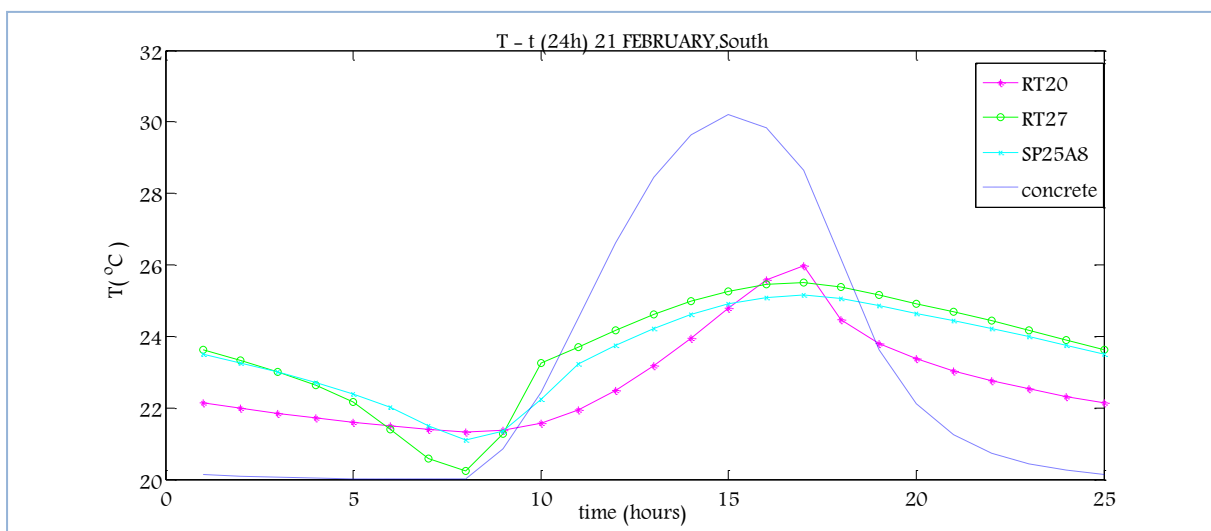
Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει το κάθε ένα από τα εξεταζόμενα PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν, την 21^η μέρα κάθε μήνα υπολογίζονται από τις σχέσεις (5.3.2.1.1) και (5.3.2.1.2) αντίστοιχα. Για την εύρεση της κατανομής της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο μπετόν ακολουθείται η επαναληπτική διαδικασία η οποία παρουσιάστηκε στην ενότητα (5.2.2.1-D Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του εκάστοτε PCM συναρτήσει της ώρας για όλο το 24ωρο την 21^η μέρα κάθε μήνα του έτους καθώς επίσης και η αντίστοιχη μεταβολή της θερμοκρασίας του μπετόν.

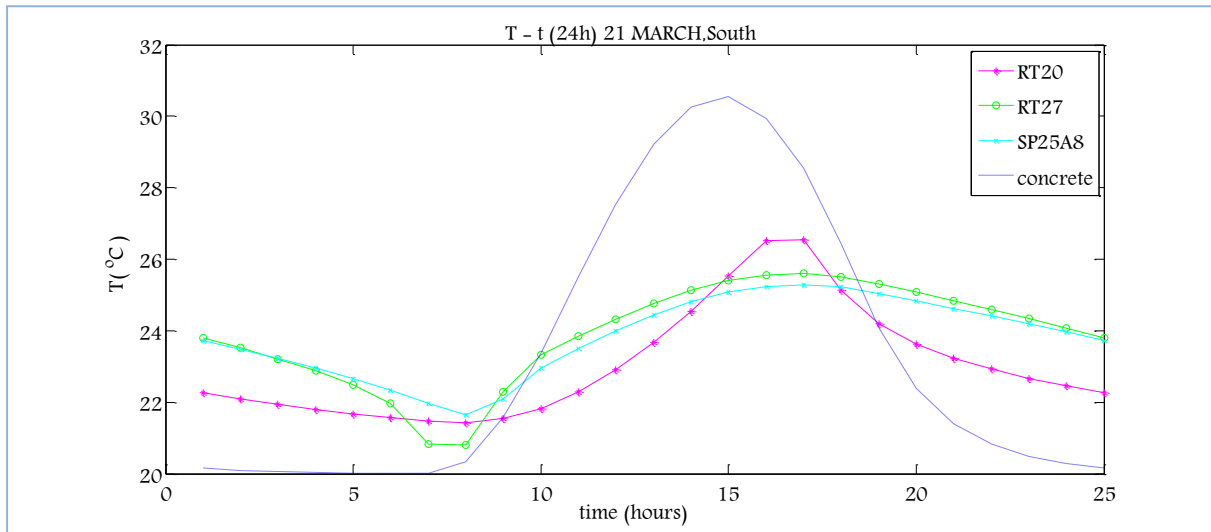


Διάγραμμα 5.3.3.1.1: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιανουαρίου για ένα 24ωρο

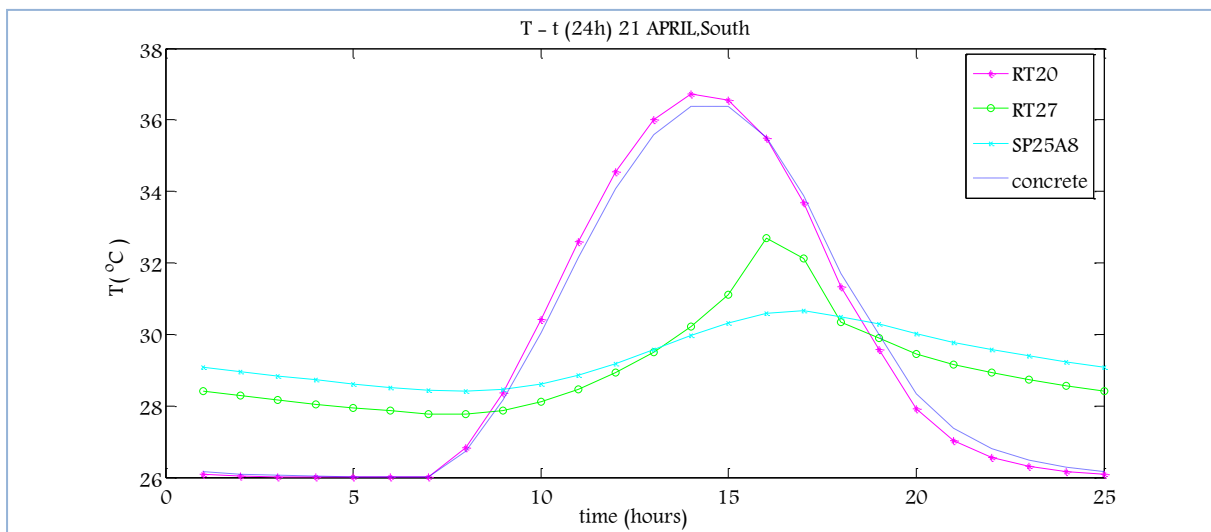


Διάγραμμα 5.3.3.1.2: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Φεβρουαρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

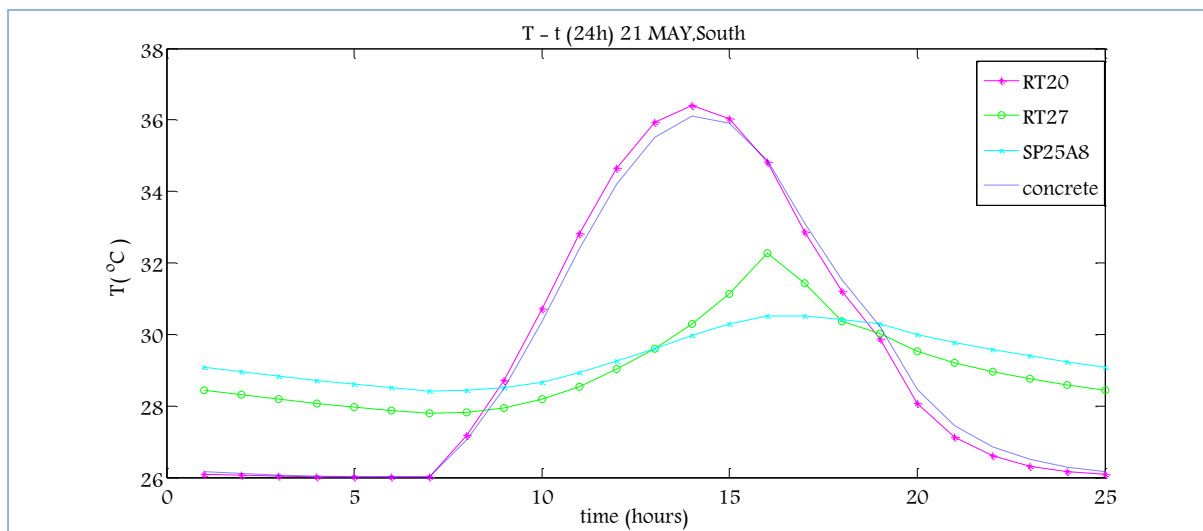


Διάγραμμα 5.3.3.1.3: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαρτίου για ένα 24ωρο

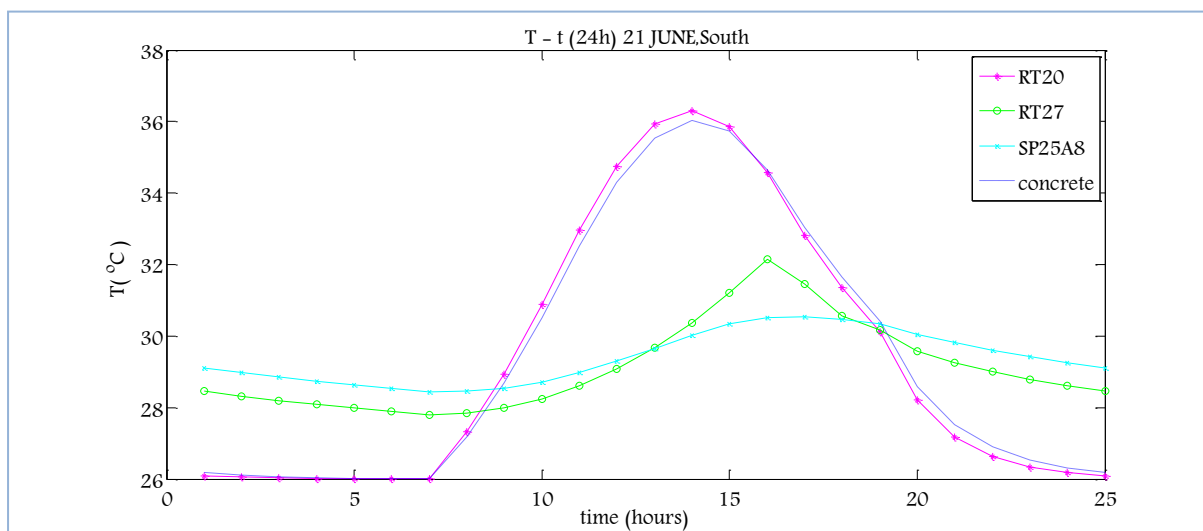


Διάγραμμα 5.3.3.1.4: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Απριλίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

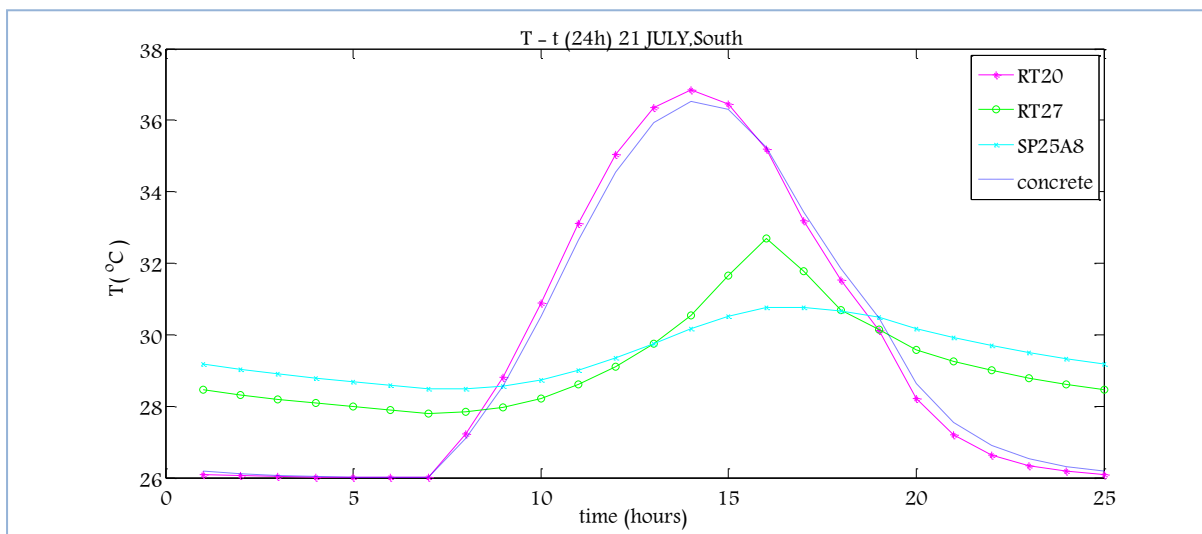


Διάγραμμα 5.3.3.1.5: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαΐου για ένα 24ωρο

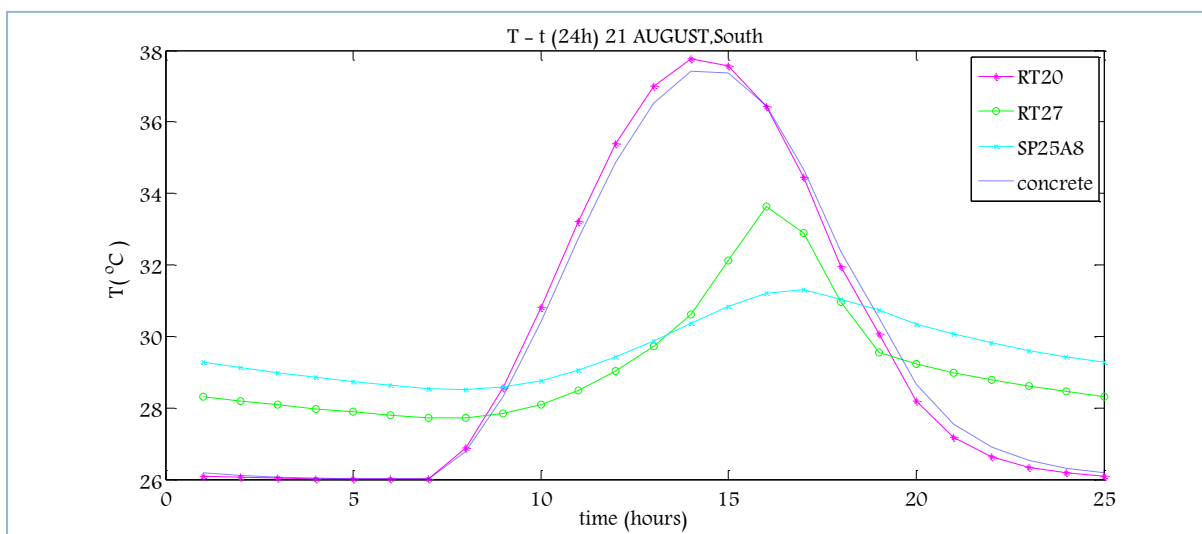


Διάγραμμα 5.3.3.1.6: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουνίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

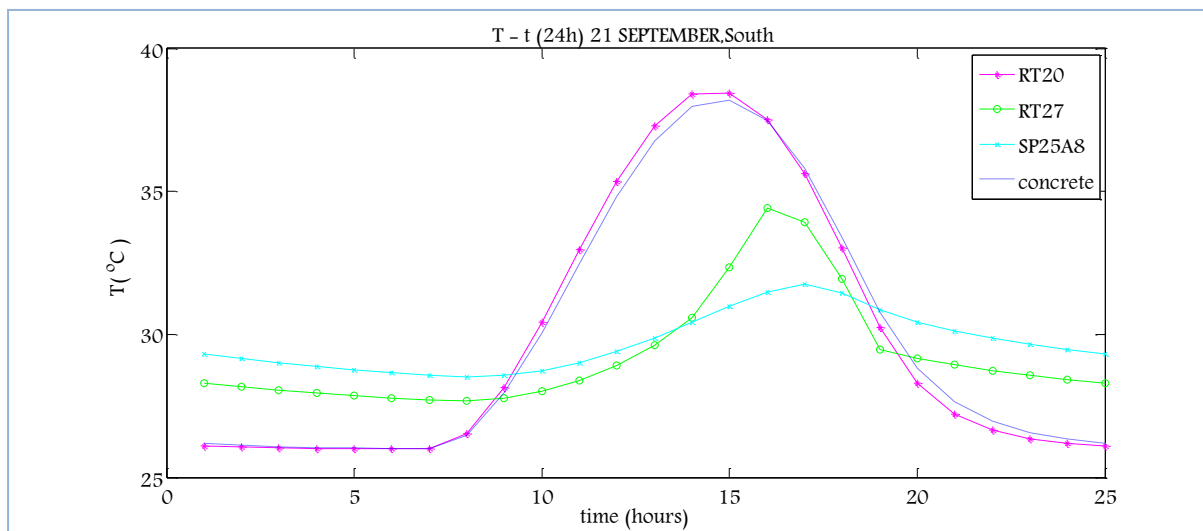


Διάγραμμα 5.3.3.1.7: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουλίου για ένα 24ωρο

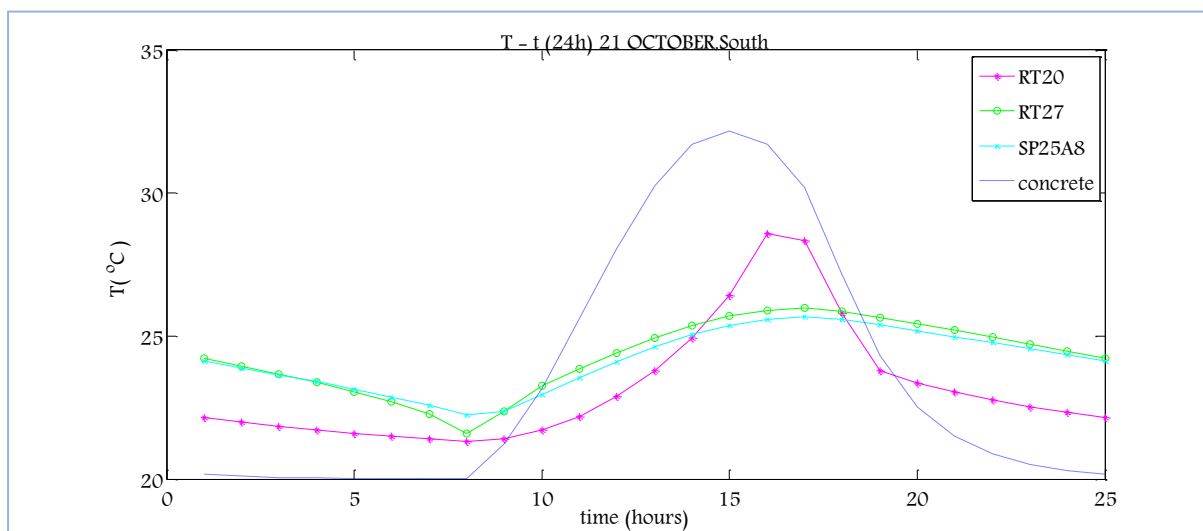


Διάγραμμα 5.3.3.1.8: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Αυγούστου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

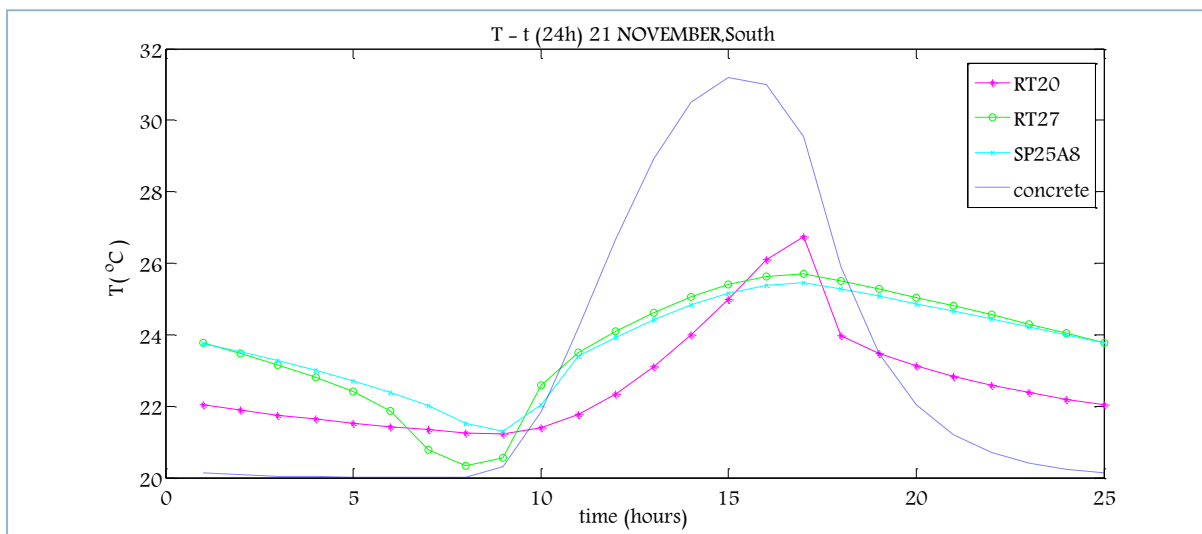


Διάγραμμα 5.3.3.1.9: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Σεπτεμβρίου για ένα 24ωρο

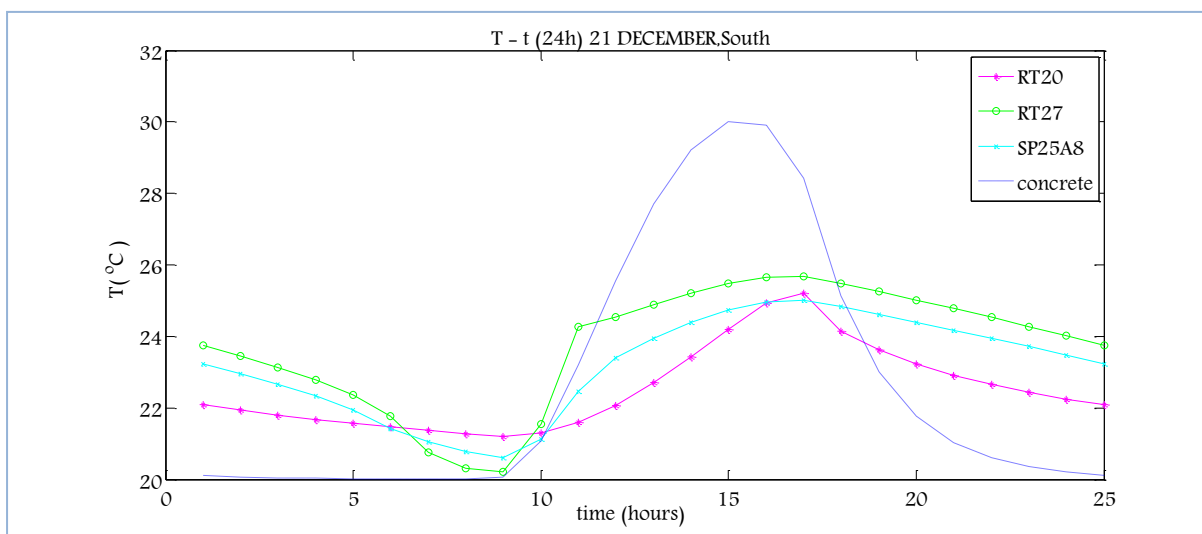


Διάγραμμα 5.3.3.1.10: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Οκτωβρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ



Διάγραμμα 5.3.3.1.11: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Νοεμβρίου για ένα 24ωρο



Διάγραμμα 5.3.3.1.12: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Δεκεμβρίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Όπως ήταν αναμενόμενο, μειώθηκαν οι μέγιστες και οι ελάχιστες θερμοκρασίες των PCMs σε σύγκριση με την περίπτωση του μονωμένου τοίχου. Όσον αφορά τα RT27 και SP25A8, στην παρούσα μελέτη εμφανίζουν μεγαλύτερα θερμοκρασιακά εύρη σε σύγκριση με την περίπτωση του μονωμένου τοίχου, ενώ το RT20 εμφανίζει μικρότερα θερμοκρασιακά εύρη την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους.

Ε. ΒΑΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΙ ΣΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ

Προκειμένου να έχουμε ένα ποσοτικό έλεγχο της απόδοσης των PCMs για την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους, κρίθηκε αναγκαίος ο υπολογισμός του βαθμού χρησιμοποίησής τους. Ο βαθμός χρησιμοποίησης υπολογίζεται από την σχέση (5.2.2.1.3) και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζεται και η θερμότητα που αποθηκεύει κάθε ένα από τα εξεταζόμενα PCMs την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους.

Πίνακας 5.3.3.1.1: Η θερμότητα που αποθηκεύει το εκάστοτε PCM και ο βαθμός χρησιμοποίησής του

| 21 ^η ημέρα μήνα | RT20 | | | | RT27 | | | | SP25A8 | | | |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------|
| | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% |
| ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ | 25,12 | 21,23 | 47,73 | 36,13 | 25,72 | 20,34 | 61,85 | 36,95 | 24,96 | 20,63 | 31,47 | 22,24 |
| ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ | 25,98 | 21,32 | 49,56 | 37,52 | 25,51 | 20,25 | 55,97 | 33,44 | 25,17 | 21,1 | 33,79 | 23,88 |
| ΜΑΡΤΙΟΣ | 26,55 | 21,42 | 49,08 | 37,15 | 25,6 | 20,79 | 57,37 | 34,27 | 25,29 | 21,65 | 34,50 | 24,38 |
| ΑΠΡΙΛΙΟΣ | 36,72 | 26 | 26,80 | 20,29 | 32,7 | 27,77 | 49,11 | 29,34 | 30,66 | 28,4 | 31,64 | 22,36 |
| ΜΑΪΟΣ | 36,41 | 26 | 26,03 | 19,70 | 32,27 | 27,79 | 47,65 | 28,47 | 30,51 | 28,42 | 29,88 | 21,11 |
| ΙΟΥΝΙΟΣ | 36,31 | 26 | 25,78 | 19,51 | 32,15 | 27,8 | 47,08 | 28,12 | 30,54 | 28,44 | 29,82 | 21,07 |
| ΙΟΥΛΙΟΣ | 36,84 | 26 | 27,10 | 20,51 | 32,7 | 27,8 | 48,37 | 28,90 | 30,77 | 28,48 | 31,09 | 21,97 |
| ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ | 37,78 | 26 | 29,45 | 22,29 | 33,63 | 27,71 | 52,78 | 31,53 | 31,31 | 28,51 | 34,37 | 24,29 |
| ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ | 38,45 | 26 | 31,13 | 23,56 | 34,42 | 27,67 | 55,67 | 33,25 | 31,75 | 28,51 | 36,50 | 25,79 |
| ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ | 28,58 | 21,32 | 56,06 | 42,44 | 25,99 | 21,6 | 67,45 | 40,29 | 25,68 | 22,24 | 40,04 | 28,30 |
| ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ | 26,74 | 21,22 | 53,28 | 40,34 | 25,7 | 20,33 | 61,25 | 36,59 | 25,45 | 21,3 | 38,32 | 27,08 |
| ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ | 25,2 | 21,21 | 48,54 | 36,74 | 25,69 | 20,2 | 61,18 | 36,55 | 25,02 | 20,6 | 32,56 | 23,01 |

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Ισχύουν οι παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στην υποενότητα 5.3.2.1.

Με σύγκριση του ανωτέρω πίνακα με τον Πίνακα 5.3.2.1.2, που αφορούσε την περίπτωση μονωμένου τοίχου, προκύπτει ότι τα RT27 και SP25A8 αποθηκεύουν περισσότερη θερμότητα στην παρούσα μελέτη. Εμφανίζουν μεγαλύτερα θερμοκρασιακά εύρη, καλύπτουν μεγαλύτερο τμήμα της καμπύλης ενεργού θερμοχωρητικότητας, συνεπώς το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας προκύπτει μεγαλύτερο.

Όσον αφορά το RT20, στην εξεταζόμενη μελέτη αποθηκεύει περισσότερη θερμότητα μόνο κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών. Αυτό οφείλεται στο ότι τους θερινούς μήνες, βρίσκεται στην υγρή φάση και αφού έχουν μειωθεί οι μέγιστες και οι ελάχιστες θερμοκρασίες που αναπτύσσει το εμβαδόν στην καμπύλη ενεργού θερμοχωρητικότητας προκύπτει μικρότερο.

5.3.3.2 Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα ανατολικού προσανατολισμού

A. Υπολογισμός προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για την 21^η ημέρα κάθε μήνα καθώς επίσης και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της έχουν παρουσιαστεί στην ενότητα 5.1. Στην παρούσα παραμετρική μελέτη λαμβάνονται υπόψη οι τιμές της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου που έχουν υπολογιστεί για ανατολικό προσανατολισμό.

B. Επιλογή PCM

Τα χαρακτηριστικά του PCM RT20 και του μπετόν έχουν δοθεί στον Πίνακα 5.2.2.1.1. Τα χαρακτηριστικά των δυο νέων προς εξέταση PCM του RT27 και του SP25A8 έχουν δοθεί στον Πίνακα 5.2.4.1.1

C. Προσομοίωση της αλλαγής φάσης

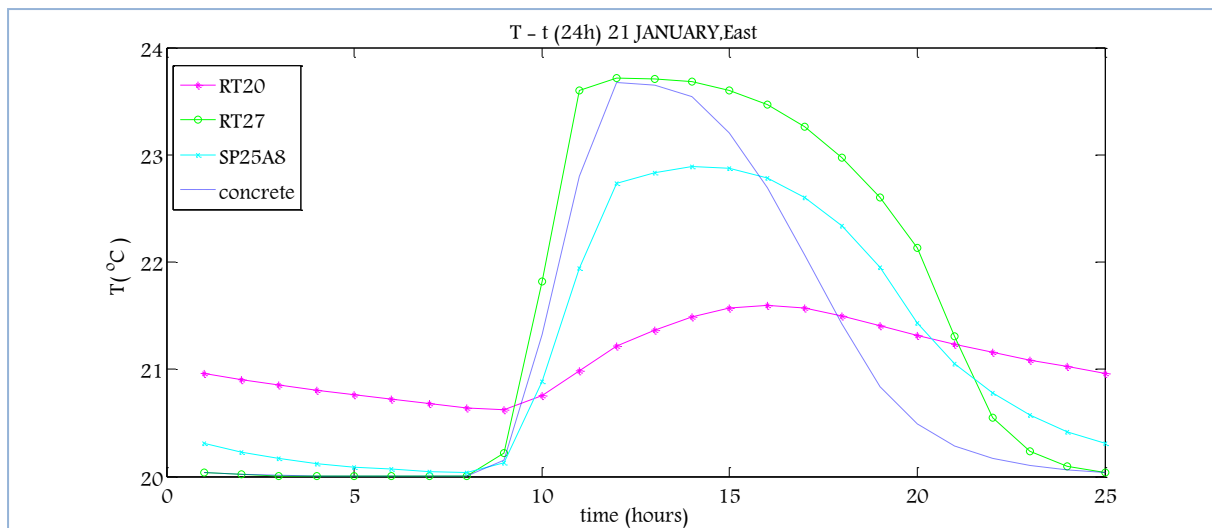
Για την προσομοίωση της αλλαγής φάσης, επιλέγεται η τριγωνική μορφή της μεθόδου της ενεργούς θερμοχωρητικότητας, η οποία έχει περιγραφεί στην ενότητα 5.2.1 και η μορφή της καμπύλης έχει απεικονιστεί στο Διάγραμμα 5.2.2.1.1 για το RT20, στο Διάγραμμα 5.2.4.1.2 για το RT27 και στο Διάγραμμα 5.2.4.1.3 για το SP25A8.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

D. Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν

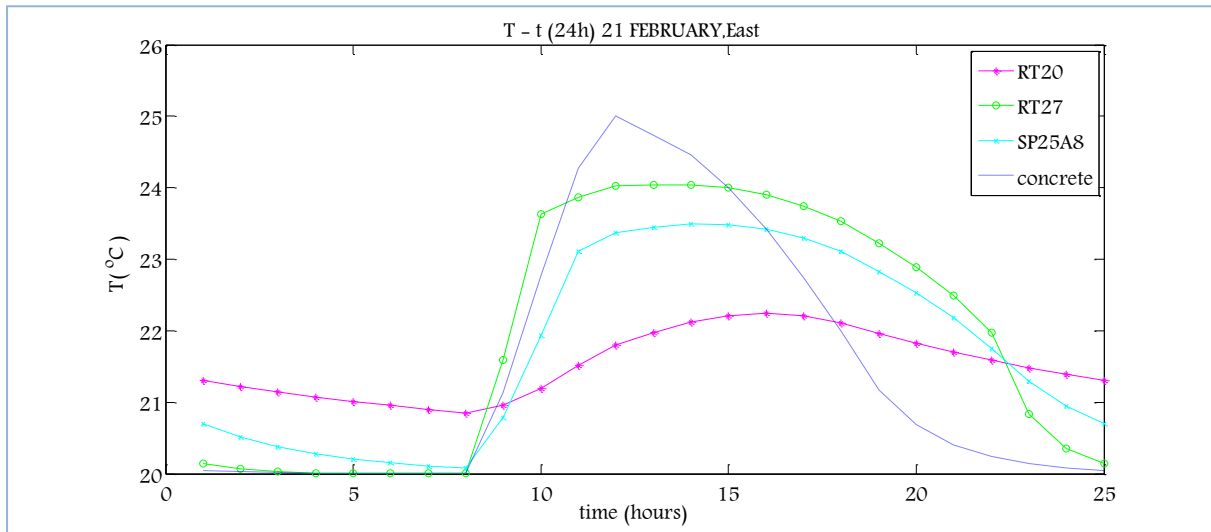
Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει το κάθε ένα από τα εξεταζόμενα PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν, την 21^η μέρα κάθε μήνα υπολογίζονται από τις σχέσεις (5.3.2.1.1) και (5.3.2.1.2) αντίστοιχα. Για την εύρεση της κατανομής της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο μπετόν ακολουθείται η επαναληπτική διαδικασία η οποία παρουσιάστηκε στην ενότητα (5.2.2.1-D Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν).

Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του εκάστοτε PCM συναρτήσει της ώρας για όλο το 24ωρο την 21^η μέρα κάθε μήνα του έτους καθώς επίσης και η αντίστοιχη μεταβολή της θερμοκρασίας του μπετόν.

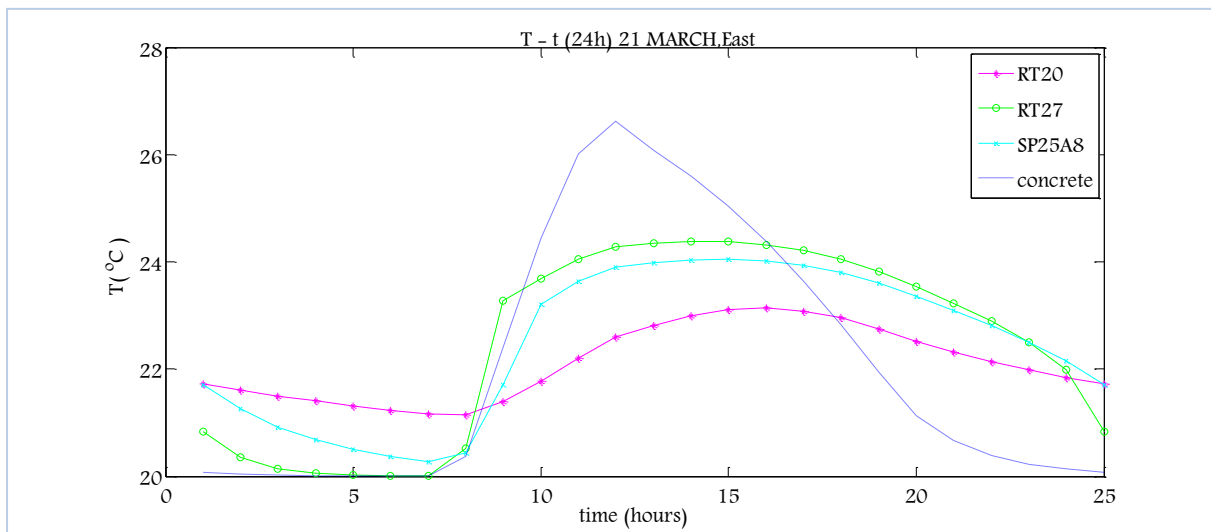


Διάγραμμα 5.3.3.2.1: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιανουαρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

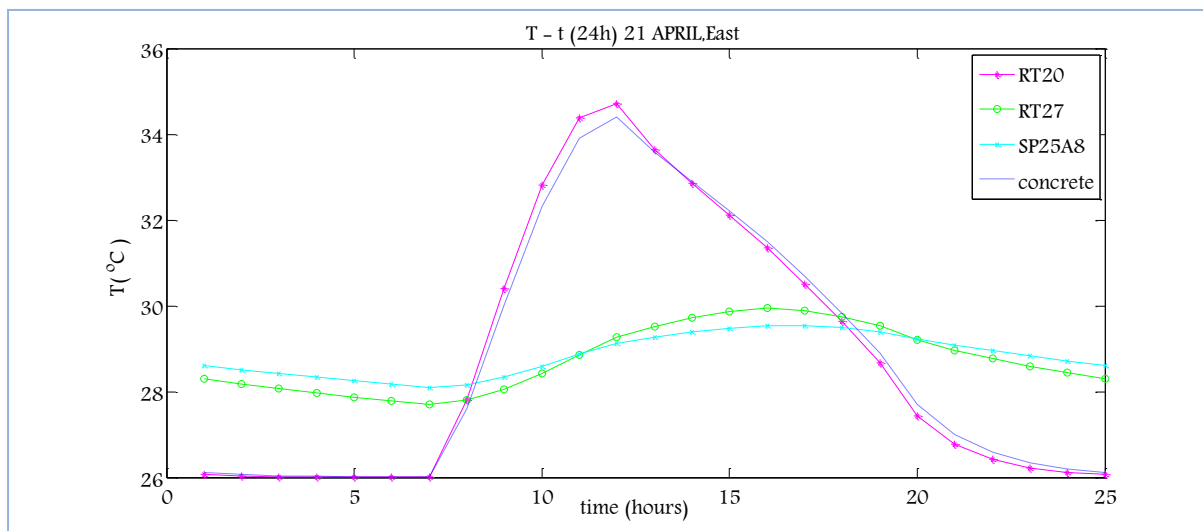


Διάγραμμα 5.3.3.2.2: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Φεβρουαρίου για ένα 24ωρο

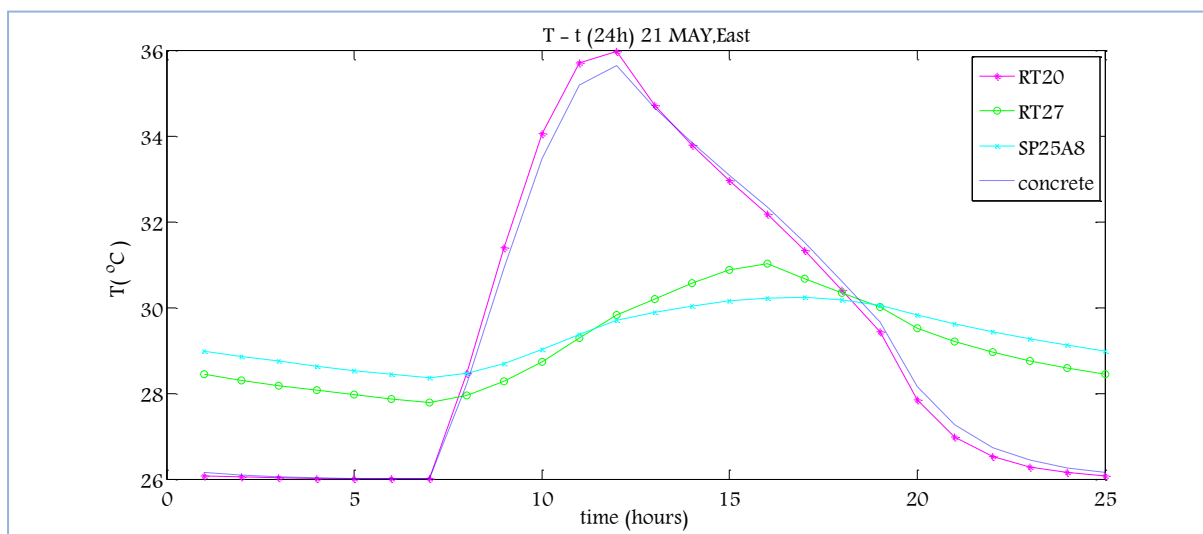


Διάγραμμα 5.3.3.2.3: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαρτίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

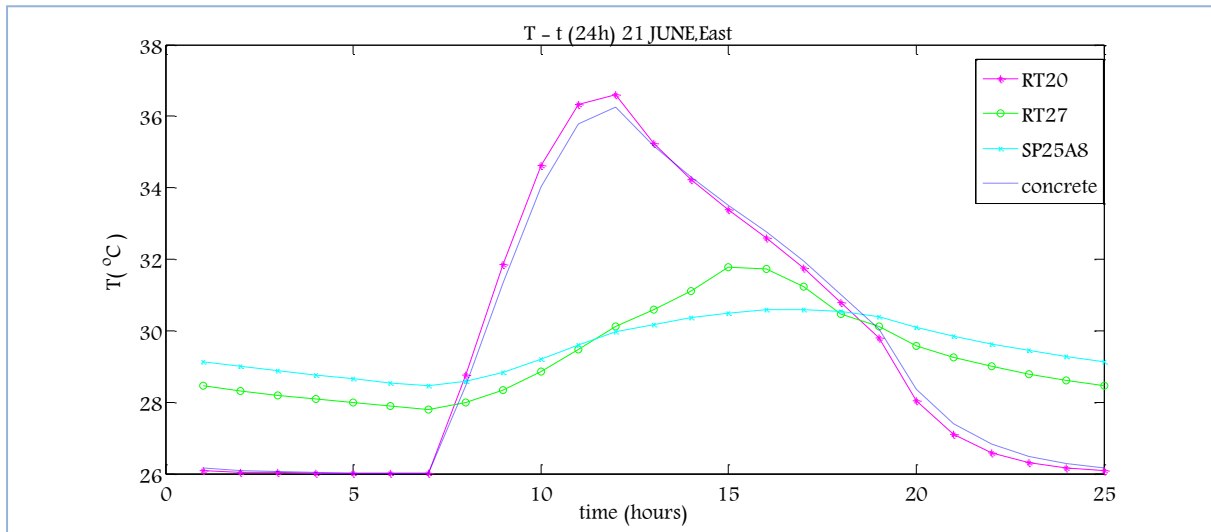


Διάγραμμα 5.3.3.2.4: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Απριλίου για ένα 24ωρο

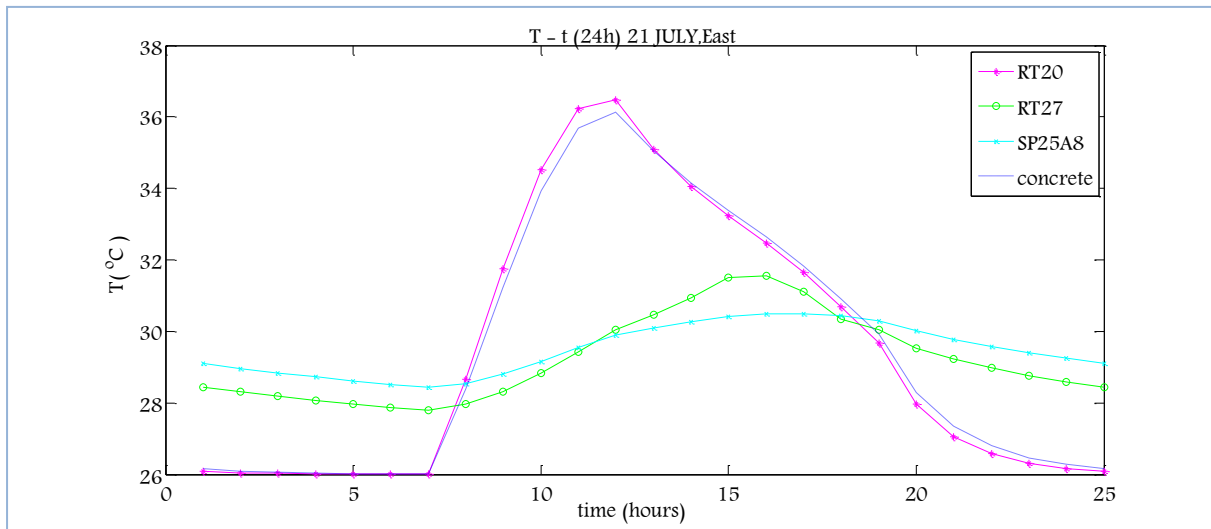


Διάγραμμα 5.3.3.2.5: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαΐου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

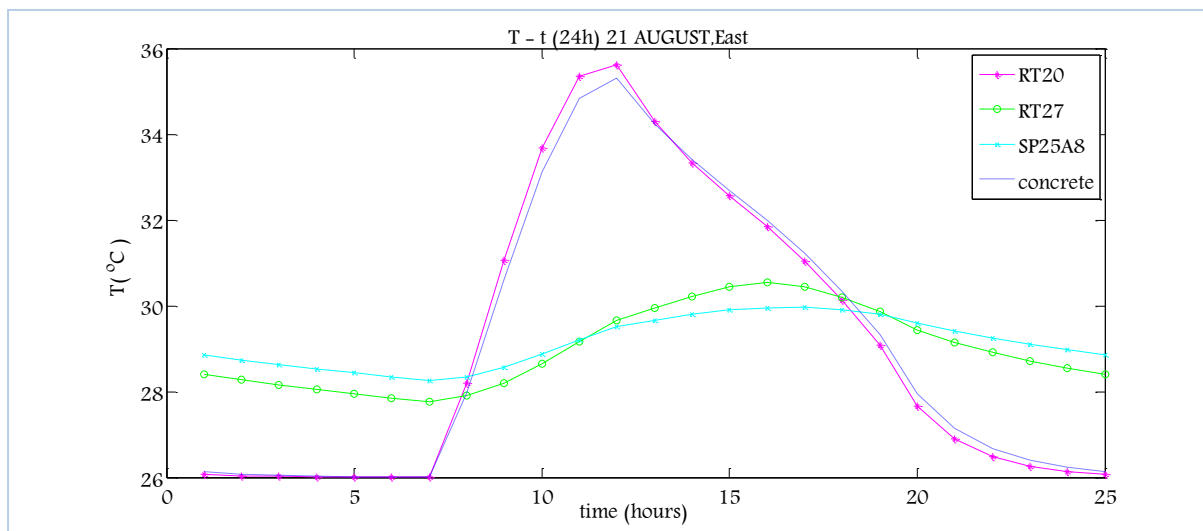


Διάγραμμα 5.3.3.2.6: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουνίου για ένα 24ωρο

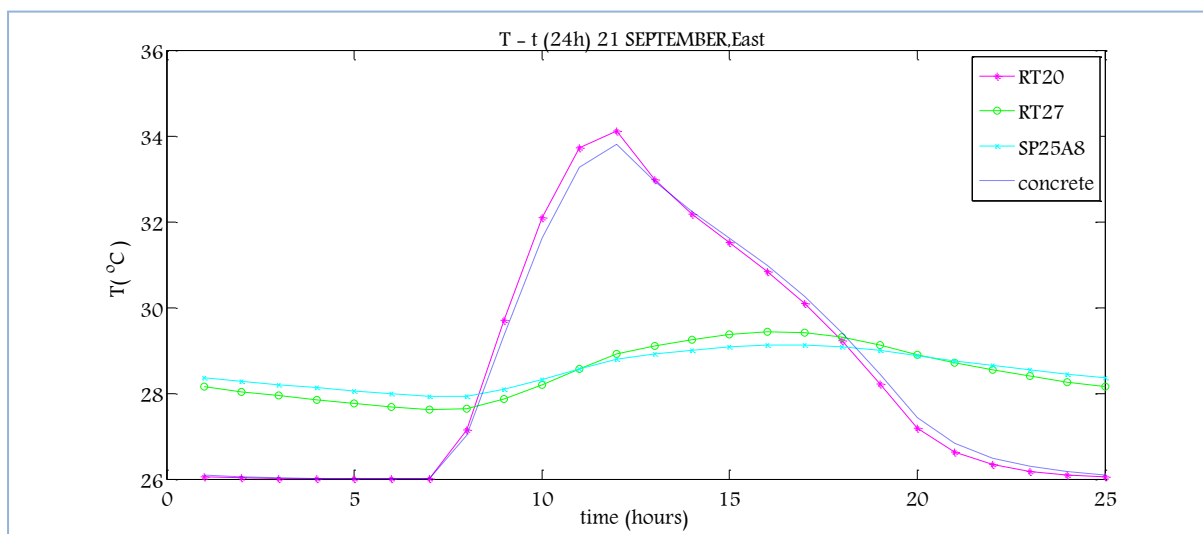


Διάγραμμα 5.3.3.2.7: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουλίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

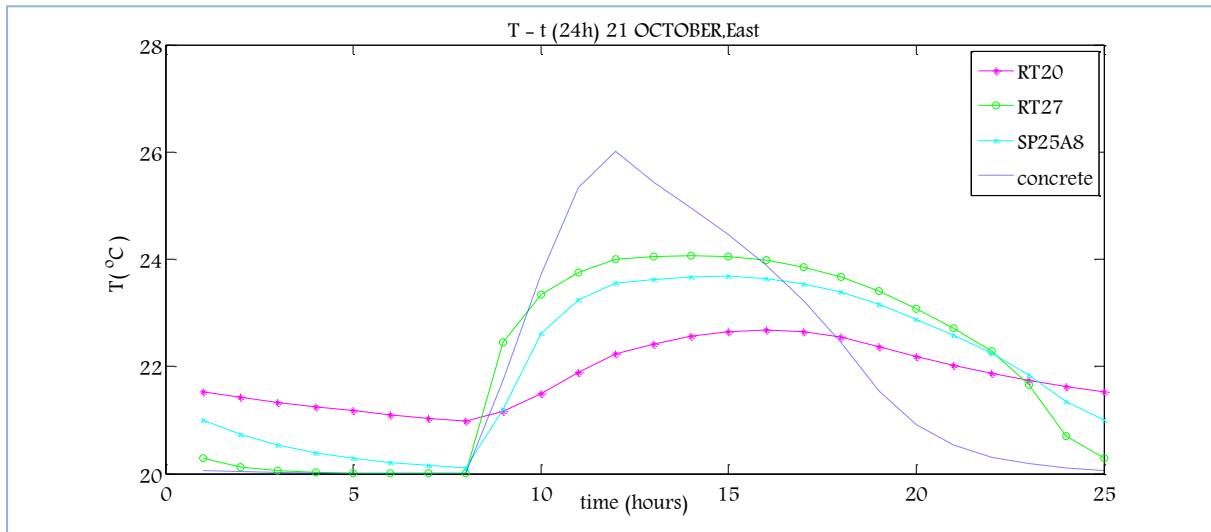


Διάγραμμα 5.3.3.2.8: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Αυγούστου για ένα 24ωρο

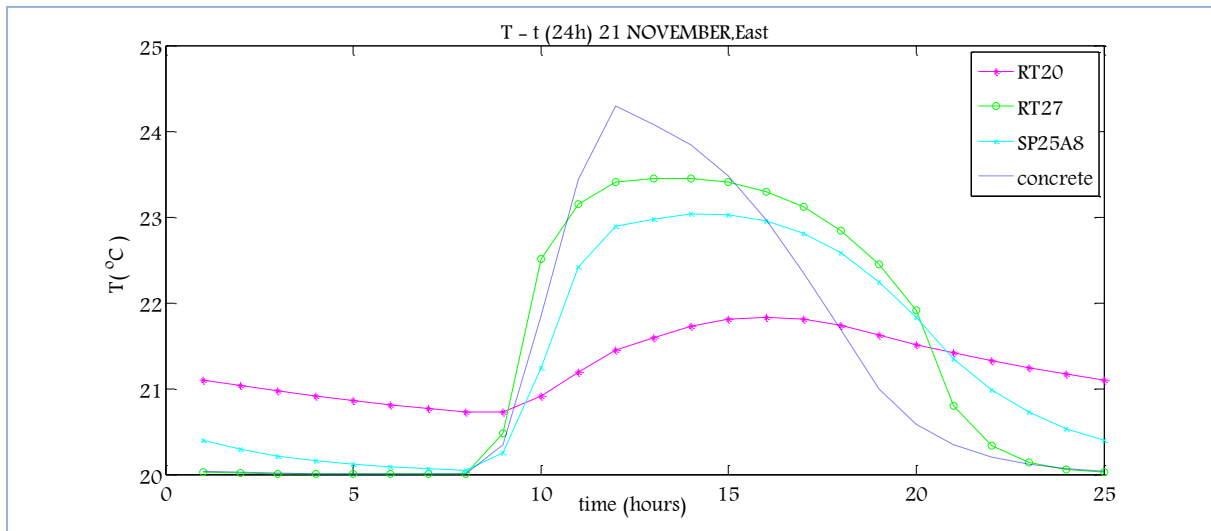


Διάγραμμα 5.3.3.2.9: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Σεπτεμβρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

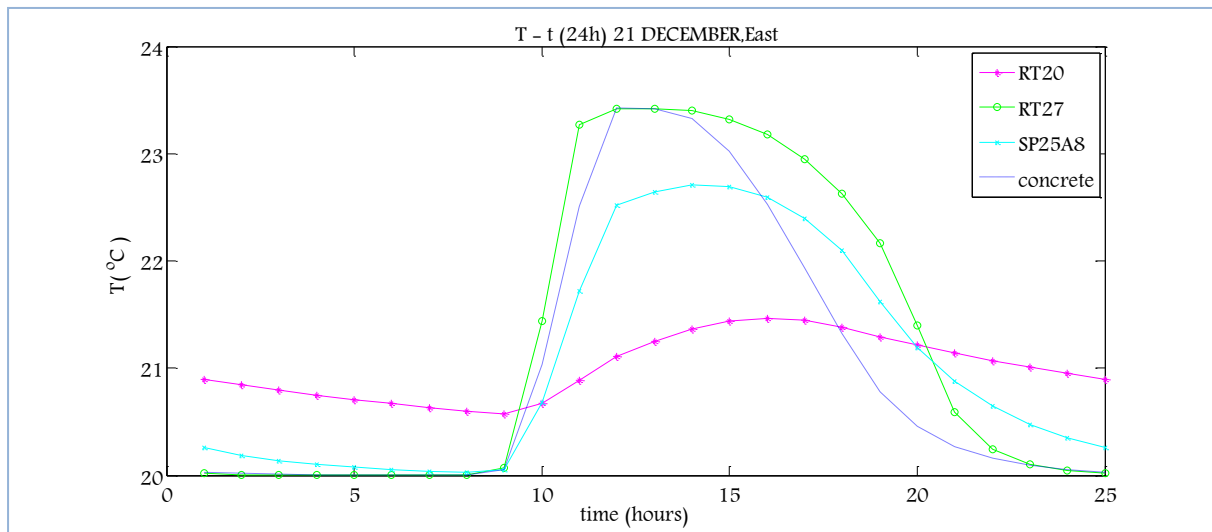


Διάγραμμα 5.3.3.2.10: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Οκτωβρίου για ένα 24ωρο



Διάγραμμα 5.3.3.2.11: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Νοεμβρίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)



Διάγραμμα 5.3.3.2.12: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Δεκεμβρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Όπως ήταν αναμενόμενο, μειώθηκαν οι μέγιστες και οι ελάχιστες θερμοκρασίες των PCMs σε σύγκριση με την περίπτωση του μονωμένου τοίχου. Όσον αφορά τα PCMs στην παρούσα μελέτη εμφανίζουν μικρότερα θερμοκρασιακά εύρη σε σύγκριση με την περίπτωση του μονωμένου τοίχου.

Ε. ΒΑΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΙ ΣΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ

Προκειμένου να έχουμε ένα ποσοτικό έλεγχο της απόδοσης του PCM για την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους, για όλα τα εξεταζόμενα πάχη, κρίθηκε αναγκαίος ο υπολογισμός του βαθμού χρησιμοποίησης του PCM. Ο βαθμός χρησιμοποίησης υπολογίζεται από την σχέση (5.2.2.1.3) και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζεται και η θερμότητα που αποθηκεύει κάθε ένα από τα εξεταζόμενα πάχη PCM την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους.

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ**

**Πίνακας 5.3.3.2.1: Η θερμότητα που αποθηκεύει το εκάστοτε PCM και ο βαθμός
χρησιμοποίησης του**

| 21 ^η ημέρα μήνα | RT20 | | | | RT27 | | | | SP25A8 | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------|
| | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% |
| ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ | 21,59 | 20,63 | 18,63 | 14,10 | 23,71 | 20 | 18,22 | 10,88 | 22,89 | 20,04 | 9,25 | 6,54 |
| ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ | 22,24 | 20,85 | 24,89 | 18,85 | 24,05 | 20 | 23,57 | 14,08 | 23,5 | 20,08 | 14,07 | 9,95 |
| ΜΑΡΤΙΟΣ | 23,14 | 21,14 | 31,70 | 24,00 | 24,38 | 20 | 29,66 | 17,72 | 24,05 | 20,27 | 19,51 | 13,79 |
| ΑΠΡΙΛΙΟΣ | 34,7 | 26 | 21,75 | 16,46 | 29,94 | 27,71 | 40,28 | 24,07 | 29,53 | 28,1 | 24,72 | 17,47 |
| ΜΑΪΟΣ | 35,96 | 26 | 24,90 | 18,85 | 31,01 | 27,79 | 44,77 | 26,74 | 30,23 | 28,35 | 28,39 | 20,06 |
| ΙΟΥΝΙΟΣ | 36,6 | 26 | 26,50 | 20,06 | 31,77 | 27,8 | 46,25 | 27,63 | 30,6 | 28,45 | 30,18 | 21,33 |
| ΙΟΥΛΙΟΣ | 36,49 | 26 | 26,23 | 19,85 | 31,55 | 27,79 | 45,96 | 27,46 | 30,5 | 28,43 | 29,63 | 20,94 |
| ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ | 36,63 | 26 | 26,58 | 20,12 | 30,54 | 27,77 | 43,45 | 25,95 | 29,97 | 28,26 | 27,21 | 19,23 |
| ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ | 34,11 | 26 | 20,28 | 15,35 | 29,43 | 27,61 | 36,93 | 22,06 | 29,13 | 27,92 | 22,54 | 15,93 |
| ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ | 22,69 | 20,98 | 28,92 | 21,90 | 24,06 | 20 | 23,81 | 14,22 | 23,68 | 20,12 | 15,77 | 11,15 |
| ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ | 21,83 | 20,72 | 20,90 | 15,82 | 23,45 | 20 | 14,66 | 8,76 | 23,03 | 20,05 | 10,20 | 7,21 |
| ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ | 21,47 | 20,57 | 17,75 | 13,44 | 23,42 | 20 | 14,29 | 8,54 | 22,71 | 20,03 | 8,13 | 5,75 |

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Ισχύουν οι παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στην υποενότητα 5.3.2.2.

Με σύγκριση του ανωτέρω πίνακα με τον Πίνακα 5.3.2.2.1 , που αφορούσε την περίπτωση μονωμένου τοίχου, προκύπτει ότι τα RT27 και SP25A8 αποθηκεύουν περισσότερη θερμότητα στην παρούσα μελέτη κατά την διάρκεια των θερινών μηνών και λιγότερη θερμότητα κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών.

Το RT20, στην παρούσα μελέτη αποθηκεύει λιγότερη θερμότητα την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους σε σύγκριση με την περίπτωση μονωμένου τοίχου που δέχεται ακτινοβολία από υαλοπίνακα ανατολικού προσανατολισμού.

4.3.3.3 Εσωτερικός τοίχος έναντι υαλοπίνακα δυτικού προσανατολισμού

A. Υπολογισμός προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για την 21^η ημέρα κάθε μήνα καθώς επίσης και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της έχουν παρουσιαστεί στην ενότητα 5.1 . Στην εξεταζόμενη παραμετρική μελέτη λαμβάνονται υπόψη οι τιμές της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου που έχουν υπολογιστεί για ανατολικό προσανατολισμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

B. Επιλογή PCM

Τα χαρακτηριστικά του PCM RT20 και του μπετόν έχουν δοθεί στον Πίνακα 5.2.2.1.1. Τα χαρακτηριστικά των δυο νέων προς εξέταση PCM του RT27 και του SP25A8 έχουν δοθεί στον Πίνακα 5.2.4.1.1

C. Προσομοίωση της αλλαγής φάσης

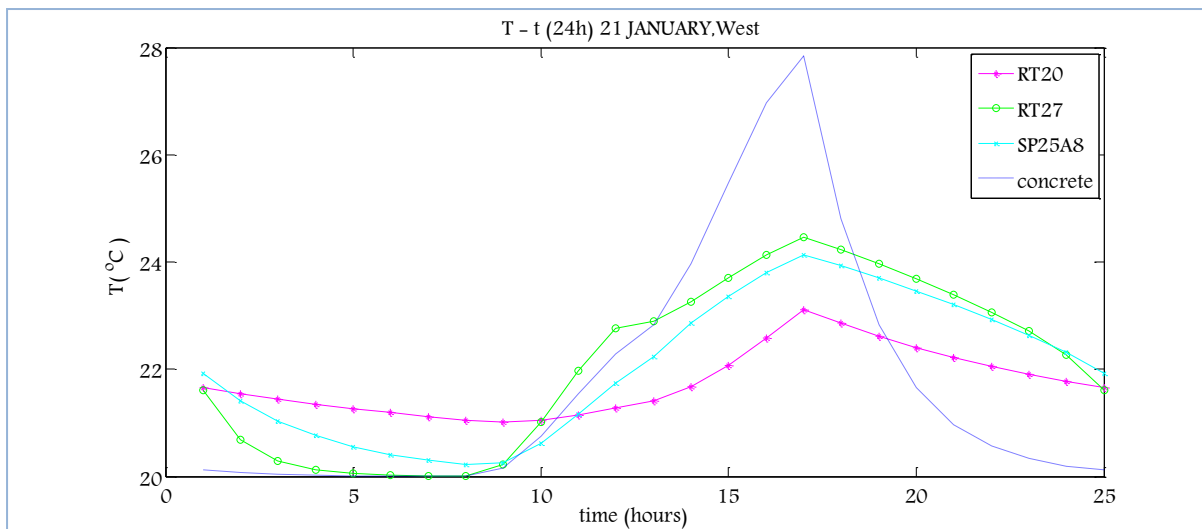
Για την προσομοίωση της αλλαγής φάσης, επιλέγεται η τριγωνική μορφή της μεθόδου της ενεργούς θερμοχωρητικότητας, η οποία έχει περιγραφεί στην ενότητα 5.2.1 και η μορφή της καμπύλης έχει απεικονιστεί στο Διάγραμμα 5.2.2.1.1 για το RT20, στο Διάγραμμα 5.2.4.1.2 για το RT27 και στο Διάγραμμα 5.2.4.1.3 για το SP25A8.

D. Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν

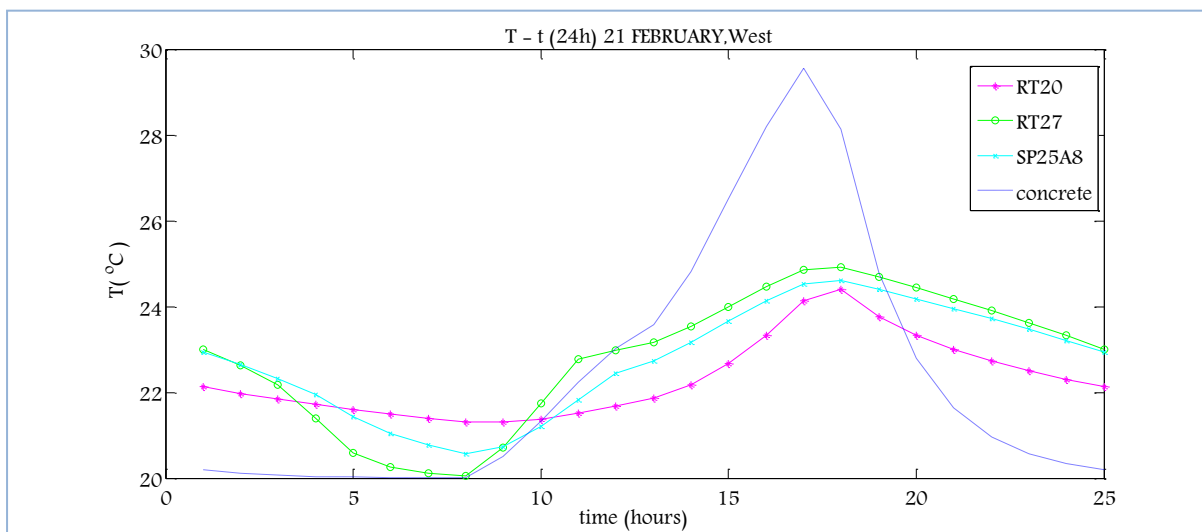
Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει το κάθε ένα από τα εξεταζόμενα PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν, την 21^η μέρα κάθε μήνα υπολογίζονται από τις σχέσεις (5.3.2.1.1) και (5.3.2.1.2) αντίστοιχα. Για την εύρεση της κατανομής της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο μπετόν ακολουθείται η επαναληπτική διαδικασία η οποία παρουσιάστηκε στην ενότητα (5.2.2.1-D Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν).

Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του εκάστοτε PCM συναρτήσει της ώρας για όλο το 24ωρο την 21^η μέρα κάθε μήνα του έτους καθώς επίσης και οι αντίστοιχες μεταβολές της θερμοκρασίας του μπετόν.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

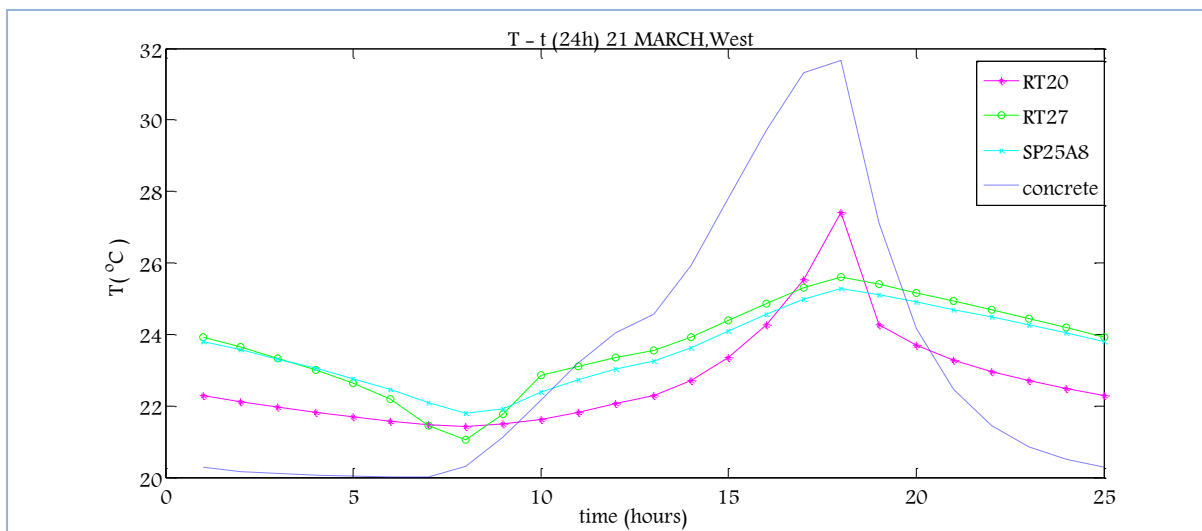


Διάγραμμα 5.3.3.3.1: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιανουαρίου για ένα 24ωρο

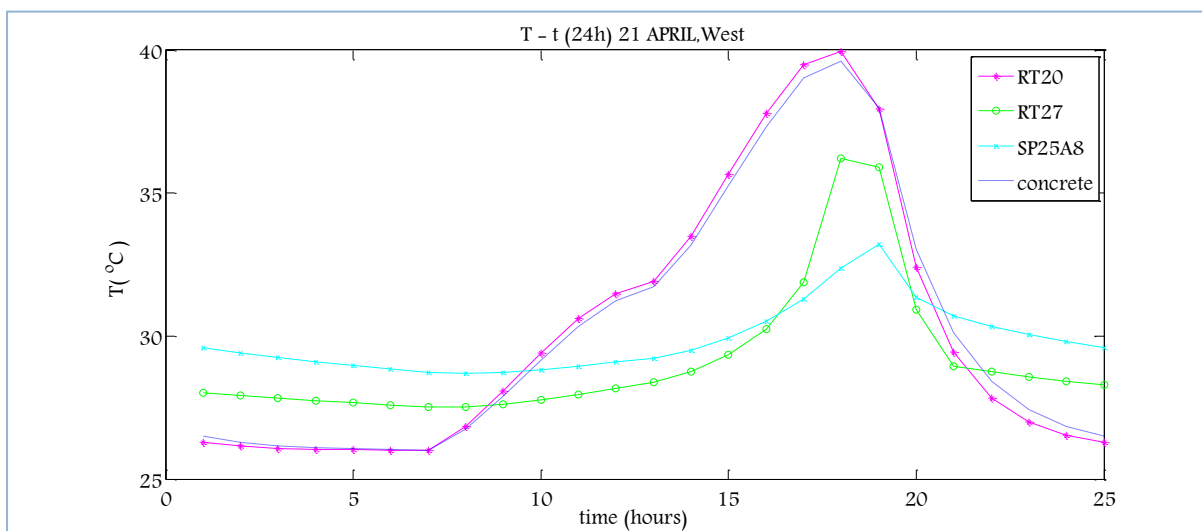


Διάγραμμα 5.3.3.3.2: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Φεβρουαρίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

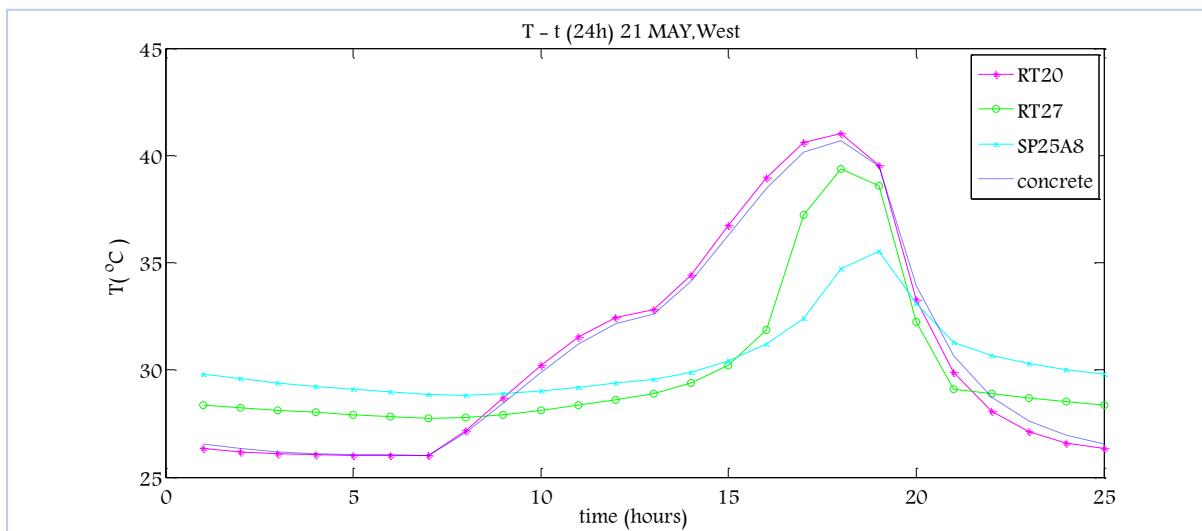


Διάγραμμα 5.3.3.3: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαρτίου για ένα 24ωρο

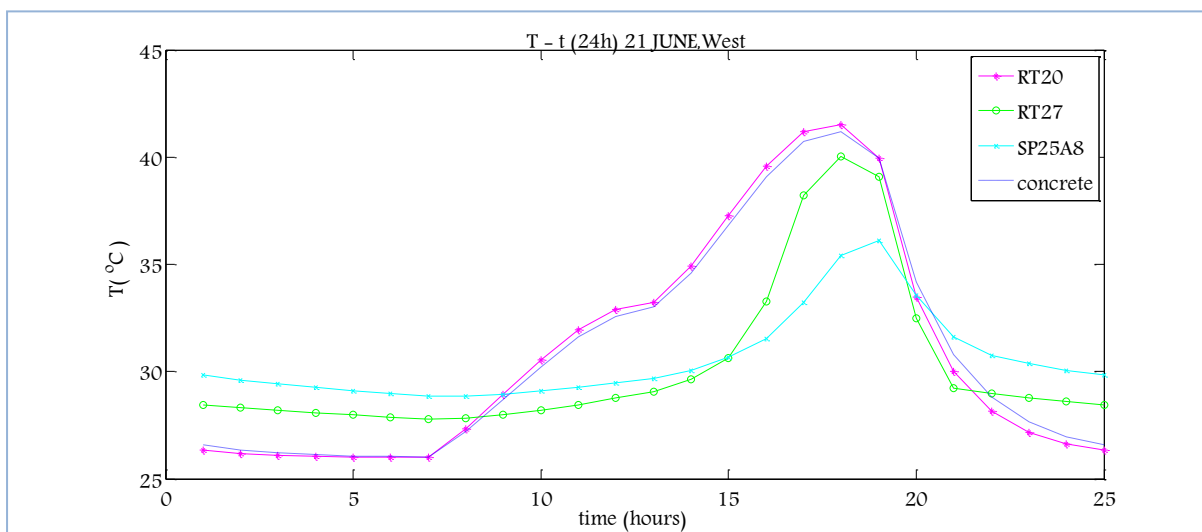


Διάγραμμα 5.3.3.4: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Απριλίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

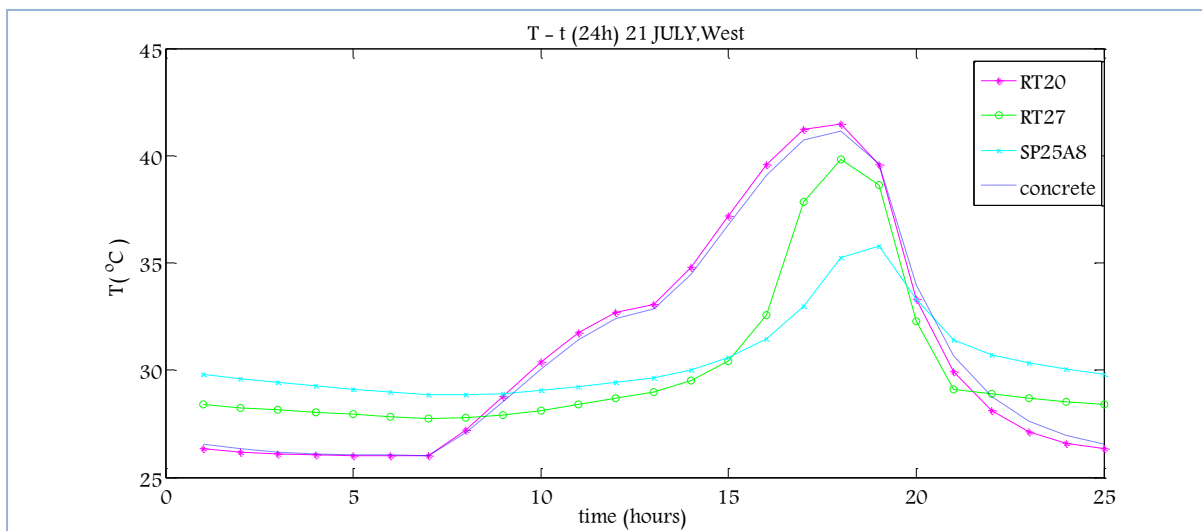


Διάγραμμα 5.3.3.3.5: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαΐου για ένα 24ωρο

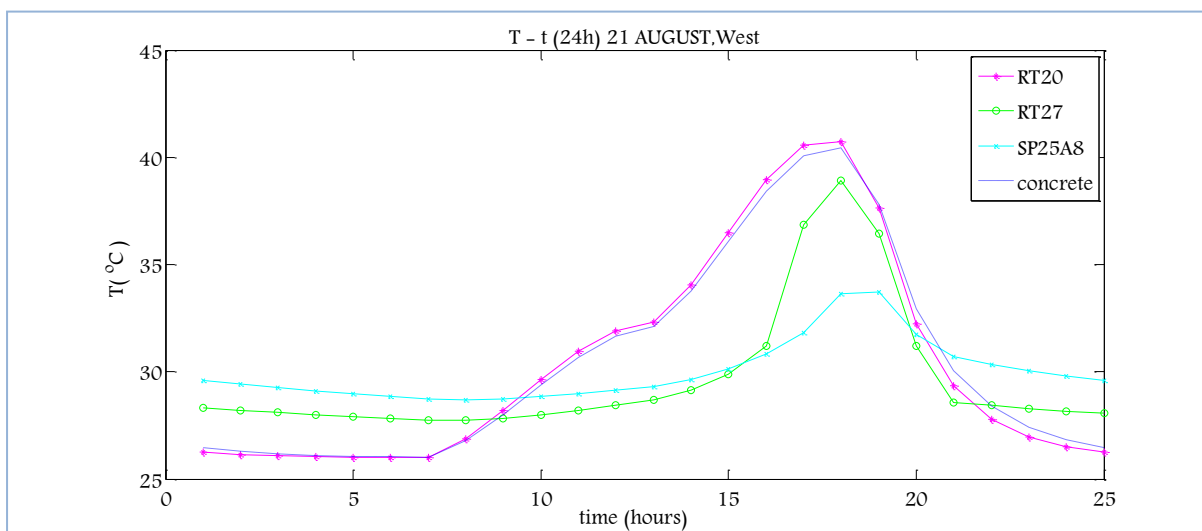


Διάγραμμα 5.3.3.3.6: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουνίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

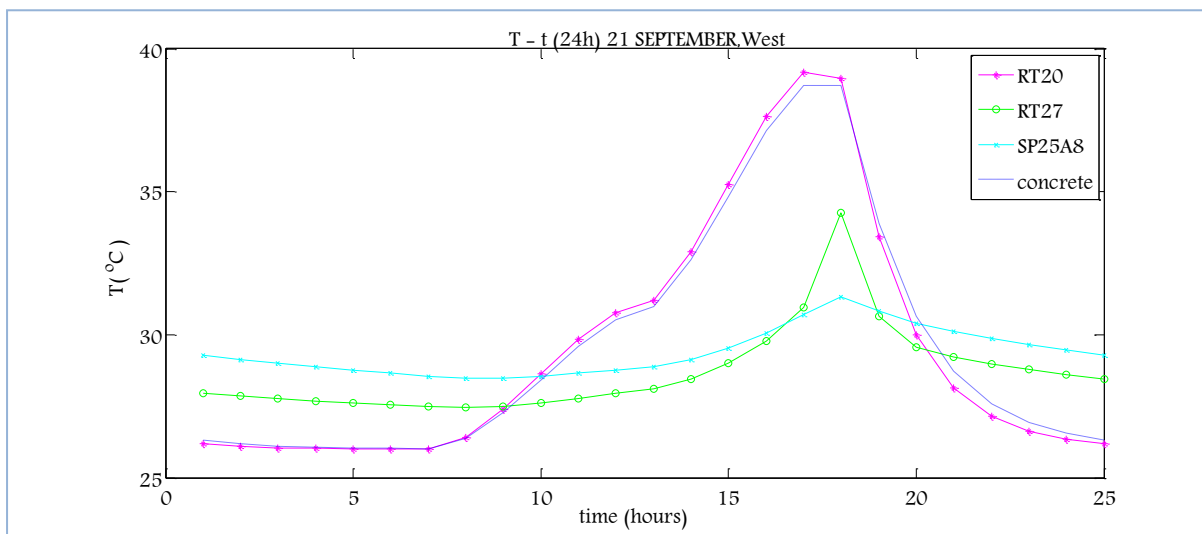


Διάγραμμα 5.3.3.3.7: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουλίου για ένα 24ωρο

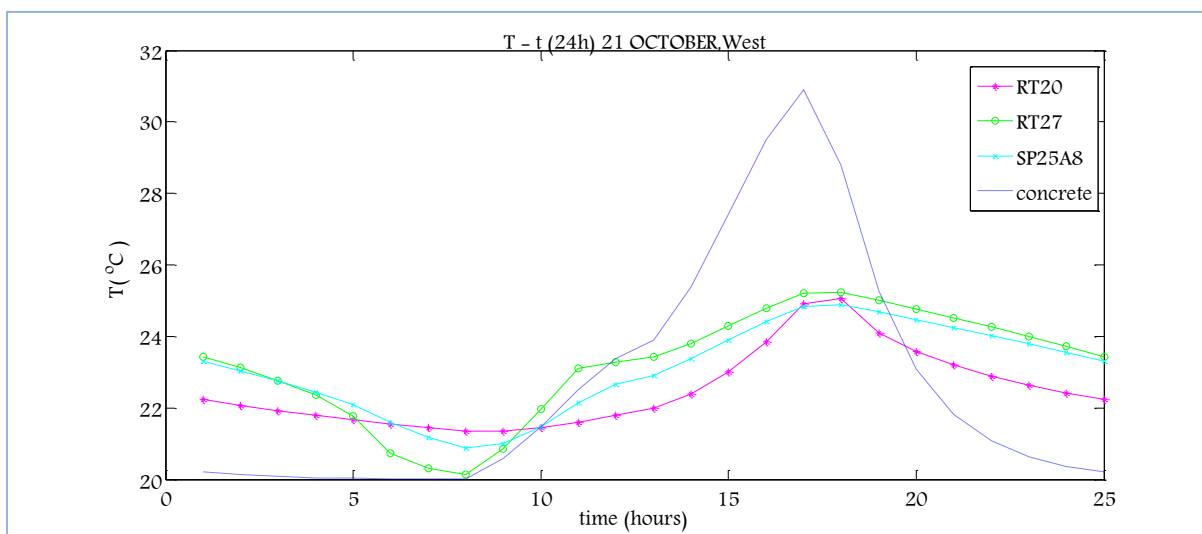


Διάγραμμα 5.3.3.3.8: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Αυγούστου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

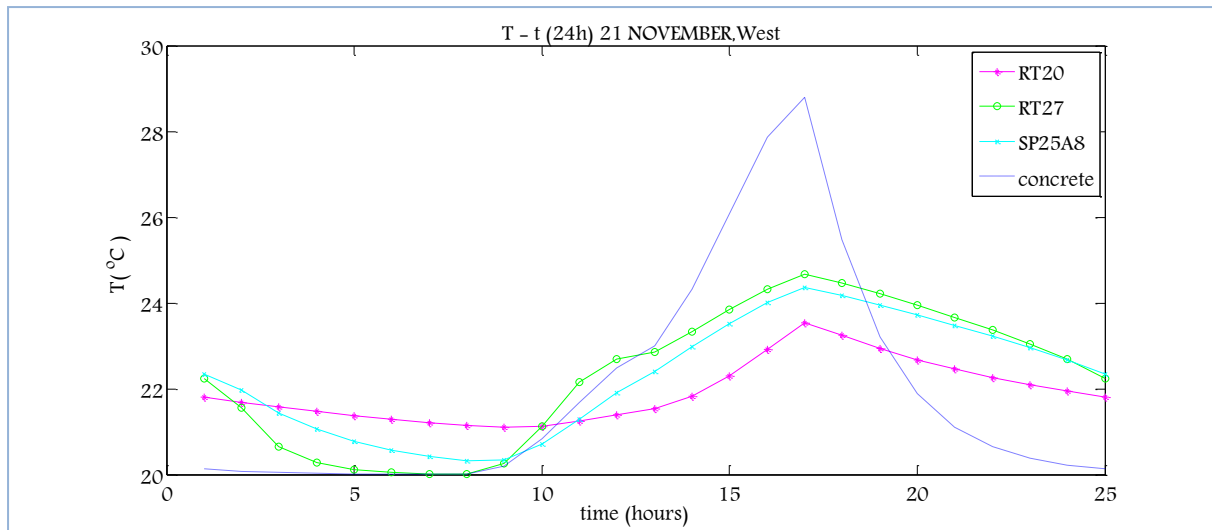


Διάγραμμα 5.3.3.3.9: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Σεπτεμβρίου για ένα 24ωρο

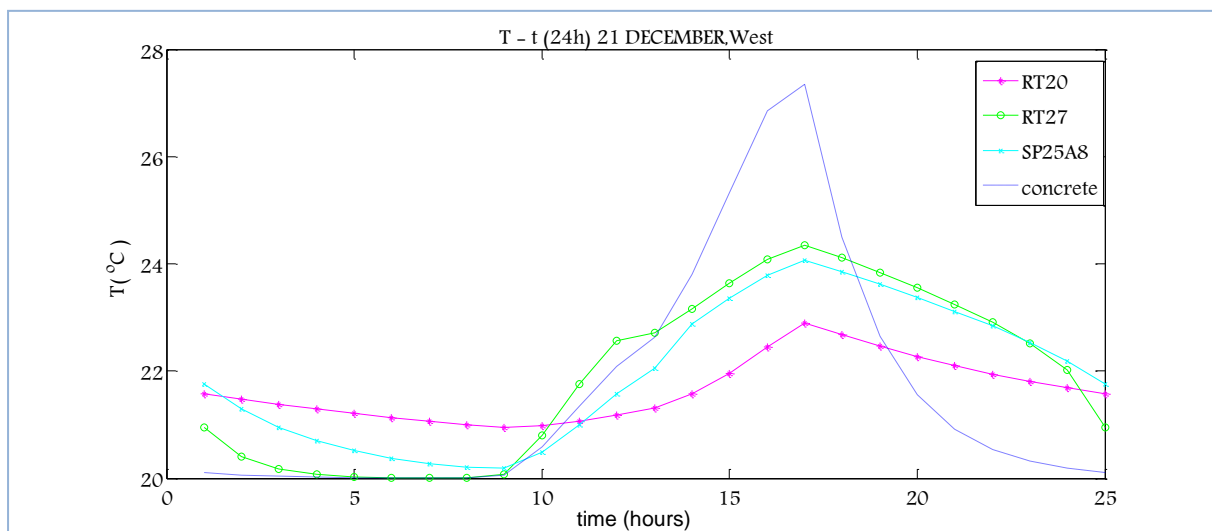


Διάγραμμα 5.3.3.3.10: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Οκτωβρίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)



Διάγραμμα 5.3.3.11: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Νοεμβρίου για ένα 24ωρο



Διάγραμμα 5.3.3.12: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Δεκεμβρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Όπως ήταν αναμενόμενο, μειώθηκαν οι μέγιστες και οι ελάχιστες θερμοκρασίες των PCMs σε σύγκριση με την περίπτωση του μονωμένου τοίχου. Όσον αφορά τα PCMs, στην παρούσα μελέτη το RT20 αναπτύσσει μικρότερα θερμοκρασιακά εύρη, ενώ τα RT27 και SP25A8, αναπτύσσουν μεγαλύτερα θερμοκρασιακά εύρη τον χειμώνα και μικρότερα το καλοκαίρι, σε σύγκριση με την περίπτωση του μονωμένου τοίχου.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

Ε. ΒΑΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΙ ΣΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ

Προκειμένου να έχουμε ένα ποσοτικό έλεγχο της απόδοσης του PCM για την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους, για όλα τα εξεταζόμενα PCMs, κρίθηκε αναγκαίος ο υπολογισμός του βαθμού χρησιμοποίησης τους. Ο βαθμός χρησιμοποίησης υπολογίζεται από την σχέση (5.2.2.1.3) και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζεται και η θερμότητα που αποθηκεύει κάθε ένα από τα εξεταζόμενα PCMs την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους.

Πίνακας 5.3.3.3.1: Η θερμότητα που αποθηκεύει το εκάστοτε PCM και ο βαθμός χρησιμοποίησης του

| 21 ^η ημέρα μήνα | RT20 | | | | RT27 | | | | SP25A8 | | | |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------|
| | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% |
| ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ | 23,1 | 21,01 | 33,72 | 25,53 | 24,45 | 20 | 31,08 | 18,57 | 24,13 | 20,22 | 20,67 | 14,61 |
| ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ | 24,4 | 21,3 | 41,51 | 31,42 | 24,92 | 20 | 41,35 | 24,70 | 24,61 | 20,57 | 26,24 | 18,55 |
| ΜΑΡΤΙΟΣ | 27,41 | 21,43 | 51,05 | 38,65 | 25,6 | 21,04 | 56,95 | 34,02 | 25,29 | 21,8 | 34,08 | 24,08 |
| ΑΠΡΙΛΙΟΣ | 39,94 | 26,01 | 34,83 | 26,36 | 36,22 | 27,52 | 63,88 | 38,16 | 33,2 | 28,7 | 37,10 | 26,22 |
| ΜΑΪΟΣ | 41,02 | 26,01 | 37,53 | 28,41 | 39,37 | 27,75 | 64,96 | 38,81 | 35,52 | 28,83 | 41,06 | 29,02 |
| ΙΟΥΝΙΟΣ | 41,51 | 26,01 | 38,75 | 29,33 | 40,05 | 27,79 | 65,50 | 39,13 | 36,12 | 28,86 | 42,16 | 29,80 |
| ΙΟΥΛΙΟΣ | 41,47 | 26,01 | 38,65 | 29,26 | 39,83 | 27,75 | 65,99 | 39,42 | 35,78 | 28,85 | 41,45 | 29,30 |
| ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ | 40,74 | 26,01 | 36,83 | 27,88 | 38,92 | 27,73 | 64,49 | 38,52 | 33,73 | 28,71 | 38,38 | 27,12 |
| ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ | 39,19 | 26 | 32,98 | 24,96 | 34,27 | 27,45 | 57,75 | 34,50 | 31,33 | 28,49 | 34,86 | 24,64 |
| ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ | 25,07 | 21,36 | 45,04 | 34,09 | 25,23 | 20,13 | 48,73 | 29,11 | 24,89 | 20,87 | 29,71 | 21,00 |
| ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ | 23,54 | 21,09 | 30,86 | 23,36 | 24,68 | 20,01 | 35,82 | 21,40 | 24,37 | 20,31 | 23,52 | 16,62 |
| ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ | 22,9 | 20,95 | 32,35 | 24,49 | 24,34 | 20 | 28,90 | 17,26 | 24,06 | 20,18 | 19,90 | 14,07 |

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

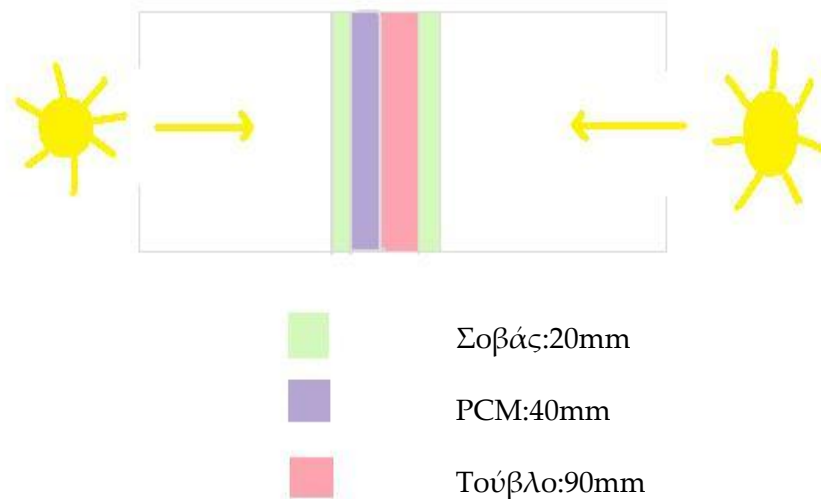
Ισχύουν οι παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στην υποενότητα 5.3.2.3.

Με σύγκριση του ανωτέρω πίνακα με τον Πίνακα 5.3.2.3.1, που αφορούσε την περίπτωση μονωμένου τοίχου, προκύπτει ότι το RT27 αποθηκεύει περισσότερη θερμότητα στην παρούσα μελέτη κατά την διάρκεια των θερινών μηνών και λιγότερη θερμότητα κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών. Το RT20, στην παρούσα μελέτη αποθηκεύει περισσότερη θερμότητα κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών σε σύγκριση με την περίπτωση μονωμένου τοίχου που δέχεται ακτινοβολία από υαλοπίνακα ανατολικού προσανατολισμού. Το SP25A8, αποθηκεύει λιγότερη θερμότητα σχεδόν όλους τους μήνες σε σύγκριση με την περίπτωση μονωμένου τοίχου. Οι διαφορές βέβαια είναι μηδαμινές.

5.4 Παραμετρικές μελέτες για συναλλαγή με 2 δωμάτια (2 υαλοπίνακες)

5.4.1 Περιγραφή εξεταζόμενης μελέτης

Τα εξεταζόμενα δωμάτια βρίσκονται στην περιοχή της Αθήνας, με κοινές διαστάσεις 4 m x 3 m x 3 m. Απέναντι από τον εσωτερικό τοίχο, υπάρχουν υαλοπίνακες (ανατολικός-δυτικός), κοινών διαστάσεων 1.5 m x 2m.



Παραδοχές:

- ✓ Η θερμοκρασία μέσα στα δωμάτια θεωρείται σταθερή και ομοιόμορφη.
- ✓ Η θερμοκρασία στο στρώμα PCM θεωρείται ομοιόμορφη.

Ισολογισμός ενέργειας στο στρώμα PCM

Η μεταβολή της θερμοκρασίας του στρώματος του PCM με το χρόνο εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στον τοίχο, από το ανατολικό και τον δυτικό υαλοπίνακα, κατά τη διάρκεια της ημέρας, τη συναλλαγή θερμότητας με συναγωγή με τον αέρα στο εσωτερικό των δωματίων, τη συναλλαγή θερμότητας με αγωγή με τα στρώματα του σοβά και του τούβλου, καθώς και από τη μάζα και τη θερμοχωρητικότητα του ίδιου του PCM.

Ο ισολογισμός ενέργειας στο στρώμα του PCM διαμορφώνεται όπως φαίνεται ακολούθως:

$$Q_{\text{απορροφούμενη}} = Q_{\text{ακτινοβολίας}} + Q_{\text{συναγωγής,αγωγής}} \quad (5.4.1.1)$$

- **Υπολογισμός απορροφημένης ενέργειας**

Πρόκειται για την θερμότητα που απορροφάται από το στρώμα PCM και υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Q_{\text{απορροφούμενη}} = M_{\text{PCM}} * c_{\text{peff}} * (T_{\text{PCM}} - T_{\text{PCM}}^0) \quad (5.4.1.2)$$

- T_{PCM}^0 : η θερμοκρασία του PCM την χρονική στιγμή t
- T_{PCM} : η θερμοκρασία του PCM την χρονική στιγμή $t+\Delta t$
- M_{PCM} : η μάζα του επιλεγμένου PCM
- c_{peff} : είναι η ενεργός θερμοχωρητικότητα του PCM ,η τιμή της οποίας εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία του PCM

Υπολογισμός της μάζας του PCM, M_{PCM}

Η μάζα του διατιθέμενου PCM, μπορεί να προσεγγισθεί με μεγάλη ακρίβεια από την ακόλουθη σχέση:

$$M_{\text{PCM}} = \rho_{\text{PCM}} * V_{\text{PCM}} \quad (5.4.1.3)$$

- ρ_{PCM} : η πυκνότητα του επιλεγμένου PCM

Στην συγκεκριμένη μελέτη θεωρείται σταθερή και ανεξάρτητη της θερμοκρασίας του PCM

- V_{PCM} : ο όγκος του PCM

$$V_{\text{PCM}} = (\text{πλάτος τοίχου}) \times (\text{ύψος τοίχου}) \times (\text{πάχος στρώματος PCM}) \quad (5.4.1.4)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

Υπολογισμός ενεργού θερμοχωρητικότητας του PCM

Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί η τριγωνική συνάρτηση με αναλυτική έκφραση: [3]

$$C_{p,eff}(T) = \frac{4*(H-b*C_{ps})*(T-T_s)}{b^2} + C_{ps} , \text{ για } T_s \leq T \leq T_c \quad (5.4.1.5)$$

$$C_{p,eff}(T) = \frac{4*(b*C_{pl}-H)*(T-T_s-\frac{b}{2})}{b^2} + \frac{2*H}{b} - C_{pl} , \text{ για } T_c \leq T \leq T_l \quad (5.4.1.6)$$

- C_{pl} : θερμοχωρητικότητα του υγρού PCM
- C_{ps} : θερμοχωρητικότητα του στερεού PCM
- T_s : θερμοκρασία του στερεού PCM
- T_l : θερμοκρασία του υγρού PCM
- $b = (T_l - T_s)$: εύρος θερμοκρασιών
- $T_c = \frac{T_l+T_s}{2}$: το μέσον του εύρους θερμοκρασιών
- H : η θερμότητα αλλαγής φάσης

• Υπολογισμός ενέργειας που εισέρχεται λόγω συναγωγής και αγωγής

Είναι η θερμότητα που προσφέρεται από το υλικό αλλαγής φάσης στον εσωτερικό χώρο, το στρώμα του σοβά και του τούβλου και δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Q_{\text{συναγωγής,αγωγής}} = 3600 * A_{\text{τοιχου}} * U_1 * (T_{in} - T_{PCM}^o) + 3600 * A_{\text{τοιχου}} * U_2 * (T_{in} - T_{PCM}^o) \quad (5.4.1.7)$$

- $U_1 = \left(\frac{1}{h_{in}} + \frac{l_{\Sigma}}{k_{\Sigma}}\right)^{-1}$
- $U_2 = \left(\frac{1}{h_{in}} + \frac{l_{\Sigma}}{k_{\Sigma}} + \frac{l_{\tau}}{k_{\tau}}\right)^{-1}$
- $h_{in} = 8 \text{ W/m}^2\text{C}$
- $k_{\Sigma} = 0.87 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$
- $k_{\tau} = 0.78 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$
- $T_{in} = 20^{\circ}\text{C}$, για τους μήνες: Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο, Δεκέμβριο
- $T_{in} = 26^{\circ}\text{C}$, για τους μήνες: Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο
- $A_{\text{τοιχου}} = (\text{πλάτος τοίχου}) \times (\text{ύψος τοίχου})$

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

• Υπολογισμός ενέργειας που εισέρχεται λόγω ακτινοβολίας

Είναι η θερμότητα που προσπίπτει στο στρώμα του τοίχου από την ηλιακή ακτινοβολία και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Q_{\text{ακτινοβολίας}} = 3600 \cdot 0.9 \cdot (G_{\text{Τανατολής}} + G_{\text{Τδύσης}}) \cdot A_{\text{υαλοπίνακα}} \quad (5.4.1.8)$$

- $A_{\text{υαλοπίνακα}} = (\text{πλάτος υαλοπίνακα}) \times (\text{ύψος υαλοπίνακα})$
- $G_{\text{Τανατολής}}$: η προσπίπτουσα στον τοίχο ηλιακή ακτινοβολία από το ανατολικό υαλοπίνακα (ενότητα 5.1)
- $G_{\text{Τδύσης}}$: η προσπίπτουσα στον τοίχο ηλιακή ακτινοβολία από τον δυτικό υαλοπίνακα (ενότητα 5.1)

Λαμβάνοντας υπόψη ότι ένα ποσοστό της ακτινοβολίας που προσπίπτει στους υαλοπίνακες, απορροφάται από αυτούς καθώς επίσης και από τον αέρα του εσωτερικού περιβάλλοντος των δωματίων τελικά καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι στον τοίχο μελέτης προσπίπτει το 90% της αρχικής υπολογισθείσας ακτινοβολίας. Άρα θα πάρουμε ένα ποσοστό 90% της ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου για τους υπολογισμούς μας.

Ισολογισμός ενέργειας στο στρώμα μπετόν

Η μεταβολή της θερμοκρασίας του στρώματος του μπετόν με το χρόνο εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στον τοίχο, από το ανατολικό και τον δυτικό υαλοπίνακα, κατά τη διάρκεια της ημέρας, τη συναλλαγή θερμότητας με συναγωγή με τον αέρα στο εσωτερικό των δωματίων, τη συναλλαγή θερμότητας με αγωγή με τα στρώματα του σοβά και του τούβλου, καθώς και από τη μάζα και τη θερμοχωρητικότητα του ίδιου του μπετόν.

Ο ισολογισμός ενέργειας στο στρώμα του μπετόν διαμορφώνεται όπως φαίνεται ακολούθως:

$$Q_{\text{απορροφούμενη}} = Q_{\text{ακτινοβολίας}} + Q_{\text{συναγωγής,αγωγής}} \quad (5.4.1.9)$$

• Υπολογισμός απορροφημένης ενέργειας

Πρόκειται για την θερμότητα που απορροφάται από το στρώμα μπετόν και υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Q_{\text{απορροφούμενη}} = M_{\text{μπετόν}} \cdot c_{p\text{μπετόν}} \cdot (T_{\text{μπετόν}} - T_{\text{μπετόν}}^0) \quad (5.4.1.10)$$

- $T_{\text{μπετόν}}^0$: η θερμοκρασία του μπετόν την χρονική στιγμή t
- $T_{\text{μπετόν}}$: η θερμοκρασία του μπετόν την χρονική στιγμή $t+\Delta t$
- $M_{\text{μπετόν}}$: η μάζα του επιλεγμένου PCM

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

- $c_{p\text{μπετόν}}$: είναι η ενεργός θερμοχωρητικότητα του μπετόν

Υπολογισμός της μάζας του μπετόν, $M_{\text{μπετόν}}$

Η μάζα του διατιθέμενου μπετόν, μπορεί να προσεγγισθεί με μεγάλη ακρίβεια από την ακόλουθη σχέση:

$$M_{\text{μπετόν}} = \rho_{\text{μπετόν}} * V_{\text{μπετόν}} \quad (5.4.1.11)$$

- $\rho_{\text{μπετόν}}$: η πυκνότητα του επιλεγμένου μπετόν
- $V_{\text{μπετόν}}$: ο όγκος του μπετόν

$$V_{\text{μπετόν}} = (\text{πλάτος τοίχου}) \times (\text{ύψος τοίχου}) \times (\text{πάχος στρώματος μπετόν}) \quad (5.4.1.12)$$

• Υπολογισμός ενέργειας που εισέρχεται λόγω συναγωγής και αγωγής

Είναι η θερμότητα που προσφέρεται από το μπετόν στον εσωτερικό χώρο, το στρώμα του σοβά και του τούβλου και δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Q_{\text{συναγωγής,αγωγής}} = 3600 * A_{\text{τοίχου}} * U_1 * (T_{\text{in}} - T_{\text{μπετόν}}^{\circ}) + 3600 * A_{\text{τοίχου}} * U_2 * (T_{\text{in}} - T_{\text{μπετόν}}^{\circ}) \quad (5.4.1.13)$$

- $U_1 = \left(\frac{1}{h_{\text{in}}} + \frac{l_{\Sigma}}{k_{\Sigma}}\right)^{-1}$
- $U_2 = \left(\frac{1}{h_{\text{in}}} + \frac{l_{\Sigma}}{k_{\Sigma}} + \frac{l_{\tau}}{k_{\tau}}\right)^{-1}$
- $h_{\text{in}} = 8 \text{ W/m}^2\text{C}$
- $k_{\Sigma} = 0.87 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$
- $k_{\tau} = 0.78 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{in}} = 20^{\circ}\text{C}$, για τους μήνες: Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο, Δεκέμβριο
- $T_{\text{in}} = 26^{\circ}\text{C}$, για τους μήνες: Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο
- $A_{\text{τοίχου}} = (\text{πλάτος τοίχου}) \times (\text{ύψος τοίχου})$

• Υπολογισμός ενέργειας που εισέρχεται λόγω ακτινοβολίας

Είναι η θερμότητα που προσπίπτει στο στρώμα του τοίχου από την ηλιακή ακτινοβολία και υπολογίζεται από την σχέση (5.4.1.8).

5.4.2 Παραμετρική μελέτη ως προς το πάχος του στρώματος PCM

Γνωρίζουμε ότι η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία σε ανατολικό τοίχο εμφανίζεται στις 10:00, ενώ σε δυτικό τοίχο στις 16:00. Στον εξεταζόμενο τοίχο προσπίπτει ακτινοβολία από ανατολικό και δυτικό υαλοπίνακα, προκειμένου να δέχεται ηλιακή ακτινοβολία τις περισσότερες ώρες της ημέρας.

Στην παρούσα μελέτη γίνεται επιλογή ενός εμπορικού PCM, συγκεκριμένα του RT20, της εταιρείας Rubitherm. Επιλέγεται κοινό PCM με προηγούμενες αντίστοιχες παραμετρικές μελέτες με σκοπό να γίνει σύγκριση με την περίπτωση της συναλλαγής με δυο δωμάτια όπου ο τοίχος δεχόταν ακτινοβολία από ένα υαλοπίνακα. Στην ενότητα 5.4.1, είχε επιλεγεί στρώμα PCM πάχους 40 mm. Προκειμένου να εξεταστεί πώς επιδρά η μεταβολή του πάχους του στρώματος, δηλαδή η μεταβολή της μάζας του PCM στις θερμοκρασίες που αναπτύσσει και κατά συνέπεια στην απόδοση του, πραγματοποιείται αρχικά μια αύξηση των 20 mm, από το επιλεγμένο πάχος, και έπειτα μια μείωση των 20 mm από το επιλεγμένο πάχος του στρώματος. Εξετάζονται οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους, προκειμένου να αναδειχθούν τα πιθανά οφέλη του PCM σε σχέση με το σύνηθες δομικό υλικό, το μπετόν. Παρουσιάζεται επιπλέον, η θερμότητα που αποθηκεύεται σε αυτό και ο βαθμός χρησιμοποίησης του PCM με βάση την καμπύλη της ενεργού θερμοχωρητικότητας, για κάθε ένα από τα εξεταζόμενα πάχη του στρώματος PCM.

Η εξέταση θα πραγματοποιηθεί για την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους, με σκοπό να ερευνηθεί αν το επιλεγμένο PCM μπορεί να είναι αποδοτικό και να μπορεί να γίνει σύγκριση με τις παραμετρικές μελέτες στις οποίες το PCM συνάλλασε θερμότητα με δυο δωμάτια και δεχόταν ακτινοβολία από ένα μόνο υαλοπίνακα ανατολικό ή δυτικό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

A. Υπολογισμός προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για την 21^η ημέρα κάθε μήνα καθώς επίσης και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της έχουν παρουσιαστεί στην ενότητα 5.1 . Στην παρούσα παραμετρική μελέτη λαμβάνονται υπόψη οι τιμές της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου που έχουν υπολογιστεί για ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό.

B. Επιλογή PCM

Ως PCM στην εξεταζόμενη μελέτη επιλέχθηκε το RT20, όπως και στην περίπτωση του μονωμένου τοίχου. Τα χαρακτηριστικά του έχουν παρουσιαστεί στον πίνακα 5.2.2.1.1. Στον ίδιο πίνακα έχουν παρουσιαστεί και τα χαρακτηριστικά του μπετόν.

C. Προσομοίωση της αλλαγής φάσης

Για την προσομοίωση της αλλαγής φάσης, επιλέγεται η τριγωνική μορφή της μεθόδου της ενεργούς θερμοχωρητικότητας, η οποία έχει περιγραφεί στην ενότητα 5.2.1 και η μορφή της καμπύλης έχει απεικονιστεί στο Διάγραμμα 5.2.2.1.1.

D. Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν

Λαμβάνοντας υπόψη τις σχέσεις που αφορούν τον ισολογισμό ενέργειας του PCM (5.4.1.1) και του μπετόν (5.4.1.9) ,υπολογίζονται οι θερμοκρασίες που αναπτύσσουν τα δυο υλικά κατά την διάρκεια του 24ωρου την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους.

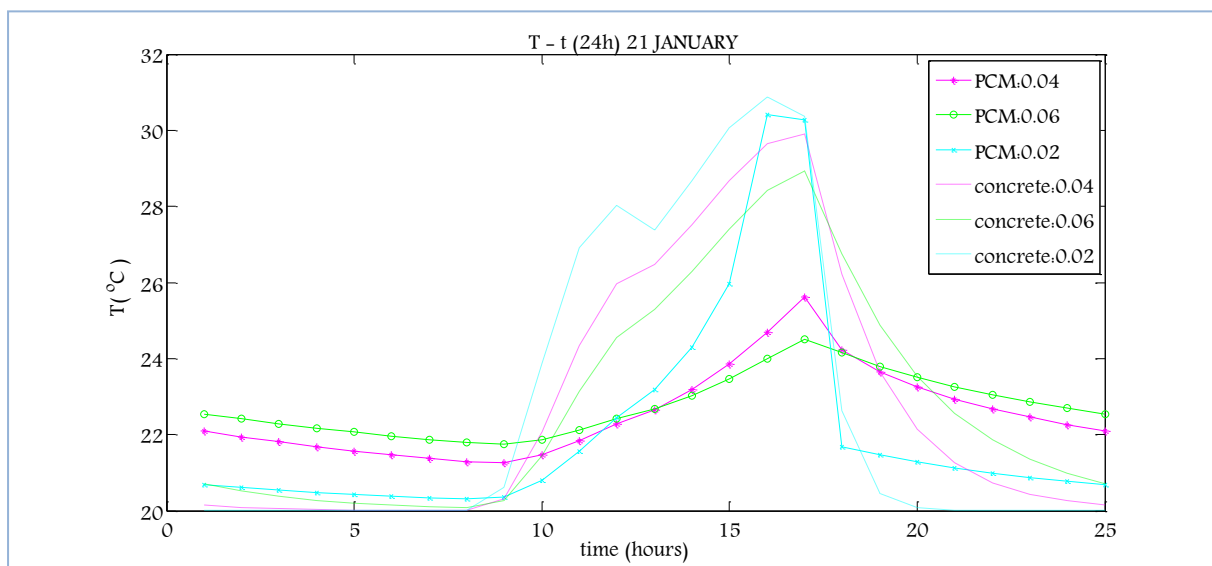
$$T_{PCM} = T_{PCM}^0 + \frac{3600 \cdot 0,9 \cdot (G_{\text{αντολής}} + G_{\text{δύσης}}) \cdot A_{\text{υαλοπίνακα}} + 3600 \cdot A_{\text{τοίχου}} \cdot U_1 \cdot (T_{\text{in}} - T_{PCM}^0) + 3600 \cdot U_2 \cdot (T_{\text{in}} - T_{PCM}^0)}{M_{PCM} \cdot c_{p,\text{eff}}(T)} \quad (5.4.2.1)$$

$$T_{\text{μπετόν}} = T_{\text{μπετόν}}^0 + \frac{3600 \cdot 0,9 \cdot (G_{\text{αντολής}} + G_{\text{δύσης}}) \cdot A_{\text{υαλοπίνακα}} + 3600 \cdot A_{\text{τοίχου}} \cdot U_{\text{τοίχου}} \cdot (T_{\text{in}} - T_{\text{μπετόν}}^0) + 3600 \cdot U_2 \cdot (T_{\text{in}} - T_{\text{μπετόν}}^0)}{M_{\text{μπετόν}} \cdot c_{p,\text{μπετόν}}} \quad (5.4.2. 2)$$

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

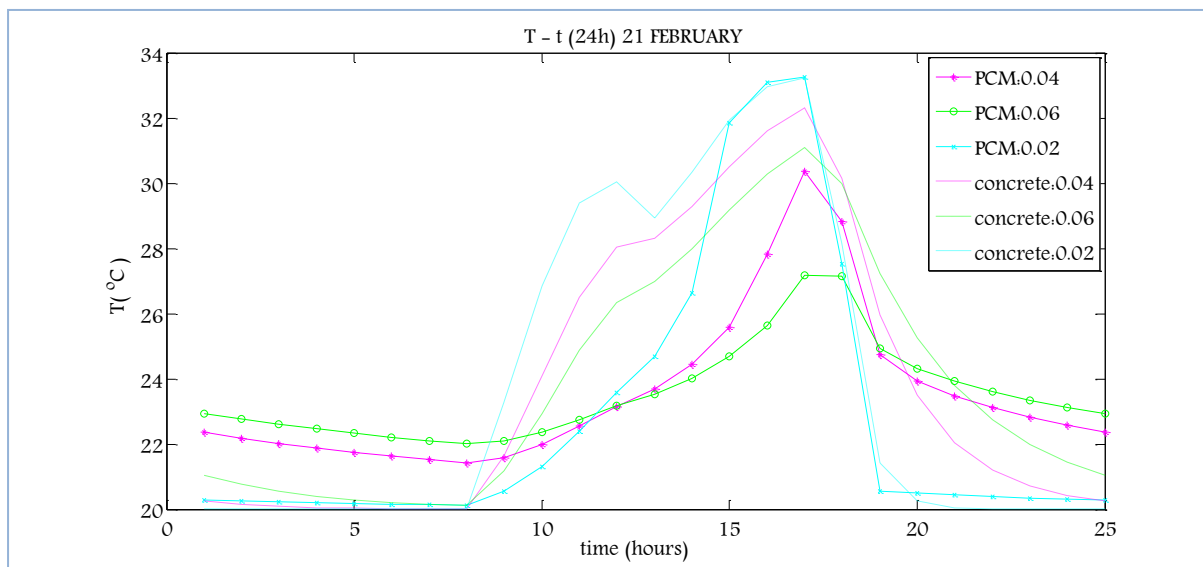
Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο μπετόν, την 21^η μέρα κάθε μήνα υπολογίζονται από τις σχέσεις (5.4.2.1) και (5.4.2.2) αντίστοιχα. Για την εύρεση της κατανομής της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο μπετόν ακολουθείται η επαναληπτική διαδικασία η οποία παρουσιάστηκε στην ενότητα (5.2.2.1-D Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν)

Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM συναρτήσει της ώρας για όλο το 24ωρο την 21^η μέρα κάθε μήνα για όλα τα πάχη στρώματος PCM που επιλέχθηκαν καθώς επίσης και οι αντίστοιχες μεταβολές της θερμοκρασίας του μπετόν. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στα διαγράμματα έχουν δοθεί οι τιμές των εξεταζόμενων παχών σε m.

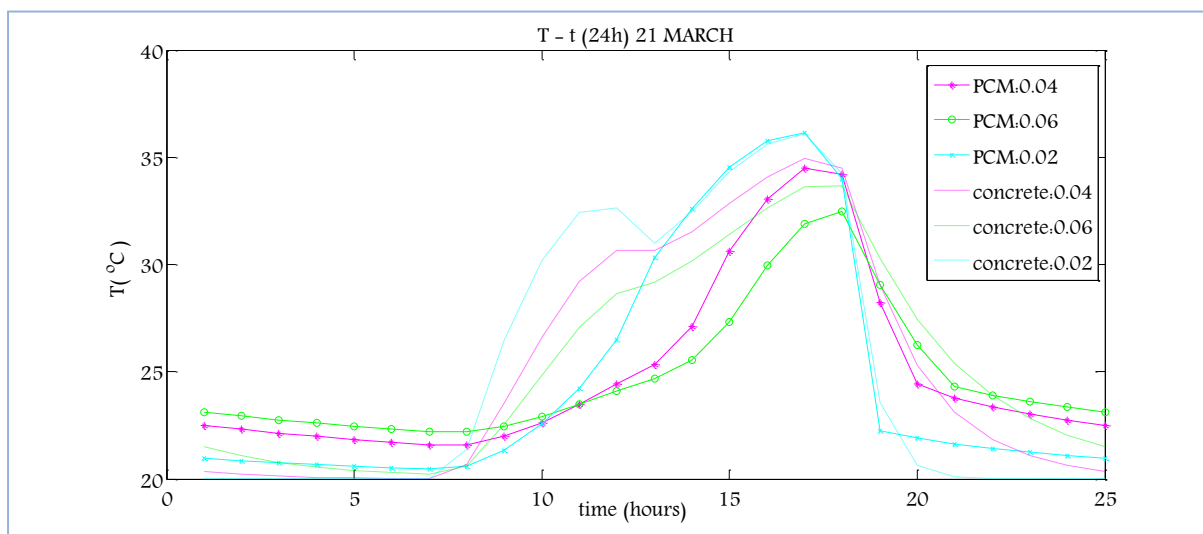


Διάγραμμα 5.4.2.1: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιανουαρίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

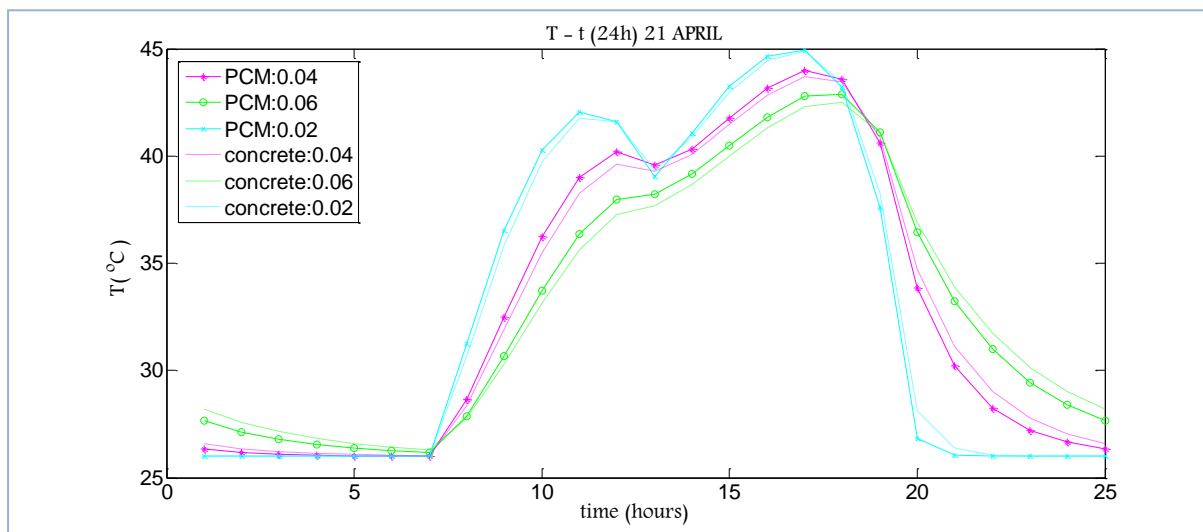


Διάγραμμα 5.4.2.2: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Φεβρουαρίου για ένα 24ωρο

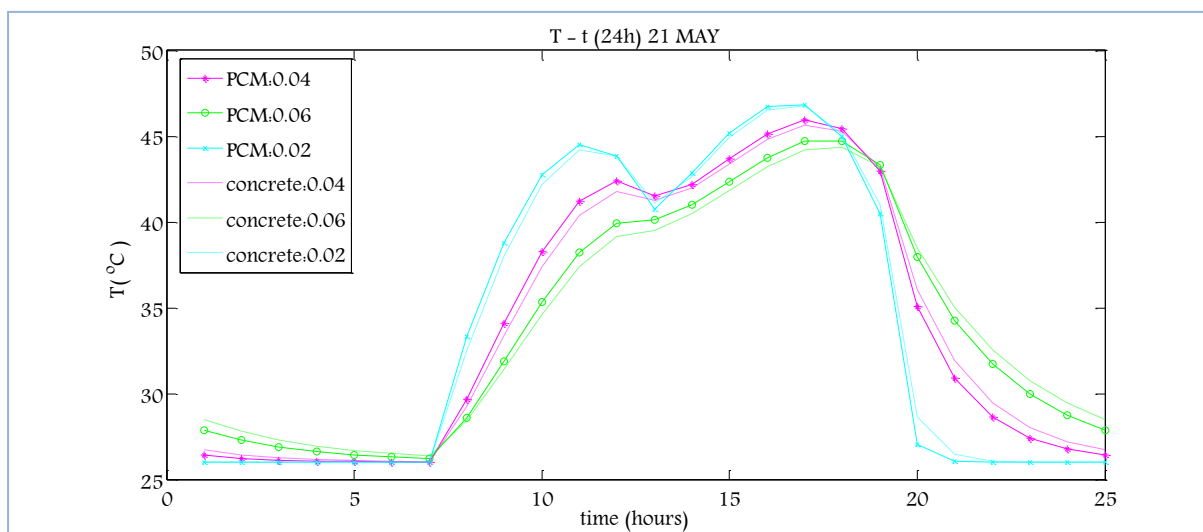


Διάγραμμα 5.4.2.3: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαρτίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

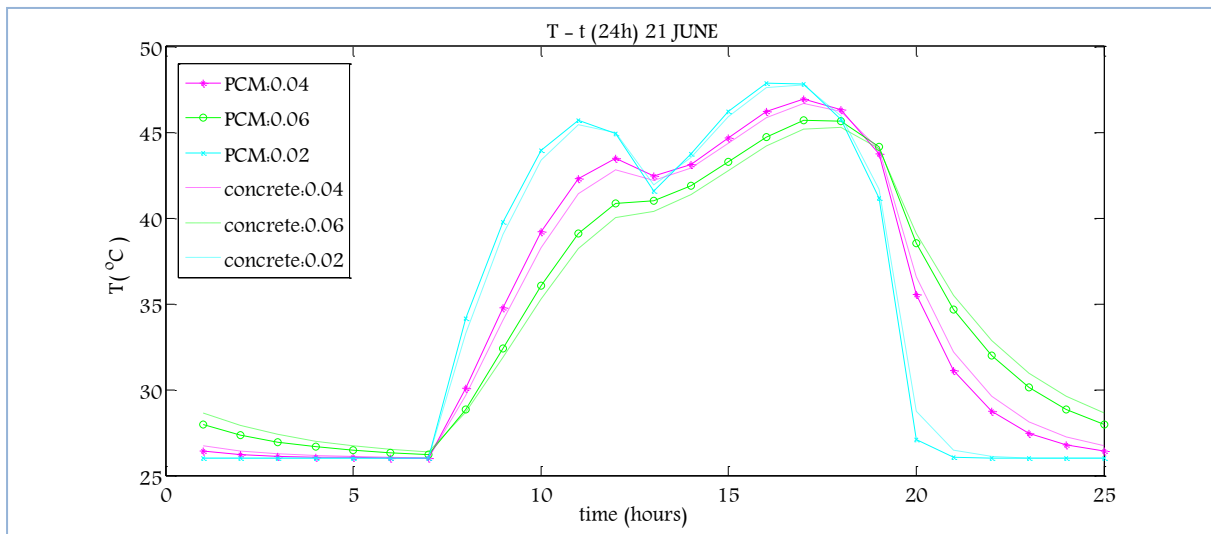


Διάγραμμα 5.4.2.4: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Απριλίου για ένα 24ωρο

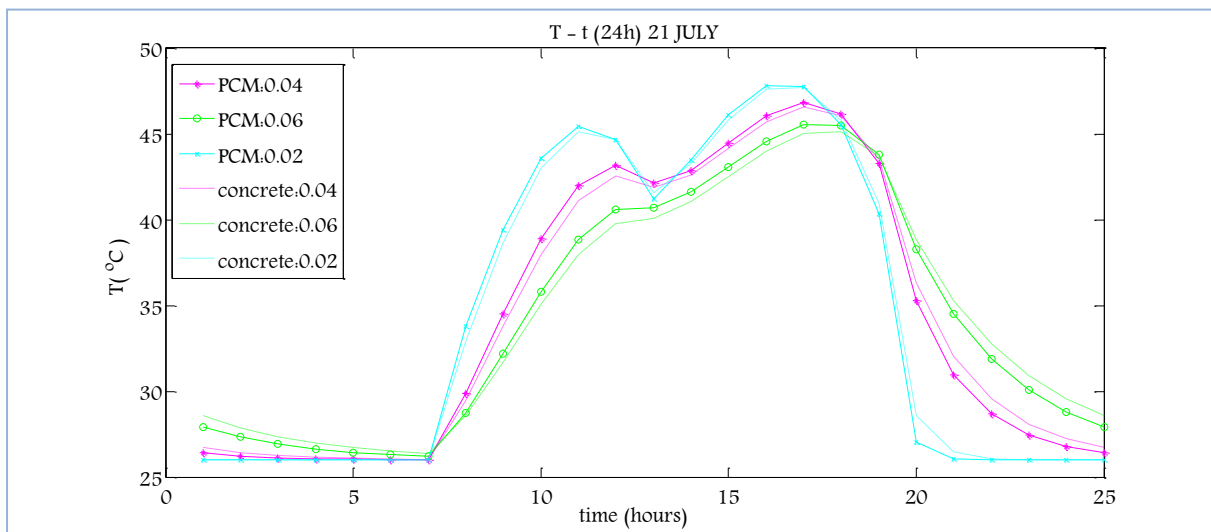


Διάγραμμα 5.4.2.5: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαΐου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

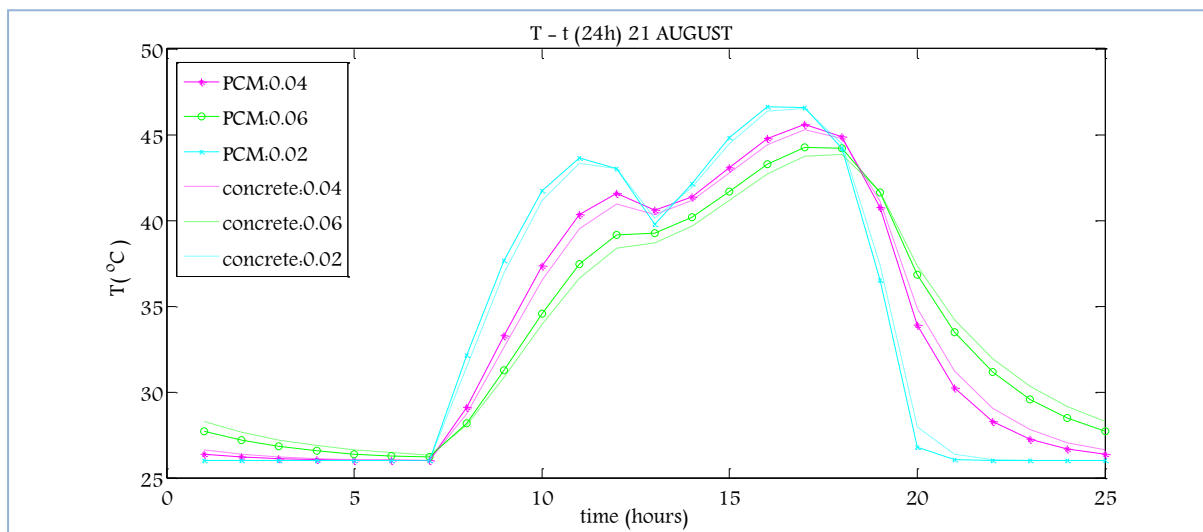


Διάγραμμα 5.4.2.6: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουνίου για ένα 24ωρο

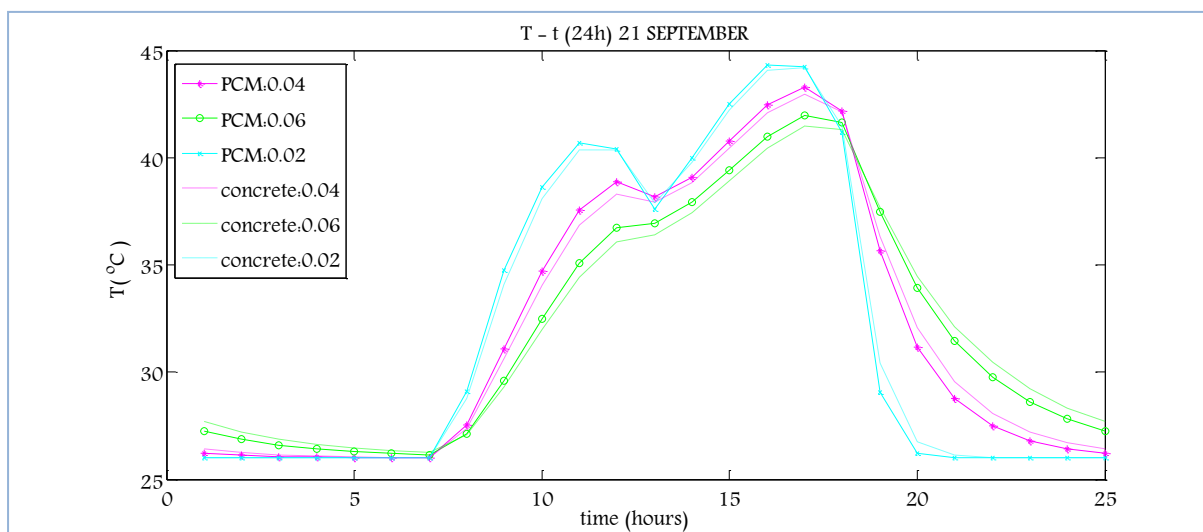


Διάγραμμα 5.4.2.7: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουλίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

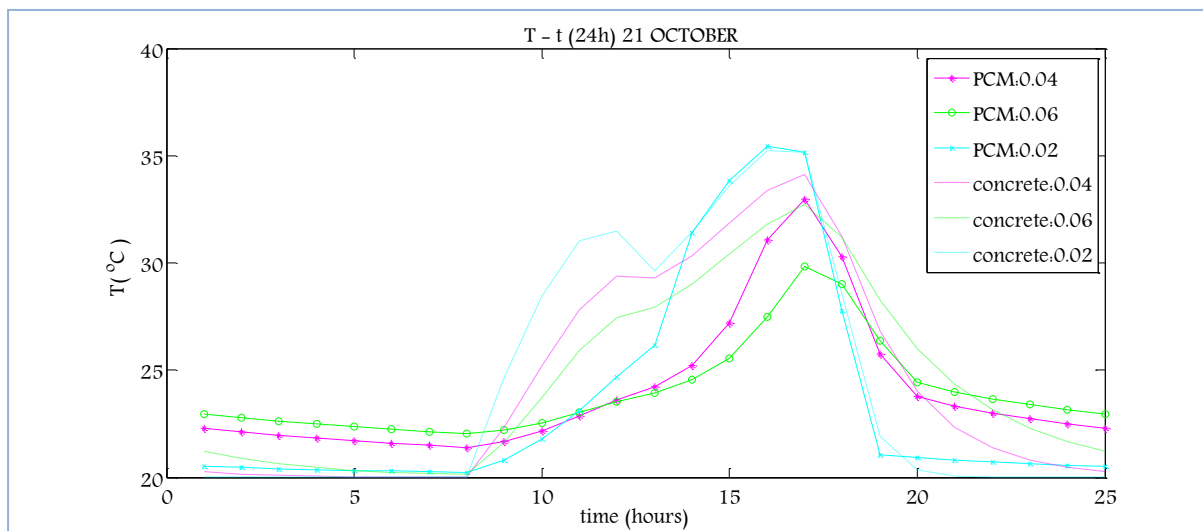


Διάγραμμα 5.4.2.8: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Αυγούστου για ένα 24ωρο

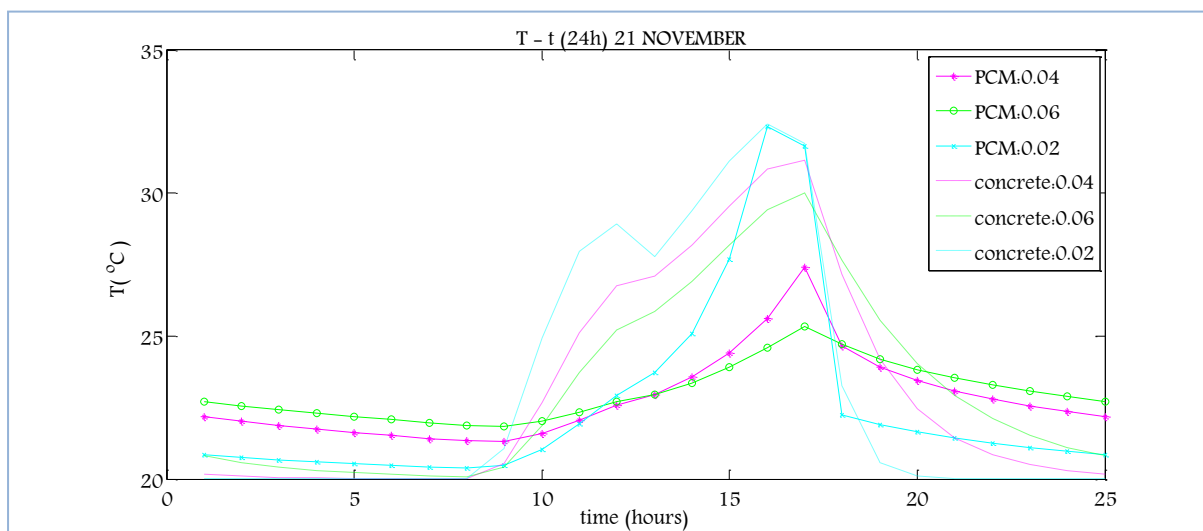


Διάγραμμα 5.4.2.9: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Σεπτεμβρίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

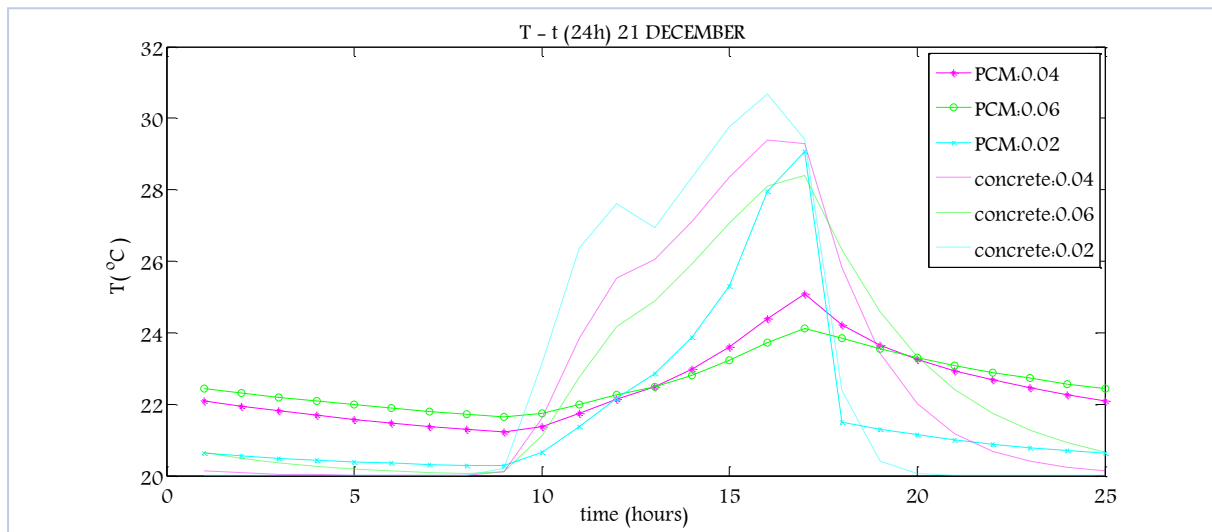


Διάγραμμα 5.4.2.10: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Οκτωβρίου για ένα 24ωρο



Διάγραμμα 5.4.2.11 Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Νοεμβρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ



Διάγραμμα 5.4.2.12: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το πάχος PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Δεκεμβρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Με βάση τις παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στην υποενότητα (5.2.2.1-D υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν), οι οποίες αφορούσαν στις διαφορές που πρέπει να υπάρχουν στην κατανομή της θερμοκρασίας μεταξύ PCM και αντίστοιχου στρώματος μπετόν και τα διαγράμματα μεταβολής της θερμοκρασίας (5.4.2.1 έως 5.4.2.12) θα γίνει ο έλεγχος της απόδοσης του PCM.

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο, το PCM χρησιμοποιεί μέρος της θερμότητας που παίρνει για να αλλάξει φάση. Σε σύγκριση με το μπετόν, εμφανίζει χαμηλότερες μέγιστες θερμοκρασίες κατά την διάρκεια της ημέρας και υψηλότερες ελάχιστες κατά την διάρκεια της νύχτας, δεν συμβαίνει το ίδιο όμως τους υπόλοιπους μήνες δηλαδή τους μήνες από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο, στους οποίους ανεβάζει μεγαλύτερη θερμοκρασία από το αντίστοιχο στρώμα μπετόν και χαμηλότερες ελάχιστες.

Αυτό συμβαίνει διότι το εκάστοτε στρώμα PCM τους μήνες από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο αναπτύσσει θερμοκρασίες υψηλότερες από τους 26°C, που είναι η θερμοκρασία που το PCM βρίσκεται στην υγρή φάση, δεν αλλάζει δηλαδή φάση αλλά συμπεριφέρεται ως σύνηθες δομικό υλικό και δεν ισχύει η

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

αναφερθείσα σύγκριση με το μπετόν. Όσον αφορά τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο, το PCM αλλάζει φάση και αναπτύσσει θερμοκρασίες υψηλότερες της $T_c = 20,5^{\circ}\text{C}$ που είναι το μέσο του εύρους θερμοκρασιών υγρής και στερεάς φάσης.

Επιπλέον, όπως ήταν αναμενόμενο αναπτύσσει υψηλότερες θερμοκρασίες από την περίπτωση που υπήρχε μόνο ένας υαλοπίνακας ανατολικού ή δυτικού προσανατολισμού. Αυτό αιτιολογείται από το γεγονός ότι δέχεται ηλιακή ακτινοβολία από δυο υαλοπίνακες, ήταν αναμενόμενο να αναπτύσσει σε αυτή την περίπτωση υψηλότερες θερμοκρασίες.

Ε. ΒΑΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΙ ΣΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ

Ο βαθμός χρησιμοποίησης υπολογίζεται από την σχέση (5.2.2.1.3) και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζεται και η θερμότητα που αποθηκεύει κάθε ένα από τα εξεταζόμενα πάχη PCM την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους.

Πίνακας 5.4.2.1: Η θερμότητα που αποθηκεύει το εκάστοτε PCM και ο βαθμός χρησιμοποίησης του

| 21 ^η ημέρα μήνα | Πάχος PCM:0.04 | | | | Πάχος PCM:0.06 | | | | Πάχος PCM:0.02 | | | |
|-------------------------------|--|--|------------------------------|-------|--|--|------------------------------|-------|--|--|------------------------------|-------|
| | $T_{PCM, max}$ ($^{\circ}\text{C}$) | $T_{PCM, min}$ ($^{\circ}\text{C}$) | $A_{προσιδόμενο}$ (KJ/kg) | n% | $T_{PCM, max}$ ($^{\circ}\text{C}$) | $T_{PCM, min}$ ($^{\circ}\text{C}$) | $A_{προσιδόμενο}$ (KJ/kg) | n% | $T_{PCM, max}$ ($^{\circ}\text{C}$) | $T_{PCM, min}$ ($^{\circ}\text{C}$) | $A_{προσιδόμενο}$ (KJ/kg) | n% |
| ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ | 25,62 | 21,26 | 49,49 | 37,46 | 24,5 | 21,74 | 34,39 | 26,03 | 30,41 | 20,31 | 81,16 | 61,43 |
| ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ | 30,36 | 21,43 | 58,45 | 44,25 | 27,18 | 22 | 40,59 | 30,73 | 33,27 | 20,12 | 92,24 | 69,83 |
| ΜΑΡΤΙΟΣ | 34,51 | 21,6 | 65,76 | 49,78 | 32,49 | 22,19 | 50,88 | 38,51 | 36,16 | 20,47 | 93,20 | 70,55 |
| ΑΠΡΙΛΙΟΣ | 43,99 | 26,01 | 44,95 | 34,03 | 42,87 | 26,18 | 41,73 | 31,59 | 44,95 | 26 | 47,38 | 35,86 |
| ΜΑΪΟΣ | 45,93 | 26,01 | 49,80 | 37,70 | 44,73 | 26,21 | 46,30 | 35,05 | 46,83 | 26 | 52,08 | 39,42 |
| ΙΟΥΝΙΟΣ | 46,94 | 26,01 | 52,33 | 39,61 | 45,69 | 26,22 | 48,68 | 36,85 | 47,85 | 26 | 54,63 | 41,35 |
| ΙΟΥΛΙΟΣ | 46,85 | 26,01 | 52,10 | 39,44 | 45,56 | 26,21 | 48,38 | 36,62 | 47,83 | 26 | 54,58 | 41,31 |
| ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ | 45,61 | 26,01 | 49,00 | 37,09 | 44,28 | 26,19 | 45,23 | 34,24 | 46,62 | 26 | 51,55 | 39,02 |
| ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ | 43,28 | 26,01 | 43,18 | 32,68 | 41,97 | 26,14 | 39,58 | 29,96 | 44,3 | 26 | 45,75 | 34,63 |
| ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ | 32,96 | 21,4 | 65,52 | 49,60 | 29,83 | 22,02 | 46,89 | 35,49 | 35,45 | 20,23 | 95,42 | 72,24 |
| ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ | 27,4 | 21,33 | 52,89 | 40,03 | 25,33 | 21,85 | 37,69 | 28,53 | 32,31 | 20,38 | 84,43 | 63,91 |
| ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ | 25,08 | 21,33 | 46,33 | 35,07 | 24,12 | 21,65 | 32,76 | 24,80 | 29,07 | 20,28 | 78,45 | 59,39 |

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Από τον ανωτέρω πίνακα, παρατηρείται ότι στην περίπτωση που ο τοίχος δέχεται ακτινοβολία από δυο υαλοπίνακες αυξάνεται η θερμότητα που αποθηκεύει το PCM σε σχέση με την θερμότητα που αποθήκευε όταν η ακτινοβολία προερχόταν από ένα υαλοπίνακα ανατολικό ή δυτικό.

Μεγαλύτερες διαφορές όσον αφορά την θερμότητα που αποθηκεύεται στο PCM παρατηρούνται με την περίπτωση που ο τοίχος δεχόταν ηλιακή ακτινοβολία από ανατολικό παράθυρο και μικρότερες με την περίπτωση που ο τοίχος δεχόταν ηλιακή ακτινοβολία από δυτικό παράθυρο.

Όσον αφορά την επίδραση του πάχους στις θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM, ισχύουν οι ίδιες παρατηρήσεις με προηγούμενες παραμετρικές μελέτες. Στην προκείμενη μελέτη, ωστόσο, οι διαφορές στα θερμοκρασιακά εύρη που αναπτύσσονται και κατά συνέπεια στην θερμότητα που αποθηκεύεται καθώς μεταβάλλεται το πάχος του PCM είναι πιο έντονες.

5.4.3 Παραμετρική μελέτη ως προς το PCM

Σκοπός της παρούσας παραμετρικής μελέτης είναι να εξεταστούν τρία εμπορικά PCMs, το RT20, το RT27 και το SP25A8 προκειμένου να ελεγχθεί αν κάποιο από τα εξεταζόμενα εμπορικά PCMs είναι αποδοτικό την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους και να μπορεί να πραγματοποιηθεί σύγκριση με την περίπτωση που χρησιμοποιήθηκαν για συναλλαγή με δύο δωμάτια, όπου ο τοίχος δεχόταν ακτινοβολία μόνο από ένα υαλοπίνακα. Σε προηγούμενη παραμετρική μελέτη που είχε επιλεχθεί ως PCM μελέτης το RT20 διαπιστώθηκε ότι κατά την διάρκεια των μηνών Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβριο δεν είναι αποδοτικό, δεν αλλάζει φάση, συμπεριφέρεται δηλαδή σαν σύνηθες δομικό υλικό και δεν παρουσιάζει διαφορές από το σύνηθες δομικό υλικό το μπετόν, όπως στην περίπτωση των υπολοίπων μηνών.

Εξετάζονται οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους, προκειμένου να αναδειχθούν τα πιθανά οφέλη του PCM σε σχέση με το σύνηθες δομικό υλικό, το μπετόν. Παρουσιάζεται επιπλέον, η θερμοότητα που αποθηκεύεται σε αυτό και ο βαθμός χρησιμοποίησης του PCM με βάση την καμπύλη της ενεργού θερμοχωρητικότητας, για κάθε ένα από τα εξεταζόμενα PCMs.

Και για τις τρεις περιπτώσεις, η εξέταση θα πραγματοποιηθεί για την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους, με σκοπό να ερευνηθεί αν είναι αποδοτικό καθ' όλη την διάρκεια του έτους.

A. Υπολογισμός προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για την 21^η ημέρα κάθε μήνα καθώς επίσης και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της έχουν παρουσιαστεί στην ενότητα 5.1 . Στην παρούσα παραμετρική μελέτη λαμβάνονται υπόψη οι τιμές της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου που έχουν υπολογιστεί για ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό.

B. Επιλογή PCM

Τα χαρακτηριστικά του PCM RT20 και του μπετόν έχουν δοθεί στον Πίνακα 5.2.2.1.1. Τα χαρακτηριστικά των δυο νέων προς εξέταση PCM του RT27 και του SP25A8 έχουν δοθεί στον Πίνακα 5.2.4.1.1

C. Προσομοίωση της αλλαγής φάσης

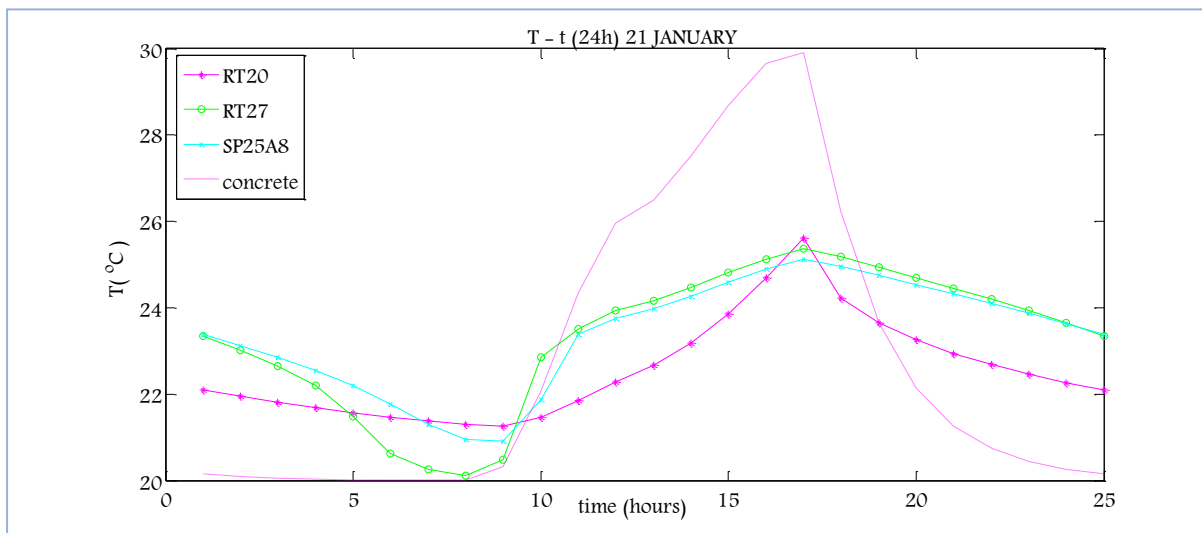
Για την προσομοίωση της αλλαγής φάσης, επιλέγεται η τριγωνική μορφή της μεθόδου της ενεργούς θερμοχωρητικότητας, η οποία έχει περιγραφεί στην ενότητα 5.2.1 και η μορφή της καμπύλης έχει απεικονιστεί στο Διάγραμμα 5.2.2.1.1 για το RT20, στο Διάγραμμα 5.2.4.1.2 για το RT27 και στο Διάγραμμα 5.2.4.1.3 για το SP25A8.

D. Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν

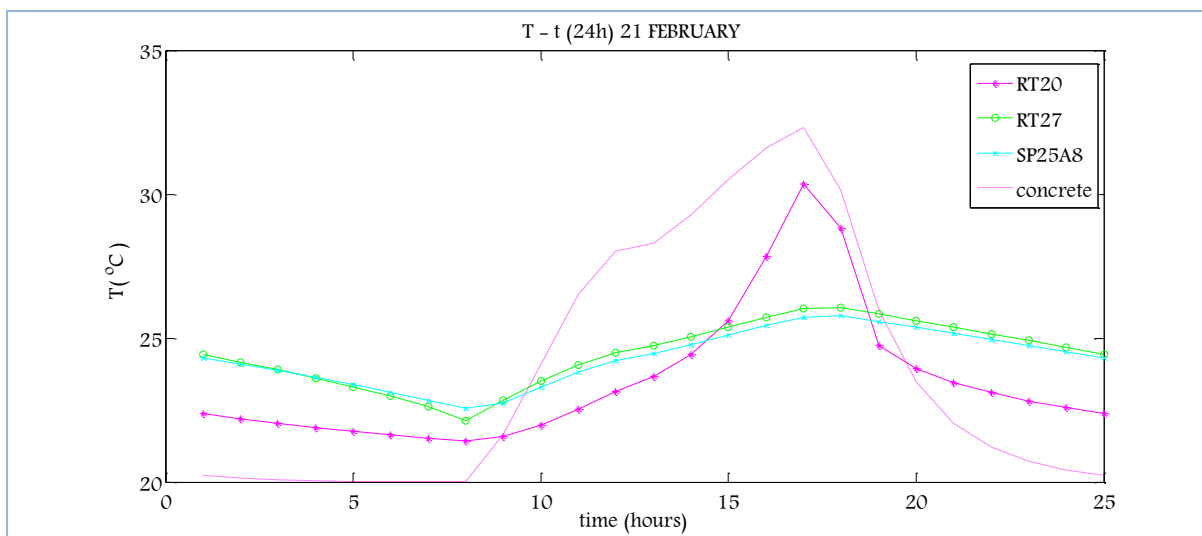
Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο μπετόν, την 21^η μέρα κάθε μήνα υπολογίζονται από τις σχέσεις (5.4.2.1) και (5.4.2.2) αντίστοιχα. Για την εύρεση της κατανομής της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο μπετόν ακολουθείται η επαναληπτική διαδικασία η οποία παρουσιάστηκε στην ενότητα (5.2.2.1-D Υπολογισμός της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το PCM και το αντίστοιχο στρώμα μπετόν).

Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM συναρτήσει της ώρας για όλο το 24ωρο την 21^η μέρα κάθε μήνα για όλα τα εξεταζόμενα PCMs καθώς επίσης και η αντίστοιχη μεταβολή της θερμοκρασίας του μπετόν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

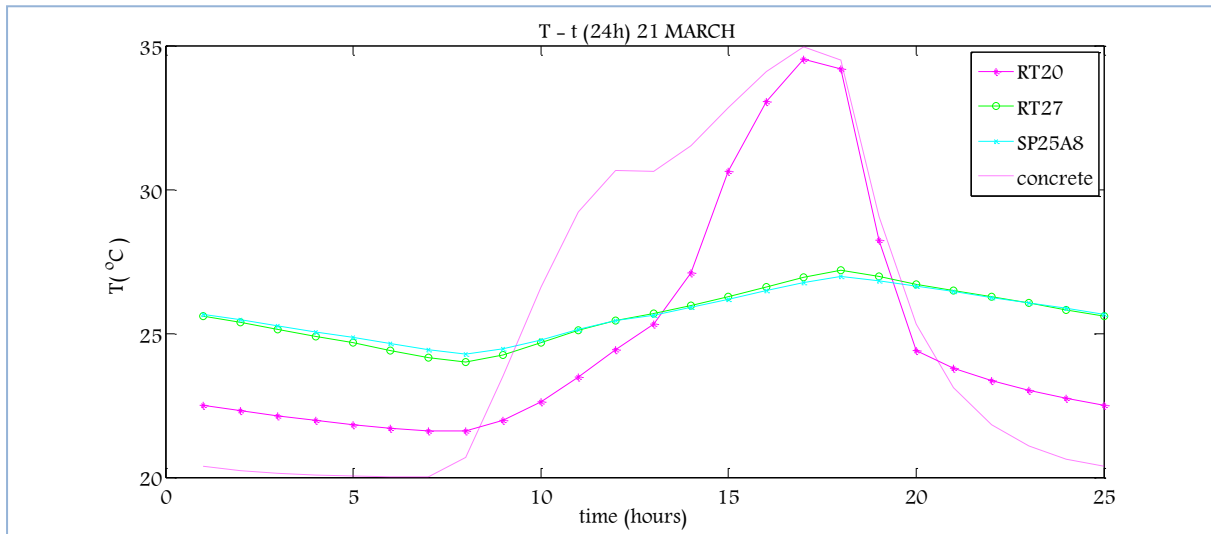


Διάγραμμα 5.4.3.1: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιανουαρίου για ένα 24ωρο

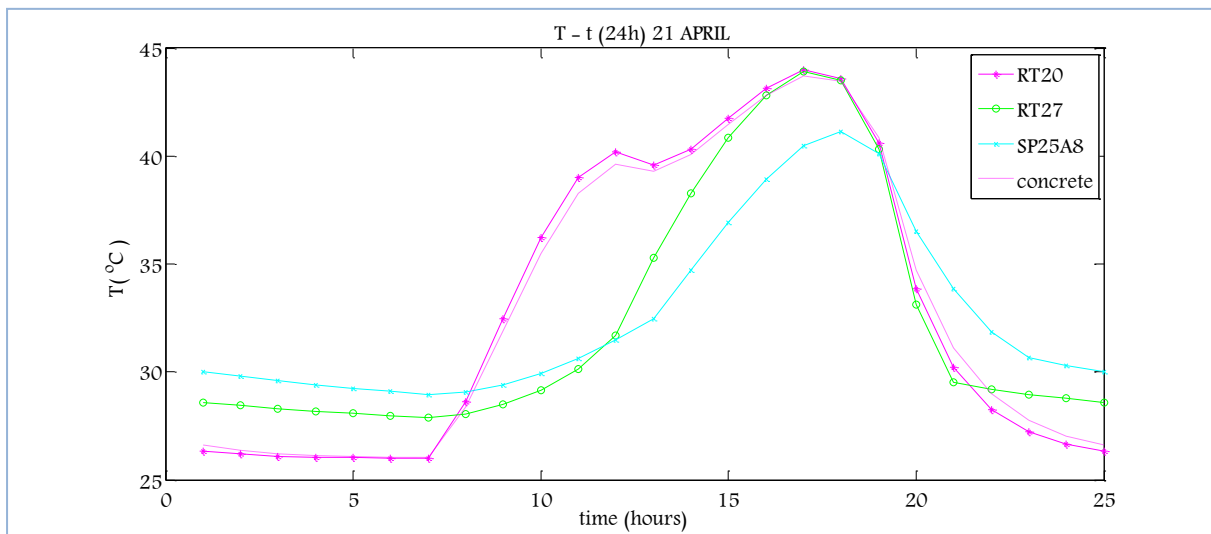


Διάγραμμα 5.4.3.2: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Φεβρουαρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

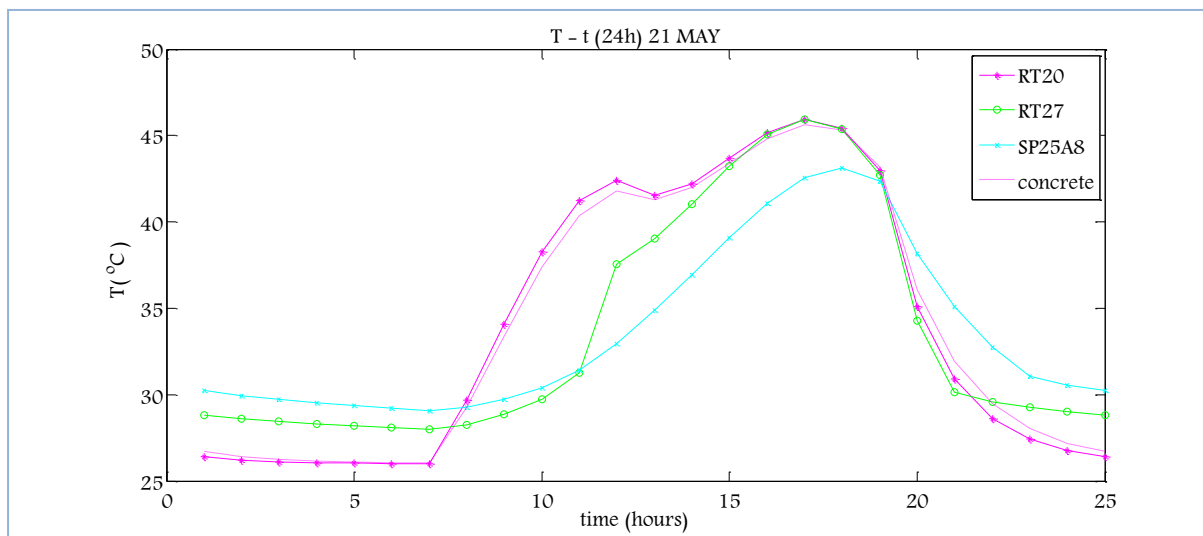


Διάγραμμα 5.4.3.3: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαρτίου για ένα 24ωρο

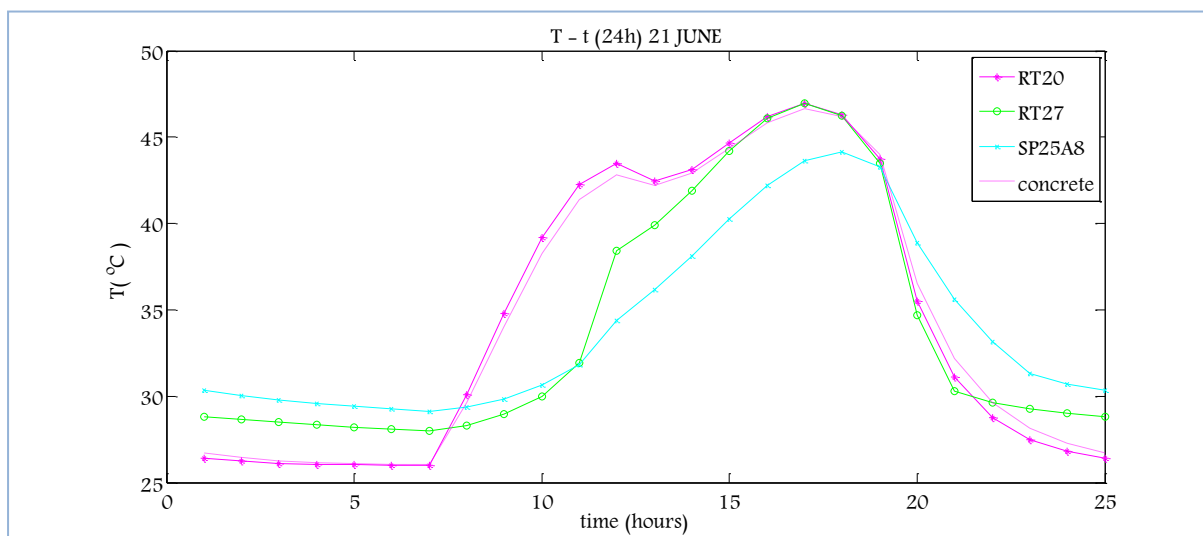


Διάγραμμα 5.4.3.4: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Απριλίου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

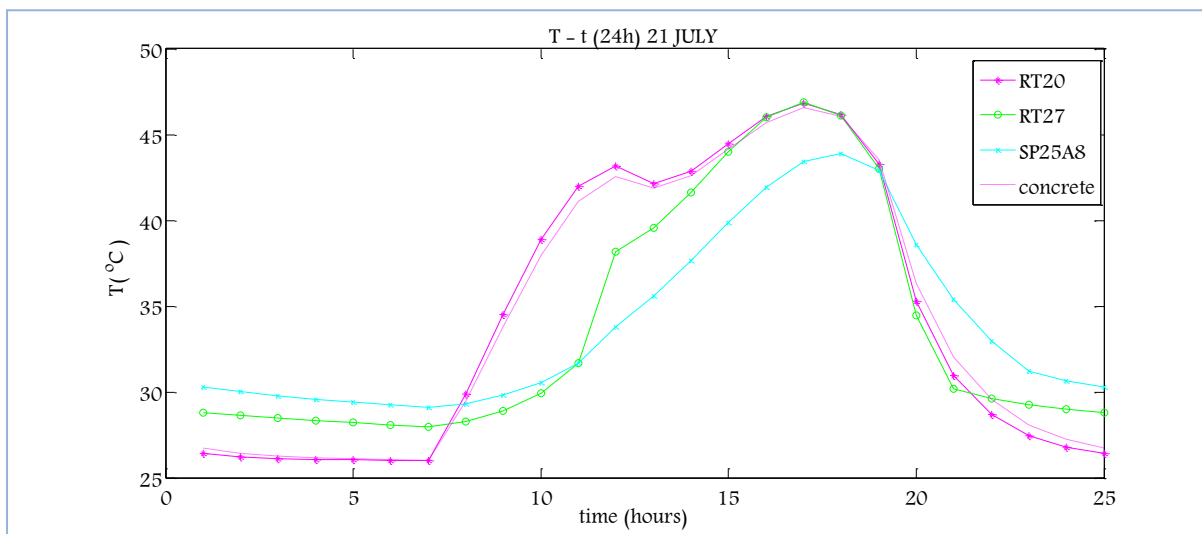


Διάγραμμα 5.4.3.5: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Μαΐου για ένα 24ωρο

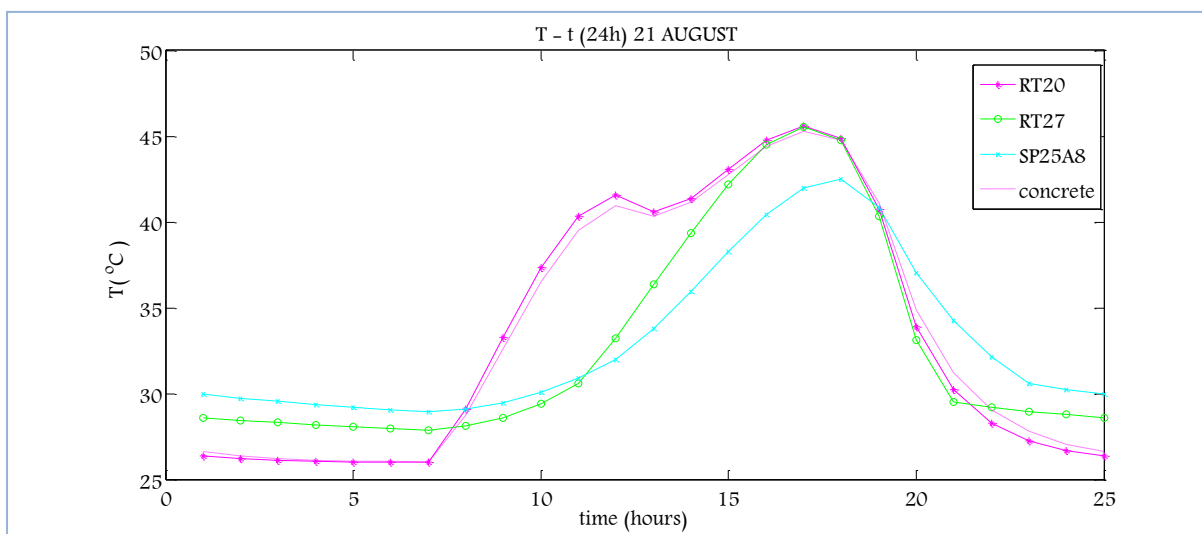


Διάγραμμα 5.4.3.6: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουνίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ

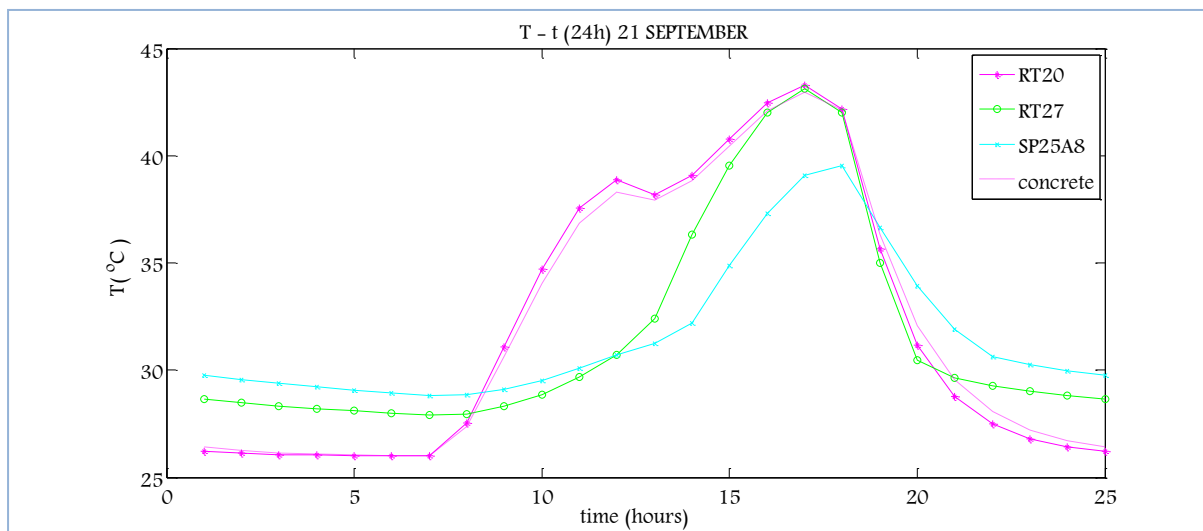


Διάγραμμα 5.4.3.7: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Ιουλίου για ένα 24ωρο

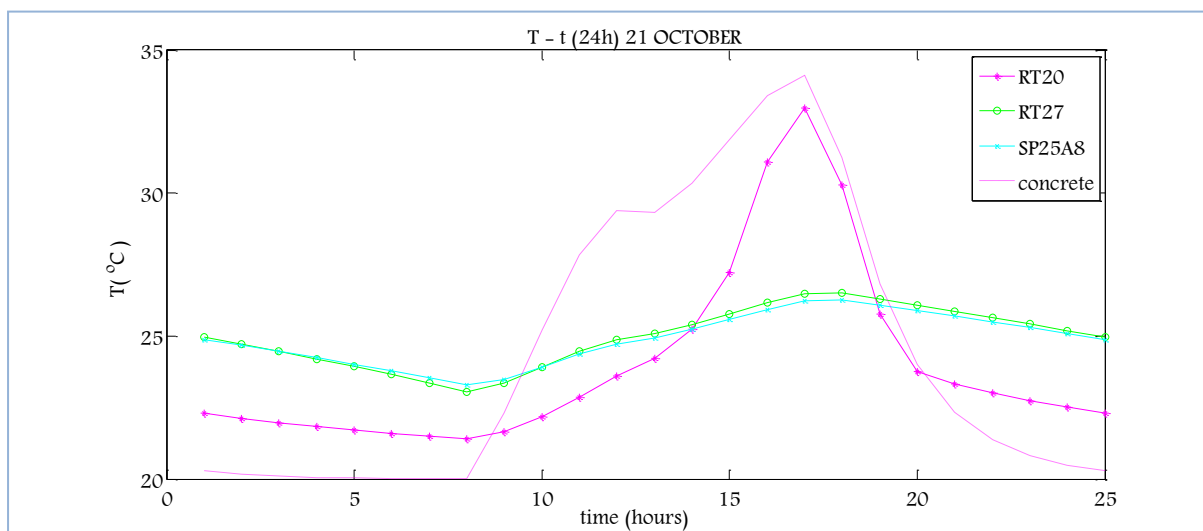


Διάγραμμα 5.4.3.8: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Αυγούστου για ένα 24ωρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

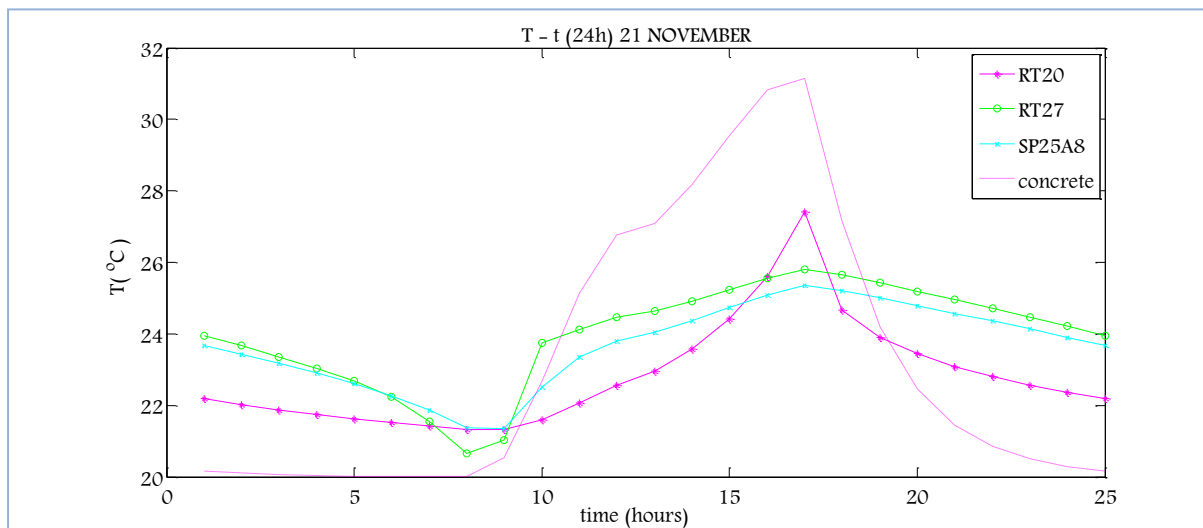


Διάγραμμα 5.4.3.9: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Σεπτεμβρίου για ένα 24ωρο

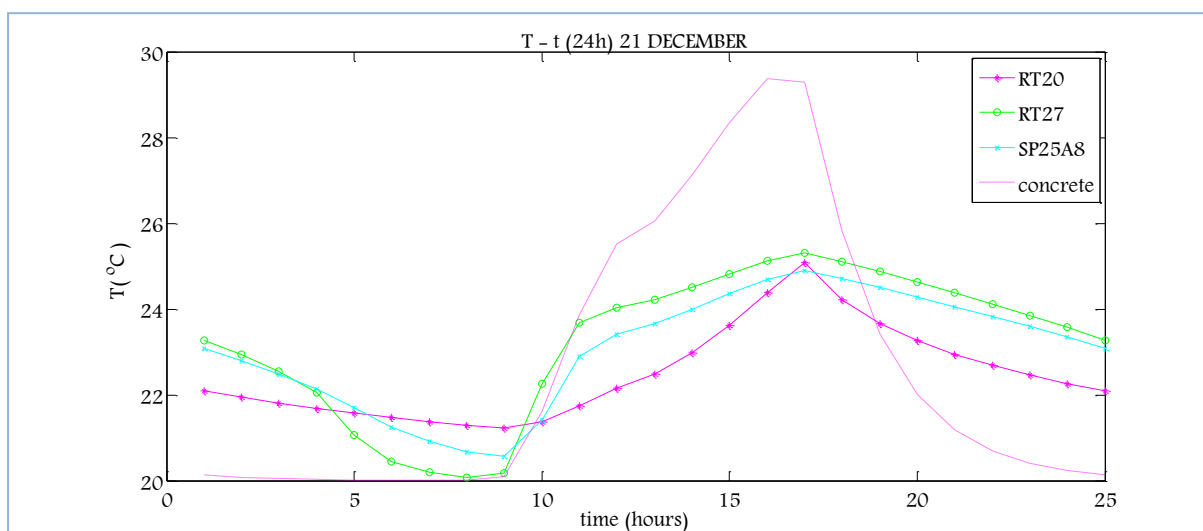


Διάγραμμα 5.4.3.10: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Οκτωβρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ ΚΤΗΡΙΩΝ



Διάγραμμα 5.4.3.11: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Νοεμβρίου για ένα 24ωρο



Διάγραμμα 5.4.3.12: Μεταβολή της θερμοκρασίας του PCM, T_{PCM} , ανάλογα με το PCM και αντίστοιχη μεταβολή του στρώματος μπετόν, $T_{μπετόν}$, την 21^η Δεκεμβρίου για ένα 24ωρο

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Σε όλα τα εξεταζόμενα PCMs έχουν αυξηθεί οι θερμοκρασίες σε σχέση τις αντίστοιχες θερμοκρασίες που είχαν αναπτύξει όταν είχαν τοποθετηθεί σε τοίχο που δεχόταν ηλιακή ακτινοβολία από ναλοπίνακα δυτικού ή ανατολικού προσανατολισμού και συναλλασσόταν θερμότητα και με το διπλανό δωμάτιο. Στο RT20 παρατηρούνται αυξημένα θερμοκρασιακά εύρη σε σύγκριση με την παραπάνω αναφερθείσα μελέτη, ενώ στα RT27 και SP25A8 παρατηρούνται αυξημένα θερμοκρασιακά εύρη την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους σε σχέση με

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο –ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCMs)

την περίπτωση που ο τοίχος δεχόταν ηλιακή ακτινοβολία μόνο από ανατολικό υαλοπίνακα. Συγκρίνοντας με την περίπτωση που ο τοίχος δεχόταν ηλιακή ακτινοβολία μόνο από δυτικό υαλοπίνακα, παρατηρούνται και στα δυο αυξημένα θερμοκρασιακά εύρη εκτός από την 21^η ημέρα του Φεβρουαρίου, του Μαρτίου και του Οκτωβρίου.

Ε. ΒΑΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΙ ΣΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η θερμότητα που απορροφά κάθε ένα από τα εξεταζόμενα PCMs, καθώς επίσης και ο βαθμός χρησιμοποίησης του την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους. Ο βαθμός χρησιμοποίησης υπολογίζεται από την σχέση (5.2.2.1.3) και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζεται και η θερμότητα που αποθηκεύει κάθε ένα από τα εξεταζόμενα PCMs την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους.

Πίνακας 5.4.3.1: Η θερμότητα που αποθηκεύει το εκάστοτε PCM και ο βαθμός χρησιμοποίησης του

| 21 ^η ημέρα μήνα | RT20 | | | | RT27 | | | | SP25A8 | | | |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------|
| | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% | T _{PCM, max} (°C) | T _{PCM, min} (°C) | A _{προσιδόμενο} (KJ/kg) | n% |
| ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ | 25,62 | 21,26 | 49,49 | 37,46 | 25,36 | 20,11 | 52,20 | 31,18 | 25,13 | 20,91 | 33,57 | 23,72 |
| ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ | 30,36 | 21,43 | 58,45 | 44,25 | 26,05 | 22,15 | 68,33 | 40,82 | 25,77 | 22,55 | 40,49 | 28,62 |
| ΜΑΡΤΙΟΣ | 34,51 | 21,6 | 65,76 | 49,78 | 27,19 | 23,99 | 86,62 | 51,75 | 26,97 | 24,28 | 52,09 | 36,81 |
| ΑΠΡΙΛΙΟΣ | 43,99 | 26,01 | 44,95 | 34,03 | 43,9 | 27,87 | 72,30 | 43,19 | 41,13 | 28,96 | 54,00 | 38,16 |
| ΜΑΪΟΣ | 45,93 | 26,01 | 49,80 | 37,70 | 45,95 | 27,98 | 74,35 | 44,42 | 43,2 | 29,06 | 57,99 | 40,98 |
| ΙΟΥΝΙΟΣ | 46,94 | 26,01 | 52,33 | 39,61 | 46,95 | 27,99 | 76,37 | 45,62 | 44,13 | 29,1 | 59,81 | 42,27 |
| ΙΟΥΛΙΟΣ | 46,85 | 26,01 | 52,10 | 39,44 | 46,88 | 27,99 | 76,30 | 45,58 | 43,91 | 29,09 | 59,42 | 42,00 |
| ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ | 45,61 | 26,01 | 49,00 | 37,09 | 45,54 | 27,88 | 75,94 | 45,36 | 42,52 | 28,93 | 58,24 | 41,16 |
| ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ | 43,28 | 26,01 | 43,18 | 32,68 | 43,12 | 27,9 | 69,83 | 41,72 | 39,55 | 28,83 | 51,99 | 36,74 |
| ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ | 32,96 | 21,4 | 65,52 | 49,60 | 26,5 | 23,03 | 77,75 | 46,44 | 26,27 | 23,29 | 46,01 | 32,52 |
| ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ | 27,4 | 21,33 | 52,89 | 40,03 | 25,81 | 20,65 | 63,89 | 38,17 | 25,35 | 21,35 | 36,33 | 25,67 |
| ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ | 25,08 | 21,33 | 46,33 | 35,07 | 25,31 | 20,08 | 50,83 | 30,36 | 24,89 | 20,56 | 30,55 | 21,59 |

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Σε πιο από τα τρία εξεταζόμενα PCMs, αποθηκεύεται περισσότερη θερμότητα, έχει γίνει αναφορά σε προηγούμενες παραμετρικές μελέτες, όπως επίσης και για τον βαθμό χρησιμοποίησης τους.

Συγκρίνοντας τον παραπάνω πίνακα με τους Πίνακες 5.3.3.2.1 και 5.3.3.3.1 που αφορούσαν την περίπτωση που ο τοίχος δεχόταν ηλιακή ακτινοβολία μόνο από ανατολικό υαλοπίνακα και δυτικό, αντίστοιχα, παρατηρείται ότι στην εξεταζόμενη μελέτη όλα τα PCMs αποθηκεύουν περισσότερη θερμότητα την 21^η ημέρα κάθε μήνα του έτους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

1. <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/tptee/dg2013/ktirio/DE1-Eisagogi%20stin%20energeia-final.pdf>
2. ΘΕΡΜΙΚΑ-ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ: ΚΙΜΩΝ Α. ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ
3. <http://www.iene.gr/energy-development2010/articlefiles/PosterSession/tzivanidis.pdf>
4. E.D. Kravvaritis, K.A. Antonopoulos, C. Tzivanidis