



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ενεργητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης χώρου με χρήση υλικών αλλαγής φάσης (PCM) σε εξωτερική δεξαμενή αποθήκευσης.

ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΙΜΩΝ ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ενεργητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης χώρου με χρήση υλικών αλλαγής φάσης (PCM) σε εξωτερική δεξαμενή αποθήκευσης.

ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΙΜΩΝ ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2010

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας. Συγκεκριμένα τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Κ. Κίμωνα Αντωνόπουλο, καθηγητή Ε.Μ.Π., για την ανάθεση του θέματος, τις πληροφορίες που μου παρείχε σχετικά με το συγκεκριμένο θέμα, την εποπτεία της εργασίας, την καθοδήγησή, την ενθάρρυνση και τον χρόνο που μου προσέφερε για την επιτυχή ολοκλήρωσή της.

Επίσης, τον κ. Λ. Κραββαρίτη, Υποψήφιο Διδάκτορα Ε.Μ.Π. και τη συμφοιτήτριά μου Σοφία Παπαγεωργίου για τη βοήθεια που μου προσέφεραν στην αναζήτηση βιβλιογραφίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη συμφοιτήτριά και φίλη μου Φωκιανού Παναγιώτα για την πολύτιμη βοήθειά της, την άριστη συνεργασία μας, την υπομονή και συμπαράσταση που έδειξε καθ'όλη τη διάρκεια εκπόνησης των διπλωματικών μας εργασιών.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο τη θεωρητική και πειραματική μελέτη των υλικών αλλαγής φάσης (Phase Change Materials), κατά την εφαρμογή τους για θέρμανση κατοικίας. Τα PCMs είναι υλικά, τα οποία μπορούν να αποθηκεύσουν και να απελευθερώσουν ποσά θερμότητας. Αυτή την ιδιότητά τους εκμεταλλευόμαστε εδώ για να θερμάνουμε ένα χώρο χρησιμοποιώντας ένα ενεργητικό ηλιακό σύστημα με PCM σε εξωτερική δεξαμενή αποθήκευσης.

Η εργασία αποτελείται από δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος (κεφάλαια 1,2,3), γίνεται μια θεωρητική προσέγγιση στα ηλιακά συστήματα, παθητικά και ενεργητικά, στα υλικά αλλαγής φάσης, τις κατηγορίες και τις ιδιότητες τους και σε εφαρμογές που έχουν γίνει σε κτίρια, από την ανακάλυψη των PCM μέχρι σήμερα, μέσα από δημοσιεύσεις, τον τύπο και το διαδίκτυο.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας (κεφάλαιο 4) γίνεται μια εφαρμογή, ενεργητικού ηλιακού συστήματος για θέρμανση κατοικίας με την τοποθέτηση του υλικού αλλαγής φάσης μέσα σε εξωτερική δεξαμενή αποθήκευσης. Γίνονται δοκιμές για την επιλογή κατάλληλης δεξαμενής και συλλέκτη. Επίσης γίνεται παραμετρική μελέτη με βάση την κατανάλωση της κατοικίας, για να βρεθεί τελικά σε ποια περίπτωση έχω περισσότερα οφέλη από την τοποθέτηση του PCM.

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη και καθοδήγηση του κυρίου Κίμωνα Αντωνόπουλου, καθηγητή Ε.Μ.Π. στον τομέα θερμότητας.

ABSTRACT

The subject of this essay is the theoretical and the experimental study of phase change materials (PCMs), by using them for house heating. PCM is capable of storing and releasing large amounts of energy. We utilize this attribute here, in our study, to heat a place using an active solar system with PCM in external storage tank.

The essay consists of two parts. In the first part (chapters 1,2,3) takes place a theoretical approach to solar systems (passive and active), PCMs, their categories/divisions, their properties/characteristics and their applications that have been applied on buildings , from the detection of PCMs until nowadays, via scientific papers , the press and the internet.

In the second part of the essay (chapter 4), we apply an active solar system for house heating with the use of PCM on an external storage tank. Many tests have been done in order to choose the most proper size for the storage tank and the right area of the solar collector. Also, a parametric study has been done with a proper way, by changing the house energy consumption, in order to find when we can have the greatest benefit with the use of PCM .

The present study was being worked out under the supervision and the guidance of Mr. Kimon Antonopoulos, Professor of National Technical University of Athens, in Heating Section.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο :.....	12
<i>ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ</i>	12
1. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	13
1.1. Αξιοποίηση της Ηλιακής Ενέργειας	13
1.2. Ενεργητική Ηλιακή Θέρμανση	14
1.2.1. <i>Ηλιακός Θερμοσίφωνα</i>	15
1.2.1.1. <i>Ιστορία του Ηλιακού Θερμοσίφωνα</i>	16
1.2.1.2. <i>Είδη ηλιακών θερμοσιφώνων</i>	17
1.2.1.3. <i>Μέρη ηλιακού θερμοσίφωνα</i>	18
1.2.2. <i>Ηλιακοί συλλέκτες</i>	19
1.2.3. <i>Δεξαμενή αποθήκευσης</i>	20
1.2.4. <i>Αρχή λειτουργίας ηλιακού θερμοσίφωνα</i>	20
1.2.5. <i>Εγκατάσταση των ηλιακών θερμοσιφώνων</i>	21
1.2.6. <i>Ο ηλιακός θερμοσίφωνα σαν οικολογική συσκευή</i>	22
1.3. Παθητικά Ηλιακά Συστήματα	24
1.3.1. <i>Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης</i>	24
1.3.2. <i>Παθητικά Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Δροσισμού</i>	27
1.3.3. <i>Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Φωτισμού</i>	28
1.3.4. <i>Βασικά χαρακτηριστικά παθητικών ηλιακών συστημάτων:</i>	29
1.3.5. <i>Ενεργειακές ροές</i>	31
1.3.6. <i>Παθητικά ηλιακά συστήματα και η απόδοσή τους στην Ελλάδα</i>	32
1.3.7. <i>Είδη παθητικών ηλιακών συστημάτων για θέρμανση</i>	33
1.3.7.1. <i>Άμεσο κέρδος</i>	33
1.3.7.2. <i>Έμμεσο κέρδος</i>	34
1.3.7.3. <i>Απομονωμένο κέρδος</i>	37
1.3.8. <i>Συμπεράσματα</i>	38
1.4. Ηλιακή Ενέργεια και ηλιακό δυναμικό	39
1.5. Εφαρμογές θερμικής ενεργειακής αποθήκευσης (ΘΕΑ) και ηλιακής ενέργειας στα κτίρια.	40

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο :	43
ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM)	43
2.1. Κατάσταση της ύλης	44
2.1.1. Αλλαγή φάσης	44
2.1.2. Θερμική ενέργεια στις αλλαγές φάσης	45
2.1.3. Μικροσκοπική δομή των καταστάσεων της ύλης	47
2.1.4. Ιδιότητες της ύλης ανάλογα με την κατάστασή της	48
2.1.5. Θερμότητα ατμοπαραγωγής – Ολική Θερμότητα	49
2.1.5.1. Αισθητή θερμότητα	50
2.1.5.2. Λανθάνουσα θερμότητα	51
Α) Εσωτερική λανθάνουσα θερμότητα	51
Β) Εξωτερική λανθάνουσα θερμότητα	51
2.1.6. Διαφορά μεταξύ αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας	54
2.1.7. Ενθαλπία και Θερμοχωρητικότητα	55
2.1.8. Μεταβολή ενθαλπίας τήξης	56
2.1.9. Μέθοδοι Προσομοίωσης Μεταφοράς Θερμότητας με Αλλαγή Φάσης- Βασικές Προϋποθέσεις και Προσεγγίσεις	59
2.1.10. Αριθμητικές Μέθοδοι	61
2.2. Υλικά Αλλαγής Φάσης	67
2.3. Κατηγοριοποίηση PCM	71
2.3.1. Οργανικά PCM	71
2.3.1.1. Παραφίνες	72
2.3.1.2. Λιπαρά Οξέα	75
2.3.2. Ανόργανα PCM	78
2.3.3. Εύτηκτα μίγματα	81
2.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κατηγοριών PCM	82
2.5. Χαρακτηριστικά PCM	84
2.5.1. Σταθερότητα θερμικών ιδιοτήτων σε εκτεταμένη κυκλική φόρτιση	86
2.5.2. Φαινόμενο <i>supercooling</i>	87
2.5.3. Διάβρωση	88
2.5.4. Φαινόμενο διαχωρισμού των φάσεων	88
2.6. Ιδιότητες PCM	90
2.6.1. Θερμοφυσικές ιδιότητες	90
2.6.2. Κινητικές ιδιότητες	90
2.6.3. Χημικές ιδιότητες	90
2.6.4. Οικονομικές ιδιότητες	91

2.7. Τοποθέτηση P.C.M. σε Κάψουλες και Σύνθετα Υλικά	92
2.7.1. <i>Macroencapsulation</i>	92
2.7.2. <i>Microencapsulation</i>	92
2.8. Συμβατότητα των P.C.M. με άλλα υλικά	94
2.9. Ενώσεις PCM στην Αγορά	95
2.10. Εφαρμογές	97
2.11. Μέθοδοι Μέτρησης	98
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο :	99
<i>ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ, ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ PCM ΣΕ ΚΤΙΡΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ</i>	99
3.1. Αναφορές εφαρμογών στον τύπο και στο διαδύκτιο	100
3.1.1. <i>Στους τοίχους και στα μπόιλερ</i>	100
3.1.2. <i>FlatICE-Solar House, Thermal Energy Storage Systems</i>	102
<i>Σχεδιασμός ηλιακής κατοικίας</i>	102
3.2. Εφαρμογές PCM σε κτιριακές εγκαταστάσεις	106
3.2.1. <i>Ιστορική Αναδρομή</i>	106
3.2.2. <i>Ερευνητική Δραστηριότητα</i>	108
3.2.3. <i>Εφαρμογή υλικών αλλαγής φάσης σε ηλιακά θερμαινόμενα θερμοκήπια</i>	109
3.3. Οι κυριότερες εφαρμογές PCM σε κτίρια.	111
3.3.1. <i>Συστήματα παθητικής αποθήκευσης:</i>	112
3.3.1.1. <i>Τοίχος Trombe με PCM</i>	112
3.3.1.2. <i>Γυψοσανίδα με PCM (wallboard)</i>	114
3.3.2. <i>Συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης:</i>	117
3.3.2.1. <i>Θέρμανση πατώματος</i>	117
3.3.2.2. <i>Πίνακες PCM στο ταβάνι</i>	118
3.3.2.3. <i>Άλλα συστήματα</i>	118
3.4. Άλλες εφαρμογές και πειράματα.	119

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο :	122
<i>ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ – ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ</i>	122
4.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	123
4.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΛΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ G_t :	125
4.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ:	128
4.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ:	130
4.5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ PCM ΜΕ ΤΡΙΓΩΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ:	131
4.6. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΔΩΜΑΤΙΟΥ:	133
4.7. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ-ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ	135
4.8. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	136
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	140
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	173
ΠΙΝΑΚΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	177

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η υποβάθμιση του περιβάλλοντος και η εξάντληση των συμβατικών, μη ανανεώσιμων καυσίμων αποτελεί ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει σήμερα ο πλανήτης μας. Το θέμα αυτό βρίσκεται στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος Παγκόσμιων Οργανισμών, Κυβερνήσεων, Ερευνητικών Κέντρων, των ενδιαφερόμενων παραγωγών και χρηστών ενέργειας, αλλά και όλων των ενημερωμένων πολιτών.

Η αναζήτηση της απαραίτητης ενέργειας από τον άνθρωπο, η επάρκεια των αποθηκών/πηγών της, η βέβαιη και ταχεία εξάντληση μερικών από αυτές, οι βέλτιστοι τρόποι εκμετάλλευσης και εξοικονόμησής της, τα οικονομικά, κοινωνικά και ηθικά προβλήματα που δημιουργούνται από την ανισοβαρή, άλλοτε αλόγιστη και άλλοτε ανεπαρκή χρήση της, καθώς και η μεγάλη και αυξανόμενη τα τελευταία χρόνια επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τους μηχανισμούς και τα συστήματα μετατροπής και μεταφοράς της ενέργειας, συνιστούν το "ενεργειακό/περιβαλλοντικό" πρόβλημα. Ένα από τα κρισιμότερα, σήμερα, προβλήματα του ανθρώπου.

Για τον λόγο αυτόν, έχει ξεκινήσει μια παγκόσμια προσπάθεια για τη μείωση αυτών των επιπτώσεων, με την ορθολογική χρήση της ενέργειας και την εφαρμογή τεχνολογιών εξοικονόμησής της. Επίσης, με στόχο την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων αυτών, προωθείται η εκμετάλλευση φιλικών προς το περιβάλλον (και τον άνθρωπο) Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας(ΑΠΕ), συμβάλλοντας έτσι καθοριστικά στην αειφόρο ανάπτυξη.

Αν και είναι γνωστό ότι η Ελλάδα είναι μια χώρα με συγκριτικά πλεονεκτήματα ως προς τις μορφές ΑΠΕ, εντούτοις, δεν παρουσιάζει ποσοστό

αξιοποίησής τους σε ικανοποιητικό βαθμό. Μεταξύ των παραγόντων που συμβάλλουν στη μη επιθυμητή αξιοποίηση των ΑΠΕ, μπορεί να αναφερθεί και η άγνοια-καχυποψία για την περιβαλλοντική συμβατότητα των έργων και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που αυτά επιφέρουν.

Βέβαια, σε παγκόσμιο επίπεδο, γίνεται όλο και πιο έντονα αποδεκτό τα γεγονόσ, ότι η αύξηση της χρήσης των ΑΠΕ συνδυάζεται και συνεισφέρει στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος και την αειφόρο ανάπτυξη, σε αντίθεση και πάντα σε σύγκριση με τα προβλήματα που προκαλούνται από την εξόρυξη και χρήση συμβατικών καυσίμων [1].

Σήμερα είναι κοινώς αποδεκτό ότι τόσο τα ενεργητικά (φωτοβολταϊκά, ηλιακά θερμικά, ηλιοθερμικά), όσο και τα παθητικά Ηλιακά Συστήματα παρέχουν σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη σε σύγκριση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας, συνεισφέροντας σε μια αειφόρο προοπτική των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο :

***ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΑ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ***

1. Ηλιακή Ενέργεια και ηλιακά συστήματα

Ηλιακή Ενέργεια, είναι η ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο και αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται τη θερμική και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ήλιου με χρήση μηχανικών μέσων για τη συλλογή, αποθήκευση και διανομή της [29].

1.1. Αξιοποίηση της Ηλιακής Ενέργειας

Σήμερα αξιοποιούμε με πολλούς τρόπους την ευεργετική δράση της ηλιακής ακτινοβολίας:

1. Με τη χρήση των θερμικών ηλιακών συστημάτων που συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε θερμότητα σε κάποια θερμομονωμένη δεξαμενή, όπου την αποθηκεύουν και ονομάζονται ενεργητικά ηλιακά συστήματα.

2. Με τα παθητικά ηλιακά συστήματα, δηλαδή όλα τα κατάλληλα σχεδιασμένα και συνδυασμένα δομικά στοιχεία των οικοδομικών κατασκευών (κτιρίων) που υποβοηθούν την καλύτερη άμεση ή έμμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας είτε για τη θέρμανση των κτιρίων το χειμώνα είτε για το δρόσισμα τους το καλοκαίρι.

3. Με την κατευθείαν μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική με τη χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων [31].

Η Ελλάδα, χώρα με μεγάλη ηλιοφάνεια, προσφέρεται για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Η μέση ημερήσια ενέργεια που δίνεται από τον ήλιο στην Ελλάδα είναι 4,6 KWh/m².

Τα θερμικά ηλιακά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι ηλιακών συστημάτων θέρμανσης: παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης και ενεργητικά ηλιακά συστήματα (ενεργητική ηλιακή θέρμανση).

1.2. Ενεργητική Ηλιακή Θέρμανση

Η ενεργητική ηλιακή θέρμανση είναι παρόμοια με την παθητική ηλιακή θέρμανση, αλλά είναι μια πολύ πιο περίπλοκη διαδικασία και παράγει πολύ περισσότερη θερμότητα από ότι τα παθητικά συστήματα.

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα χρησιμοποιούν τους συλλέκτες και τη δεξαμενή αποθήκευσης ως χωριστές συνιστώσες και η μεταφορά της ενέργειας γίνεται με τη βοήθεια κάποιας αντλίας συστήματος.

Τα ενεργητικά συστήματα θέρμανσης μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: τα συστήματα αέρα και τα συστήματα υγρού.

Ένα θερμικό ηλιακό σύστημα συλλέγει, αποθηκεύει και διανέμει την ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιώντας είτε κάποιο υγρό, είτε αέρα, ως ρευστό μεταφοράς της θερμότητας των συλλεκτών.

Οι διαφορές στα συστήματα θέρμανσης βρίσκονται στον τρόπο, με τον οποίο η ηλιακή ενέργεια συσσωρεύεται στον ηλιακό συλλέκτη.

Τα συστήματα υγρού χρησιμοποιούν ένα υγρό για να συλλέγουν την ενέργεια στον ηλιακό συλλέκτη. Υπόψη ότι τα συστήματα αέρα απορροφούν την ενέργεια μέσω του αέρα.

Δεδομένου ότι οι ηλιακοί συλλέκτες συνήθως εγκαθίστανται στην οροφή του κτιρίου που θερμαίνεται, το καλύτερο είναι να τοποθετηθεί η ζεστή έξοδος του αέρα στην οροφή, για να συντομεύσει την πορεία του αγωγού.

Ένα σύστημα που εγκαθίσταται με αυτόν τον τρόπο, αναμιγνύει τον αέρα σε ένα κτίριο, σαν ένα ανεμιστήρα οροφής, εκτός από την παροχή ηλιακής θερμότητας.

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση νερού οικιακής χρήσης, για τη θέρμανση και ψύξη χώρων (μπόιλερ), για βιομηχανικές διεργασίες, για αφαλάτωση, για διάφορες αγροτικές εφαρμογές, για θέρμανση πισίνων κ.τ.λ. [30].

Η επιφάνεια ηλιακών συστημάτων, που βρίσκονται σε λειτουργία στη χώρα μας, είναι περίπου 3.587.200 m^2 (στοιχεία 2007). Ήδη, περισσότερες από 1.000.000 ελληνικές οικογένειες καλύπτουν περίπου 80% των ετήσιων αναγκών τους σε ζεστό νερό χρήσης με ηλιακό θερμοσίφωνα και περίπου 60% των ετήσιων αναγκών θέρμανσης του σπιτιού τους. Η απόδοση των ηλιακών συλλεκτών και η ποιότητα τους γενικά έχουν βελτιωθεί τα τελευταία χρόνια. Η Ελλάδα κατέχει αυτή τη στιγμή την Τρίτη θέση (μετά την Αυστρία) στην ευρωπαϊκή αγορά ως προς την εγκατεστημένη επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών. Η Ελλάδα είναι ο μεγαλύτερος εξαγωγέας σε όλη την Ευρώπη και μάλιστα σε χώρες με ιδιαίτερη βιομηχανική παράδοση, όπως η Γερμανία [1].

1.2.1. Ηλιακός Θερμοσίφοντας

Ο ηλιακός θερμοσίφοντας είναι ένα ενεργητικό ηλιακό σύστημα που ζεσταίνει νερό χρησιμοποιώντας την ηλιακή ακτινοβολία. Χρησιμοποιείται ευρύτατα στις χώρες που έχουν μεγάλη ηλιοφάνεια, όπως για παράδειγμα στις χώρες της Μεσογείου και στην Ελλάδα.

Ο ηλιακός θερμοσίφοντας είναι η απλούστερη και η γνωστότερη ηλιακή συσκευή. Κατά την λειτουργία του γίνεται εκμετάλλευση δυο φυσικών φαινομένων. Με την αρχή του θερμοσιφώνου επιτυγχάνεται η κυκλοφορία

του νερού με φυσικό τρόπο χωρίς μηχανικά μέρη (αντλίες κλπ.) ενώ η θέρμανση του νερού γίνεται με την εκμετάλλευση του φαινομένου του θερμοκηπίου που αναπτύσσεται στους συλλέκτες του.

1.2.1.1. Ιστορία του Ηλιακού Θερμοσίφωνα

Ο ηλιακός θερμοσίφοντας άρχισε να χρησιμοποιείται στην Καλιφόρνια γύρω στο 1880 και πατενταρίστηκε για πρώτη φορά απ' τον Κλάρενς Κεμπ το 1891. Έφτασε να χρησιμοποιείται στο 30% των σπιτιών της Καλιφόρνιας, αλλά η χρήση του ατόνησε με το γύρισμα του αιώνα, λόγω της χρήσης του άφθονου τότε πετρελαίου και του εξηλεκτρισμού. Μετά την πετρελαϊκή κρίση της δεκαετίας του '70 και ιδιαίτερα τη δεκαετία του '80 άρχισε να χρησιμοποιείται ευρύτατα στις χώρες με ηλιοφάνεια. Στην Κύπρο αναλογεί ένας ηλιακός θερμοσίφοντας για κάθε πέντε κατοίκους, ενώ στο Ισραήλ η χρήση τους είναι υποχρεωτική στις καινούργιες οικοδομές. Σε πολλές άλλες χώρες η χρήση τους επιδοτείται.

Στην Ελλάδα η διάδοση των ηλιακών συσκευών είναι πολύ εντυπωσιακή: το πρώτο μοντέλο λανσαρίστηκε το 1974, το 1980 υπήρχαν εγκατεστημένα περίπου εκατόν πενήντα χιλιάδες τετραγωνικά μέτρα συλλεκτών και το 2004 περίπου τρία εκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα συλλεκτών. Μέρος της επιτυχίας αυτής των ηλιακών θερμοσιφώνων στην Ελλάδα οφείλεται στα φορολογικά κίνητρα που είχε θεσπίσει το Ελληνικό κράτος. Σήμερα οι ηλιακοί θερμοσίφωνες χρησιμοποιούνται από περισσότερους από ένα εκατομμύριο καταναλωτές. Μέχρι και τα τελευταία χρόνια, η Ελλάδα ήταν απ' τις κύριες κατασκευάστριες χώρες ηλιακών θερμοσιφώνων.

1.2.1.2. Είδη ηλιακών θερμοσιφώνων

Διακρίνουμε δύο είδη ηλιακών θερμοσιφώνων ανάλογα με το κύκλωμα κυκλοφορίας του θερμαινόμενου μέσου:

- Ανοικτού κυκλώματος: απευθείας θέρμανση του νερού χρήσης

(το θερμαινόμενο μέσο είναι το ίδιο το νερό που θα χρησιμοποιήσουμε).

- Κλειστού κυκλώματος: έμμεση θέρμανση του νερού χρήσης

(το θερμαινόμενο μέσο κυκλοφορεί σε ιδιαίτερο κύκλωμα το οποίο θερμαίνει το νερό που θα χρησιμοποιήσουμε χωρίς να γίνεται ανάμιξή τους, μέσω εναλλάκτη θερμότητας).

Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες ανοικτού κυκλώματος είναι απλούστεροι και φθηνότεροι, έχουν όμως προβλήματα σε χαμηλές θερμοκρασίες (παγετούς) γιατί δεν μπορούμε να τους προσθέσουμε αντιψυκτικά μίγματα (το θερμαινόμενο μέσο είναι το ίδιο το νερό χρήσης). Στους ηλιακούς θερμοσίφωνες κλειστού κυκλώματος μπορεί το θερμαινόμενο μέσο να είναι και άλλο ρευστό (πχ. λάδι). Αν είναι νερό, έχει αντιψυκτικά και αντιδιαβρωτικά πρόσθετα για προστασία της συσκευής.

Επίσης μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τους ηλιακούς θερμοσίφωνες ανάλογα με τον αριθμό ενεργειακών πηγών που μπορούν να εκμεταλλευτούν σε:

- Διπλής ενέργειας: Ο θερμοσίφοντας λειτουργεί εκμεταλλευόμενος είτε την ηλιακή ενέργεια είτε το ηλεκτρικό ρεύμα (π.χ. κατά την διάρκεια συννεφιάς οπότε η ηλιακή ενέργεια δεν είναι αρκετή για να ζεστάνει το νερό). Για τον σκοπό αυτό, υπάρχει ηλεκτρική αντίσταση τοποθετημένη εντός του τμήματος αποθήκευσης.

- Τριπλής ενέργειας: Λειτουργεί όπως ο ηλιακός θερμοσίφωνα διπλής ενέργειας αλλά έχει επιπλέον μια είσοδο για να εκμεταλλευτεί ως θερμαντικό μέσο το ζεστό νερό του καλοριφέρ που παράγεται από τον λέβητα κεντρικής θέρμανσης. Προϋπόθεση για την εγκατάσταση ηλιακού θερμοσίφωνα τριπλής ενέργειας είναι να υπάρχει η κατάλληλη υποδομή στο οίκημα υπό την μορφή ξεχωριστών σωληνώσεων (ανά διαμέρισμα εάν πρόκειται για πολυκατοικία) που να συνδέουν το λεβητοστάσιο με τον χώρο εγκατάστασης του ηλιακού θερμοσίφωνα (ταράτσα ή σκεπή).

1.2.1.3. Μέρη ηλιακού θερμοσίφωνα

Οι ηλιακοί θερμοσίφωνα, ανεξάρτητα από το είδος τους, αποτελούνται από δύο βασικά μέρη:

- Το τμήμα συλλογής (οι ηλιακοί συλλέκτες, η επιφάνεια απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας).
- Το τμήμα αποθήκευσης (η δεξαμενή αποθήκευσης του νερού).

Τα δύο αυτά μέρη είναι συναρμολογημένα μαζί και συνδέονται με σωληνώσεις, αλλά σε μεγαλύτερα συστήματα μπορούν να είναι και χωριστά και να χρησιμοποιούνται αντλίες για την κυκλοφορία του θερμαινόμενου μέσου, ειδικά όταν το τμήμα αποθήκευσης δεν βρίσκεται στον ίδιο χώρο με το τμήμα συλλογής. Το τμήμα αποθήκευσης διαθέτει και ηλεκτρική αντίσταση με θερμοστάτη, για να μπορεί να παράγεται ζεστό νερό και σε άσχημες καιρικές συνθήκες. Οι ακριβότεροι ηλιακοί θερμοσίφωνα διαθέτουν και κάποια λίγα εξαρτήματα ελέγχου όπως βαλβίδα υπερπίεσης ή αυτόματα εξαεριστικά.

1.2.2. Ηλιακοί συλλέκτες

Το κυριότερο μέρος ενός ηλιακού θερμοσίφωνα είναι οι ηλιακοί συλλέκτες (ή καθρέπτες), που είναι η επιφάνεια συλλογής της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτή αποτελείται από τέσσερα μέρη:

- Την πλάκα συλλογής της ακτινοβολίας
- Τους σωλήνες ροής του νερού
- Την κάλυψη (κρύσταλλο) της πλάκας απορρόφησης και
- Το θερμικά μονωμένο πλαίσιο πάνω στο οποίο στερεώνονται τα υπόλοιπα εξαρτήματα.

Λειτουργία ηλιακών συλλεκτών

Η λειτουργία των συλλεκτών του ηλιακού θερμοσίφωνα βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου που αναπτύσσεται στο χώρο ανάμεσα στην πλάκα απορρόφησης και τη γυάλινη επικάλυψη. Καταρχήν η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει στην (συνήθως μαύρη) απορροφητική πλάκα, ανεβάζοντας τη θερμοκρασία της. Η πλάκα με τη σειρά της εκπέμπει μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (θερμική ακτινοβολία) για την οποία το τζάμι που καλύπτει την πλάκα είναι σχεδόν αδιαφανές. Έτσι η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (η ζέστη) παγιδεύεται ανάμεσα στην πλάκα και το τζάμι, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η απόδοση όσον αφορά τη θέρμανση του νερού (που κυκλοφορεί σε σωλήνες που είναι σ' επαφή με την πλάκα στο πίσω μέρος της ή ενσωματωμένοι σ' αυτή).

Οι κρίσιμοι παράγοντες για την καλή απόδοση του συστήματος είναι η μεγάλη απορροφητικότητα της πλάκας στην ηλιακή ακτινοβολία, ο μικρός συντελεστής εκπομπής της πλάκας στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία και η μεγάλη αδιαφάνεια του κρυστάλλου για τη δεύτερη. Τα υλικά που

προσφέρουν την καλύτερη σχέση απόδοσης-τιμής είναι γυαλί και επιφάνεια από αλουμίνιο ή χαλκό χρωματισμένη μαύρη.

1.2.3. Δεξαμενή αποθήκευσης

Η δεξαμενή αποθήκευσης του νερού χρήσης έχει χωρητικότητα που κυμαίνεται από 100 έως 200 λίτρα για συνήθεις οικιακές εφαρμογές. Η χωρητικότητά της είναι συνάρτηση της συλλεκτικής επιφάνειας που διαθέτει. Είναι συνήθως χαλύβδινη, με εσωτερική επίστρωση για προστασία από την διάβρωση. Η επίστρωση αυτή είναι συνήθως από ειδικά πλαστικά ή εποξειδικά χρώματα ή εμαγιέ (υαλόκραμα). Εναλλακτικά και για ακριβότερα συστήματα η δεξαμενή αποθήκευσης μπορεί να είναι χάλκινη ή ανοξείδωτη. Εξωτερικά έχει πολύ καλή μόνωση συνήθως από πολυουρεθάνη ή υαλοβάμβακα.

Συνήθως έχει ενσωματωμένη κάποια ηλεκτρική αντίσταση. Στα συστήματα κλειστού κυκλώματος έχει επιπλέον ενσωματωμένο εναλλάκτη (σερπαντίνα) για την κυκλοφορία του θερμαινόμενου μέσου ή σε πιο ακριβά συστήματα είναι διπλών τοιχωμάτων (ανάμεσα στα δύο τοιχώματα κυκλοφορεί το θερμαινόμενο μέσο).

1.2.4. Αρχή λειτουργίας ηλιακού θερμοσίφωνα

Ο ηλιακός θερμοσίφοντας κατά την λειτουργία του εκμεταλλεύεται το φυσικό φαινόμενο της ροής των ρευστών λόγω διαφοράς θερμοκρασίας (διαφοράς πυκνότητας), γνωστό και σαν αρχή του θερμοσιφώνου. Έτσι επιτυγχάνεται με φυσικό τρόπο χωρίς κυκλοφορητή (αντλία) συνεχής ροή του θερμαινόμενου μέσου, από το θερμότερο σημείο (ηλιακοί συλλέκτες) προς το ψυχρότερο (δεξαμενή νερού), μέχρις ότου τα δύο σημεία να αποκτήσουν παρόμοιες

θερμοκρασίες. Για να είναι αυτό δυνατό πρέπει το ψυχρότερο σημείο να είναι ψηλότερα από το θερμότερο σημείο και για τον λόγο αυτό σε όλους τους ηλιακούς θερμοσίφωνες η δεξαμενή αποθήκευσης είναι πάντα ψηλότερα από τους ηλιακούς συλλέκτες.

Η συνολική απόδοση του ηλιακού θερμοσίφωνα εξαρτάται κι απ' τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, τη νεφοκάλυψη και την αποτελεσματικότητα της θερμικής μόνωσης του συστήματος.

1.2.5. Εγκατάσταση των ηλιακών θερμοσιφώνων

Ο καλύτερος προσανατολισμός για την τοποθέτηση των ηλιακών θερμοσιφώνων (ακριβέστερα των ηλιακών συλλεκτών) είναι ο νότιος, για να εκμεταλλεύεται ο θερμοσίφοντας όσο περισσότερες ώρες ηλιοφάνειας γίνεται. Απόκλιση μέχρι 15 μοίρες από τον νότο δεν έχει μεγάλη επίπτωση στην απόδοσή του. Σε μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρείται μείωση της απόδοσης. Ακόμα η κλίση του ηλιακού συλλέκτη πρέπει να είναι 20-50 μοίρες. Μεγαλύτερη ή μικρότερη κλίση μειώνει την απόδοση.

Οι προβλεπόμενες συνδέσεις για την λειτουργία του είναι δύο υδραυλικές (είσοδος κρύου νερού, έξοδος ζεστού νερού χρήσης) και μία ηλεκτρική (ηλεκτρική αντίσταση). Στην είσοδο του κρύου νερού πρέπει να τοποθετηθεί βάνα για να είναι δυνατή η απομόνωσή του από το δίκτυο σε περίπτωση συντήρησης ή επισκευής. Καλό είναι στις υδραυλικές σωληνώσεις να τοποθετηθεί βαλβίδα ασφαλείας έναντι υπερπίεσης και αυτόματο εξαεριστικό, αν δεν υπάρχουν ήδη ενσωματωμένα από τον κατασκευαστή. Καλό είναι επίσης στην σωλήνωση εξόδου του ζεστού νερού χρήσης να τοποθετηθεί

εξωτερικό μονωτικό περίβλημα καλής ποιότητας.

Χρειάζεται στοιχειώδης συντήρηση, κυρίως καθαρισμός των πλακών επιφανειακά, αντικατάσταση της αντιδιαβρωτικής προστασίας όποτε αυτό απαιτείται σύμφωνα με τον κατασκευαστή και συμπλήρωση με αντιψυκτικό υγρό τον χειμώνα (μόνο στους ηλιακούς θερμοσίφωνες κλειστού κυκλώματος). Ακόμα σε περιπτώσεις ισχυρού ψύχους (χιόνι, παγετός κλπ) συνιστάται η κάλυψη των κρυστάλλων με πανί ή χαρτόνι για να αποφευχθεί η καταστροφή τους (θραύση). Σημειώνεται ότι η κάλυψη των κρυστάλλων δεν προσφέρει καμία προστασία σε περίπτωση θερμοσιφώνων ανοικτού κυκλώματος. Το μόνο αποτελεσματικό μέτρο σε τέτοιες περιπτώσεις είναι το πλήρες άδειασμα του θερμοσίφωνα από το νερό μέχρι να αυξηθεί η θερμοκρασία του περιβάλλοντος πάνω από το μηδέν.

1.2.6. Ο ηλιακός θερμοσίφοντας σαν οικολογική συσκευή

Ο ηλιακός θερμοσίφοντας είναι μια απ' τις "καθαρότερες" και πιο αποδοτικές συσκευές που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στη διάρκεια ζωής του ο ηλιακός θερμοσίφοντας εξοικονομεί περίπου δυο χιλιάδες ευρώ απ' τους λογαριασμούς ρεύματος σε τιμές 2005, ενώ αποφεύγεται η έκλυση περίπου τριάντα τόνων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Κάθε ντους με νερό από ηλιακό θερμοσίφωνα ισοδυναμεί με τρία κιλά διοξειδίου του άνθρακα λιγότερα στην ατμόσφαιρα [33].

Πέρα από την οικιακή χρήση, η οποία είναι και η πιο διαδεδομένη σήμερα, ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε απαιτείται θερμότητα χαμηλής ενεργειακής στάθμης. Έτσι, η χρήση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ψύξης, για τον κλιματισμό χώρων και

άλλες εφαρμογές, εμφανίζεται ως μια 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, ενώ μπαίνει σταδιακά και στη χώρα μας, 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.τ.λ.) 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.

Τέλος, στην ευρωπαϊκή αγορά αρχίζει να εισχωρεί και ο ηλιακός κλιματισμός, δηλαδή η χρήση ηλιακής ενέργειας, όχι μόνο για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρων, αλλά και ο κλιματισμός τους την καλοκαιρινή περίοδο. Η χρήση των συστημάτων αυτών στις ελληνικές κλιματικές συνθήκες είναι τεχνικά, αλλά και οικονομικά αποδοτική, δεδομένων των εξαιρετικά υψηλών απαιτήσεων σε κλιματισμό, σε συνδυασμό με την ταυτόχρονη υψηλή, δωρεάν ηλιακή ενέργεια. Τέτοιες εγκαταστάσεις επιδρούν θετικά και στην ηλεκτροπαραγωγή της χώρας μας, καθώς η ζήτηση

ηλεκτρικής ενέργειας ενός συστήματος ηλιακού κλιματισμού είναι από 90% έως και 97% χαμηλότερη από αυτή ενός συμβατικού κλιματιστικού συστήματος [1].

Η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τόσο σε απομακρυσμένες όσο και σε κατοικημένες περιοχές, χωρίς επιπτώσεις στο περιβάλλον, κάνει ελκυστική τη χρήση θερμικών ηλιακών συστημάτων στην Ελλάδα.

1.3. Παθητικά Ηλιακά Συστήματα

Τα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα είναι αναπόσπαστα κομμάτια – δομικά στοιχεία ενός κτιρίου που λειτουργούν χωρίς μηχανολογικά εξαρτήματα ή πρόσθετη παροχή ενέργειας και με φυσικό τρόπο θερμαίνουν, αλλά και δροσίζουν τα κτίρια.

Τα Παθητικά Συστήματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

1. Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης
2. Παθητικά Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Δροσισμού
3. Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Φωτισμού

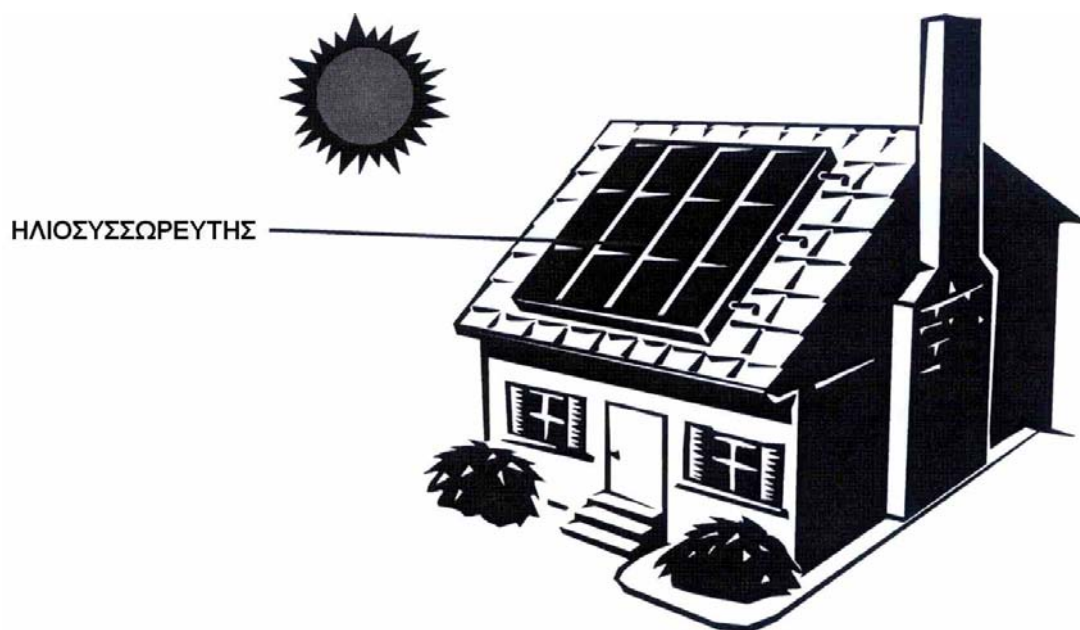
Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός ενός κτιρίου συνεπάγεται τη συνύπαρξη και συνδυασμένη λειτουργία όλων των συστημάτων, ώστε να συνδυάζουν θερμικά και οπτικά οφέλη καθ'όλη τη διάρκεια του έτους.

1.3.1. Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα στα κτίρια αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για θέρμανση των χώρων το χειμώνα, καθώς και για παροχή φυσικού φωτισμού.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν υπό μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στο χώρο.

Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ειδικότερα, στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού και τον εγκλωβισμό της προκύπτουσας θερμότητας στο εσωτερικό του χώρου που καλύπτεται από το γυαλί. Όλα τα παθητικά ηλιακά συστήματα πρέπει να έχουν προσανατολισμό περίπου νότιο, ώστε να υπάρχει ηλιακή πρόσπτωση στα ανοίγματα κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια της ημέρας το χειμώνα.



Εικόνα 1: Τυπική διάταξη ηλιακού συλλέκτη σε κατοικία.

Το συνηθέστερο παθητικό ηλιακό σύστημα (σύστημα άμεσου κέρδους) βασίζεται στην αξιοποίηση των παραθύρων κατάλληλου προσανατολισμού, σε συνδυασμό με την κατάλληλη θερμική μάζα (βαριά υλικά, όπως πέτρα, πλάκες, μπετόν στους τοίχους και στα δάπεδα, χωρίς να είναι καλυμμένα, π.χ. από χαλιά), η οποία απορροφά μέρος της θερμότητας και την «προσφέρει» στο χώρο αργότερα και έτσι διατηρείται ο χώρος θερμός για πολλές ώρες. Ένα

νότιο οριζόντιο σκίαστρο μπορεί να εμποδίσει τον καλοκαιρινό ήλιο που έρχεται από πιο ψηλά να μπει απ' ευθείας στο χώρο.

Τα υπόλοιπα παθητικά συστήματα είναι συστήματα έμμεσου κέρδους και ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Ηλιακοί τοίχοι** : Έχουν στην εξωτερική τους πλευρά, σε μικρή απόσταση από την τοιχοποιία τζάμι (υαλοπίνακα) και λειτουργούν ως ηλιακοί συλλέκτες, μεταφέροντας τη θερμότητα είτε μέσω του υλικού του τοίχου (*τοίχος θερμικής αποθήκευσης*), είτε μέσω θυρίδων (*θερμοσιφωνικό πάνελο*) στον εσωτερικό χώρο. Συνδυασμός των δύο λειτουργιών είναι ο *τοίχος μάζας με θυρίδες τοίχος Trombe - Michel* .
- **Θερμοκήπια (ηλιακοί χώροι)** : Είναι κλειστοί χώροι που ενσωματώνονται σε νότια τμήματα του κτιριακού κελύφους και περιβάλλονται από υαλοστάσια. Η ηλιακή θερμότητα από το θερμοκήπιο μεταφέρεται στους κυρίως χώρους του κτιρίου μέσω ανοιγμάτων ή και διαπερνά τον τοίχο.
- **Ηλιακά αίθρια:** είναι εσωτερικοί χώροι του κτιρίου οι οποίοι έχουν στην οροφή τους τζάμι και λειτουργούν όπως τα θερμοκήπια.

Όλα τα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα πρέπει να συνδυάζονται με την απαιτούμενη θερμική προστασία (θερμομόνωση) και την απαιτούμενη θερμική μάζα του κτιρίου, η οποία αποθηκεύει και αποδίδει τη θερμότητα στο χώρο με χρονική υστέρηση, ομαλοποιώντας έτσι την κατανομή της θερμοκρασίας μέσα στο εικοσιτετράωρο. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θα πρέπει το καλοκαίρι να συνδυάζονται με ηλιοπροστασία και συχνά με δυνατότητα αερισμού.

1.3.2. Παθητικά Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Δροσισμού

Οι πιο συνηθισμένες και απλές μέθοδοι φυσικού δροσισμού είναι:

- Η **ηλιοπροστασία** (σκίαση) του κτιρίου, η οποία επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους και μέσα, όπως η φυσική βλάστηση, τα γεωμετρικά στοιχεία (προεξοχές) του κτιρίου, σκίαστρα μόνιμα ή κινητά, εξωτερικά ή εσωτερικά των ανοιγμάτων, υαλοπίνακες με ειδικές επιστρώσεις ή ειδικής επεξεργασίας (ανακλαστικοί, επιλεκτικοί, ηλεκτροχρωμικοί, κ.λ.π.).
- Ο **φυσικός εξαερισμός** με κατάλληλο σχεδιασμό και λειτουργία των ανοιγμάτων στο κέλυφος και θυρίδες στο πάνω και κάτω τμήμα των διαχωριστικών εσωτερικών τοίχων που επιτρέπουν την κίνηση του αέρα στους εσωτερικούς χώρους.
- Ο νυχτερινός διαμπερής αερισμός είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός, ιδιαίτερα τις θερμές ημέρες, κατά τις οποίες ο ημερήσιος αερισμός δεν είναι δυνατός. Ο νυχτερινός αερισμός συνεισφέρει στην αποθήκευση «δροσιάς» στη θερμική μάζα του κτιρίου, με αποτέλεσμα την μειωμένη επιβάρυνση του κτιρίου κατά την επόμενη μέρα.
- Η χρήση ανεμιστήρων, ιδιαίτερα ανεμιστήρων οροφής, ενισχύει το φαινόμενο του φυσικού αερισμού, με ελάχιστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, συνεισφέρει στην επίτευξη θερμικής άνεσης σε θερμοκρασίες υψηλότερες από τις συνήθεις (περίπου 2-3°C), καθώς με την κίνηση του αέρα που δημιουργείται μεταφέρεται θερμότητα από το ανθρώπινο σώμα.
- Η **χρήση της θερμικής μάζας** για τη μείωση των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου.
- **Μείωση των εσωτερικών κερδών** του κτιρίου (θερμότητα που παράγεται από τις ηλεκτρικές, κυρίως συσκευές).

Άλλες μέθοδοι παθητικού δροσισμού πιο σύνθετες και όχι τόσο ευρείας εφαρμογής, επιφέρουν επιπρόσθετα οφέλη ψύξης, και είναι:

- Θερμική προστασία του κτιριακού περιβλήματος με τεχνικές όπως φυτεμένο δώμα, αεριζόμενο κέλυφος, ανακλαστικά επιχρίσματα εξωτερικών επιφανειών, φράγμα ακτινοβολίας.
- Ενίσχυση του φυσικού εξαερισμού με πύργους αερισμού ή ηλιακές καμινάδες
- Δροσισμός με εξάτμιση νερού με τεχνικές όπως: επιφάνειες νερού, πύργος δροσισμού, ψυκτικές μονάδες εξάτμισης (άμεσης, έμμεσης ή συνδυασμένης εξάτμισης), ή και βλάστηση (μέσω της εξατμισοδιαπνοής των φυτών)
- Δροσισμός με απόρριψη της θερμότητας στην ατμόσφαιρα με ακτινοβολία στο νυχτερινό ουρανό
- Δροσισμός με απόρριψη της θερμότητας από το κτίριο στη γη με αγωγή, (υπόσκαφα ή ημιυπόσκαφα κτίρια, ή υπεδάφιο σύστημα αγωγών και εναλλάκτες εδάφους-αέρα).

1.3.3. Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Φωτισμού

Ο φυσικός φωτισμός στοχεύει στην επίτευξη οπτικής άνεσης μέσα στα κτίρια, αλλά και στη γενικότερη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης μέσα στους χώρους, συνδυάζοντας φως, θέα, δυνατότητα αερισμού, αξιοποίηση και ρύθμιση της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας. Ιδιαίτερη σημασία κατά το σχεδιασμό των συστημάτων φυσικού φωτισμού έχει η κατά το δυνατόν μεγαλύτερη κάλυψη των απαιτήσεων σε φωτισμό από το φυσικό φως, ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου και την εργασία που επιτελείται μέσα στους χώρους.

Μέσω των κατάλληλων συστημάτων και τεχνικών εξασφαλίζεται στους εσωτερικούς χώρους επαρκής ποσότητα (στάθμη φωτισμού), αλλά και ομαλή κατανομή, ώστε να αποφεύγονται έντονες διαφοροποιήσεις της στάθμης, οι οποίες προκαλούν φαινόμενο «θάμβωσης».

Τα συστήματα φυσικού φωτισμού διακρίνονται σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες:

1. Ανοίγματα στην κατακόρυφη τοιχοποιία
2. Ανοίγματα οροφής
3. Αίθρια
4. Φωταγωγοί

Τα συστήματα αυτά συνδυάζονται με συγκεκριμένες τεχνικές που αφορούν στο σχεδιασμό των ανοιγμάτων, στις οπτικές ιδιότητες των υαλοπινάκων, στα φωτομετρικά χαρακτηριστικά επιφανειών του χώρου και των ανοιγμάτων του (υφή, χρώμα, φωτοδιαπερατότητα υλικών) και στη χρήση ανακλαστήρων, για την εξασφάλιση *επάρκειας και ομαλής κατανομής του φυσικού φωτός*. Οι συνηθέστερες τεχνολογίες φυσικού φωτισμού αφορούν υαλοπίνακες με συγκεκριμένες ιδιότητες, πρισματικά φωτοδιαπερατά στοιχεία, διαφανή μονωτικά υλικά και ανακλαστήρες (ράφια φωτισμού ή ανακλαστικές περσίδες).

1.3.4. Βασικά χαρακτηριστικά παθητικών ηλιακών συστημάτων:

Εκμετάλλευση της τοπικής ενέργειας.

Τα παθητικά συστήματα παρέχουν θέρμανση και δροσισμό ,με την εκμετάλλευση των φυσικών πόρων και καταβόθρων ενέργειας.

Πηγή ενέργειας αποτελεί οποιοδήποτε στοιχείο του περιβάλλοντος που συνεισφέρει θερμότητα σε ένα κτίριο, ενώ το στοιχείο που απορροφά θερμότητα συνιστά καταβόθρα.

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί την κυριότερη φυσική πηγή ενέργειας, ενώ ο ουρανός την κυριότερη καταβόθρα. Δε συνειδητοποιούμε πάντοτε ότι σε μια μέρα η γη δέχεται από τον ήλιο περισσότερη ενέργεια από εκείνη που εμείς καταναλώνουμε σε ένα έτος. Δεδομένου ότι η μέση θερμοκρασία της γης είναι σχεδόν σταθερή, προκύπτει το συμπέρασμα ότι αυτή η εντυπωσιακή ποσότητα θερμότητας αποβάλλεται προς τον ουρανό, κυρίως μέσω της νυκτερινής επανακτινοβολίας.

Θερμική εκμετάλλευση των κτιρίων.

Στα παθητικά συστήματα, τα στοιχεία συλλογής, αποθήκευσης, μετάδοσης και διάχυσης της θερμότητας αποτελούν αναπόσπαστα μέρη των αρχιτεκτονικών στοιχείων, π.χ. των τοίχων και της στέγης. Έτσι, ένα αρχιτεκτονικό στοιχείο, εκτός από την οριοθέτηση του χώρου ή τον προσδιορισμό της μορφής του κτιρίου, μπορεί να χρησιμεύει και στη θέρμανση ή το δροσισμό του.

Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τη παραδοσιακή αντίληψη, σύμφωνα με την οποία η λειτουργία κάθε στοιχείου έχει μια μοναδική αποστολή. Ο συνδυασμός των λειτουργιών εξασφαλίζει μεν οικονομικές λύσεις, αλλά μπορεί να οδηγήσει σε πολύπλοκα ενεργειακά συστήματα, η συμπεριφορά των οποίων δεν είναι προβλέψιμη.

Με λίγα λόγια, τα παθητικά συστήματα χρησιμοποιούν την ενέργεια που συγκεντρώνεται στη συγκεκριμένη θέση, τις φυσικές ροές ενέργειας και τις

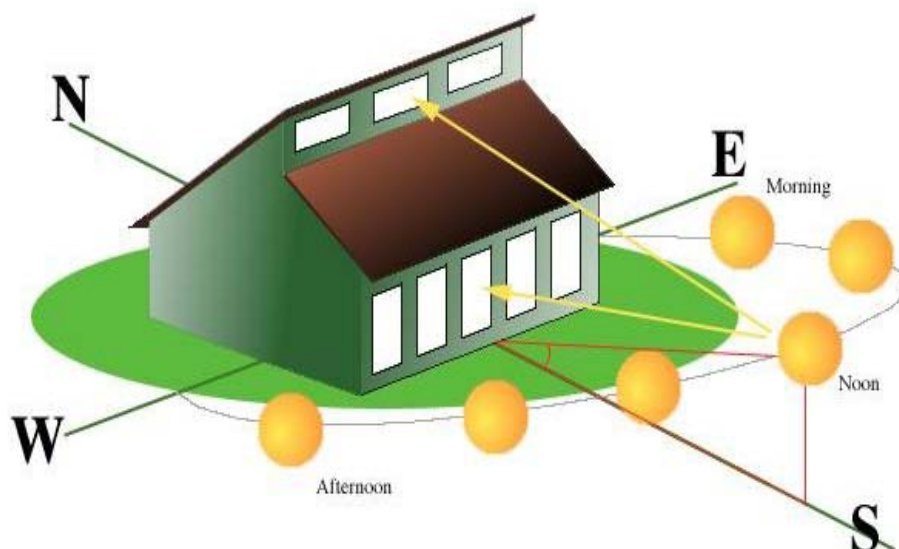
παραδοσιακές αρχιτεκτονικές διατάξεις με σκοπό τη θέρμανση και το δροσισμό των κτιρίων. Επιπλέον, ανταποκρίνονται στα σύγχρονα κριτήρια άνεσης, ενώ συγχρόνως ελαττώνουν τη χρήση ορυκτών καυσίμων, και μάλιστα με οικονομικό τρόπο.

1.3.5. Ενεργειακές ροές

Κατά τη χρήση των παθητικών συστημάτων, συμβαίνουν ενεργειακές ροές. Έτσι θερμότητα και φως εισρέουν από τους υαλοπίνακες ενώ θερμότητα εισρέει από τους τοίχους.

Πάντα υπάρχουν δυο σημαντικές ροές θερμότητας μέσα και έξω από το κτίριο. Η μια είναι η εισροή ηλιακής ακτινοβολίας και η άλλη η απόρριψη θερμότητας τους κρύους μήνες η συσσώρευση τους θερινούς. Και οι δυο ροές μεταβάλλονται σημαντικά εξαρτώμενες από την ώρα της ημέρας και την εποχή του χρόνου. Προσθέτοντας κάποιο διαφανή υαλοπίνακα είναι η βασική στρατηγική για την ομαλή προσαρμογή στις οποιαδήποτε εξωτερικές μεταβολές της θερμότητας. Είναι ένας τρόπος πλήρους εκμετάλλευσης των απαιτούμενων ενεργειακών ροών και μείωσης ανεπιθύμητων ποσών έξω. Τέτοια στρατηγική αντιμετώπισης υποθέτει βέβαια ότι έχουν παρθεί μέτρα διατήρησης ενεργείας [2].

1.3.6. Παθητικά ηλιακά συστήματα και η απόδοσή τους στην Ελλάδα



Εικόνα 2: Προσανατολισμός των ανοιγμάτων σύμφωνα με τη θέση του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Αναγκαία προϋπόθεση για τη σωστή λειτουργία των παθητικών ηλιακών συστημάτων ώστε να αξιοποιήσουν όσο το δυνατό περισσότερο την ηλιακή ενέργεια, είναι ένας κατάλληλος σχεδιασμός του κτιρίου. Αυτό σημαίνει ότι το κέλυφος πρέπει να επιτρέπει :

- Τη μέγιστη **ηλιακή συλλογή**
- Τη μέγιστη **θερμοχωρητικότητα**
- Τις ελάχιστες **θερμικές απώλειες**

Η λειτουργία των παθητικών συστημάτων βασίζεται σε 3 μηχανισμούς

- **Το φαινόμενο του θερμοκηπίου** (συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας και η διατήρησή της στο εσωτερικό του κτιρίου για την θέρμανση των χώρων)
- **Τη θερμική υστέρηση των υλικών** (θερμοχωρητικότητα)
- **Τις αρχές μετάδοσης της θερμότητας** (την ιδιότητα της θερμότητας να μεταφέρεται από το θερμό στο κρύο αντικείμενο)

1.3.7. Είδη παθητικών ηλιακών συστημάτων για θέρμανση

- Άμεσο κέρδος
- Έμμεσο κέρδος
- Απομονωμένο κέρδος

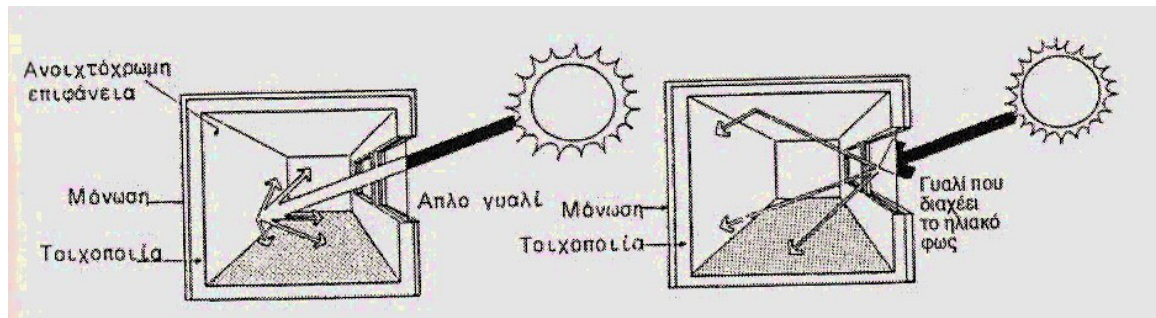
1.3.7.1. Άμεσο κέρδος

Το πιο απλό σύστημα που αξιοποιεί την ηλιακή ακτινοβολία για την θέρμανση του κτιρίου είναι το άμεσο κέρδος μέσω των νότια προσανατολισμένων ανοιγμάτων.

Η αποτελεσματικότητα ενός τέτοιου συστήματος επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες :

- **Προσανατολισμός**
- **Θέση ανοιγμάτων**
- **Μέγεθος ανοιγμάτων**

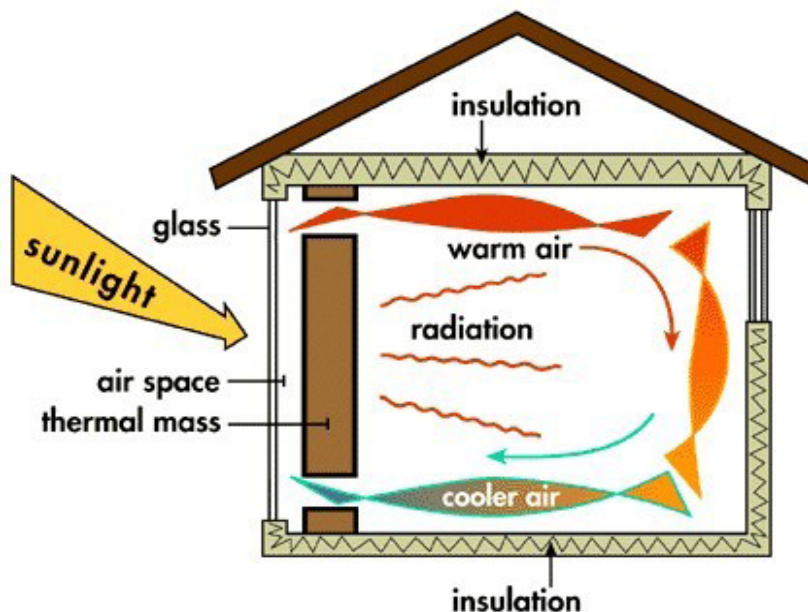
Σημαντικό ρόλο για τη σωστή εφαρμογή του συστήματος παίζει η επιλογή των τύπων των υαλοπινάκων και η επιλογή των δομικών στοιχείων (τοίχοι, δάπεδο, οροφή). Αυτά πρέπει να έχουν τουλάχιστον 9 φορές μεγαλύτερη επιφάνεια από τα ανοίγματα και πρέπει να κατασκευάζονται από υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας για την αποθήκευση του ηλιακού θερμικού κέρδους.



Εικόνα 3: Τοποθέτηση ανοιγμάτων για παθητικά ηλιακά συστήματα άμεσου κέρδους.

1.3.7.2. Έμμεσο κέρδος

Ανήκουν τα συστήματα που αξιοποιούν έμμεσα τα ηλιακά οφέλη για την θέρμανση του κτιρίου. Αυτά τα συστήματα απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο κέλυφος και ύστερα επιτρέπουν στη θερμότητα να διεισδύσει στους χώρους διαβίωσης.



Εικόνα 4: Αναπαράσταση παθητικού ηλιακού συστήματος έμμεσου κέρδους.

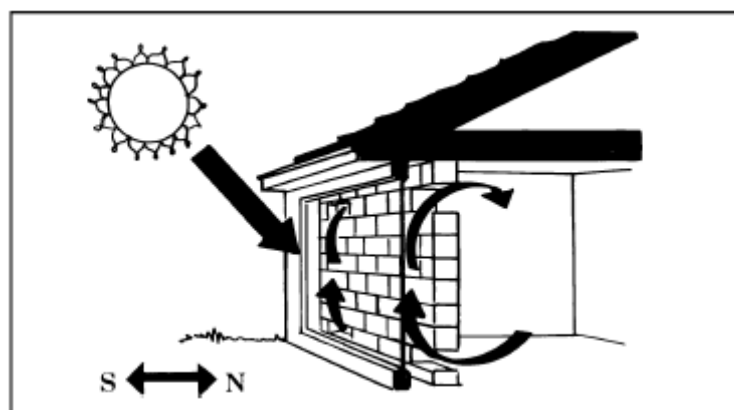
Ο θερμικός τοίχος (τοίχος μάζας, Trombe ή τοίχος νερού) το δώμα θερμικής αποθήκευσης και ο τοίχος μεταξύ του θερμοκηπίου και του χώρου διαβίωσης, είναι οι κύριες εφαρμογές των μηχανισμών έμμεσου κέρδους.

Τοίχος θερμικής αποθήκευσης

Είναι ένας συνδυασμός τοίχου νότιου προσανατολισμού και μιας εξωτερικής διάφανης επιφάνειας (συνήθως γυαλί) στη εξωτερική πλευρά του τοίχου σε απόσταση συνήθως 10cm. Η εξωτερική επιφάνεια του τοίχου πρέπει να είναι σκουρόχρωμη ώστε να μεγιστοποιεί την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο τοίχος κατασκευάζεται από υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας για να διασφαλίζει χρονική υστέρηση τουλάχιστον 6h ώστε η εσωτερική του επιφάνεια να έχει τη μέγιστη θερμοκρασία στην αρχή της νύχτας.

Τοίχος Trombe

Είναι ένας τοίχος θερμικής αποθήκευσης που σε όλο το επάνω και κάτω μέρος του μήκους του υπάρχουν θυρίδες για να διευκολύνουν την κίνηση του αέρα. Η λειτουργία του βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοσιφωνισμού και πραγματοποιείται κίνηση του αέρα λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας.



Εικόνα 5: Απεικόνιση της μορφής ενός τυπικού συστήματος trombe τοίχου-υαλοπίνακα και της ανακυκλοφορίας αέρα που επιτυγχάνεται.

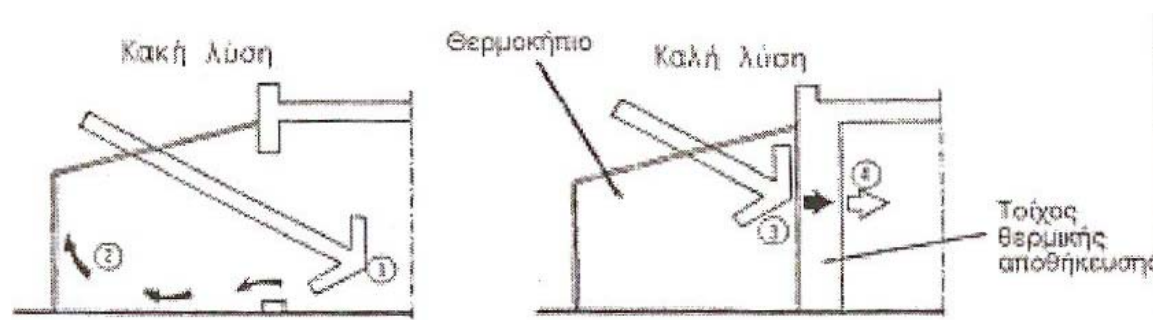
Warm air

Κατά τη διάρκεια της ημέρας ο θερμός αέρας κινείται προς τα πάνω και εισέρχεται στο χώρο απ' την πάνω θυρίδα, ενώ ο ψυχρότερος αέρας από τον εσωτερικό χώρο περνάει από τη κάτω θυρίδα και αντικαθιστά το κενό που δημιουργήθηκε μεταξύ τοίχου και υαλοπίνακα.

Το καλοκαίρι βασική προϋπόθεση καλής λειτουργίας είναι ο τοίχος να σκιάζεται με σταθερό ή κινούμενο σκίαστρο και ο φεγγίτης στο πάνω μέρος του υαλοστασίου να ανοίγει για να εξασφαλιστεί η απομάκρυνση του θερμού αέρα.

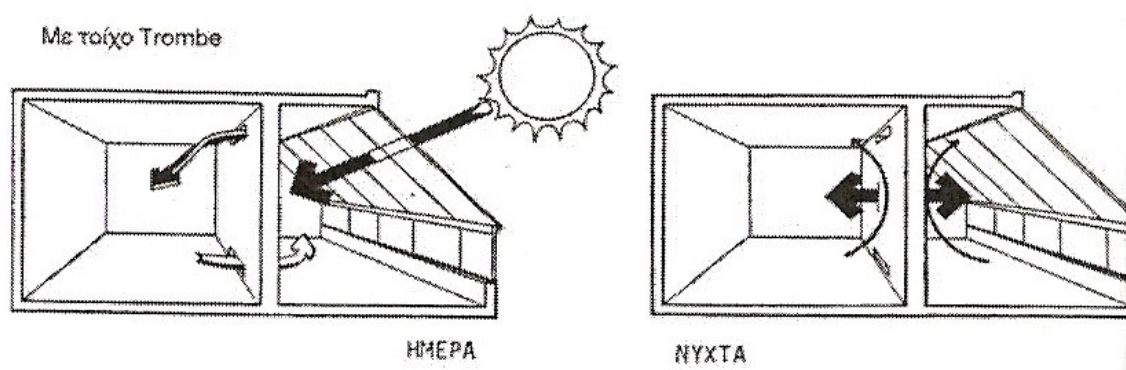
Θερμοκήπιο

Το θερμοκήπιο ή σέρα ή ηλιακός χώρος είναι ένας κλειστός χώρος με μεγάλο ποσοστό γυάλινης επιφάνειας και νότιο προσανατολισμό προσαρτημένο σε τμήμα του κτιρίου. Το σύστημα λειτουργεί καλύτερα αν μεταξύ του θερμοκηπίου και του κτιρίου υπάρχει τοίχος θερμικής αποθήκευσης κατασκευασμένος από υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας .



Εικόνα 6: Επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια-αθλητικά κέντρα-βιομηχανίες-μεταφορές Στ.Περδιδός/σελ.132

Η απόδοση του βελτιώνεται αν προβλεφτούν θυρίδες στο πάνω και κάτω μέρος του τοίχου για τη κίνηση του αέρα.



Εικόνα 7: Τοποθέτηση τοίχου θερμικής αποθήκευσης μεταξύ του θερμοκηπίου και του κτιρίου.

Το μέγεθος του εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής.

Οι συνθήκες υπερθέρμανσης που δημιουργούνται το καλοκαίρι αντιμετωπίζονται με σκιασμό του θερμοκηπίου (εξωτερικά) και ανοίγματα στην οροφή για την απομάκρυνση του θερμού αέρα.

1.3.7.3. Απομονωμένο κέρδος

Στα συστήματα απομονωμένου κέρδους η επιφάνεια ηλιοσυλλογής δεν βρίσκεται σε επαφή με τον χώρο που επιθυμούμε να θερμάνουμε. Μεταξύ αυτής της επιφάνειας και του χώρου διαβίωσης υπάρχει ένας μηχανισμός μετάδοσης της θερμότητας όπως για παράδειγμα ένας ανεμιστήρας. Στα πραγματικά παθητικά ηλιακά συστήματα η μετάδοση της θερμότητας γίνεται με μη μηχανικά μέσα και βασίζεται κυρίως στην άνωση, μεταγωγή και ακτινοβολία της θερμότητας. Παράδειγμα απομονωμένου κέρδους είναι το θερμοσιφωνικό πάνελο και το rock bed.

1.3.8. Συμπεράσματα

Η χρήση των παθητικών ηλιακών συστημάτων αξιοποιείται κυρίως για ενεργειακά οφέλη κατά τους χειμερινούς μήνες, ενώ για το καλοκαίρι χρησιμοποιούνται απλές τεχνικές δροσισμού όπως ηλιοπροστασία και φυσικός αερισμός.

Από την μελέτη εφαρμογών των συστημάτων αυτών στη Ελλάδα και από μετρήσεις που έγιναν από το ΚΑΠΕ, βλέπουμε ότι η εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση που παρουσιάζουν τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι ιδιαίτερα σημαντική, με την προϋπόθεση ότι πρέπει να συνδυαστούν με αντίστροφες μεθόδους ηλιοπροστασίας και σκίασης ώστε να ελαχιστοποιήσουν τα ηλιακά κέρδη το καλοκαίρι.

Πιο συγκεκριμένα εκτός από την πολύ σημαντική συνεισφορά του άμεσου ηλιακού κέρδους, τα συστήματα έμμεσου κέρδους συνεισφέρουν στο ενεργειακό ισοζύγιο :

Ηλιακοί χώροι – Θερμοκήπια έως 60 %

Θερμικοί τοίχοι 20 – 35 %

Φυσικά, η εφαρμογή ενός η περισσοτέρων παθητικών συστημάτων σε ένα κτίριο δεν σημαίνει ότι το κτίριο γίνεται αυτομάτως βιοκλιματικό. Ο 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 [3].

1.4. Ηλιακή Ενέργεια και ηλιακό δυναμικό

Η ηλιακή θερμότητα λειτουργεί απορροφώντας ηλιακή ακτινοβολία και μετατρέποντας την σε θερμική ενέργεια. Η έννοια της κυκλοφορίας του αέρα, που ονομάζεται φυσική συναγωγή, αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι όλων των επιτυχημένων εγκαταστάσεων ηλιακής θέρμανσης.

Εάν ένα ηλιακό σύστημα θέρμανσης λειτουργεί με φυσική συναγωγή, ο θερμός αέρας ανεβαίνει και ο κρύος αέρας πέφτει, τότε το αποτέλεσμα σε επίπεδο άνεσης μπορεί να υπερβεί τις προσδοκίες.

Η ηλιακή θέρμανση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση του χώρου στο σπίτι σας ή για τη θέρμανση του νερού στο υδραυλικό σύστημα σας.

Υπάρχουν πολλά οφέλη για την ενσωμάτωση ενός ηλιακού συστήματος θέρμανσης στο σχεδιασμό του σπιτιού σας:

Η ηλιακή θερμότητα είναι φιλική προς το περιβάλλον, δεν ρυπαίνει ή παράγει αέρια θερμοκηπίου, βοηθά στη διατήρηση των ενεργειακών πόρων της Γης. Επίσης, είναι η καλύτερη επιλογή για τα άτομα με προβλήματα αλλεργίας και ευαισθησίες χημικών.

Έχει σταθερή τιμή, και έτσι προστατεύεστε από τον πληθωρισμό και τις πολιτικές / οικονομικές εκπλήξεις που έρχονται με άλλα καύσιμα.

1.5. Εφαρμογές θερμικής ενεργειακής αποθήκευσης (ΘΕΑ) και ηλιακής ενέργειας στα κτίρια.

Η ικανότητα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας είναι σημαντική για αποτελεσματική χρήση της ηλιακής ενέργειας στα κτίρια. Σήμερα, το ενδιαφέρον έχει στραφεί στα παθητικά συστήματα για θέρμανση χώρου και στα ενεργειακά συστήματα για θέρμανση νερού.

Για θέρμανση κτιρίων, χρησιμοποιούνται τυπικά υλικά παθητικής ΘΕΑ, συμπεριλαμβανομένων: νερό, πέτρες, τοιχοποιία και μπετόν. Για καλή απόδοση, αυτά τα υλικά αποθήκευσης πρέπει να είναι συμπαγή. Επειδή η επιτρεπόμενη θερμοκρασία τους μεταβάλλεται, περιορίζονται από τις συνθήκες άνεσης, οι οποίες πρέπει να διατηρούνται στο εσωτερικό του κτιρίου.

Με εφαρμογές κατασκευής «ελαφρών» κτιρίων, όπως αυτές που έχουν γίνει στις ΗΠΑ, ένα «ελαφρύ», λανθάνον ΘΕΑ σύστημα, το οποίο εύκολα εγκαθίσταται σε ένα κτίριο, θα μπορούσε να είναι αποδοτικό. Ένα πρόβλημα είναι η αποτελεσματικότητα και η οικονομική ανάλυση ενός PCM στην υγρή φάση του.

Σωλήνες, ράβδοι, φιάλες και μεταλλικά κουτιά που περιέχουν PCM, που λιώνει στο εύρος της θερμοκρασίας δωματίου, έχουν μελετηθεί με ποικίλους βαθμούς επιτυχίας. Οι περισσότεροι αποδείχθηκαν μη οικονομικοί.

Μια πιο ενδιαφέρουσα προσέγγιση είναι η γυψοσανίδα (wallboard) που περιέχει PCM. Με τη γυψοσανίδα παρέχοντας περιεχόμενο PCM, καθώς εξυπηρετεί μια αρχιτεκτονική λειτουργία, τα οικονομικά βελτιώνονται.

Επιπλέον η μεγάλη περιοχή θερμικής μεταφοράς του τοίχου, υποστηρίζει μεγάλη θερμική ροή οδηγούμενη από μικρές θερμοκρασιακές διαφορές.

Η εποχιακή αποθήκευση έχει ελεγχθεί πιλοτικά και έχει χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο αριθμό χωρών για αποθήκευση ηλιακής ενέργειας για παροχή θέρμανσης χώρου το χειμώνα, από κοινού με θερμικά συστήματα περιοχής.

Η Σουηδία έχει εφαρμόσει πολλά τέτοια συστήματα. Ένα σύστημα ΘΕΑ εξετασμένο από το Πανεπιστήμιο της Μασαχουσέτης στο Άμχερστ (Tomlinson και Kannberg, 1990), ξεκίνησε χρησιμοποιώντας μια μακροχρόνια εποχιακή θερμική αποθήκευση ηλιακής ενέργειας σε μια υπο-επιφάνεια πήλινης διαμόρφωσης για θέρμανση σε ένα τοπικό αθλητικό κέντρο.

Χρήση της εποχιακής αποθήκευσης μπορεί να ελαττώσει σημαντικά το κόστος παροχής ηλιακού ενεργειακού συστήματος που μπορεί να υποστηρίξει το 100% των ενεργειακών αναγκών λόγω της μειωμένης περιοχής συλλογής που απαιτείται.

Σε περιοχές με μεγάλο γεωγραφικό πλάτος, η αποθήκευση είναι ουσιαστικά απαραίτητη για να παρέχει ένα μεγάλο ποσοστό της θέρμανσης από ηλιακή ενέργεια. Τα οικονομικά της κλίμακας ευνοούν σχετικά μεγάλα συστήματα.

Το σύστημα αποθήκευσης είναι η καρδιά της ηλιακής θερμότητας και του κλιματιστικού συστήματος. Η αποθήκευση ακόμα και έξω από τα ακραία όρια της θερμοκρασίας, προκαλείται από τον καθημερινό κύκλο της ηλιακής διαθεσιμότητας, επιτρέποντας στις εσωτερικές θερμοκρασίες να παραμένουν

άνετες κατά τη διάρκεια της μέρας, καθώς επίσης παρέχοντας θέρμανση τη νύχτα.

Το συστατικό αποθήκευσης ενός ηλιακού συστήματος επηρεάζει σημαντικά το σχέδιο και την κατασκευή και κατ'επέκταση το κόστος. Ο αποθηκευτικός φορέας και η αξιοπιστία που απαιτούνται από ένα σύστημα, καθορίζουν το μέγεθος αποθήκευσης και σε κάποιο βαθμό την τοποθεσία του. Τα περισσότερα συστήματα αποθήκευσης δεν έχουν το μέγεθος για να παρέχουν 100% τις ανάγκες θέρμανσης, όταν το φως του ήλιου δεν είναι διαθέσιμο. Αφού η ηλιακή διαθεσιμότητα και μη-διαθεσιμότητα είναι δύσκολο να προβλεφθούν στις περισσότερες περιπτώσεις 100% συστήματα αποθήκευσης θα ήταν πολύ μεγάλα, αλλά και το μεγαλύτερο μέρος της χωρητικότητας θα παρέμενε αχρησιμοποίητο τον περισσότερο χρόνο. Όντας πρόθυμος να ανεχθεί μερικές καθημερινές θερμοκρασιακές μεταβολές, μπορεί να ελαττώσει το μέγεθος μιας θερμικής ενεργειακής αποθήκευσης.

Όλα τα υλικά έχουν μια θερμική χωρητικότητα και ικανότητα να κρατούν ένα συγκεκριμένο ποσό θερμότητας. Το νερό μπορεί να αποθηκεύσει τεράστια ποσά θερμότητας. Η πέτρα έχει περίπου το 1/5 της θερμικής χωρητικότητας του νερού, αλλά σαν το τούβλο και το μπετόν, έχει μεγαλύτερη πυκνότητα [4].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο :

ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM)

2.1. Κατάσταση της ύλης

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.

Η σύγχρονη περιγραφή της κατάστασης της ύλης γίνεται με σύγκριση των διαφορών σχέσης της κατάστασης των μορίων. Στερεά θεωρούνται τα υλικά στα οποία τα μόρια κρατούνται σε σταθερές θέσεις μεταξύ τους στο χώρο. Υγρά θεωρούνται τα υλικά στα οποία τα μόρια είναι κοντά μεταξύ τους αλλά όχι σε σταθερές θέσεις. Αέρια είναι τα υλικά στα οποία τα μόρια βρίσκονται σε σχετικά μεγάλη απόσταση μεταξύ τους και η θέση τους δεν επηρεάζεται από τις δυνάμεις αλληλεπίδρασης των μορίων. Σαν τέταρτη κατάσταση της ύλης αναφέρεται το πλάσμα, ιδιαίτερα ιονισμένο αέριο σε υψηλή θερμοκρασία. Η ιονισμένη κατάσταση δημιουργεί ελκτικές και απωθητικές δυνάμεις που δίνουν ιδιαίτερες ιδιότητες στο πλάσμα που το ξεχωρίζουν από τα αέρια.

2.1.1. Αλλαγή φάσης

Αν ένα σώμα βρίσκεται σε διαφορετική κατάσταση από αυτήν που αντιστοιχεί στις συνθήκες του περιβάλλοντός, τότε τη μεταβάλλει για να βρεθεί στην κατάλληλη. Ακόμα κι αν φαίνεται ότι είναι στην κατάλληλη κατάσταση, ένα μέρος του μετατρέπεται σε άλλη λόγω διαφοράς στη τάση ατμών.

Η **μετατροπή του στερεού σε υγρό** ονομάζεται τήξη, ενώ η αντίστροφη διαδικασία ονομάζεται πήξη.

Η **μετατροπή από αέριο σε υγρό** ονομάζεται υγροποίηση ή συμπύκνωση, ενώ η **μετατροπή από αέριο σε στερεό** 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 οποιοσδήποτε συνθήκες και συμβαίνει μόνο στην επιφάνεια του υγρού.

Γενικά, οι αλλαγές φάσεις (που δε 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 καταστάσεών του. Αντίθετα, στα μίγματα οι συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, που απαιτούνται για τις αλλαγές φάσεων, εξαρτώνται από τις αναλογίες των συστατικών τους, άρα μεταβάλλονται.

2.1.2. Θερμική ενέργεια στις αλλαγές φάσης

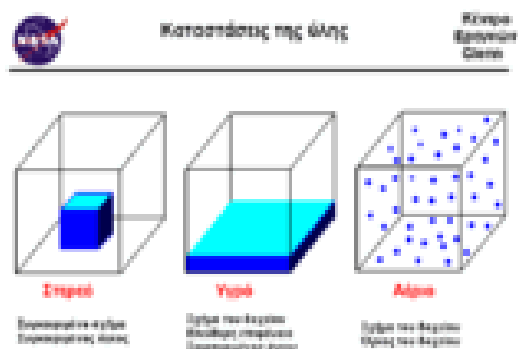
Σημαντικό ρόλο στις αλλαγές φάσεις παίζει η θερμική ενέργεια. Συνήθως οι αλλαγές φάσης γίνονται σε κανονική πίεση (μία ατμόσφαιρα ή 760 mm Hg), οπότε οι μετατροπές οφείλονται στην αλλαγή της θερμοκρασίας, άρα και την πρόσληψη ή αποβολή θερμικής ενέργειας. Γενικά ένα σώμα είναι στερεό σε χαμηλές θερμοκρασίες, και καθώς αυτές αυξάνονται το σώμα μετατρέπεται διαδοχικά σε υγρό και έπειτα σε αέριο. Σε αυτήν την περίπτωση η θερμική ενέργεια του σώματος αυξάνεται. Αντίστροφα, ένα σώμα σε υψηλές

θερμοκρασίες είναι αέριο και καθώς αυτή μειώνεται το σώμα μετατρέπεται διαδοχικά σε υγρό και έπειτα σε αέριο. Εδώ η θερμική ενέργεια του σώματος μειώνεται. Παρόλ' αυτά, υπάρχει περίπτωση απευθείας **μετατροπής από στερεό σε αέριο**, η οποία ονομάζεται εξάχνωση.

Κατά την πρόσληψη ή αποβολή θερμικής ενέργειας το σώμα μεταβάλλει τη θερμοκρασία του, εκτός κι αν αλλάζει κατάσταση. Όταν ένα σώμα αλλάζει κατάσταση, τότε η θερμοκρασία του παραμένει σταθερή, ενώ η ανταλλασσόμενη θερμική ενέργεια αξιοποιείται στη διάλυση ή δημιουργία των διαμοριακών δυνάμεων. Αυτό το φαινόμενο σχετίζεται άμεσα με τη δομή του σώματος σε μικροσκοπικό, μοριακό επίπεδο. Επίσης, αυτή η δομή εξηγεί την ύπαρξη και συμπεριφορά των τριών καταστάσεων της ύλης.

Εκτός από τη θερμότητα, σημαντικό ρόλο παίζει και η πίεση, όταν αυτή μεταβάλλεται. Τότε η μελέτη των αλλαγών φάσεων γίνεται με διαγράμματα φάσεων.

2.1.3. Μικροσκοπική δομή των καταστάσεων της ύλης



Εικόνα 8: Μικροσκοπική δομή των καταστάσεων της ύλης.

Η ύλη σε μικροσκοπικό μοριακό επίπεδο απαρτίζεται από άτομα, μόρια και ιόντα, αυτά είναι τα δομικά συστατικά της. Οι διαμοριακές δυνάμεις ελκτικές και απωστικές που αναπτύσσονται μεταξύ τους, ώστε να σχηματιστούν διακριτά σώματα, καθορίζουν εκτός των άλλων, το σχήμα, το μέγεθός τους, όπως επίσης και την ευκολία και τον τρόπο με τον οποίο αυτά μεταβάλλονται.

Πιο συγκεκριμένα:

- Στα στερεά τα διαμοριακές δυνάμεις είναι ισχυρές. Τα δομικά συστατικά τους ταλαντώνονται γύρω από συγκεκριμένες θέσεις, χωρίς να μπορούν να αλλάξουν θέση. Έτσι, τα στερεά έχουν συγκεκριμένο σχήμα και όγκο που δύσκολα μεταβάλλονται.
- Στα υγρά οι διαμοριακές δυνάμεις είναι σημαντικές. Τα δομικά συστατικά μπορούν να αλλάξουν θέση αλλά δε μπορούν να αλλάξουν τη μεταξύ τους απόσταση. Έτσι, τα υγρά δεν έχουν σχήμα, παίρνουν κάθε φορά το σχήμα του δοχείου τους, αλλά έχουν συγκεκριμένο όγκο.
- Στα αέρια οι διαμοριακές δυνάμεις είναι αμελητέες. Τα δομικά συστατικά είναι ελεύθερα. Έτσι, τα αέρια δεν έχουν συγκεκριμένο σχήμα και όγκο. Καταλαμβάνουν όλη την έκταση του δοχείου τους.

Λόγω έλλειψης των διαμοριακών δυνάμεων στα αέρια, η συμπεριφορά τους μπορεί να περιγραφεί με μία εξίσωση, την εξίσωση των ιδανικών αερίων. Αυτή η εξίσωση ισχύει ποιοτικά και για τα υγρά, ίσως γενικώς για τα ρευστά. Η ποσοτικής της όμως ακρίβεια χάνεται όταν ένα αέριο βρίσκεται κοντά σε συνθήκες υγροποίησης.

2.1.4. Ιδιότητες της ύλης ανάλογα με την κατάσταση της

Υπάρχει ένα σύνολο από ιδιότητες που σχετίζονται με τον όγκο και το σχήμα της ύλης, άρα και με την κατάσταση της. Μερικές από αυτές είναι η συμπιεστότητα, η ρευστότητα, το ιξώδες, η σταθερότητα.

- Συμπιεστότητα (ή διασταλτικότητα): Είναι η ιδιότητα της ύλης να μειώνεται εύκολα ο όγκος της. Τα στερεά και τα υγρά είναι *ασυμπίεστα*, ενώ τα αέρια *συμπιεστά*. Η συμπιεστότητα των αερίων εξαρτάται σύμφωνα με την εξίσωση των ιδανικών αερίων, από την ευκολία μεταβολής της θερμοκρασίας και της πίεσης.
- Ρευστότητα: Είναι η ιδιότητα της ύλης να *ρέει*, δηλαδή να μπορεί να μεταφέρεται *αλλάζοντας σχήμα*. Τα σώματα που έχουν αυτήν την ιδιότητα ονομάζονται *ρευστά*. Τα υγρά και τα αέρια, καθώς και τα κολλοειδή είναι ρευστά. Τα στερεά γενικά δεν είναι ρευστά. Ωστόσο, στην επιστήμη της γεωλογίας έχει διατυπωθεί η θεωρία ότι τα στερεά είναι και αυτά ρευστά.
- Ιξώδες: Είναι η ιδιότητα των ρευστών να αντιστέκονται στη ροή τους. Για παράδειγμα το μέλι έχει πολύ μεγαλύτερο ιξώδες από ότι το νερό. Όταν το ιξώδες γίνεται υπερβολικά μεγάλο, ή τείνει στο άπειρο, τότε το ρευστό τείνει να μη ρέει, άρα να μην αλλάζει σχήμα, δηλαδή τείνει να είναι στερεό.

- Σταθερότητα: Όσον αφορά τις καταστάσεις της ύλης μερικές καταστάσεις προκύπτουν όχι μόνο από τις συνθήκες που τελικά επικρατούν στο περιβάλλον, αλλά και από τον τρόπο με τον οποίο αυτές διαμορφώθηκαν. Τότε μπορούν να προκύψουν ορισμένες καταστάσεις της ύλης, οι οποίες είναι εξαιρετικά **ασταθείς** και οι οποίες πολύ εύκολα υποκύπτουν σε άλλες σταθερές καταστάσεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το υπέρκορο υγρό διάλυμα, το οποίο με μία απλή κρούση στο δοχείο μετατρέπεται σε ετερογενές μίγμα. Ίσως μια τέτοια κατάσταση είναι και το υπερκρίσιμο ρευστό [5].

2.1.5. Θερμότητα ατμοπαραγωγής – Ολική Θερμότητα

Ο όρος **θερμότητα ατμοπαραγωγής** χαρακτηρίζει τη θερμότητα που απαιτείται ανάλογα για τη συντέλεση του φαινομένου της ατμοπαραγωγής.

Ολική Θερμότητα

Ειδικότερα, το ποσό της θερμότητας που απαιτείται για την μετατροπή 1 Kg απεσταγμένου νερού θερμοκρασίας 0°C σε ατμό ορισμένης πίεσης **p** και θερμοκρασίας **t₂** (της αντίστοιχης με τη πίεση), ονομάζεται "**ολική θερμότητα ατμοποίησης**".

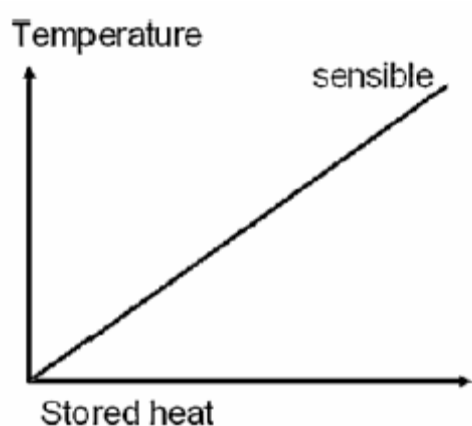
Η Ολική θερμότητα ατμοποίησης αναλύεται στην "**αισθητή θερμότητα**", (αυτή που γίνεται αντιληπτή), και την "**λανθάνουσα θερμότητα**", (αυτή που τρόπο τινά διαφεύγει της προσοχής, μη γινόμενη αντιληπτή επειδή το θερμόμετρο δείχνει την ίδια θερμοκρασία). Η δεύτερη, η **λανθάνουσα θερμότητα**, διακρίνεται επιμέρους στην "**εσωτερική λανθάνουσα**" και την "**εξωτερική λανθάνουσα θερμότητα**".

2.1.5.1. Αισθητή θερμότητα

Αισθητή θερμότητα ονομάζεται το ποσό της θερμότητας που απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας 1 Kg νερού από 0°C μέχρι τη θερμοκρασία βρασμού, δηλαδή στους 100°C. Φέρεται με την ονομασία αυτή επειδή γίνεται αντιληπτή από την ανύψωση θερμοκρασίας που παρατηρείται σε προσαρμοσμένο θερμόμετρο.

Η αισθητή θερμότητα ατμοποίησης παρίσταται διεθνώς με το λατινικό γράμμα **q**. Στη περίπτωση ατμοπαραγωγής τύπου "ανοικτού δοχείου" αυτή προσδιορίζεται στα **100 kcal/kg**, δεδομένου ότι η ειδική θερμότητα του νερού είναι κατά μέσον όρο η μονάδα. Στο αγγλικό σύστημα μονάδων είναι αντίστοιχα οι **180 BTU/lb**, η οποία αντιστοιχεί σε ύψωση θερμοκρασίας από τους 32°F στους 212°F.

Ο πιο διαδεδομένος τρόπος αποθήκευσης θερμότητας είναι υπό τη μορφή της αισθητής θερμότητας. Στο σχ. 2.1.5.1. που ακολουθεί, φαίνεται ότι καθώς αποθηκεύεται θερμότητα υπό τη μορφή αισθητής θερμότητας, παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας όταν υφίσταται αποθήκευση θερμότητας.



Σχήμα 2.1.5.1. Αποθήκευση θερμότητας ως Αισθητή θερμότητα συναρτήσει της θερμοκρασίας.

Η αποθήκευση θερμότητας υπό μορφή αισθητής θερμότητας γίνεται κατά κύριο λόγο σε στερεά δομικά στοιχεία, όπως τούβλο, πέτρα κλπ καθώς επίσης και σε υγρά, όπως το νερό. Τα αέρια λόγω της χαμηλής θερμοχωρητικότητάς τους δεν χρησιμοποιούνται για αποθήκευση αισθητής θερμότητας.

2.1.5.2. Λανθάνουσα θερμότητα

Λανθάνουσα θερμότητα ονομάζεται το ποσό της θερμότητας που απαιτείται για την μετατροπή 1 Kg νερού θερμοκρασίας βρασμού σε ατμό ίδιας θερμοκρασίας. Φέρεται με την ονομασία αυτή επειδή λανθάνει τρόπο τινά της προσοχής μή γενόμενη αντιληπτή σε προσαρμοσμένο θερμόμετρο που συνεχίζει να παρουσιάζει σταθερά τη θερμοκρασία βρασμού.

Η λανθάνουσα θερμότητα παρίσταται διεθνώς με το κεφαλαίο λατινικό γράμμα **L**. Στη περίπτωση αμοπαγωγής τύπου "ανοικτού δοχείου" αυτή ανέρχεται στα **537 kcal/kg**, ενώ στο αγγλικό σύστημα μονάδων είναι **970 BTU/lb**.

A) Εσωτερική λανθάνουσα θερμότητα

Η **Εσωτερική λανθάνουσα θερμότητα**, με προτεινόμενο σύμβολο το ελληνικό γράμμα **ε**, είναι το ποσό των θερμίδων που αντιπροσωπεύουν το μηχανικό έργο που απαιτείται για τη διάσπαση της συνοχής των μορίων του νερού προκειμένου αυτά να ελευθερωθούν και να μετατραπούν σε ατμό.

B) Εξωτερική λανθάνουσα θερμότητα

Η **Εξωτερική λανθάνουσα θερμότητα** με προτεινόμενο σύμβολο το ελληνικό γράμμα **ξ**, είναι το ποσό της θερμότητας που απαιτείται προκειμένου να υπερνικηθεί η πίεση που εφαρμόζεται στην επιφάνεια του νερού κατά τη

διάρκεια της ατμοπαραγωγής. Εν προκειμένω αυτή αντιπροσωπεύει το υπό του ατμού παραγόμενο εξωτερικό έργο.

Αν η θερμότητα αποθηκεύεται ως λανθάνουσα θερμότητα, τότε έχουμε μια αλλαγή φάσης του υλικού στο οποίο αποθηκεύεται η θερμότητα. Επομένως διακρίνουμε τις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Εξάτμιση του υλικού που αποθηκεύεται η θερμότητα.

Η εξάτμιση είναι μια αλλαγή φάσης με μεγάλη μεταβολή του ενθαλπικού περιεχομένου του υπό εξάτμιση υλικού, ωστόσο η διαδικασία της εξάτμισης είναι αναγκαίο να γίνεται σε καθορισμένες συνθήκες, οι οποίες είναι:

- *Σταθερός όγκος* : η εξάτμιση συνοδεύεται από αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης στον όγκο που εξατμίζεται, κάτι που τεχνικά δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί.

- *Σταθερή πίεση σε κλειστά Θ/Δ συστήματα* : που προκαλεί αύξηση του όγκου, γεγονός που επίσης δεν είναι τεχνολογικά επιτεύξιμο.

- *Σταθερή πίεση σε ανοιχτά Θ/Δ συστήματα* : καθώς το υλικό φορτίζεται θερμικά προκειμένου να εξατμιστεί, εξατμίζεται και διαφεύγει στο περιβάλλον. Ο μόνος τρόπος για να αποφορτιστεί το υλικό είναι να επανασυλλεγεί από το περιβάλλον. Το μόνο υλικό που είναι δυνατόν να συλλεγεί από το περιβάλλον είναι το νερό.

- Αλλαγές φάσης μεταξύ στερεού και υγρού (τήξη).

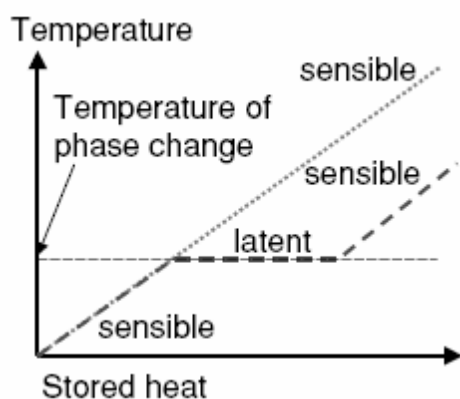
Η τήξη είναι επίσης μια αλλαγή φάσης με μεγάλη μεταβολή του ενθαλπικού περιεχομένου του υπό τήξη υλικού. Η τήξη χαρακτηρίζεται από μικρή αλλαγή του όγκου του υλικού, που συνήθως υπολογίζεται στο 10 % του αρχικού όγκου. Αν το υλικό το οποίο τήκεται τοποθετηθεί σε ένα χώρο, τότε λόγω της τήξης η αλλαγή της πίεσης του υγρού δεν αλλάζει σημαντικά. Έτσι η

στερεοποίηση και η τήξη γίνονται υπό σταθερή θερμοκρασία. Οι αλλαγές φάσεων μεταξύ υγρού και στερεού έχουν πολλές τεχνικές εφαρμογές.

- Αλλαγές φάσης μεταξύ στερεού και στερεού.

Οι αλλαγές φάσης στερεού – στερεού παρουσιάζουν ομοιότητες σε σχέση με αυτές των στερεών και υγρών, αλλά συνήθως δεν συνοδεύονται από αλλαγές της ενθαλπίας του υλικού.

Στο σχ. 2.1.5.2. που ακολουθεί, φαίνεται η αποθήκευση θερμότητας ως λανθάνουσα θερμότητα για την περίπτωση αλλαγής φάσης μεταξύ στερεού – υγρού.



Σχήμα 2.1.5.2. Αποθήκευση θερμότητας ως Λανθάνουσα θερμότητα συναρτήσει της θερμοκρασίας.

Κατά τη διάρκεια της τήξης, θερμότητα μεταφέρεται στο υλικό και η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή στη θερμοκρασία τήξης. Αν η ενθαλπία τήξης έχει μεταφερθεί στο υλικό, τότε η τήξη έχει ολοκληρωθεί και περαιτέρω πρόσδοση θερμότητας εκλαμβάνεται πλέον σαν ποσό αισθητής θερμότητας. Το ποσό της θερμότητας που απορροφάται κατά την τήξη δεν είναι δυνατόν να ανιχνευθεί μέσω της θερμοκρασίας και η θερμότητα που αποθηκεύεται λέγεται λανθάνουσα θερμότητα.

2.1.6. Διαφορά μεταξύ αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας

Αισθητή θερμότητα

Όταν θερμαίνεται ένα αντικείμενο, η θερμοκρασία του ανεβαίνει καθώς προστίθεται θερμότητα. Η αύξηση της θερμότητας ονομάζεται αισθητή θερμότητα. Ομοίως, όταν η θερμότητα αφαιρείται από ένα αντικείμενο και η θερμοκρασία του μειώνεται, και η θερμότητα που αφαιρείται ονομάζεται αισθητή. Συνεπώς, η θερμότητα που προκαλεί αλλαγές στη θερμοκρασία ενός αντικειμένου ονομάζεται αισθητή θερμότητα.

Λανθάνουσα θερμότητα

Όλες οι αγνές ουσίες στη φύση έχουν τη δυνατότητα να αλλάζουν κατάσταση. Τα στερεά μπορούν να μετατραπούν σε υγρά (ο πάγος σε νερό) και τα υγρά μπορούν να μετατραπούν σε αέρια (το νερό σε ατμό), αλλά τέτοιου είδους αλλαγές απαιτούν την προσθήκη ή αφαίρεση θερμότητας. Η θερμότητα που προκαλεί τις αλλαγές αυτές ονομάζεται λανθάνουσα θερμότητα.

Ωστόσο, η λανθάνουσα θερμότητα δεν επηρεάζει τη θερμοκρασία μιας ουσίας - για παράδειγμα, το νερό παραμένει ως έχει στους 100°C ενώ βράζει. Η θερμότητα που προστίθεται για να συνεχίσει ο βρασμός του νερού είναι λανθάνουσα θερμότητα. Συνεπώς, η θερμότητα που επιφέρει αλλαγή στην κατάσταση αλλά δεν επιφέρει καμία αλλαγή στη θερμοκρασία ονομάζεται λανθάνουσα θερμότητα.

Η κατανόηση της διαφοράς αυτής είναι θεμελιώδης για την κατανόηση του λόγου για τον οποίο ψυκτικό υγρό χρησιμοποιείται στα συστήματα ψύξης. Επεξηγεί, επίσης, το λόγο για τον οποίο οι όροι "συνολική δυναμικότητα" (αισθητή & λανθάνουσα θερμότητα) και "αισθητή δυναμικότητα" χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της ψυκτικής ικανότητας μιας μονάδας. Κατά τη διάρκεια της επαναληπτικής λειτουργίας της ψύξης,

σχηματίζονται συμπυκνώματα στο εσωτερικό της μονάδας, εξαιτίας της αφαίρεσης λανθάνουσας θερμότητας από τον αέρα. Η αισθητή δυναμικότητα είναι η δυναμικότητα που απαιτείται για να μειώσει τη θερμοκρασία και λανθάνουσα δυναμικότητα είναι η δυναμικότητα που απαιτείται για την αφαίρεση της υγρασίας από τον αέρα [6].

2.1.7. Ενθαλπία και Θερμοχωρητικότητα

- *Ενθαλπία* ενός συστήματος ονομάζεται η ολική ενέργεια του συστήματος όταν αυτό βρίσκεται υπό σταθερή πίεση.

Επομένως, σε ένα Χημικό Σύστημα η μεταβολή της ενθαλπίας κατά τη διάρκεια ενός χημικού μετασχηματισμού αντιπροσωπεύει το ποσό θερμότητας που ανταλλάσσεται με το περιβάλλον, υπό σταθερή πίεση

$$dH = P dQ \quad (2.1)$$

- Η *Θερμοχωρητικότητα* είναι ένα Φυσικό Μέγεθος της Θερμοδυναμικής.

Συγκεκριμένα με τον όρο αυτό χαρακτηρίζεται η ποσότητα της θερμότητας που παράγεται ή απορροφάται από κάποιο σώμα όταν η θερμοκρασία του μεταβληθεί κατά ένα βαθμό Κελσίου. Έτσι η θερμοχωρητικότητα ενός σώματος βρίσκεται αν πολλαπλασιασθεί η μάζα του επί την ειδική θερμότητά του.

Επειδή δε, η ειδική θερμότητα του ύδατος είναι ίση με τη μονάδα, γι' αυτό ακριβώς το λόγο και η θερμοχωρητικότητα και η μάζα του εκφράζονται με τον ίδιο αριθμό.

Αυτό σημαίνει πως η θερμοχωρητικότητα οποιουδήποτε σώματος εκφράζεται με τη μάζα του ύδατος που λαμβάνεται αν πολλαπλασιασθεί η μάζα του

σώματος επί την ειδική του θερμότητα. Έτσι ο αριθμός που προκύπτει ονομάζεται *αξία του σώματος σε ύδωρ* ή "θερμικό ισοδύναμο" του συγκεκριμένου σώματος ως προς το ύδωρ.

Μαθηματικά, ο λόγος της θερμότητας ΔQ που προσφέρεται σε ένα σώμα δια την ανύψωση της θερμοκρασίας του ΔT ονομάζεται **Θερμοχωρητικότητα**

$$C = \Delta Q / \Delta T \quad (2.2)$$

Η Ειδική Θερμοχωρητικότητα αναφέρεται στη μονάδα της μάζας, ενώ η Γραμμομοριακή Θερμοχωρητικότητα αναφέρεται σε ένα mole του υλικού.

Εν γένει, η θερμοχωρητικότητα ενός υλικού δεν είναι μια σταθερά, αλλά εξαρτάται από τη διαδικασία που ακολουθείται κατά τη θέρμανση του υλικού. Δηλαδή, για την ίδια μεταβολή θερμοκρασίας (ΔT), να συμβαίνουν διαφορετικές διαδικασίες θέρμανσης που μπορεί να απαιτούν διαφορετικά ποσά θερμότητας (ΔQ) [5].

2.1.8. Μεταβολή ενθαλπίας τήξης

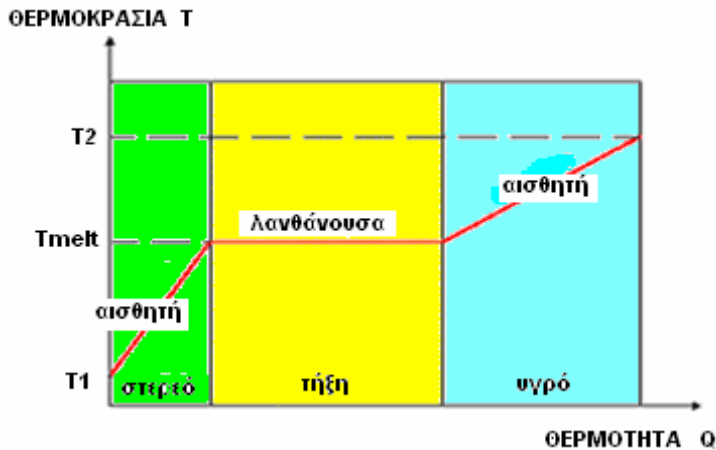
Η μεταβολή ενθαλπίας τήξης, γνωστή και ως θερμότητα τήξης (λανθάνουσα), είναι το ποσό θερμότητας που πρέπει να απορροφηθεί ή να εκλυθεί, ώστε 1 gr ουσίας να μεταβεί φάση από στερεά σε υγρή ή/και αντίστροφα. Ονομάζεται λανθάνουσα θερμότητα αλλαγής φάσης και η θερμοκρασία στην οποία αυτή εμφανίζεται, ονομάζεται σημείο τήξης. Όταν αφαιρείται θερμική ενέργεια από ένα υλικό, η θερμοκρασία του πέφτει. Αντίστοιχα, όταν προσφέρεται θερμότητα σε ένα υλικό, η θερμοκρασία του αυξάνει. Στο σημείο μετάβασης μεταξύ στερεής και υγρής φάσης, απαιτείται περισσότερη θερμότητα. Για να υπάρξει μετάβαση από υγρό σε στερεό, τα μόρια της ουσίας πρέπει να τοποθετηθούν αυστηρώς διατεταγμένα, και για να γίνει αυτό, θα πρέπει να αφαιρεθεί θερμότητα, ώστε να μεταπέσει το σύστημα σε μία χαμηλότερη

ενεργειακή στάθμη. Αντιθέτως, για να έχουμε την αντίστροφη διαδικασία και τη μετάβαση από την στερεή κρυσταλλική μορφή στην υγρή, χρειάζεται απορρόφηση θερμότητας για τη λύση των διαμοριακών δεσμών.

Η λανθάνουσα θερμότητα τήξης παρατηρείται με τη μέτρηση της θερμοκρασίας κατά τη στερεοποίηση του νερού. Στην περίπτωση κλειστού δοχείου με νερό θερμοκρασίας δωματίου, με δυνατότητα μέτρησης της θερμοκρασίας του μέσου, αν αυτό τοποθετηθεί σε ψυχρό περιβάλλον, παρατηρείται σταθερή μείωση της θερμοκρασίας μέχρι σημείου ελαφρώς μικρότερου της θερμοκρασίας πήξης- τήξης. Τότε η θερμοκρασία, αυξάνει οριακά μέχρι το σημείο στερεοποίησης και έχουμε τη δημιουργία κρυστάλλων στο νερό, δηλαδή την έναρξη της στερεοποίησης.

Μετά το πέρας της στερεοποίησης, η θερμοκρασία θα συνεχίσει την πτώση της, έως ότου ικανοποιηθεί η ισορροπία θερμοκρασιών περιβάλλοντος και πλέον πάγου. Η θερμοκρασία ανακόπτει την κάθοδό της στο σημείο πήξης εξ' αιτίας της λανθάνουσας θερμότητας πήξης. Αυτή προφανώς ισούται με τη λανθάνουσα θερμότητα τήξης η οποία πρέπει να αφαιρεθεί από το υλικό, ώστε να συνεχισθεί η θερμοκρασιακή πτώση [7,8].

Τα παραπάνω παρατηρούνται και στο διάγραμμα που ακολουθεί:



Σχήμα 2.1.8.: Διάγραμμα αλλαγής φάσης [8].

Ένα υλικό δύναται να αποθηκεύσει θερμότητα με δύο μορφές: της αισθητής, που εκφράζεται με συνακόλουθη αύξηση της θερμοκρασίας του και της λανθάνουσας με την απαραίτητη αλλαγή φάσης (τήξη).

Η αποθηκευτική ικανότητα ενός υλικού αλλαγής φάσης που θερμαίνεται από θερμοκρασία T1 σε T2, αν υφίσταται αλλαγή φάσης σε θερμοκρασία T*, είναι το άθροισμα της μεταβολής της αισθητής θερμότητας του στερεού από T1 σε T*, της λανθάνουσας θερμότητας σε θερμοκρασία T* και της μεταβολής της αισθητής θερμότητας του υγρού από T* σε T2:

$$Q_s = m[(T^* - T_1) \cdot c_s + \lambda + (T_2 - T^*) \cdot c_l] \quad (2.3)$$

όπου m είναι η μάζα του υλικού, c_s και c_l είναι οι θερμοχωρητικότητες της στερεής και της υγρής φάσης αντίστοιχα και λ είναι η λανθάνουσα θερμότητα.

Οι μονάδες είναι:

1. kJ/kg (μονάδες SI)
2. joules/mole (μονάδες SI)
3. calories / gram (παλαιές μετρικές μονάδες, οι οποίες πλέον χρησιμοποιούνται ελάχιστα, εκτός από το Kcal που χρησιμοποιείται συνήθως για θρεπτικά συστατικά τροφών)
4. British thermal units ανά pound ή Btu ανά pound-mole

Η λανθάνουσα θερμότητα τήξης του νερού είναι 79.72 cal/gr ή 334.5 kJ/kg [8].

2.1.9. Μέθοδοι Προσομοίωσης Μεταφοράς Θερμότητας με Αλλαγή Φάσης-Βασικές Προϋποθέσεις και Προσεγγίσεις.

Κάθε μαθηματική περιγραφή ενός φυσικού φαινομένου περιέχει προσεγγίσεις και το πρόβλημα μεταφοράς θερμότητας με αλλαγή φάσης στερεού-υγρού, δεν αποτελεί εξαίρεση.

Οι εξισώσεις που διέπουν, βασίζονται στην ιδέα ενός μοντέλου συνέχειας. Επιπλέον, κάθε φάση υποτίθεται ότι είναι ομοιογενής και ισοτροπική. Η παρουσία της πυκνότητας που αλλάζει μεταξύ των φάσεων έχει μακροπρόθεσμες συνέπειες. Σε εφαρμογές θερμικής αποθήκευσης, μη επιθυμητές κοιλότητες, οι οποίες δημιουργούνται επειδή η στερεή φάση είναι πιο πυκνή από την υγρή φάση, εμποδίζουν τη μεταφορά θερμότητας.

Οι μεταβολές θερμοκρασίας στο ρευστό είναι απαραίτητα παρούσες κατά τη διάρκεια της μεταφοράς θερμότητας και οι διαφορές πυκνότητας στο υγρό μπορεί να είναι επαρκώς μεγάλες για να παράγουν δυνάμεις πλευστότητας για ασταθείς καταστάσεις, οι οποίες θα μπορούσαν να παράγουν ελεύθερες κινήσεις μεταφοράς. Η φυσική κυκλοφορία μεταφοράς στο υγρό θα μπορούσε να έχει σημαντική κατεύθυνση στην κίνηση. Καταστάσεις όπου οι διαφορές

πυκνότητας είναι παρούσες μεταξύ των φάσεων ή όπου οι μεταβολές πυκνότητας προκαλούνται στο υγρό, απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή.

Στη βιβλιογραφία, υπάρχουν δύο μοντέλα μεταφοράς θερμότητας αλλαγής φάσης στερεού-υγρού:

(1) Η ουσία έχει μια ιδιαίτερη θερμοκρασία αλλαγής φάσης και μια οξεία ορισμένη διεπαφή ή

(2) Η ουσία υφίσταται αλλαγή φάσης σε ένα εύρος θερμοκρασιών και υπάρχει μια περιοχή δύο φάσεων μεταξύ της στερεής και της υγρής φάσης.

Η επιλογή του μοντέλου που χρησιμοποιείται εξαρτάται από το PCM.

Δύο μέθοδοι είναι διαθέσιμες για την ανάλυση προβλημάτων μεταφοράς θερμότητας αλλαγής φάσης, βασισμένες στην επιλογή της εξαρτημένης μεταβλητής που χρησιμοποιείται. Στην κλασσική μέθοδο, η θερμοκρασία είναι η μοναδική εξαρτημένη μεταβλητή και οι εξισώσεις διατήρησης ενέργειας γράφονται χωριστά για τη στερεή και την υγρή περιοχή. Αυτή η προσέγγιση αναφέρεται ως η βασισμένη στην θερμοκρασία μέθοδος και είναι αυτή που χρησιμοποιείται συχνότερα.

Στη δεύτερη μέθοδο, η ενθαλπία χρησιμοποιείται ως εξαρτημένη μεταβλητή κατά μήκος της θερμοκρασίας. Αυτή η μορφοποίηση ονομάζεται μέθοδος ενθαλπίας. Η ισορροπία των μοντέλων θερμοκρασίας και ενθαλπίας έχει αποδειχθεί.

Αφότου η διεπαφή μεταξύ των δύο περιοχών στο μοντέλο θερμοκρασίας είναι, γενικά, μια άγνωστη καμπύλη, της οποίας η θέση και το σχήμα ποικίλουν με το χρόνο, οποιαδήποτε ορισμένη διαφορά ή ορισμένο στοιχείο ιδιαιτερότητας θέτει ένα πρόβλημα στο χειρισμό της διεπαφής. Παρολαυτά,

στο μοντέλο ενθαλπίας η διεπαφή εξαλείφεται από μελέτη στους υπολογισμούς και το πρόβλημα φτιάχνεται ισοδύναμο/αντίστοιχο με ένα πρόβλημα αγωγής θερμότητας χωρίς αλλαγή φάσης [11].

2.1.10. Αριθμητικές Μέθοδοι

Οι πιο κοινές αριθμητικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στη μοντελοποίηση των προβλημάτων μεταφοράς θερμότητας σε PCM, είναι η μέθοδος ενθαλπίας και η μέθοδος θερμοχωρητικότητας. Στην πραγματικότητα, στις καταστάσεις αλλαγής φάσης, περισσότερες από μία διεπαφές αλλαγής φάσης μπορούν να συμβούν ή οι διεπαφές μπορεί να εξαφανιστούν εντελώς. Επιπλέον, η αλλαγή φάσης συνήθως συμβαίνει σε ένα εύρος μη-ισοθερμικών θερμοκρασιών. Σε τέτοιες περιπτώσεις η εύρεση της διεπαφής στερεού-υγρού μπορεί να είναι δύσκολη ή ακόμα και αδύνατη. Από την άποψη των υπολογισμών είναι χρήσιμο ότι το πρόβλημα αναδιατυπώνεται με τέτοιο τρόπο που η συνθήκη Stefan είναι σιωπηρά δεμένη σε νέους τύπους εξισώσεων και ότι οι εξισώσεις θερμότητας εφαρμόζονται σε ολόκληρη τη σταθερή περιοχή. Και με τις δύο μεθόδους είναι πιθανό να λάβουμε υπόψη το θερμοκρασιακό εύρος dT , στο οποίο πραγματοποιείται η τήξη ή η στερεοποίηση.

Οι ιδιότητες της παραφίνης θεωρούνται σταθερές στη στερεή και στην υγρή φάση. Έτσι, η παρακάτω εξίσωση:

$$\rho_l C_{pl} \left(\frac{\partial T_2}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{v} T_1) \right) = \nabla \cdot (k_1 \nabla T_2) \quad (2.4)$$

όπου ρ_l είναι η πυκνότητα, v η ταχύτητα του υγρού PCM, p η πίεση, μ το δυναμικό ιξώδες, g το διάνυσμα βαρύτητας, β η αποδοτικότητα της θερμικής επέκτασης, T_0 η θερμοκρασία αναφοράς, c_1 η συγκεκριμένη θερμότητα, k_1 η θερμική αγωγιμότητα και T_1 η θερμοκρασία του υγρού PCM.

παίρνει τη μορφή:

$$\rho_l C_{pl} \left(\frac{\partial T_1}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla T_1 \right) = k_1 \nabla^2 T_1 \quad (2.5)$$

Η ταχύτητα της υγρής παραφίνης στην κοιλότητα, λόγω των δυνάμεων πλευστότητας θεωρείται σταθερή. Έτσι, η φυσική επίδραση μεταφοράς στην κοιλότητα μπορεί να προσομοιαστεί με την αποδοτικότητα μεταφοράς θερμότητας.

Ο όρος $\left(\rho c_p \vec{v} \cdot \nabla T_i \right)$ αντικαθίσταται από τον όρο $(h \nabla T_i)$ στην εξίσωση (2.5)

και οι εξισώσεις :

$$\rho \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \rho (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{v} + \rho \vec{g} \beta (T - T_o) \quad (2.6)$$

$$\text{και} \quad \nabla \cdot \vec{v} = 0 \quad (2.7)$$

αγνοούνται. Έτσι, ο τύπος της ενθαλπίας για την εξίσωση ενέργειας (2.5), με τις αρχικές συνθήκες και τις συνθήκες ορίων στη διαδικασία τήξης, είναι:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{k}{\rho} \nabla^2 T + \frac{h}{\rho} \nabla T \quad (2.8)$$

$$T(x, y, 0) = T_i \quad (2.9)$$

$$T(0, y, t) = T(l, y, t) = T_w(t) \quad (2.10)$$

$$\frac{\partial T(x, 0, t)}{\partial y} = \frac{\partial T(x, D, t)}{\partial y} = 0 \quad (2.11)$$

όπου H είναι η ενθαλπία, h ο συντελεστής μεταφοράς της μεταφοράς θερμότητας στο ρευστό PCM, l είναι το μήκος αποθήκευσης και D το ύψος της αποθήκευσης. Το i δείχνει την αφετηρία και το w τον τοίχο.

Όταν το PCM είναι στη στερεή κατάσταση, ο τελευταίος όρος στην εξίσωση (8) μπορεί να αγνοηθεί.

Ο Marshall (1978, 1979) ανακάλυψε πειραματικά την επιρροή της φυσικής μεταφοράς στη διεπαφή του PCM σε μια ορθογώνια αποθήκευση που περιείχε

παραφίνη κατά τη διάρκεια της διαδικασίας τήξης. Τα αποτελέσματα του Marshall για διαφορετικές παραφίνες και διαφορετικές καταστάσεις ορίων ορίστηκαν: $Nu = 0,072Ra^{\frac{1}{3}}$ (2.12)

όπου Nu είναι ο αριθμός του Nusselt $Nu=hS/kl$. Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας δια αγωγής από το πτερύγιο στο PCM υπολογίστηκε και πήρε τελικά τη μορφή:

$$h = 0,072 \left[\frac{\left[g \left(\frac{T_w - T_m}{2} \right) \rho_l^2 c_{pl} k_l^2 \beta \right]}{\mu} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (2.13)$$

όπου β είναι ο συντελεστής επέκτασης και μ το δυναμικό ιξώδες του PCM. Το g δηλώνει την επιτάχυνση βαρύτητας και T_m η θερμοκρασία τήξης του PCM. Στη μέθοδο θερμοχωρητικότητας, η πραγματική θερμοχωρητικότητα του υλικού (C_{eff}) είναι ευθέως ανάλογη με την ενέργεια που αποθηκεύεται και απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της αλλαγής φάσης, αλλά αντιστρόφως ανάλογη με το βάθος τήξης ή με το εύρος θερμοκρασίας στερεοποίησης. Κατά τη διάρκεια της αλλαγής φάσης η θερμοχωρητικότητα του PCM είναι:

$$c_{eff} = \frac{L}{(T_2 - T_1)} + c_p \quad (2.14)$$

Όπου T_1 είναι η θερμοκρασία στην οποία ξεκινά η τήξη ή η στερεοποίηση και T_2 η θερμοκρασία στην οποία το υλικό είναι εντελώς λιωμένο ή στερεοποιημένο (θερμοκρασιακό εύρος $dT=T_2-T_1$). Η εξίσωση θερμότητας (2.7) με αρχικές και συνθήκες ορίου στη μέθοδο θερμοχωρητικότητας, παίρνει τη μορφή:

$$c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho} \nabla^2 T + \frac{h}{\rho} \nabla T \quad (2.15)$$

$$T(x, y, 0) = T_i \quad (2.16)$$

$$T(0, y, t) = T(l, y, t) = T_w(t) \quad (2.17)$$

$$\frac{\partial T(x, 0, t)}{\partial y} = \frac{\partial T(x, D, t)}{\partial y} = 0 \quad (2.18)$$

όπου :

$$c_p = \begin{cases} c_{p1}, & T < T_1 \\ \frac{L}{(T_2 - T_1)} + c_p, & T_1 \leq T \leq T_2 \\ c_{p2}, & T > T_2 \end{cases} \quad (2.19)$$

Στους υπολογισμούς τα θερμοκρασιακά εύρη στην αποτελεσματική μέθοδο θερμοχωρητικότητας ήταν:

- στενό θερμοκρασιακό εύρος, τήξη $dT = T_2 - T_1 = 27 - 25^\circ \text{ C}$, στερεοποίηση $dT = T_2 - T_1 = 24 - 26^\circ \text{ C}$ και
- ευρύ θερμοκρασιακό εύρος, τήξη $dT = T_2 - T_1 = 28 - 21^\circ \text{ C}$, στερεοποίηση $dT = T_2 - T_1 = 20 - 25^\circ \text{ C}$.

Οι αριθμητικοί υπολογισμοί εκτελούνται με το πρόγραμμα FEMLAB, το οποίο είναι σχεδιασμένο για να προσομοιάζει συστήματα συνδεδεμένων μη γραμμικών και χρονοεξαρτώμενων μερικών διαφορικών εξισώσεων (ΜΔΕ) σε μία, δύο ή τρεις διαστάσεις. Το πρόγραμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην προσομοίωση οποιουδήποτε συστήματος συνδεδεμένων ΜΔΕ στις περιοχές μεταφοράς θερμότητας, ηλεκτρομαγνητισμού, δομικής μηχανικής και δυναμικής ρευστών. Το λογισμικό FEMLAB λειτουργεί σε περιβάλλον MatLab.

Στους αριθμητικούς υπολογισμούς έχουν γίνει πολλές υποθέσεις. Οι υποθέσεις είναι οι εξής:

- η θερμική αγωγιμότητα και η πυκνότητα του υλικού αλλαγής φάσης και η περίφραξη είναι σταθερές. Οι τιμές για τα PCM έχουν επιλεγεί να είναι μέσες τιμές των ιδιοτήτων των υγρών και των στερεών υλικών, ($k_p=0,185$ W/mK και $\rho_p=770\text{kg/m}^3$).
- Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται δισδιάστατα. Η μεταφορά θερμότητας στην κατεύθυνση z θεωρείται αμελητέα και
- Ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας στο υγρό PCM κατά τη διάρκεια της διαδικασίας στερεοποίησης είναι αμελητέος.

Οι αριθμητικοί υπολογισμοί εκτελέστηκαν για τους ίδιους κύκλους τήξης και στερεοποίησης όπως στα πειράματα. Οι εξισώσεις (2.10) και (2.17) ορίστηκαν σύμφωνα με τα πειράματα.

Στη μέθοδο ενθαλπίας, ο όρος της ενθαλπίας παίρνει τη μορφή

$$\frac{\partial H}{\partial t} = c_p(T) \frac{\partial T}{\partial t},$$

όπου η συγκεκριμένη θερμότητα της παραφίνης είναι συνεχής και ορισμένη σύμφωνα με την εξίσωση (2.7). Η μέθοδος ενθαλπίας συνήθως χρησιμοποιείται όταν δεν είναι γνωστή η ακριβής ειδική θερμότητα του PCM στη λειτουργία της θερμοκρασίας. Οι κατασκευαστές υλικών αναφέρουν κανονικά μόνο τις ιδιότητες των υλικών στην υγρή και στη στερεή φάση, τις θερμοκρασίες τήξης και στερεοποίησης και τη λανθάνουσα θερμότητα τήξης κατά τη διάρκεια της αλλαγής φάσης. Σε αυτή την περίπτωση η μέθοδος θερμοχωρητικότητας είναι πιο κατάλληλη να χρησιμοποιηθεί όταν υπολογισθούν οι διαδικασίες αλλαγής φάσης.

Ο πίνακας 1 παρουσιάζει τις ειδικές θερμοχωρητικότητες και τους συντελεστές εκ μεταφοράς της μεταφοράς θερμότητας για την παραφίνη που χρησιμοποιήθηκαν για τους αριθμητικούς υπολογισμούς στο εύρος θερμοκρασίας 10-40° C και στις δύο διαδικασίες τήξης και στερεοποίησης [27].

Πίνακας 1: Η ειδική θερμοχωρητικότητα και ο συντελεστής απόδοσης μεταφοράς θερμότητας της παραφίνης σε αριθμητικούς υπολογισμούς [27].

Paraffin $c_p(T)$	Melting	Solidification
Enthalpy method	$c_p(T) = \begin{cases} 24T^2 - 515T + 3606, & 10^\circ\text{C} \leq T < 20^\circ\text{C} \\ 145T^3 - 9123T^2 + 191658T - 1344600, & 20^\circ\text{C} \leq T \leq 27^\circ\text{C} \\ 11285T^2 - 652160T + 9424300, & 27^\circ\text{C} < T \leq 29^\circ\text{C} \\ 2400, & T > 29^\circ\text{C} \end{cases}$ $h=75 \text{ W/m}^2\text{K when } T>20^\circ\text{C}$	$c_p(T) = \begin{cases} 32T^2 - 671T + 4548, & 10^\circ\text{C} \leq T < 19^\circ\text{C} \\ 3206T^2 - 124276T + 1207500, & 19^\circ\text{C} \leq T \leq 23^\circ\text{C} \\ -11543T^2 + 536878T - 6197600, & 23^\circ\text{C} < T \leq 25^\circ\text{C} \\ -7374T + 194125, & 25^\circ\text{C} < T \leq 26^\circ\text{C} \\ 2400, & T > 26^\circ\text{C} \end{cases}$ $h=0 \text{ W/m}^2\text{K}$
Effective heat capacity method	$c_p(T) = \begin{cases} 1800, & T \leq 21 \\ 21478, & 21 < T \leq 28 \\ 2400, & T > 28 \end{cases}$ $h=75 \text{ W/m}^2\text{K when } T>21^\circ\text{C}$ $c_p(T) = \begin{cases} 1800, & T \leq 25 \\ 59633, & 25 < T \leq 27 \\ 2400, & T > 27 \end{cases}$ $h=69 \text{ W/m}^2\text{K when } T>25^\circ\text{C}$	$c_p(T) = \begin{cases} 1800, & T \leq 20 \\ 27220, & 20 < T \leq 25 \\ 2400, & T > 25 \end{cases}$ $c_p(T) = \begin{cases} 1800, & T \leq 24 \\ 65648, & 24 < T \leq 26 \\ 2400, & T > 26 \end{cases}$ $h=0 \text{ W/m}^2\text{K}$

2.2. Υλικά Αλλαγής Φάσης

Όλα τα υλικά που είναι γνωστά σήμερα, ανάλογα με τις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης που επικρατούν, μπορούν να βρίσκονται σε μία από τις τρεις γνωστές καταστάσεις, στερεή, υγρή, αέρια.

Αν χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο ταξινόμησης ο μηχανισμός αποθήκευσης ενέργειας μέσα στο υλικό, ο οποίος χαρακτηρίζει σε μεγάλο βαθμό τη γενικότερη θερμική συμπεριφορά του υλικού, δημιουργούνται δύο μεγάλες κατηγορίες:

1. τα υλικά που αποθηκεύουν θερμότητα σε μορφή αισθητής θερμότητας σε όλο το θερμοκρασιακό εύρος χρήσης τους. Σε αυτή την κατηγορία χαρακτηριστικό μέγεθος για τη θερμική συμπεριφορά αποτελεί η θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση ή όγκο.

2. τα υλικά που αποθηκεύουν θερμότητα με τη μορφή λανθάνουσας θερμότητας σε ένα τμήμα του θερμοκρασιακού εύρους χρήσης τους, ενώ στο υπόλοιπο τμήμα συναλλάσσουν θερμότητα με τη μορφή αισθητής θερμότητας.

Σε αυτή την κατηγορία χαρακτηριστικό μέγεθος για τη θερμική συμπεριφορά αποτελεί η λανθάνουσα θερμότητα που απαιτείται για τη μετάβαση από τη μία φάση στην άλλη.

Τα υλικά που αλλάζουν φάση στο εύρος των θερμοκρασιών της εφαρμογής που χρησιμοποιούνται, ονομάζονται **Υλικά Αλλαγής Φάσης** (**P.C.M. s**, δηλ. **Phase Change Materials**). Τα P.C.M. είναι υλικά αποθήκευσης

λανθάνουσας θερμότητας, χρησιμοποιώντας χημικούς δεσμούς για να αποθηκεύσουν και να απελευθερώσουν θερμότητα. Η αποθήκευση ή η απελευθέρωση της θερμότητας πραγματοποιείται όταν το υλικό μεταπίπτει από τη στερεή στην υγρή φάση και αντίστροφα.

Αυτός ο ορισμός εμπεριέχει όλα τα γνωστά και χρησιμοποιούμενα σήμερα υλικά. Το καινοτόμο χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης ομάδας υλικών όμως, είναι ότι δίνουν τη δυνατότητα στο μηχανικό-σχεδιαστή να εκμεταλλευτεί αυτή την φυσική ιδιότητά τους, ώστε να βελτιώσει τη θερμική συμπεριφορά πληθώρας συστημάτων και κατασκευών.

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

Ως υποψήφια PCM θεωρούνται συνήθως υλικά που αλλάζουν φάση μεταξύ στερεής και υγρής κατάστασης, αν και έχουν χρησιμοποιηθεί σε ερευνητικό επίπεδο και υλικά που μεταβαίνουν από τη μία φάση στην άλλη με όλους τους δυνατούς συνδυασμούς. Τα υλικά που μεταπίπτουν σε αέρια κατάσταση κατά την αλλαγή φάσης δεν ενδιαφέρουν, λόγω των πρακτικών δυσκολιών που εμφανίζει η μεγάλη αλλαγή της πυκνότητας αλλά και της ίδιας της φύσης των αερίων.

Όσον αφορά τώρα, στα στερεά-υγρά PCM, αυτά αρχικά συμπεριφέρονται όπως τα κλασσικά υλικά αποθήκευσης: η θερμοκρασία τους αυξάνει, όσο αυτά απορροφούν θερμότητα. Αντίθετα με τα κλασσικά (αισθητής

θερμότητας) αποθηκευτικά υλικά, όταν τα PCM φτάσουν στο θερμοκρασιακό επίπεδο αλλαγής φάσης (σημείο τήξης), τότε απορροφούν μεγάλα ποσά ενέργειας χωρίς παράλληλη αύξηση της θερμοκρασίας τους. Αντίστοιχα, όταν η περιβάλλουσα το PCM θερμοκρασία ελαττωθεί, τότε αυτό στερεοποιείται ελευθερώνοντας το ποσό θερμότητας που είχε απορροφήσει κατά τη φάση της υγροποίησης. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι τα PCM απορροφούν και εκλύουν θερμότητα, διατηρώντας μία σχεδόν σταθερή θερμοκρασία.

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

Το πλέον γνωστό PCM είναι το νερό, που κατά την αλλαγή φάσης του σε πάγο, μπορεί να αποθηκεύσει πολύ μεγάλα ποσά θερμότητας (περίπου 80 φορές περισσότερη αποθηκευμένη ενέργεια σε σχέση με την υγρή του κατάσταση). Επειδή η χρήση του πάγου ως PCM παρουσιάζει ορισμένα προβλήματα, που δημιουργούνται λόγω των ιδιοτήτων του νερού (Σ.Τ. 0oC, μεγάλη μεταβολή της πυκνότητας με τη θερμοκρασία, χαμηλή θερμοκρασία προσαγωγής στο σύστημα αποθήκευσης κλπ) η ιδέα ήταν να αναπτυχθούν υλικά με βάση το νερό, ώστε να παρουσιάζουν τα πλεονεκτήματά του (μεγάλη τιμή του συντελεστή αγωγιμότητας, μεγάλη τιμή λανθάνουσας θερμότητας) αλλά να μην παρουσιάζουν τα υπόλοιπα προβλήματα χρήσης του πάγου ως PCM και κυρίως την χαμηλή θερμοκρασία τήξης του. Έτσι δημιουργήθηκαν

τα πρώτα PCM που είναι τα ένυδρα άλατα, μία κατηγορία υλικών που αναπτύσσεται και τελειοποιείται ακόμη και σήμερα.

Τα ένυδρα άλατα είναι σχετικά ασταθείς ενώσεις με μόρια νερού που ανάλογα με την αποβολή ή απορρόφηση θερμότητας από το σύστημα, αποβάλλουν ή προσλαμβάνουν τα μόρια νερού. Ένα από τα πλέον γνωστά ένυδρα άλατα είναι το άλας του Glauber ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) με Σ.Τ. $32.4\text{ }^\circ\text{C}$ και λανθάνουσα θερμότητα υγροποίησης 254kJ/kg .

Κύριο πλεονέκτημα των PCM έναντι του πάγου είναι η δυνατότητα ρύθμισης της θερμοκρασίας σε ένα μεγάλο εύρος από τους -40 έως τους $110\text{ }^\circ\text{C}$. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι και το κύριο πλεονέκτημα των PCM, διότι ανάλογα με την εφαρμογή, η επιθυμητή θερμοκρασία αλλαγής φάσης είναι και διαφορετική. Για παράδειγμα, η εφαρμογή στην τοιχοποιία ζητά θερμοκρασίες αλλαγής φάσης από 25 έως 27°C , ενώ για αποθήκευση ψύξης σε εφαρμογές κλιματισμού το αντίστοιχο εύρος πρέπει να κυμαίνεται από 2 έως $5\text{ }^\circ\text{C}$ [9,10].

2.3. Κατηγοριοποίηση PCM

Τα υλικά που αλλάζουν φάση και ειδικότερα αυτά που από στερεά μεταπίπτουν σε υγρά, ομαδοποιούνται με βάση τη σύστασή τους, σε οργανικά και ανόργανα υλικά.

2.3.1. Οργανικά PCM

Τα οργανικά υλικά αντιπροσωπεύονται κυρίως από τις παραφίνες και τα μικροκρυσταλλικά κεριά, τα οποία είναι μίγματα παραφινών με αριθμό ατόμων άνθρακα από 19 έως 25. Εξίσου σημαντικές κατηγορίες οργανικών υλικών είναι τα λιπαρά οξέα, εστέρες και αλκοόλες λιπαρών οξέων ή και μίγματα αυτών.

Τα εμπορικά προϊόντα οργανικών υλικών είναι αρκετά φθηνότερα από τα ένυδρα άλατα με μέτριες τιμές λανθάνουσας θερμότητας (περίπου 150 kJ/kg) και δυνατότητα παραγωγής για σχεδόν όλο το εύρος των θερμοκρασιών. Η εμφάνιση supercooling είναι αμελητέα, είναι χημικά αδρανή και σταθερά, χωρίς να εμφανίζουν διαχωρισμό φάσεων ή εκφυλισμό των ιδιοτήτων τους. Δυστυχώς όμως εμφανίζουν χαμηλή τιμή του συντελεστή αγωγιμότητας, ιδιότητα που περιορίζει τις εφαρμογές τους (περίπου 0,2 W/mK). Γι' αυτό το λόγο έχουν εξεταστεί πολλές περιπτώσεις εμπλουτισμού του υλικού με μεταλλικά αντικείμενα διαφόρων σχημάτων ή χρήση δοχείων και σωλήνων με πτερύγια με σκοπό την αύξηση του ρεύματος θερμότητας μέσα στο υλικό.

Επίσης στα οργανικά υλικά επηρεάζεται αρκετά η πυκνότητα του υλικού από τη φάση, ώστε είναι δυνατόν όταν το υλικό στερεοποιηθεί και αυξηθεί η πυκνότητά του, να αποκολληθεί από τα τοιχώματα του δοχείου, γεγονός που θα επηρεάσει αρκετά το φαινόμενο της αγωγής θερμότητας (ουσιαστικά δεν

είναι πλέον αγωγή, αλλά αγωγή-συναγωγή θερμότητας). Επίσης μειονέκτημα είναι η αναφλεξιμότητά τους, παρ' όλο που είναι κοινή άποψη των ερευνητών της περιοχής, ότι η χαμηλή τάση ατμών της παραφίνης, δεν εγκυμονεί κινδύνους ανάφλεξης [10,11].

2.3.1.1. Παραφίνες

Παραφίνη είναι το σύνηθες όνομα για μια ομάδα αλκανικών υδρογονανθράκων μεγάλου μοριακού βάρους, με γενικό μοριακό τύπο C_nH_{2n+2} , με n μεγαλύτερο του 20. Παραφίνη είναι επίσης επιστημονική ονομασία για ένα αλκάνιο γενικότερα, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις αναφέρεται γενικά σε ένα γραμμικό (κανονικό) αλκάνιο, ενώ τα ισοαλκάνια ονομάζονται ισοπαραφίνες. Κατατάσσονται στα οργανικά PCM.

Τα αλκάνια είναι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες. Το πλέον απλό αλκάνιο είναι το μεθάνιο, CH_4 . Δεν υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των ατόμων που σχηματίζουν την ανθρακική αλυσίδα. Η ανθρακική αλυσίδα των κορεσμένων υδρογονανθράκων μπορεί να είναι γραμμική (C_nH_{2n+2}), ή με διακλαδώσεις (C_nH_{2n+2} , $n > 3$), ή κυκλικού σχήματος (C_nH_{2n} , $n > 2$). Η κατά IUPAC ονοματολογία των αλκανίων, ονομάζει υπό τον γενικό τίτλο αλκάνια, όλες τις περιπτώσεις που υποπίπτουν στις δύο πρώτες κατηγορίες, ενώ ονομάζει κυκλοαλκάνια αυτές που σχηματίζουν βρόχο. Αντίστοιχα τα αλκύλια, είναι μέρη ανθρακικής αλυσίδας, με έναν ελεύθερο δεσμό και ακολουθούν πιστά την ονοματολογία των αλκανίων (μεθύλιο, αιθύλιο, κλπ). Παρατηρούνται σαν πρόσθετα σε κύριες ανθρακικές αλυσίδες.

Τα αλκάνια δεν είναι ιδιαίτερα αντιδραστικές ουσίες και θεωρούνται βιολογικά υποπροϊόντα και είναι σημαντικά κυρίως λόγω των μη υδρογονανθρακικών ουσιών, οι οποίες μπορούν να προσαρτηθούν στην

ανθρακική αλυσίδα. Σε κανονικές συνθήκες από CH_4 έως C_4H_{10} τα αλκάνια είναι αέρια. Από C_5H_{12} έως $\text{C}_{17}\text{H}_{36}$ είναι υγρά και από $\text{C}_{18}\text{H}_{38}$ και μετά είναι στερεά.

Το σημείο βρασμού των αλκανίων γενικότερα εξαρτάται από το μοριακό βάρος, και μάλιστα η συνάρτηση των δύο μεγεθών είναι σχεδόν γραμμική. Αντίστοιχα, οι κυκλικοί υδρογονάνθρακες έχουν υψηλότερο σημείο βρασμού από τους υδρογονάνθρακες ευθείας αλυσίδας ίδιου μοριακού βάρους. Όμοια συμπεριφορά παρουσιάζει και το σημείο τήξης, δηλαδή όσο περισσότερα άτομα άνθρακα στο μόριο του αλκανίου, τόσο υψηλότερο το σημείο τήξης.

Τα αλκάνια με περιττό αριθμό ατόμων άνθρακα έχουν γενικά χαμηλότερο σημείο τήξης από αυτά με άρτιο αριθμό ατόμων άνθρακα, και αυτό διότι τα μόρια με άρτιο αριθμό ατόμων άνθρακα, είναι καλύτερα χωροθετημένα, πράγμα που συνεπάγεται υψηλότερης απαιτούμενης προσθήκης θερμότητας για να σπάσουν οι δεσμοί και να επιτευχθεί η μετάβαση στην υγρή φάση. Οι περισσότερες παραφίνες αποτελούνται από ευθείες ανθρακικές αλυσίδες με δύο μεθυλικά μόρια κοντά στο τέλος της αλυσίδας. Διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες ομάδες, ανάλογα με τον αριθμό των ατόμων άνθρακα στην αλυσίδα τους. Υπάρχουν οι n-Παραφίνες, οι οποίες έχουν άρτιο αριθμό ατόμων άνθρακα και οι ισο-Παραφίνες, των οποίων η ανθρακική αλυσίδα αποτελείται από περιττό αριθμό ατόμων άνθρακα. Το κατά πόσον μία παραφίνη θα είναι ισο-παραφίνη ή όχι, εξαρτάται από τον αριθμό των αλκανίων που περιέχονται στην ουσία (75% έως 100%).

Το σημείο τήξης των παραφινών εξαρτάται άμεσα από τον αριθμό των ατόμων άνθρακα του μορίου. Αλκάνια με ανθρακικό αριθμό από 14-40 έχουν σημεία τήξης από 6 έως 80°C . Αυτές ονομάζονται καθαρές παραφίνες και δεν

έχουν σχέση με τα κεριά παραφίνης, όπως ονομάζονται οι παραφίνες με ανθρακικό αριθμό από 8 έως 15, και χαμηλότερα σημεία τήξης από τις καθарές παραφίνες, από 2 έως 45° C, εν είναι διαλυτές στο νερό, αλλά διαλύονται στους αιθέρες, στο βενζόλιο, και σε συγκεκριμένους εστέρες. Δεν αντιδρούν με τα περισσότερα χημικά αντιδραστήρια, αλλά στην υγρή φάση τους είναι ιδιαίτερος εύφλεκτες.

Οι παραφίνες είναι ιδανικά υλικά για χρήση ως PCM. Έχουν μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος και μπορούν να δημιουργηθούν, μέσω μιγμάτων, υλικά κατάλληλα να καλύψουν οποιοδήποτε εύρος θερμοκρασιών, ανάλογα με την εκάστοτε εγκατάσταση. Είναι οργανικές ουσίες, επομένως είναι φτηνές και άφθονες. Έχουν αρκετά καλή αποθηκευτική ικανότητα σε σχέση με άλλα υλικά, όπως επίσης έχουν το πλεονέκτημα να μην υπερψύχονται, δηλαδή όλο το υλικό στερεοποιείται, χωρίς εμφάνιση υπέρψυξης, άρα το υλικό αποδίδει τη μέγιστη αποθηκευτική ικανότητά του.

Επίσης, σαν οργανικές ουσίες, δεν εμφανίζουν στη διάρκεια ζωής τους το φαινόμενο του διαχωρισμού των φάσεων, πράγμα που από μόνο του σημαίνει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα που εμφανίζουν οι παραφίνες έναντι άλλων υλικών για εφαρμογές θέρμανσης σε κτίρια, είναι πως υπάρχει πλήθος παραφινών με σημεία τήξης από 20-26° C, στα πλαίσια δηλαδή που κυμαίνονται οι απαιτήσεις των εν λόγω συστημάτων.

Οι παραφίνες παρουσιάζουν χαμηλή πίεση ατμοποίησης, γεγονός που ερμηνεύει τις ελάχιστες απώλειες υλικού σε ένα μεγάλο βάθος χρόνου χρήσης. Το πλεονέκτημα αυτό κρίνεται ιδιαίτερα σημαντικό για τις εφαρμογές όπου απαιτείται ένας μεγάλος αριθμός κυκλικών φορτίσεων του υλικού. Για παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε την εφαρμογή στην τοιχοποιία, όπου

απαιτούμε περισσότερα από 25 έτη ζωής. Επιπλέον δεν παρουσιάζουν προβλήματα διάβρωσης με κανένα ευρέως χρησιμοποιούμενο μέταλλο.

Θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο ότι οι παραφίνες πραγματοποιούν ολοκληρωμένα την αλλαγή φάσης σε θερμοκρασιακό εύρος περίπου 10K (περίπου- 9K πριν το Σ.Τ. και 1K μετά από αυτό). Ένα τέτοιο φαινόμενο αν δεν ληφθεί υπ' όψη μπορεί να οδηγήσει σε μη σωστή εκλογή υλικού με αποτέλεσμα μεγάλες αποκλίσεις σε σχέση με τις αναμενόμενες τιμές.

Η ύπαρξη πληθώρας ουσιών λύνει τα χέρια των μελετητών και δίνει τη δυνατότητα σχεδιασμού και ανάπτυξης αποδοτικότερων και οικονομικότερων συστημάτων. Υπάρχει ακόμα χώρος για μελέτη και βελτίωση αυτών των συστημάτων, λόγω του υπαρκτού κινδύνου ανάφλεξης της υγρής φάσης της παραφίνης, καθώς επίσης και για την ανάπτυξη μεθόδων ακόμη καλύτερης ενσωμάτωσης της παραφίνης στα υλικά για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου διαφυγής PCM, όταν αυτό βρίσκεται στην υγρή φάση [10-13].

2.3.1.2. Λιπαρά Οξέα

Στην Οργανική Χημεία και ειδικότερα στη Βιοχημεία, λιπαρό οξύ ονομάζεται ένα καρβοξυλικό οξύ, συνήθως με μακρά ανθρακική αλυσίδα, είτε κορεσμένη, είτε ακόρεστη. Καρβοξυλικά οξέα σαν το βουτυρικό οξύ (με 4 άτομα άνθρακα) θεωρούνται λιπαρά οξέα, παρά το ότι γενικότερα τα λιπαρά οξέα προέρχονται από φυσικά λίπη και έλαια και θεωρείται ότι έχουν τουλάχιστον 8 άτομα άνθρακα, όπως το καπριλικό οξύ.

Τα περισσότερα από τα φυσικά λιπαρά οξέα, έχουν άρτιο αριθμό ατόμων άνθρακα στην ανθρακική αλυσίδα τους. Στη βιομηχανία παράγονται από την

υδρόλυση των εστερικών δεσμών ενός λιπαρού ή βιολογικού ελαίου (π.χ. τριγλυκερίδια), με την αφαίρεση της γλυκερόλης.

Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τα κορεσμένα και τα ακόρεστα. Τα κορεσμένα λιπαρά οξέα δεν περιέχουν καθόλου διπλούς δεσμούς ή άλλα λειτουργικά σύνολα κατά μήκος της ανθρακικής αλυσίδας.

Ενδεικτικά κορεσμένα λιπαρά οξέα είναι:

- Βουτυρικό οξύ: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$
- Μυριστικό οξύ: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$
- Παλμιτικό οξύ: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
- Στεαρικό οξύ: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$

Τα ακόρεστα λιπαρά οξέα είναι παρόμοιας μορφής με τα κορεσμένα, περιέχοντας όμως αυτή τη φορά αλκύλια κατά μήκος της ανθρακικής αλυσίδας με αποτέλεσμα να υπάρχουν διπλοί δεσμοί μεταξύ των ατόμων του άνθρακα. Ενδεικτικά ακόρεστα λιπαρά οξέα:

- Άλφα-λινολεϊκό οξύ:
 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
- Λινολεϊκό οξύ: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
- Ολεϊκό οξύ: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$

Τα λιπαρά οξέα εμφανίζουν σημεία τήξης και λανθάνουσα θερμότητα παρόμοια με αυτά των παραφινών. Το Βουτυρικό οξύ ($\text{CH}_3[\text{CH}_2]_2\text{COOH}$) για παράδειγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κτιριακές εφαρμογές και έχει χρησιμοποιηθεί σε πειράματα, όμως το κόστος του είναι τουλάχιστον 2 με 2,5 φορές μεγαλύτερο από την παραφίνη με αντίστοιχες θερμικές ιδιότητες.

Αντίστοιχα, υπάρχουν λίγα λιπαρά οξέα τα οποία να είναι κατάλληλα για κτιριακές εφαρμογές, πράγμα που γίνεται εύκολα κατανοητό ότι είναι σημαντικό μειονέκτημα έναντι των παραφινών.

Οι δύο επικρατέστεροι υποψήφιοι από αυτά τα υλικά για χρήση σε κτιριακές θερμικές εφαρμογές είναι το Καπρικό Οξύ [σημείο τήξης 31.5° C] και το Καπριλικό Οξύ [σημείο τήξης 16.5° C].

Τα λιπαρά οξέα σε θερμοκρασία δωματίου, υπόκεινται σε μία χημική αντίδραση, γνωστή σαν αυτό-οξειδωση. Το λιπαρό οξύ σπάει σε υδατάνθρακες, κετόνες, αλδεΐδες και μικρότερες ποσότητες αλκοολών και εποξικών. Επίσης συχνά τα τελευταία επεξεργάζονται με συμπυκνωτικούς παράγοντες, όπως το κιτρικό οξύ.

Ένα ακόμη μειονέκτημα αυτής της ομάδας υλικών είναι η κακοσμία, γεγονός που όπως γίνεται κατανοητό περιορίζει δραματικά τη χρηστικότητα του χώρου στον οποίο αυτά εγκαθίστανται.

Παρ' όλ' αυτά, τα παραπάνω προβλήματα θα μπορούσαν να ξεπεραστούν με κάποιου είδους συσκευασία, δίνοντας έτσι ένα PCM φτηνό, χημικά σταθερό, ιδανικό για κτιριακές εφαρμογές [10-11,14].

Πίνακας 2: Οργανικές ενώσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως PCM.

Compound	Melting point (°C)	Heat of fusion (kJ/kg)
Butyl stearate	19	140
Paraffin C ₁₆ -C ₁₈	20-22	152
Capric-Lauric acid	21	143
Dimethyl sabacate	21	120
Polyglycol E 600	22	127.2
Paraffin C ₁₃ -C ₂₄	22-24	189
(34% Mistiric acid + 66% Capric acid)	24	147.7
1-Dodecanol	26	200
Paraffin C ₁₈ (45-55%)	28	244
Vinyl stearate	27-29	122
Capric acid	32	152.7

2.3.2. Ανόργανα PCM

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

Τα ένυδρα άλατα έλαβαν μέρος σε αναρίθμητες μελέτες γύρω από τη χρησιμοποίησή τους σαν PCM. Ο κύριος λόγος είναι το σχετικά μεγάλο εύρος σημείων τήξης που διαθέτουν, σχεδόν από 0 έως 120° C, πράγμα που τα κάνει κατάλληλα για πολλές θερμικές εφαρμογές και όχι μόνο για κτίρια. Ο χημικός τύπος είναι M.nH₂O, όπου M είναι μία ανόργανη ουσία, ενυδατωμένη με n μόρια νερού, και σχηματίζει μία σύνθετη ουσία ικανή να αποθηκεύσει μεγάλο ποσό θερμότητας υπό μορφή λανθάνουσας.

Η αρχή λειτουργίας των ένυδρων αλάτων, βασίζεται στην αποβολή του κρυσταλλικού νερού, το οποίο αποβάλλεται όταν προσδοθεί θερμότητα στο άλας σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία. Με τον τρόπο αυτό, αποθηκεύεται θερμότητα στο PCM, η οποία αποβάλλεται με επανακρυστάλλωση του νερού του άλατος. Βασικά μειονεκτήματα των ανόργανων PCM είναι - κυρίως για τα ένυδρα άλατα - η ασυμβατότητα του PCM με τα υλικά συσκευασίας, γεγονός που οδηγεί σε διαβρωτικά φαινόμενα στο δοχείο, καθώς τα ένυδρα άλατα είναι ιδιαίτερα διαβρωτικά.

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

Το άλας του Glauber ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), με τυπική κατά βάρος σύσταση 44% Na_2SO_4 και 56% H_2O είναι ένα από τα πλέον μελετημένα υλικά με θερμοκρασία τήξης $32,4^\circ \text{C}$ και λανθάνουσα θερμότητα 254 kJ/kg. Αν και είναι ένα από τα φθηνότερα υλικά που κυκλοφορούν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αποθήκευση ενέργειας, τα προβλήματα διαχωρισμού των φάσεων, ο σχηματισμός ιζήματος και το φαινόμενο supercooling περιορίζουν το εύρος των εφαρμογών.

Ερευνητές προτείνουν την προσθήκη επιπλέον ύδατος, για την αποφυγή δημιουργίας ιζήματος, όμως κάτι τέτοιο θα μείωνε την αποθηκευτική

ικανότητα του υλικού. Αντ' αυτού έχει χρησιμοποιηθεί πληθώρα υλικών για την σταθεροποίηση του PCM, προσπαθώντας παράλληλα να αυξηθεί η ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας.

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

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

Σε γενικές γραμμές τα ένυδρα άλατα είναι πυκνότερα υλικά από τα υπόλοιπα PCM και παρουσιάζουν ιδιαίτερα αυξημένες τιμές αποθήκευσης ενέργειας ανά μονάδα όγκου υλικού [10-11,15].

Ενδεικτικές τιμές πυκνότητας των βασικών κατηγοριών PCM:

- Ένυδρα άλατα περίπου 1500 kg/m³
- Λιπαρά οξέα περίπου 900 kg/m³
- Παραφίνες περίπου 800 kg/m³

Πίνακας 3: Ανόργανες ενώσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως PCM.

Compound	Melting point (°C)	Heat of fusion (kJ/kg)
KF·4H ₂ O	18.5	231
Mn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	25.8	125.9
CaCl ₂ ·6H ₂ O	29	190.8
LiNO ₃ ·3H ₂ O	30	296
Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	32	251

2.3.3. Εύτηκτα μίγματα

Εύτηκτα ονομάζονται τα μίγματα PCM, τα οποία μπορεί να είναι είτε οργανικά, είτε ανόργανα ή ακόμα και μίγμα ανόργανων με οργανικά PCM. Προφανές είναι πως τα εύτηκτα PCM αναπτύχθηκαν λόγω των δυνατοτήτων που παρέχουν στους σχεδιαστές ώστε να επιτύχουν τα επιθυμητά σημεία τήξης για την κάθε εφαρμογή.

Θεωρείται δε ότι συμπεριφέρονται και αντιμετωπίζονται σαν ένυδρα άλατα. Βασικό πλεονέκτημα με τα εύτηκτα PCM είναι ότι εμφανίζουν την τάση να συγκεντρώνουν τα πλεονεκτήματα και των δύο ομάδων, ενώ παράλληλα δεν έχουν την τάση να κάνουν το ίδιο με τα μειονεκτήματα. Το βασικό τους μειονέκτημα όμως είναι το κόστος παραγωγής, το οποίο είναι διπλάσιο έως τριπλάσιο απ' ότι των οργανικών και ανόργανων PCM [10,11].

Πίνακας 4: Ανόργανες εύτηκτες ενώσεις με πιθανή χρήση ως PCM.

Compound	Melting temperature (°C)	Heat of fusion (kJ/kg)
66.6% CaCl ₂ ·6H ₂ O + 33.3% MgCl ₂ ·6H ₂ O	25	127
48% CaCl ₂ + 4.3% NaCl + 0.4% KCl + 47.3% H ₂ O	26.8	188
47% Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O + 53% Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	30	136
60% Na(CH ₃ COO)·3H ₂ O + 40% CO(NH ₂) ₂	30	200.5

2.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κατηγοριών PCM

Συγκεντρωτικά για τις δύο βασικές κατηγορίες PCM παρατίθενται τα σημαντικότερα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα της κάθε κατηγορίας. Σημειώνεται εδώ ότι κάθε εφαρμογή στην οποία προσπαθείται η εισαγωγή PCM, έχει ξεχωριστές παραμέτρους και ιδιαιτερότητες, οπότε τα ακόλουθα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα έχουν διαφορετική βαρύτητα από εφαρμογή σε εφαρμογή. Επομένως η παρακάτω παράθεση χαρακτηριστικών έχει εγκυκλοπαιδικό κυρίως χαρακτήρα.

A) Οργανικά PCM

1. Πλεονεκτήματα:

- Μη διαβρωτικά με τα περισσότερα υλικά
- Μικρός κίνδυνος ρύπανσης του νερού
- Μικρής τάξης ή καθόλου εμφάνιση του φαινομένου supercooling
- Χημική και θερμική σταθερότητα
- Χαμηλό κόστος αγοράς σχετικά με τις υπόλοιπες κατηγορίες PCM
- Παραγωγή υλικών σε διάφορες εμπορικές εφαρμογές (σκόνη, κόκκοι, πλάκες)

2. Μειονεκτήματα:

- Λανθάνουσα θερμότητα υγροποίησης χαμηλότερη από τα ανόργανα
- Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας χαμηλότερος από τα ανόργανα
- Αναφλέξιμα σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (200° C)
- Πυκνότητα χαμηλότερη από τα ανόργανα

B) Ανόργανα PCM

1. Πλεονεκτήματα:

- Μεγαλύτερη τιμή λανθάνουσας θερμότητας υγροποίησης (σε σύγκριση με τα οργανικά)
- Μη αναφλέξιμα
- Πυκνότητα υψηλότερη από τα οργανικά

2. Μειονεκτήματα:

- Διαβρωτικά (απαραίτητη αποθήκευση υλικών σε ενισχυμένη συσκευασία)
- Εμφάνιση supercooling
- Διαχωρισμός των φάσεων (μεταβλητή τιμή διαλυτότητας με τη θερμοκρασία)
- Δυνατή δημιουργία ιζήματος
- Αβέβαιη θερμική σταθερότητα σε κυκλική φόρτιση
- Αρκετά μεγαλύτερο κόστος αγοράς από τα οργανικά
- Υδροσκοπικά υλικά με αποτέλεσμα εκφυλισμό των ιδιοτήτων τους σε βάθος χρόνου αν μείνουν εκτεθειμένα σε περιβάλλον με υγρασία [32].

Πίνακας 5: Εμπορικά PCM διαθέσιμα στη διεθνή αγορά [32].

PCM name	Type of product	Melting point (°C)	Heat of fusion (kJ/kg)	Source
RT 20	Paraffin	22	172	Rubithem GmBH
Climsel C23	Salt hydrate	23	148	Climator
ClimselC24	Salt hydrate	24	216	Climator
RT 26	Paraffin	25	131	Rubithem GmBH
RT 25	Paraffin	26	232	Rubithem GmBH
STL 27	Salt hydrate	27	213	Mitsubishi chemical
S27	Salt hydrate	27	207	Cristopia
RT 30	Paraffin	28	206	Rubithem GmBH
RT 27	Paraffin	28	179	Rubithem GmBH
TH 29	Salt hydrate	29	188	TEAP
Climsel C32	Salt hydrate	32	212	Climator
RT32	Paraffin	31	130	Rubithem GmBH

2.5. Χαρακτηριστικά PCM

Ακολουθεί μία σύντομη παράθεση των βασικών χαρακτηριστικών θερμικών ιδιοτήτων των υλικών αλλαγής φάσης οι οποίες καθορίζουν τη συμπεριφορά του θερμικού συστήματος του κάθε υλικού.

Η θερμοχωρητικότητα για όλα τα PCM, ανεξαρτήτως αν πρόκειται για οργανικά ή ανόργανα, είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας. Δεν έχει βρεθεί μέχρι σήμερα κάποιος νόμος που να περιγράφει τη μεταβολή της θερμοχωρητικότητας συναρτήσει της θερμοκρασίας και να καλύπτει ένα μεγάλο εύρος υλικών. Επί του παρόντος χρησιμοποιείται η σύμβαση με την οποία οι δύο φάσεις (στερεή και υγρή) του υλικού αντιμετωπίζονται με δύο αντίστοιχες τιμές για τη θερμοχωρητικότητα, τιμές που θεωρούνται πρακτικά σταθερές για το θερμοκρασιακό εύρος της εφαρμογής στην οποία χρησιμοποιείται το υλικό. Ακόμα όμως δεν υπάρχει σαφής απάντηση για την τιμή της θερμοχωρητικότητας στη διφασική περιοχή. Πρακτικά, δίνονται πολυωνυμικές και εκθετικές συναρτήσεις για το κάθε PCM, χωρίς να έχει εξαχθεί σήμερα μια οικουμενική συνάρτηση που θα αντιπροσωπεύει μια μεγάλη ομάδα από αυτά. Το μοναδικό κοινό σημείο για τη θερμοχωρητικότητα, είναι ότι κατά κανόνα αποτελεί μια αύξουσα συνάρτηση της θερμοκρασίας του υλικού.

Η τιμή της μέγιστης λανθάνουσας θερμότητας που μπορούν να αποθηκεύσουν τα PCM ανά μονάδα μάζας, είναι δείκτης αποδοτικότητας για κάθε εφαρμογή, καθώς είναι επιθυμητή η κατά το δυνατόν μεγαλύτερη αποθήκευση ανά μονάδα μάζας υλικού. Τον ίδιο ρόλο (ποιοτικά κατά τις εφαρμογές) παίζει και η πυκνότητα του PCM.

Για να υπάρχει αποδοτική μεταφορά θερμότητας πρέπει το υπεύθυνο υλικό να έχει μεγάλη θερμική αγωγιμότητα (k). Τα PCM έχουν εν γένει μικρή τιμή θερμικής αγωγιμότητας, γεγονός που αποτελεί μειονέκτημα των PCM στις διάφορες εφαρμογές τους. Η τιμή θεωρείται πρακτικά σταθερή σε ολόκληρο το θερμοκρασιακό φάσμα εφαρμογής. Λόγω της μικρής τιμής του k , ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας στα PCM θεωρείται μη αποδοτικός, καθώς απαιτούνται για γρήγορη και αποτελεσματική χρήση των εφαρμογών των PCM, υψηλές θερμοκρασιακές διαφορές. Το μειονέκτημα αυτό, ανάλογα πάντα με την εφαρμογή, μπορεί σε κάποιο βαθμό να αντιμετωπιστεί με αντίστοιχα μεγάλες επιφάνειες μετάδοσης θερμότητας.

Υπάρχουν βέβαια κάποιες εφαρμογές όπως η μεταφορά τροφίμων, στις οποίες τα παραπάνω δεν είναι ζωτικής σημασίας. Ως γνωστό η πυκνότητα είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας, οπότε κάθε υλικό που αλλάζει φάση, υπόκειται σε ογκομετρικές αλλαγές. Σε περίπτωση λοιπόν που υπάρχει PCM σε κλειστή συσκευασία, πρέπει να ληφθεί ειδική μέριμνα για να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο της ογκομετρικής αλλαγής και της συνεπαγόμενης μεταβολής της πίεσης στο εσωτερικό της συσκευασίας.

Οικολογικά, τα PCM δεν αποτελούν κάποιο κίνδυνο προς το περιβάλλον. Τα κεριά της παραφίνης είναι οικολογικά ακίνδυνα, χωρίς κατά την απόρριψή τους, να αποτελούν κάποιο κίνδυνο για φυτά, ζώα ή μικροοργανισμούς. Έχουν κατηγοριοποιηθεί σαν ουσίες που δεν αποτελούν απειλή για το νερό και είναι 100% ανακυκλώσιμα. Επομένως δεν είναι ούτε τοξικά, ούτε επικίνδυνα προς την ανθρώπινη υγεία. Επεξεργασμένες τέτοιες παραφίνες ικανοποιούν και τις αυστηρότερες προϋποθέσεις ασφαλείας για επαφή με τρόφιμα και ως εκ τούτου χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη βιομηχανία παραγωγής τροφίμων, σαν αυτούσια ή συστατικά υλικών συσκευασίας, ως επί

το πλείστον. Στη φαρμακευτική και κοσμητική βιομηχανία, χρησιμοποιούνται ως βάση για πολλών ειδών κρέμες [10,11].

2.5.1. Σταθερότητα θερμικών ιδιοτήτων σε εκτεταμένη κυκλική φόρτιση

Το σοβαρότερο κριτήριο για την αξιοποίηση των PCM σε βιομηχανικές εφαρμογές είναι ο ωφέλιμος χρόνος ζωής των υλικών (χωρίς εκφυλισμό των ιδιοτήτων), ο οποίος μετράται καλύτερα σε κύκλους φόρτισης και αποφόρτισης του υλικού παρά σε πραγματικές μονάδες χρόνου.

Η ανεπάρκεια σταθερότητας των υλικών οφείλεται σε δύο λόγους:

- Σε μικρής σταθερότητας χημική σύνθεση του υλικού ή υλικών που αποτελούν το PCM.
- Στο φαινόμενο της διάβρωσης που πιθανόν να λάβει χώρα μεταξύ του PCM και του υλικού συσκευασίας.

Το μεγαλύτερο μέρος των ερευνών που ως αντικείμενο αναφοράς έχουν τη διατήρηση των ιδιοτήτων των PCM κατά την περιοδική φόρτιση και αποφόρτισή τους ή τη διαβρωτική τους ικανότητα, αφορούν στα ένυδρα άλατα. Για τις παραφίνες και τα παράγωγα υλικά τους έχει βρεθεί ότι έχουν άριστη σταθερότητα στις θερμικές τους ιδιότητες καθώς επίσης και καμία επίδραση όταν έρχονται σε επαφή με τα περισσότερα υλικά (μεταλλικά αλλά και λοιπά δομικά υλικά). Αντιθέτως, τα ένυδρα άλατα παρουσιάζουν διαβρωτικές τάσεις όταν έρχονται σε άμεση επαφή με τα περισσότερα διαδεδομένα μέταλλα (χαλκός, σίδηρος, κλπ).

2.5.2. Φαινόμενο *supercooling*

Ένα άλλο σοβαρό πρόβλημα που αφορά στο σύνολο των ανόργανων PCM αλλά και σε μέρος των οργανικών είναι το φαινόμενο της υπέρψυξης ή υπόψυξης (*supercooling* or *subcooling*).

Ένα ιδανικό υλικό αλλαγής φάσης θα έπρεπε να στερεοποιείται και να τήκεται στην ίδια θερμοκρασία,. Κάποια υλικά δεν στερεοποιούνται αμέσως, εάν η θερμοκρασία του υλικού είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία τήξης. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται υπόψυξη ή υπέρψυξη. Κατά τη διάρκεια της υπόψυξης το υλικό βρίσκεται σε μια μετασταθή κατάσταση.

Η ύπαρξη *supercooling* οδηγεί στη μείωση της θερμοκρασίας κρυστάλλωσης, συνεπώς η λανθάνουσα θερμότητα αποδίδεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία από την επιθυμητή ή σε μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών. Βασική παρατήρηση ότι όσο μεγαλύτερος ο ρυθμός ψύξης του δείγματος, τόσο μεγαλύτερος ο βαθμός *supercooling*. Θα πρέπει επισημανθεί ότι ο βαθμός του *supercooling* δεν είναι φυσική ιδιότητα του υλικού με σταθερή τιμή αλλά μεταβάλλεται από διάφορες παραμέτρους, όπως ο όγκος του δείγματος, η «καθαρότητα» του υλικού, ο ρυθμός ψύξης, η επιφάνεια του δοχείου αποθήκευσης.

Το φαινόμενο της υπέρψυξης και τα προβλήματα τα οποία αυτό συνεπάγεται μπορούν να αντιμετωπιστούν με την προσθήκη στο υλικό τεχνητών παραγόντων πυρηνοποίησης, οι οποίοι είναι ουσίες με κρυσταλλική δομή παρόμοια, αν όχι ίδια με αυτή του υλικού στο οποίο προστίθενται και προστίθεται στο P.C.M. για να εξασφαλίσουν ότι η στερεή φάση θα σχηματισθεί με μηδαμινή ή ακόμα και καθόλου υπόψυξη.

Τα είδη των πυρήνων που μπορούν να προστεθούν είναι τα ακόλουθα :

- «Εγγενής» Πυρήνες (Intrinsic nucleators) : πρόκειται για ίδια συστατικά του P.C.M. , πρέπει να φυλάσσονται ξεχωριστά από το P.C.M., διότι αλλιώς υπάρχει κίνδυνος να τήξουν μαζί με αυτό και κατόπιν να είναι ανενεργά.
- «Συμβατοί» Πυρήνες (Extrinsic nucleators) : πρόκειται για χημικά τα οποία παρουσιάζουν όμοια δομή με αυτή των P.C.M., αυτό σημαίνει ότι έχουν παρόμοιες θερμοκρασίες τήξης με το P.C.M. που χρησιμοποιούμε. Επίσης θα πρέπει να φυλάσσονται ξεχωριστά από το P.C.M., διότι αλλιώς υπάρχει κίνδυνος να τήξουν μαζί με αυτό και κατόπιν να είναι ανενεργά [10,16-18].

2.5.3. Διάβρωση

Πολύ σημαντικός παράγοντας στη λειτουργία ενός PCM είναι να μην είναι διαβρωτικό, κυρίως απέναντι σε μεταλλικά υλικά. Δυστυχώς τα ανόργανα υλικά στην πλειοψηφία τους είναι διαβρωτικά, οι παραφίνες όμως όχι.

Η διαβρωτικότητα ενός PCM μπορεί σε συνδυασμό με τις συνεχείς εναλλαγές θερμοκρασίας και φάσης, σε βάθος χρόνου (όχι υποχρεωτικά μεγάλο) να καταστρέψει τη συσκευασία του PCM και κατ' επέκταση το σύστημα αποθήκευσης θερμότητας.

Σε πολλές θερμικές εφαρμογές με PCM ο γραφίτης χρησιμοποιείται για την βελτίωση του φαινομένου της μεταφοράς θερμότητας. Παρ' όλ' αυτά ενισχύει και το φαινόμενο της οξειδωσης, όπου και όταν αυτό εμφανίζεται [10,11].

2.5.4. Φαινόμενο διαχωρισμού των φάσεων

Η συμπεριφορά κατά την αλλαγή φάσης στα ένυδρα άλατα είναι μακράν πιο περίπλοκη απ' ότι στα οργανικά PCM, γιατί το υλικό περνά στάδια ενυδάτωσης και αφυδάτωσης, και όχι απλά τις φάσεις της τήξης και της στερεοποίησης.

Τα ένυδρα άλατα εμφανίζουν τρεις κύριους τύπους συμπεριφοράς κατά τη μετάβασή τους από τη μία φάση σε κάποια άλλη: τον ομοιόμορφο, τον ανομοιόμορφο και τον ημι-ομοιόμορφο. Η επιθυμητή συμπεριφορά είναι αυτή του ομοιόμορφου τρόπου τήξης, ο οποίος λαμβάνει χώρα όταν η σύσταση της στερεάς φάσης είναι ίδια με τη σύσταση της υγρής. Η ημι-ομοιόμορφη τήξη συμβαίνει όταν το PCM έχει δύο ή περισσότερες ένυδρες μορφές με διαφορετικές συστάσεις στερεού μέρους και διαφορετικά σημεία τήξης. Η ανομοιόμορφη τήξη λαμβάνει χώρα στην περίπτωση που κατά την τήξη του PCM εμφανίζονται δύο ξεχωριστές φάσεις: ένα κορεσμένο διάλυμα και ένα ίζημα αδιάλυτης άνυδρης ουσίας.

Η μεγάλη θερμοαποθηκευτική ικανότητα των ένυδρων αλάτων είναι δύσκολο να διατηρηθεί και συνήθως μειώνεται με τους κύκλους φόρτισης του υλικού. Αυτός είναι και ο λόγος που δεν μπορεί να υπολογιστεί με βεβαιότητα ο ωφέλιμος χρόνος ζωής των υλικών. Κύρια αιτία εκφυλισμού των θερμικών ιδιοτήτων των υλικών είναι ο διαχωρισμός των φάσεων του υλικού και ο πιθανός σχηματισμός ανύδρων αλάτων με δημιουργία ιζήματος. Το φαινόμενο λαμβάνει χώρα λόγω του ότι τα ένυδρα άλατα τήκονται σύμφωνα με το κατώτερο συστατικό του μίγματος (ανομοιόμορφη τήξη), δημιουργώντας μη αναστρέψιμη διαδικασία που οδηγεί σε συχνή εξασθένιση των ιδιοτήτων τους.

Προφανώς, λόγω της διαφοράς πυκνότητας των δύο αυτών φάσεων, η στερεή φάση κατακάθεται στον πυθμένα του δοχείου αποθήκευσης. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται αποσύνθεση του υλικού (ή διαχωρισμός των φάσεων) [10,11].

2.6. Ιδιότητες PCM

2.6.1. Θερμοφυσικές ιδιότητες

- Θερμοκρασία τήξεως στο επιθυμητό εύρος λειτουργίας.
- Υψηλός λόγος λανθάνουσας θερμότητας προς όγκο, ώστε ο απαιτούμενος όγκος να είναι ο ελάχιστος.
- Υψηλή ειδική θερμοχωρητικότητα για σημαντική πρόσθετη αποθήκευση αισθητής θερμότητας.
- Υψηλή θερμική αγωγιμότητα τόσο της στερεής όσο και της υγρής φάσης για να επικουρείται η φόρτιση/αποφόρτιση της ενέργειας του συστήματος αποθήκευσης.
- Μικρή διαστολή-συστολή κατά την αλλαγή φάσης και μικρή τάση ατμών στο θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας, ώστε να μειωθεί το πρόβλημα αποθήκευσης.
- Σταθερή συμπεριφορά με κάθε κύκλο τήξης/στερεοποίησης, για σταθερή αποθηκευτική ικανότητα του υλικού.

2.6.2. Κινητικές ιδιότητες

- Υψηλή εμπύρινη αναλογία (nucleation rate) ώστε να αποφεύγεται το φαινόμενο της υπόψυξης της υγρής φάσης.
- Υψηλή ταχύτητα ανάπτυξης των κρυστάλλων, ώστε το σύστημα να μπορεί να καλύπτει την ζήτηση ανακτώντας θερμότητα από το σύστημα αποθήκευσης.

2.6.3. Χημικές ιδιότητες

- Ο κύκλος τήξης/στερεοποίησης να είναι πλήρως αναστρέψιμος.
- Να μην υποβαθμίζεται μετά από πολλούς κύκλους τήξης/στερεοποίησης (κόπωση).

- Να μην διαβρώνει τα υλικά με τα οποία έρχεται σε επαφή.
- Να μην είναι τοξικό, να μην είναι εύφλεκτο και να μην εκρήγνυται [21].

2.6.4. Οικονομικές ιδιότητες

- Χαμηλή τιμή πώλησης, ώστε να είναι ανταγωνιστικό σε σχέση με άλλα προϊόντα τα οποία προσφέρουν αποθήκευση θερμότητας για θέρμανση και ψύξη.
- Μη τοξικά, για περιβαλλοντικούς λόγους και λόγους ασφάλειας .
- Ανακυκλώσιμα, επίσης για περιβαλλοντικούς και οικονομικούς λόγους [28].

Συνήθως η επιλογή της χρήσης ενός υλικού αλλαγής φάσης γίνεται με κριτήριο την θερμοκρασία αλλαγής φάσης, την ενθαλπία και την δυνατότητα αναστρεψιμότητα του κύκλου ψύξης – τήξης. Όμως στην πλειονότητα των περιπτώσεων ένα υλικό δεν είναι δυνατόν να καλύψει όλες τις παραπάνω απαιτήσεις, διότι για παράδειγμα όταν η θερμική αγωγιμότητα είναι μικρή, τότε απαιτείται η τοποθέτηση του υλικού σε κάψουλες (encapsulation), ώστε να διευκολυνθεί η μετάδοση της αποθηκευμένης θερμότητας. Επομένως έχουν αναπτυχθεί στρατηγικές και προσεγγίσεις οι οποίες έχουν στόχο να αντιμετωπίσουν αυτά τα προβλήματα.

2.7. Τοποθέτηση P.C.M. σε Κάψουλες και Σύνθετα Υλικά

Η τοποθέτηση των P.C.M. σε κάψουλες και η χρήση σύνθετων υλικών είναι δύο τεχνολογίες πολλά υποσχόμενες για το μέλλον των P.C.M.. Στις περισσότερες των περιπτώσεων η τοποθέτηση του P.C.M. σε κάψουλες είναι αναγκαία για τεχνικούς λόγους, διότι υπάρχει κίνδυνος να έχουμε διαρροή της υγρής φάσης από το χώρο στον οποίο αυτή χρησιμοποιείται. Διακρίνουμε δύο είδη ενσωμάτωσης των P.C.M. σε κάψουλες :

2.7.1. Macroencapsulation

Σε αυτή την περίπτωση γίνεται τοποθέτηση του P.C.M. σε κάψουλες με διάμετρο μεγαλύτερη του 1 cm. Εκτός από το ότι αυτή η μέθοδος διατηρεί το υλικό του P.C.M. σε πεπερασμένο χώρο και εμποδίζει την επαφή του με άλλα συστατικά, η μέθοδος παρουσιάζει και τα ακόλουθα προτερήματα :

- Βελτιώνει τη συμβατότητα του υλικού με το περιβάλλον, καθώς λειτουργεί σαν φράγμα μεταξύ του P.C.M. και του χώρου που αυτό ευρίσκεται.
- Βελτιώνει τη διακίνηση του P.C.M. κατά την παραγωγή του.
- Μειώνει ουσιαστικά τις μεταβολές του όγκου, που συνήθως αποτελούν ένα πλεονέκτημα για τις περισσότερες εφαρμογές, ιδίως σε αυτές που οι χωροταξικές προδιαγραφές είναι σε στενά πλαίσια.

2.7.2. Microencapsulation

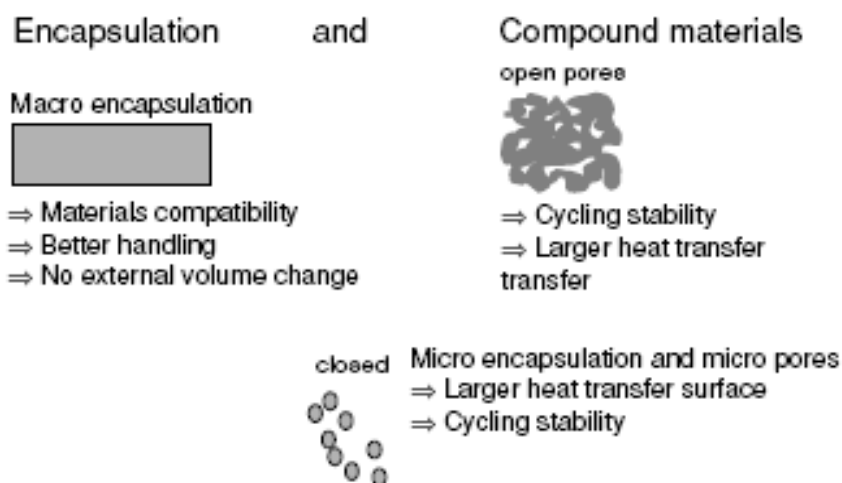
Σε αυτή την περίπτωση γίνεται τοποθέτηση του P.C.M. σε κάψουλες με διάμετρο μικρότερη του 1 mm. Η μέθοδος έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με αυτή της macroencapsulation , αλλά έχει επιπλέον τα εξής προτερήματα :

- Βελτιώνει τη μετάδοση θερμότητας στον περιβάλλοντα χώρο λόγω του μεγάλου ποσοστού της επιφάνειας συναλλαγής.

- Βελτιώνει ουσιαστικά την σταθερότητα της κυκλικής φόρτισης καθώς ο διαχωρισμός των φάσεων είναι ιδιαίτερα περιορισμένος λόγω των μικροσκοπικών διαστάσεων της κάψουλας που εμπεριέχει το P.C.M.

Τα σύνθετα υλικά είναι υλικά που αποτελούνται από ένα P.C.M. και τουλάχιστον ένα άλλο υλικό. Το άλλο υλικό χρησιμοποιείται για να βελτιώσει τουλάχιστον μια από τις ιδιότητες του P.C.M.. Η χρήση σύνθετων ενώσεων έχει επιπλέον τα εξής προτερήματα :

- Βελτιώνει τη σταθερότητας της κυκλικής φόρτισης, αφού οι μικροσκοπικές δομές μειώνουν ουσιαστικά το διαχωρισμό των φάσεων στο τήγμα.
- Βελτιώνει τη μεταφορά θερμότητας, μέσω της προσθήκης των υλικών με μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα όπως για παράδειγμα τον γραφίτη [28].



Εικόνα 9: Encapsulation και σύνθετα υλικά και μερικά από τα θετικά τους αποτελέσματα [28].

2.8. Συμβατότητα των P.C.M. με άλλα υλικά

Η συμβατότητα των P.C.M. με άλλα υλικά είναι σημαντική τόσο για τη διάρκεια ζωής του δοχείου ή της κάψουλας που φέρει το P.C.M., όσο και για μία πιθανή διαρροή του τήγματος προς τον περιβάλλοντα χώρο όπου μπορεί να προξενήσει προβλήματα. Τα πιο συνήθη προβλήματα αναφορικά με τη συμβατότητα των υλικών και τα P.C.M. είναι τα ακόλουθα :

- Διάβρωση των μετάλλων όταν έρθουν σε επαφή με ανόργανα P.C.M.
- Απώλεια σταθερότητας δομής των πλαστικών όταν έρχονται σε επαφή με οργανικά P.C.M.
- Μετακίνηση υγρών ή αερίων διαμέσου πλαστικών δοχείων, τα οποία επηρεάζουν τη δομή του περιεχόμενου ανόργανου ή οργανικού P.C.M. [28].



Εικόνα 10: Τεστ συμβατότητας για συνδυασμούς μετάλλων-ανόργανων PCM [28].



Εικόνα 11: Τεστ συμβατότητας για συνδυασμούς πλαστικών-ανόργανων PCM και πλαστικών-οργανικών PCM [28].

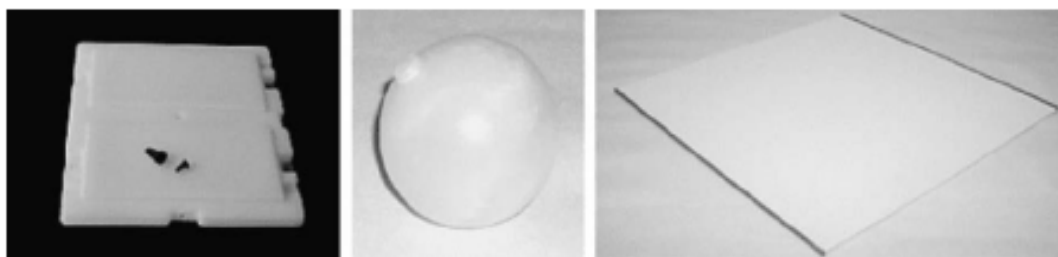
2.9. Ενώσεις PCM στην Αγορά

Προς στιγμήν περισσότερα από 50 PCM είναι εμπορικά διαθέσιμα από τις παρακάτω εταιρίες:

- RUBITHERM GmbH in Germany (<http://www.rubitherm.de/>).
- Dörken GmbH & Co. KG in Germany (<http://www.doerken.de/bvf/de/produkte/pcm/produkte/cool25.php>).
- Climator AB in Sweden (<http://www.climator.com/>).
- TEAP in Australia (<http://www.teappcm.com/>).
- CRISTOPIA Energy Systems in France (<http://www.cristopia.com/>).
- Mitsubishi Chemical in Japan.

Οι τιμές τους ποικίλουν σε εύρος 0,5-10Euro/kg.

Παρακάτω παραθέτω κάποιες εικόνες με τις συσκευασίες των PCM που κυκλοφορούν στην αγορά, από τις εταιρίες που προανέφερα.



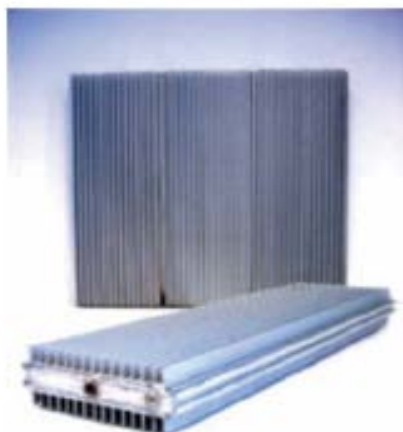
Εικόνα 12: Από αριστερά προς τα δεξιά: Επίπεδη συσκευασία(Kissmann/Γερμανία), σφαίρες PCM και μπάρες διπλών πιάτων(Dorcken/Γερμανία) [28].



Εικόνα 13: Macro encapsulation σε σάκους (αριστερά από την Climator/Σουηδία και δεξιά από την Dorken/Γερμανία) [28].



Εικόνα 14: Macro encapsulation σε λωρίδες κάψουλας όπως παράγονται από την TEAP/Αυστραλία και από την Dorken/Γερμανία για ανόργανα PCM. [28].



Εικόνα 15: Macro encapsulation σε αλουμίνια πορτραίτα, με πτερύγια για βελτιωμένη μεταφορά θερμότητας(Climator/Σουηδία) [28].

2.10. Εφαρμογές

Τα PCM χρησιμοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογών και διαφορετικών πεδίων:

Σε συστήματα ηλιακής ενέργειας, για τον κλιματισμό κτιρίων, σε κτίρια χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, για αποθήκευση ενέργειας, ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας, σε βοηθητικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, σε αντλίες θερμότητας, σε διαστημικές εφαρμογές, συστήματα ψύξης φορητών Η/Υ, σε συστήματα τηλεπικοινωνίας και σε πολλές άλλες εφαρμογές.

Στον κλιματισμό κτιρίων υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι εφαρμογής των PCM:

1. PCM μέσα στην τοιχοποιία.
2. PCM σε άλλα δομικά στοιχεία εκτός των τοίχων.
3. PCM σε δοχεία αποθήκευσης θερμότητας.

Τα πρώτα δύο συστήματα είναι παθητικά, δηλ. η αποθηκευμένη θερμότητα ή το ψύχος εκλύονται αυτόματα όταν η εσωτερική ή εξωτερική θερμοκρασία ανέβει ή κατέβει πέραν της θερμοκρασίας αλλαγής φάσεως. Το τρίτο είναι ένα ενεργητικό σύστημα όπου η αποθηκευμένη θερμότητα βρίσκεται σε ένα θερμικά μονωμένο δοχείο. Έτσι χρησιμοποιείται μόνο κατά βούληση και όχι αυτόματα.

Οι εφαρμογές αυτές είναι πολύ ενδιαφέρουσες στην περίπτωση ελαφρών κατασκευών κτιρίων, οι οποίες έχουν μικρή μάζα αποθήκευσης θερμότητας με αποτέλεσμα η ημερήσια διακύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας να είναι μεγάλη [21].

2.11. Μέθοδοι Μέτρησης

- Με συμβατικές μεθόδους καλοριμέτρων (conventional calorimetry methods)
- Με διαφορική θερμική ανάλυση (differential thermal analysis DTA)
- Με καλορίμετρα διαφορικής σαρώσεως (differential scanning calorimetry DSC)
- Με την μέθοδο T-history.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο :

***ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ, ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ РСМ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑΚΕΣ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ***

3.1. Αναφορές εφαρμογών στον τύπο και στο διαδύκτιο

3.1.1. Στους τοίχους και στα μπόιλερ

Θαυματουργά πετραδάκια εξοικονομούν ενέργεια έως 40%

ΜΑΝΟΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΙΑΚΗΣ , ΤΑ ΝΕΑ , 19/12/2005

Βαθμολογία κάτω από τη βάση παίρνει η Ελλάδα στο... μάθημα της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Πρόκειται για την ευρωπαϊκή οδηγία που θα τεθεί σε ισχύ σε μία εβδομάδα και η οποία αναφέρει ότι τα κτίρια πρέπει να αποκτήσουν ενεργειακή ταυτότητα.

Μικρά αλλά... θαυματουργά υλικά για οικονομία

Μικροσκοπικά υλικά (PCM – phase change materials ή αλλιώς εύρηκτα υλικά) προσφέρουν εξοικονόμηση ενέργειας και οικονομία εάν τοποθετηθούν στο σπίτι. Πρόκειται για υλικά που αποθηκεύουν θερμότητα

Οι εφαρμογές των PCM σε κατοικίες

- 1** **Ευδοξοπέδιλο τοποθέτηση**
 Τοποθετούνται κάτω από το πάτωμα και αποθηκεύουν θερμότητα είτε με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας είτε με ηλεκτρισμό
➡ **Οικονομία έως και 40%**
- 2** **Τοποθέτηση σε μπόιλερ με ελαστικό σωλήνα**
 Η λειτουργία είναι παρόμοια με του ηλεκτρικού θερμαντήρα. Τα PCM τοποθετούνται μέσα στο μπόιλερ. Έχουν δυνατότητα να αποθηκεύουν 5-6 φορές περισσότερη θερμότητα σε σχέση με τον ηλεκτρικό θερμαντήρα. Η αποθηκευμένη θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περαιτέρω ζεστό νερό ή για να ζεσταθεί το σπίτι
- 3** **Στοιές τοίχους και στην οροφή**
 Τοποθετούνται είτε αυτώνια είτε ως σύνθετο υλικό μαζί με γύψο ή τσιμέντο. Τα κομμάτια απορροφούν τη θερμότητα, χαρίζοντας θροασιά στο σπίτι. Τον χειμώνα αποθηκεύουν τη ζέση που αέρια που βγαίνει από το σπίτι προς το περιβάλλον και έτσι το σπίτι θα είναι πιο ζεστό
➡ **Εξοικονόμηση ενέργειας από τη χρήση κλιματισμού**



Μικροσκοπικό υλικό που μοιάζει με ήλιο και κρύο ή κερτάκι και είναι το PCM (στη φράση κρύο)



THERMEX

Εικόνα 16: Αναφορά στα PCM/απόκομμα από την εφημερίδα ΤΑ ΝΕΑ.

ΕΙΝΑΙ ΜΙΚΡΑ, σαν πετραδάκια - έχουν διάμετρο μόλις μερικά εκατοστά - αλλά... θαυματουργά. Εάν τοποθετηθούν σε μπόιλερ παρόμοια με εκείνα των ηλιακών θερμοσιφώνων, παρέχουν εξοικονόμηση ενέργειας έως 40%. Αυτή η τεχνολογία - με χρήση υλικών που λειώνουν εύκολα, τα λεγόμενα PCM - εφαρμόζεται σε κατοικίες αλλά κυρίως σε μεγαλύτερα κτίρια γραφείων και σε βιομηχανίες στη Γερμανία, στην Αμερική και στη Σουηδία. «Στην Ελλάδα ακόμη δεν έχουν εμπορική εφαρμογή. Αυτό το διάστημα ερευνούμε τη χρήση τους», λέει στα «ΝΕΑ» ο κ. Μ. Βραχόπουλος, καθηγητής στα ΤΕΙ Χαλκίδας και επικεφαλής της επιστημονικής ομάδας που πειραματίζεται με την τοποθέτηση τέτοιων υλικών σε μπόιλερ ηλιακών θερμοσιφώνων που κυκλοφορούν στην ελληνική αγορά.

Στη Γερμανία εξαπλώνεται γρήγορα η χρήση τέτοιων ενδοδαπέδιων συστημάτων θέρμανσης με χρήση τέτοιων υλικών σε συνδυασμό με ηλιακό συλλέκτη ή ηλεκτρισμό, με επιπλέον κόστος της τάξης των 40-50 ευρώ ανά τετραγωνικό μέτρο. Μία από τις πιο απλές εφαρμογές των υλικών είναι στους τοίχους των κτιρίων. Μπορεί να τοποθετηθούν είτε αυτούσια - ως στρώμα υλικού μέσα στην τοιχοποιία - είτε ως συστατικό υλικού οικοδόμησης, με κύριο συστατικό τον γύψο ή το τσιμέντο. Το καλοκαίρι η θερμότητα από το εξωτερικό περιβάλλον εισέρχεται στο κέλυφος του κτιρίου διαπερνώντας τα στρώματα του σοβά και του τούβλου και αντιμετωπίζει τη θερμική αντίσταση της μόνωσης. Σε μία κοινή κατασκευή η θερμότητα που θα διαπεράσει το στρώμα της μόνωσης θα εισέλθει στον χώρο μέσω των στρωμάτων του τούβλου και του σοβά. «Στην περίπτωση της ενισχυμένης τοιχοποιίας με PCM το επιπλέον ποσό θερμότητας αποθηκεύεται στο υλικό και δεν περνά προς τον εσωτερικό χώρο, προσφέροντας δροσιά στο σπίτι», αναφέρουν οι επιστήμονες.

Αντίστοιχα, λένε οι ειδικοί, είναι τα θετικά αποτελέσματα τον χειμώνα: η θερμότητα από τον εσωτερικό χώρο διαπερνά τα στρώματα του σοβά και του τούβλου και εγκλωβίζεται στο PCM μην αφήνοντας να διαφύγει θερμότητα προς το περιβάλλον. Τα ίδια πλεονεκτήματα - δροσιά το καλοκαίρι, ζέστη τον χειμώνα και εξοικονόμηση ενέργειας - προσφέρει και η τοποθέτηση τέτοιων υλικών στην οροφή ενός κτιρίου.

3.1.2. FlatICE-Solar House, Thermal Energy Storage Systems

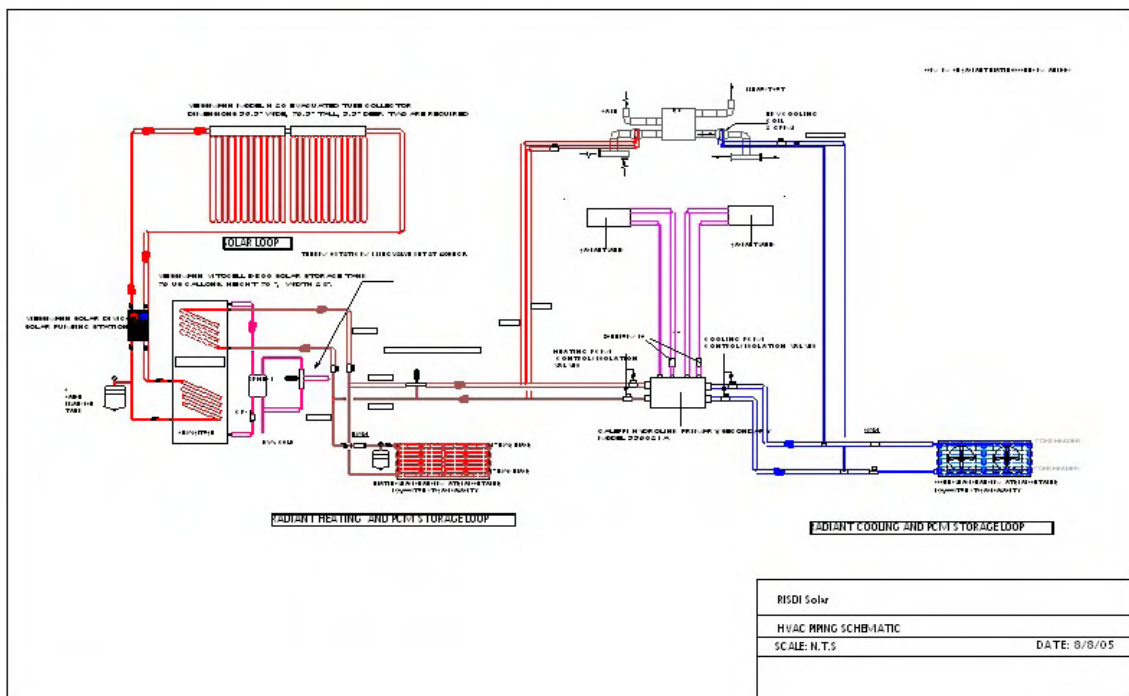
Σχεδιασμός ηλιακής κατοικίας

Γενικά:

Σαν μέρος του διαγωνισμού του ηλιακού δεκάθλου των ΗΠΑ , ο οποίος απαιτεί την ελάχιστη ή τη μη εκτεταμένη χρήση ενέργειας οικιακού σχεδιασμού, αυτή η νέα ιδέα σχεδιάστηκε γύρω απ' την αποθήκευση ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας για θέρμανση χώρου και ζεστού νερού χρήσης και την αποθήκευση, κατά τη διάρκεια της νύχτας , κρύας ενέργειας για τις απαιτήσεις κρύου αέρα την ημέρα, έτσι ώστε και οι απαιτήσεις δροσισμού και θέρμανσης να μπορούν να συναντηθούν χωρίς την χρήση εκτεταμένων ενεργειακών πηγών.



Εικόνα 17: Σχηματική αναπαράσταση του παραπάνω συστήματος [34].



Εικόνα 18: Σκαρίφημα της παραπάνω διάταξης [34].

Τρόπος Θέρμανσης

Ζεστό νερό παράγεται χρησιμοποιώντας τους ηλιακούς σωληνοειδείς συλλέκτες εκκένωσης /μεταφοράς, και αποθηκεύεται στη δεξαμενή ηλιακής αποθήκευσης. Η δεξαμενή έχει δύο σκοπούς, οικιακό νερό χρήσης και θέρμανση. Το σχέδιο παίρνει θερμότητα από το οικιακό ζεστό νερό και μέσω ενός θερμικού εναλλάκτη, μεταφέρει τη θερμότητα στο θερμικό κουτί PCM.

Μόλις η δεξαμενή αποκτήσει θερμοκρασία, όποτε έχουμε περίσσεια θερμότητας, αποθηκεύεται θερμότητα στο PCM.

Τη νύχτα ή με πολύ συννεφιασμένο καιρό, το σύστημα τραβάει πίσω θερμότητα από το PCM και τη χρησιμοποιεί για να θερμάνει το σπίτι με τους πίνακες ακτινοβολίας θερμότητας στο ταβάνι (Radiant Heating Ceiling panels.)

Κατά τη διάρκεια του διαγωνισμού το σύστημα συμπτωματικά δεν είχε ήλιο για 8 ημέρες, αλλά ακόμα και τότε ήταν δυνατό να θερμανθεί το σπίτι με μόνο μια «χρέωση» του PCM. Τα καθημερινά εύρη θερμοκρασίας ήταν από 25.6° C (78 Deg F) κατά τη διάρκεια της ημέρας μέχρι 12.2° C (54 Deg F) τη νύχτα.

Η θερμότητα μεταφέρεται στα PCM μέσω ενός μεγάλου self built εναλλάκτη θερμότητας στο εσωτερικό των κουτιών. Σε ένα κέλυφος φουντουκιού, είναι μια διάταξη χάλκινων αγωγών, η οποία χρησιμοποιεί λεπτά πιάτα μεταφοράς θερμότητας από αλουμίνιο, για να δώσει θερμότητα στο PCM για αποθήκευση και για να την πάρει πίσω όποτε τη χρειαστεί. Το σύστημα είναι ανάποδης επιστροφής αγωγών (όπως το σπίτι) για να διασφαλίσει τη ροή εντός και εκτός όλων των πιάτων μεταφοράς. Τα κουτιά είναι βαριά μονωμένα και επίσης χρησιμοποιούν φράγματα/εμπόδια ακτινοβολίας για να

κρατήσουν τη θερμότητα(ή το κρύο) στα κουτιά και να κυλήσει μέσω των πιάτων μεταφοράς.

Το σύστημα αντλιών για το σπίτι είναι ένα σύστημα πολύτιμης πρωταρχικής/δευτερεύουσας ζώνης ταχύτητας. Είναι ένα crossover σύστημα που χρησιμοποιούμε και για την ακτινοβολούμενη θερμότητα και για την ακτινοβολούμενη ψύξη (the radiant heating and the radiant cooling) [34].



Εικόνα 19:Σύστημα σωληνώσεων στο σπίτι για την κυκλοφορία του ζεστού νερού [34].



Εικόνα 20:Σύστημα σωληνώσεων [34].

3.2. Εφαρμογές PCM σε κτιριακές εγκαταστάσεις.

3.2.1. Ιστορική Αναδρομή

Η πρώτη που αποφάσισε να ασχοληθεί με την εφαρμογή των PCM σε κτίρια, ήταν η Δρ. **Maria Telkes**. Το 1948 κατασκευάστηκε το πρώτο μεγάλης κλίμακας πείραμά της, στην περιοχή Dover Mass, στη Βοστώνη των ΗΠΑ. Η περιοχή επελέγη από την Telkes για τα ετήσια επίπεδα ηλιοφάνειας, που για την περιοχή ήταν πάνω από τις μέσες τιμές, πράγμα που εξασφάλιζε τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση του ηλιακού συστήματος. Ήταν ένα σπίτι ενός ορόφου, πέντε δωματίων εκ των οποίων δύο υπνοδωμάτια, επιφάνειας 135 m².

Η ηλιακή ακτινοβολία παρείχε θερμότητα μέσω 28 ηλιακών συλλεκτών, θερμότητα η οποία μετά μέσω ανεμιστήρων οδηγείτο σε τρία δοχεία αποθήκευσης θερμότητας. Τα δοχεία χρησιμοποιούσαν σαν PCM το άλας του Glauber. Συνολικά περιλαμβάνονταν 21 τόνοι PCM, συνολικής αποθηκευτικής ικανότητας 11MJ και σημείου τήξης 32° C.

Με τα οικονομικά δεδομένα της εποχής ήταν μία ακριβή κατασκευή, κοστίζοντας 20000 δολάρια, από τις οποίες οι 3000 δολάρια αναφέρονταν στο θερμαντικό σύστημα (συνολικό ποσοστό κόστους 15%). Τα πρώτα δύο έτη λειτουργίας το σύστημα θέρμανσης αποδείχθηκε ιδιαίτερα αποτελεσματικό ακόμα και σε περιόδους με επτά ημέρες συνεχόμενης συννεφιάς. Το σύστημα λειτούργησε με επιτυχία παρέχοντας ένα άνετο περιβάλλον γύρω στους 21° C, χωρίς να χρειαστεί οποιοδήποτε βοηθητικό σύστημα θέρμανσης.

Τον τρίτο χρόνο όμως, το σύστημα άρχισε να εμφανίζει σοβαρά προβλήματα, καθώς το άλας του Glauber είχε διαχωριστεί σε διάλυμα και άνυδρο άλας (Na₂SO₄), χάνοντας έτσι την αποθηκευτική του ιδιότητα. Παρατηρήθηκε

επίσης ότι τα δοχεία αποθήκευσης άρχισαν να διαβρώνονται, με αποτέλεσμα να αυξάνονται δραματικά οι απώλειες του συστήματος.

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 με PCM χωρητικότητας 1.9 m³, 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 αποφύγει- κατά το δυνατόν-το διαχωρισμό. ,υστυχώς και αυτή η κατασκευή αντιμετώπισε τα ίδια προβλήματα με την κατασκευή της Telkes, πιο καθυστερημένα βέβαια, λόγω αύξησης του χρόνου ζωής του PCM, λόγω της προσθήκης του πηκτικού παράγοντα.

Την επόμενη προσπάθεια για ένα ηλιακό σπίτι με PCM την έκαναν το 1959 οι **J.Hodgins** και **T.Hoffman** στον Καναδά. Το κτίριο ήταν δύο ορόφων, επιφάνειας 111m². Το σχεδιασμό της αποθήκευσης ενέργειας τον ανέλαβε η M.Telkes λόγω της προηγούμενης εμπειρίας της. Και σε αυτή τη περίπτωση η Telkes χρησιμοποίησε ως υλικό αλλαγής φάσης το άλας του Glauber (ένυδρο άλας, Na₂SO₄ · 10H₂O, σημείο τήξης τους 32° C).

Για να ξεπεραστούν τα προηγούμενα προβλήματα, το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας εκτός από 12 τόνους PCM που περιελάμβανε, ήταν εμπλουτισμένο με πυριτικό άλας νατρίου και χρώμιο, ουσία που εμποδίζει τη διάβρωση. Τα PCM ήταν ενσωματωμένα σε κυλινδρικά δοχεία χάλυβα, διαμέτρου 0.1 m και ύψους 0.6 m, τα οποία ήταν τοποθετημένα κάθετα στους τοίχους. Παρόλο που

τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά, οι προσπάθειες δεν συνεχίστηκαν από αυτή την ομάδα επιστημόνων [11,24].

3.2.2. Ερευνητική Δραστηριότητα

Το πρώτο μεγάλο ερευνητικό πρόγραμμα έλαβε χώρα στο πανεπιστήμιο της Πενσυλβάνια το 1971. Σε αυτό συμμετείχαν οι S.Freedman, M.Telkes, M.Altman. Ο ερευνητικός σκοπός ήταν να ανακαλυφθεί αριθμός PCM κατάλληλων για ψυκτικές και θερμαντικές εφαρμογές, με ενδελεχή ανάλυση παράπλευρων παραγόντων, όπως τα διάφορα κόστη (κτήσης, εγκατάστασης, συντήρησης), οικονομική ανάλυση επένδυσης και αποθηκευτική ικανότητα υλικού.

Η έρευνα βασίστηκε στις βασικές ομάδες PCM: ένυδρα άλατα, οργανικά PCM, ανόργανα PCM, εύτηκτα μίγματα (οργανικά/ανόργανα) Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το $K_2HPO_4 \cdot 6H_2O$ (ανόργανο PCM) και ορισμένα μίγματα παραφίνης (οργανικό PCM) είναι κατάλληλα για εφαρμογές κλιματισμού, ενώ για θέρμανση χώρου τα πιο ελπιδοφόρα PCM είναι τα: $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ και $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$.

Η δεκαετία του 1970 ήταν ορόσημο για τα PCM και γενικότερα για τις εναλλακτικές μορφές ενέργειας. Συγκεκριμένα το 1973 με τον αραβικό αποκλεισμό πετρελαίου εμφανίζεται η πρώτη πετρελαϊκή κρίση. Αυτό ώθησε τις κυβερνήσεις διάφορων χωρών να αναζητήσουν τρόπους εξοικονόμησης ενέργειας. Το πεδίο μεγάλου ενδιαφέροντος ήταν οι τομείς της ηλιακής ενέργειας και της αποδοτικής αποθήκευσης θερμότητας.

Από το σημείο αυτό και μετά η μέθοδοι αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας έγιναν σημαντικό κομμάτι του προγράμματος ανανεώσιμων

πηγών ενέργειας και άρχισαν να επενδύονται σημαντικά κονδύλια στην έρευνα και ανάπτυξη των συστημάτων αυτών. Από το 1973 και μετά ξεκινά η κυβερνητική χρηματοδότηση ερευνητικών προγραμμάτων πάνω στα PCM σε χώρες όπως οι Η.Π.Α., η Αγγλία, η Γερμανία και η Γαλλία. Αποτέλεσμα της ανάγκης για εύρεση PCM, στα τέλη της δεκαετίας του 1970, κυβερνητικοί επιστημονικοί οργανισμοί των ΗΠΑ διεξήγαγαν πειράματα ελέγχοντας 20000 διαφορετικά υλικά ως προς τις προοπτικές που έδιναν για χρήση ως PCM. Μόλις το 1% θεωρήθηκε υποψήφιο υλικό και συγκεκριμένα κάποια ένυδρα άλατα με την ιδιότητα της ομογενούς τήξης και συγκεκριμένες κατηγορίες οργανικών υλικών. Η μετέπειτα ερευνητική δραστηριότητα παγκοσμίως απέδειξε ότι όντως αυτά τα υλικά είναι τα πλέον κατάλληλα για τέτοιου είδους εφαρμογές [11,24].

3.2.3. Εφαρμογή υλικών αλλαγής φάσης σε ηλιακά θερμαινόμενα θερμοκήπια.

Η εφαρμογή των PCMs σε θερμοκήπια για την αποθήκευση ηλιακής ενέργεια εφαρμόστηκε τη δεκαετία του '80. Οι Thus, Kern και Aldrich, Nishina και Takakura, Nishina, Jaffrin και Cadier, Jaffrin, Machida, Baille και Boulard, Levav και Zamir και Kurklu και οι συνεργάτες τους, πραγματοποίησαν εκτενείς έρευνες στην εφαρμογή των PCMs για τη θέρμανση θερμοκηπίων.

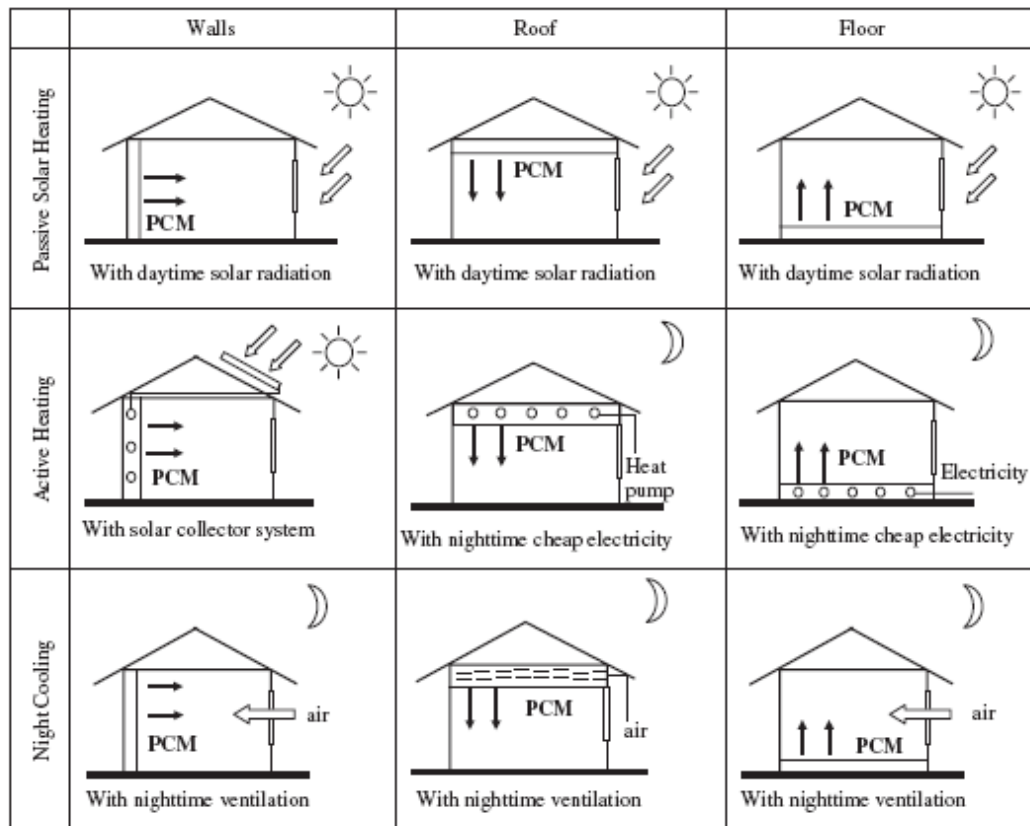
Η ανάλυση των δεδομένων από τις παραπάνω έρευνες εκτελέστηκε από τον Kurklu και παρουσιάζεται στον πίνακα 17. Το $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, το άλας Glauber (sodium sulphate decahydrate) και το polyethylene glycol χρησιμοποιήθηκαν σαν PCM. Όλα τα συστήματα αποθήκευσης των ηλιακών θερμοκηπίων συσσωρεύαν ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια της ημέρας και τη χρησιμοποιούσαν τις νύχτες ή κατά τη διάρκεια συννεφιασμένων περιόδων.

Οι ερευνητές από το Πανεπιστήμιο Cukurova στην Adana (Τουρκία) σχεδίασαν επίσης και έχτισαν ένα εποχιακό σύστημα αποθήκευσης θερμότητας για θέρμανση των θερμοκηπίων. Αυτό το σύστημα αποτελούνταν από ηλιακούς θερμαντήρες αέρα, μια εποχιακή μονάδα αποθήκευσης θερμότητας (HSU), ένα πλαστικό θερμοκήπιο και μια μονάδα ελέγχου προγραμματισμένων δεδομένων. Η εξωτερική μονάδα συλλογής θερμότητας (HCU) αποτελούνταν από 27 m² ηλιακούς θερμαντήρες αέρα, νότιου προσανατολισμού. Κατά μέσο όρο, υπήρχαν 0,15 m² επιφάνειας απορρόφησης ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας του εδάφους του θερμοκηπίου. Μια κυλινδρική δεξαμενή με διάμετρο 1,5 m και όγκο 10 m³ χρησιμοποιήθηκε σαν εποχιακή HSU. Δύο τυλίγματα φτιαγμένα από κυματοειδή σωλήνα PCM με συνολικό μήκος 97 m και διάμετρο 10 cm χρησιμοποιήθηκαν σαν μεταλλάκτες θερμότητας, εγκατεστημένοι στην HSU. Ο όγκος της HSU ανά τετραγωνικό μέτρο των ηλιακών θερμαντήρων αέρα ήταν 0,37 m³. Η HSU ήταν γεμισμένη με 6000 kg παραφίνης, η οποία αντιστοιχεί σε 33,3 kg παραφίνης ανά τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειας του εδάφους του θερμοκηπίου. Το διάστημα θερμοκρασίας τήξης και η λανθάνουσα θερμότητα τήξης του PCM ήταν 48-60° C και 190 kJ/kg, αντίστοιχα. Το πειραματικό θερμοκήπιο επιφάνειας πατώματος 180 m² (15 m x 12m) και ύψους στέγης 2,3 m φτιάχτηκε σαν μια γαλβανισμένη μεταλλική κατασκευή σωλήνων, καλυμμένη με μια μονή λωρίδα από PE φίλμ.

Δυστυχώς, κανένα δεδομένο από την εκτέλεση αυτού του αποθηκευτικού συστήματος δε δημοσιεύτηκε [22].

3.3. Οι κυριότερες εφαρμογές PCM σε κτίρια.

Y. Zhang et al. / Building and Environment 42 (2007) 2197–2209



Εικόνα 21: Οι τύποι και τα αποτελέσματα των εφαρμογών PCM στα κτίρια.

3.3.1. Συστήματα παθητικής αποθήκευσης:

3.3.1.1. Τοίχος Trombe με PCM

Ο τοίχος Trombe είναι ένα πρωταρχικό παράδειγμα μιας προσέγγισης έμμεσου κέρδους. Αποτελείται από ένα λεπτό τοίχο στη νότια πλευρά του σπιτιού. Ένα μονό ή διπλό στρώμα γυαλιού ή πλαστικό τζάμι είναι τοποθετημένο περίπου 4 ίντσες μπροστά από την επιφάνεια του τοίχου. Η ηλιακή θερμότητα συλλέγεται στο χώρο μεταξύ του τοίχου και του τζαμιού.

Η εξωτερική επιφάνεια του τοίχου είναι μαύρου χρώματος και απορροφά τη θερμότητα, η οποία στη συνέχεια αποθηκεύεται στη μάζα του τοίχου. Η θερμότητα διαχέεται από τον τοίχο Trombe στο σπίτι, κατά τη διάρκεια αρκετών ωρών. Τότε η εσωτερική θερμοκρασία πέφτει κάτω από αυτή της επιφάνειας του τοίχου και η θερμότητα ξεκινά να διασκορπίζεται στο δωμάτιο. Οι απώλειες θερμότητας από τον τοίχο Trombe μπορούν να ελεγχθούν από μια κουρτίνα με μόνωση, η οποία είναι κλειστή τη νύχτα στο χώρο μεταξύ του τζαμιού και του τοίχου. Στους τοίχους Trombe, χρησιμοποιούνται PCM όπως salt hydrates και hydrocarbons.

Η Telkes πρότεινε την τοποθέτηση PCM σε τοίχους, μεσότοιχους, ταβάνια και πατώματα, για να εξυπηρετήσουν σαν ρυθμιστές θερμοκρασίας. Τα PCM χρησιμοποιήθηκαν για να αντικαταστήσουν τη λιθοποιία σε ένα τοίχο Trombe. Ο Askew χρησιμοποίησε ένα πίνακα συλλεκτών φτιαγμένο από μια λεπτή πλάκα κεριού παραφίνης και το τοποθέτησε πίσω από το διπλό τζάμι του κτιρίου και βρήκε ότι η θερμική αποδοτικότητα είναι ανάλογη με τους τυπικούς επίπεδους συλλέκτες. Οι Farouk και Gucerι μελέτησαν τη χρησιμότητα του εγκατεστημένου τοίχου PCM σε ένα κτίριο για νυχτερινή οικιακή θέρμανση, χρησιμοποιώντας ένα μίγμα από το άλας του Glauber και

κερί SUNOCO P-116. Παρατηρήθηκε ότι εάν ο τοίχος PCM ήταν κατάλληλα σχεδιασμένος, περιόριζε μερικά από τα μη επιθυμητά χαρακτηριστικά του κανονικού τοίχου με συγκρίσιμα αποτελέσματα.

Ο Bourdeau έλεγξε δύο τοίχους συλλογής παθητικής αποθήκευσης χρησιμοποιώντας calcium chloride hexahydrate (σημείο τήξης 29° C) ως υλικό αλλαγής φάσης. Κατέληξε ότι ένας τοίχος PCM 8,1cm είχε καλύτερη θερμική απόδοση από ένα κανονικό τοίχο πάχους 40cm.

Πειραματικά και θεωρητικά τεστ διεξήχθησαν για να ανακαλύψουν την αξιοπιστία των PCM ως έναν τοίχο Trombe. Οι Swet, Ghoneim et al. και Chandra et al. χρησιμοποίησαν sodium sulfate decahydrate (σημείο τήξης 32° C) ως υλικό αλλαγής φάσης στη νότια πλευρά ενός τοίχου Trombe. Ανέφεραν επίσης ότι τοίχος Trombe με PCM μικρότερου πάχους ήταν περισσότερο επιθυμητός σε σύγκριση με έναν συνηθισμένο λίθινο τοίχο, για την παροχή αποδοτικής θερμικής ενεργειακής αποθήκευσης. Ο Knowler χρησιμοποίησε κερί παραφίνης CG με μεταλλικά πρόσθετα για αύξηση της συνολικής αγωγιμότητας και αποδοτικότητας του τοίχου Trombe.

Οι Buddhi και Sharma μέτρησαν την μετάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω υλικών αλλαγής φάσης σε διαφορετικές θερμοκρασίες και πάχη. Ως υλικό αλλαγής φάσης χρησιμοποιήθηκε stearic acid. Ανακάλυψαν ότι η μετάδοση των PCM ήταν περισσότερη από του γυαλιού για το ίδιο πάχος και πρότειναν μια νέα εφαρμογή των υλικών αλλαγής φάσης σε παράθυρα/τοίχους ως ένα διάφανο υλικό μόνωσης.

Οι Stritih και Novak παρουσίασαν έναν ηλιακό τοίχο για αερισμό κτιρίων, ο οποίος απορροφά ηλιακή ενέργεια σε μαύρο κερί παραφίνης (σημείο τήξης

25-30° C). Η αποθηκευμένη θερμότητα χρησιμοποιήθηκε για θέρμανση αέρα για τον αερισμό του σπιτιού. Η αποδοτικότητα της απορρόφησης βρέθηκε να είναι 79%.

3.3.1.2. Γυψοσανίδα με PCM (wallboard)

Οι γυψοσανίδες είναι φθηνές και ευρέως χρησιμοποιούμενες σε μια ποικιλία εφαρμογών, πράγμα που τις κάνει κατάλληλες για την ενσωμάτωση PCM κάψουλες. Παρ'όλα αυτά, οι αρχές της λανθάνουσας θερμότητας αποθήκευσης μπορούν να εφαρμοστούν σε οποιοδήποτε κατάλληλο υλικό κτιρίων.

Οι Kedl και Stovall και Salyer και Sircar χρησιμοποίησαν διαποτισμένο τοίχο με κερί παραφίνης για παθητική εφαρμογή.

Ο Shapiro και οι συνεργάτες του, ανακάλυψαν μεθόδους για διαποτισμό γύψινου τοίχου και άλλων αρχιτεκτονικών υλικών με PCM. Διαφορετικοί τύποι PCM και των χαρακτηριστικών τους, περιγράφηκαν. Ο Shapiro έδειξε πολλαπλά PCMs να είναι κατάλληλα για εισαγωγή σε γύψινο τοίχο, με πιθανές εφαρμογές θερμικής αποθήκευσης για το κλίμα της Φλόριδας.

Ο Feldman και οι συνεργάτες του, διεξήγαγαν εκτενή έρευνα στη χρήση και σταθερότητα των οργανικών συστατικών για τη λανθάνουσα θερμότητα αποθήκευσης, συμπεριλαμβανομένων των λιπαρών οξέων (capric, lauric, palmitic and stearic), butyl stearate, dodecanol and polyethylene glycol 600. Επιπροσθέτως με τις μελέτες των ιδιοτήτων τους, διεξήχθη επίσης έρευνα στα υλικά, τα οποία συμπεριφέρονται ως απορροφητές PCM.

Άλλη έρευνα για τα οφέλη της εφαρμογής των PCMs σε γύψινους τοίχους σε παθητικά ηλιακά κτίρια, έκαναν επίσης ο Hawes και οι συνεργάτες του.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '80, πολλαπλές μορφές από μεγάλες ποσότητες PCM ενσωματωμένων σε κάψουλες, ελέγχθηκαν για εφαρμογές σε ενεργητικά και παθητικά ηλιακά συστήματα.

Ο Neeper ανακάλυψε ότι η θερμική αποθήκευση που παρέχεται από πίνακα τοίχου PCM θα ήταν επαρκής ώστε να επιτρέψει μια μεγάλη ηλιακή θερμική λειτουργία με άμεσο κέρδος [21].

Έρευνες πάνω στους πίνακες τοίχου με PCM, έκαναν πολλοί επιστήμονες, όπως οι Stoval και Tomlinson, οι Stetiu και Feustel, Athienitis, Kissack , Kalousck και Hirs [21] .Συνοπτικά παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα [23] τα σημαντικότερα αποτελέσματα από ένα μεγάλο αριθμό ερευνών.

Πίνακας 6: Συνοπτικός πίνακας σημαντικών αποτελεσμάτων από έναν αριθμό μελετών [23].

No	References	PCMs used	Locations of PCMs	Objects	Major results	Study method
1	Halford and Boehm [39]	A salt type PCM that is held in stasis by a perlite matrix	Between two layers of insulation in a configuration known as resistive, capacitive, resistive	A geometry, in which the wall or ceiling structure was assumed as a three-layer plane wall with PCM in the center layer	Can achieve a 19–57% maximum reduction in peak load as compared to a purely resistive R-19 wall	Simulation
2	Kondo and Ibamoto [41]	A mixture of n-paraffins with melting point 25 °C	The PCM ceiling board	An office building in Tokyo, Japan	The running cost is 96.6% lower than that of rock wool ceiling board	Simulation
3	Kissock and Limas [43]	K18 with an average melting temperature of 25.6 °C	In walls and roofs	Concrete sandwich walls, low-mass steel roofs and gypsum wallboard in frame walls under the typical meteorological weather data in Dayton, Ohio	Can reduce peak loads by 19%, 30%, and 16% in concrete sandwich walls, steel roofs and gypsum wallboards, respectively	Simulation
4	Zhang et al. [44]	A highly crystalline, n-paraffin-based PCM	PCM frame walls	A full instrumented test house of 1.83 m × 1.83 m × 1.22 m in Lawrence, Kansas, USA	The average wall peak heat flux and space cooling load were reduced about 15% and 8.6%, respectively	Experiment
5	Medina et al. [45]	Paraffin-based PCM	The PCM is in thin-walled copper pipes, which were inserted into horizontal slots cut into the polystyrene foam	A full instrumented test house of 1.83 m × 1.83 m × 1.22 m	Can reduce peak heat flux by 37% and 62% using a PCMSIP with 10% and 20% PCM concentrations	Experiment
6	Nagano et al. [47]	The PCM was made from foamed glass beads and paraffin waxes	The PCM was embedded directly below OA floor boards in the form of granules	A small experimental system with a floor area of 0.5 m ²	89% daily cooling load can be stored in night using a 30 mm thick packed bed of the granular PCM	Experiment
7	Stetiu and Feustel [19]	Paraffin-based PCM	The phase-change wallboard containing 20% by paraffin mass	A prototype IEA building located in California climate condition	The peak cooling load can be reduced by 28%	Simulation
8	Kaygusuz [48]	CaCl ₂ ·6H ₂ O	The PCM was filled in cylindrical PVC containers in a storage tank	A solar-assisted heat pump with the PCM storage at the Karadeniz Technical University	Saved 9390–12,056 kWh net energy during the heating season in 1992 with different systems	Experimental and simulation (SOLSIM)
9	Hammou and Lacroix [54]	Capric acid or n-octadecane	PCM walls comprising spherical capsules, 0.064 m in diameter	A room of 5 m × 5 m × 3 m with a storage wall of 0.192 m thick	Can save about 32% electricity consumption for space heating	Simulation
10	Hassan and Beliveau [55]	RUBITHERN RT 54	The PCM storage tank was linked to a concrete building envelope	A selected building in Blacksburg, VA with the propose integrated solar system	Can save 61.5% of the annual heating bill	Simulation
11	Zhou et al. [60]	The shape-stabilized PCM	The SSFCM plates as the inner linings of walls and the ceiling	A house (3.9 m × 3.3 m × 2.7 m) in Beijing, China	Can save 12% of the total energy use in winter in Beijing	Simulation
12	Wang et al. [67]	C ₁₆ H ₃₄	The MPCM slurry storage	A system with a cooled ceiling system, a MPCM slurry storage and an evaporative cooling system under five cities in China	Can offer energy saving up to 80% under northwestern China and 10% under southeastern China	Simulation
13	Peippo et al. [70]	Fatty acids	PCM panels were in inside surfaces of a south-facing room except floor	A 120 m ² passive solar house	Annual energy savings in Finland and Wisconsin were 6% and 15%	Simulation (RHOUSE)
14	Stovall and Tomlinson [72]	Paraffin-based PCM	The external and interior partition walls were constructed using PCM wallboards	A house (17 m × 13 m × 3 m) in Boston	Can save \$190 annual cost saving with a 3–5 years payback period	Simulation (TRNSYS)
15	Heim and Clarke [78]	Fatty acids	The PCM-gypsum plasterboard was used as an internal room lining	A multi-zone, highly glazed and naturally ventilated passive building	Can reduce heating energy demand up to 90% during the heating season	Simulation (ESP-r)
16	Athienitis et al. [98]	With 25% by weight of Butyl stearate	The PCM-gypsum board as interior lining in the test room	An outdoor test room (2.82 m × 2.22 m × 2.24 m) in Montreal	Can save about 15% of the total heating load	Experiment and simulation
17	Chen et al. [99]	Paraffin-based PCM	The PCM-gypsum board was in the inner surfaces of the north wall	A unit room in the middle floor in Beijing	The energy saving rate of heating season is about 10%	Experiment and simulation
18	Weinläder et al. [104]	RT25 (12 mm) and S27(8.6 mm)	PCMs were in transparent plastic containers placed behind a double glazing with an air gap of 10 mm	A south façade panel in Würzburg, Germany	Can reduce 30% heat losses and 50% solar heat gains in winter, and 25% energy gains in summer	Experiment and Simulation
19	Ismail and Castro [107]	A mixture of commercial Glycol wax	In walls and roofs	An existing building in Campinas, SP, Brazil	Save 19% and 31% energy for cases using window and central AC units	Simulation and Experiment

Άλλα συστήματα παθητικής αποθήκευσης, στα οποία έγιναν μελέτες και πειράματα από πολλούς επιστήμονες, είναι τα εξής:

3. Παραθυρόφυλλα με PCM
4. Τούβλα ή άλλα υλικά χτισίματος με PCM
5. Σύστημα θέρμανσης που στηρίζεται στον αέρα
6. Θέρμανση πατώματος
7. Πίνακες PCM στο ταβάνι, ή στις στέγες.

3.3.2. Συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης:

3.3.2.1. Θέρμανση πατώματος

Ένα ηλεκτρικό σύστημα θέρμανσης κάτω από το πάτωμα, έχοντας ως υλικό αλλαγής φάσης, κερί παραφίνης (σημείο τήξης 40° C), πρότειναν οι Farid και Chen. Τοποθέτησαν μια λωρίδα PCM 30mm μεταξύ της επιφάνειας θέρμανσης και των πλακακιών του πατώματος. Χρησιμοποιώντας προσομοίωση υπολογιστή, ανακάλυψαν ότι η θερμότητα που προέρχεται από το πάτωμα μπορεί να αυξηθεί σημαντικά από 30 σε 75W/m², εάν χρησιμοποιηθεί αποθήκευση σε PCM.

Αργότερα, ο Nagano και οι συνεργάτες του, παρουσίασαν ένα κλιματιστικό σύστημα πατώματος με λανθάνουσα θερμότητα αποθήκευσης σε κτίρια. Ο Lin και οι συνεργάτες του, ακολούθησαν με άλλο ένα πείραμα πάνω στο ίδιο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας.

3.3.2.2. Πίνακες PCM στο ταβάνι

Οι πίνακες PCM στο ταβάνι είναι το σημαντικό μέρος της στέγης, το οποίο χρησιμεύει για θέρμανση και ψύξη στα κτίρια. Ο Bruno ανέπτυξε ένα σύστημα, το οποίο αποθήκευε ψύξη σε υλικά αλλαγής φάσης σε περίοδο χαλαρώσεως και απελευθέρωνε αυτή την ενέργεια σε περιόδους αιχμής.

3.3.2.3. Άλλα συστήματα

Οι Kaygusuz και Ayhan μελέτησαν την εκτέλεση του συνδυασμένου συστήματος αγωγών ηλιακής θέρμανσης με αποθήκευση ενέργειας σε συσκευασίες υλικών αλλαγής φάσης ενσωματωμένων σε κάψουλες για οικιακή θέρμανση.

Οι Vakilatovjar και Saman δούλεψαν στην ανάλυση και μοντελοποίηση του συστήματος αποθήκευσης αλλαγής φάσης για κλιματιστικές εφαρμογές.

Άλλες εφαρμογές υλικών αλλαγής φάσης σε κτίρια είναι η θερμοηλεκτρική ψύξη. Οι Omer και Riffat ενσωμάτωσαν ένα υλικό αλλαγής φάσης στη θερμική δίοδο για να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα της δεξαμενής θερμότητας. Οι John et al. σχεδίασαν ένα νέο σύστημα ψύξης, νυκτερινού αερισμού σαν εναλλακτική στον αέριο κλιματισμό (air conditioning). Το σύστημα προσφέρει ουσιαστικά οφέλη από την άποψη μείωσης ή περιορισμού της ανάγκης για αέριο κλιματισμό και περαιτέρω σημαντική μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια.

Ο Zalba και οι συνεργάτες του, σχεδίασαν και κατασκεύασαν μια πειραματική μονάδα έχοντας PCMs με σημείο τήξης μεταξύ 20 και 25° C. Η αρχή λειτουργίας του συστήματος ήταν να αποθηκεύει, από το εξωτερικό

περιβάλλον, κρύο κατά τη διάρκεια της νύκτας και να το απελευθερώνει στο εσωτερικό κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αυτή η πρόταση ήταν εφικτή στα κλίματα όπου η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύκτας το καλοκαίρι ήταν πάνω από 15° C.

Ο Kenneth στο πανεπιστήμιο του Brighton ερεύνησε και ανέλυσε ένα σύστημα ηλιακής θέρμανσης, στο οποίο ενσωμάτωσε ένα PCM, για χρήση σε οικία στο Ηνωμένο Βασίλειο(UK). Το σύστημα αποτελούταν από μια διάταξη ηλιακών επίπεδων συλλεκτών, οι οποίοι διένειμαν θερμό νερό σε μια δεξαμενή αποθήκευσης και ένα αριθμό από πίνακες γεμισμένους με PCM. Το υλικό αλλαγής φάσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν calcium chloride με σημείο τήξης 29° C. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι αυτό το σύστημα είχε την δυνατότητα να ελαττώσει την ενεργειακή κατανάλωση μεταξύ 18% και 32% [21].

3.3. Άλλες εφαρμογές και πειράματα.

Στην Lleida πραγματοποιήθηκε πείραμα κτιριακής εφαρμογής PCM χρησιμοποιώντας τη μέθοδο TRNSYS. Στην εφαρμογή αυτή χρησιμοποιήθηκαν ωριαία δεδομένα θερμοκρασιών, υγρασίας και ηλιακής ακτινοβολίας για το μέσο χρόνο κατά τη διάρκεια των μηνών Ιουνίου, Ιουλίου και Αυγούστου [25].

Επίσης, πολλά πανεπιστήμια πραγματοποίησαν πειράματα και μελέτες στην τοποθέτηση ζωνών υλικών αλλαγής φάσης στις στέγες κτιρίων. Το πανεπιστήμιο της νοτίου Αυστραλίας (UniSA) ανέπτυξε ένα σύστημα ηλιακής θέρμανσης αέρα/ αποθήκευσης, ενσωματωμένο σε στέγη, το οποίο

χρησιμοποιεί τα υπάρχοντα αυλακωτά φύλλα της σιδερένιας στέγης ως ηλιακούς συλλέκτες για θέρμανση αέρα.

Η ελεύθερη ψύξη, μελετήθηκε επίσης από το πανεπιστήμιο της Zaragoza στην Ισπανία από τον Zalba. Το αντικείμενο εργασίας ήταν να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί μια πειραματική εγκατάσταση για να μελετηθούν τα υλικά αλλαγής φάσης με θερμοκρασίες τήξεως μεταξύ 20 και 25° C.

Η προσέγγιση στο πανεπιστήμιο του Nottingham είναι η αντικατάσταση ενός ολοκληρωμένου συστήματος αέριου κλιματισμού από ένα νέο σύστημα, που ονομάζεται σύστημα νυκτερινής ψύξης. Το κέντρο διατήρησης ενέργειας (SEC) στο πανεπιστήμιο της νοτίου Αυστραλίας ξεκίνησε μελέτη με PCM στα μέσα της δεκαετίας του '90 με την ανάπτυξη μιας μονάδας αποθήκευσης, που θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για θέρμανση και για ψύξη χώρου.

Με σκοπό να επιτευχθεί χωρητικότητα θερμικής αποθήκευσης περίπου ίση με το θερμικό κέρδος εντός του χώρου κατά τη διάρκεια του καθημερινού κύκλου, μια νέα ιδέα για τον πίνακα από μπετόν αναπτύχθηκε από τους Koschenz και Lehmann, για ενσωμάτωση αυτού του συστήματος σε ένα «ελαφρύ» κτίριο, το οποίο θα μπορεί να τοποθετηθεί πίσω. Ο Velraj και οι συνεργάτες του, παρουσίασαν μια λεπτομερή έρευνα ψυχρής θερμικής ενεργειακής αποθήκευσης, βασισμένη στα PCM συνδυασμένη με ένα σύστημα κλιματισμού σε κτίριο στο Tidel Park, στο Chennai της Ινδίας, το οποίο είναι ένα ενεργειακό σύστημα όπου η δεξαμενή αποθήκευσης βρίσκεται χωριστά από το κτίριο.

Στη Γερμανία, το Fraunhofer Institute μιμήθηκε τη θερμική συμπεριφορά των οικοδομικών συστατικών, με σκοπό να συγκρίνει την δυναμική απόδοση των

διαφορετικών τύπων κατασκευής τοίχου ενσωματώνοντας διαφορετικά ποσά υλικών αλλαγής φάσης [26].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο :

***ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ – ΘΕΡΜΑΝΣΗ
ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ***

4.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

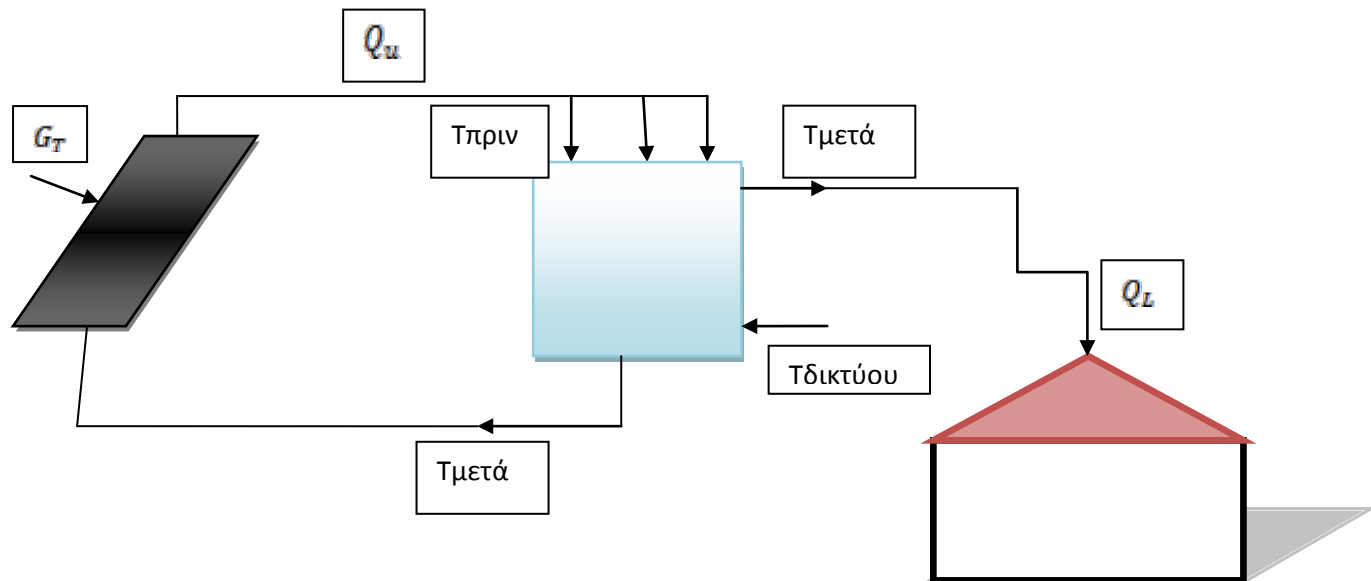
Η εφαρμογή που ακολουθεί αποτελεί ενεργητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης χώρου με χρήση υλικών αλλαγής φάσης (PCMs) σε εξωτερική δεξαμενή αποθήκευσης.

Έχω επιλέξει μια κατοικία $90m^2$ στην περιοχή της Αθήνας. Μετά από δοκιμές κατέληξα σε ένα συνδυασμό δεξαμενής και συλλέκτη επιφάνειας, ο οποίος μου έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα υπέρ της τοποθέτησης PCM για τη θέρμανση της κατοικίας.

Η θέρμανση γίνεται με fancoils. Οι υπολογισμοί της θερμοκρασίας δωματίου έχουν γίνει χωρίς να λαμβάνεται υπόψη κάποιος βοηθητικός τρόπος θέρμανσης του συγκεκριμένου χώρου, αλλά αποκλειστικά με νερό και υλικό αλλαγής φάσης. Δεν έχουμε τοποθετήσει καμιά άλλη βοηθητική συσκευή θέρμανσης και αυτό για να έχουμε πιο ξεκάθαρα αποτελέσματα όσον αφορά την απόδοση του υλικού αλλαγής φάσης συγκριτικά με το νερό.

Η διάταξη που χρησιμοποίησα αποτελείται από ένα ηλιακό συλλέκτη επιφάνειας $50m^2$ και από μια δεξαμενή αποθήκευσης 1000lt. Η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη και θερμαίνει το νερό ή το υλικό αλλαγής φάσης αντίστοιχα που βρίσκεται στη δεξαμενή αποθήκευσης. Στη συνέχεια με ένα δίκτυο αγωγών το θερμό υγρό ρέει και οδηγείται στα fancoils, όπου εκεί χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του χώρου.

Στους υπολογισμούς που ακολουθούν χρησιμοποιώ το νερό ή το υλικό αλλαγής φάσης που βρίσκονται σε θερμοκρασία άνω των $30^{\circ}C$ μέσα στη δεξαμενή. Αν έχω ρευστό κάτω των $30^{\circ}C$, δεν το χρησιμοποιώ, γιατί έχει χαμηλή θερμοκρασία και υπάρχει πιθανότητα να έχω αντίστροφα αποτελέσματα από αυτά που επιθυμώ. Δηλαδή υπάρχει πιθανότητα ψύξης του χώρου και όχι θέρμανσης, με θερμοκρασίες κάτω της επιθυμητής.



Εικόνα 22: Σχηματική αναπαράσταση εφαρμογής για θέρμανση κατοικίας με PCM σε εξωτερική δεξαμενή.

Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων χρησιμοποίησα το πρόγραμμα Excel.

Οι συνθήκες που επέλεξα προέκυψαν από δοκιμές και με τη βοήθεια του καθηγητή μου κυρίου Κίμωνα Αντωνόπουλου. Οι σχέσεις που χρησιμοποίησα είναι οι παρακάτω:

4.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΛΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ G_t

- Υπολογίζω τον αριθμό ημέρας του έτους, n και την ηλιακή απόκλιση, δ για την 21^η κάθε μήνα από τον πίνακα 7: π.χ. για την 21^η Ιανουαρίου, ο αύξων αριθμός ημέρας του έτους είναι $n=21$ και η τιμή της ηλιακής απόκλισης $\delta = -20,9$. Έτσι βρίσκω τα n και δ για κάθε μήνα (Νοέμβρη, Δεκέμβρη, Ιανουαρίου, Φεβρουαρίου, Μάρτη και Απρίλη) [35].

Πίνακας 7: Αύξων αριθμός ημέρας του έτους, n . Μέση ημέρα κάθε μήνα και αντίστοιχη τιμή της ηλιακής απόκλισης, δ [35].

Month	n for i th Day of Month ^b	For the Average Day of the Month		
		Date	n , Day of Year ^a	δ , Declination
January	i	17	17	-20.9
February	$31 + i$	16	47	-13.0
March	$59 + i$	16	75	-2.4
April	$90 + i$	15	105	9.4
May	$120 + i$	15	135	18.8
June	$151 + i$	11	162	23.1
July	$181 + i$	17	198	21.2
August	$212 + i$	16	228	13.5
September	$243 + i$	15	258	2.2
October	$273 + i$	15	288	-9.6
November	$304 + i$	14	318	-18.9
December	$334 + i$	10	344	-23.0

- Υπολογίζω την ωριαία γωνία ω , από την εξής σχέση [35]:

$$\omega = 0,25 \times (\text{min από το ηλιακό μεσημέρι}) \quad (4.1)$$

- Υπολογίζω την ηλιακή απόκλιση δ για την 21^η κάθε μήνα ως εξής [35]:

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{360(284 + n)}{365}\right) \quad (4.2)$$

- Θεωρώ το γεωγραφικό πλάτος Ελλάδας: $\varphi = 37,9^\circ$.

- Για μέγιστη χειμερινή ακτινοβολία, ισχύει: $\beta = \phi + 15^\circ$ [35]. Επομένως προκύπτει $\beta = 37,97 + 15 = 52,97$.
- Υπολογίζω την άμεσο ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου από τη σχέση [35]:

$$R_b = \frac{\sin \delta \sin(\phi - \beta) + \cos \delta \cos(\phi - \beta) \cos \omega}{\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega} \quad (4.3)$$

- Η μέση στιγμιαία άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου ισούται με [35]:

$$G_b = M_t + A_t \sin\left(\frac{360}{365} D - P_t\right) \quad (4.4)$$

- Η διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου, προκύπτει από τη σχέση [35]:

$$G_d = m_t + a_t \sin\left(\frac{360}{365} D - P_t\right) \quad (4.5)$$

Οι τιμές των συντελεστών των παραπάνω εξισώσεων (4.4) και (4.5), υπολογίζονται από τον πίνακα 8 [35], για τις ώρες 07.00-18.00.

Πίνακας 8: Τιμές των συντελεστών των εξισώσεων (4.4) και (4.5) [35].

Time t hrs LST	M_t kW/m ²	A_t kW/m ²	P_t degrees	m_t kW/m ²	a_t kW/m ²	P_t degrees
07.00	0.007	0.046	86.18	0.048	0.111	81.23
08.00	0.057	0.068	87.31	0.134	0.127	82.45
09.00	0.119	0.104	87.94	0.208	0.133	83.94
10.00	0.191	0.129	88.31	0.261	0.129	85.60
11.00	0.258	0.153	89.35	0.283	0.117	86.05
12.00	0.319	-0.181	-88.88	0.271	0.077	82.71
13.00	0.342	-0.194	-89.18	0.243	0.081	81.95
14.00	0.325	0.183	87.21	0.210	0.083	87.23
15.00	0.269	0.166	86.22	0.176	0.087	89.53
16.00	0.183	0.147	82.10	0.141	-0.085	-88.19
17.00	0.078	0.131	79.85	0.104	-0.079	-88.97
18.00	-0.025	0.114	77.36	0.051	0.091	86.79

- Η ολική ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου υπολογίζεται με βάση τον τύπο

$$[35]: G_T = G_b R_b + G_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + (G_b + G_d) \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (4.6)$$

- Θεωρούμε την ανακλαστικότητα του εδάφους : $\rho=0,2$ για συνηθισμένο έδαφος.

Με τη βοήθεια των παραπάνω τύπων υπολογίζω την ολική ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου G_T για όλους του μήνες και για κάθε μέρα του μήνα.

4.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

- Από την παρακάτω σχέση [36] υπολογίζω τη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος για κάθε ώρα H :

$$t_o(H) = M + \sum_{i=1}^3 C_i \cos\left(i \frac{360}{24}(H - 0,5)\right) + \sum_{i=1}^3 S_i \sin\left(i \frac{360}{24}(H - 0,5)\right) \quad (4.7)$$

- Οι τιμές των συντελεστών της παραπάνω εξίσωσης (4.7), δίνονται από τον πίνακα 9 [36] .

Πίνακας 9: Τιμές των συντελεστών της συνάρτησης (4.7) [36].

DAY	M	C ₁	C ₂	C ₃	S ₁	S ₂	S ₃
21 JAN	9.384	-1.6730	0.7110	0.0085	-1.7230	0.5240	-0.2410
21 FEB	10.984	-2.1500	0.7850	-0.1070	-1.7500	0.5780	-0.0724
21 MAR	11.955	-1.8580	0.6510	-0.0097	-1.0840	0.2550	-0.0093
21 APR	15.072	-2.6680	0.7270	0.2690	-1.7630	0.2430	0.2120
21 MAY	20.724	-2.7960	0.7590	0.0926	-1.3440	0.1190	0.3080
21 JUN	26.192	-3.3930	1.1150	0.1560	-2.1960	-0.1390	0.1570
21 JUL	28.080	-3.3590	0.8110	0.2720	-2.0770	0.1340	0.1400
21 AUG	27.880	-3.1130	0.8840	0.0670	-1.9780	0.4860	0.3610
21 SEP	23.236	-3.3100	1.0350	-0.0495	-1.6960	0.4770	0.2210
21 OCT	18.144	-2.6300	1.0850	-0.1440	-1.4270	0.6040	0.1380
21 NOV	11.968	-1.3000	0.6160	-0.2520	-0.3170	0.6290	-0.0490
21 DEC	5.264	-1.1100	0.5210	-0.1520	-0.8810	0.3230	0.0080

Με τους παραπάνω τύπους υπολογίζω τη θερμοκρασία περιβάλλοντος για κάθε μήνα. Στους υπολογισμούς μου έχω θεωρήσει την 21^η κάθε μήνα ως μέση ημέρα του μήνα κ χρησιμοποιώ τις τιμές ακτινοβολίας και θερμοκρασίας περιβάλλοντος που προέκυψαν για αυτή την ημέρα στις υπόλοιπες σχέσεις.

Θεωρώ μια περιοδικά μόνιμη κατάσταση κατά την οποία επαναλαμβάνεται η κάθε ημέρα. Δηλαδή θεωρώ κάθε μέρα του μήνα ίδια ως προς την ακτινοβολία και τις θερμοκρασίες περιβάλλοντος και δεξαμενής.

Επίσης, τη θερμοκρασία περιβάλλοντος για την 21^η κάθε μήνα μπορώ να πάρω και από τους πίνακες του «Κλιματισμού» [36], τους οποίους παραθέτω στο τέλος της εργασίας.

Υπολογίζοντας τις θερμοκρασίες περιβάλλοντος με τον τρόπο που περιέγραψα παραπάνω, διαπιστώνουμε ότι είναι αρκετά κοντά με τις τιμές των πινάκων του «Κλιματισμού».

4.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ

Τη θερμότητα της δεξαμενής την υπολογίζω από τη σχέση που ακολουθεί:

$$Q_u = A_s F_R [G_T(\tau\alpha) - U_L(T_i - T_a)] \quad (4.8)$$

όπου T_i είναι η θερμοκρασία της δεξαμενής για κάθε ώρα, T_a είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος για κάθε ώρα, η οποία προέκυψε από τις παραπάνω σχέσεις και την οποία θεωρώ ίδια για κάθε μέρα και ίση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος για κάθε ώρα της 21^{ης} κάθε μήνα.

Επίσης A_s είναι η επιφάνεια του συλλέκτη, $F_R(\tau\alpha)$ και $F_R U_L$ είναι χαρακτηριστικά μεγέθη του συλλέκτη, για τα οποία έχω επιλέξει ενδεικτικές τιμές 0,7 και 5,5 και G_T η ολική ακτινοβολία.

Για να υπολογίσω τη θερμοκρασία της δεξαμενής λαμβάνω υπόψη και την κατανάλωση που θα έχω. Χρησιμοποιώ την εξής σχέση:

$$Q_u - Q_L = MC_p(T_{\muετ\acute{\alpha}} - T_{\pi\rho\iota\nu}) \quad (4.9)$$

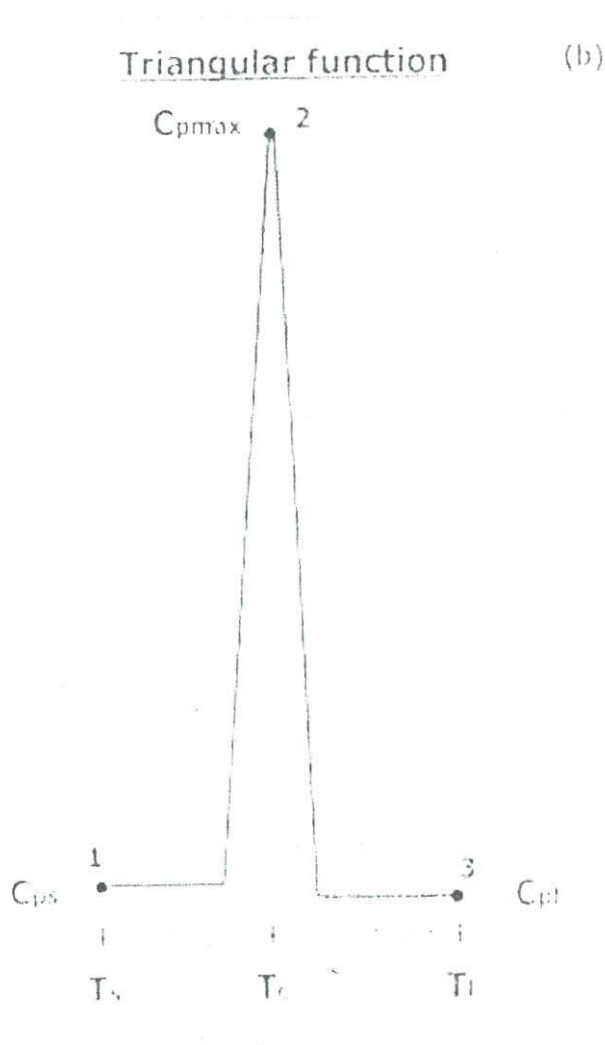
όπου Q_L είναι η κατανάλωση σε Joule/h, M η μάζα του νερού στη δεξαμενή σε kg, όταν έχω μόνο νερό, και η μάζα του PCM όταν έχω βάλει στη δεξαμενή το PCM. Το C_p είναι για το νερό 4190J/kgK και για το PCM το υπολογίζω θεωρώντας τριγωνική κατανομή. Παρακάτω την έχω παραστήσει γραφικά.

Στον παραπάνω τύπο δεν έχω λάβει υπόψη τις θερμικές απώλειες, γιατί είναι πολύ μικρές σε σχέση με τα ποσά θερμότητας που έχω στη δεξαμενή και που καταναλώνω και τα αποτελέσματά μου δε θα είχαν σημαντικές διαφορές. Αμελώ επομένως τις απώλειες και για χάρη ευκολίας στους υπολογισμούς μου.

4.5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ PCM ΜΕ ΤΡΙΓΩΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Επιλέγω το PCM RT42 της Rubitherm με θερμοκρασιακό εύρος: $T_s = 38^\circ C$ και $T_l = 42^\circ C$ και με λανθάνουσα θερμότητα $H=174$ KJ/kg.

Στο τέλος της εργασίας παραθέτω τα στοιχεία του συγκεκριμένου PCM από τον κατάλογο υλικών της Rubitherm (SAFETY DATA SHEET).



Εικόνα 23: Αναπαράσταση τριγωνικής κατανομής για τον υπολογισμό της θερμοχωρητικότητας του PCM.

- Για θερμοκρασίες $T < T_s$ έχω $C_{p_s} = 7000 J / kgK$
- Για θερμοκρασίες $T > T_l$ έχω $C_{p_l} = 7500 J / kgK$
- Για θερμοκρασίες: $T_s \leq T \leq T_c \rightarrow$
 $C_{p,eff}(T) = 4(H - bC_{ps})(T - T_s) / b^2 + C_{ps}$ (4.10)
- Και για θερμοκρασίες

$$T_c \leq T \leq T_l \rightarrow C_{p,eff}(T) = 4(bC_{pl} - H)(T - T_s - b/2) / b^2 + 2H/b - C_{pl} \quad (4.11)$$

Όπου: $T_c = (T_l + T_s) / 2$ (4.12-4.13)
 $b = T_l - T_s$

Είναι αντίστοιχα η θερμοκρασία στο μέσο του PCM και το πλάτος της θερμοκρασίας αλλαγής φάσης.

Τους υπολογισμούς μου κάνω για δεξαμενή που περιέχει νερό και για δεξαμενή που περιέχει PCM.

Το PCM δεν βρίσκεται υπό μορφή κάψουλας, αλλά «καθαρό» μέσα στο χώρο της δεξαμενής. Επίσης κάνουμε την παραδοχή ότι το PCM βρίσκεται σε λεπτομερή επαφή με το νερό.

Έτσι είναι πιο ξεκάθαρα τα αποτελέσματα και καταλαβαίνω καλύτερα αν τελικά είναι πιο αποδοτική η δεξαμενή που περιέχει το υλικό αλλαγής φάσης απ' τη δεξαμενή που περιέχει μόνο νερό.

4.6. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΔΩΜΑΤΙΟΥ

Για να έχω πιο ολοκληρωμένη εικόνα του κατά πόσο αποδοτικότερο είναι το PCM, πρέπει να μελετήσω τις θερμοκρασίες δωματίου.

$$\text{Ισχύει ο τύπος: } \rho C_p V \frac{dT}{dt} = Q_L \Rightarrow \rho C_p \frac{T_{\text{μετά}} - T_{\text{πριν}}}{\Delta t} = Q_L \quad (4.14)$$

Όπου $\rho = 1,2 \text{ kg} / \text{m}^3$, $C_{\text{ραέρα}} = 1200 \text{ J} / \text{kg}$, $V = 270 \text{ m}^3$, $T_o = 21^\circ \text{C}$ και $\Delta t = 60 \text{ min}$

Είναι η πυκνότητα αέρα, η θερμοχωρητικότητα του αέρα, ο όγκος του δωματίου, η αρχική θερμοκρασία στην οποία έχει θερμανθεί το σπίτι και το χρονικό διάστημα με βάση το οποίο γίνεται κάθε φορά η επόμενη μέτρηση θερμοκρασίας.

Θεωρώ ότι αρχικά έχω θερμάνει το δωμάτιο στους 21°C . Ξεκινάω τις μετρήσεις μου θέτοντας $T_{\text{πριν}} = 21^\circ \text{C}$. Υπολογίζω έτσι την $T_{\text{μετά}}$ και στη συνέχεια κάνω επαναληπτική διαδικασία κ βρίσκω κάθε φορά τη νέα θερμοκρασία δωματίου με βάση την προηγούμενη.

Η σχέση (4.14) μπορεί να γραφεί και ως εξής:

$$\begin{aligned} & T_{\text{δεξ}} \geq 30^\circ \text{C} \rightarrow \\ & \bullet \text{ Για θερμοκρασία δεξαμενής: } \rho C_p V \frac{T_{\text{μετά}} - T_{\text{πριν}}}{\Delta t} = -Q_L + Q_L' = 0 \end{aligned} \quad (4.15)$$

Δηλαδή για θερμοκρασίες δεξαμενής μεγαλύτερες από 30°C , θεωρούμε ότι μπορούμε να πάρουμε την ποσότητα υγρού που χρειαζόμαστε για να καλύψουμε τις ανάγκες μας για θέρμανση. Γι'αυτό το λόγο, η θερμοκρασία δωματίου διατηρείται σταθερή.

Ο όρος Q_L υπολογίζεται από τη σχέση (4.9).

• Για θερμοκρασίες δεξαμενής:

$$T_{\text{δεξ}} < 30^{\circ} \text{C} \rightarrow \rho C_p V \frac{T_{\text{μετά}} - T_{\text{πριν}}}{\Delta t} = -Q_L \quad (4.16)$$

Από τη σχέση (4.16), παρατηρούμε ότι για τις θερμοκρασίες της δεξαμενής που είναι μικρότερες από 30°C , δε μπορούμε να πάρουμε από τη δεξαμενή την ποσότητα υγρού που απαιτείται για την κάλυψη των αναγκών μας και γι' αυτό παρατηρείται μείωση της θερμοκρασίας δωματίου.

Τα fancoils συνήθως χρησιμοποιούν θερμοκρασίες άνω των 40°C για θέρμανση χώρου. Στην παρούσα εργασία θεωρήσαμε τους 30°C σαν όριο, για να δούμε τη συμπεριφορά τους σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Επίσης λόγω του ότι το μοντέλο προσέγγισης που χρησιμοποιήσαμε είναι αρκετά απλουστευμένο, οι θερμοκρασίες μας παρουσιάζουν αποκλίσεις από τις πραγματικές τιμές (θερμοκρασίες δεξαμενής και δωματίου).

Για τη θερμοκρασία του δωματίου έγινε παραμετρική μελέτη, αλλάζοντας την κατανάλωση. Οι υπολογισμοί έγιναν για κατοικία 90m^2 με κατανάλωση $15 \text{W}/\text{m}^2, 20 \text{W}/\text{m}^2$ και $25 \text{W}/\text{m}^2$.

4.7. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ-ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ

Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι ένα προσεγγιστικό μοντέλο, το οποίο επιλέχθηκε χάριν της ευελιξίας και της απλότητας του. Πιο ακριβής μέθοδος θα ήταν η ανάλυση του προβλήματος με αριθμητική μέθοδο πεπερασμένων διαφορών, κατά την οποία θα καταλήγαμε σε πιο ακριβή αποτελέσματα.

Στην παρούσα εφαρμογή δεχόμαστε ότι δεν έχουμε στρωμάτωση, δηλαδή θεωρούμε ότι όλη η μάζα του αποθηκευτικού μέσου έχει την ίδια θερμοκρασία.

Επιπλέον θεωρούμε μια περιοδικά μόνιμη κατάσταση στο μοντέλο μας, κάθε μέρα θεωρείται ίδια με την προηγούμενη και επαναλαμβάνονται όλα τα αποτελέσματα (θερμοκρασίες δεξαμενής και δωματίου).

Επίσης μερικές ατέλειες στα αποτελέσματα οφείλονται στο μεγάλο χρονικό βήμα (1 ώρα), το οποίο ελήφθη στους υπολογισμούς μας.

Οι παραπάνω προσεγγίσεις ελήφθησαν διότι σκοπός της εφαρμογής είναι να ληφθεί μια πρώτη εκτίμηση της συμπεριφοράς του υλικού αλλαγής φάσης σε σχέση με το νερό.

4.8. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

❖ Στα διαγράμματα θερμοκρασίας της δεξαμενής κατά τη διάρκεια της ημέρας, παρατηρούμε τα εξής:

- Για το νερό:

Τις ώρες χωρίς ηλιοφάνεια, 1.00-8.00 και 18.00-24.00, η θερμοκρασία της δεξαμενής πέφτει αρκετά, με αποτέλεσμα να μη μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το νερό αυτό για τη θέρμανση του χώρου μας.

Τις ώρες 9.00-17.00, όπου παρατηρείται η μεγαλύτερη ηλιοφάνεια κατά τη διάρκεια της ημέρας, οι θερμοκρασίες της δεξαμενής αυξάνονται αρκετά και πάνω από τους 30° C, τους οποίους θεωρώ σαν όριο, δίνοντας μου έτσι τη δυνατότητα χρησιμοποίησης του νερού για θέρμανση.

- Για το υλικό αλλαγής φάσης:

Παρατηρούμε ότι οι θερμοκρασίες δεξαμενής είναι τις περισσότερες ώρες πάνω από τους 30° C, δίνοντάς μας έτσι τη δυνατότητα χρησιμοποίησης του ρευστού για τη θέρμανση της κατοικίας. Επίσης παρατηρούμε ότι το PCM δεν μεταβάλλεται σε τόσο μεγάλο εύρος τιμών όσο το νερό.

Τις πρωινές και τις βραδινές ώρες όπου το νερό δεν επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών μας, το PCM έχει υψηλή θερμοκρασία και μας καλύπτει αυτό.

Το μεσημέρι αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού περισσότερο από τη θερμοκρασία του PCM. Αυτό συμβαίνει γιατί το νερό χρησιμοποιεί την ηλιοφάνεια για να αυξήσει τη θερμοκρασία του, ενώ το υλικό αλλαγής φάσης, την χρησιμοποιεί για να αλλάξει φάση, γι'αυτό και δεν αναπτύσσει πολύ υψηλή θερμοκρασία.

Επίσης τις πρωινές ώρες η θερμοκρασία του PCM παρουσιάζει μια μικρή πτώση. Αυτό συμβαίνει διότι χρησιμοποιώ από το βράδυ τη θερμότητα που έχει αποθηκεύσει το PCM κατά τη διάρκεια της ημέρας και έτσι σιγά σιγά η θερμοκρασία του πέφτει.

Κατανάλωση έχω όλες τις ώρες τις ημέρας με την προϋπόθεση ότι η θερμοκρασία της δεξαμενής είναι πάνω από τους 30° C.

Καταλήγουμε επομένως στο συμπέρασμα ότι το υλικό αλλαγής φάσης έχει καλύτερη απόδοση από το νερό, και ιδιαίτερα τις πρωινές και τις βραδινές ώρες όπου το νερό δε μας καλύπτει σε καμιά περίπτωση.

Αλλάζοντας την κατανάλωση παρατηρούμε ότι το νερό και το υλικό αλλαγής φάσης έχουν την ίδια συμπεριφορά σε όλες τις περιπτώσεις. Η μόνη διαφορά παρατηρείται στις τιμές της θερμοκρασίας. Όταν αυξάνω την κατανάλωση, οι τιμές θερμοκρασίας της δεξαμενής μειώνονται, ενώ όταν μειώνω την κατανάλωση αυξάνονται αντίστοιχα.

Τα διαγράμματα παρατίθενται όλα μαζί και για τις τρεις καταναλώσεις στο παράρτημα που ακολουθεί.

❖ Στα διαγράμματα θερμοκρασίας δωματίου κατά τη διάρκεια της ημέρας με μέγιστη και ελάχιστη ηλιοφάνεια, παρατηρώ τα εξής:

- Για το νερό:

Τις πρωινές ώρες 1.00-8.00 παρατηρείται απότομη πτώση της θερμοκρασίας δωματίου, γιατί οι θερμοκρασίες της δεξαμενής τις ίδιες ώρες είναι κάτω από τους 30° C και θεωρώ πως δεν έχω κατανάλωση. Αν χρησιμοποιούσα αυτές της θερμοκρασίες για τη θέρμανση του χώρου, πιθανότατα θα προκαλούσα αντίστροφα αποτελέσματα από αυτά που επιθυμώ, δηλαδή ψύξη του χώρου και όχι θέρμανση.

Τις ώρες 9.00-17.00 παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας δωματίου, γιατί προφανώς οι θερμοκρασίες της δεξαμενής είναι άνω των 30° C και μπορώ να χρησιμοποιήσω το ρευστό για θέρμανση.

Τις βραδινές ώρες 18.00-24.00, δεν έχω ηλιοφάνεια, άρα η θερμοκρασία δεξαμενής είναι κάτω του επιθυμητού ορίου και παρατηρείται και πάλι πτώση της θερμοκρασίας δωματίου, όπως και το πρωί.

- Για το PCM:

Τις ώρες 1.00-8.00 παρατηρείται μια μικρή πτώση της θερμοκρασίας δωματίου, εξαιτίας της συνεχόμενης κατανάλωσης από το βράδυ. Η θερμοκρασία της δεξαμενής έχει αρχίσει να πέφτει, γιατί χρησιμοποιώ συνεχώς την αποθηκευμένη θερμότητα, την οποία έχει αποκτήσει το PCM κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Επίσης παρατηρούμε μια μικρή διαφορά στις καμπύλες, ανάμεσα στους δυο μήνες μέγιστης και ελάχιστης ηλιοφάνειας, τον Απρίλιο και τον Ιανουάριο αντίστοιχα. Τον Ιανουάριο έχουμε κατά τις πρωινές ώρες πιο απότομη πτώση της θερμοκρασίας δωματίου απ'ότι τον Απρίλιο. Αυτό συμβαίνει γιατί τον

Ιανουάριο τις ώρες 4.00-9.00, η θερμοκρασία δεξαμενής έχει πέσει λίγο κάτω από τους 30° C.

Τις ώρες 9.00-24.00 παρατηρούμε ότι το PCM διατηρεί σχεδόν σταθερή θερμοκρασία, συμπεριφορά που περιμέναμε. Παρατηρείται μια πολύ μικρή πτώση της θερμοκρασίας μετά τις 18.00, αλλά γενικά μπορούμε να πούμε ότι τείνει να κυριαρχήσει μια σταθερή τιμή θερμοκρασίας.

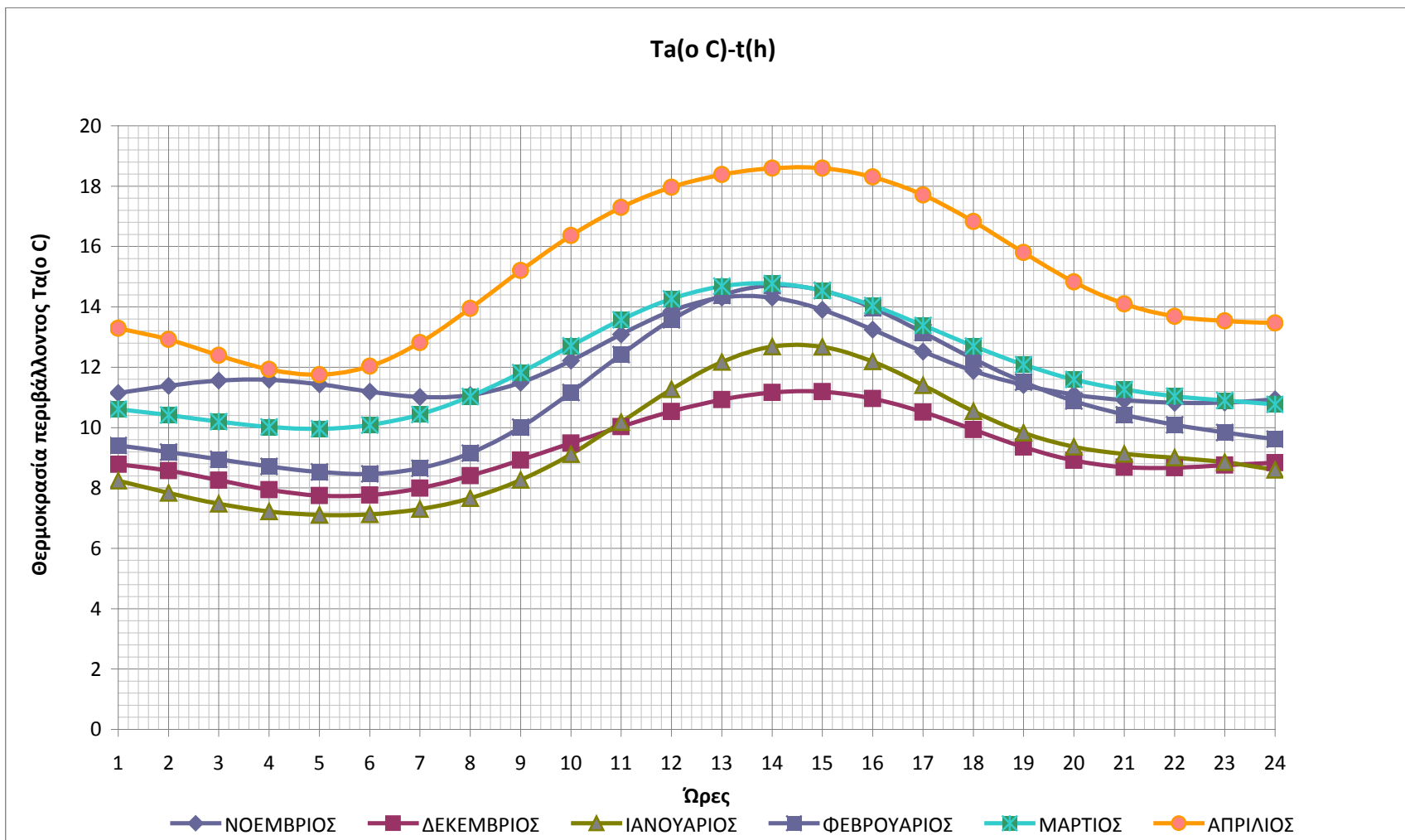
Είναι επίσης ξεκάθαρο, ότι τις πρωινές και τις βραδινές ώρες οι θερμοκρασίες δωματίου από τη χρήση του PCM είναι υψηλότερες από αυτές που προκύπτουν από τη χρήση του νερού. Είναι μια κατάσταση που περιμέναμε. Όπως επίσης, οι θερμοκρασίες δωματίου τις ώρες της μέγιστης ηλιοφάνειας είναι υψηλότερες κατά τη χρήση του νερού, έναντι αυτών από τη χρήση του υλικού αλλαγής φάσης. Αυτό συμβαίνει γιατί το νερό χρησιμοποιεί την ηλιοφάνεια αποκλειστικά και μόνο για την αύξηση της θερμοκρασίας του, ενώ το PCM τη χρησιμοποιεί και για αλλαγή φάσης, πράγμα που δεν του επιτρέπει να αυξήσει πολύ τη θερμοκρασία του.

Τα διαγράμματα παρατίθενται στο παράρτημα που ακολουθεί.

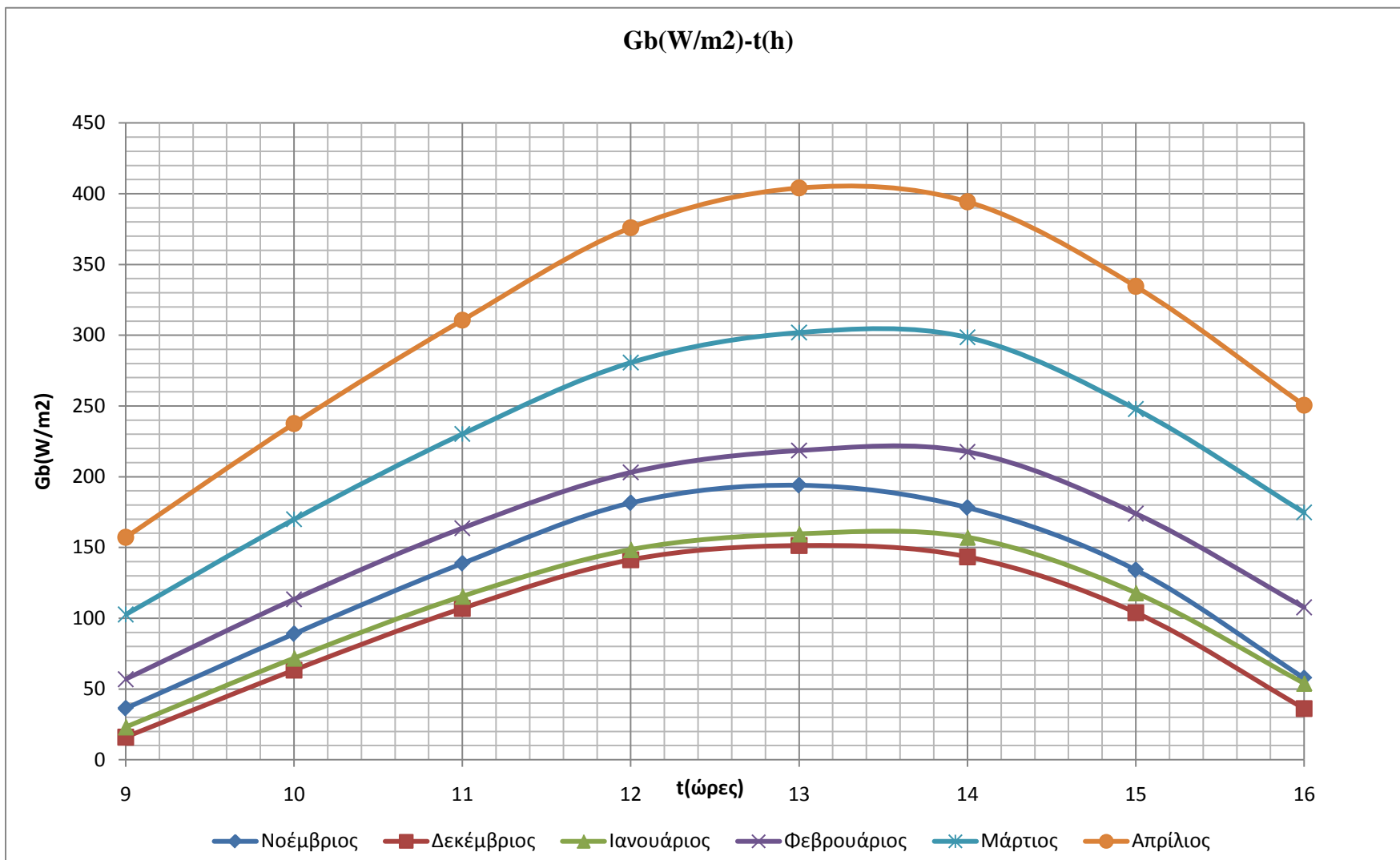
Τελικά καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η χρήση υλικού αλλαγής φάσης για θέρμανση κατοικίας, είναι αποδοτικότερη συγκριτικά με τη χρήση νερού. Δεν μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί αποκλειστικά για την κάλυψη όλων των αναγκών μας για θέρμανση. Θα μπορούσε όμως να χρησιμοποιηθεί συμπληρωματικά με ένα άλλο τρόπο θέρμανσης, όπως για παράδειγμα με πετρέλαιο ή φυσικό αέριο. Πάντως σε κάθε περίπτωση θα έχουμε κάποιο όφελος από τη χρήση του PCM, έστω και σαν συμπληρωματικού τρόπου θέρμανσης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

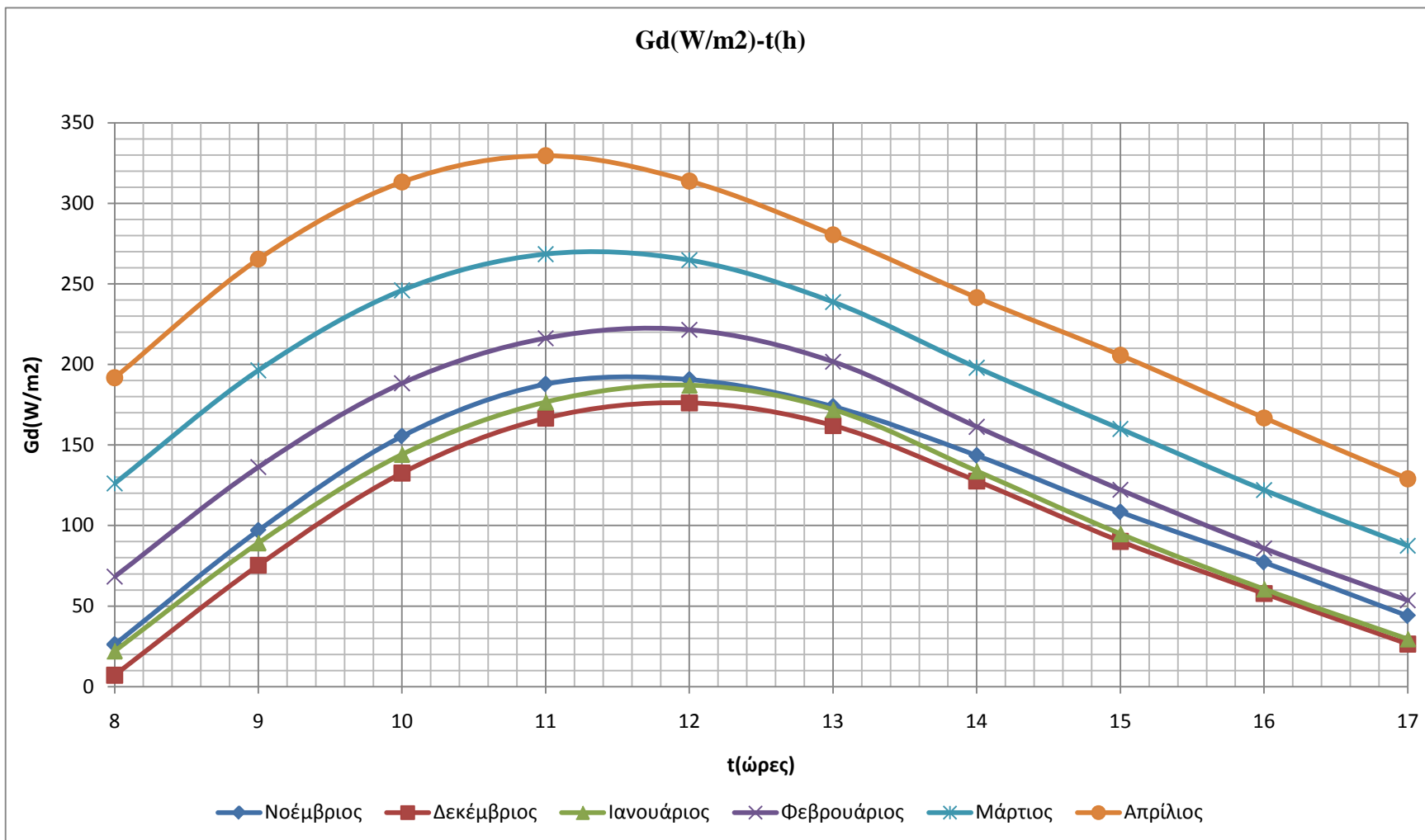
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ



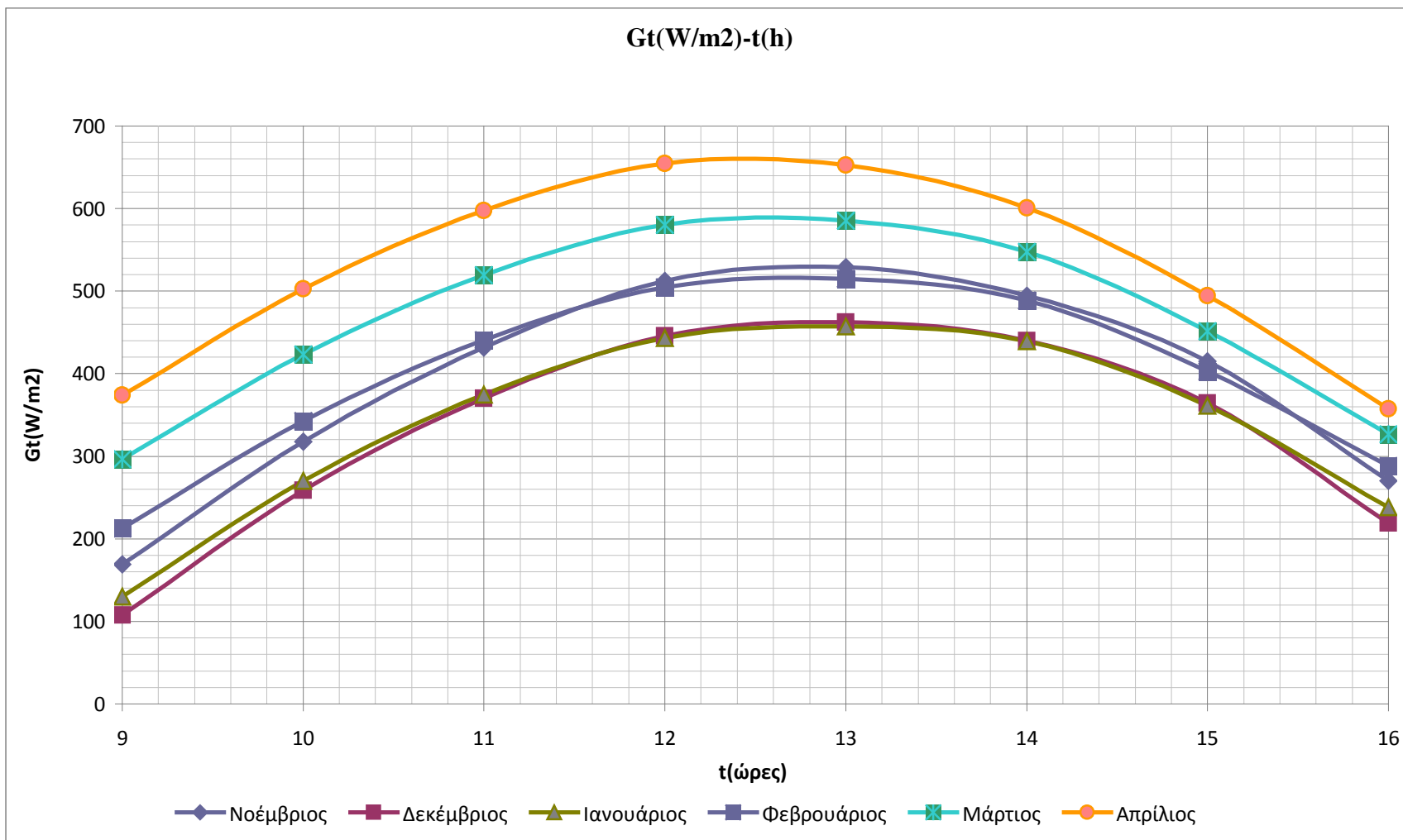
Διάγραμμα 1: Θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της ημέρας για όλους τους μήνες(Νοέμβριος-Απρίλιος).



Διάγραμμα 2: Μέση στιγμιαία άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου τις ώρες 9.00-16.00 για όλους τους μήνες.

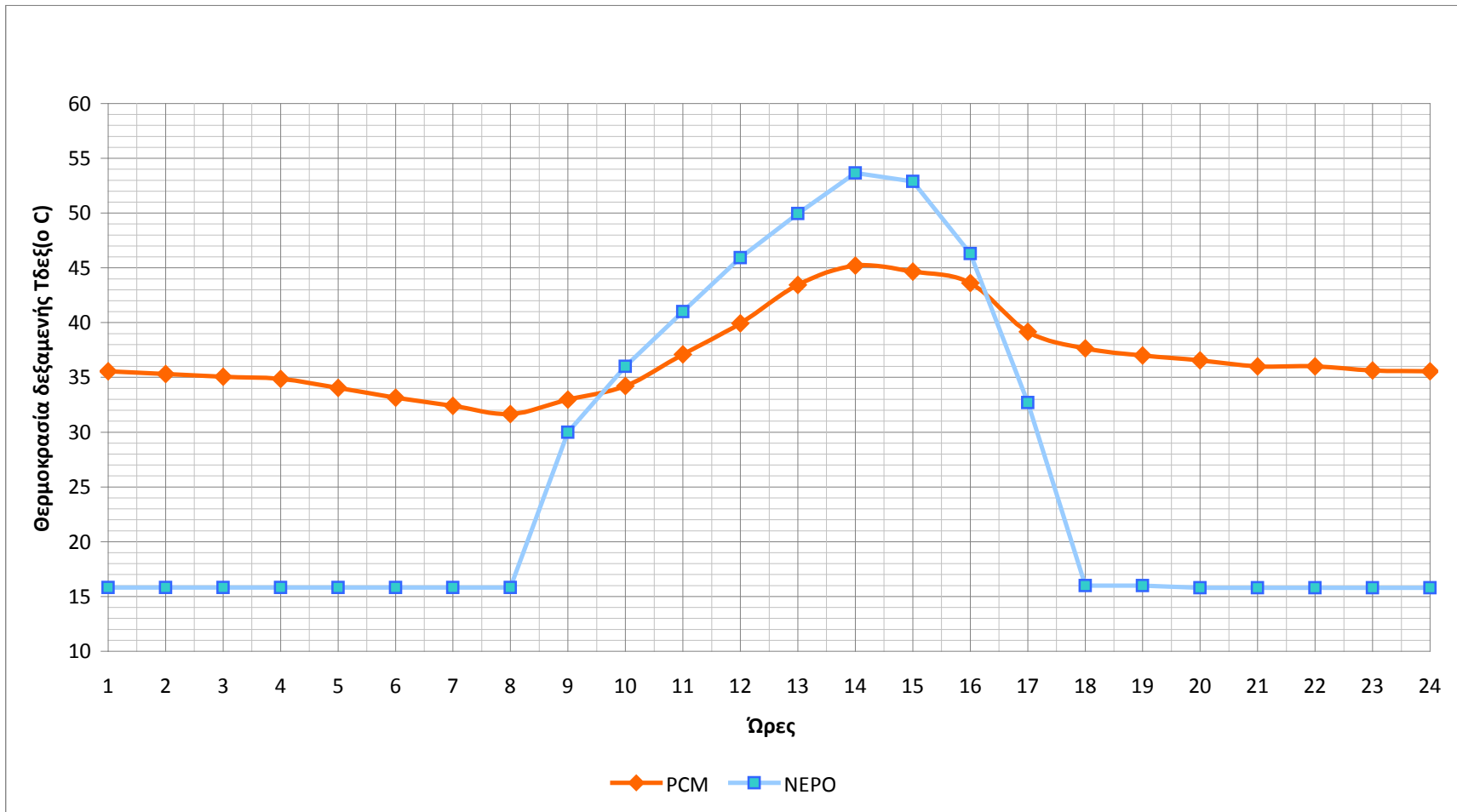


Διάγραμμα 3: Διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου τις ώρες 8.00-17.00 για κάθε μήνα.

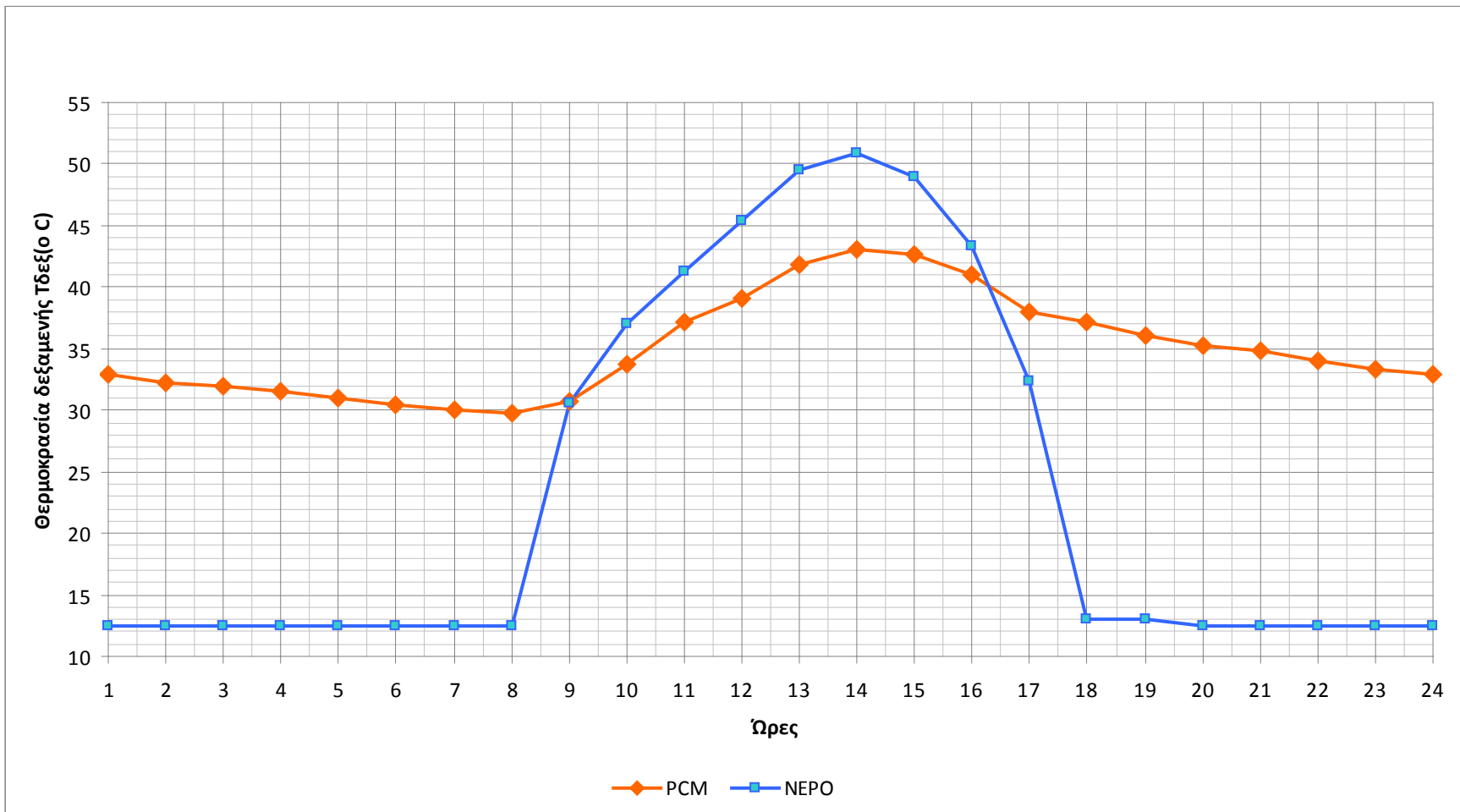


Διάγραμμα 4: Ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου κατά τις ώρες 9.00-16.00 για κάθε μήνα.

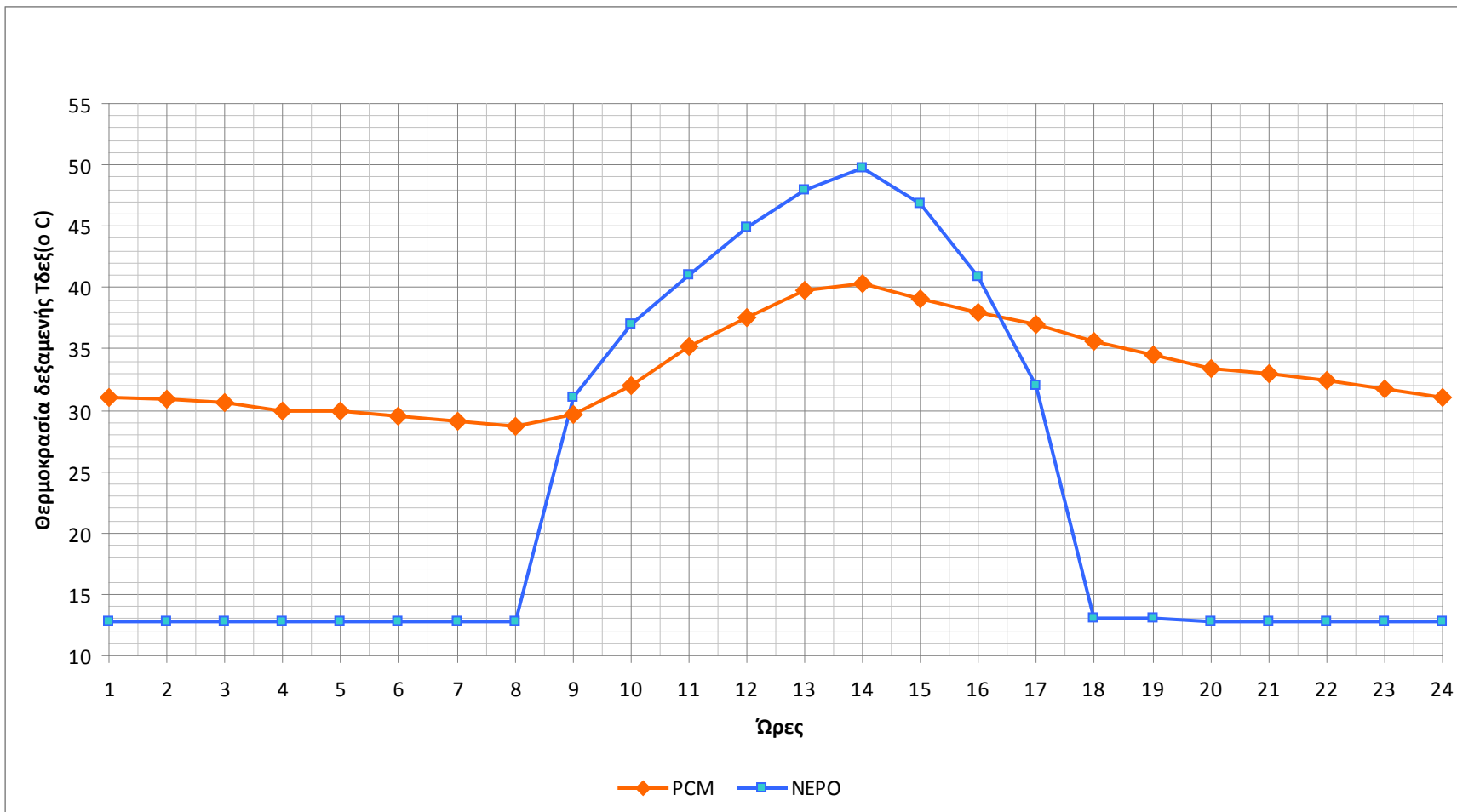
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΚΑΙ
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΔΩΜΑΤΙΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΗΜΕΡΑΣ
ΓΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ 20W/m².**



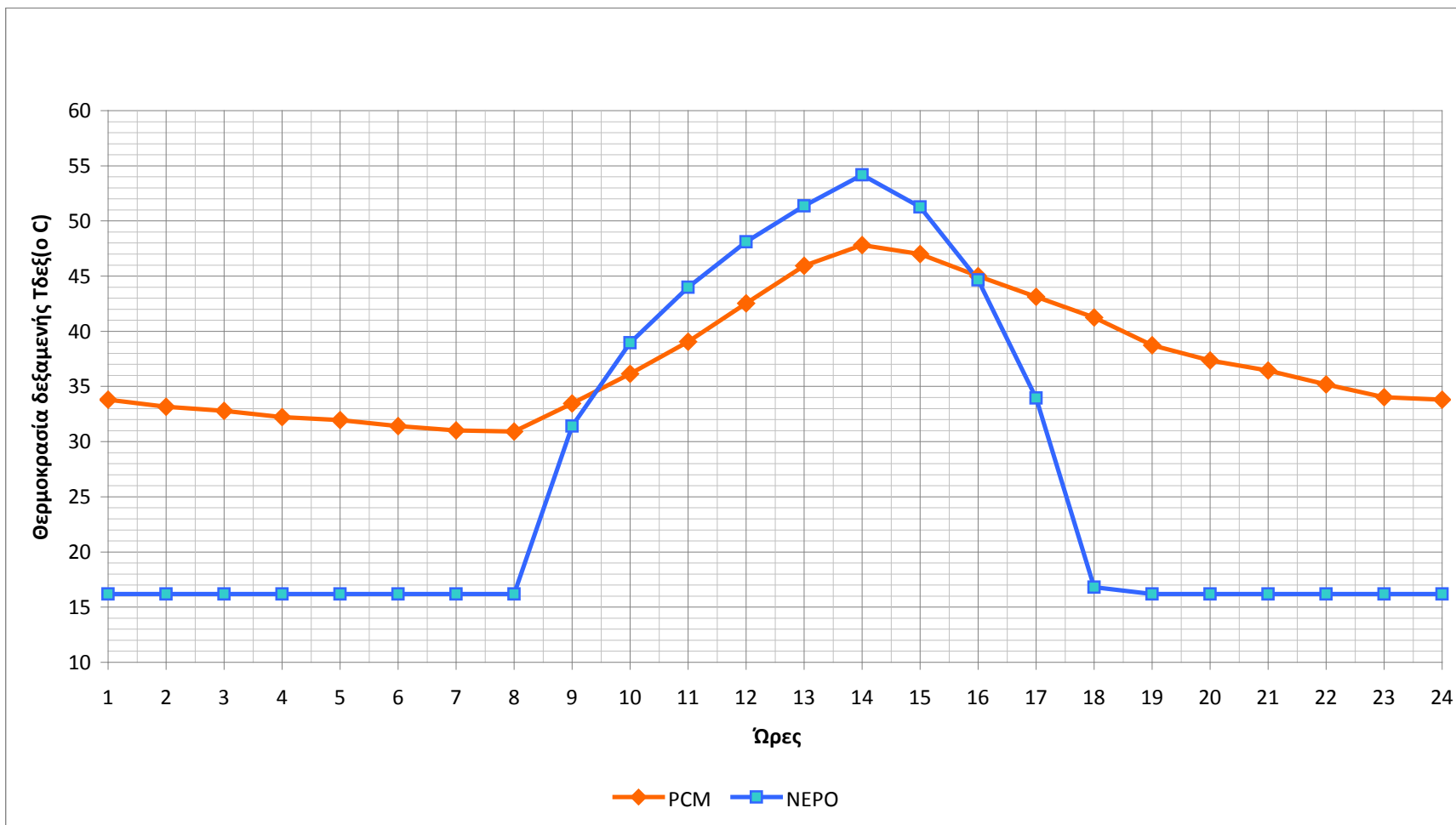
Διάγραμμα 5 : Θερμοκρασία δεξαμενής κατά τη διάρκεια της 21ης Νοεμβρίου, για κατανάλωση 20 W/m2.



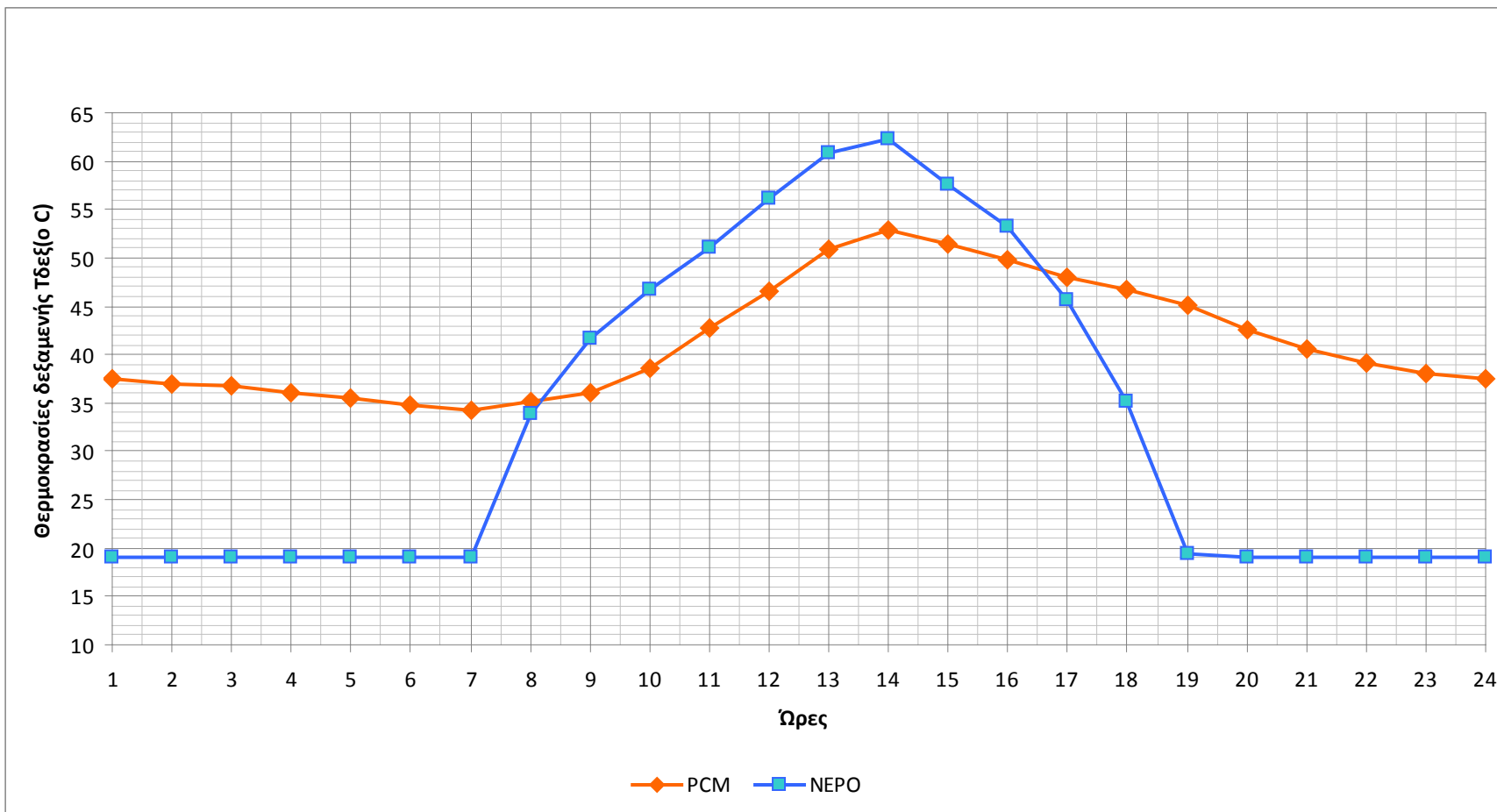
Διάγραμμα 6 :Θερμοκρασία δεξαμενής κατά τη διάρκεια της ημέρας, την 21η Δεκεμβρίου, για κατανάλωση 20 W/m2.



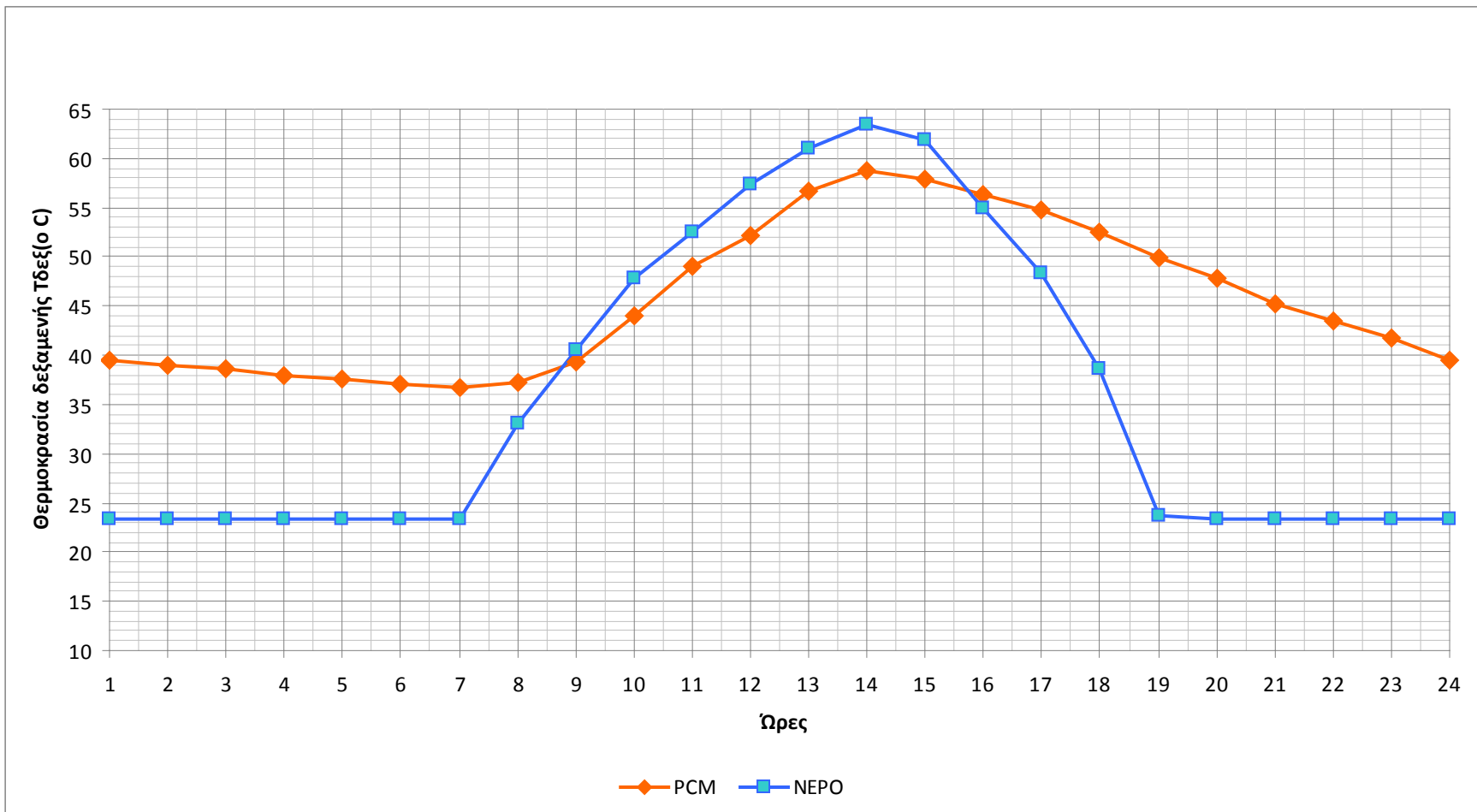
Διάγραμμα 7 :Θερμοκρασία δεξαμενής κατά τη διάρκεια της ημέρας, την 21η Ιανουαρίου, για κατανάλωση 20 W/m2.



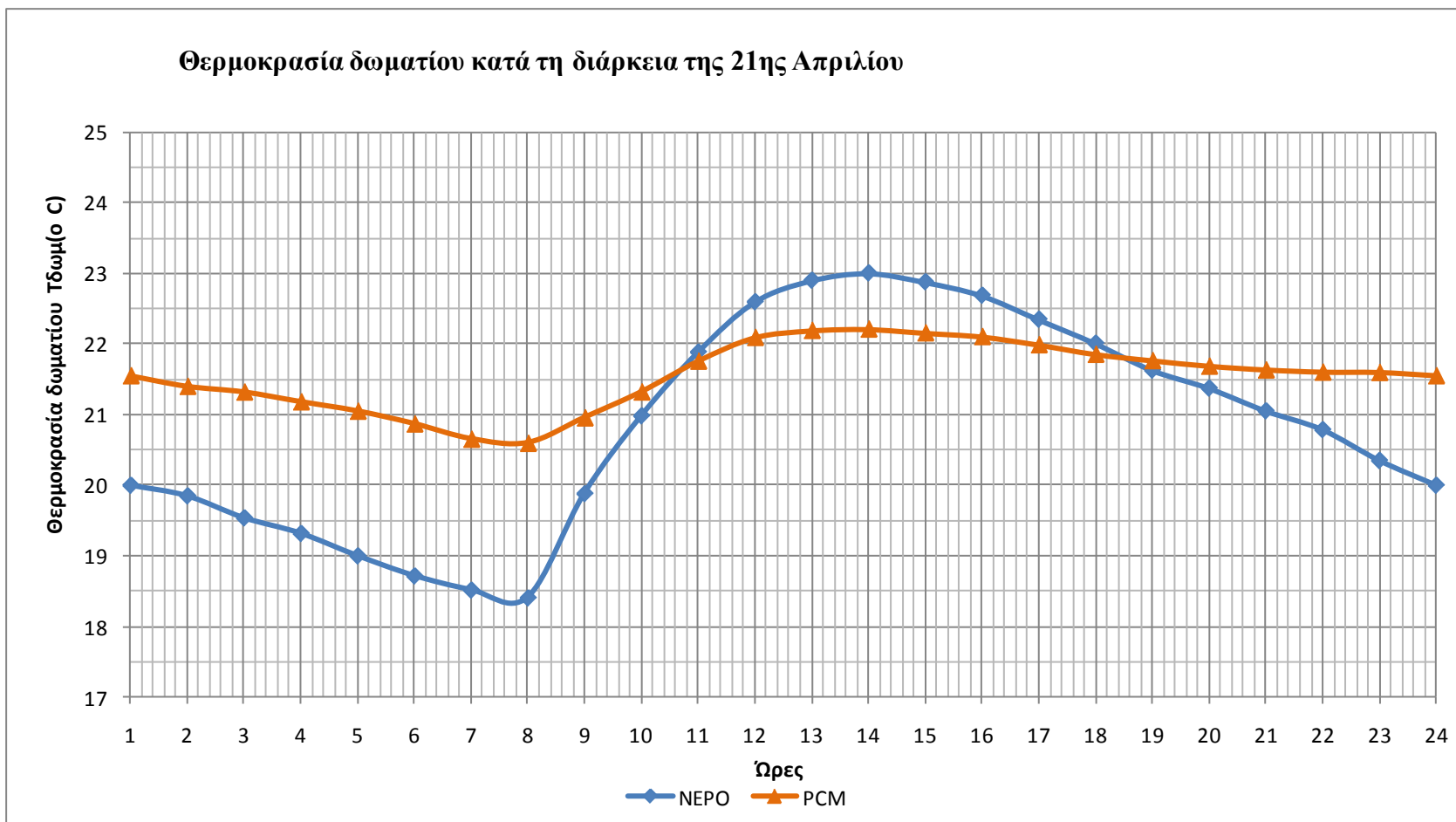
Διάγραμμα 8 : Θερμοκρασία δεξαμενής κατά τη διάρκεια της ημέρας, την 21η Φεβρουαρίου, για κατανάλωση 20 W/m².



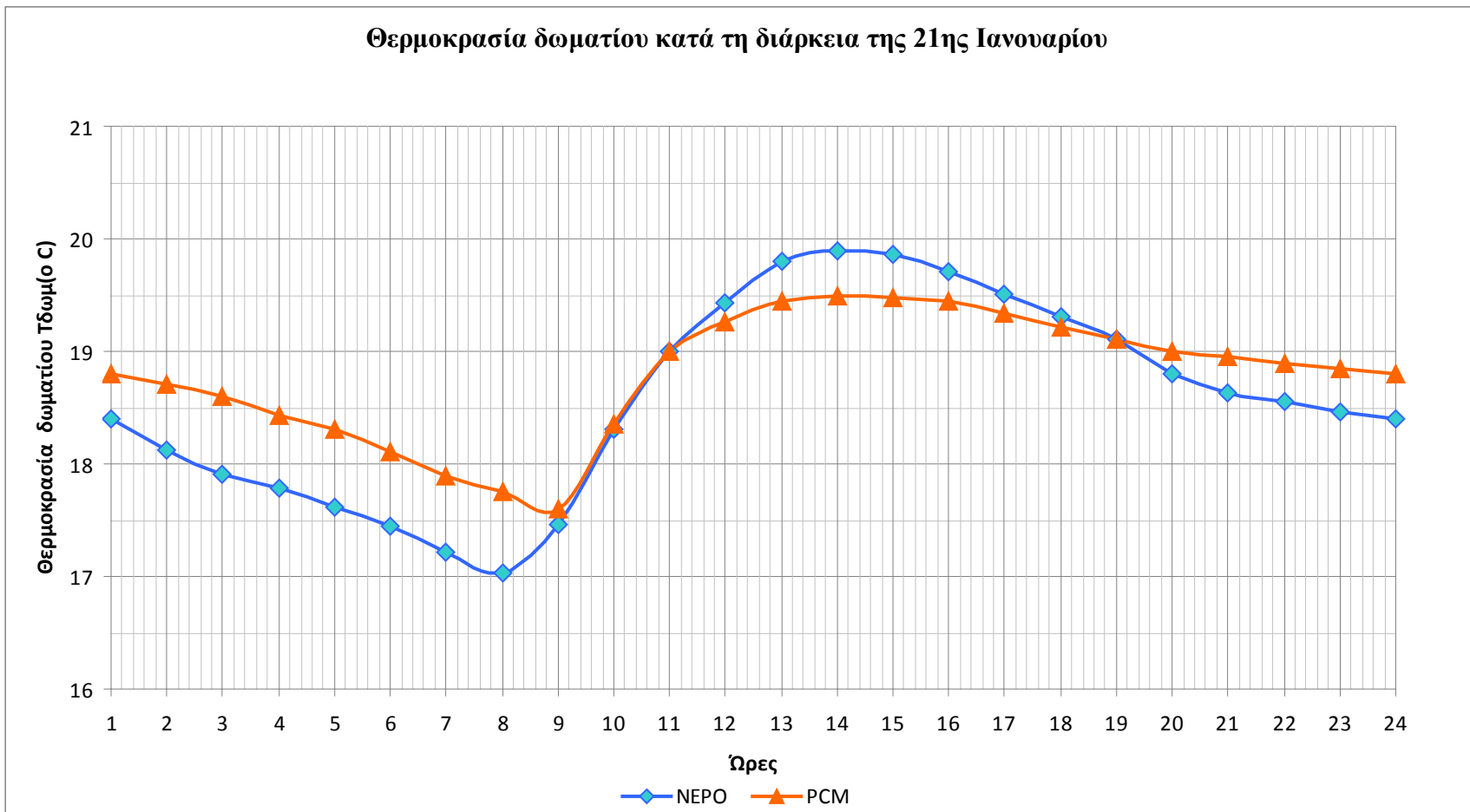
Διάγραμμα 9 : Θερμοκρασία δεξαμενής κατά τη διάρκεια της ημέρας, την 21η Μαρτίου, για κατανάλωση 20 W/m².



Διάγραμμα 10 : Θερμοκρασία δεξαμενής κατά τη διάρκεια της ημέρας, την 21η Απριλίου, για κατανάλωση 20 W/m².

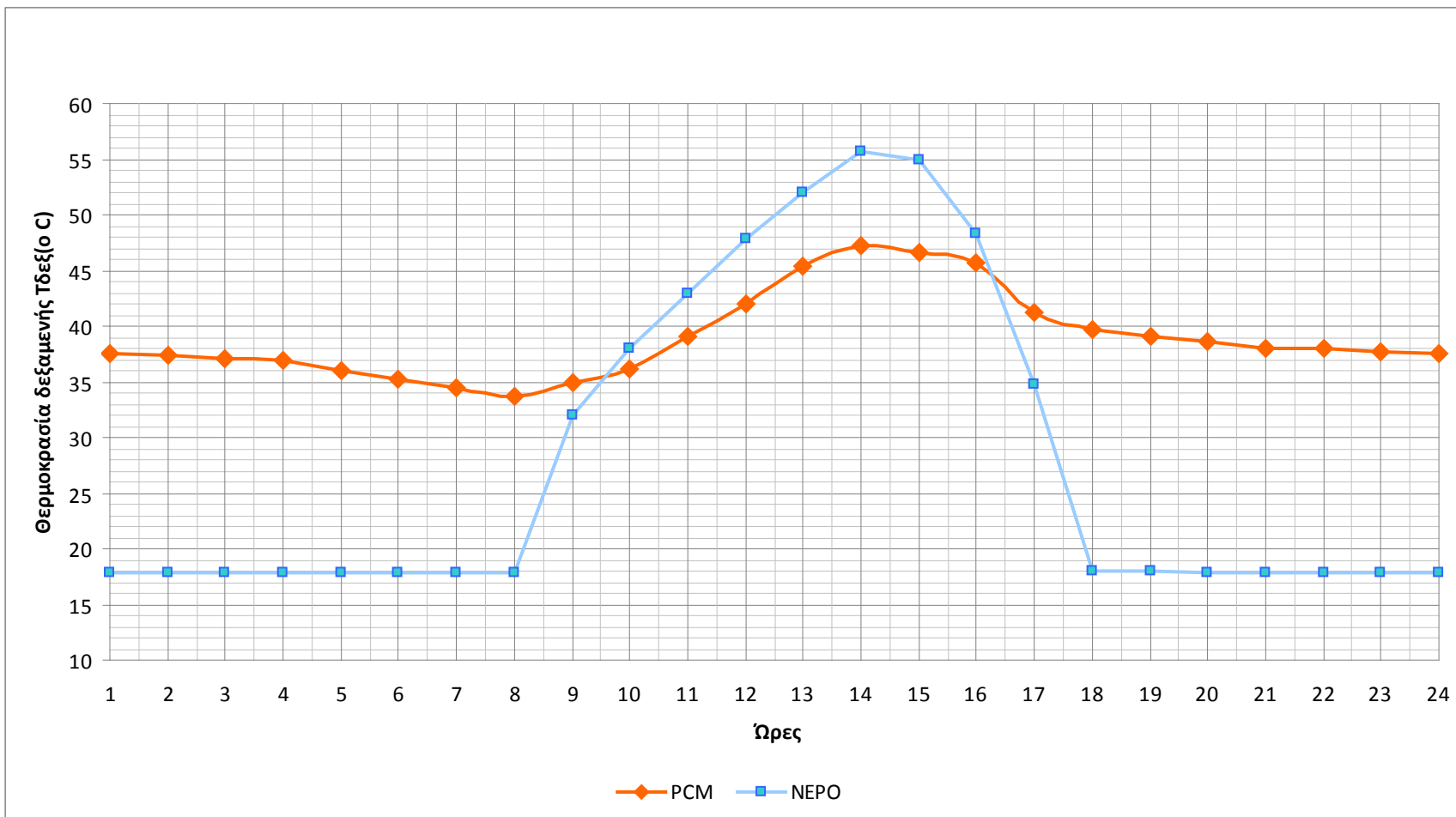


Διάγραμμα 11 : Θερμοκρασία δωματίου κατά τη διάρκεια της 21ης Απριλίου, για κατανάλωση 20 W/m².

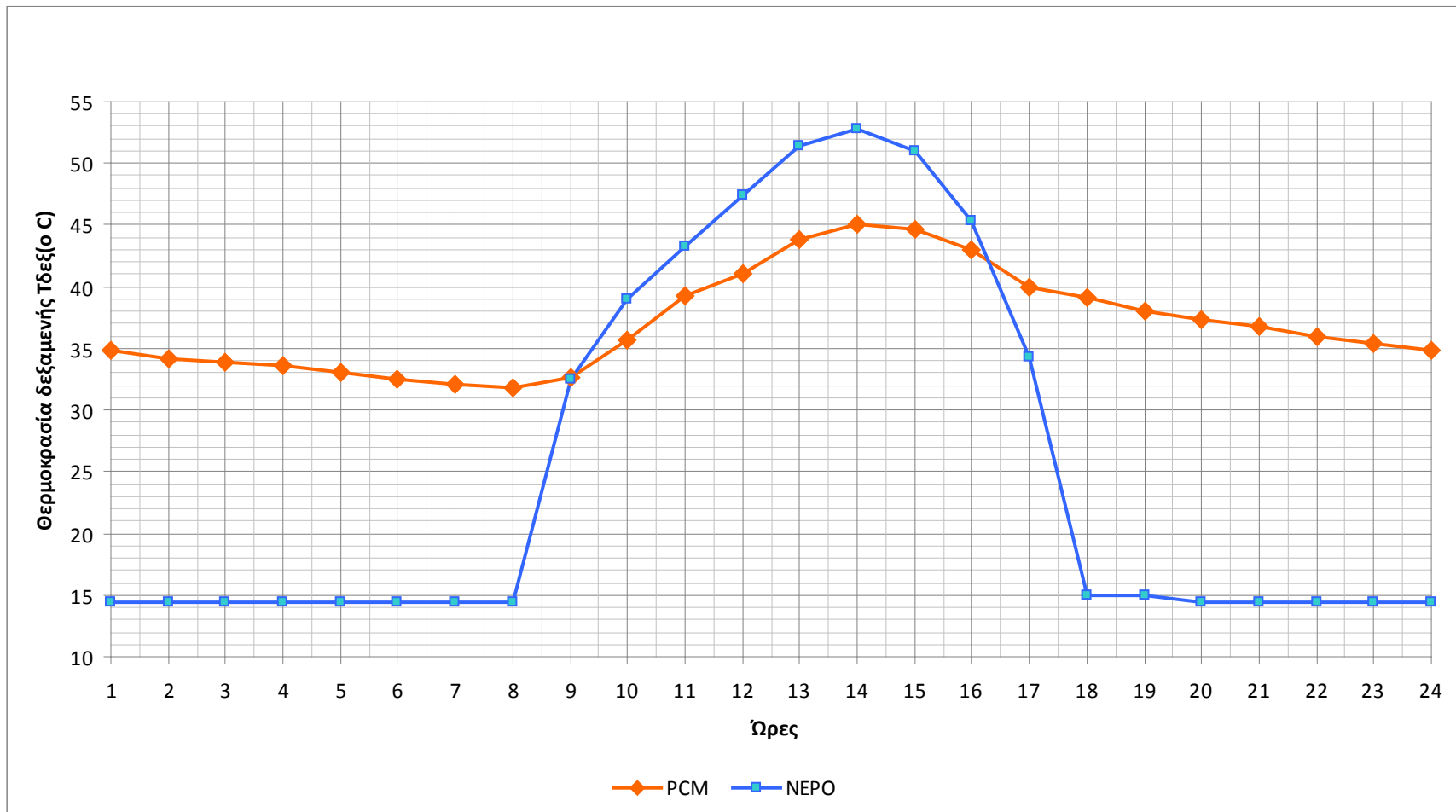


Διάγραμμα 12 : Θερμοκρασία δωματίου κατά τη διάρκεια της 21ης Ιανουαρίου, για κατανάλωση 20 W/m².

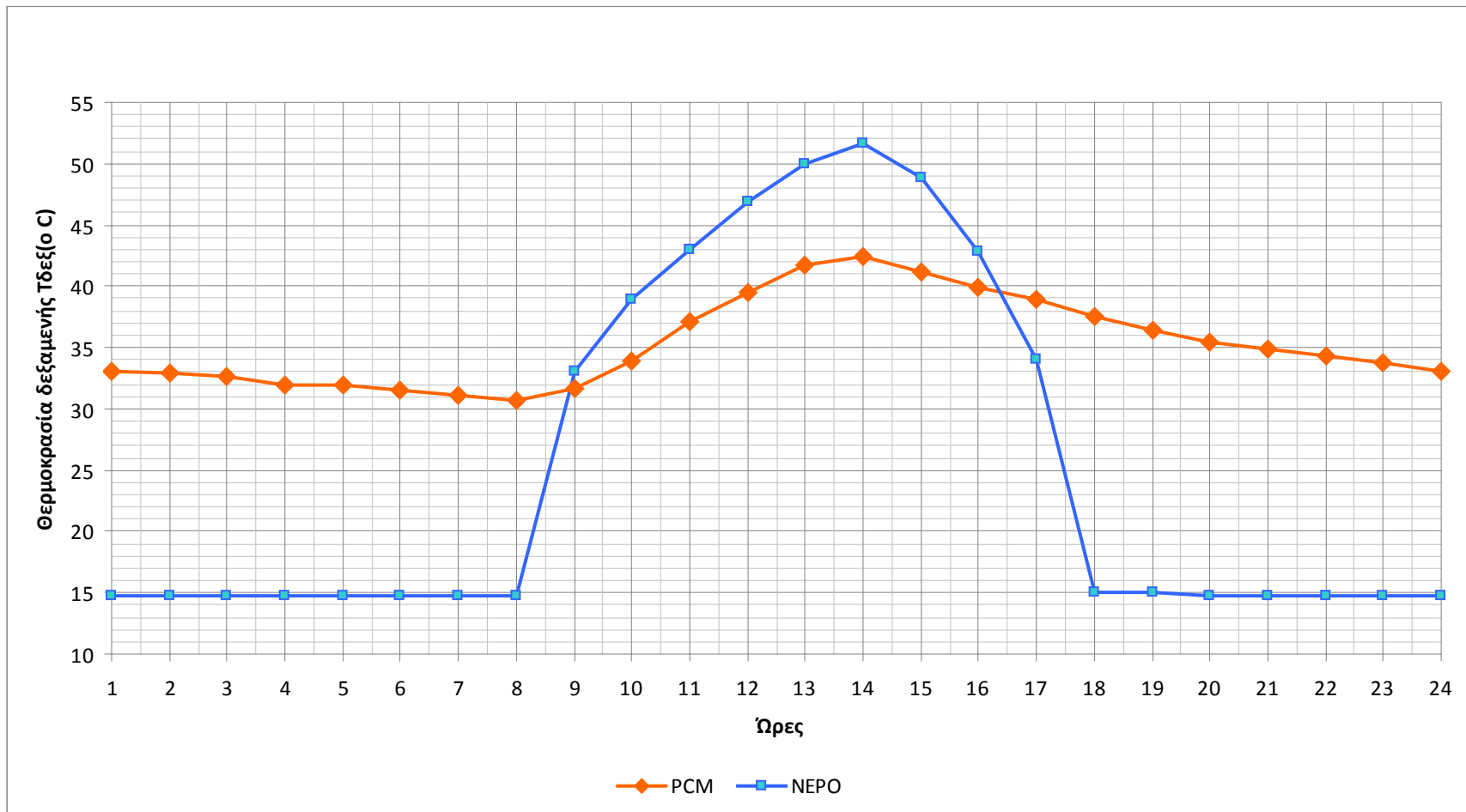
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΚΑΙ
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΔΩΜΑΤΙΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΗΜΕΡΑΣ
ΓΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ 15W/m².**



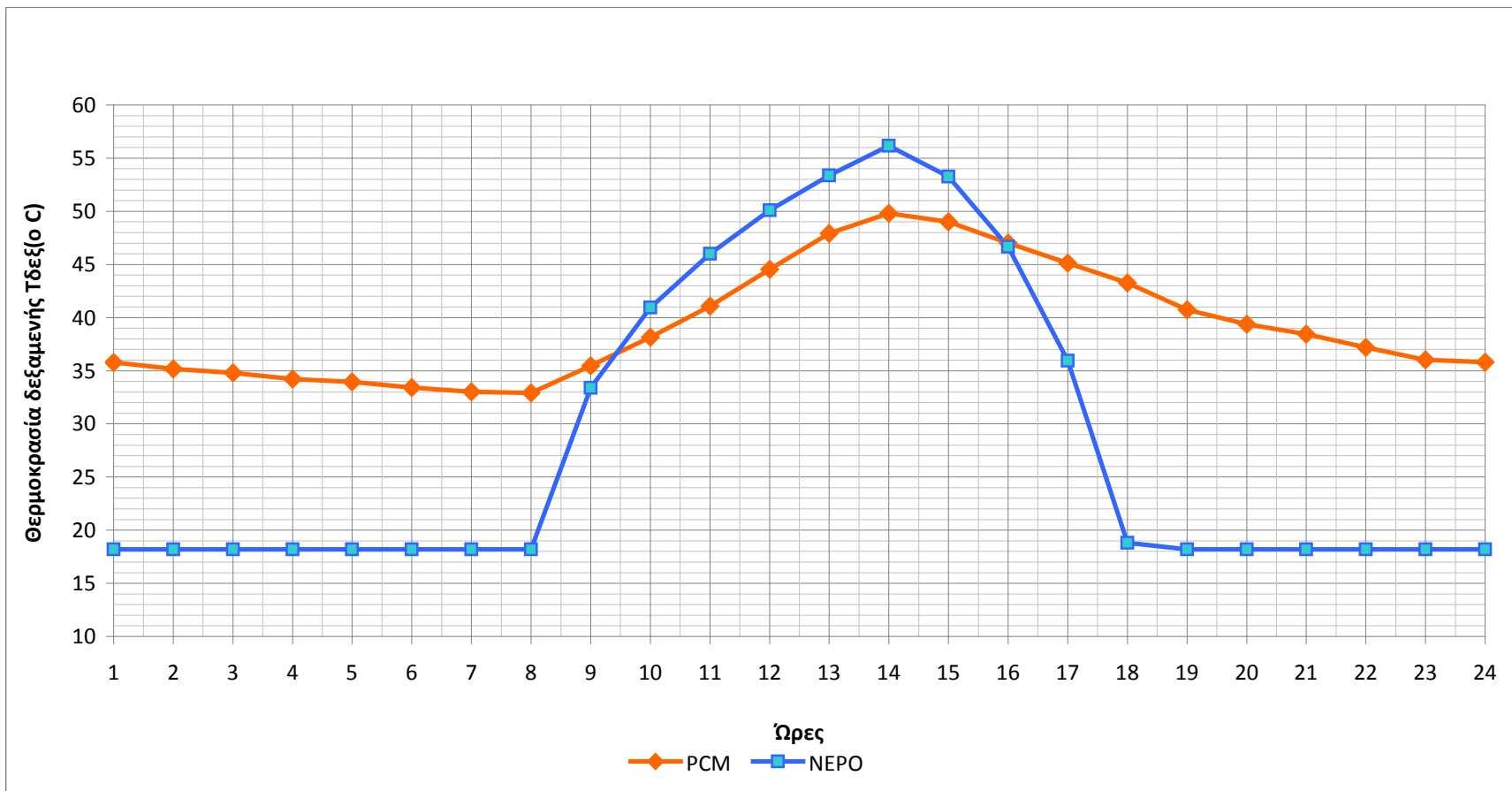
Διάγραμμα 13 : Θερμοκρασία δεξαμενής κατά τη διάρκεια της 21ης Νοεμβρίου, για κατανάλωση 15 W/m².



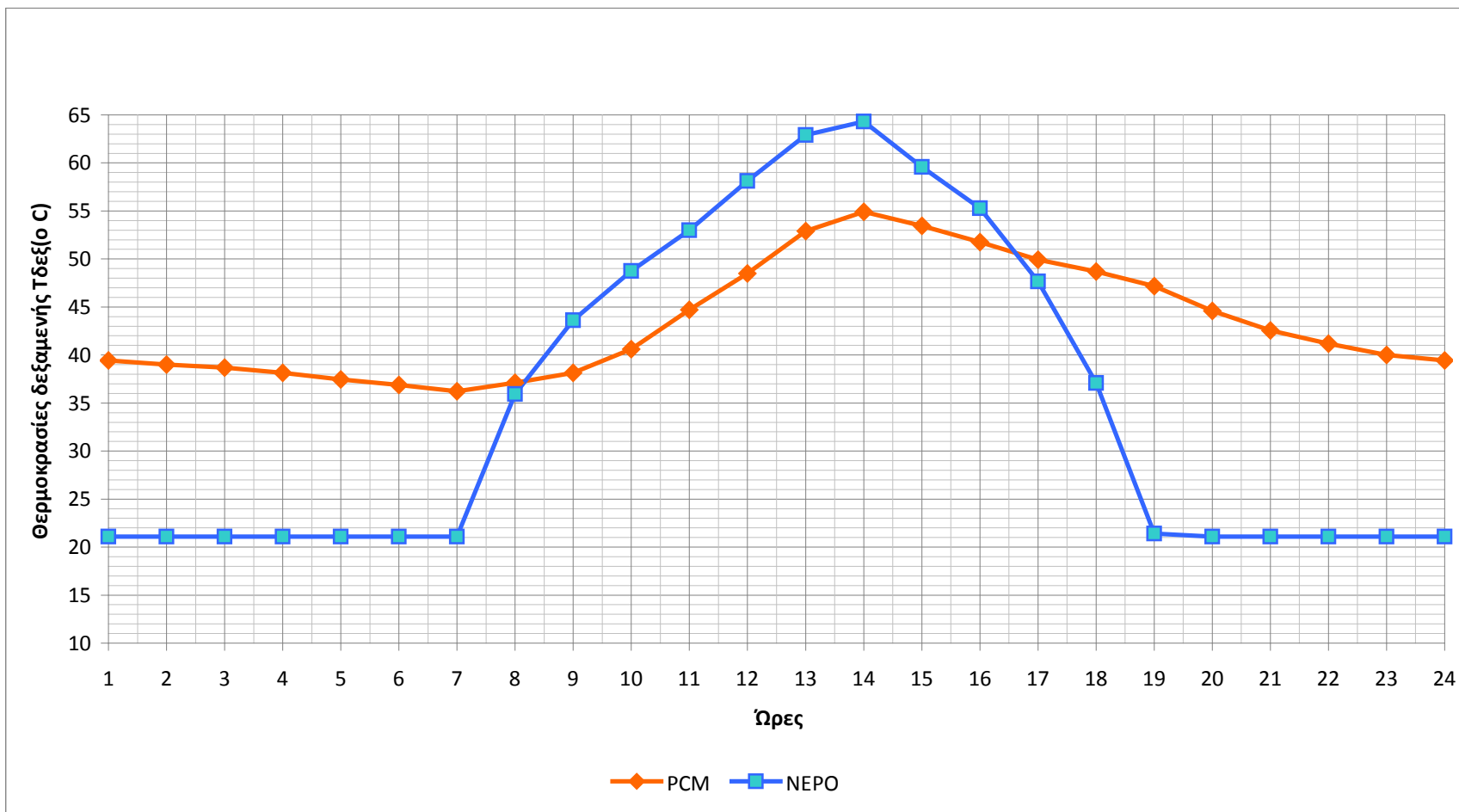
Διάγραμμα 14 : Θερμοκρασία δεξαμενής κατά τη διάρκεια της 21ης Δεκεμβρίου, για κατανάλωση 15 W/m².



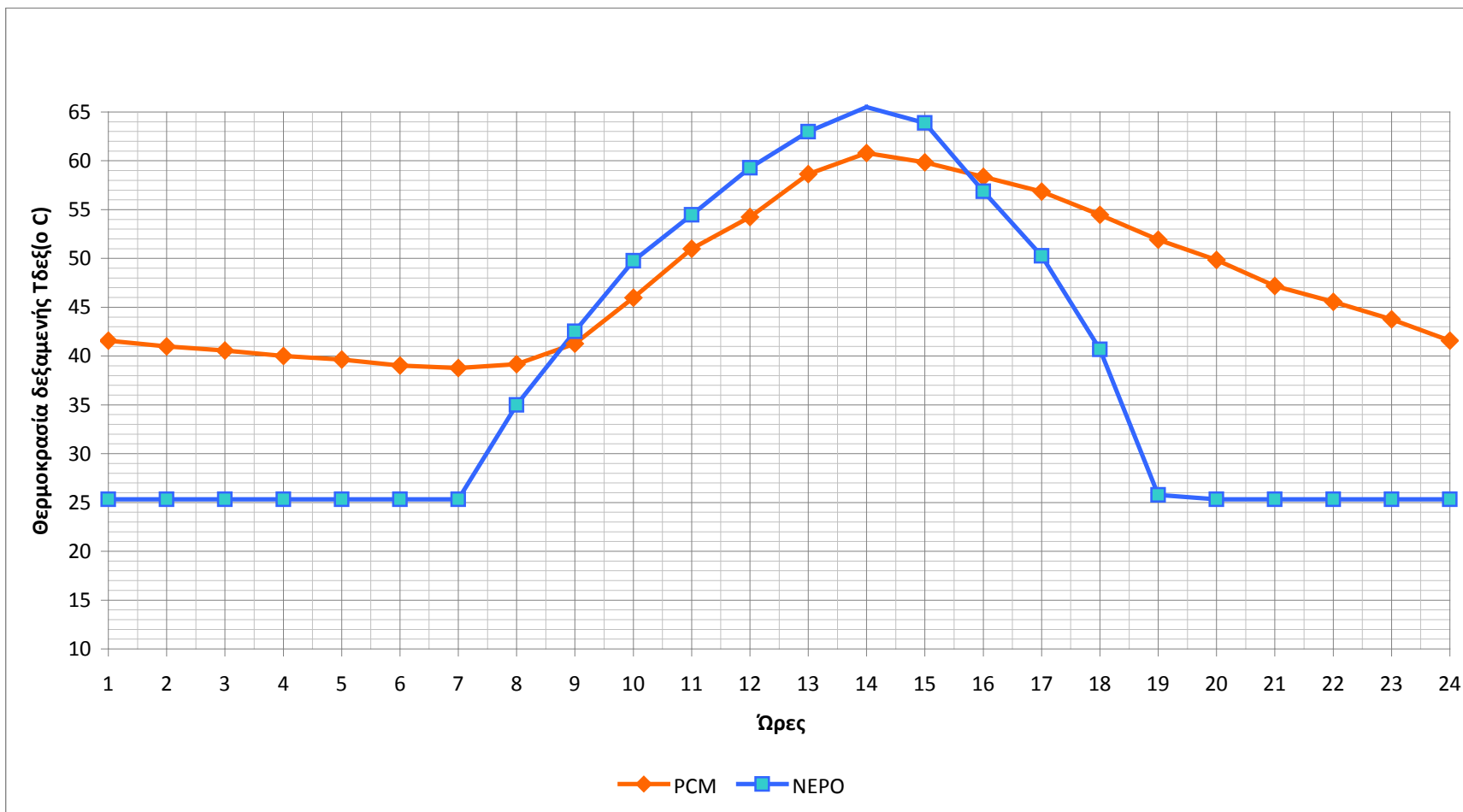
Διάγραμμα 15 : Θερμοκρασία δεξαμενής κατά τη διάρκεια της 21ης Ιανουαρίου, για κατανάλωση 15 W/m².



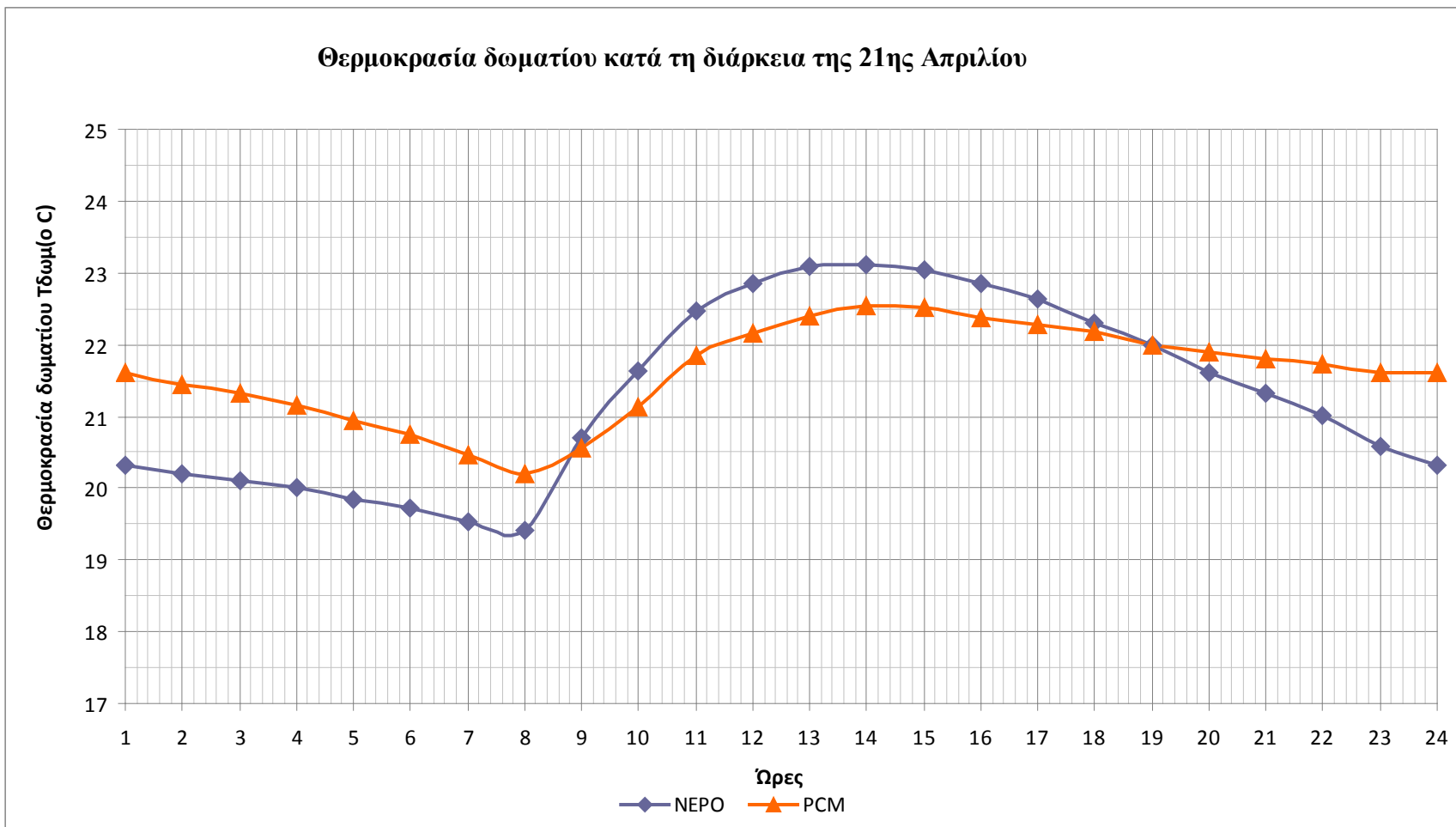
Διάγραμμα 16 : Θερμοκρασία δεξαμενής κατά τη διάρκεια της 21ης Φεβρουαρίου, για κατανάλωση 15 W/m².



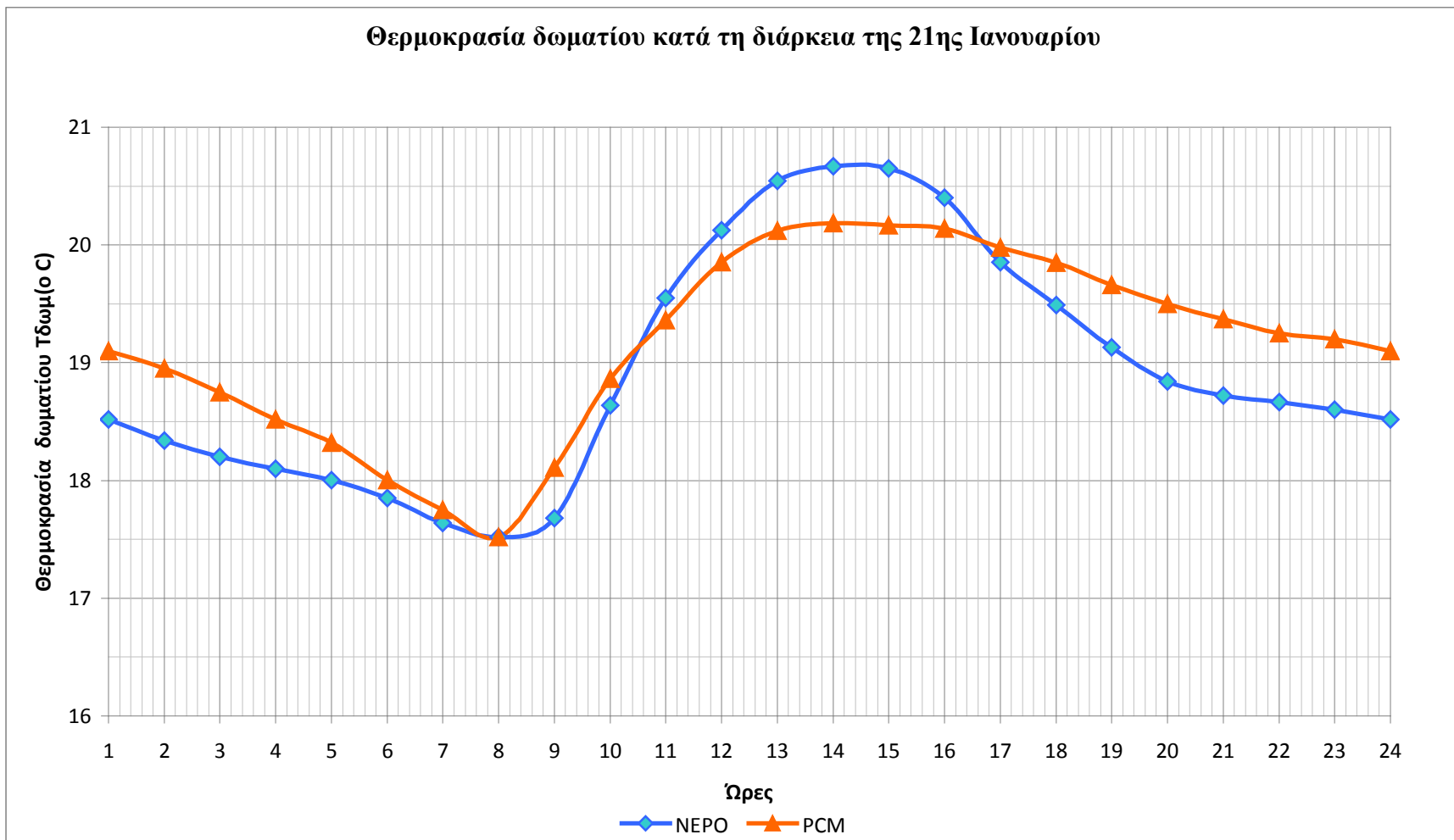
Διάγραμμα 17 : Θερμοκρασία δεξαμενής κατά τη διάρκεια της 21ης Μαρτίου, για κατανάλωση 15 W/m².



Διάγραμμα 18 : Θερμοκρασία δεξαμενής κατά τη διάρκεια της 21ης Απριλίου, για κατανάλωση 15 W/m².

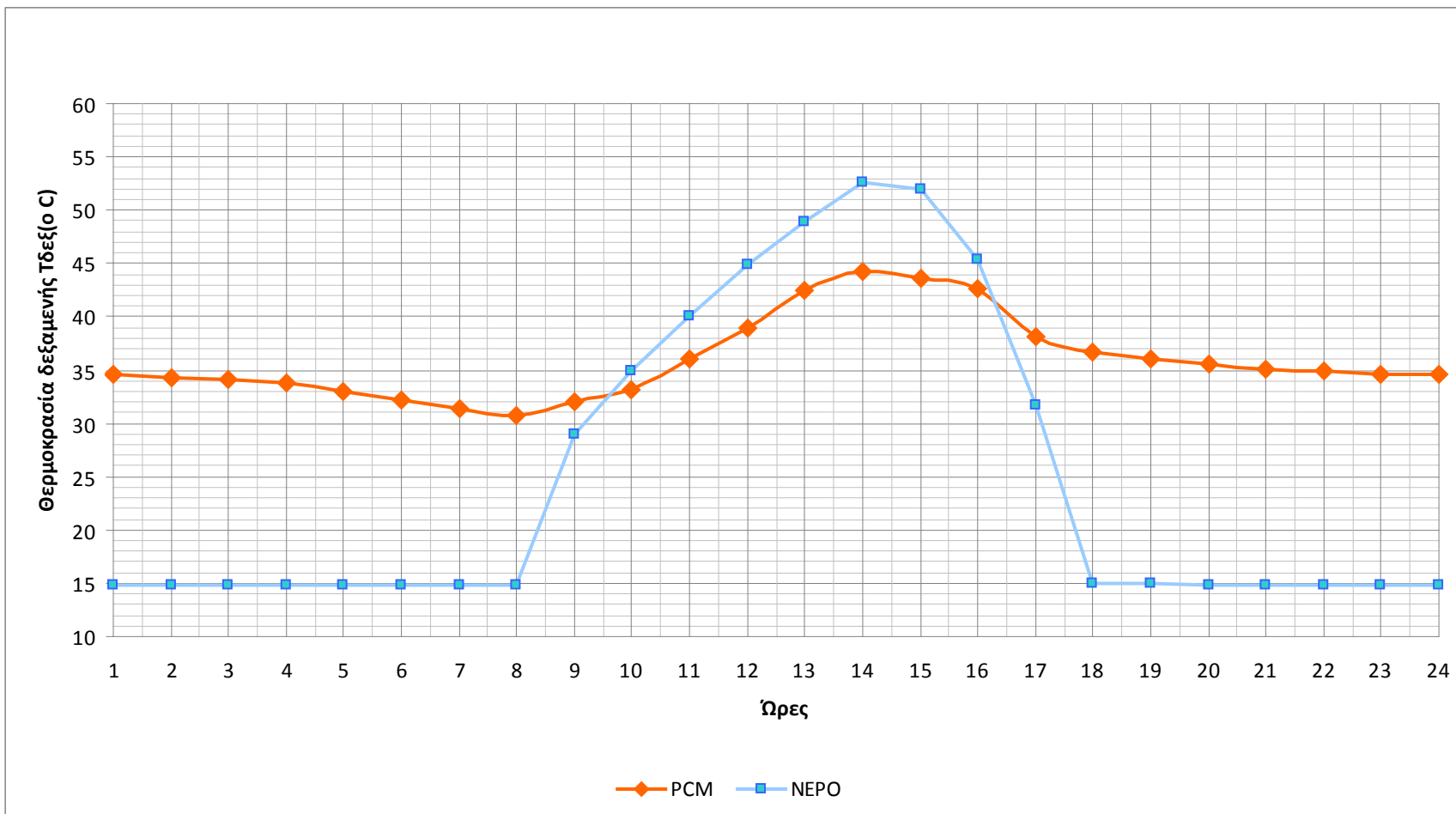


Διάγραμμα 19 : Θερμοκρασία δωματίου κατά τη διάρκεια της 21^{ης} Απριλίου, για κατανάλωση 15 W/m².

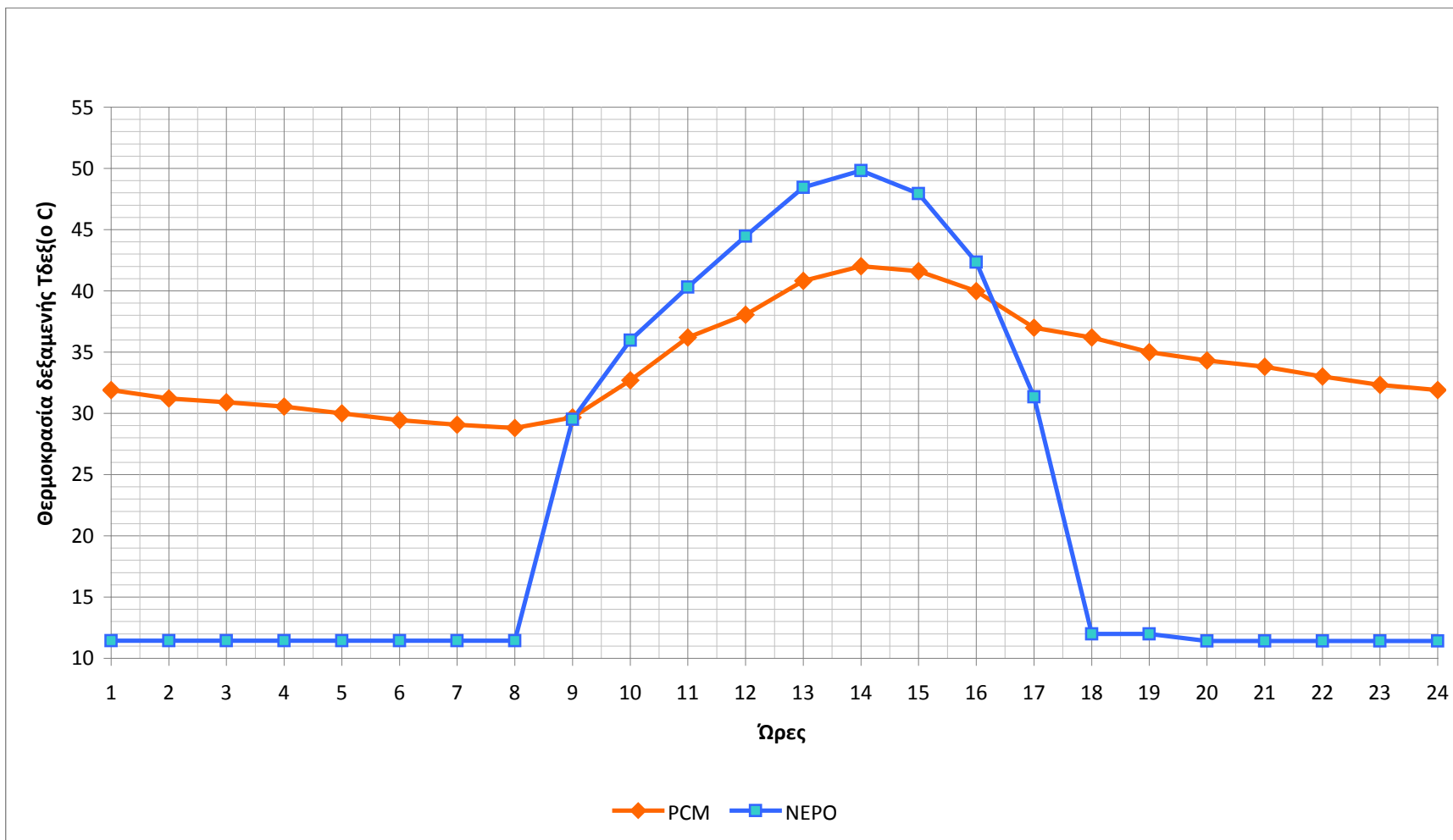


Διάγραμμα 20 : Θερμοκρασία δωματίου κατά τη διάρκεια της 21ης Ιανουαρίου, για κατανάλωση 15 W/m2.

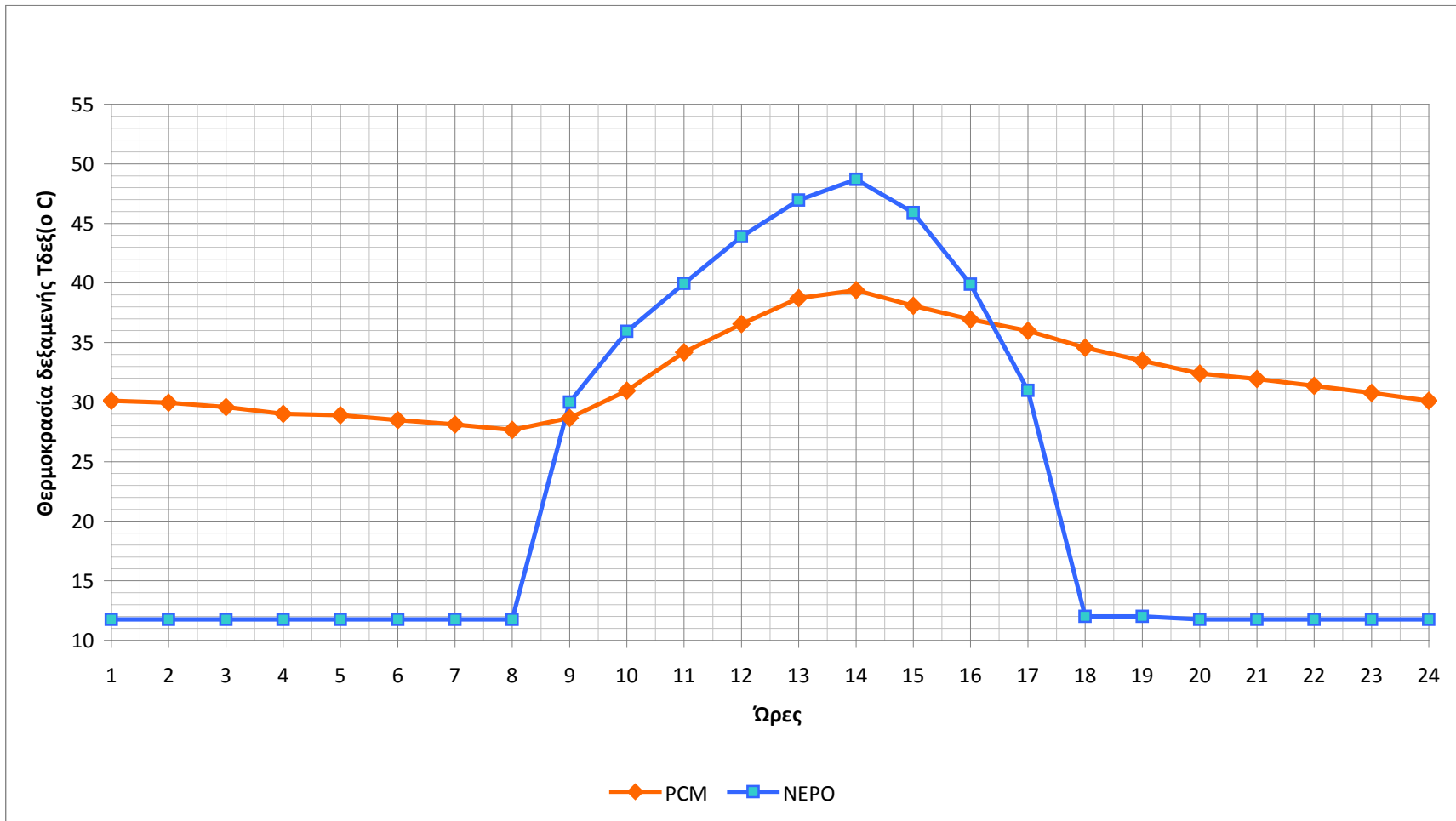
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΚΑΙ
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΔΩΜΑΤΙΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΗΜΕΡΑΣ
ΓΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ 25W/m².**



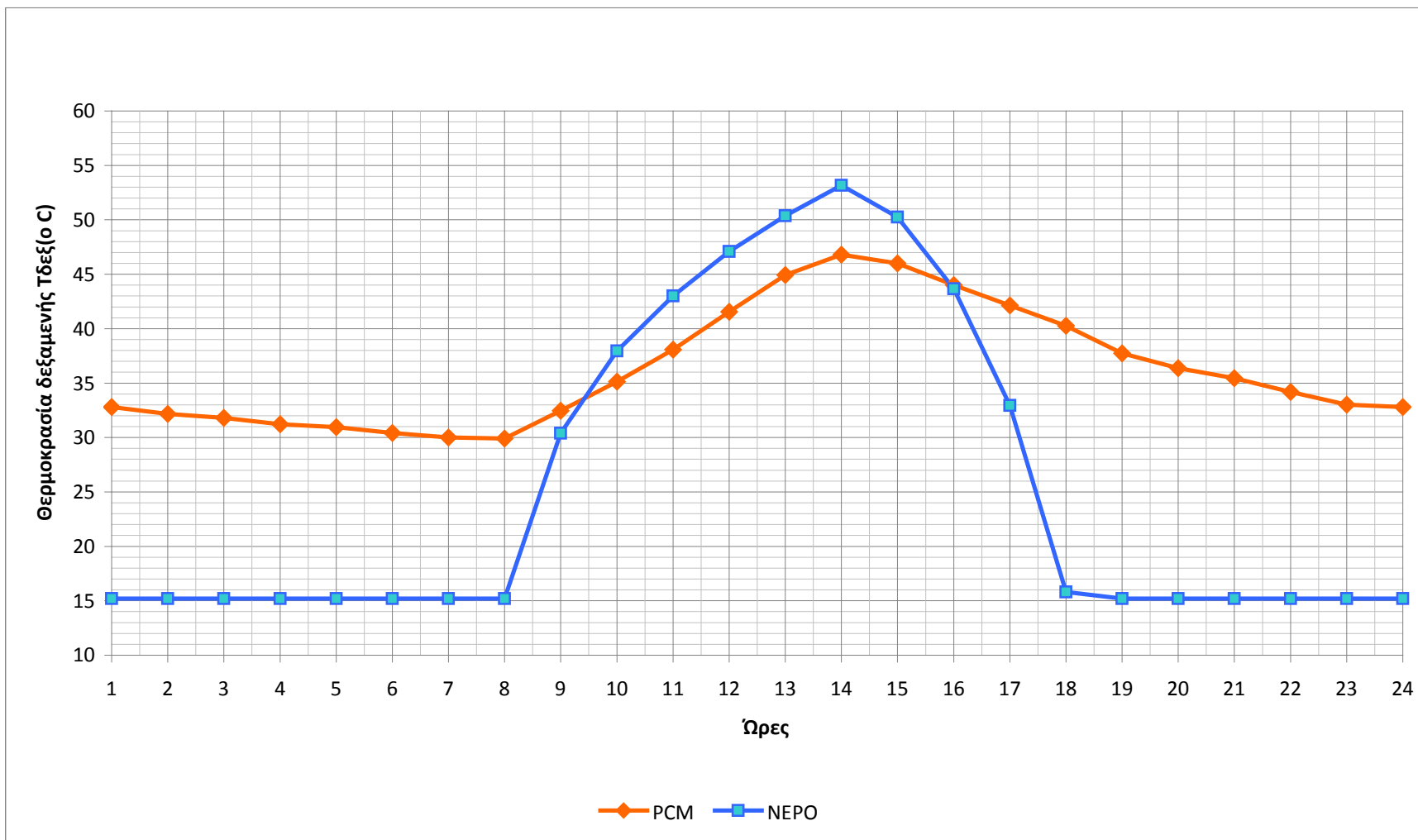
Διάγραμμα 21 : Θερμοκρασία δεξαμενής κατά τη διάρκεια της 21ης Νοεμβρίου, για κατανάλωση 25 W/m².



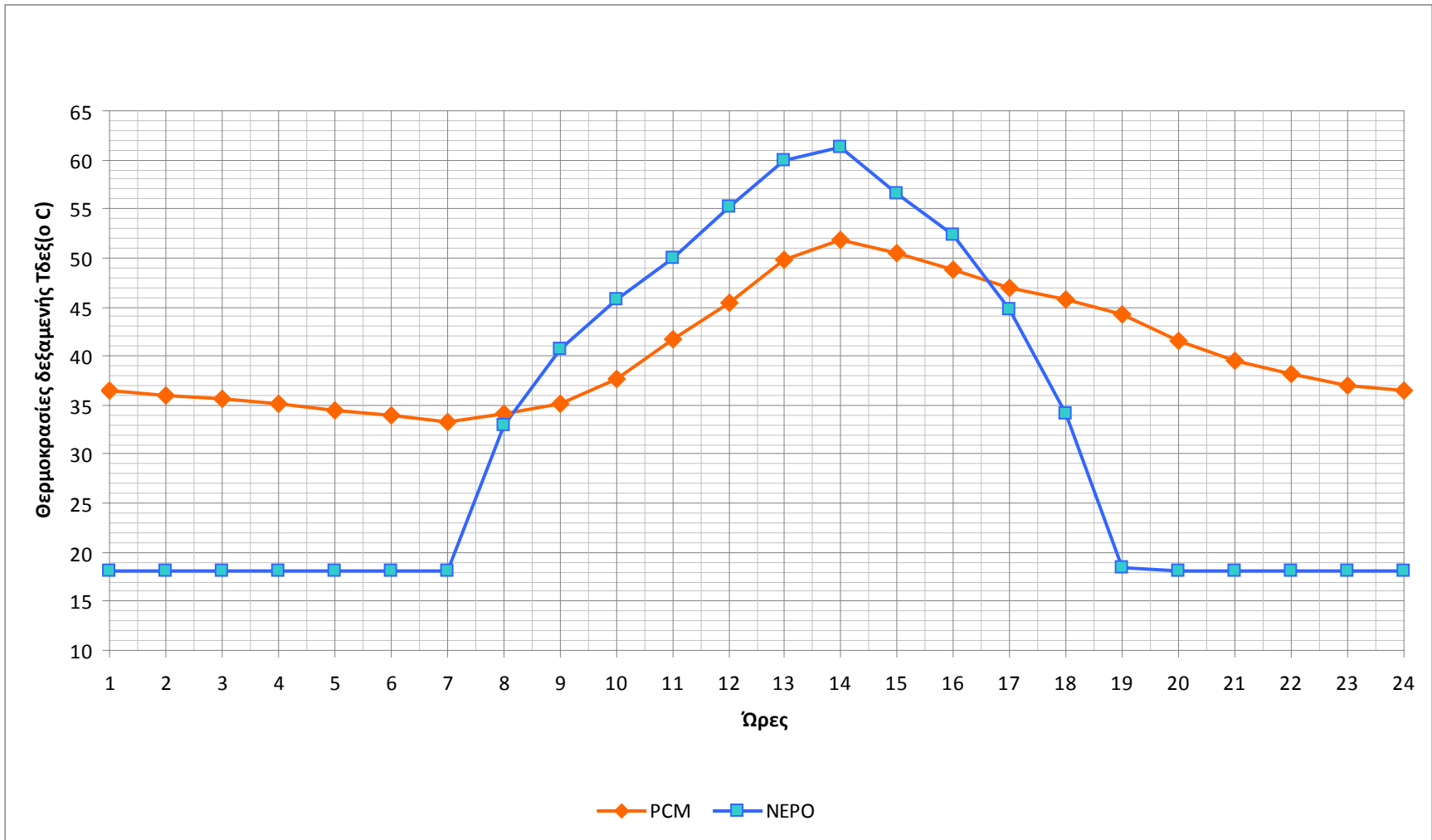
Διάγραμμα 22 : Θερμοκρασία δεξαμενής κατά τη διάρκεια της 21ης Δεκεμβρίου, για κατανάλωση 25 W/m².



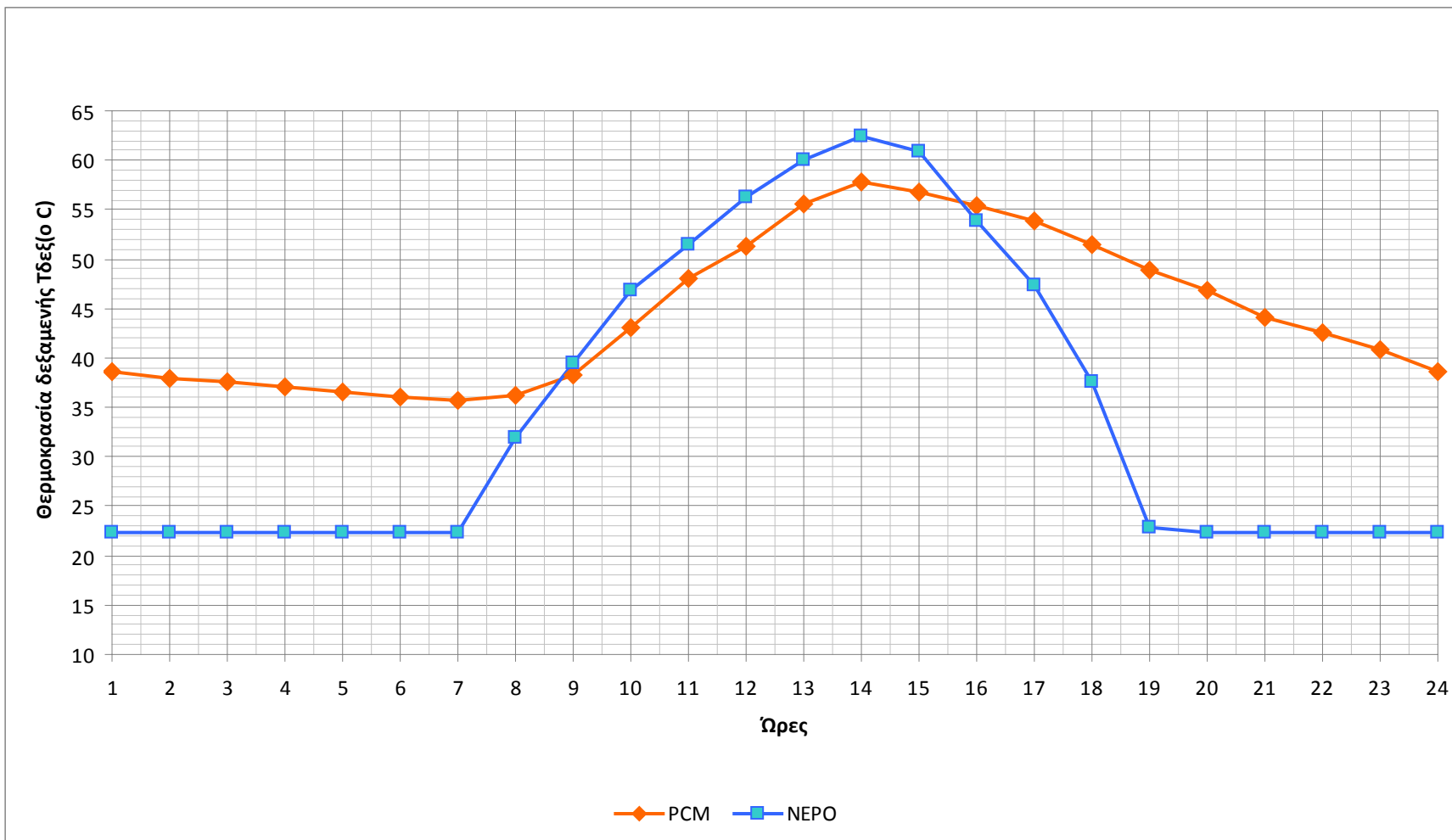
Διάγραμμα 23 : Θερμοκρασία δεξαμενής κατά τη διάρκεια της 21ης Ιανουαρίου, για κατανάλωση 25 W/m².



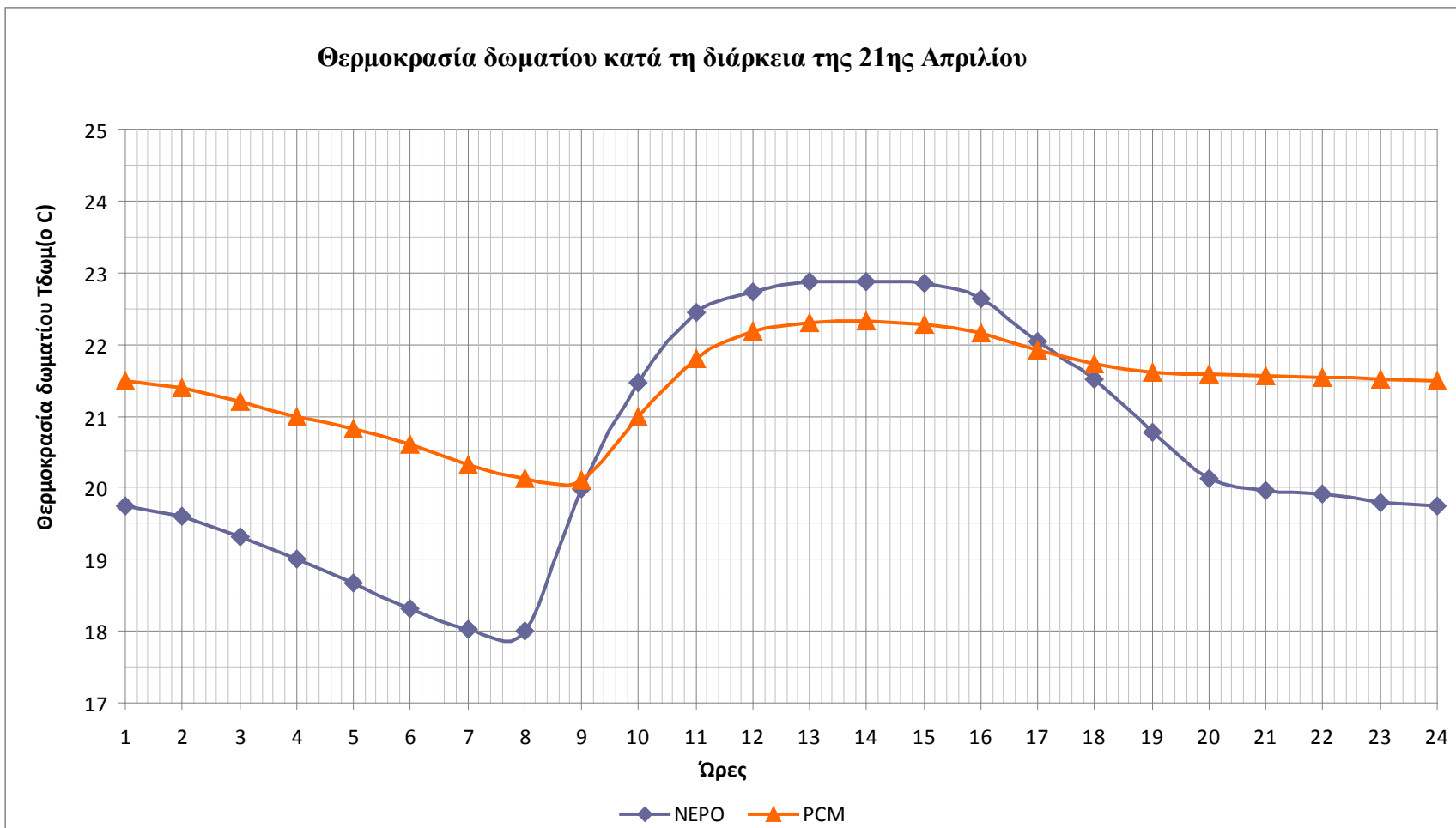
Διάγραμμα 24 : Θερμοκρασία δεξαμενής κατά τη διάρκεια της 21ης Φεβρουαρίου, για κατανάλωση 25 W/m².



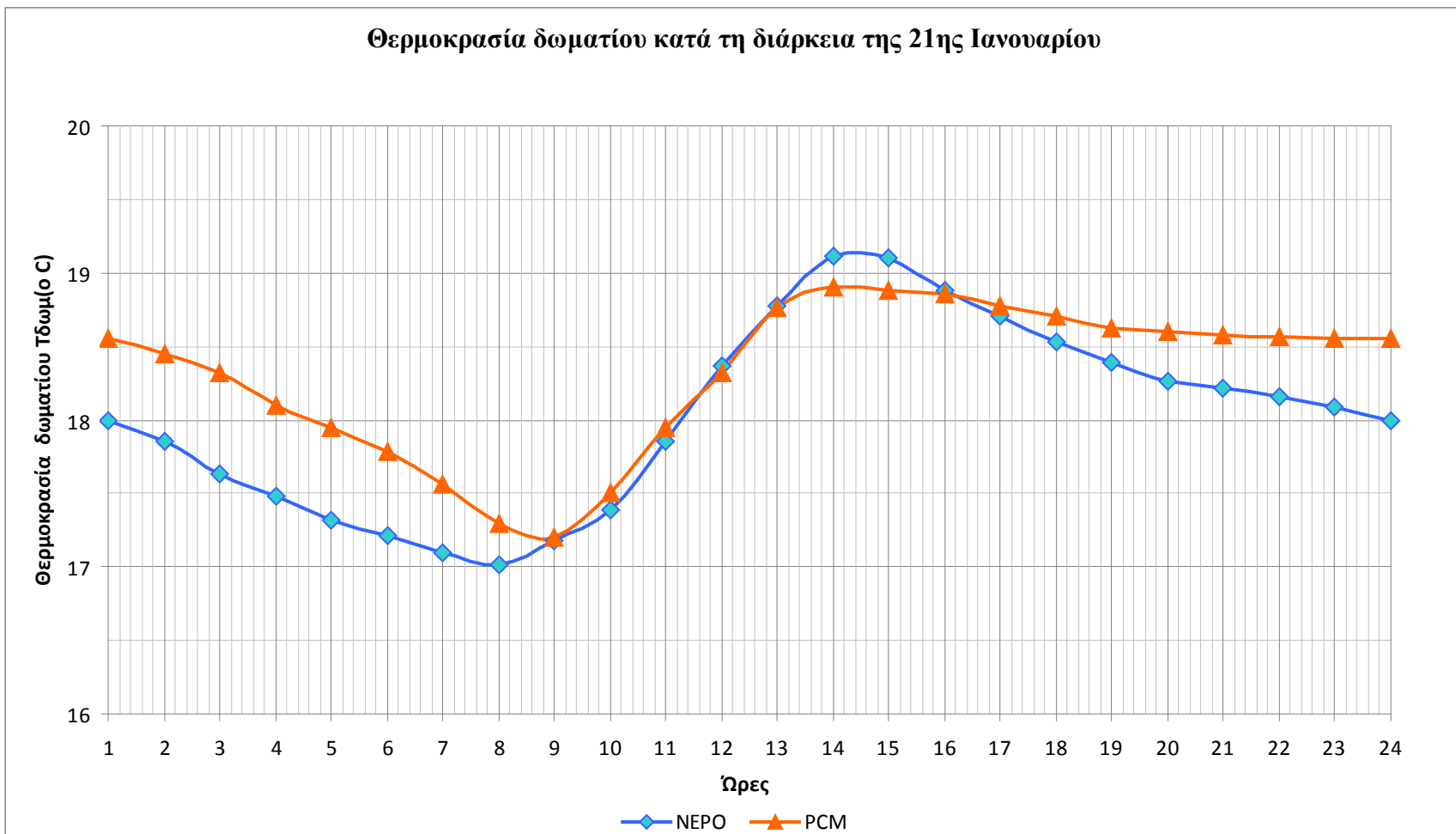
Διάγραμμα 25 : Θερμοκρασία δεξαμενής κατά τη διάρκεια της 21ης Μαρτίου, για κατανάλωση 25 W/m2.



Διάγραμμα 26 : Θερμοκρασία δεξαμενής κατά τη διάρκεια της 21ης Απριλίου, για κατανάλωση 25 W/m2.



Διάγραμμα 27 : Θερμοκρασία δωματίου κατά τη διάρκεια της 21^{ης} Απριλίου, για κατανάλωση 25 W/m².



Διάγραμμα 28 : Θερμοκρασία δωματίου κατά τη διάρκεια της 21^{ης} Ιανουαρίου, για κατανάλωση 25 W/m².

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Περιβαλλοντικός Οδηγός Θερμικών Ηλιακών Συστημάτων-ΥΠΙΑΝ και ΚΑΠΕ.
- [2] http://www.cres.gr/kape/energeia_politis_bioklimatic_passive.htm
http://www.cres.gr/kape/energeia_politis_bioklimatic_fotismos.htm
http://www.cres.gr/kape/energeia_politis_bioklimatic_drosismos.htm
- [3]
http://www.ecoarchitects.gr/images/FINAL/Pathitika_Hliaka_Systimata.pdf
- [4] THERMAL ENERGY STORAGE, Systems and Applications-Ibrahim Dincer Marc A.Rosen-εκδόσεις WILEY (σελ.120-121)
- [5] http://el.wikipedia.org/wiki/Κατάσταση_της_ύλης
- [6] <http://www.daikin.gr/faq/items/sensible-latent-heat.jsp>
- [7] Incropera F.P., DeWitt D.P., Introduction to Heat Transfer, John Wiley and Sons Publishing Co., New York, 1990
- [8] http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_of_fusion
- [9] <http://www.fskab.com/annex10/workshops/html>
- [10] Ghoneim.A.A. & Klein.S.A, Phase Change Materials Analysis, Solar Energy, Vol.47, No.3., 1991
- [11] Lane George A., Solar Heat Storage: Latent Heat Materials Volume I: Background and Scientific Principles. Vol. I. 1983, Florida: CRC Press, Inc.
- [12] <http://en.wikipedia.org/wiki/Paraffin>
- [13] <http://en.wikipedia.org/wiki/Alkane>
- [14] http://en.wikipedia.org/wiki/Fatty_acid
- [15] http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_sulfate
- [16] Tomlinson.J, New Materials for Thermal Storage, Oak Ridge National Laboratory, No.4, Tennessee, USA, 1989

[17] Lane.G.A, Phase Change Materials for Energy Storage Nucleation to Prevent Supercooling, Solar Energy Materials and Solar Cells, 27, 1991

[18] Zhang X.X., Fan Y.F., Tao X.M., Yick K.L., Crystallization and prevention of supercooling of microencapsulated n-alkanes, Journal of colloid and interface Science, 281, 2005

[19] Lane George A., Solar Heat Storage, Latent Heat Materials, Vol. II, CRC Press, USA, 1983

[20] http://en.wikipedia.org/wiki/differential_scanning_calorimetry

[21] PCM thermal storage in buildings: A state of art, Vineet Veer Tyagi, D.Buddhi*

[22] Solar energy storage using phase change materials, Murat Kenisarin, Khamid Mahkamov

[23] Dynamic characteristics and energy performance of buildings using phase change materials: A review, Na Zhu, Zhenjun Ma, Shengwei Wang – Table 1/page 3178

[24] <http://freespace.virgin.net/m.eckert/index.htm>

[25] An approach to the simulation of PCMs in building applications using TRNSYS, Manuel Ibanez, Ana Lazaro, Belen Zalba, Luisa F. Cabeza

[26] Effect of double layer phase change material in building roof for year round thermal management, A. Pasupathy, R. Velraj

[27] Mathematical Modelling and Experimental Investigation of Melting and Solidification in a Finned Phase Change Material Storage, Report A8, Piia Lamberg- A Helsinki University of Technology. Department of Mechanical Engineering. Laboratory of Heating, Ventilating and Air Conditioning. A Espoo 2003.

[28] Phase Change Materials-Part V., Harald Mehling and Luisa Cabeza

[29] <http://www.physics4u.gr/.../sunenergy.html>

[30]

http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_active_solar.htm

[31] <http://www.eac.com.cy/GR/Pages/solarenergygr.aspx>

[32] http://en.wikipedia.org/wiki/Phase_Change_Material

[33] http://www.ecofinder.gr/learn/Ηλιακός_Θερμοσίφωνα

[34] www.pcmproducts.net

[35] «ΘΕΡΜΙΚΑ-ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ», Κίμων Αντωνόπουλος, Αθήνα 2007(Εκδόσεις Ε.Μ.Π.)

[36] «ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ», Κίμων Αντωνόπουλος, Αθήνα 2007 (Εκδόσεις Ε.Μ.Π.)

[37] www.rubitherm.com

ΠΙΝΑΚΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Πίνακας 10 :

Ισοδύναμη θερμοκρασία Αθηνών κατά την 21η Ιανουαρίου για επιφάνειες ανοικτού ($h_o/a=38W/m^2C$) και σκούρου ($h_o/a=19W/m^2C$) χρώματος [36].

ATHENS/JAN21		ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤ. ΑΕΡΑ °C								$h_o/a=38$
Hrs	Ambient Temp.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	HOR
1	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3
2	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1
3	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7
4	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3
5	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
6	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
7	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1
8	7,6	8,5	11,0	19,5	21,5	16,0	8,5	8,5	8,5	7,1
9	8,3	10,0	10,0	23,0	28,6	23,3	10,2	10,0	10,0	12,4
10	9,3	11,5	11,5	21,7	30,5	28,2	16,1	11,5	11,5	16,9
11	10,4	12,8	12,8	18,3	29,9	31,5	22,2	12,8	12,8	20,1
12	11,4	13,9	13,9	13,9	27,6	33,2	27,6	13,9	13,9	21,8
13	12,1	14,5	14,5	14,5	23,8	33,2	31,6	20,0	14,5	21,8
14	12,5	14,6	14,6	14,6	19,2	31,3	33,6	24,8	14,6	20,0
15	12,4	14,2	14,2	14,2	14,4	27,4	32,7	27,1	14,2	16,5
16	12,1	13,1	13,1	13,1	13,1	20,6	26,1	24,0	15,5	11,6
17	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
18	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8
19	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
20	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
21	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
22	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8
23	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6
24	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5

ATHENS/JAN21		ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤ. ΑΕΡΑ °C								$h_o/a=19$
Hrs	Ambient Temp.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	HOR
1	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3
2	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1
3	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7
4	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3
5	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
6	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
7	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1
8	7,6	9,5	14,4	31,3	35,5	24,5	9,5	9,5	9,5	10,5
9	8,3	11,8	11,8	37,7	48,8	38,2	12,2	11,8	11,8	20,4
10	9,3	13,6	13,6	34,1	51,7	47,0	22,9	13,6	13,6	28,3
11	10,4	15,2	15,2	26,3	49,5	52,6	33,9	15,2	15,2	33,7
12	11,4	16,4	16,4	16,4	43,8	55,1	43,8	16,4	16,4	36,1
13	12,1	16,9	16,9	16,9	35,6	54,3	51,2	27,9	16,9	35,3
14	12,5	16,8	16,8	16,8	26,0	50,2	54,8	37,2	16,8	31,4
15	12,4	15,9	15,9	15,9	16,3	42,3	52,9	41,8	15,9	24,5
16	12,1	14,0	14,0	14,0	14,0	29,0	40,1	35,9	18,9	15,0
17	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
18	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8
19	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
20	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
21	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
22	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8
23	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6
24	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5

Πίνακας 11 :

Ισοδύναμη θερμοκρασία Αθηνών κατά την 21η Φεβρουαρίου για επιφάνειες ανοικτού ($h_o/a=38W/m^2C$) και σκούρου ($h_o/a=19W/m^2C$) χρώματος [36].

ATHENS/FEB21		ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤ. ΑΕΡΑ °C								$h_o/a=38$
Hrs	Ambient Temp.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	HOR
1	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
2	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
3	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
4	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6
5	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4
6	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4
7	8,6	9,1	11,7	14,5	14,1	10,8	9,1	9,1	9,1	5,9
8	9,2	10,9	15,8	25,5	26,7	18,6	10,9	10,9	10,9	12,1
9	10,1	12,5	14,3	26,9	31,1	24,4	12,5	12,5	12,5	17,7
10	11,3	14,1	14,1	25,0	32,3	29,0	16,9	14,1	14,1	22,4
11	12,4	15,5	15,5	21,4	31,5	32,2	23,2	15,5	15,5	25,8
12	13,5	16,7	16,7	16,7	28,9	34,0	28,9	16,7	16,7	27,6
13	14,2	17,3	17,3	17,3	25,1	34,1	33,3	23,2	17,3	27,6
14	14,6	17,4	17,4	17,4	20,3	32,3	35,7	28,3	17,4	25,7
15	14,5	16,9	16,9	16,9	16,9	28,8	35,5	31,3	18,7	22,1
16	14,0	15,7	15,7	15,7	15,7	23,5	31,5	30,3	20,6	16,9
17	13,3	13,7	13,7	13,7	13,7	15,5	18,8	19,2	16,3	10,6
18	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4
19	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
20	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8
21	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3
22	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
23	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8
24	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7

ATHENS/FEB21		ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤ. ΑΕΡΑ °C								$h_o/a=19$
Hrs	Ambient Temp.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	HOR
1	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
2	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
3	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
4	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6
5	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4
6	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4
7	8,6	9,5	14,8	20,4	19,7	13,0	9,5	9,5	9,5	7,1
8	9,2	12,6	22,4	41,9	44,2	28,1	12,6	12,6	12,6	18,8
9	10,1	14,9	18,5	43,7	52,0	38,7	14,9	14,9	14,9	29,1
10	11,3	16,9	16,9	38,7	53,4	46,7	22,6	16,9	16,9	37,4
11	12,4	18,6	18,6	30,3	50,5	52,0	34,0	18,6	18,6	43,0
12	13,5	19,8	19,8	19,9	44,4	54,5	44,4	19,9	19,8	45,6
13	14,2	20,4	20,4	20,4	35,8	53,8	52,3	32,1	20,4	44,8
14	14,6	20,3	20,3	20,3	25,9	50,0	56,7	42,1	20,3	40,7
15	14,5	19,3	19,3	19,3	19,3	43,1	56,4	48,0	22,8	33,5
16	14,0	17,4	17,4	17,4	17,4	32,9	49,0	46,7	27,2	23,6
17	13,3	14,2	14,2	14,2	14,2	17,7	24,4	25,1	19,4	11,7
18	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4
19	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
20	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8
21	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3
22	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
23	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8
24	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7

Πίνακας 12 :

Ισοδύναμη θερμοκρασία Αθηνών κατά την 21η Μαρτίου για επιφάνειες ανοικτού ($h_o/a=38W/m^2C$) και σκούρου ($h_o/a=19W/m^2C$) χρώματος [36].

ATHENS/MAR21		ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤ. ΑΕΡΑ °C									$h_o/a=38$
Hrs	Ambient Temp.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	HOR	
1	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	
2	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	
3	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	
4	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
5	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
6	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	
7	10,4	11,8	19,2	24,2	22,0	13,9	11,8	11,8	11,8	11,1	
8	11,0	13,4	20,8	29,5	28,8	19,1	13,4	13,4	13,4	17,2	
9	11,8	14,8	18,9	29,6	31,7	23,9	14,8	14,8	14,8	22,7	
10	12,7	16,1	16,1	27,2	32,2	27,8	16,6	16,1	16,1	27,1	
11	13,5	17,3	17,3	23,1	30,8	30,6	22,6	17,3	17,3	30,2	
12	14,2	18,0	18,0	18,0	27,9	32,0	27,9	18,0	18,0	31,6	
13	14,6	18,4	18,4	18,4	23,7	31,7	31,9	24,2	18,4	31,3	
14	14,7	18,2	18,2	18,2	18,7	29,9	34,2	29,2	18,2	29,1	
15	14,5	17,5	17,5	17,5	17,5	26,6	34,4	32,3	21,6	25,4	
16	14,0	16,4	16,4	16,4	16,4	22,1	31,8	32,5	23,8	20,2	
17	13,4	14,8	14,8	14,8	14,8	16,8	25,0	27,2	22,1	14,0	
18	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	
19	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	
20	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	
21	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	
22	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	
23	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	
24	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	

ATHENS/MAR21		ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤ. ΑΕΡΑ °C									$h_o/a=19$
Hrs	Ambient Temp.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	HOR	
1	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	
2	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	
3	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	
4	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
5	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
6	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	
7	10,4	13,2	27,9	38,0	33,7	17,3	13,2	13,2	13,2	15,6	
8	11,0	15,8	30,5	48,0	46,7	27,2	15,8	15,8	15,8	27,3	
9	11,8	17,9	26,0	47,4	51,6	36,0	17,9	17,9	17,9	37,5	
10	12,7	19,6	19,6	41,6	51,7	43,0	20,6	19,6	19,6	45,4	
11	13,5	21,0	21,0	32,7	48,1	47,7	31,6	21,0	21,0	50,7	
12	14,2	21,8	21,8	21,9	41,5	49,7	41,5	21,9	21,8	52,9	
13	14,6	22,1	22,1	22,1	32,7	48,8	49,2	33,8	22,1	51,8	
14	14,7	21,7	21,7	21,7	22,7	45,1	53,8	43,7	21,7	47,5	
15	14,5	20,6	20,6	20,6	20,6	38,7	54,3	50,1	28,7	40,2	
16	14,0	18,8	18,8	18,8	18,8	30,2	49,7	51,0	33,5	30,3	
17	13,4	16,2	16,2	16,2	16,2	20,3	36,6	41,0	30,9	18,5	
18	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	
19	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	
20	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	
21	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	
22	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	
23	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	
24	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	

Πίνακας 13 :

Ισοδύναμη θερμοκρασία Αθηνών κατά την 21η Απριλίου για επιφάνειες ανοικτού ($h_o/a=38W/m^2C$) και σκούρου ($h_o/a=19W/m^2C$) χρώματος [36].

ATHENS/APR21		ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤ. ΑΕΡΑ °C								$h_o/a=38$
Hrs	Ambient Temp.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	HOR
1	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0
2	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3
4	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
5	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
6	12,3	14,1	18,1	19,2	16,7	13,1	13,1	13,1	13,1	10,3
7	12,9	15,3	25,6	29,6	25,2	15,1	15,1	15,1	15,1	16,7
8	13,8	16,8	26,2	32,8	30,0	19,5	16,8	16,8	16,8	22,9
9	14,9	18,4	24,6	32,7	32,4	23,9	18,4	18,4	18,4	28,4
10	16,1	20,1	22,0	30,5	32,9	27,8	20,1	20,1	20,1	33,0
11	17,2	21,4	21,4	27,0	31,9	30,7	24,0	21,4	21,4	36,2
12	16,1	22,4	22,4	22,5	29,3	32,2	29,3	22,5	22,4	37,9
13	18,7	23,0	23,0	23,0	25,6	32,2	33,4	28,5	23,0	37,7
14	18,9	22,9	22,9	22,9	22,9	30,6	35,8	33,4	24,8	35,8
15	18,7	22,3	22,3	22,3	22,3	27,7	36,2	36,5	28,5	32,2
16	18,1	21,1	21,1	21,1	21,1	23,8	34,4	37,1	30,6	27,3
17	17,4	19,8	19,5	19,5	19,5	19,5	29,6	34,1	30,0	21,2
18	16,5	18,3	17,3	17,3	17,3	17,3	20,9	23,4	22,3	14,5
19	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7
20	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
21	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
22	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
23	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6
24	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3

ATHENS/APR21		ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤ. ΑΕΡΑ °C								$h_o/a=19$
Hrs	Ambient Temp.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	HOR
1	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0
2	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3
4	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
5	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
6	12,3	15,8	23,9	26,1	21,1	13,8	13,8	13,8	13,8	12,2
7	12,9	17,8	38,2	46,3	37,4	17,2	17,2	17,2	17,2	24,5
8	13,8	19,8	38,6	51,8	46,2	25,2	19,8	19,8	19,8	55,9
9	14,9	22,0	34,4	50,5	49,9	33,0	22,0	22,0	22,0	45,9
10	16,1	24,1	27,9	45,0	49,8	39,6	24,1	24,1	24,1	53,8
11	17,2	25,7	25,7	36,8	46,6	44,1	30,9	25,7	25,7	59,1
12	18,1	26,8	26,8	26,8	40,5	46,2	40,5	26,8	26,8	61,5
13	18,7	27,2	27,2	27,2	32,4	45,6	48,1	38,3	27,2	60,7
14	18,9	26,9	26,9	26,9	26,9	42,4	52,7	47,9	30,8	56,6
15	18,7	25,8	25,8	25,8	25,8	36,8	53,7	54,3	38,2	49,7
16	18,1	24,1	24,1	24,1	24,1	29,5	50,6	56,1	43,0	40,3
17	17,4	22,2	21,7	21,7	21,7	21,7	41,9	50,8	42,7	29,0
18	16,5	20,0	18,0	18,0	18,0	18,0	25,3	30,3	28,1	16,4
19	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7
20	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
21	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
22	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
23	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6
24	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3

Πίνακας 14 :

Ισοδύναμη θερμοκρασία Αθηνών κατά την 21η Νοεμβρίου για επιφάνειες ανοικτού ($h_o/a=38W/m^2C$) και σκούρου ($h_o/a=19W/m^2C$) χρώματος [36].

ATHENS/NOV21 ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤ. ΑΕΡΑ °C $h_o/a=38$

Hrs	Ambient Temp.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	HOR
1	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
2	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
3	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
5	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2
6	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1
7	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1
8	11,3	12,4	14,8	22,9	24,9	19,6	12,4	12,4	12,4	11,0
9	11,7	13,7	13,7	26,3	31,6	26,4	13,8	13,7	13,7	16,1
10	12,4	14,7	14,7	24,7	33,2	30,9	19,2	14,7	14,7	20,2
11	13,0	15,7	15,7	21,1	32,4	33,9	24,8	15,7	15,7	23,0
12	13,6	16,4	16,4	16,4	29,7	35,2	29,7	16,4	16,4	24,4
13	14,1	16,7	16,7	16,7	25,8	34,9	33,4	22,1	16,7	24,0
14	14,2	16,6	16,6	16,6	21,0	32,8	35,1	26,5	16,6	22,0
15	14,0	15,9	15,9	15,9	16,0	28,6	33,8	28,5	15,9	18,3
16	13,5	14,6	14,6	14,6	14,6	21,7	27,1	25,1	17,0	13,2
17	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8
18	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
19	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
20	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9
21	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7
22	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7
23	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9
24	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1

ATHENS/NOV21 ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤ. ΑΕΡΑ °C $h_o/a=19$

Hrs	Ambient Temp.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	HOR
1	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
2	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
3	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
5	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2
6	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1
7	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1
8	11,3	13,5	18,3	34,6	38,5	27,8	13,5	13,5	13,5	14,7
9	11,7	15,6	15,6	40,8	51,4	41,1	15,6	15,6	15,6	24,3
10	12,4	17,1	17,1	37,1	54,1	49,5	26,0	17,1	17,1	31,9
11	13,0	18,4	18,4	29,1	51,7	54,7	36,5	18,4	18,4	36,9
12	13,6	19,1	19,1	19,2	45,8	56,8	45,8	19,2	19,1	39,0
13	14,1	19,4	19,4	19,4	37,5	55,8	52,7	30,2	19,4	37,9
14	14,2	18,9	18,9	18,9	27,8	51,3	55,9	38,9	18,9	33,7
15	14,0	17,8	17,8	17,8	18,0	43,3	53,6	43,0	17,8	26,5
16	13,5	15,7	15,7	15,7	15,7	30,0	40,7	36,8	20,5	16,8
17	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8
18	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
19	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
20	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9
21	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7
22	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7
23	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9
24	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1

Πίνακας 15 :

Ισοδύναμη θερμοκρασία Αθηνών κατά την 21η Δεκεμβρίου για επιφάνειες ανοικτού ($h_o/a=38W/m^2C$) και σκούρου ($h_o/a=19W/m^2C$) χρώματος [36].

ATHENS/DEC21 ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤ. ΑΕΡΑ °C $h_o/a=38$

Hrs	Ambient Temp.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	HOR
1	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6
2	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3
4	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1
5	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9
6	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
7	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9
8	8,3	9,0	10,5	17,3	19,3	15,2	9,0	9,0	9,0	6,6
9	8,8	10,3	10,3	22,3	28,1	23,5	11,2	10,3	10,3	11,6
10	9,4	11,4	11,4	21,1	30,2	28,3	16,5	11,4	11,4	15,6
11	10,1	12,3	12,3	17,6	29,5	31,4	22,1	12,3	12,3	18,4
12	10,7	13,0	13,0	13,0	27,0	32,7	27,0	13,0	13,0	19,7
13	11,1	13,3	13,3	13,3	23,1	32,4	30,5	18,6	13,3	19,3
14	11,2	13,2	13,2	13,2	18,4	30,1	32,0	22,9	13,2	17,4
15	11,1	12,7	12,7	12,7	13,5	25,8	30,4	24,6	12,7	13,9
16	10,8	11,5	11,5	11,5	11,5	17,8	21,8	19,8	13,0	9,1
17	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
18	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9
19	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4
20	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1
21	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8
22	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7
23	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7
24	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7

ATHENS/DEC21 ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤ. ΑΕΡΑ °C $h_o/a=19$

Hrs	Ambient Temp.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	HOR
1	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6
2	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3
4	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1
5	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9
6	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
7	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9
8	8,3	9,7	12,7	26,3	30,2	22,2	9,7	9,7	9,7	8,8
9	8,8	11,8	11,8	35,8	47,4	38,1	13,5	11,8	11,8	18,2
10	9,4	13,4	13,4	32,8	51,0	47,2	23,7	13,4	13,4	25,6
11	10,1	14,6	14,6	25,2	49,0	52,6	34,1	14,6	14,6	30,5
12	10,7	15,4	15,4	15,4	43,2	54,8	43,2	15,4	15,4	32,6
13	11,1	15,6	15,6	15,6	35,1	53,6	49,9	26,1	15,6	31,5
14	11,2	15,2	15,2	15,2	25,5	49,1	52,8	34,6	15,2	27,5
15	11,1	14,2	14,2	14,2	15,9	40,5	49,7	38,2	14,2	20,6
16	10,8	12,3	12,3	12,3	12,3	24,7	32,8	28,9	15,2	11,4
17	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
18	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9
19	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4
20	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1
21	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8
22	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7
23	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7
24	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7

Innovative PCM's
and
Thermal Technology



RUBITHERM
PHASE CHANGE MATERIAL



RUBITHERM® RT

Phase Change Material based on n-Paraffins and Waxes

A new generation of ecological heat storage materials utilising the processes of phase change between solid and liquid (melting and congealing) to store and release large quantities of thermal energy at nearly constant temperature.

The *RUBITHERM®* phase change materials (PCM's) provide a very effective means for storing heat and cold, even when limited volumes and low operating temperature differences are applicable.

We look forward to discussing your particular questions, needs and interests with you.

Properties:

- High thermal energy storage capacity
- Heat storage and release take place at relatively constant temperatures
- No supercooling effect
- Long life product, with stable performance through the phase change cycles
- Ecologically harmless and non-toxic
- chemically inert
- Melting temperature range between approx. -4 °C and 100 °C

Rubitherm Technologies GmbH
Sprenzberger Str. 5a
D-12277 Berlin

Tel: +49 30 720004-62
Fax: +49 30 720004-99
E-Mail: info@rubitherm.com
Internet: www.rubitherm.com

Data Sheet

RUBITHERM® RT 42**Typical Values**

Melting area	°C	38 - 43 Typical being: 41 °C
Congeealing area	°C	43 - 37 Typical being: 42 °C
Heat storage capacity Temperature range 35 °C to 50 °C	kJ/kg	174
Density solid at 15 °C	kg/l	0.88
Density liquid at 80 °C	kg/l	0.76
Volume expansion In phase change range	%	16
Heat conductivity	W/(m*K)	0.2
Kin. Viscosity at °C	mm ² /s	30.93
Flash point (PCM)	°C	> 100
corrosion		chemically inert with respect to most materials
water hazard		Water hazard class (WGK) 1

Version: 20.08.2009

EEC-Safety data sheet
PHASE CHANGE MATERIAL

page 1/2

Version: 1 Date: 18/01/2008 Revision: 03/04/2009

1. Chemical product and company identification

RUBITHERM® RT 42

Manufacturer/supplier:

Rubitherm Technologies GmbH
Sperenberger Str. 5a, 12277 Berlin
Tel.: +49 30/720004-62, Fax: +49 30/720004-99

Emergency telephone:

Tel.: +49 30/720004-62

2. Potential hazards

EEC-labelling: -

Potential dangers to health and environment:

Contact with liquid product skin burns can be caused.

Danger of fire and explosion:

Low risk. Product creates only ignitable mixtures or burns, if temperature exceeds flash point.

3. Composition/information of ingredients

Chemical characterisation:

Solid saturated hydrocarbons,
molecular formula C_nH_{2n+2}

CAS-No: 8002-74-2

EINECS-No: 232-315-6

4. First-aid measures

Inhalation:

Take concerned person to fresh air. In case of lasting aches and pains take medical advices.

Eye contact:

In case of eyes contact rinse out eyes burns can be caused. In case of lasting aches and pains take medical advices.

Skin contact:

In case of skin contact wash concerned area with water and soap. In case of irritation take medical advice. Contact with liquid product skin burns can be caused. Cooling burned skin and take medical advices.

In case of swallowing:

Drink water and rinse out mouth. Don't induce vomiting, risk of aspiration. Take medical advices immediately.

5. Fire-fighting measures

Suitable means for extinguishing:

Carbon dioxide, foam, sand, water mist

Unsuitable means for extinguishing:

Water jet

Special hazards caused by the substance, its combustion products or arising gases:

Product fumes and air can cause explosive conglomerates heavier than air. Inflammation by hot surfaces, unshielded flames and sparks.

Don't inhale combustion gases and suspended matter which formed at combustion. Carbon monoxide, carbon dioxide and soot can also develop.

Special protective equipment in closed rooms:

Use breathing apparatus independent from ambient air.

Additional information:

Cool endangered containers externally with water

Fire class according to DIN-EN 2: B

6. Measures in case of unintended release

Personal precautions:

Caution of wet floor by leaking product. Slip hazard.

Avoid inhalation of product fumes. Keep product away from ignition sources, don't smoke.

Environmental precautions:

It's not allowed to drain into environment, into bodies of water or sewage water system.

Avoid soil contamination.

Methods for cleaning up:

Solid: remove product mechanically

Liquid: let product cold out and than remove it mechanically.

7. Handling and storage

Handling

Advices for safe handling:

No special measures necessary while using correctly.

Avoid skin- and eyes contact.

Avoid dust building.

Advices for protection against fire and explosion:

Product mist and air can cause explosive conglomerate.

Storage

Requirements for storerooms and containers:

Store the product dry, cool and in closed barrels devoid of light. Avoid storage in near from ignition or heat sources.

Take measure against electrostatic charging. Earth appliances.

Store liquid product in heatable tanks. Avoid the formation of aerosols and product mist at the decant.

Storage class: 11

Information for storage together with other products:

Avoid storage together with strong oxidising agents.

8. Exposure controls / personal protection

Ingredients with occupational exposure limits which should be monitored:

1. Germany/Switzerland/Austria

There is no AGW-value for paraffin wax.

2. Germany:

For aerosols and fine dust AGW-value of 3 mg/m³ has to be kept to.

3. USA

TLV-value for paraffin vapour: 2 mg/m³

Technical measures of control and air ventilation

Ensure good ventilation at workplace in case of handling the product in closed rooms with higher temperature. Product concentration is to be kept under exposition threshold values.

Personal protective equipment:

Hand protection: protective gloves made of NBR (nitril), neoprene, vitone (permeation level: 5 - 6) kat: II gem. EN 388

Eye protection: safety goggles

Body protection: protective clothes

Breathing protection: In case of arising gases and inadequately ventilation at workplace use breathe apparatus.

EEC-Safety data sheet

RUBITHERM® RT 42

9. Physical and chemical properties

page: 2/2

Physical state: at room temperature

solid

Colour: clear (liquid), whitish

(Solid)

Odour: odourless

Melting point (OECD 103): 38 - 43 °C

Typical: 42 °C

Boiling range (OECD 103): > 300 °C

Flash point: approx. 192 °C

Auto flammability: > 240 °C

Explosive limit in air: 0.35 – 3.5 Vol.-%

Vapour pressure at 20 °C (OECD104): < 0.1 hPa

Density at 70°C (DIN 51 757): 0.74 Kg/l

Solubility at 20°C - in water: insolubly

Viscosity at 70°C (Brookfield): 30.93 mm²/s

n.a. = not applicable; n.e. = not established

10. Stability / reactivity

Conditions to avoid:

No hazard reactions under normal conditions.

Avoid high thermal load.

Material to avoid:

Avoid strong oxidising agents.

Decomposition products:

None.

11. Toxicological information

Acute toxicity:

Orale LD50: > 5000 mg/kg (Rat)

Dermale LD50: > 3000 mg/kg (Rabbit)

Skin irritation: slightly irritant

Eye irritation: slightly irritant

Sensitisation: not sensibility

12. Environmental details

Avoid drain into environment.

Product is insoluble in water, remove it mechanically.

Elimination/persistence and degradability:

Non easy degradable.

13. Disposal considerations

Reclaiming and recycling otherwise can be disposed off after consultation with the responsible authorities according to the following waste disposal codes (European Waste Catalogue):

EWC-Code Description

12 01 12* used waxes and oils

Packaging:

If package optimal cleaned remove it again or recycle.

14. Transport information

Product is not a hazardous good according to ADR/RID; GGVs/GGVE, ADNR/ADN; IMDG/GGVSee; ICAO-TI and IATA-DGR).

No dangerous goods.

15. Statutory provisions

Technical Instructions on Air Quality:

Threshold value TAL: 150 mg/m³

Mass flow: 3 kg/h or higher

Substance class: III

Appendix: E

Labelling in accordance with the EEC directives:

-

Risk-phrase, R-phrase:

-

Safety advice, S-phrase:

S 2 avoid contact between children and product

S 23 Do not inhale gas/smoke/fumes/aerosol

S 24 Avoid contact with skin

S 62 In case of swallowing do not induce vomiting!

Take medical advice and show packaging and label.

16. Other information

Literature:

Ullmanns Encyclopädie der technischen Chemie
4. Auflage, Band 24, Kapitel "Wachse aus Erdöl",
Verlag Chemie GmbH, 1983.

This safety data sheet contains only safety related information.

For specific data see product data sheet.

The information in this data sheet is gathered to the best of RUBITHERM's knowledge and belief and fits as the experiences stand at the moment.

RUBITHERM doesn't guarantee the adherence of certain features in sense of legally binding.

In case of questions please call number given in point 1.

Rubitherm-Technologies GmbH