



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Παραμετρική Μελέτη Συστήματος
Ηλιακής Θέρμανσης Νερού Χρήσης με
Υλικά Αλλαγής Φάσης (P.C.Ms)**

ΦΩΚΙΑΝΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ ΚΙΜΩΝ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ 2011

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

<<Παραμετρική Μελέτη Συστήματος Ηλιακής Θέρμανσης Νερού Χρήσης με Υλικά Αλλαγής Φάσης (P.C.M.s)>>

ΦΩΚΙΑΝΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, οφείλω να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον καθηγητή μου, κ. Κ. Αντωνόπουλο, Καθηγητή Ε.Μ.Π., για την ανάθεση του θέματος, την εποπτεία της εργασίας και την ουσιαστική συνδρομή του κατά την διεξαγωγή της.

Ευχαριστώ ακόμη ιδιαίτερα, τον κ. Λ. Κραβαρίτη, Υποψήφιο Διδάκτορα Ε.Μ.Π., και την συμφοιτήτριά μου Παπαγεωργίου Σοφία, για την βιβλιογραφία που μου παρείχαν.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την συμφοιτήτριά και φίλη μου Αποστόλου Γεωργία, για την πολύτιμη βοήθεια και τη συμπαράσταση που μου προσέφερε, τον αγαπημένο μου ξάδερφο Παναγιώτου Παναγιώτη Βασίλη, για τον υπολογιστή που μου παρείχε για την συγγραφή της παρούσας εργασίας, κάθε φορά που παρουσιαζόταν ανάγκη, καθώς και την οικογένειά μου και τον Ζωντό Παναγιώτη για την κατανόησή και την στήριξή τους.

Φωκιανού Π. Παναγιώτα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος Ηλιακή Ενέργεια του 9^{ου} εξαμήνου, του Ενεργειακού τομέα, του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. και έχει ως αντικείμενο την θεωρητική μελέτη της θέρμανσης νερού χρήσης με χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας και των υλικών αλλαγής φάσης (**Phase Change Materials**).

Η μελέτη αυτή χωρίζεται βασικά σε δύο μέρη:

Το πρώτο μέρος περιλαμβάνει τη μελέτη των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων και τη θεωρητική μελέτη των υλικών αλλαγής φάσης και των εφαρμογών τους, που έχουν πραγματοποιηθεί ήδη για τη θέρμανση νερού χρήσης.

Το δεύτερο μέρος περιλαμβάνει την παραμετρική μελέτη ενός συστήματος δέσμευσης της ηλιακής ενέργειας, με σκοπό τη θέρμανση οικιακού νερού χρήσης με υλικά αλλαγής φάσης (PCMs).

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

ΥΑΦ – Υλικά Αλλαγής Φάσης – Παθητικά Ηλιακά Συστήματα – Ηλιακή Θέρμανση Νερού Χρήσης – Εφαρμογές ΥΑΦ

ABSTRACT

The present work was carried out as a Diploma Thesis in the subject of ‘Solar Energy’ in the School of Mechanical Engineering of the National Technical University of Athens. The Thesis concerns a parametric study of a solar heating system for domestic water using **Phase Change Materials (PCMs)**.

The study is divided into two main parts:

In the first part of the study a literature survey is made where the theory and applications of PCMs are analyzed.

In the second part a parametric study is conducted for solar water heating systems for domestic applications using PCMs.

Key Words

PCM – Phase Change Materials – Passive Solar Systems – Domestic Hot Water –
Properties of PCM

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΠΡΩΤΟ ΜΕΡΟΣ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο:ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑ	8
1.1. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	8
1.1.1.ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΜΕΣΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	9
1.2. ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ	10
1.3. ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	12
1.3.1. ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	12
1.3.2. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	13
1.3.3. ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	14
1.3.4. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	16
1.4. ΗΛΙΑΚΟΙ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΕΣ[4]	17
1.4.1. ΗΛΙΑΚΟΙ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΕΣ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ	18
1.4.2. ΗΛΙΑΚΟΙ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΕΣ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ	19
1.4.3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ.....	20
1.5. ΗΛΙΑΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ	24
2.1. ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ	24
2.1.1. ΓΕΝΙΚΑ	24
2.1.2. ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΤΗΞΗΣ	26
2.1.3. ΚΡΙΣΙΜΑ ΣΗΜΕΙΑ.....	27
2.2. ΑΙΣΘΗΤΗ ΚΑΙ ΛΑΝΘΑΝΟΥΣΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ.....	28
2.3. ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ	30
2.3.1. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΕΧΟΥΝ ΤΑ Υ.Α.Φ.	35
2.3.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ Υ.Α.Φ.	36
2.3.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	36
2.3.2.2. ΟΡΓΑΝΙΚΑ Υ.ΑΦ.	37
2.3.2.3 ΑΝΟΡΓΑΝΑ Υ.Α.Φ.	43
2.3.2.4. ΕΥΤΙΚΤΑ ΜΙΓΜΑΤΑ	45
2.4. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ Υ.Α.Φ.....	46
2.4.1. ΟΡΓΑΝΙΚΑ Υ.Α.Φ.....	47
2.4.2. ΑΝΟΡΓΑΝΑ Υ.Α.Φ.	47
2.5. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΑ ΥΛΙΚΑ ΤΩΝ Υ.Α.Φ.....	48
2.5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	48
2.5.2. ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΦΑΣΕΩΝ.....	49
2.5.3. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΥΠΟΨΥΞΗΣ - ΥΠΕΡΨΥΞΗΣ (SUBCOOLING– SUPERCoolING).....	50
2.5.4. ΜΙΚΡΗ ΤΙΜΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ.....	52

2.6. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ	53
2.6.1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ	53
2.6.2. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	55
2.7. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ Υ.Α.Φ. ΣΕ ΚΑΨΟΥΛΕΣ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ	60
2.7.1. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ ΤΩΝ Υ.Α.Φ.	61
2.7.2. ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ	61
2.7.3. ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ Υ.Α.Φ. ΜΕ ΑΛΛΑ ΥΛΙΚΑ	63
2.7.4. ΕΙΔΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ Υ.Α.Φ.	65
2.7.4.1. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΟΓΚΟΥ	65
2.7.4.2. MACROENCAPSULATION	66
2.7.4.3. MICROENCAPSULATION	68
2.7.4.4. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ Υ.Α.Φ. ΣΕ ΚΛΙΝΕΣ	70
2.8. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΕΠΑΦΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΕΣΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	73
2.9. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΕΠΑΦΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΕΣΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	75
2.10. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ Υ.Α.Φ. - ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	76
2.11. Υ.Α.Φ. ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ	77

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΧΡΗΣΗ Υ.Α.Φ. ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ ΣΕ ΟΙΚΙΑ 78

3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	78
3.2. ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ ΚΑΙ Υ.Α.Φ.	79
3.3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ Υ.Α.Φ. ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ ΣΕ ΟΙΚΙΑ	80
3.3.1. ΠΕΙΡΑΜΑ 1 ^ο	80
3.3.2. ΠΕΙΡΑΜΑ 2 ^ο	85
3.3.3. ΠΕΙΡΑΜΑ 3 ^ο	89
3.3.4. ΠΕΙΡΑΜΑ 4 ^ο	92
3.3.5. ΠΕΙΡΑΜΑ 5 ^ο	96
3.4. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	100

ΔΕΥΤΕΡΟ ΜΕΡΟΣ 101

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΧΡΗΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ 101

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	101
4.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΟΥΣ ΨΥΧΡΟΤΕΡΟΥΣ ΜΗΝΕΣ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ	102
4.2.1. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	102
4.2.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	107
4.3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΝΟΕΜΒΡΙΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ Υ.Α.Φ.	109
4.3.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ Υ.Α.Φ.	109
4.3.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	110

4.3.3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΗΘΗΚΕ	112
4.3.4. Υ.Α.Φ. ΠΟΥ ΧΡΗΣΗΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ	117
4.3.5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	118
4.3.6. ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	144
4.3.7. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	145
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	146
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	160

ΠΡΩΤΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑ

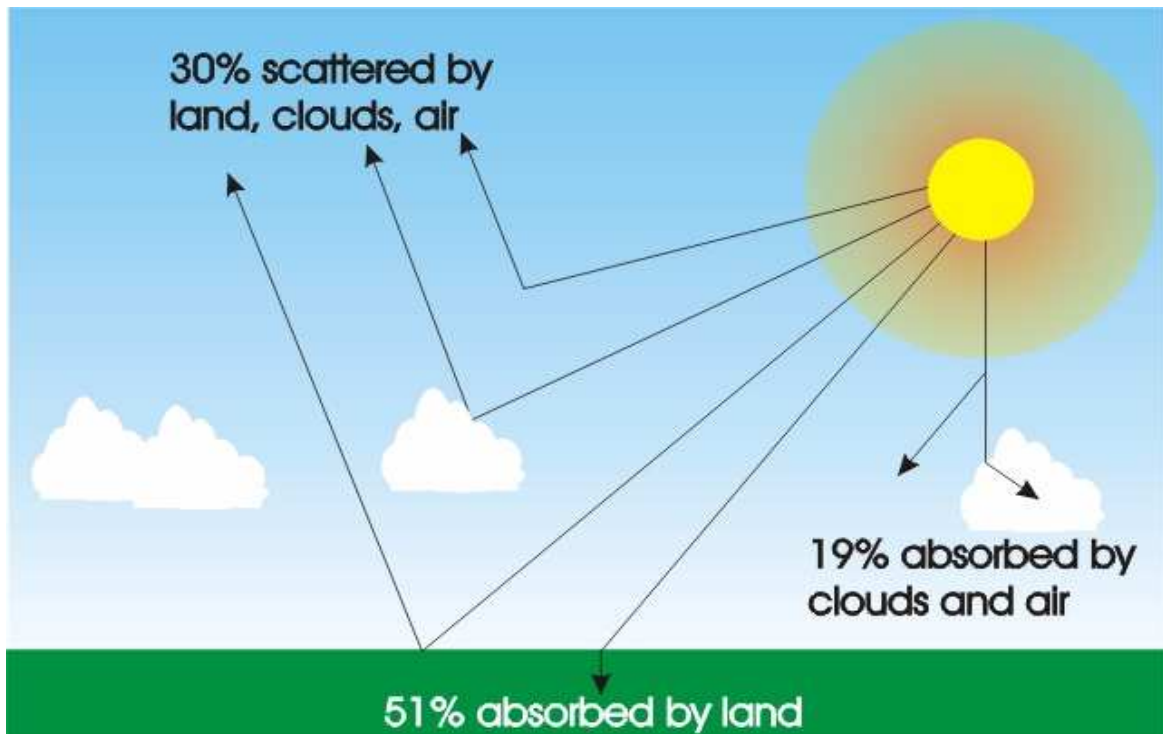
1.1. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που παράγεται στον ήλιο. Φτάνει σχεδόν αμετάβλητη στο ανώτατο στρώμα της ατμόσφαιρας του πλανήτη μας, διαμέσου του διαστήματος, και στη συνέχεια κατά τη διέλευσή της από την ατμόσφαιρα υπόκειται σε σημαντικές αλλαγές, που οφείλονται στην σύσταση της ατμόσφαιρας.

Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε ένα σημείο στην επιφάνεια της γης μια δεδομένη χρονική στιγμή χαρακτηρίζεται από την ένταση και την διεύθυνση πρόσπτωσης.

Στην επιφάνεια της γης φτάνει μόνο ένα μέρος της ακτινοβολίας που προέρχεται άμεσα από τον ήλιο (άμεση ηλιακή ακτινοβολία), ενώ το υπόλοιπο είτε απορροφάται από τα συστατικά της ατμόσφαιρας είτε ανακλάται πάλι προς το διάστημα ή προς την επιφάνεια της γης.

Η ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης μετά από διαδοχικές ανακλάσεις δεν έχει συγκεκριμένη διεύθυνση και καλείται διάχυτη ακτινοβολία [23].



Εικόνα 1: Κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας [23].

1.1.1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΜΕΣΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η ηλιακή ενέργεια είναι πρωτογενής, ήπια και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας η οποία έμμεσα δίνει γένεση σε άλλες τρεις ήπιες και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, την υδραυλική, την αιολική και την ενέργεια της βιομάζας.

Στις μεθόδους άμεσης ενεργειακής αξιοποίησης της ακτινοβολίας του ήλιου που φτάνει στην επιφάνεια της γης, ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για:

α). **άμεση παραγωγή θερμότητας**, με ενεργητικά και παθητικά ηλιακά συστήματα.

Αν η παραγόμενη θερμότητα είναι υψηλής θερμοκρασίας, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ατμού και στη συνέχεια μηχανικής ενέργειας (με ατμοστρόβιλους). Η μηχανική ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια. Σε αυτή τη περίπτωση αναφερόμαστε σε θερμική παραγωγή ηλεκτρισμού από την ηλιακή ενέργεια.

β). **άμεση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας**, με την εκμετάλλευση του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

Συνήθως διακρίνουμε τις:

- θερμικές και τις θερμικές ηλεκτρικές εφαρμογές
- ηλεκτρικές ή φωτοβολταϊκές εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας.

Ειδικότερα, στις θερμικές εφαρμογές γίνεται αξιοποίηση της θερμικής ενέργειας από ακτινοβολία του ήλιου ενώ στις ηλεκτρικές εφαρμογές αξιοποιείται η κβαντική ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας.

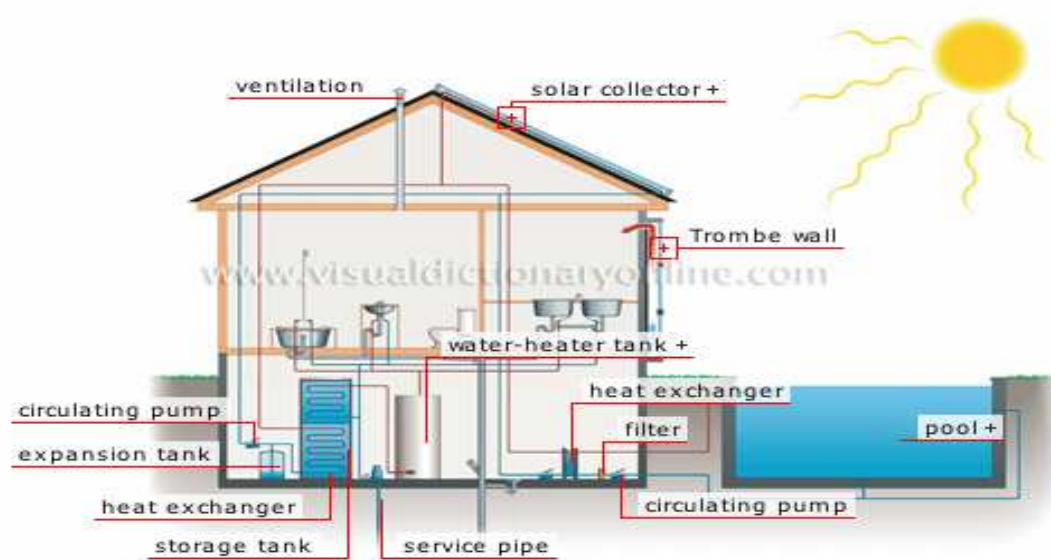
1.2. ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ

Η Ηλιακή ενέργεια αποτελεί μια ασφαλή και ανανεώσιμη πηγή με δυνατότητες κάλυψης μεγάλου τμήματος τόσο των θερμικών όσο και ηλεκτρικών αναγκών της ανθρώπινης δραστηριότητας.

Οι τρόποι εκμετάλλευσης της Ηλιακής ενέργειας είναι πολλαπλοί, μπορούν δε να εφαρμοσθούν τόσο σε νέες όσο και υφιστάμενες εγκαταστάσεις, περιορίζοντας

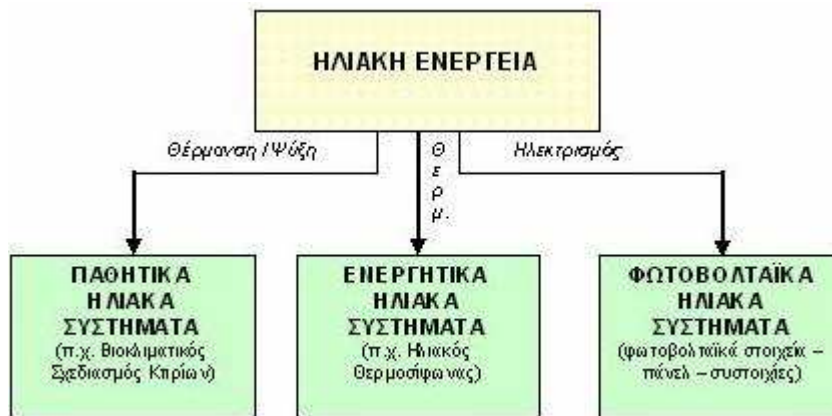
σημαντικά την κατανάλωση συμβατικών πηγών ενέργειας και την εκπομπή αέριων ρύπων [1].

Η πρώτη, άμεση χρήση της ηλιακής ενέργειας είναι η θέρμανση των ίδιων των ανθρώπων, των χώρων που κατοικούν και εργάζονται, του νερού που χρησιμοποιούν, αλλά και φούρνων για την παρασκευή φαγητού. Αυτές είναι παλιές, παραδοσιακές πρακτικές που σήμερα χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο, μαζί με νέες πρακτικές.



Εικόνα 2: Εφαρμογή ηλιακών συστημάτων σε οικία [23].

Ολόκληρα νοικοκυριά μπορούν να πάρουν το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που χρειάζονται για θέρμανση, ζεστό νερό αλλά και δροσισμό, από τη θερμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας. Η θερμότητα που προσφέρει ο ήλιος αξιοποιείται επίσης στα θερμοκήπια, καθώς και για την ξήρανση γεωργικών προϊόντων. Ο άνθρωπος εκμεταλλεύεται τη θερμότητα του ήλιου με τη χρήση των θερμικών ηλιακών συστημάτων. Τα συστήματα αυτά συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε θερμότητα. Διακρίνονται σε ενεργητικά συστήματα, παθητικά συστήματα και φωτοβολταϊκά συστήματα [2].



Εικόνα 3: Διάκριση ηλιακών συστημάτων [25].

Παρακάτω, γίνεται μια σύντομη αναφορά στα παθητικά ηλιακά συστήματα και στα φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα και στη συνέχεια μια εκτενής παρουσίαση των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων.

1.3. ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

1.3.1. ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αναφέρονται κυρίως σε παρεμβάσεις επί της μορφής και διάταξης των χώρων ή της δομής των στοιχείων κατασκευής ενός κτιρίου, οι οποίες σε συνδυασμό με τις εφαρμογές Βιοκλιματικής Αρχιτεκτονικής, οδηγούν σε κάλυψη σημαντικού τμήματος αναγκών Φωτισμού, Θέρμανσης, Δροσισμού & Αερισμού των εσωτερικών χώρων [1].

Προϋπόθεση για την εφαρμογή παθητικών ηλιακών συστημάτων σε ένα κτίριο είναι η θερμομόνωσή του έτσι ώστε να περιοριστούν οι θερμικές απώλειες.

Η αρχή λειτουργίας των παθητικών συστημάτων θέρμανσης βασίζεται στο "φαινόμενο του θερμοκηπίου" ενώ τα παθητικά συστήματα δροσισμού βασίζονται στην προστασία του κτιρίου από τον ήλιο, δηλαδή στην παρεμπόδιση

της εισόδου των ανεπιθύμητων, κατά τη θερινή περίοδο, ακτινών του ήλιου στο κτίριο.

Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση μόνιμων ή κινητών σκιάστρων καθώς και με τη διευκόλυνση της φυσικής κυκλοφορίας του αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων. Ένα κτίριο που περιλαμβάνει παθητικά συστήματα θέρμανσης, δροσισμού ή ακόμη και φυσικού φωτισμού, κατασκευασμένο εξ αρχής ή τροποποιημένο, ονομάζεται "βιοκλιματικό κτήριο" και είναι δυνατό να καλύψει μεγάλο μέρος των ενεργειακών του αναγκών από την άμεση ή έμμεση αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας [27].

Ενδεικτικά ως παθητικά ηλιακά συστήματα εύκολης εφαρμογής αναφέρονται τα Ηλιακά Αίθρια, οι Ηλιακές Καμινάδες, τα δομικά στοιχεία θερμικής αποθήκευσης, τα θερμοσιφωνικά πάνελ, οι ηλιακοί χώροι - θερμοκήπια κλπ [1].

1.3.2. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ [27]

Η λειτουργία των φωτοβολταϊκών ηλιακών συστημάτων στηρίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, δηλαδή την άμεση μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα. Μερικά υλικά, όπως το πυρίτιο με πρόσμιξη άλλων στοιχείων, γίνονται ημιαγωγοί (άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα προς μια μόνο διεύθυνση), έχουν δηλαδή τη δυνατότητα να δημιουργούν διαφορά δυναμικού όταν φωτίζονται και κατά συνέπεια να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα.

Συνδέοντας μεταξύ τους πολλά μικρά κομμάτια τέτοιων υλικών (φωτοβολταϊκές κυψέλες ή στοιχεία), τοποθετώντας τα σε μία επίπεδη επιφάνεια (φωτοβολταϊκό σύστημα) και στρέφοντάς τα προς τον ήλιο, γίνεται δυνατή η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο μπορεί να καλύψει ανάγκες όπως: λειτουργία

επιστημονικών συσκευών (δορυφόρων), κίνηση ελαφρών αυτοκινήτων (ηλιακά αυτοκίνητα), λειτουργία φάρων, ή την κάλυψη έστω και μέρους των ενεργειακών αναγκών μικρών κατοικιών όπως φωτισμός, τηλεπικοινωνίες, ψύξη κτλ.

Η μέγιστη απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων (Φ/Β), ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους κυμαίνεται από 7% (ηλιακά στοιχεία άμορφου πυριτίου) έως 12-15% (ηλιακά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου). Το σημαντικό είναι ότι η ενέργεια που παράγεται με αυτό τον τρόπο, μπορεί να αποθηκευτεί σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές (μπαταρίες) με αποτέλεσμα να υπάρχει ανεξάντλητη, ανανεώσιμη, φθηνή και κυρίως "καθαρή" ενέργεια.

1.3.3. ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ [2]

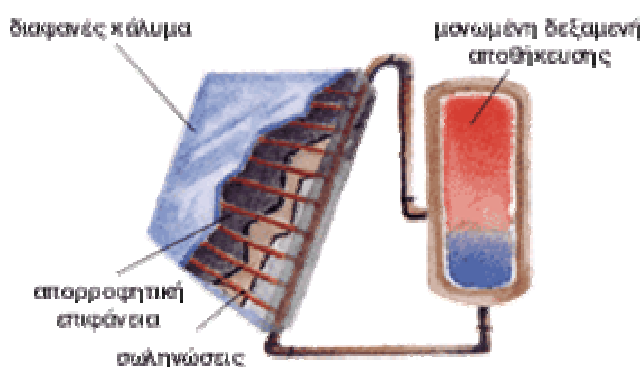
Ενεργητικά ηλιακά συστήματα είναι όσα συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία, και στη συνέχεια τη μεταφέρουν με τη μορφή θερμότητας σε νερό, σε αέρα ή σε κάποιο άλλο ρευστό. Η τεχνολογία που εφαρμόζεται είναι αρκετά απλή και υπάρχουν πολλές δυνατότητες εφαρμογής της σε θερμικές χρήσεις χαμηλών θερμοκρασιών. Η πλέον διαδεδομένη εφαρμογή των συστημάτων αυτών είναι η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, οι γνωστοί σε όλους ηλιακοί θερμοσίφωνες.

Η επιφάνεια ηλιακών συστημάτων που βρίσκονται σε λειτουργία στη χώρα μας είναι περίπου 2.800.000 m² (στοιχεία 2001). Ήδη, περισσότερες από 1.000.000 ελληνικές οικογένειες καλύπτουν περίπου 80% των ετησίων αναγκών τους σε ζεστό νερό χρήσης με ηλιακό θερμοσίφωνα. Η απόδοση των ηλιακών συλλεκτών και η ποιότητα τους γενικά έχουν βελτιωθεί τα τελευταία χρόνια. Η Ελλάδα είναι ο μεγαλύτερος εξαγωγέας σε όλη την Ευρώπη και μάλιστα σε χώρες με ιδιαίτερη βιομηχανική παράδοση, όπως η Γερμανία.

Ένα τυπικό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού αποτελείται από επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, ένα δοχείο αποθήκευσης της θερμότητας και σωληνώσεις.

Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το συλλέκτη και η συλλεγόμενη θερμότητα μεταφέρεται στο δοχείο αποθήκευσης. Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως στην οροφή του κτιρίου, με νότιο προσανατολισμό και κλίση 30° - 60° ως προς τον ορίζοντα, ώστε να μεγιστοποιηθεί το ποσό της ακτινοβολίας που συλλέγεται ετησίως. Οι συλλέκτες παγιδεύουν την ηλιακή ακτινοβολία για να παράγουν θερμότητα. Στη συνέχεια, αυτή η θερμότητα μεταφέρεται στον τόπο που θα αποθηκευτεί ή θα καταναλωθεί.

Θα εξηγήσουμε πως συμβαίνει αυτό με τη βοήθεια του σχήματος που ακολουθεί:



Εικόνα 4: Τυπικό ενεργητικό ηλιακό σύστημα[2].

Η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στη μαύρη, μεταλλική συνήθως, επίπεδη επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη, η οποία απορροφά την ακτινοβολία και θερμαίνεται. Η μαύρη επιφάνεια προτιμάται διότι όταν εκτεθεί στον ήλιο, θερμαίνεται πιο εύκολα (έντονη απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας) απ' ό,τι μια ανοιχτόχρωμη επιφάνεια (ανάκλαση ηλιακής ακτινοβολίας).

Πάνω από την απορροφητική επιφάνεια βρίσκεται ένα διαφανές κάλυμμα, συνήθως από γυαλί ή πλαστικό, που αφήνει τις ακτίνες του ήλιου να περάσουν αλλά εμποδίζει τη θερμότητα να ξεφύγει (φαινόμενο θερμοκηπίου). Αν

τοποθετήσουμε σωληνώσεις μέσα στις οποίες κυκλοφορεί νερό, σε επαφή με την απορροφητική επιφάνεια, μπορούμε να της αποσπάσουμε την πολύτιμη, συγκεντρωμένη ενέργεια. Αυτή την ενέργεια τη μεταφέρουμε, με τη μορφή ζεστού νερού, σε μια μονωμένη δεξαμενή αποθήκευσης, απ' όπου θα την πάρουμε όταν τη χρειαστούμε.

Το θερμό νερό που μας δίνει ένα ενεργητικό ηλιακό σύστημα μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε, στη συνέχεια, για τις καθημερινές μας ανάγκες, δηλαδή για τη θέρμανση χώρων κατοικίας ή εργασίας, τη θέρμανση κολυμβητικών δεξαμενών, γεωργικών εγκαταστάσεων, κλπ.

1.3.4. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Μερικά από τα πλεονεκτήματα των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων είναι:

- η απλότητα κατασκευής και εγκατάστασής τους
- τα σχετικά φτηνά υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους
- η αποδοτική μετατροπή της ενέργειας, που επιτυγχάνεται με αυτά[2].

1.4. ΗΛΙΑΚΟΙ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΕΣ[4]

Το πιο απλό, και πιο διαδεδομένο σήμερα, ενεργητικό ηλιακό σύστημα είναι ο γνωστός μας ηλιακός θερμοσίφωνας.



Εικόνα 5: Τυπικός ηλιακός θερμοσίφωνας[3].

Τα βασικά μέρη του ηλιακού θερμοσίφωνα είναι:

- Ο ηλιακός συλλέκτης ή το σύστημα ηλιακών συλλεκτών
- Η δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού

Η θέση της δεξαμενής αποθήκευσης σε σχέση με τον ηλιακό συλλέκτη, καθορίζει αν θα γίνεται φυσική ή εξαναγκασμένη (δηλ. με αντλία) κυκλοφορία του νερού ανάμεσα στον συλλέκτη και την δεξαμενή.

Στο σύστημα με **φυσική κυκλοφορία**, η δεξαμενή αποθήκευσης βρίσκεται υποχρεωτικά υψηλότερα από τον συλλέκτη, έτσι ώστε το νερό που θερμαίνεται στον συλλέκτη να ανεβαίνει (λόγω μικρότερου ειδικού βάρους) στην δεξαμενή, ενώ το ψυχρότερο (και βαρύτερο) νερό της δεξαμενής κατεβαίνει για θέρμανση στον συλλέκτη.

Στο σύστημα με **εξαναγκασμένη κυκλοφορία** δεν υπάρχει αυτός ο περιορισμός και η δεξαμενή μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιαδήποτε θέση. Η κυκλοφορία εξασφαλίζεται με κυκλοφορητή, ο οποίος τίθεται σε λειτουργία αυτόματα μόνον

όταν η θερμοκρασία νερού στον συλλέκτη είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία του νερού στο κάτω μέρος της δεξαμενής. Αυτό προϋποθέτει διαφορικό θερμοστάτη και βαλβίδα αντεπιστροφής (για την αποφυγή της αντιστροφής της ροής κατά την διάρκεια της νύχτας), που μαζί με τον κυκλοφορητή ανεβάζει το συνολικό κόστος του συστήματος.

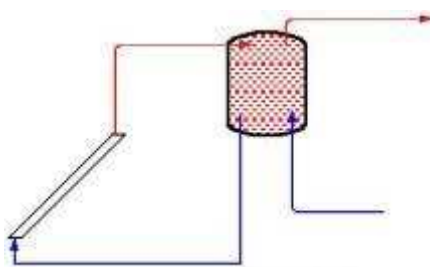
Και στα δύο συστήματα, υπάρχει βοηθητική πηγή ενέργειας που συνήθως είναι μία ηλεκτρική αντίσταση, για την κάλυψη των αναγκών σε θερμό νερό σε δυσμενείς συνθήκες.

Υπάρχουν δύο τύποι ηλιακών θερμοσίφωνων:

- Ανοικτού κυκλώματος
- Κλειστού κυκλώματος

1.4.1. ΗΛΙΑΚΟΙ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΕΣ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

Στον τύπο αυτό το νερό κυκλοφορεί απευθείας και στη δεξαμενή και στους συλλέκτες, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 6: Ηλιακός θερμοσίφωνα ανοικτού κυκλώματος[4].

Ο τύπος αυτός είναι αποδοτικός και έχει μειωμένα λειτουργικά έξοδα .Ωστόσο, δεν είναι κατάλληλος εάν η παροχή του νερού είναι μικρή, καθώς τα αποθέματα του ασβεστίου προσκολλώνται στα τοιχώματα του συλλέκτη προκαλώντας σταδιακά την καταστροφή του.

Ακόμα, στους θερμοσίφωνες ανοιχτού κυκλώματος, η προστασία κατά του παγώματος του συλλέκτη είναι περιορισμένη όταν η θερμοκρασία σε αυτόν πλησιάζει τους $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Μια τέτοιου είδους προστασία θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε περιοχές όπου υπάρχει παγωνιά μόνο λίγες φορές το χρόνο, καθώς ένας τέτοιος μηχανισμός προστασίας παγώματος του συλλέκτη απορρίπτει μέρος της αποθηκευμένης ενέργειας. Φυσικά, όταν η ενέργεια έχει καταναλωθεί, η αντλία δεν θα δουλεύει και το σύστημα θα παγώσει.

Ενάντια σε αυτό, εργάζεται μια βαλβίδα τοποθετημένη στην αντλία στον πάτο του συλλέκτη. Μέσω της βαλβίδας αυτής, παρέχεται επιπλέον προστασία, την οποία η αντλία δεν μπορεί να προσφέρει, προκειμένου να αποφευχθεί το πάγωμα του συλλέκτη. Μια τέτοια βαλβίδα στάζει νερό έξω από τον πάτο του συλλέκτη όταν η θερμοκρασία του συλλέκτη είναι κάτω από τους $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1.4.2. ΗΛΙΑΚΟΙ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΕΣ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

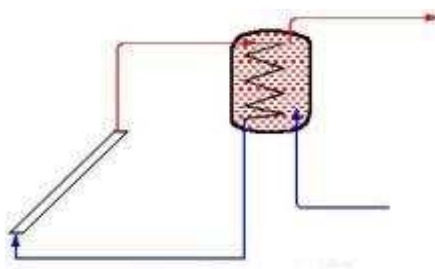
Σε αυτόν τον τύπο θερμοσιφώνων, που είναι και ο πιο διαδεδομένος, το υγρό που μεταφέρει τη θερμότητα αντλείται μέσω των συλλεκτών και ένας εναλλάκτης θερμότητας χρησιμοποιείται για να μεταφέρει τη θερμότητα από το κύκλωμα του συλλέκτη στο νερό της δεξαμενής.

Τα κλειστά κυκλώματα γλυκόλης είναι δημοφιλή σε περιοχές με εκτεταμένες περιόδους παγωνιάς , καθώς προσφέρουν μεγάλη προστασία κατά του

παγώματος του συλλέκτη. Τα συστήματα αυτά έχουν μεγάλο κόστος κατασκευής και εγκατάστασης κι η γλυκόλη πρέπει να ελέγχεται κάθε χρόνο και να αντικαθίσταται κάθε λίγα χρόνια, ανάλογα με την ποιότητά της και τη θερμοκρασία του συστήματος.

Τα κλειστά κυκλώματα αποχέτευσης χρησιμοποιούν νερό ως υγρό μεταφοράς της θερμότητας στο κύκλωμα του συλλέκτη. Το νερό αποχετεύεται εξαιτίας της βαρύτητας πίσω στη δεξαμενή αποθήκευσης ή σε μια βοηθητική δεξαμενή όταν η κυκλοφορία της αντλίας σταματά. Αυτό το σύστημα παρέχει προστασία μεγάλου επιπέδου, καθώς δεν βασίζεται σε βαλβίδες ή ελεγκτές οι οποίοι θα μπορούσαν να αποτύχουν κάτω από δυσμενείς συνθήκες παγωνιάς. Το μειονέκτημα αυτού του συστήματος είναι ότι απαιτείται αντλία με δυνατότητα υψηλής στατικής ανύψωσης προκειμένου να γεμίζει τον συλλέκτη όταν το σύστημα τίθεται σε λειτουργία [5].

Ένα τυπικό διάγραμμα ηλιακού θερμοσίφωνα κλειστού κυκλώματος παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί:

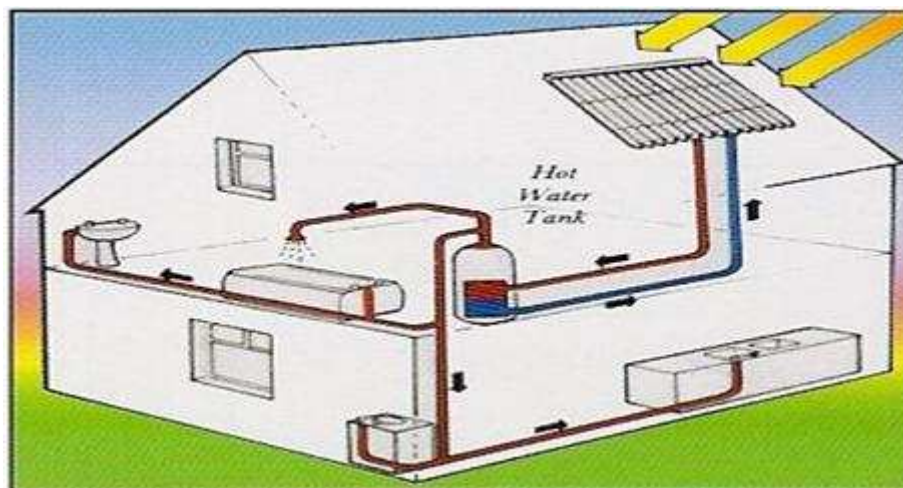


Εικόνα 7: Ηλιακός θερμοσίφωνας κλειστού κυκλώματος[4].

1.4.3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ

Ο ηλιακός θερμοσίφωνας βρίσκεται ήδη στα περισσότερα ελληνικά σπίτια, μια και η χώρα μας εμφανίζει υψηλές τιμές σε ηλιοφάνεια.

Ένας ηλιακός θερμοσίφωνας μπορεί να δώσει όσο ζεστό νερό χρειάζεται καθημερινά μια οικογένεια. Μπορούμε, όμως, να παράγουμε μεγάλη ποσότητα ζεστού νερού αν συνδέσουμε μεταξύ τους πολλούς ηλιακούς συλλέκτες και αποθηκεύσουμε το ζεστό νερό σε μεγάλες μονωμένες δεξαμενές.



Εικόνα 8: Τυπική εφαρμογή ηλιακού θερμοσίφωνα σε οικία.

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

Υπάρχουν ήδη μερικές επιτυχημένες εφαρμογές τέτοιων συστημάτων στη χώρα μας και αναμένεται να έχουν ταχεία ανάπτυξη.

Ακόμα, με τη χρήση κοίλων κατόπτρων, είναι δυνατό να συγκεντρώσουμε τις ακτίνες του ήλιου σε μικρή επιφάνεια ή σε ένα μόνο σημείο και έτσι να επιτύχουμε υψηλές θερμοκρασίες για βιομηχανική χρήση ή για παραγωγή

ηλεκτρικής ενέργειας. Δυστυχώς όμως, αυτές οι εφαρμογές είναι ακόμα αρκετά ακριβές.

1.5. ΗΛΙΑΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ

Καθώς η μόλυνση της ατμόσφαιρας και η αστάθεια στην προμήθεια των σημερινών συμβατικών καυσίμων αυξάνεται, ο κόσμος στρέφεται προς τις καθαρές ανανεώσιμες μορφές ενέργειας για να αντιμετωπίσει τις ανάγκες θέρμανσης.

Μια νέα γενιά ηλιακών θερμικών συστημάτων δημιουργήθηκε για να αντιμετωπίσει αυτή την ζήτηση. Τα συστήματα αυτά είναι αξιόπιστα και αποδοτικά και χρησιμοποιούνται ευρύτατα. Επειδή προστατεύουν το περιβάλλον έχουν απέραντη μελλοντική αγορά, και γι' αυτό αποτελούν ουσιαστικό κομμάτι της Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Στρατηγικής.

Πρόσφατα έγγραφα πολιτικής που εξέδωσε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή τονίζουν την ανάγκη να << κτυπηθεί >> η αύξηση των εκπομπών αερίων που προκαλούν το φαινόμενο θερμοκηπίου και η εξάρτηση από εισαγόμενα καύσιμα. Η ηλιακή ενέργεια και οι άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα διαδραματίσουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών.

Παγκόσμια 160 χώρες έχουν υπογράψει συνθήκη να λάβουν μέτρα για την καταπολέμηση των εκπομπών αερίου θερμοκηπίου, στα πλαίσια της Συνέλευσης των Ενωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος του πλανήτη μας [6].

Κατά τη διάρκεια της προηγούμενης δεκαετίας, η Ευρώπη έδωσε μεγαλύτερο βάρος στις επενδύσεις πάνω στο τομέα της ηλιακής ενέργειας. Πολλές μελέτες υποδεικνύουν ότι λόγω της μεγάλης διάρκειας της ηλιοφάνειας που υπάρχει στη Γη, η ενέργεια που συγκεντρώνεται σε είκοσι λεπτά, θα μπορούσε να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες των ανθρώπων για ένα ολόκληρο έτος. Κατά συνέπεια, είναι αυτονόητο γιατί η Ευρώπη έχει επενδύσει τόσο πολύ στην ηλιακή ενέργεια.

Η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου, προέρχεται από ανθρώπινες δραστηριότητες και μπορεί να καταπολεμηθεί με την χρήση της ηλιακής ενέργειας. Αν ήταν εφικτό, η Ευρώπη θα χρησιμοποιούσε μόνο την ηλιακή ενέργεια για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες των πολιτών. Κάποιες μελέτες υποστηρίζουν ότι μπορεί να παραχθεί ηλιακή ενέργεια από το διάστημα.

Η Ευρώπη κατά τη διάρκεια του 1996 έως το 2007, έχει επενδύσει πολλά χρήματα στον τομέα της ηλιακής ενέργειας. Στην πραγματικότητα, έρευνα που έγινε έδειξε ότι η χρήση της ηλιακής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση έχει τετραπλασιαστεί, κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας.

Η Τουρκία, αν και δεν είναι στην Ευρωπαϊκή Ένωση, είναι οπαδός της εν λόγω ενέργειας και από το 1996 έχει παράγει διπλάσια την παραγωγή της ηλιακής ενέργειας σε σχέση με την Ελλάδα.

Από την άλλη πλευρά, η Γερμανία συνειδητοποίησε από πολύ νωρίς, ότι η ηλιακή ενέργεια είναι η κύρια πηγή ενέργειας στο κόσμο, με αποτέλεσμα να κατέχει ηγετική θέση στην εκμετάλλευση της σήμερα όχι μόνο στην Ευρώπη, αλλά σε ολόκληρο τον κόσμο [26].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ

2.1. ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ

2.1.1. ΓΕΝΙΚΑ

Στη Θερμοδυναμική η μετάβαση (ή αλλαγή) φάσης είναι η διαδικασία μετάβασης ενός θερμοδυναμικού συστήματος από τη μία φάση σε κάποια άλλη. Το ξεχωριστό χαρακτηριστικό του φαινομένου αυτού είναι η παρατήρηση μιας ραγδαίας αλλαγής σε μία ή περισσότερες φυσικές ιδιότητες του συστήματος και κυρίως στη θερμοχωρητικότητά του με ταυτόχρονη μικρή μεταβολή σε άλλες ιδιότητες όπως στη θερμοκρασία του.

Συνήθως ο όρος αλλαγή φάσης αναφέρεται σε μεταβάσεις μεταξύ των τριών πρώτων καταστάσεων (στερεής, υγρής και αέριας) εξαιρώντας συνήθως την κατάσταση του πλάσματος.

Οι αλλαγές φάσης περιλαμβάνουν:

- Τις μεταβάσεις μεταξύ της στερεής, υγρής και αέριας φάσης μιας ουσίας, λόγω αλλαγών στις συνθήκες θερμοκρασίας και/ή πίεσης οι οποίες είναι:

Αλλαγές φάσης μεταξύ: **στερεού και υγρού** → **τήξη**

στερεού και αερίου → **εξάχνωση**

υγρού και στερεού → **στερεοποίηση**

υγρού και αερίου → **βρασμός/ατμοποίηση**

αερίου και στερεού → **εναπόθεση**

αερίου και υγρού → **συμπύκνωση**

αερίου και πλάσματος → **ιονισμός**

πλάσματος και αερίου → ανασυνδυασμός

- Τη μετάβαση μεταξύ διαφορετικών μοριακών δομών, ιδίως για στερεά, όπως για παράδειγμα τη μετάβαση από μία άμορφη δομή σε μία κρυσταλλική ή τη μετάβαση μεταξύ δύο διαφορετικών κρυσταλλικών δομών.

Είναι δυνατόν σε κάποιες περιπτώσεις να εμφανιστεί αλλαγή κατάστασης μη-αδιαβατικά με τέτοιο τρόπο ώστε το θερμοδυναμικό σύστημα να διέλθει τα όρια της αλλαγής φάσης, χωρίς να παρατηρείται η αλλαγή αυτή καθ' αυτή, όπως παρατηρείται στα φαινόμενα της υπέρψυξης και της υπερθέρμανσης. Η προκύπτουσα κατάσταση δεν είναι ενεργειακά σταθερή και χαρακτηρίζεται ως ενεργειακά ημι-σταθερή.

Οι αλλαγές φάσης περιλαμβάνουν λανθάνουσα θερμότητα. Κατά τη διάρκεια μιας τέτοιας αλλαγής το σύστημα είτε απορροφά είτε ελευθερώνει μία σταθερή και συνήθως αξιόλογη ποσότητα ενέργειας. Επειδή η ενέργεια αυτή δεν μπορεί να μεταφερθεί στιγμιαία μεταξύ του συστήματος και του περιβάλλοντος, αυτές οι μεταβάσεις, βρίσκονται υπό καθεστώς μικτής φάσης, όπου τμήμα του θερμοδυναμικού συστήματος έχει ολοκληρώσει την μετάβαση και το υπόλοιπο όχι.

Για παράδειγμα κατά το βρασμό ενός δοχείου που περιέχει νερό, το νερό δεν γίνεται στιγμιαία ατμός, αλλά εμφανίζεται μια τυρβώδης μίξη νερού και φυσαλίδων ατμού [7].

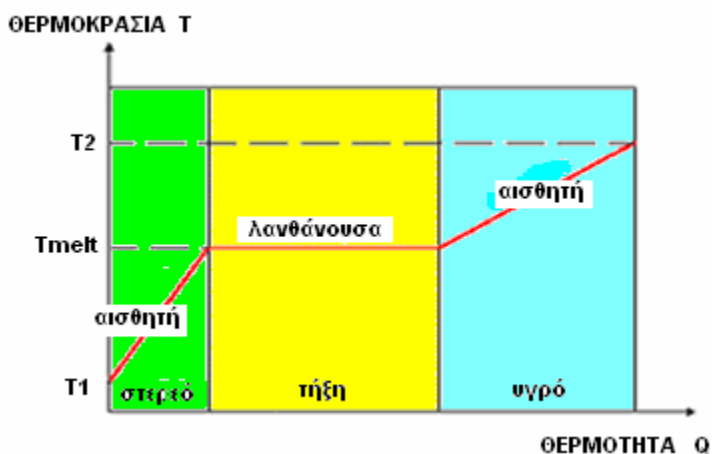
2.1.2. ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΤΗΞΗΣ

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:

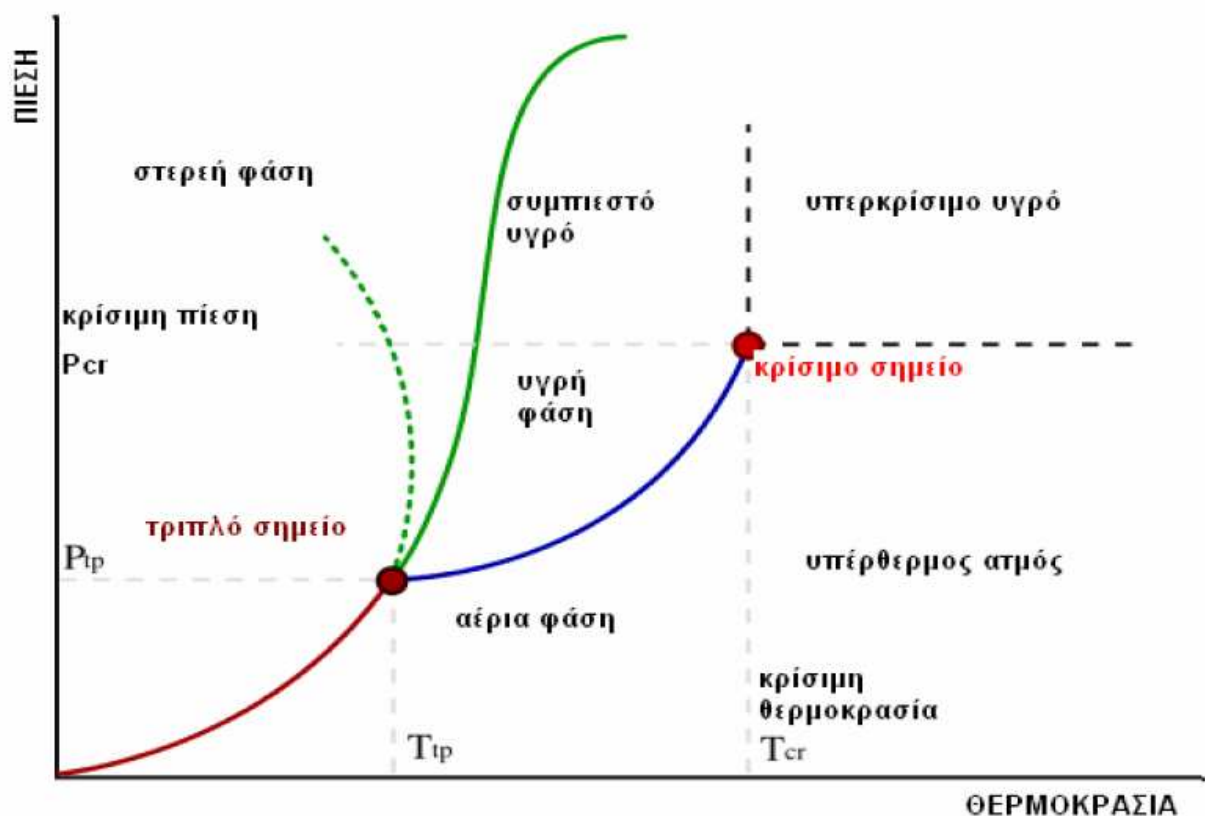


Εικόνα 9: Διάγραμμα αλλαγής φάσης.

2.1.3. ΚΡΙΣΙΜΑ ΣΗΜΕΙΑ [8]

Σε συστήματα που περιέχουν υγρή και αέρια φάση υπάρχει ένας συνδυασμός πίεσης και θερμοκρασίας που ονομάζεται κρίσιμο σημείο. Στο σημείο αυτό το υγρό είναι τόσο θερμό και υπό κατάλληλη πίεση, ώστε η διάκριση μεταξύ υγρής και αέριας φάσης είναι σχεδόν αδύνατη.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το ποιοτικό διάγραμμα πίεσης-θερμοκρασίας μιας καθαρής ουσίας:



Εικόνα 10: Ποιοτικό διάγραμμα T-P καθαρής ουσίας[8]

2.2. ΑΙΣΘΗΤΗ ΚΑΙ ΛΑΝΘΑΝΟΥΣΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ

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 T_1 σε T_2 , αν υφίσταται αλλαγή φάσης σε θερμοκρασία T^* , είναι το άθροισμα της μεταβολής της αισθητής θερμότητας του στερεού από T_1 σε T^* , της λανθάνουσας θερμότητας σε θερμοκρασία T^* και της μεταβολής της αισθητής θερμότητας του υγρού από T^* σε T_2 :

$$Q_s = ml[(T^* - T_1)c_s + \lambda + (T_2 - T^*)c_l] \quad (2.2.1)$$

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 ως γνωστό, 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

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η λανθάνουσα θερμότητα τήξης, άλλων γνωστών ουσιών:

Πίνακας 1: Λανθάνουσα θερμότητα γνωστών ουσιών

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

2.3. ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ

Πρόκειται για υλικά, τα οποία, όπως όλα τα γνωστά υλικά, αλλάζουν φάση, υπό σχεδόν σταθερή θερμοκρασία, στο εύρος των θερμοκρασιών εφαρμογής που χρησιμοποιούνται.

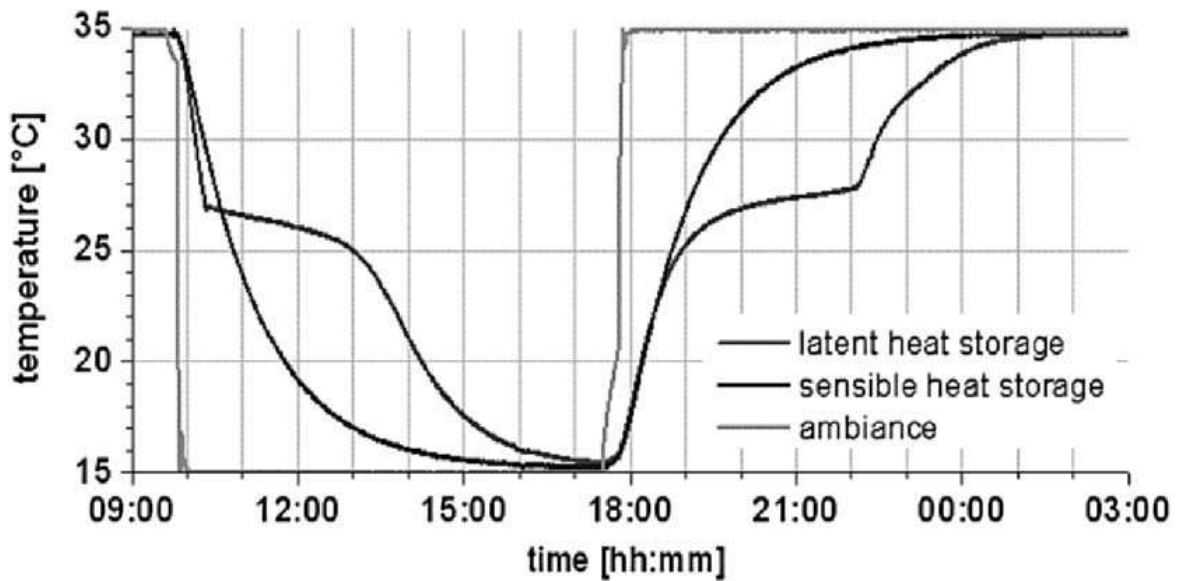
Ο ορισμός αυτός εμπεριέχει όλα τα χρησιμοποιούμενα ως σήμερα υλικά. Η συγκεκριμένη ομάδα υλικών όμως, έχει ένα επιπλέον χαρακτηριστικό. Δίνει τη δυνατότητα στο μηχανικό- σχεδιαστή να εκμεταλλευτεί αυτή την φυσική

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' ό τι τα υλικά αποθήκευσης αισθητής θερμότητας, όπως το νερό, η πέτρα, το τούβλο, και άλλα.

Ως υποψήφια ΥΑΦ 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.

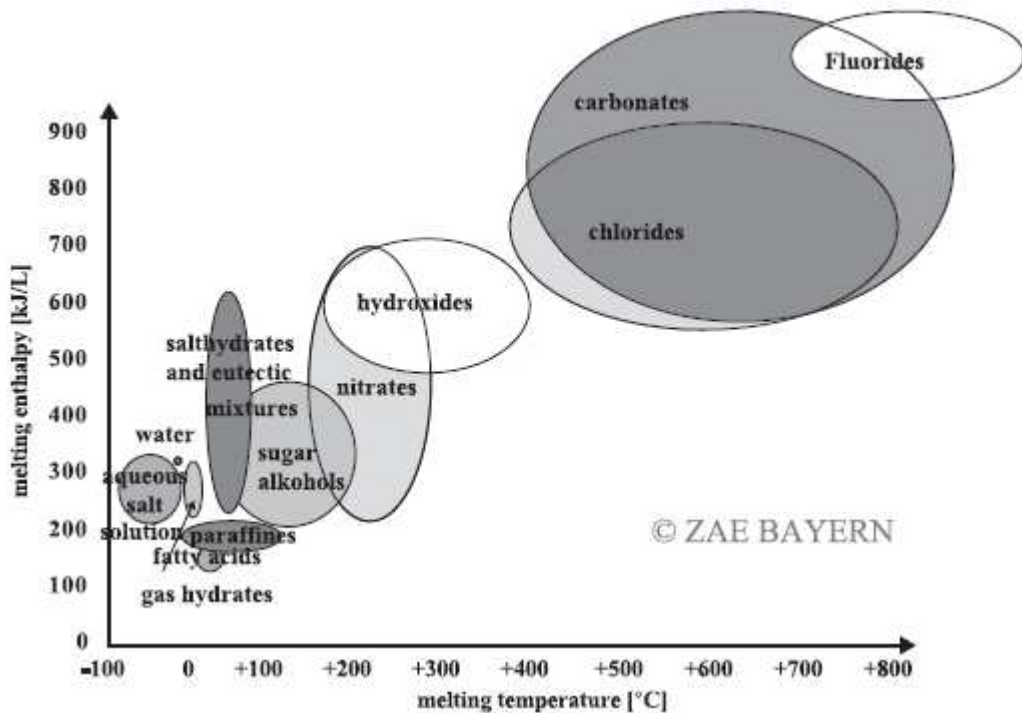
Το ιδανικό ΥΑΦ θα ήταν ένα υλικό που θα παρουσίαζε μεγάλη τιμή λανθάνουσας θερμότητας, υψηλή θερμική αγωγιμότητα, θερμοκρασία τήξης σύμφωνη με το θερμοκρασιακό εύρος της εκάστοτε εφαρμογής, να τήκεται με την ελάχιστη εμφάνιση supercooling (υπέρψυξης), να είναι χημικά σταθερό, άφθονο, φθηνό στην παραγωγή, όπως επίσης να μην είναι τοξικό, διαβρωτικό, ή εύφλεκτο.



Εικόνα 11: Στερεοποίηση και τήξη ενός ΥΑΦ που είναι σχεδόν ιδανικό[28].

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

Τα υλικά που έχουν μελετηθεί τα τελευταία χρόνια είναι τα ένυδρα άλατα, οι παραφίνες, τα λιπαρά οξέα και εύτηκτα μίγματα οργανικών και μη οργανικών συστατικών.



Εικόνα 12: Υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ΥΑΦ με βάση το τυπικό εύρος θερμοκρασίας τήξης και ενθαλπίας τήξης[28].

Το πλέον γνωστό ΥΑΦ 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 ΥΑΦ παρουσιάζει ορισμένα προβλήματα που δημιουργούνται λόγω των ιδιοτήτων του νερού (Σ.Τ. 0 °C, 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 ΥΑΦ και κυρίως την χαμηλή θερμοκρασία τήξης.

Με βάση αυτή τη σκέψη δημιουργήθηκαν τα πρώτα ΥΑΦ 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 ΥΑΦ 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 ΥΑΦ, 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 $27\text{ }^\circ\text{C}$, ενώ για αποθήκευση ψύξης σε εφαρμογές κλιματισμού το αντίστοιχο εύρος πρέπει να κυμαίνεται από 2 έως $5\text{ }^\circ\text{C}$.

Η πιο γνωστή στο ευρύ κοινό εφαρμογή των ΥΑΦ είναι οι παγοκύστες που χρησιμοποιούνται σε ψυγεία μεταφορών, για την διατήρηση της θερμοκρασίας κατά την μεταφορά οργάνων, ευπαθών φαρμάκων, τροφίμων ως και στα ψυγεία τύπου κάμπινγκ.

Όσο όμως οι ενεργειακοί πόροι του πλανήτη εξαντλούνται και η ρύπανση καταστρέφει το φυσικό περιβάλλον, υπάρχει ανάγκη για τεχνολογίες μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας όσο και βελτίωσης της αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Αναμένεται η εφαρμογή της τεχνολογίας των ΥΑΦ να διαδραματίσει σπουδαίο ρόλο στην επίτευξη αυτών των στόχων, λόγω της αυξανόμενης ανάγκης για αποθήκευση θερμότητας σε πλείστες όσες εφαρμογές.

Αυτό όμως προϋποθέτει την ακριβή γνώση των θερμικών ιδιοτήτων των υλικών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ώστε να είναι εφικτός ο σωστός σχεδιασμός και ο υπολογισμός της εκάστοτε εφαρμογής [9,10,21].

2.3.1. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΕΧΟΥΝ ΤΑ Υ.Α.Φ.

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.

Κινητικές ιδιότητες (kinetic):

- 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.

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 [11].

Οικονομικές Ιδιότητες: [12]

- Χαμηλό κόστος
- Μεγάλο εύρος διαθεσιμότητας

2.3.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ Υ.Α.Φ.

2.3.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το πιο γνωστό P.C.M. είναι το νερό. Εμφανίζεται στη φύση και έχει χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση ψύξης από τις αρχές του 18^{ου} αιώνα. Ακόμα και σήμερα η αποθήκευση ψύξης με νερό χρησιμοποιείται και ακόμα ψύξη με πάγο και χιόνι βρίσκει εφαρμογές. Ωστόσο για εφαρμογές όπου το σημείο τήξης είναι μικρότερες του σημείου πήξης του νερού 0 °C, έχουν χρησιμοποιηθεί άλλα υλικά.

2.3.2.2. ΟΡΓΑΝΙΚΑ Υ.ΑΦ.

Τα οργανικά υλικά κατηγοριοποιούνται ως παραφίνες και μη παραφίνες (paraffin, non-paraffins).

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.

Τα αλκάνια είναι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες. Το πλέον απλό αλκάνιο είναι το μεθάνιο, CH_4 . ,εν 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-0.2602, 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 καθαρές παραφίνες, από 2 έως 45°C. Δεν 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 ΥΑΦ. 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 ΥΑΦ, όταν αυτό βρίσκεται στην υγρή φάση.

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 31.5oC] και το Καπριλικό Οξύ [σημείο τήξης 16.5oC].

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 χρησιμότητα του χώρου στον οποίο αυτά εγκαθίστανται.

Παρόλα αυτά, τα παραπάνω προβλήματα θα μπορούσαν να ξεπεραστούν με κάποιου είδους συσκευασία, δίνοντας έτσι ένα ΥΑΦ φτηνό, χημικά σταθερό, ιδανικό για κτιριακές εφαρμογές [12,13].

Πίνακας 2: Οργανικές ενώσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ΥΑΦ [11].

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

2.3.2.3 ΑΝΟΡΓΑΝΑ Υ.Α.Φ.

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 ΥΑΦ. 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(γενικά) είναι $M \cdot nH_2O$, όπου M είναι μία ανόργανη ουσία, ενυδατωμένη με n μόρια νερού, και σχηματίζει μία σύνθετη ουσία ικανή να αποθηκεύσει μεγάλο ποσό θερμότητας υπό μορφή λανθάνουσας.

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

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

Τα ένυδρα άλατα εμφανίζονται και άλλα προβλήματα όπως για παράδειγμα η αφυδάτωση του ένυδρου άλατος, λόγω συνεχούς και μακράς χρήσης, κατά την οποία οι φάσεις του ΥΑΦ διαχωρίζονται κυρίως λόγω της πίεσης των ατμών του νερού, φαινόμενο το οποίο αντιμετωπίζεται με τη χρήση αεροστεγών δοχείων αποθήκευσης. Το φαινόμενο της αποσύνθεσης του ΥΑΦ 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°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. Έτσι, αντί να εφαρμοστεί η μέθοδος αυτή, έχει χρησιμοποιηθεί πληθώρα υλικών για την σταθεροποίηση του ΥΑΦ, προσπαθώντας παράλληλα να αυξηθεί η ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας.

Συμπερασματικά, τα κυριότερα προβλήματα που εμφανίζει η χρήση των ένυδρων αλάτων δημιουργούνται λόγω της ανεπάρκειας σταθερότητας της χημικής σύνθεσης του υλικού και του φαινομένου διάβρωσης μεταξύ του υλικού και του υλικού συσκευασίας. Προφανώς, βασικό πλεονέκτημα των ένυδρων αλάτων έναντι των παραφινών όσον αφορά στις κτηριακές κυρίως εγκαταστάσεις είναι η μη 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 ΥΑΦ και παρουσιάζουν ιδιαίτερα αυξημένες τιμές αποθήκευσης ενέργειας ανά μονάδα όγκου υλικού.

Ενδεικτικές τιμές πυκνότητας των βασικών κατηγοριών ΥΑΦ.

- Ένυδρα άλατα περίπου 1500 kg/m³
- Λιπαρά οξέα περίπου 900 kg/m³
- Παραφίνες περίπου 800 kg/m³[12,13].

Πίνακας 3: Ανόργανες ενώσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ΥΑΦ [11].

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

2.3.2.4. ΕΥΤΗΚΤΑ ΜΙΓΜΑΤΑ

Εύτηκτα ονομάζονται τα μίγματα ΥΑΦ, τα οποία μπορεί να είναι είτε οργανικά, είτε ανόργανα ή ακόμα και μίγμα ανόργανων με οργανικά ΥΑΦ. Προφανές είναι πως τα εύτηκτα ΥΑΦ 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 ΥΑΦ 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 ΥΑΦ [12,13].

Πίνακας 4: *Ανόργανες εύτηκτες ενώσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ΥΑΦ [11].*

Compound	Melting temperature (°C)	Heat of fusion (kJ/kg)
66.6% $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + 33.3% $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	25	127
48% CaCl_2 + 4.3% NaCl + 0.4% KCl + 47.3% H_2O	26.8	188
47% $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ + 53% $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	30	136
60% $\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ + 40% $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	30	200.5

2.4. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ Υ.Α.Φ. [12,21]

Συγκεντρωτικά για τις δύο βασικές κατηγορίες Υ.Α.Φ. παρατίθενται τα σημαντικότερα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα της κάθε κατηγορίας.

Σημειώνεται εδώ ότι κάθε εφαρμογή στην οποία επιχειρείται η εισαγωγή ΥΑΦ, 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.

2.4.1. ΟΡΓΑΝΙΚΑ Υ.Α.Φ.

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 ΥΑΦ
- Παραγωγή υλικών σε διάφορες εμπορικές εφαρμογές (σκόνη, κόκκοι, πλάκες)

Μειονεκτήματα:

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

2.4.2. ΑΝΟΡΓΑΝΑ Υ.Α.Φ.

Πλεονεκτήματα:

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

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.

2.5. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΑ ΥΛΙΚΑ ΤΩΝ Υ.Α.Φ.

2.5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Συνήθως, κατά την επιλογή ενός υλικού, για να χρησιμοποιηθεί ως Υλικό Αλλαγής Φάσης, δεν πληρούνται όλες οι προϋποθέσεις για την ενδεχόμενη χρήση του. Για αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί διάφορες στρατηγικές προκειμένου να επιλυθούν τέτοιου είδους προβλήματα. Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένα από τα βασικότερα προβλήματα που εμφανίζονται σε αυτού του είδους τα υλικά.

2.5.2. ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΦΑΣΕΩΝ

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

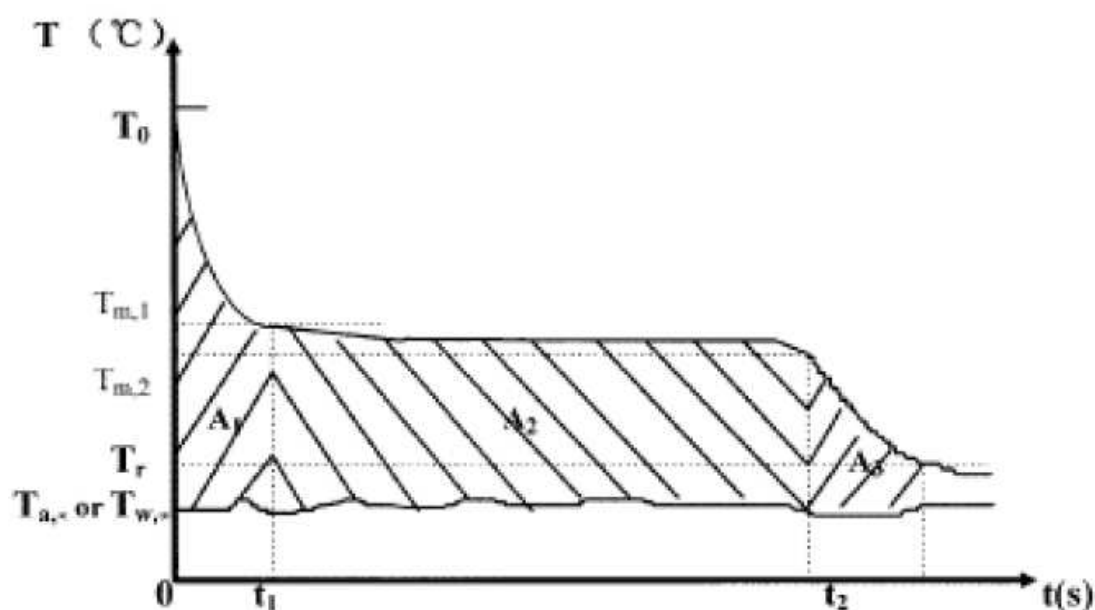
Τα ένυδρα άλατα εμφανίζουν τρεις κύριους τύπους συμπεριφοράς κατά τη μετάβασή τους από τη μία φάση σε κάποια άλλη: τον ομοιόμορφο, τον ανομοιόμορφο και τον ημι-ομοιόμορφο. Η επιθυμητή συμπεριφορά είναι αυτή του ομοιόμορφου τρόπου τήξης, ο οποίος λαμβάνει χώρα όταν η σύσταση της στερεάς φάσης είναι ίδια με τη σύσταση της υγρής. Η ημι-ομοιόμορφη τήξη συμβαίνει όταν το ΥΑΦ 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 ΥΑΦ εμφανίζονται δύο ξεχωριστές φάσεις: ένα κορεσμένο διάλυμα και ένα ίζημα αδιάλυτης άνυδρης ουσίας.

Η μεγάλη ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας 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 άνυδρων 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 εξασθένηση των ιδιοτήτων τους.

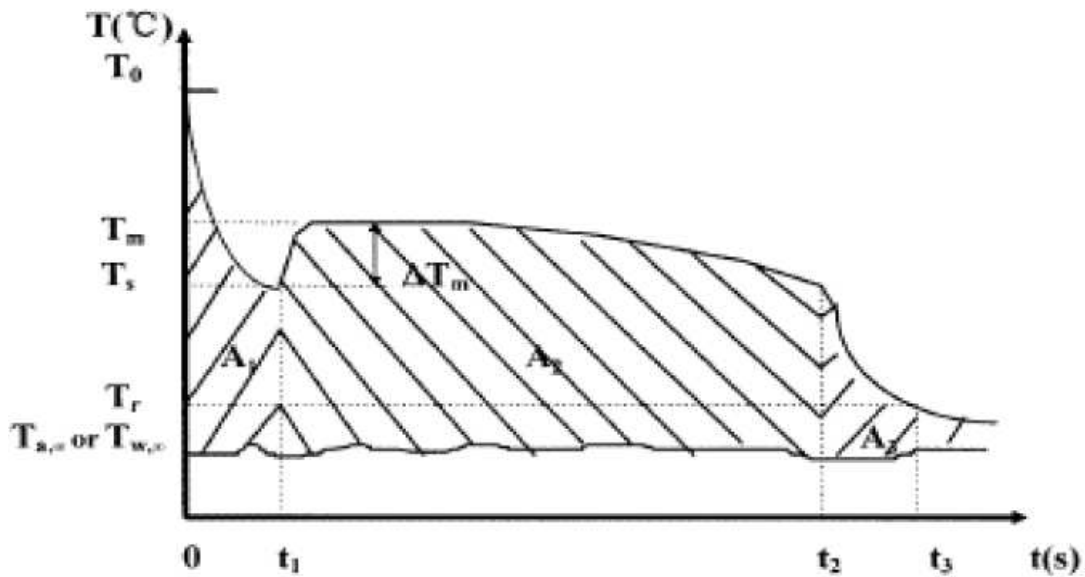
Προφανώς, λόγω της διαφοράς πυκνότητας των δύο αυτών φάσεων, η στερεή φάση κατακάθεται στον πυθμένα του δοχείου αποθήκευσης. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται αποσύνθεση του υλικού (ή διαχωρισμός των φάσεων) [10,13].

2.5.3. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΥΠΟΨΥΞΗΣ - ΥΠΕΡΨΥΞΗΣ (SUBCOOLING– SUPERCOOLING)

Ένα βασικό πρόβλημα που εμφανίζεται κυρίως στα ανόργανα ένυδρα άλατα 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, όπως φαίνεται στο σχ. 1.6 . 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. Το φαινόμενο είναι δυνατόν να περιορισθεί με χρήση ενός πυρήνα (nucleator), ο οποίος προστίθεται στο ΥΑΦ για να εξασφαλίσει ότι η στερεή φάση θα σχηματισθεί με μηδαμινή ή ακόμα και καθόλου υπόψυξη.



Εικόνα 13: Τυπική καμπύλη ψύξης ενός ΥΑΦ χωρίς supercooling.



Εικόνα 14: Τυπική καμπύλη ψύξης ενός ΥΑΦ με *supercooling*.

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

- «Εγγενής» Πυρήνες (**Intrinsic nucleators**) : πρόκειται για ίδια συστατικά του ΥΑΦ , πρέπει να φυλάσσονται ξεχωριστά από το ΥΑΦ, 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 ΥΑΦ, αυτό σημαίνει ότι έχουν παρόμοιες θερμοκρασίες τήξης με το ΥΑΦ που χρησιμοποιούμε. Επίσης θα πρέπει να φυλάσσονται ξεχωριστά από το ΥΑΦ, διότι αλλιώς υπάρχει κίνδυνος να τήξουν μαζί με αυτό και κατόπιν να είναι ανενεργά [10,33-35].

2.5.4. ΜΙΚΡΗ ΤΙΜΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

Η χαμηλή τιμή της θερμικής αγωγιμότητας του ΥΑΦ είναι μια εγγενής ιδιότητα των μη μεταλλικών υγρών. Το πρόβλημα έγκειται στο ότι το ΥΑΦ, αποθηκεύει ένα μεγάλο ποσό θερμότητας σε μικρό όγκο και αυτή η θερμότητα πρέπει να μεταφερθεί μέσω της επιφάνειας αυτού του όγκου στο εξωτερικό περιβάλλον ώστε να χρησιμοποιηθεί από το σύστημα.

Γενικά υπάρχουν δύο τρόποι βελτίωσης της θερμικής αγωγιμότητας του υλικού, οι οποίοι αναφέρονται παρακάτω :

- Βελτίωση της μεταφοράς θερμότητας που χρησιμοποιώντας μεταφορά μάζας, με μεταφορά. Ο μηχανισμός της μεταφοράς εμφανίζεται μόνο κατά την υγρή φάση και επομένως ενεργεί μόνο όταν θερμότητα μεταφέρεται στο ΥΑΦ. Όταν η θερμότητα εξάγεται, οι στερεές μορφές σχηματίζονται στις συναλλασσόμενες με θερμότητα επιφάνειες.
- Βελτίωση της μεταφοράς θερμότητας μέσω της αύξησης της θερμικής αγωγιμότητας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την προσθήκη των αντικειμένων με μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα στο ΥΑΦ [10,33,35].

2.6. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΛΛΑΓΗ ΦΑΣΗΣ

2.6.1.ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ

Όπως κάθε φυσικό φαινόμενο, έτσι και το πρόβλημα μεταφοράς θερμότητας με αλλαγή φάσης στερεού-υγρού, περιέχει προσεγγίσεις, προκειμένου να περιγραφεί μαθηματικά.

Οι εξισώσεις που διέπουν το πρόβλημα αυτό, 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, η μεταφορά θερμότητας εμποδίζεται από μη επιθυμητές κοιλότητες, οι οποίες δημιουργούνται επειδή η στερεή φάση είναι πιο πυκνή από την υγρή φάση.

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.

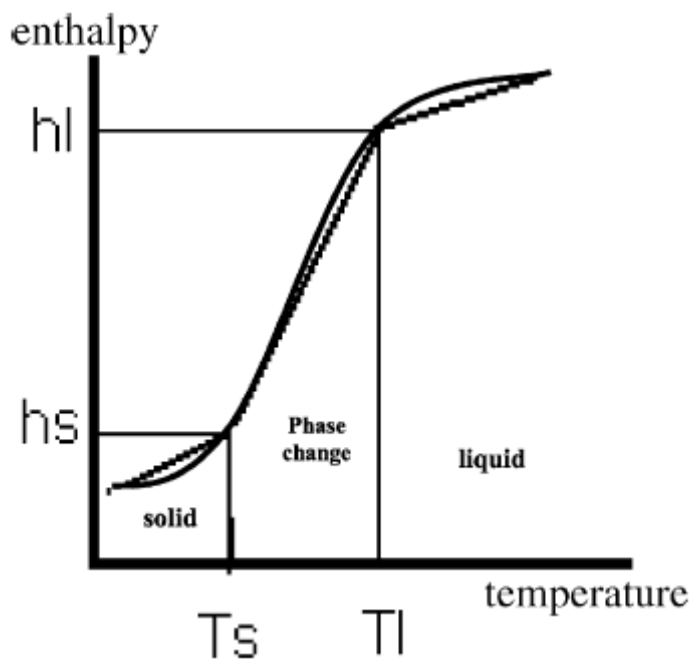
Στη βιβλιογραφία, υπάρχουν δύο μοντέλα μεταφοράς θερμότητας αλλαγής φάσης στερεού-υγρού:

- (1) η ουσία έχει μια ιδιαίτερη θερμοκρασία αλλαγής φάσης και μια οξεία συγκεκριμένη 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 Υ.Α.Φ.

Υπάρχουν δύο μέθοδοι οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση προβλημάτων μεταφοράς θερμότητας αλλαγής φάσης, βασισμένες στην επιλογή της εξαρτημένης μεταβλητής που χρησιμοποιείται.

Στην κλασική 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.



Εικόνα 15: Μεταβολή ενθαλπίας συναρτήσει της θερμοκρασίας [22].

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. Παρ'ολ'αυτά, στο μοντέλο ενθαλπίας η διεπαφή εξαλείφεται από μελέτη στους υπολογισμούς και το πρόβλημα φτιάχνεται ισοδύναμο/αντίστοιχο με ένα πρόβλημα αγωγής θερμότητας χωρίς αλλαγή φάσης [13].

2.6.2. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι 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, μπορούν να συμβούν περισσότερες από μία διεπαφές αλλαγής φάσης 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 άποψη υπολογισμών, είναι απαραίτητο το πρόβλημα να αναδιατυπώνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε η συνθήκη Stefan να είναι συνδεδεμένη με νέους τύπους εξισώσεων και οι εξισώσεις θερμότητας να 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:

$$\rho_l c_{pl} \left(\frac{\partial T_l}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{v} T_l) \right) = \nabla \cdot (k_l \nabla T_l) \quad (2.6.1.)$$

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_l η συγκεκριμένη θερμότητα, k_l η θερμική αγωγιμότητα και T_l η θερμοκρασία του υγρού PCM.

παίρνει τη μορφή:

$$\rho_l c_{pl} \left(\frac{\partial T_l}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla T_l \right) = k_l \nabla^2 T_l \quad (2.6.2.)$$

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 $\left(\rho c_p \vec{v} \cdot \nabla T_l \right)$ αντικαθίσταται από τον όρο $(h \nabla T_l)$ στην εξίσωση (2.6.2.)

και οι εξισώσεις :

$$\rho \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \rho (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{v} + \rho \vec{g} \beta (T - T_0) \quad (2.6.3.)$$

και $\nabla \cdot \vec{v} = 0$ (2.6.4.)

αγνοούνται. Έτσι, ο τύπος της ενθαλπίας για την εξίσωση ενέργειας (2.6.2.), με τις αρχικές συνθήκες και τις συνθήκες ορίων στη διαδικασία τήξης, είναι:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{k}{\rho} \nabla^2 T + \frac{h}{\rho} \nabla T \quad (2.6.5.)$$

$$T(x,y,0) = T_i \quad (2.6.6.)$$

$$T(0,y,t) = T(l,y,t) = T_w(t) \quad (2.6.7.)$$

$$\frac{\partial T(x,0,t)}{\partial y} = \frac{\partial T(x,D,t)}{\partial y} = 0 \quad (2.6.8.)$$

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 (2.6.5.) 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:

$$Nu = 0,072 Ra^{1/3} \quad (2.6.9.)$$

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

$$h = 0,072 \left[\frac{g \left(\frac{T_w - T_m}{2} \right) \rho_l^2 c_{pl} k_l^2 \beta}{\mu} \right]^{1/3} \quad (2.6.10.)$$

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:

$$c_{eff} = \frac{L}{(T_2 - T_1)} + c_p \quad (2.6.11.)$$

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 (2.6.4) με αρχικές και συνθήκες ορίου στη μέθοδο θερμοχωρητικότητας, παίρνει τη μορφή:

$$c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho} \nabla^2 T + \frac{h}{\rho} \nabla T \quad (2.6.12.)$$

$$T(x,y,0) = T_i \quad (2.6.13.)$$

$$T(0,y,t) = T(l,y,t) = T_w(t) \quad (2.6.14.)$$

$$\frac{\partial T(x,0,t)}{\partial y} = \frac{\partial T(x,D,t)}{\partial y} = 0 \quad (2.6.15.)$$

όπου :

$$c_p = \begin{cases} c_{p1}, & T < T_1 \\ \frac{L}{(T_2 - T_1)} + c_p, & T_1 \leq T \leq T_2 \\ c_{p2}, & T > T_2 \end{cases} \quad (2.6.16.)$$

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, ($k_p=0,185 \text{ W/mK}$ 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 (2.6.7.) και (2.6.14.) ορίστηκαν σύμφωνα με τα πειράματα.

Στη μέθοδο ενθαλπίας, ο όρος της ενθαλπίας παίρνει τη μορφή

$$\frac{\partial H}{\partial t} = c_p(T) \frac{\partial T}{\partial t} , \quad (2.6.17.)$$

όπου η συγκεκριμένη θερμότητα της παραφίνης είναι συνεχής και ορισμένη σύμφωνα με την εξίσωση (2.6.4). 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 [32].

2.7. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ Υ.Α.Φ. ΣΕ ΚΑΨΟΥΛΕΣ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

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



(α)

(β)

(γ)

(δ)

Εικόνα 16: Εμπορικές συσκευασίες ΥΑΦ:

(α) σε σφαιρίδια πολυολεφίνης,

(β) σε μεταλλικά σφαιρίδια, (γ) σε μεταλλικούς σωλήνες,

(δ) σε πλαίσια αλουμινίου εφοδιασμένα με πτερύγια [16,17]

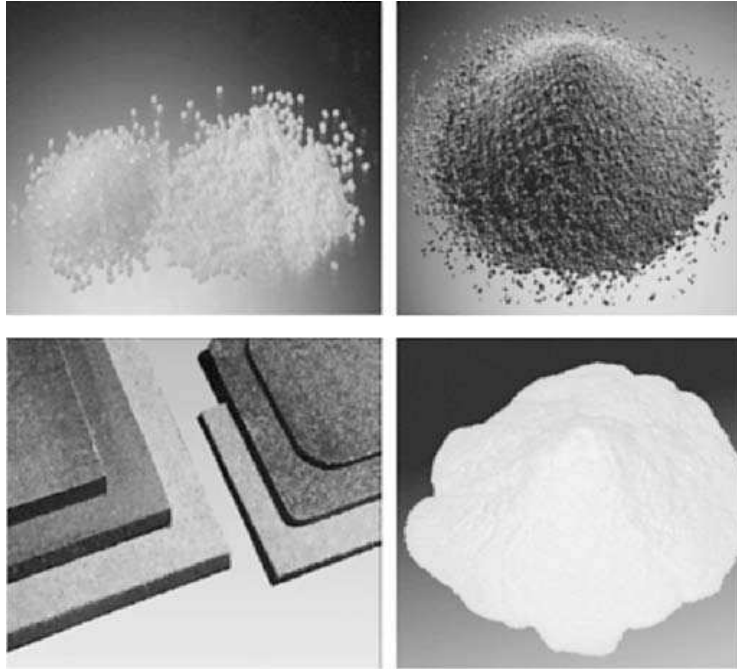
2.7.1. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ ΤΩΝ Υ.Α.Φ.

Η συγκράτηση των ΥΑΦ θα πρέπει:

- να συμφωνεί με τις απαιτήσεις δύναμης, ελαστικότητας, αντίστασης κατά της διάβρωσης και θερμικής σταθερότητας.
- να δρα ως φράγμα, ώστε να προστατεύει το ΥΑΦ από τις βλαβερές επιδράσεις του περιβάλλοντος.
- να παρέχει επαρκή επιφάνεια για τη μεταφορά θερμότητας.
- να παρέχει κατασκευαστική σταθερότητα και εύκολο χειρισμό [15].

2.7.2. ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ [28]




Τα σύνθετα υλικά είναι υλικά που αποτελούνται από ένα ΥΑΦ και τουλάχιστον ένα άλλο υλικό. Το άλλο υλικό χρησιμοποιείται να βελτιώσει τουλάχιστον μια από τις ιδιότητες του ΥΑΦ.



*Εικόνα 17: Σύνθετα ΥΑΦ παραγόμενα από τη Rubitherm
(από πάνω αριστερά):ένωση(PK),κόκκοι(GR),πίνακας ινών (FB)και σκόνη (PK)*

Η χρήση σύνθετων ενώσεων έχει επιπλέον τα εξής προτερήματα :

- Βελτιώνει τη σταθερότητα 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.

Encapsulation	Compound materials
<p>Macro encapsulation</p>  <p>⇒ Materials compatibility ⇒ Better handling ⇒ No external volume change</p>	<p>open pores</p>  <p>⇒ Cycling stability ⇒ Larger heat transfer transfer</p> <p>closed Micro encapsulation and micro pores</p>  <p>⇒ Larger heat transfer surface ⇒ Cycling stability</p>

Εικόνα 17: Προτερήματα από την ενσωμάτωση ΥΑΦ σε κάψουλες και τη χρήση σύνθετων υλικών

2.7.3. ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ Υ.Α.Φ. ΜΕ ΑΛΛΑ ΥΛΙΚΑ [28]

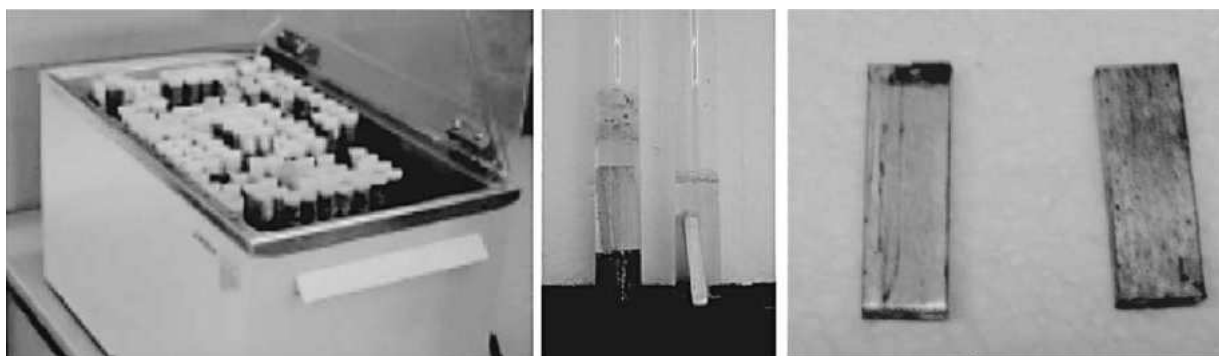
Η συμβατότητα των ΥΑΦ με άλλα υλικά είναι σημαντική τόσο για τη διάρκεια ζωής του δοχείου ή της κάψουλας που φέρει το ΥΑΦ, όσο και για μία πιθανή διαρροή του τήγματος προς τον περιβάλλοντα χώρο όπου μπορεί να προξενήσει προβλήματα. Τα πιο συνήθη προβλήματα αναφορικά με τη συμβατότητα των υλικών και τα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

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

Προκειμένου να αποφευχθούν τυχόν προβλήματα συμβατότητας, εκτελούνται πειράματα κάτω από τυπικές συνθήκες για τις προγραμματισμένες εφαρμογές.

Από τα αποτελέσματα των πειραμάτων αυτών επιλέγονται οι κατάλληλοι συνδιασμοί υλικών.

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η δοκιμή της συμβατότητας για υλικά σε επαφή με ανόργανα ΥΑΦ. Δοκιμαστικοί σωλήνες που περιέχουν δύο υλικά (κέντρο) συγκρατούνται σε ελεγχόμενο περιβάλλον για συγκεκριμένο χρόνο (αριστερά) και στη συνέχεια αναλύονται οι επιδράσεις στο μέταλλο(δεξιά).



Εικόνα 18: Δοκιμές συμβατότητας συνδυασμού μετάλλου-ανόργανου ΥΑΦ

Παρόμοια διάταξη χρησιμοποιείται προκειμένου να ελεγχθεί η συμβατότητα πλαστικών υλικών με οργανικά και ανόργανα ΥΑΦ, όπως φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 19: Δοκιμή συμβατότητας συνδυασμού πλαστικού-ανόργανου/οργανικού ΥΑΦ

2.7.4. ΕΙΔΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ Υ.Α.Φ.

Είδη συσκευασίας ΥΑΦ είναι η **αποθήκευση όγκου** σε δεξαμενές συναλλαγής θερμότητας, η **ενσωμάτωση** τους σε **κάψουλες** και η τοποθέτησή τους σε **κλίνες**. Διακρίνουμε δύο είδη ενσωμάτωσης των ΥΑΦ σε κάψουλες. Την **macroencapsulation** και την **microencapsulation**.

2.7.4.1. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΟΓΚΟΥ

Η αποθήκευση όγκου ΥΑΦ σε δεξαμενή συναλλαγής θερμότητας είναι όμοια σε σχεδιασμό με τις υπάρχουσες δεξαμενές που χρησιμοποιούνται για αποθήκευση θερμότητας, αλλά με κάποιες εξαιρετικές διαφορές. Το κλειδί που αποτελεί το μοναδικό χαρακτηριστικό των συστημάτων αυτών για την αποθήκευση των ΥΑΦ είναι η ανάγκη για ακόμα πιο εκτεταμένη μεταφορά θερμότητας από αυτή που έχουμε στις δεξαμενές όπου δεν χρησιμοποιούμε ΥΑΦ.

Αυτό συμβαίνει επειδή η πυκνότητα της αποθήκευσης θερμότητας των ΥΑΦ είναι μεγαλύτερη σε σχέση με άλλα μέσα αποθήκευσης.

Η αποθήκευση όγκου αποτελεί ένα σύστημα το οποίο περιέχει ένα ΥΑΦ μέσα σε μια δεξαμενή, της οποίας η λειτουργία είναι να προστατεύει το ΥΑΦ και όχι να μεταφέρει θερμότητα, και μια επιφάνεια η οποία χωρίζει το ΥΑΦ από το ρευστό μεταφοράς θερμότητας. Οι δεξαμενές που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούν υγρό ως ρευστό μεταφοράς θερμότητας, όπως και οι δεξαμενές όγκου. Οι δεξαμενές όγκου με αέριο για ρευστό θερμότητας έχουν μελετηθεί πολύ λίγο και δεν έχουν βρει εφαρμογή στην αποθήκευση θερμότητας.

Οι δεξαμενές όγκου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές συστήματος αέρα, εάν υπάρχει ένα δεύτερο κύκλωμα θερμότητας το οποίο να μεταφέρει θερμότητα μεταξύ του ρεύματος αέρα και του υγρού ρεύματος μεταφοράς θερμότητας [14,15].

2.7.4.2. MACROENCAPSULATION

Είναι το πιο συχνό είδος συγκράτησης ΥΑΦ. Σε αυτή την περίπτωση, μια αρκετά μεγάλη ποσότητα ΥΑΦ τοποθετείται σε κάψουλες με διάμετρο μεγαλύτερη του 1 cm. Η ποσότητα του ΥΑΦ σε κάθε κάψουλα μπορεί να κυμανθεί από μερικά γραμμάρια έως και το ένα κιλό.

Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η εφαρμογή της στην μεταφορά θερμότητας ρευστού, τόσο με υγρό όσο και με αέριο και παρουσιάζει ευκολία στη μεταφορά και τον χειρισμό των μονάδων ΥΑΦ που κατασκευάζονται.

Το σχήμα της κάψουλας στη μέθοδο αυτή είναι ποικίλει από ορθογώνια κομμάτια σε σφαιρικούς σάκους χωρίς καθορισμένο σχήμα. Το κλειδί για μια επιτυχημένη συγκράτηση macroencapsulation είναι η σχεδίαση της κάψουλας έτσι ώστε να ταιριάζει σωστά στην κάθε εφαρμογή που επιχειρείται.



Εικόνα 19: Macroencapsulation σε σάκους[28].

Η macroencapsulation μπορεί να:

- αποτρέψει μεγάλους διαχωρισμούς φάσεων
- αυξήσει το μέγεθος της μεταφοράς θερμότητας
- αποτελέσει μια κατασκευή ατομικής υποστήριξης για τα ΥΑΦ

Τα πιο οικονομικά υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συσκευασίες συγκράτησης στη μέθοδο αυτή είναι τα πλαστικά μπουκάλια (υψηλής πυκνότητας και χαμηλής πυκνότητας σε πολυαιθυλένιο, μπουκάλια με πολυπροπυλένιο), δοχεία από κασσίτερο και δοχεία από μαλακό ατσάλι. Ωστόσο, η διάβρωση μπορεί να οδηγήσει σε καταστρεπτικές συνέπειες, εάν οι εσωτερικές και οι εξωτερικές επιστρώσεις βερνικιού δεν εφαρμοστούν σωστά στα δοχεία από μαλακό ατσάλι.



Εικόνα 20: Macroencapsulation σε κάψουλες[28].

Εφαρμογές της μεθόδου macroencapsulation

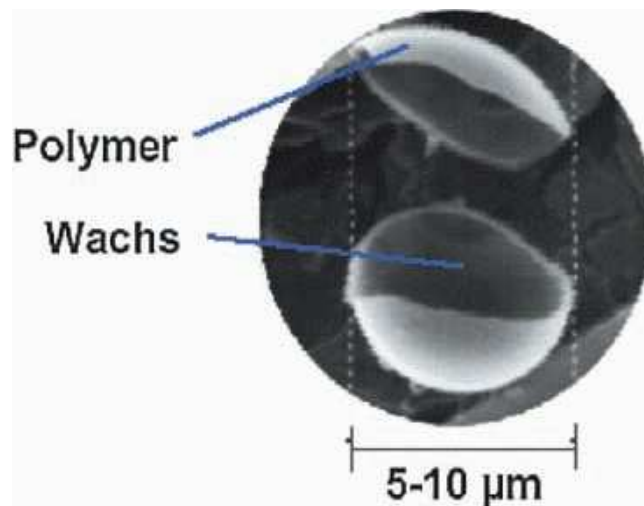
Οι εφαρμογές των ΥΑΦ που ενσωματώνονται σε μακροκάψουλες είναι ποικίλες. Παρόλο που η μεταφορά θερμότητας μέσω αέρα είναι ένας γενικός κανόνας, η

μεταφορά θερμότητας με υγρό χρησιμοποιείται συχνότερα. Επειδή η περισσότερη έρευνα για την αποθήκευση ενέργειας με ΥΑΦ καλύφθηκε από χρηματικούς πόρους ηλιακής ενέργειας, τα περισσότερα συστήματα αναπτύχθηκαν για ηλιακές θερμικές εφαρμογές, είτε για ενεργητικές εφαρμογές με απομακρυσμένη αποθήκευση, είτε για παθητικά συστήματα με αποθήκευση συνδεδεμένη απευθείας με το χώρο που πρέπει να θερμανθεί.

Πρόσφατα, μεγάλη δραστηριότητα έχει κατευθυνθεί σε εφαρμογές μη ηλιακές όσον αφορά τις μακροκάψουλες των ΥΑΦ. Κάποιες από τις εφαρμογές αυτές είναι η off-peak ηλεκτρική αποθήκευση και η ενεργειακή κάλυψη. Αυτή η τάση είναι πιθανό να συνεχιστεί [14,15].

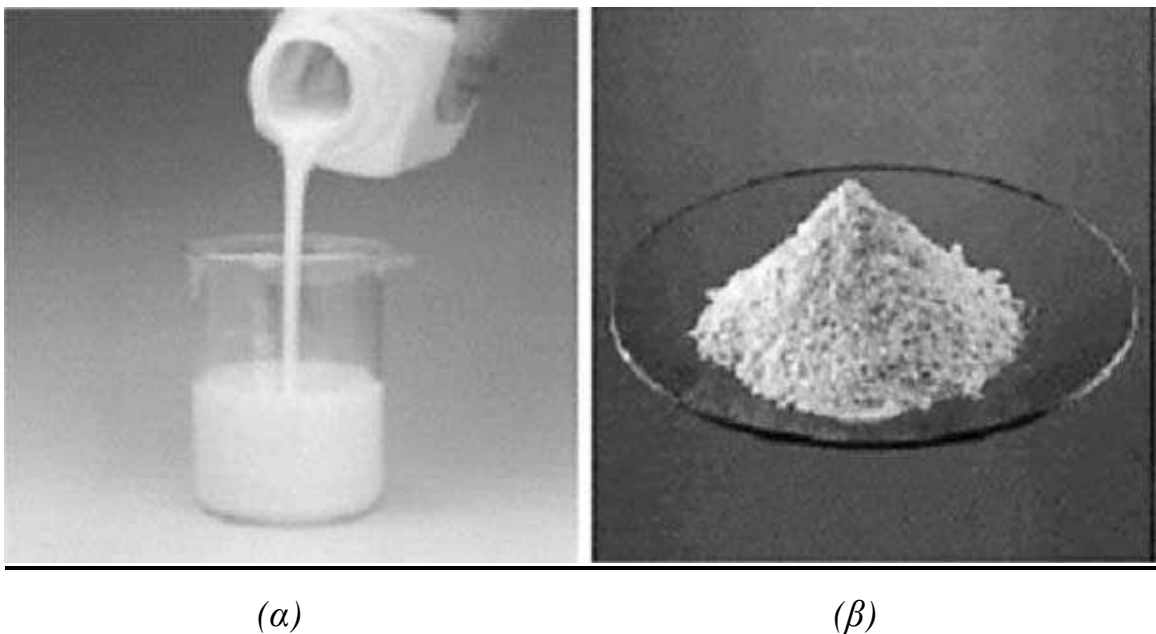
2.7.4.3. MICROENCAPSULATION

Η μέθοδος αυτή αφορά σε τεχνικές στις οποίες ένας μεγάλος αριθμός μικρών μορίων ΥΑΦ περιέχεται μέσα σε κάψουλες με διάμετρο μικρότερη του 1 mm. Εάν η κάψουλα στην οποία έχει ενσωματωθεί το ΥΑΦ δεν έχει υψηλή θερμική αγωγιμότητα, τότε με τη μέθοδο αυτή έχουμε χαμηλό ποσοστό μεταφοράς θερμότητας.



Εικόνα 21: Εικόνα από μικροσκόπιο ανοιγμένης μικροκάψουλας [28].

Η κάψουλα αποτρέπει τη δημιουργία ρευμάτων εκ μεταφοράς και εξαναγκάζει όλη τη μεταφορά θερμότητας να προκληθεί από αγωγιμότητα. Αυτό μπορεί να μειώσει σημαντικά το μέγεθος μεταφοράς θερμότητας, ιδιαίτερα στον τρόπο επιβάρυνσης. Επί του παρόντος, το κόστος της μεθόδου είναι υψηλό συγκρινόμενο με άλλες μεθόδους αποθήκευσης και χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές θερμικού ελέγχου.



Εικόνα 22: Microencapsulation παραφίνης (α).σε υγρή μορφή (β).σε ξηρή σκόνη[28].

Εφαρμογές της μεθόδου microencapsulation

Περισσότερη έρευνα στα ΥΑΦ με microencapsulation έχει διεξαχθεί για την ενσωμάτωση τους σε παθητικές ηλιακές κατασκευές, στις οποίες αντικαθίσταται ένα πιο συμβατικό υλικό, όπως το πλακάκι στο πάτωμα ο τοίχος ή ακόμα και μια μπογιά.

Το άλλο κύριο πεδίο της έρευνας είναι η ανάρτηση ενός ΥΑΦ σε ένα ρευστό μεταφοράς θερμότητας, ώστε να προκύψει ένα ρευστό με ιδιαίτερα αυξημένη χωρητικότητα θερμικής αποθήκευσης.

Αυτές οι εφαρμογές των ΥΑΦ που έχουν συσκευασθεί με μικροκάψουλες δε διαφέρουν πολύ από τις εφαρμογές των ΥΑΦ που συσκευάζονται με macroencapsulation. Η διαφορά είναι στη μέθοδο εφαρμογής. Σε μια μακροκάψουλα καλυμμένη με ένα συμβατικό υλικό, το ΥΑΦ ενσωματώνεται κατευθείαν στο κάλυμμα. Όμοια, ένα ρευστό μεταφοράς θερμότητας με μεγάλη χωρητικότητα μπορεί να αντικαταστήσει ένα σύστημα αποθήκευσης θερμότητας μιας χωριστής δεξαμενής όγκου [14,15] .

2.7.4.4. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ Υ.Α.Φ. ΣΕ ΚΛΙΝΕΣ [15]

Είναι απαραίτητο να βρεθεί ένα αποδοτικό και οικονομικό μέσο με το οποίο να επιτυγχάνεται μεταφορά θερμότητας για την ψύξη και την τήξη του μέσου αποθήκευσης σε ένα σύστημα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας.

Η κλίνη αποτελείται από μακροκάψουλες ΥΑΦ, ένα δοχείο και ένα ρευστό μεταφοράς θερμότητας, το οποίο ρέει διαμέσου των κενών στο εσωτερικό της

κλίνης. Οι κύριοι παράγοντες που πρέπει να μελετηθούν, σχετικά με το σχεδιασμό μιας μονάδας αποθήκευσης, η οποία περιέχει ΥΑΦ, είναι:

- (1). τα όρια της θερμοκρασίας μέσα στα οποία μπορεί να λειτουργήσει η μονάδα
- (2). η θερμοκρασία τήξης-ψύξης του ΥΑΦ
- (3). η λανθάνουσα θερμότητα του ΥΑΦ
- (4). η θερμική φόρτωση
- (5). Η διαμόρφωση της κλίνης αποθήκευσης

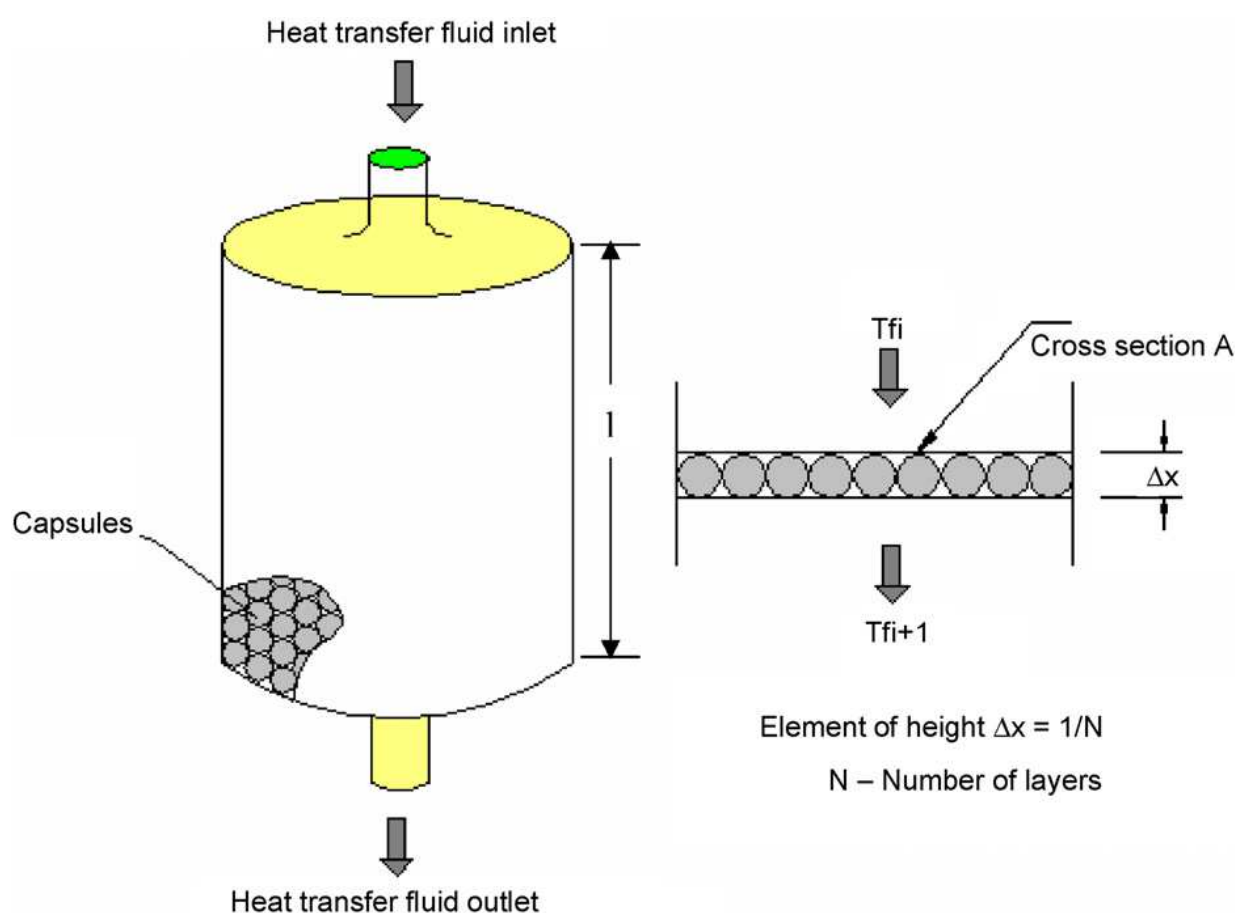
Άλλοι παράγοντες σχεδίασης, οι οποίοι είναι σημαντικοί, αλλά σχετικά λιγότερο κρίσιμοι, είναι η πτώση πίεσης και η δύναμη άντλησης της μονάδας αποθήκευσης.

Η θερμότητα μεταφέρεται στο ή από το ρευστό μεταφοράς θερμότητας, καθώς αυτό ρέει διαμέσου των κενών της κλίνης. Κατά τη διάρκεια της φόρτωσης, του συστήματος, ζεστό ρευστό μεταφοράς θερμότητας κυκλοφορεί μέσα στη δεξαμενή, μεταφέροντας ενέργεια από την πηγή. Το ΥΑΦ μέσα στις κάψουλες απορροφά θερμότητα και λειώνει. Κατά τη διάρκεια της εκφόρτωσης του συστήματος, ψυχρό ρευστό μεταφοράς θερμότητας κυκλοφορεί μέσα στη δεξαμενή ψύχοντας το ΥΑΦ στις κάψουλες. Το ζεστό ρευστό χρησιμοποιείται ύστερα για να επιτευχθεί θέρμανση, είτε απευθείας, είτε μέσω ενός θερμικού εναλλάκτη. Και στους δύο τρόπους λειτουργίας (φόρτωση –εκφόρτωση), η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του ρευστού μεταφοράς θερμότητας και της θερμοκρασίας αλλαγής φάσης πρέπει να είναι ικανοποιητική ώστε να προκύπτει αξιόλογο ποσοστό μεταφοράς θερμότητας.

Απαιτείται αποδοτική μεταφορά θερμότητας μεταξύ του ρεύματος του ρευστού και των μορίων του στερεού, για καλύτερη λειτουργία των συσκευασμένων κλινών στην αποθήκευση ενέργειας. Υπάρχουν διάφορες μεταβλητές, οι οποίες καθορίζουν την απόδοση των μονάδων θερμικής αποθήκευσης με

συσκευασμένες κλίνες. Οι μεταβλητές αυτές μπορούν να διακριθούν στις παρακάτω τρεις κατηγορίες:

(i). Αυτές που είναι συνδεδεμένες με την κατασκευή της κλίνης, όπως το μέγεθος, το σχήμα και η συσκευασία των υλικών στοιχείων, το μήκος της κλίνης και της γεωμετρικής διαμόρφωσης του δοχείου.



Εικόνα 23: Διάταξη κλίνης ΥΑΦ για αποθήκευση θερμότητας

(ii). Αυτές που περιγράφουν τα χαρακτηριστικά της ροής, όπως οι ιδιότητες του ρευστού και η ταχύτητα της μάζας.

(iii). Αυτές που σχετίζονται με τη μεταβατική ανταπόκριση του υλικού της κλίνης, όπως η αρχική θερμική κατάσταση της κλίνης, η θερμοκρασία εισόδου του ρευστού, οι φυσικές και θερμικές ιδιότητες του υλικού της κλίνης και ο συντελεστής θερμότητας εκ μεταφοράς.

Γενικά, οι κύριες παράμετροι που διέπουν την σχεδίαση μιας κλίνης ΥΑΦ είναι ο τύπος του μορίου το μέγεθος και το σχήμα του μέσου, τα κενά μέσα στην κλίνη, οι θερμικές ιδιότητες και οι ιδιότητες μεταφοράς του ΥΑΦ και του ρευστού, το γενικό μέγεθος της κλίνης (διατομή και μήκος), το ποσοστό της ροής και η θερμοκρασία εισόδου του ρευστού.

Μια τυπική μονάδα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας με λανθάνουσα θερμότητα αποτελούμενη από έναν αριθμό κάψουλων, τοποθετημένων με ένα συγκεκριμένο τρόπο στο εσωτερικό του δοχείου ως μια συσκευασμένη κλίνη φαίνεται στην παραπάνω εικόνα.

2.8. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΕΠΑΦΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΕΣΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ [21]

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

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

Οι εναλλάκτες που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- Το ΥΑΦ τοποθετείται μεταξύ παραλλήλων πλακών σε λεπτά και διαδοχικά στρώματα αφήνοντας μεταξύ τους ικανό κενό για τη ροή του μέσου(συνήθως αέρας, νερό, διάλυμα νερού-γλυκόλης, λάδι κλπ).
- Το ΥΑΦ τοποθετείται εντός σωληνώσεων μικρής διαμέτρου, σχηματίζοντας δέσμη σωληνώσεων και το ρευστό κινείται κατά μήκος ή κάθετα της δέσμης. Οι σωλήνες πολλές φορές είναι και πτερυγιοφόροι.
- Το ΥΑΦ τοποθετείται στο κέντρο ενός δοχείου αποθήκευσης διπλού κελύφους και το ρευστό κυκλοφορεί περιφερειακά.
- Σε μικρή κλίμακα μόνο έχουν χρησιμοποιηθεί και διατάξεις παρόμοιες του πλακοειδή εναλλάκτη. Στην κυψελοειδή διάταξη αντιμετωπίζονται προβλήματα από τις τάσεις που δημιουργούνται με την αύξηση του όγκου κατά την τήξη του υλικού, φαινόμενο που θέτει όρια στις εφαρμογές της.
- Το ΥΑΦ τοποθετείται σε δοχείο το οποίο το διαπερνούν πτερυγιοφόροι σωλήνες. Κατά τη διάταξη αυτή, το υλικό καλύπτει όλη την περιοχή μεταξύ δοχείου και σωλήνα, καθώς και την απόσταση μεταξύ των πτερυγίων. Τέτοιου είδους διάταξη είναι αρκετά αποδοτική αν το ρευστό που ρέει εντός των σωληνώσεων είναι υγρό και όχι αέριο.

- Το ΥΑΦ βρίσκεται σε μορφή μικρής σφαίρας(συνήθως με πλαστικό κέλυφος) και τοποθετείται εντός δοχείου. Το ρευστό που μεταφέρει τη θερμότητα εισέρχεται και εξέρχεται από το δοχείο μέσω μιας σωλήνωσης εισαγωγής και εξαγωγής αντίστοιχα ή ενός αεραγωγού εισόδου και εξόδου στην περίπτωση αερίου μέσου. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι η μεγάλη πτώση πίεσης που παρουσιάζεται μεταξύ εισόδου και εξόδου.

Η αλλαγή του όγκου των ΥΑΦ (περίπου 10% είναι μια τυπική τιμή) δεν δημιουργεί προβλήματα μόνο κατά την τήξη του υλικού(αύξηση του όγκου), αλλά και κατά την πήξη(μείωση του όγκου), διότι υπάρχει πιθανότητα να σχηματισθούν κοιλότητες εντός του υλικού ή ακόμα και μερική αποκόλληση του υλικού από την επιφάνεια συναλλαγής, φαινόμενο που θα μειώσει δραματικά το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Προβλήματα τέτοιας φύσης εύκολα παρακάμπτονται με τη χρήση σφαιριδίων ενισχυμένων με ΥΑΦ.

2.9. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΕΠΑΦΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΕΣΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ [21]

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

2.10. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ Υ.Α.Φ. - ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ [21]

Η πρώτη χρήση των ΥΑΦ έγινε με τη χρήση του πάγου στις διάφορες εφαρμογές τις ιατρικής, αλλά και της συντήρησης τροφίμων. Η χρησιμοποίηση άλλων ΥΑΦ , εκτός πάγου-νερού, σε ενεργητικά και παθητικά συστήματα ξεκίνησε ήδη, αν και σε πρώιμο στάδιο, από τη δεκαετία του 1940.

Οι εφαρμογές των συστημάτων αποθήκευσης θερμότητας σε λανθάνουσα μορφή είναι αρκετά εκτεταμένες. Τα πλεονεκτήματα είναι η μεγάλη πυκνότητα αποθήκευσης ενέργειας με μικρότερη διακύμανση κατά την ανάκτηση της με μικρότερη θερμοκρασιακή διαφορά από την πηγή θερμότητας(μέχρι και ισοθερμοκρασιακά)).

Οι πρακτικές δυσκολίες που ανακύπτουν οφείλονται στη χαμηλή τιμή του συντελεστή αγωγιμότητας, στη μεταβολή της πυκνότητας, στην αξιοπιστία-σταθερότητα των ιδιοτήτων σε μακρόχρονη χρήση, καθώς και στο διαχωρισμό αλλαγή χημικής σύστασης των υλικών και εμφάνιση του φαινομένου supercooling.

Όπως είναι κατανοητό, η ελευθερία που δίνει το εύρος θερμοκρασιών που παράγονται τα υλικά, δίνει την ευχέρεια εφαρμογής των ΥΑΦ σε πλήθος περιπτώσεων έμμεσης ή άμεσης αποθήκευσης θερμότητας.

Μερικές από τις περιπτώσεις αυτές είναι:

- εντοιχισμός σε τοιχοποιία ή συνεργασία με ενδοδαπέδια θέρμανση
- σύνθετα υλικά από παραπροϊόντα δομικών υλικών
- δοχεία αποθήκευσης σε χαμηλές ή υψηλές θερμοκρασίες
- εφαρμογές κλιματισμού
- ενισχυμένα ηλιακά συστήματα
- εναλλάκτες θερμότητας για χρήση σε θερμοκήπια

- συστήματα ψύξης έκτακτης ανάγκης για εγκαταστάσεις ηλεκτρονικών υπολογιστών

Τα ΥΑΦ χρησιμοποιούνται ακόμα σε άλλες εφαρμογές διαφορετικών πεδίων για:

- διαστημικές εφαρμογές
- συστήματα ψύξης φορητών Η/Υ
- ειδικό ρουχισμό
- συστήματα τηλεπικοινωνίας

2.11. Υ.Α.Φ. ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ [28]

Σήμερα, είναι εμπορικά διαθέσιμα στην αγορά περισσότερα από 50 ΥΑΦ από τις παρακάτω εταιρίες:

- RUBITHERM GmbH στη Γερμανία
- Dörken GmbH & Co. KG στη Γερμανία
- Climator AB στη Σουηδία
- TEAP στην Αυστραλία
- CRISTOPIA Energy Systems στη Γαλλία
- Mitsubishi Chemical στην Ιαπωνία

Η τιμή των ΥΑΦ κυμαίνεται από 0.5 €/kg έως 10 €/kg.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΧΡΗΣΗ Υ.Α.Φ. ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ ΣΕ ΟΙΚΙΑ

3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αποθήκευση θερμότητας αποτελεί ένα σημαντικό ζήτημα για την υψηλής κλίμακας και μακροπρόθεσμη ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση των οικιών και την ψύξη τους, σε οποιοσδήποτε καιρικές συνθήκες. Τα περισσότερα συστήματα αποθήκευσης που είναι διαθέσιμα στην αγορά, χρησιμοποιούν το νερό ως μέσο αποθήκευσης. Ωστόσο, η βελτίωση της αποθηκευτικής ικανότητας είναι απαραίτητη, ώστε να βελτιωθεί η απόδοση των περισσότερων συστημάτων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί, είτε αυξάνοντας την πυκνότητα αποθήκευσης (με αύξηση του όγκου ώστε να μπορεί να αποθηκευτεί και να απελευθερωθεί περισσότερη ενέργεια), είτε μειώνοντας το κόστος της αποθήκευσης (μείωση απωλειών, χρήση άλλων υλικών, χρήση άλλων σχεδίων κατασκευής).

Παρόλο που το νερό είναι φθινό και αποτελεσματικό μέσο για την αποθήκευση θερμικής ενέργειας, την περίοδο αυτή, μελετώνται άλλα είδη. Ανάμεσα στις νέες τεχνολογίες που μελετώνται η χρήση λανθάνουσας θερμότητας και χημικής αποθήκευσης είναι οι πιο δημοφιλείς [18].

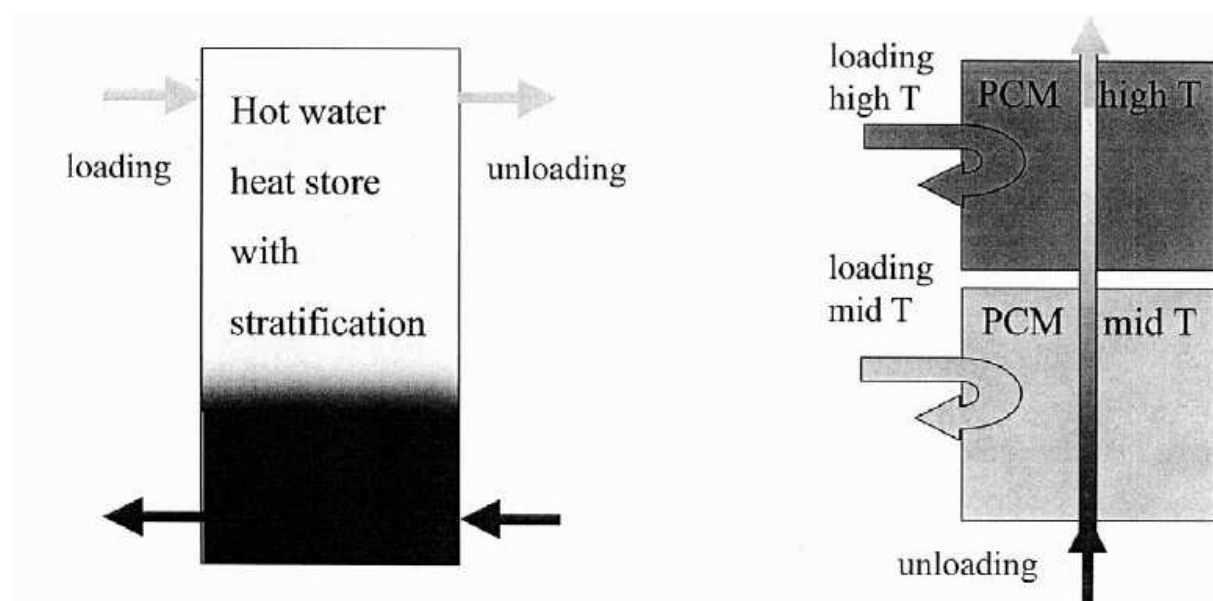
Η ιδέα που απασχολεί την παρούσα εργασία είναι η προσθήκη ενός ΥΑΦ σε μια δεξαμενή ζεστού νερού.

Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες εφαρμογές και πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί, καθώς και η σύγκριση της απόδοσης των δεξαμενών στις

οποίες χρησιμοποιηθήκαν τα ΥΑΦ, με τις συμβατικές δεξαμενές αποθήκευσης ενέργειας.

3.2. ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ ΚΑΙ Υ.Α.Φ.

Συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας τα οποία διατηρούν το θερμό και το κρύο νερό χωριστά μέσω της διαστρωμάτωσης λόγω βαρύτητας, είναι δημοφιλή σε εφαρμογές θερμικής αποθήκευσης σε χαμηλές και μεσαίες θερμοκρασίες. Οι κύριοι λόγοι είναι η απλότητά τους και το χαμηλό χρηματικό τους κόστος. Αυτό το είδος αποθήκευσης είναι γνωστό ως θερμική διαστρωμάτωση και έχει μελετηθεί διεξοδικά. Αυτό το σύστημα αποθηκεύει αισθητή θερμότητα στο νερό για εφαρμογές μικρού χρονικού διαστήματος.



Εικόνα 24: Αποθήκευση θερμότητας με επίπεδα διαφορετικών θερμοκρασιών: αριστερά με ρευστό θερμότητας το νερό, δεξιά με χρήση ΥΑΦ.

Προσθέτοντας ΥΑΦ στην κορυφή της δεξαμενής νερού προσδίδεται στο σύστημα μεγαλύτερη πυκνότητα αποθήκευσης και αντισταθμίζεται θερμική

απώλεια στο ανώτερο στρώμα, εξαιτίας της λανθάνουσας θερμότητας του ΥΑΦ [19].

3.3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ Υ.Α.Φ. ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ ΣΕ ΟΙΚΙΑ

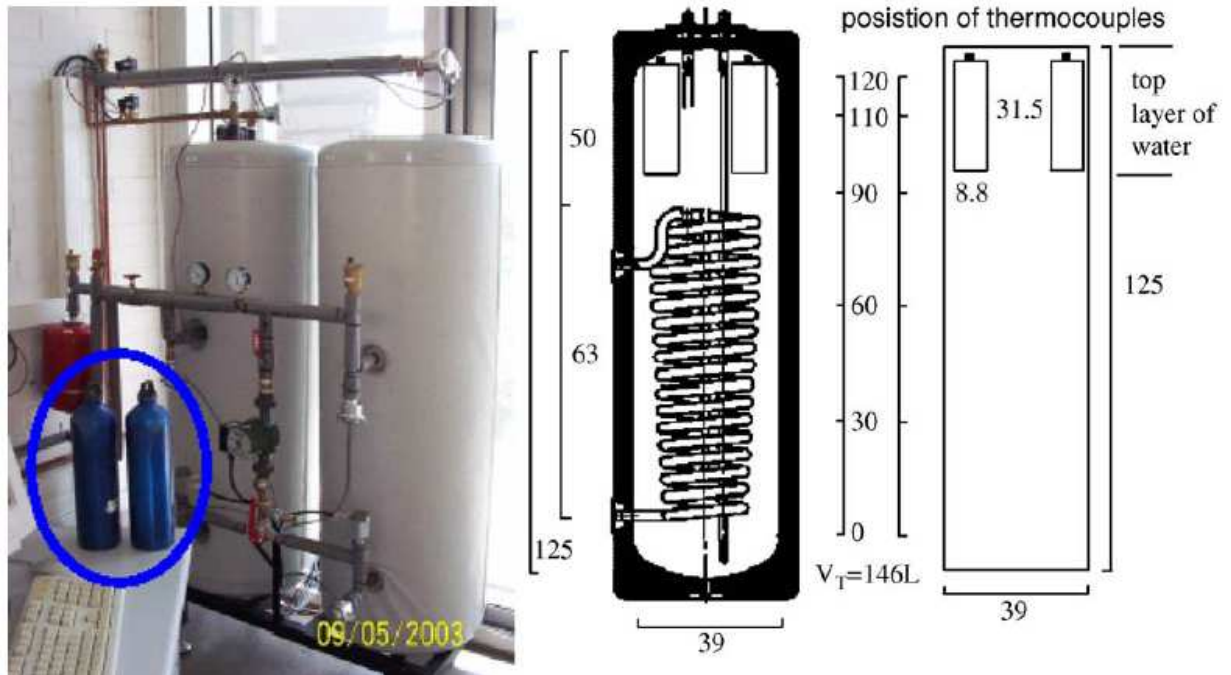
Έχουν διεξαχθεί δοκιμές κάτω από πραγματικές συνθήκες λειτουργίας σε ολοκληρωμένα ηλιακά θερμικά συστήματα.

Κάποια από τα πειράματα αυτά είναι τα εξής:

3.3.1. ΠΕΙΡΑΜΑ 1^ο [18]

Περιγραφή της ηλιακής εγκατάστασης

Προκειμένου να εξεταστεί η χρήση του ΥΑΦ σε ένα πραγματικό σύστημα, κατασκευάστηκε στο Πανεπιστήμιο της πόλης Lleida ,στην Ισπανία, ένας πειραματικός ηλιακός σταθμός, ο οποίος παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 25: Δεξαμενή θερμού νερού χρήσης για οικία με ΥΑΦ για την εκτέλεση του πειράματος.

Ο σταθμός είχε δυο θερμικούς ηλιακούς συλλέκτες, δυο δεξαμενές ζεστού νερού των 146 L και έναν ηλεκτρικό θερμαντήρα έξω από τις δεξαμενές ο οποίος επέτρεπε να παραχθεί ηλεκτρική θέρμανση συγκεκριμένου μεγέθους όποτε χρειαζόταν. Οι δύο δεξαμενές νερού ήταν πανομοιότυπες, αλλά η μια ήταν τροποποιημένη για να εισαχθεί σε αυτήν το ΥΑΦ. Η μια δεξαμενή ήταν εξοπλισμένη με θερμοηλεκτρικά ζεύγη, όπως φαίνεται στην εικόνα, για να μετράται η θερμοκρασία μέσα στο νερό σε διάφορα επίπεδα. Αυτό επέτρεπε να ελέγχεται αν το νερό μέσα στη δεξαμενή ήταν διαχωρισμένο σε στρώματα. Τα θερμοηλεκτρικά ζεύγη ήταν τοποθετημένα στον κατακόρυφο αγωγό που εκτινόταν στο μεγαλύτερο μέρος του εσωτερικού της δεξαμενής και δρούσε ως είσοδος του κρύου νερού.

Η εγκατάσταση των δοκιμών μπορούσε να λειτουργεί συνεχώς με το ηλιακό σύστημα, με την προϋπόθεση ότι η βασική αντλία λειτουργεί όταν η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία

των συλλεκτών. Από την άλλη πλευρά, το σύστημα μπορούσε να λειτουργήσει σποραδικά με τον θερμικό συλλέκτη.

Η ηλιακή εγκατάσταση είχε σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο που μπορούσε να προσομοιωθεί ένα πρωινό ντους ή ένα ζεστό βραδινό μπάνιο. Ένα πρόγραμμα στον υπολογιστή επέτρεπε τον έλεγχο του συστήματος ώστε να προσομοιώνονται συνήθεις διεργασίες ενός νοικοκυριού.

Γεωμετρία της μονάδας του ΥΑΦ

Το πρώτο βήμα ήταν να αναλυθεί η σωστή γεωμετρία του ΥΑΦ και της επίδρασής του στην απόδοση της δεξαμενής νερού. Η διαδικασία παγώματος του νερού από τους 65 °C στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος είχε προσομοιωθεί. Το νερό αποκτούσε λόγω θερμικών απωλειών τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος με μόνωση 1,5 W/m²K. Επιπλέον, είχαν γίνει αριθμητικές προσομοιώσεις του συστήματος.

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης η λύση που προέκυψε ήταν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι κύλινδροι στην κορυφή της δεξαμενής νερού, αντί για μόνο έναν. Για το λόγο αυτό διεξήχθησαν διάφορα πειράματα με δύο, τέσσερα και έξι μονάδες ΥΑΦ στην πραγματική εγκατάσταση.

Οι μονάδες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν αλουμίνια μπουκάλια του εμπορίου γεμάτα με σχεδόν ίσες ποσότητες μίγματος ΥΑΦ- γραφίτη. Οι διαστάσεις των μονάδων των ΥΑΦ ήταν 8,8 cm διάμετρος και 31,5 cm ύψος, δίνοντας 1,5 L χωρητικότητα.

Είδος ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκε

Όπως σε κάθε άλλη εφαρμογή, η επιλογή του ΥΑΦ που θα χρησιμοποιούνταν ήταν ένα κρίσιμο ζήτημα. Η θερμοκρασία του νερού που αποθηκεύεται ως ζεστό νερό σε μια οικία είναι περίπου 60 °C. Για το λόγο αυτό θερμοκρασία τήξης του ΥΑΦ πρέπει να είναι γύρω στους 60 °C. Στην αγορά υπάρχουν διάφορα ΥΑΦ με αυτή τη θερμοκρασία τήξης. Διεξήχθησαν πειράματα με παραφίνες τριένυδρου οξικού νατρίου(sodium acetate trihydrate), και με λιπαρά οξέα και τελικά το τριένυδρο οξικό νάτριο, επιλέχθηκε για τις δοκιμές.

Για την εκτέλεση του πειράματος ήταν πολύ σημαντικό το μέγεθος της θερμικής συμπεριφοράς του ΥΑΦ. Πειράματα έχουν δείξει ότι υπάρχουν πολλοί τρόποι για τη βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς στα ΥΑΦ. Παρ' ολ' αυτά, ο γραφίτης αποδείχθηκε η καλύτερη επιλογή σε αυτού του είδους τις εφαρμογές. Γι' αυτό επιλέχθηκε ένα μίγμα ΥΑΦ- γραφίτη σε κόκκους από περίπου 90 % κατ' όγκο νάτριο και 10 % κατ' όγκο γραφίτη ως ΥΑΦ. Επιλέχθηκε, επίσης, για το χαμηλό χρηματικό του κόστος και για τα θερμικά του δεδομένα τα οποία είναι τα εξής:

- πυκνότητα: 1.35- 1.4 kg/L
- σημείο τήξης: 58 °C
- θερμοχωρητικότητα: 2.5 kJ/kg K
- ενθαλπία: 180- 200 kJ/kg
- θερμική αγωγιμότητα: 2- 5 W/m K

Η συνολική ποσότητα ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκε ήταν περίπου 2.1 kg, δηλαδή δυο μονάδες των 1.5 L, που αποτελούσαν το 2.05 % του συνολικού όγκου της δεξαμενής.

Δοκιμές που έγιναν στο σύστημα

Οι δοκιμές που έγιναν στο σύστημα κατατάσσονται στη διαδικασία παγώματος, διαδικασία αναθέρμανσης και ηλιακή λειτουργία.

Η διαδικασία παγώματος περιλάμβανε τη θέρμανση του νερού της δεξαμενής μέχρι τους 80 °C και στη συνέχεια το φυσικό πάγωμα μέσω του τοιχώματος της δεξαμενής. Η δοκιμή αυτή έγινε χωρίς τη χρήση των ηλιακών συλλεκτών.

Στη δοκιμή αναθέρμανσης η δεξαμενή νερού θερμάνθηκε μέχρι τους 80 °C για να διασφαλιστεί η τήξη του ΥΑΦ και στη συνέχεια η δεξαμενή άδειαζε και ξαναγέμιζε νερό από το δίκτυο. Μετά από κάποιο χρόνο, η θερμοκρασία του νερού στην κορυφή της δεξαμενής αυξήθηκε. Αυτό συνέβη επειδή το νερό αυτό αναθερμάνθηκε από τη μονάδα του ΥΑΦ.

Η τρίτη ομάδα δοκιμών εκτελέστηκε με το ηλιακό σύστημα. Η εγκατάσταση λειτουργούσε με τους ηλιακούς συλλέκτες, την αντλία και τις δεξαμενές. Όταν το σύστημα λειτουργούσε με τους συλλέκτες, προσομοιωνόταν ένα πρωινό ντους 5 λεπτών για να αδειάσει το σύστημα. Στη συνέχεια, κρύο νερό έρρεε στη δεξαμενή και η κορυφή της δεξαμενής αναθερμαινόταν από την ενέργεια που είχε αποθηκευτεί στις μονάδες του ΥΑΦ.

Αποτελέσματα του πειράματος

Χρησιμοποιώντας δύο μονάδες, περίπου 2.1 kg ΥΑΦ, με όγκο 3 L, κάπου 2.05 % του όγκου της δεξαμενής, υπολογίζεται αύξηση της τάξης του 40 % στην πυκνότητα ενέργειας της δεξαμενής(που οριζόταν πριν με 1 K διαφορά

θερμοκρασίας) και 6 % με 8 K διαφορά θερμοκρασίας. Συγκρίνοντας την αρχική θερμοκρασία αλλαγής φάσης σε στερεά κατάσταση στους 54 °C, είναι εμφανές ότι τα δυο στρώματα στην κορυφή, κρατούσαν τη θερμοκρασία κοντά στους 54 °C για μια χρονική περίοδο μεταξύ 10 και 12 ωρών.

Χρησιμοποιώντας τέσσερις μονάδες, περίπου 4.2 kg ΥΑΦ, με όγκο 6 L, κάπου 4.1 % του όγκου της δεξαμενής, η αύξηση της πυκνότητας ενέργειας με 1 K διαφορά θερμοκρασίας ήταν περίπου 57.2 % και με 8 K διαφορά θερμοκρασίας ήταν 12 %. Τα αποτελέσματα ήταν όμοια στην ηλιακή λειτουργία μεταξύ τεσσάρων και έξι μονάδων ΥΑΦ.

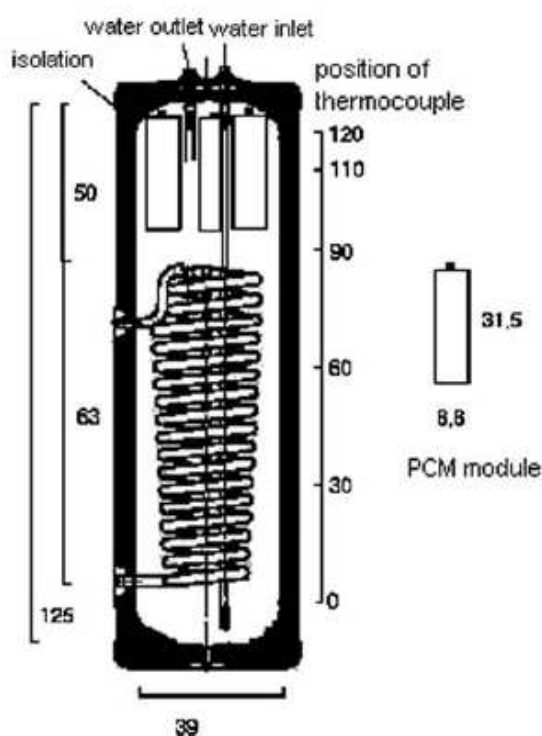
Χρησιμοποιώντας έξι μονάδες, 6.3 kg ΥΑΦ, με 9 L, κάπου 6.16 % του όγκου της δεξαμενής, η πυκνότητα ενέργειας αυξήθηκε 66.7 % με 1 K διαφορά θερμοκρασίας και 16.4 % με 8 K διαφορά θερμοκρασίας σε χρονικό διάστημα μεταξύ 10- 12 ωρών, όταν τα στρώματα 90, 110 και 120 cm ήταν κοντά στους 54 °C, αλλά με υψηλότερες θερμικές απώλειες και έναν επιπλέον χρόνο περίπου 45 λεπτών με ζεστό νερό(περίπου 36-38 °C) που θερμαινόταν από τις μονάδες των ΥΑΦ.

3.3.2. ΠΕΙΡΑΜΑ 2^ο [19]

Το πείραμα που παρουσιάζεται στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε επίσης στο Πανεπιστήμιο της πόλης Lleida στην Ισπανία, σε παρόμοια εγκατάσταση με το πρώτο πείραμα.

Περιγραφή της ηλιακής εγκατάστασης

Η δεξαμενή που χρησιμοποιήθηκε είχε χωρητικότητα 150 L. Οι διαστάσεις της ήταν 0.125 m ύψος και 0.78 m διάμετρος. Στην εικόνα παρουσιάζεται η δεξαμενή, καθώς και η μονάδα του ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκαν. Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας έγιναν με θερμοηλεκτρικά ζεύγη τοποθετημένα στον πάτο της δεξαμενής νερού σε αποστάσεις 0.30, 0.60, 0.90, 1.10 και 1.20 m. Θερμοηλεκτρικά ζεύγη τοποθετήθηκαν επίσης μέσα στο κέντρο κάθε μονάδας ΥΑΦ. Η ακρίβεια που χρησιμοποιήθηκε ήταν ± 0.1 °C.



Εικόνα 26: Δεξαμενή θερμού νερού χρήσης για οικία με ΥΑΦ για την εκτέλεση του πειράματος.

Γεωμετρία της μονάδας του ΥΑΦ

Χρησιμοποιήθηκαν τρεις μονάδες. Κάθε μονάδα ήταν κυλινδρικής γεωμετρίας με εξωτερική διάμετρο 0.176 m και ύψος 0.315 m. Το ΥΑΦ θερμάνθηκε 20 °C κάτω από τη θερμοκρασία τήξης του, πριν τοποθετηθεί στις μονάδες,

προκειμένου να αποφευχθούν τυχών προβλήματα που θα μπορούσαν να προκύψουν από τη διαστολή όγκου.

Η αναλογία όγκου των μονάδων του ΥΑΦ στην δεξαμενή αποθήκευσης ήταν 3 %, ενώ η αναλογία όγκου των μονάδων του ΥΑΦ στο ανώτερο επίπεδο της δεξαμενής αποθήκευσης υπολογίστηκε στο 17%.

Είδος Υ.Α.Φ. που χρησιμοποιήθηκε

Χρησιμοποιήθηκαν τρία κιλά μίγματος παραφίνης και διάφορων λιπαρών οξέων (στεατικό οξύ (PS), παλμιτικό (PP), μυριστικό οξύ (SM)) με αναλογία βάρους 80:20.

Προστέθηκε γραφίτης (10% κατά βάρος) στο μίγμα ΥΑΦ προκειμένου να αυξηθεί η μεταφορά θερμότητας στις μονάδες του ΥΑΦ.

Τα ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονταν από την εταιρεία Rubitherm και ήταν paraffin RT54 και ranreac sintesis (λιπαρό οξύ).

Οι θερμικές ιδιότητες του μίγματος των ΥΑΦ δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5: Ιδιότητες του μίγματος ΥΑΦ.

PCMs	Melting range (°C)	Heat of fusion (kJ/kg)	Density (g/ml)		Volume expansion (%)
			Liquid	Solid	
Paraffin-stearic acid (80%-20%)	49-53	150	0.803 (±0.015) (70 °C)	0.913 (±0.015) (40 °C)	12 (±3.5)
Paraffin-palmitic acid (80%-20%)	48-52	150	0.796 (±0.014) (70 °C)	0.902 (±0.02) (40 °C)	12 (±3.7)
Stearic-myristic acid (80%-20%)	61-65	190.87	0.873 (±0.02) (70 °C)	0.944 (±0.02) (40 °C)	10 (±3.02)

Δοκιμές που έγιναν στο σύστημα

Τα πειράματα παγώματος ξεκίνησαν αρχικά με τη θέρμανση του νερού μέσα στη δεξαμενή σε μια θερμοκρασία που προσέγγιζε τους 70 °C. Μετά η δεξαμενή αφέθηκε να κρυώσει μέχρι η θερμοκρασία να φθάσει κάτω από το σημείο τήξης του ΥΑΦ. Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας έγιναν σε διαστήματα των 10 λεπτών κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Τα πειράματα επαναλήφθηκαν με και χωρίς τις μονάδες των ΥΑΦ.

Για τα πειράματα αναθέρμανσης η ηλιακή δεξαμενή οικιακού θερμού νερού θερμάνθηκε κατά προσέγγιση μέχρι τους 70 °C ξανά και το νερό από το ανώτερο επίπεδο με την υψηλότερη θερμοκρασία εξήχθη για 5 με 10 λεπτά, προκειμένου να διαπιστωθεί η επίδραση του ΥΑΦ στη θερμική απόδοση της δεξαμενής. Καθώς το ζεστό νερό εξαγόταν, γινόταν ταυτόχρονα τροφοδοσία κρύου νερού στο σύστημα από τον πάτο της δεξαμενής. Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας έγιναν σε διαστήματα των 10 δευτερολέπτων κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Αποτελέσματα του πειράματος

Στα πειράματα παγώματος, ο μέσος όρος της θερμοκρασίας του νερού της δεξαμενής έπεσε κάτω από τη θερμοκρασία τήξης του ΥΑΦ μέσα σε 6 με 12 ώρες. Η μεγαλύτερη πτώση ήταν για το μίγμα PS και η χαμηλότερη ήταν για το μίγμα SM. Παρατηρήθηκε ότι οι θερμοκρασίες γύρω από το σημείο τήξης ήταν 2.5- 3.5 °C υψηλότερες με τη χρήση ΥΑΦ.

Στα πειράματα αναθέρμανσης παρατηρήθηκε ότι 3 kg ΥΑΦ μπορούσαν να αυξήσουν τη θερμοκρασία 14 με 36 L νερού στο ανώτερο επίπεδο της δεξαμενής κατά 3 με 4 °C. Αυτή η επίδραση στη θερμοκρασία πραγματοποιήθηκε μέσα σε

10 με 15 λεπτά. Η αύξηση της θερμοκρασίας στα πειράματα αναθέρμανσης με το μίγμα PP ήταν μεγαλύτερη απ' ό τι με το μίγμα PS, με παρόμοιο σημείο τήξης. Παρόλα αυτά, η ικανότητα επανόρθωσης του PS ήταν μεγαλύτερη από αυτή του PP.

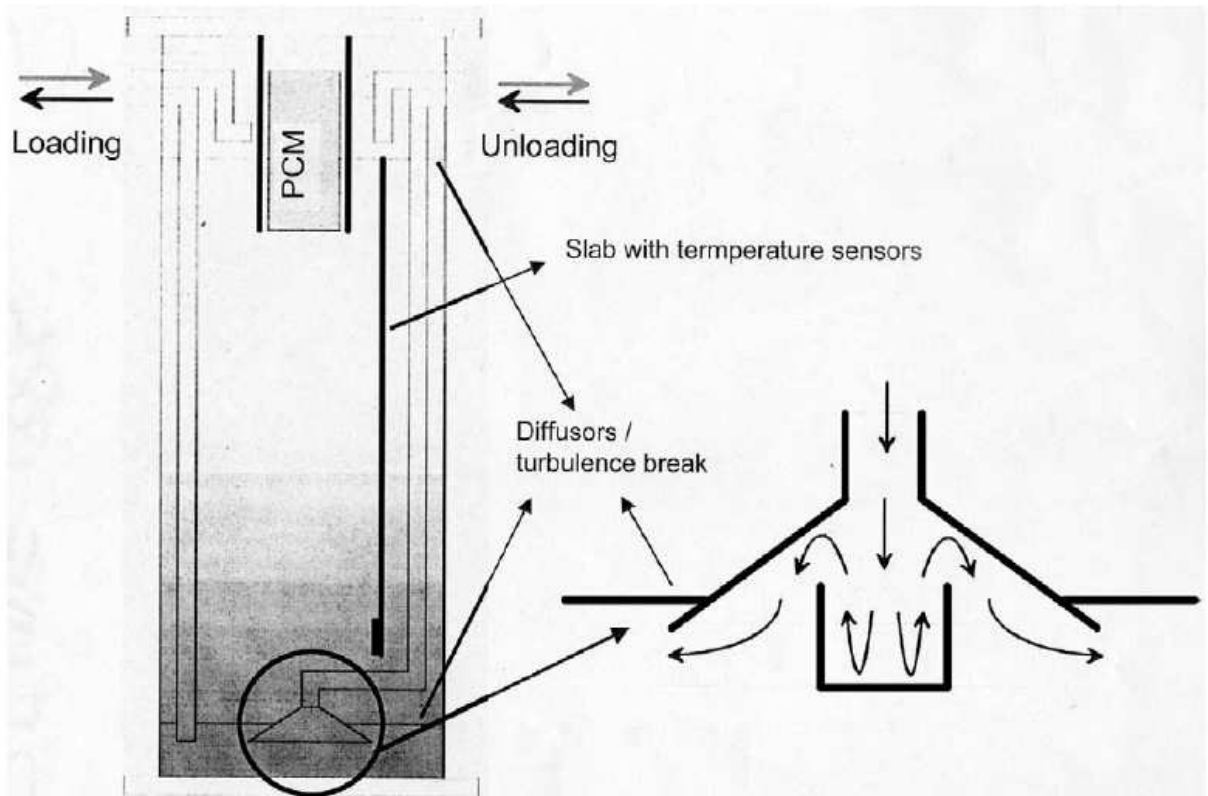
Το τελικό συμπέρασμα στο οποίο κατέληξε το πείραμα ήταν ότι το μίγμα PS έδωσε το καλύτερο αποτέλεσμα για τη βελτίωση της θερμικής απόδοσης της ηλιακής δεξαμενής θέρμανσης οικιακού νερού χρήσης.

3.3.3. ΠΕΙΡΑΜΑ 3^ο [20]

Περιγραφή της ηλιακής εγκατάστασης

Προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι δοκιμές σε αυτό το πείραμα, κατασκευάστηκε μια κυλινδρική κάθετη δεξαμενή. Η δεξαμενή είχε διάμετρο 20 cm και ύψος 120 cm. Το υλικό που επιλέχθηκε για την κατασκευή της ήταν μεθακρυλικό. Αυτό είχε δύο πλεονεκτήματα: πρώτον μπορούσε να παρατηρηθεί το εσωτερικό της δεξαμενής κατά τη διάρκεια των δοκιμών και δεύτερον είχε ελαχιστοποιηθεί η μεταφορά θερμότητας μέσω του τοιχώματος του δοχείου.

Επίσης η δεξαμενή είχε μονωθεί με δύο διαφορετικά μονωτικά υλικά, δίνοντας συντελεστές θερμικής απώλειας $5.0 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ και $1.5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Δέκα θερμοηλεκτρικά ζεύγη ήταν τοποθετημένα μέσα στη δεξαμενή, σε απόσταση 10 cm το ένα από το άλλο, για να καταγράφουν την θερμοκρασία των στρωμάτων του νερού της δεξαμενής. Επίσης καταγράφονται η θερμοκρασία του νερού εξαγωγής και εισαγωγής, καθώς και η θερμοκρασία του χώρου.



Εικόνα 27: Σχεδιάγραμμα της πειραματικής διάταξης.

Όλες οι έξοδοι και οι εισοδοι συνδέονταν στην κορυφή της δεξαμενής. Το κρύο νερό εισαγόταν από τον πάτο της δεξαμενής, με έναν ελαστικό σωλήνα, μέσα σε έναν ακριλικό αγωγό. Η έξοδος στον πυθμένα είχε σχεδιαστεί, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η διατάραξη κατά τη διάρκεια της λειτουργίας .

Γεωμετρία της μονάδας του ΥΑΦ

Η μονάδα του ΥΑΦ είχε τοποθετηθεί μέσα στη δεξαμενή χρησιμοποιώντας μια ράβδο που επέτρεπε στη μονάδα να αλλάζει εύκολα. Οι μονάδες αποτελούνταν από οριζόντιο κύλινδρο με διάμετρο 10 cm και ύψος 30 cm και ήταν γεμισμένες με ΥΑΦ (6% του συνολικού όγκου της δεξαμενής ήταν ΥΑΦ).

Είδος ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκε

Στα πειράματα χρησιμοποιήθηκε ένα μίγμα ΥΑΦ και γραφίτη με βελτιωμένη θερμική αγωγιμότητα μεταξύ 20 W/m K και 30 W/m K. Η θερμοκρασία του ΥΑΦ καταγραφόταν στο κέντρο της κορυφής της μονάδας του ΥΑΦ.

Δοκιμές που έγιναν στο σύστημα

Στο πρώτο πείραμα έγινε ψύξη του νερού της δεξαμενής αφού είχε θερμανθεί στους 80 °C. Η δεξαμενή που περιείχε μια μονάδα με μίγμα ΥΑΦ72- γραφίτη(ΥΑΦ με θερμοκρασία τήξης 72 °C και ενθαλπία 290 kJ/L).

Στο επόμενο πείραμα που διεξήχθει, προκειμένου να επαληθευθεί το μοντέλο, αναθερμάνθηκε το νερό της δεξαμενής ύστερα από μερικό άδειασμα, όταν χρησιμοποιήθηκε μια μονάδα μίγματος RT50- γραφίτη. Ολόκληρη η δεξαμενή θερμάνθηκε πρώτα στους 65 °C. Ύστερα, αδειάστηκε ενώ ερχόταν κρύο νερό από τον πάτο μέχρι που το ανώτερο του νερού απέκτησε θερμοκρασία 27 °C. Σε αυτό το σημείο το ΥΑΦ ήταν ακόμα στους 55 °C και είχε ακόμα την περισσότερη από τη λανθάνουσα θερμότητά του. Έτσι, τα ανώτερα στρώματα του νερού της δεξαμενής, τα οποία έρχονταν σε επαφή με τη μονάδα του ΥΑΦ, αναθερμαίνονταν.

Αποτελέσματα του πειράματος

Οι δοκιμές και οι προσομοιώσεις έδειξαν ότι με τη χρήση ΥΑΦ στη δεξαμενή θέρμανσης νερού η πυκνότητα ενέργειας μπορεί να βελτιωθεί κατά 20 με 45 %. Ο χρόνος που μετρήθηκε για την καθυστέρηση των θερμικών απωλειών ήταν της

τάξης του 50- 200 % και ο χρόνος αναθέρμανσης επαληθεύτηκε πως είναι περίπου 20 λεπτά.

3.3.4. ΠΕΙΡΑΜΑ 4^ο [29]

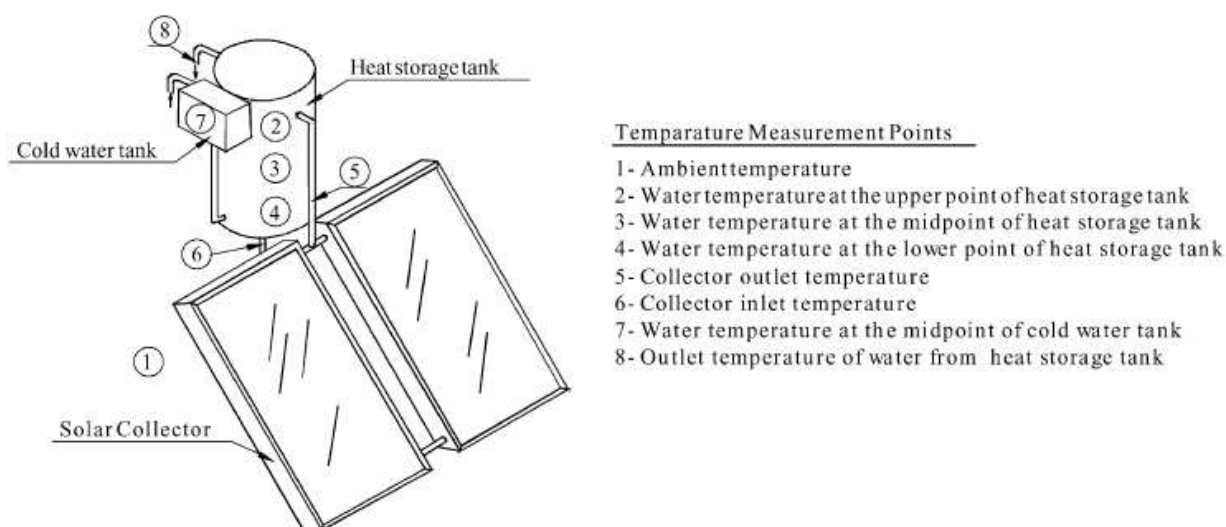
Πρωταρχικός στόχος του πειράματος αυτού ήταν να διερευνηθεί πειραματικά η θερμική λειτουργία ενός παθητικού συστήματος ηλιακής θέρμανσης νερού ανοικτού κυκλώματος, το οποίο καλείται επίσης σύστημα φυσικής κυκλοφορίας. Στο συγκεκριμένο πείραμα το νερό που θερμαίνεται δε χρησιμοποιείται και οι θερμοκρασίες του μετρούνται στο κέντρο της δεξαμενής αποθήκευσης και στην έξοδο του συλλέκτη. Ακόμα, εξετάζεται η βελτίωση της ηλιακής θερμικής αποθηκευτικής λειτουργίας χρησιμοποιώντας μίγμα ΥΑΦ στη δεξαμενή αποθήκευσης στο ίδιο ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού κατά το μήνα Νοέμβριο.

Περιγραφή της ηλιακής εγκατάστασης

Τα πειράματα εκτελέστηκαν κατά το μήνα Νοέμβριο στη Malatya της Τουρκίας, όπου επικρατεί ένα κρύο και ξηρό κλίμα. Το επίπεδο ισχύος της μέσης υπάρχουσας ηλιακής ακτινοβολίας στον ορίζοντα είναι στη σχετικά μικρή ένταση των 8.469 WJ/m² ανά κάθε ημέρα του Νοεμβρίου, που αντιστοιχεί κατά προσέγγιση στο ένα τρίτο αυτής του Ιουνίου.

Το συμβατικό ηλιακό σύστημα ανοικτού κυκλώματος φυσικής κυκλοφορίας, το οποίο χρησιμοποιείται γενικά για την παροχή ζεστού νερού χρήσης για τις απαιτήσεις κτιρίων, αποτελείται από ηλιακούς συλλέκτες, δεξαμενές ζεστού και

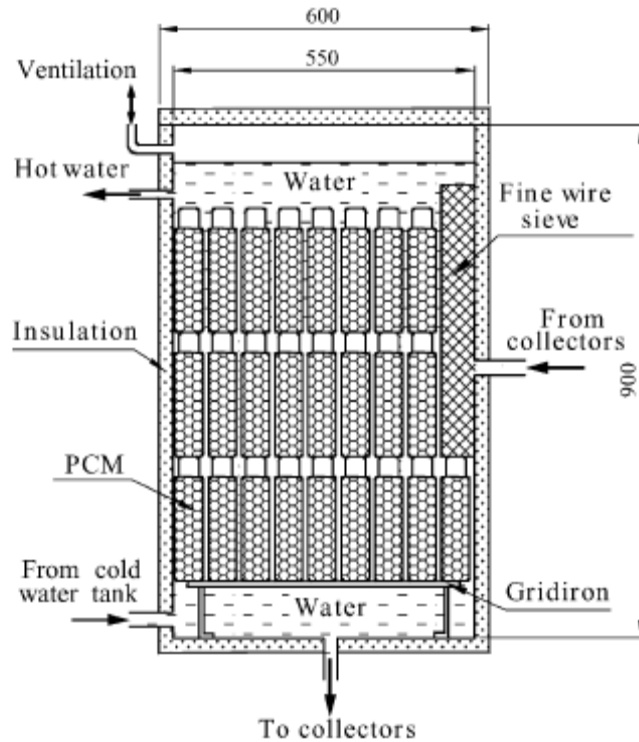
κρύου νερού, μετρητικά όργανα και συστήματα δεξαμενών, όπως φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί:



Εικόνα 28: Άποψη του παθητικού συστήματος ηλιακής θέρμανσης νερού ανοιχτού κυκλώματος του πειράματος και των σημείων όπου έγιναν οι μετρήσεις της θερμοκρασίας του νερού.

Οι επίπεδοι παράλληλοι αλουμίνιοι ηλιακοί συλλέκτες με επιφάνεια $1.94\text{m} \times 0.94\text{m} \times 0.10\text{m}$ είχαν ένα γυάλινο κάλυμμα και μαύρη απορροφητική επιφάνεια. Είχαν φορά προς το νότο και διέθεταν επίσης δίκτυο απορρόφησης μεγέθους 1.65m^2 ο καθένας και γωνία κλίσης 30° με την οριζόντια επιφάνεια. Το μέγεθος της δεξαμενής τροφοδοσίας κρύου νερού, η οποία ήταν μονωμένη, ήταν χωρητικότητας 18L. Διέθεται ακόμα μια ελαφριά μπάλα που επέτρεπε την είσοδο του κρύου νερού, ρυθμίζοντας το επίπεδο της μέγιστης ποσότητας νερού στη δεξαμενή όταν αυτή ήταν γεμάτη. Όλοι οι σωλήνες και οι τροφοδοσίες που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα ήταν επίσης μονωμένα.

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται λεπτομερώς, σε κάθετη τομή, όψη της καλά μονωμένης κυλινδρικής γαλβανισμένης ατσάλινης δεξαμενής αποθήκευσης, όγκου 190L, η οποία είναι εφοδιασμένη με ΥΑΦ. Το υλικό της μόνωσης ήταν υαλοβάμβακας.



Εικόνα 29: Λεπτομερής όψη κάθετης τομής κυλινδρικής δεξαμενής αποθήκευσης θερμότητας, εφοδιασμένης με ΥΑΦ, του πειράματος.

Γεωμετρία της μονάδας του ΥΑΦ

Όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα, μπουτίλιες από πολυαιθυλένιο, των 0.44L η κάθε μια, που περιείχαν ΥΑΦ ποσότητας 0.7347 kg, είχαν τοποθετηθεί μέσα στη δεξαμενή σε τρεις οριζόντιες σειρές. Ο όγκος των μπουκαλιών επιλέχτηκε σχετικά μικρός, ώστε να ελαχιστοποιηθούν διάφορα προβλήματα που θα μπορούσαν να προκύψουν κατά τη διάρκεια της τήξης και της στερεοποίησης του ΥΑΦ. Μεγάλος αριθμός μπουκαλιών, σημαίνει μεγαλύτερη επιφάνεια θερμικής μεταφοράς για το ΥΑΦ.

Οι όγκοι των ΥΑΦ και του νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας είναι ίσοι με 107.8 και 82.2L αντίστοιχα. Η συνολική μάζα ΥΑΦ που

χρησιμοποιήθηκε στη δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας ήταν περίπου 180kg, έχοντας πυκνότητα στη στερεά κατάσταση του ΥΑΦ 1666 kg/m³. Οι μποτίλιες δεν επέτρεπαν τη ροή του νερού σε οριζόντια διεύθυνση, λόγω της κοντινής τοποθέτησής τους. Για το λόγο αυτό, η δεξαμενή θερμικής αποθήκευσης είχε κενά στο ανώτερο και κατώτερο τμήμα της, ώστε να επιτευχθεί μια πιο ομοιογενής θερμική κατανομή οριζοντίως σε αυτήν, λόγω της ροής του νερού, μέσω των κατακόρυφων κενών μεταξύ των μπουκαλιών, παρόλο που είναι γνωστό ότι το ανώτερο τμήμα της δεξαμενής είχε θερμική διαστρωμάτωση στο ψηλότερο επίπεδο.

Είδος ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκε

Το ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκε ήταν θείοθειικό πενταεδρικό νάτριο.

Αποτελέσματα του πειράματος

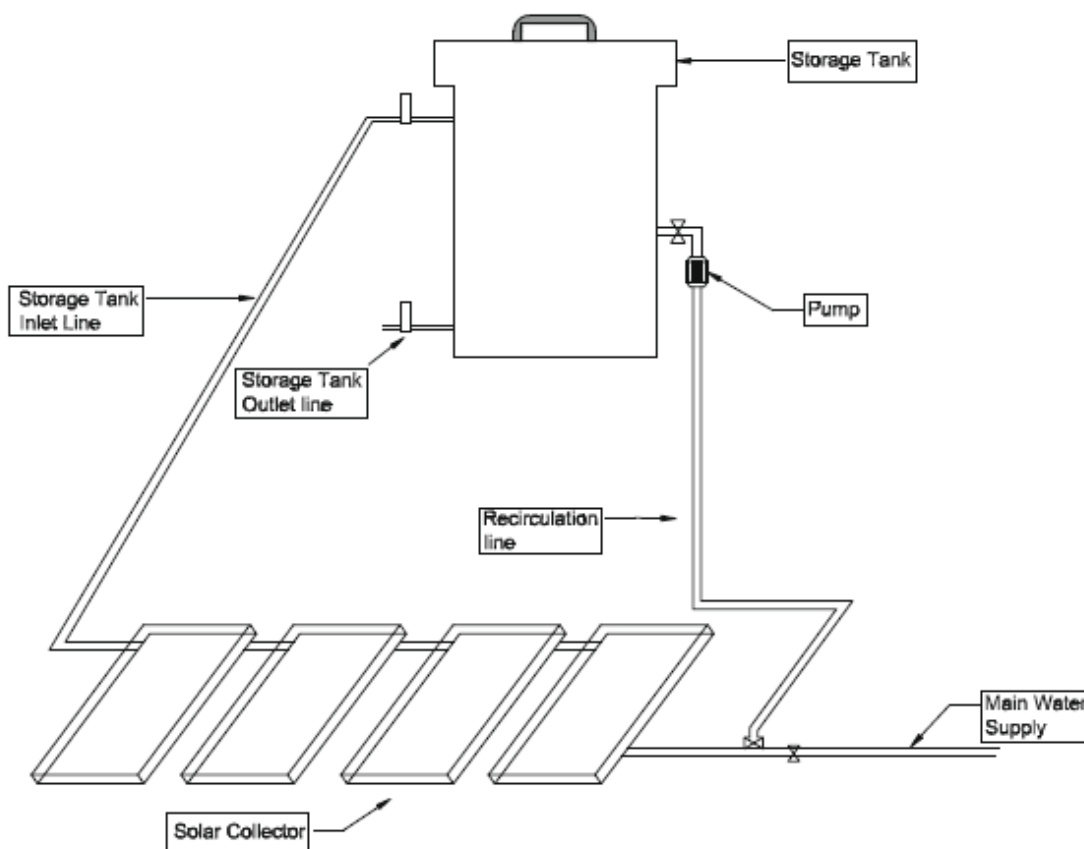
Παρατηρήθηκε ότι το σύστημα ηλιακής θέρμανσης νερού σε συνδυασμό με χρήση ΥΑΦ, αύξησε την αποτελεσματικότητα της αποθήκευσης θερμικής ηλιακής ακτινοβολίας, παρόλο που το πείραμα εκτελέστηκε τον Νοέμβριο. Η διαφορά ανάμεσα στις θερμοκρασίες του μέσου της δεξαμενής αποθήκευσης θερμότητας και της εξόδου από το συλλέκτη προς τη δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας, στην οποία γινόταν χρήση ΥΑΦ, ήταν αρκετά μεγάλη, με μέσο όρο περίπου 6 °C, σε σχέση με τη θερμοκρασιακή διαφορά αυτών όταν δεν γινόταν χρήση ΥΑΦ. Αυτή η διαφορά είναι αξιόλογη, αφού δηλώνει την απόδοση υψηλής αποθήκευσης θερμότητας του συστήματος σε συνδυασμό με χρήση ΥΑΦ, παρόλο που το πείραμα εκτελέστηκε τον Νοέμβριο.

3.3.5. ΠΕΙΡΑΜΑ 5^ο [30]

Σκοπός της παρούσας δοκιμής είναι να ερευνηθεί την επίδραση της χρήσης παραφίνης ως ΥΑΦ σε δοχεία τοποθετημένα στη δεξαμενή αποθήκευσης ενός συμβατικού συστήματος θέρμανσης νερού με ηλιακή ενέργεια. Η έρευνα περιλαμβάνει ένα σύνολο πειραμάτων διαφορετικών σεναρίων.

Περιγραφή της ηλιακής εγκατάστασης

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η αναπαράσταση της πειραματικής διάταξης. Η διάταξη ήταν όμοια με τα συμβατικά και οικονομικά διαθέσιμα συστήματα θέρμανσης νερού με ηλιακή ενέργεια, αλλά με κάποιες διαφορές.

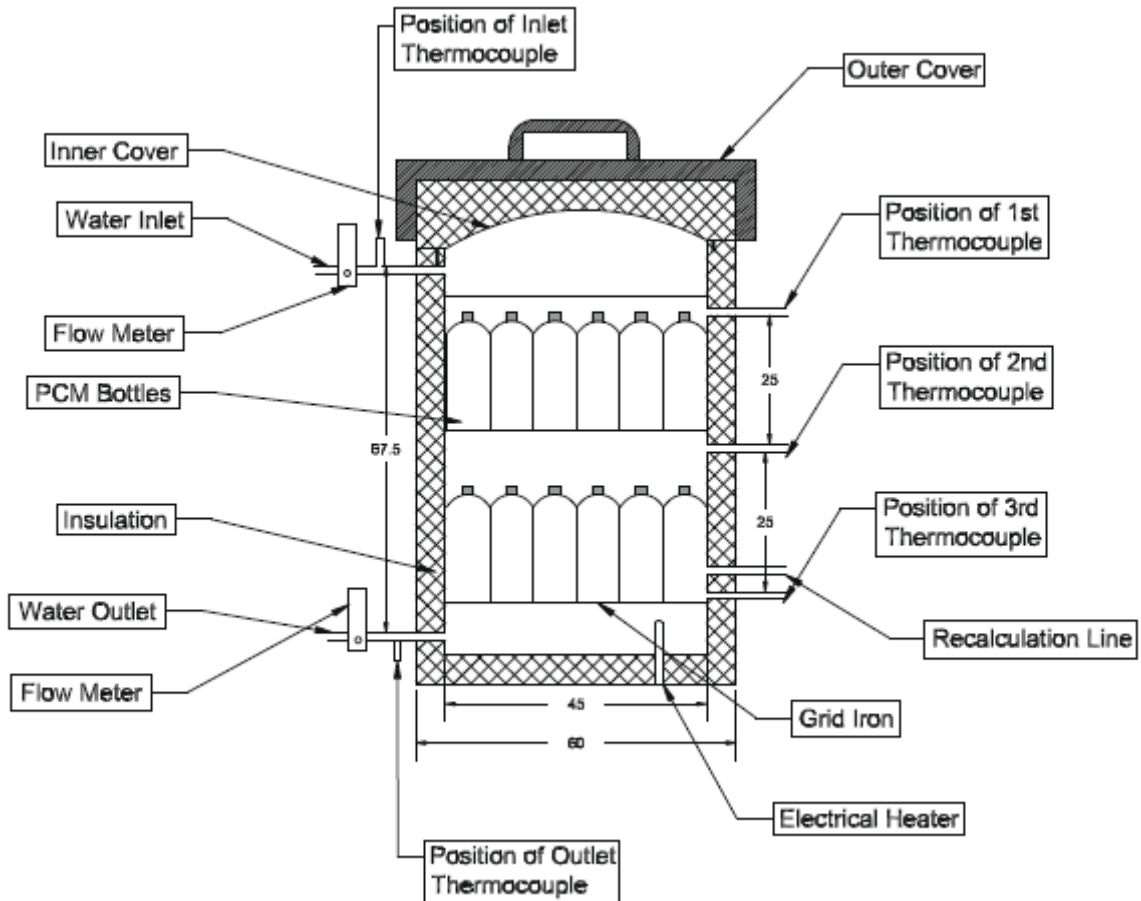


Εικόνα 30: Σχηματική αναπαράσταση της πειραματικής διάταξης.

Αποτελείται από τέσσερις συλλέκτες διαστάσεων 1.94m x 0.76m x 0.15m νότιου προσανατολισμού και γωνίας κλίσης 30° με το οριζόντιο επίπεδο. Οι συλλέκτες οι οποίοι έχουν ένα γυάλινο κάλυμμα και μαύρη απορροφητική επιφάνεια, είναι συνδεδεμένοι με την κύρια παροχή νερού και με τη δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού, μέσω τριών βαλβίδων, ικανών να ανοίγουν και να κλείνουν το κύκλωμα. Μια αντλία κυκλοφορίας των 90W, με μέγιστη χωρητικότητα 10L/min, υπάρχει επίσης στο κύκλωμα συλλεκτών-δεξαμενής αποθήκευσης, προκειμένου να είναι δυνατή η διερεύνηση εξαναγκασμένης κυκλοφορίας, εκτός από αυτή της φυσικής κυκλοφορίας.

Η γαλβανισμένη ατσάλινη δεξαμενή αποθήκευσης ήταν κυλινδρική, είχε μήκος 675mm, εσωτερική διάμετρο 450mm, και όγκο 107.4L. Ήταν μονωμένη με 75mm στρώματος πετροβάμβακα.

Η εικόνα που ακολουθεί δείχνει μια λεπτομερή όψη κάθετης τομής της δεξαμενής αποθήκευσης.



Εικόνα 31: Όψη κάθετης τομής της δεξαμενής αποθήκευσης του πειράματος όπου περιλαμβάνονται δοχεία ΥΑΦ.

Στον πάτο της η δεξαμενή περιείχε δυο βοηθητικούς ηλεκτρικούς θερμαντήρες. Ακόμα, η δεξαμενή διέθετε 7 θερμοηλεκτρικά ζεύγη σε διάφορα μέρη της (είσοδο, έξοδο, κορυφή, μέση, πάτο).

Γεωμετρία της μονάδας του ΥΑΦ

Η δεξαμενή περιείχε συνολικά 38 λεπτά κυλινδρικά αλουμίνια δοχεία. Κάθε δοχείο είχε όγκο 1.3L. Τα δοχεία του ΥΑΦ τοποθετήθηκαν στη δεξαμενή σε δυο επίπεδα, που το καθένα αποτελούνταν από 19 δοχεία, με δυο βοηθητικά μεταλλικά διαχωριστικά.

Η επιλογή των δοχείων έγινε ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη μεταφορά θερμότητας, λόγω μεγαλύτερης επιφάνειας σε σχέση με τον όγκο του ΥΑΦ και ώστε να ελαχιστοποιηθεί η θερμική αντίσταση μεταξύ νερού και ΥΑΦ. Ο συνολικός όγκος των δοχείων ΥΑΦ ήταν 49.4L και του νερού 58L.

Είδος ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκε

Κάθε δοχείο περιείχε 1kg παραφίνης που χρησιμοποιήθηκε ως ΥΑΦ. Οι θερμοφυσικές ιδιότητες της παραφίνης δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6: Θερμοφυσικές ιδιότητες του ΥΑΦ.

Melting point	Latent heat of fusion	Density (solid phase)	Density (liquid phase)	Specific heat	Thermal conductivity
52 °C	230 kJ/kg	820 kg/m ³	780 kg/m ³	2.4 kJ/kg K	0.25 W/m K

Συνθήκες διεξαγωγής πειράματος

Όλες οι δοκιμές εκτελέστηκαν κατά την περίοδο από την 1^η έως την 24^η Απριλίου του 2008 στην περιοχή του πανεπιστημίου του Hashemite. Αυτή η περιοχή βρίσκεται σε 32.1° N και 36.2° E και σε υψόμετρο περίπου 620m. Το κλίμα χαρακτηρίζεται από λιγοστές βροχές ετησίως και από περίπου 3300 ώρες λιακάδας ανά έτος. Η μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι περίπου 5.5 kWh/m².

Αποτελέσματα του πειράματος

Η χρήση παραφίνης σε μικρά αλουμίνια δοχεία τοποθετημένα σε συμβατικές δεξαμενές αποθήκευσης νερού, αποτελεί μια προσέγγιση για απλή και οικονομική αποθήκευση θερμικής ενέργειας. Τέτοιου είδους αποθήκευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συμβατικά, υπάρχοντα συστήματα θέρμανσης νερού με ηλιακή ενέργεια. Η καταλληλότητα της θερμοκρασίας τήξης της παραφίνης καθιστά δυνατή την αποθήκευση επιπλέον ενέργειας, που είναι διαθέσιμη κατά τη διάρκεια της ημέρας ως λανθάνουσα θερμότητα και ύστερα την απελευθέρωση της υποθηκευμένης θερμότητας, ώστε να διατηρηθεί η θερμοκρασία του νερού σε ένα αποδεκτό επίπεδο για τις περισσότερες οικιακές εφαρμογές.

Παρατηρήθηκε επίσης, πώς σε περιπτώσεις μεγάλης κατανάλωσης κατά τη διάρκεια της νύχτας, η ύπαρξη του ΥΑΦ μπορεί εν μέρει να καλύψει τις θερμοκρασιακές απώλειες του νερού και έτσι να επιτυγχάνεται η αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος για περισσότερο χρόνο.

3.4. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αποθήκευση ζεστού νερού με διαστρωμάτωση είναι μια κοινή τεχνολογία που χρησιμοποιείται στα ηλιακά ενεργειακά συστήματα. Η προσθήκη μιας μονάδας ΥΑΦ στην κορυφή της δεξαμενής νερού αποδείχθηκε πως είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία η οποία προσδίδει στο σύστημα μεγαλύτερη πυκνότητα ενέργειας. Ακόμα, επιτρέπει την αναθέρμανση των ανώτερων στρωμάτων, ύστερα από μερικό άδειασμα και την αντιστάθμιση των θερμικών απωλειών στο ανώτερο στρώμα για κάποιο αξιόλογο χρόνο και χωρίς να προσδίδεται εξωτερική ενέργεια ή χρησιμοποιώντας μικρότερες δεξαμενές για το ίδιο σκοπό [18-20] .

ΔΕΥΤΕΡΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΧΡΗΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λανθάνουσα θερμότητα των Υ.Α.Φ. μπορεί να χρησιμοποιηθεί για βραχυπρόθεσμη αποθήκευση θερμότητας. Τα υλικά αυτά, μπορούν να προστεθούν σε δεξαμενές ηλιακών συστημάτων για θέρμανση οικιακού νερού χρήσης, προκειμένου να βελτιωθεί η αποθήκευση θερμότητας με διαστρωμάτωση. Τα βασικά πλεονεκτήματα των υλικών αυτών, είναι η υψηλή πυκνότητα αποθήκευσης και η ισοθερμοκρασιακή κατανομή στο εσωτερικό της δεξαμενής.

Στην παρούσα εφαρμογή, μελετάται παραμετρικά η λειτουργία ενός ενεργητικού συστήματος ηλιακής θέρμανσης οικιακού νερού χρήσης, με, και χωρίς χρήση Υ.Α.Φ. , όταν σε αυτό μεταβάλλεται το μέγεθος του ηλιακού συλλέκτη και το μέγεθος της δεξαμενής, ενώ οι συνθήκες του περιβάλλοντος παραμένουν σταθερές. Οι δοκιμές πραγματοποιούνται για το μήνα Νοέμβρη και για τις 24 ώρες κάθε ημέρας.

4.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΟΥΣ ΨΥΧΡΟΤΕΡΟΥΣ ΜΗΝΕΣ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ

4.2.1. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ολική ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στη γη, διακρίνεται σε άμεση, διάχυτη.

Άμεσος ακτινοβολία είναι το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στη γη κατευθείαν από τον ήλιο, χωρίς να μεσολαβήσει διασκορπισμός μέσα στην ατμόσφαιρα. Η στιγμιαία τιμή (σε W/m^2) της άμεσου ακτινοβολίας που δέχεται το οριζόντιο επίπεδο, συμβολίζεται με G_b .

Διάχυτος ακτινοβολία είναι το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στη γη ύστερα από διασκορπισμό και αλλαγή κατεύθυνσης κατά τη διαδρομή μέσα στην ατμόσφαιρα. Η στιγμιαία τιμή της (σε W/m^2) συμβολίζεται με G_d .

Ολική ακτινοβολία είναι το άθροισμα της άμεσου και της διαχύτου ηλιακής ακτινοβολίας. Η στιγμιαία τιμή της ολικής ακτινοβολίας του κεκλιμένου επιπέδου (σε W/m^2) συμβολίζεται με G_t .

Η τιμή της μέσης στιγμιαίας άμεσης ακτινοβολίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$G_b (W / m^2) = M_t + A_t \sin\left(\frac{360}{365} n - P_t\right) \quad (4.2.1.1.)$$

και της μέσης στιγμιαίας διαχύτου ακτινοβολίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$G_d (W / m^2) = m_t + a_t \sin\left(\frac{360}{365}n - p_t\right) \quad (4.2.1.2.)$$

όπου:

$M_t, A_t, P_t, m_t, a_t, p_t$: συντελεστές που δίνονται για κάθε ώρα t από τον Πίνακα 1 του Παραρτήματος και

$n = 1 \div 365$: η μέρα του έτους, η οποία υπολογίζεται εύκολα με τη βοήθεια του Πίνακα 2 του Παραρτήματος.

Προκειμένου να υπολογίσουμε την τιμή του G_t , θα πρέπει αρχικά να υπολογίσουμε το λόγο:

$$R_b = \frac{\sin \delta * \sin(\phi - \beta) + \cos \delta * \cos(\phi - \beta) * \cos \omega}{\sin \delta * \sin \phi + \cos \delta * \cos \phi * \cos \omega} \quad (4.2.1.3.)$$

όπου:

δ : η ηλιακή απόκλιση, δηλαδή η γωνιακή θέση του ήλιου κατά το ηλιακό μεσημέρι ως προς το επίπεδο του ισημερινού. Ισχύει $-23,45 \leq \delta \leq 23,45$, με θετικές τιμές προς το βορά. Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{360(284 + n)}{365}\right) \quad (4.2.1.4.)$$

ϕ : το γεωμετρικό πλάτος του τόπου ($-90 \leq \phi \leq 90$)

β : η κλίση του συλλέκτη ως προς το οριζόντιο επίπεδο

ω : η γωνιακή μετατόπιση του ήλιου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού λόγω της περιστροφής της γης περί τον άξονά της με ρυθμό $15^\circ/h=0,25^\circ/\text{min}$.

Ισχύει $\omega = 0,25 \cdot (\text{min από το ηλιακό μεσημέρι})$

Λαμβάνεται $\omega > 0$ για μ.μ. και $\omega < 0$ για π.μ.

Στη συγκεκριμένη μελέτη υπολογίζεται η ακτινοβολία στην περιοχή της Αθήνας, την 21^η ημέρα του μήνα από το Νοέμβρη έως τον Απρίλη, άρα:

$$\varphi = 37,97^\circ$$

$$\beta = (37,97 + 15)^\circ = 52,97^\circ \text{ (για χειμερινή ακτινοβολία)}$$

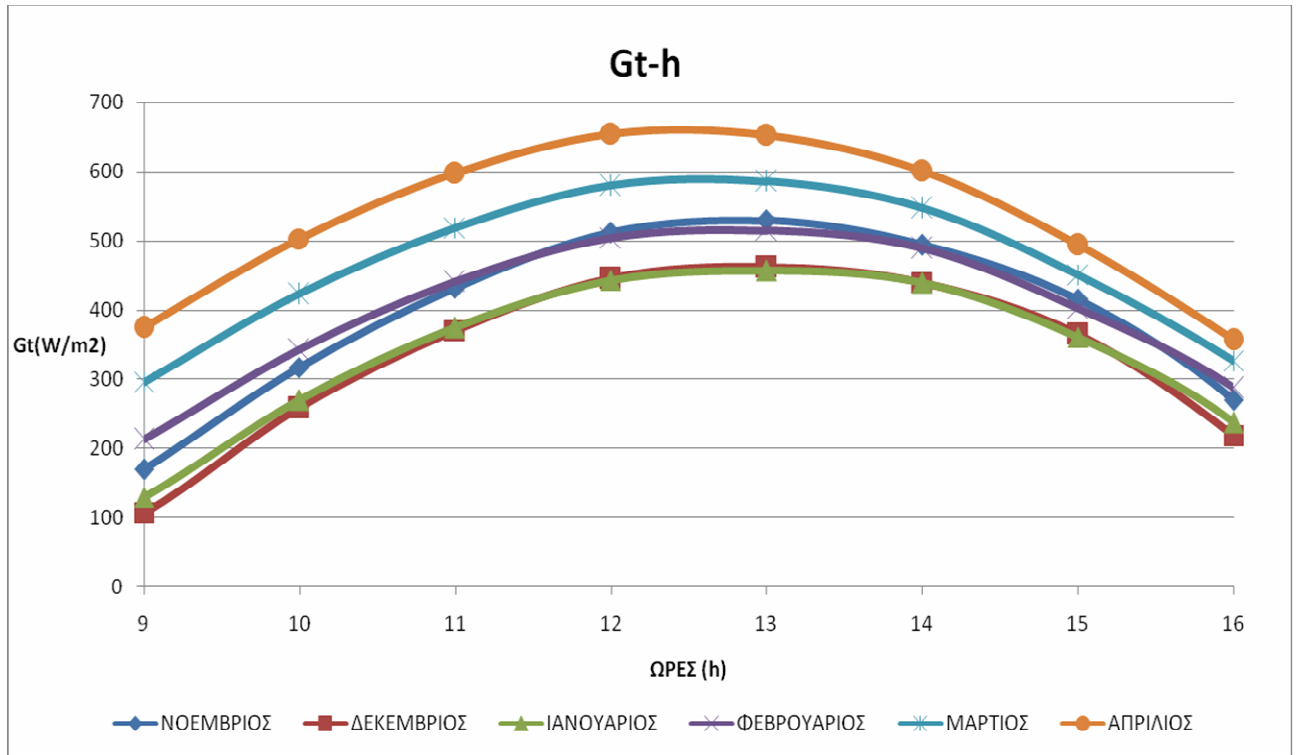
ενώ το n υπολογίζεται για την 21^η κάθε μήνα από τον Πίνακα 2 του Παραρτήματος, π.χ. για την 21^η Νοεμβρίου $n = 325$.

Άρα, η τιμή της μέσης στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας υπολογίζεται από τη σχέση:

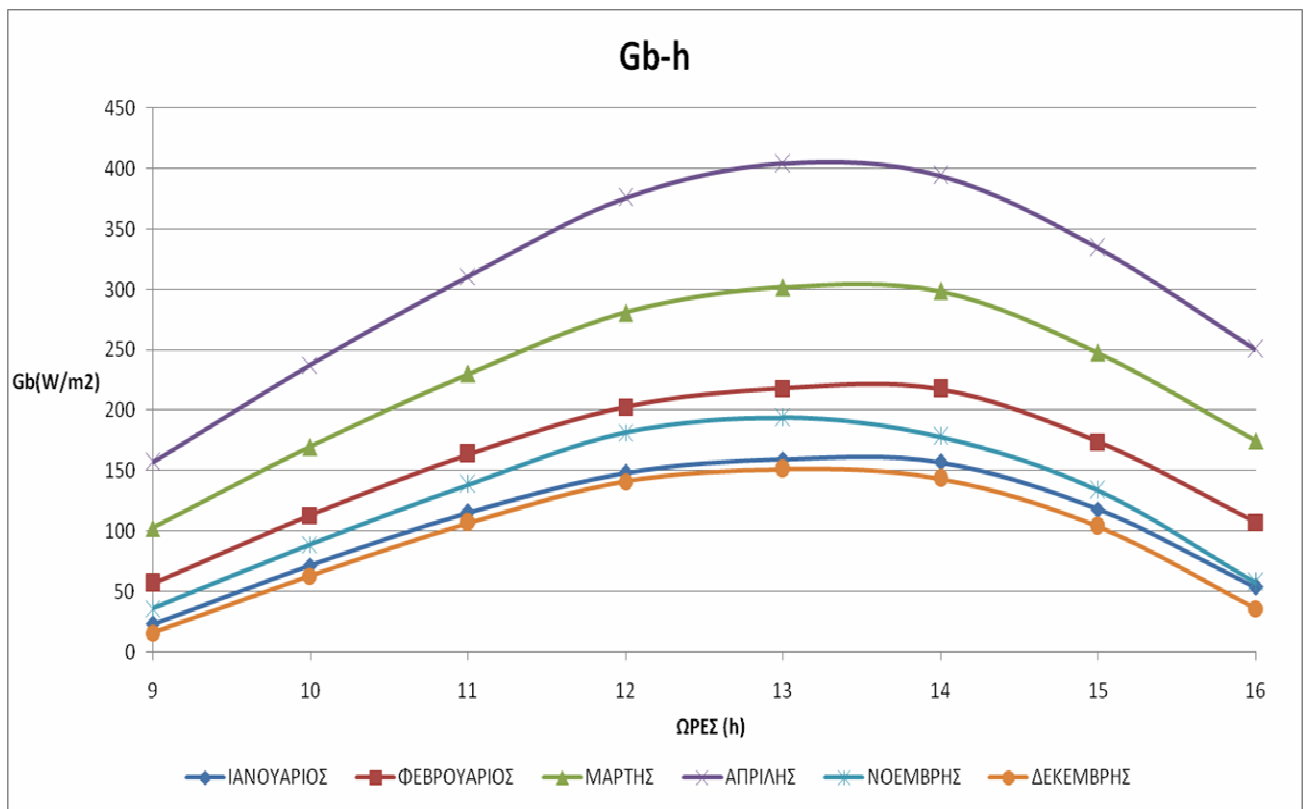
$$G_t (W / m^2) = G_b R_b + G_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + (G_b + G_d) \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (4.2.1.5.)$$

Οι παραπάνω ορισμοί και οι εξισώσεις προέρχονται από το βιβλίο του μαθήματος 9^{ου} εξαμήνου Ενεργειακών Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π., Ηλιακή Ενέργεια.

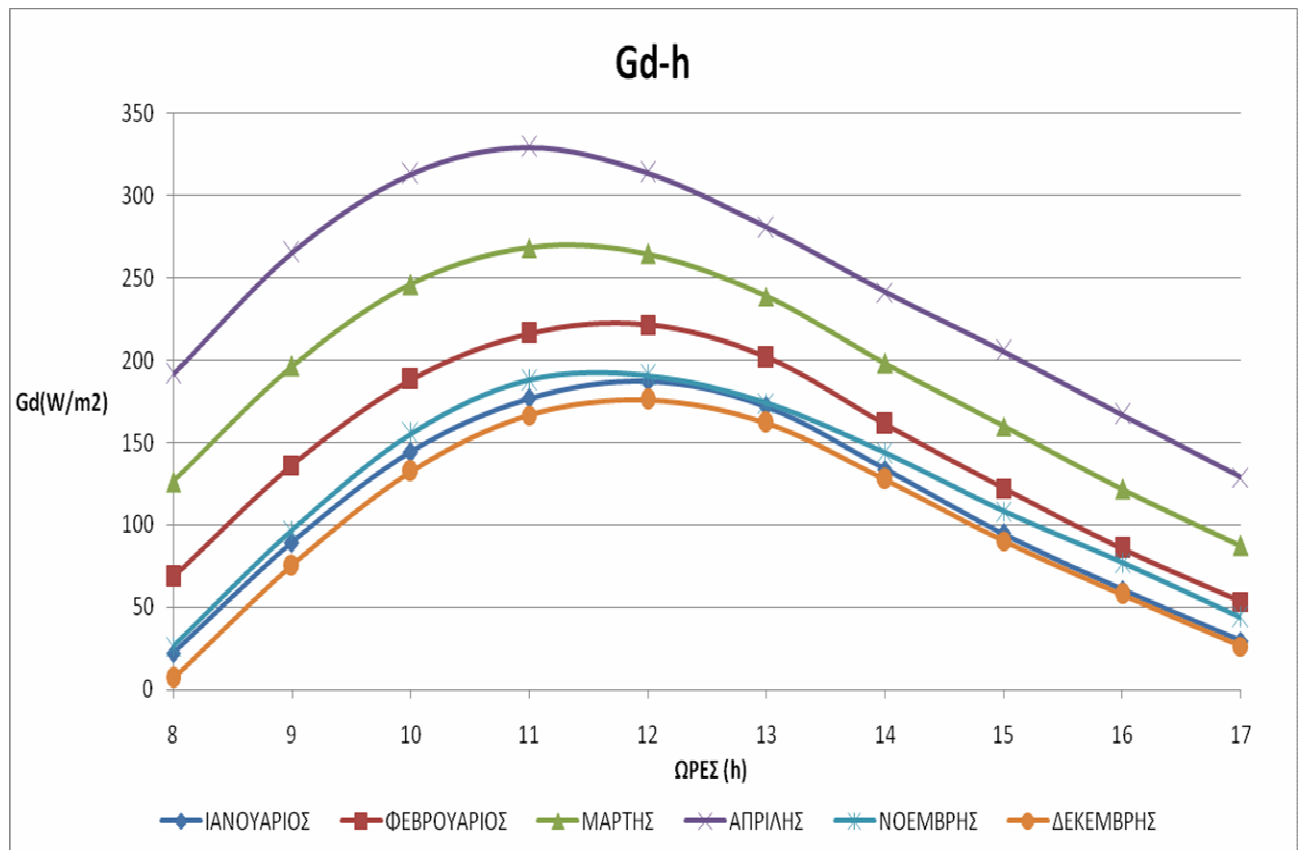
Με βάση τις παραπάνω σχέσεις, έγιναν υπολογισμοί στο Excel , και από τα αποτελέσματα που εξήχθησαν για τις ακτινοβολίες των G_t, G_b, G_d , για την 21^η κάθε μήνα, από το Νοέμβριο έως τον Απρίλιο, κατά τη διάρκεια του 24ώρου, προέκυψαν τα διαγράμματα που ακολουθούν:



Σχήμα 1: Η τιμή της μέσης στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας, την 21^η κάθε μήνα, από τις 9π.μ.έως τις 4μ.μ.



Σχήμα 2: Η τιμή της μέσης στιγμιαίας άμεσου ακτινοβολίας, την 21^η κάθε μήνα, από τις 9π.μ.έως τις 4μ.μ.



Σχήμα 3: Η τιμή της μέσης στιγμιαίας διαχύτου ακτινοβολίας, την 21^η κάθε μήνα, από τις 8π.μ.έως τις 5μ.μ.

Παρατηρήσεις

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι:

- η μέγιστη ακτινοβολία παρατηρείται κατά την 21^η Απριλίου και η χαμηλότερη κατά την 21^η Δεκεμβρίου και την 21^η Ιανουαρίου
- κατά τη διάρκεια τις ημέρας, η μέγιστη ακτινοβολία παρατηρείται κατά τη διάρκεια του μεσημεριού, από τις 12 π.μ. έως τη 1 μ.μ.

4.2.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Η ημερήσια μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας ξηρής σφαίρας t_o του περιβάλλοντος στην περιοχή της Αθήνας δίνεται από τη σχέση:

$$t_o(H) = M + \sum_{i=1}^3 C_i \cos\left[i \frac{360}{24}(H - 0,5)\right] + \sum_{i=1}^3 S_i \sin\left[i \frac{360}{24}(H - 0,5)\right] \quad (4.2.2.1.)$$

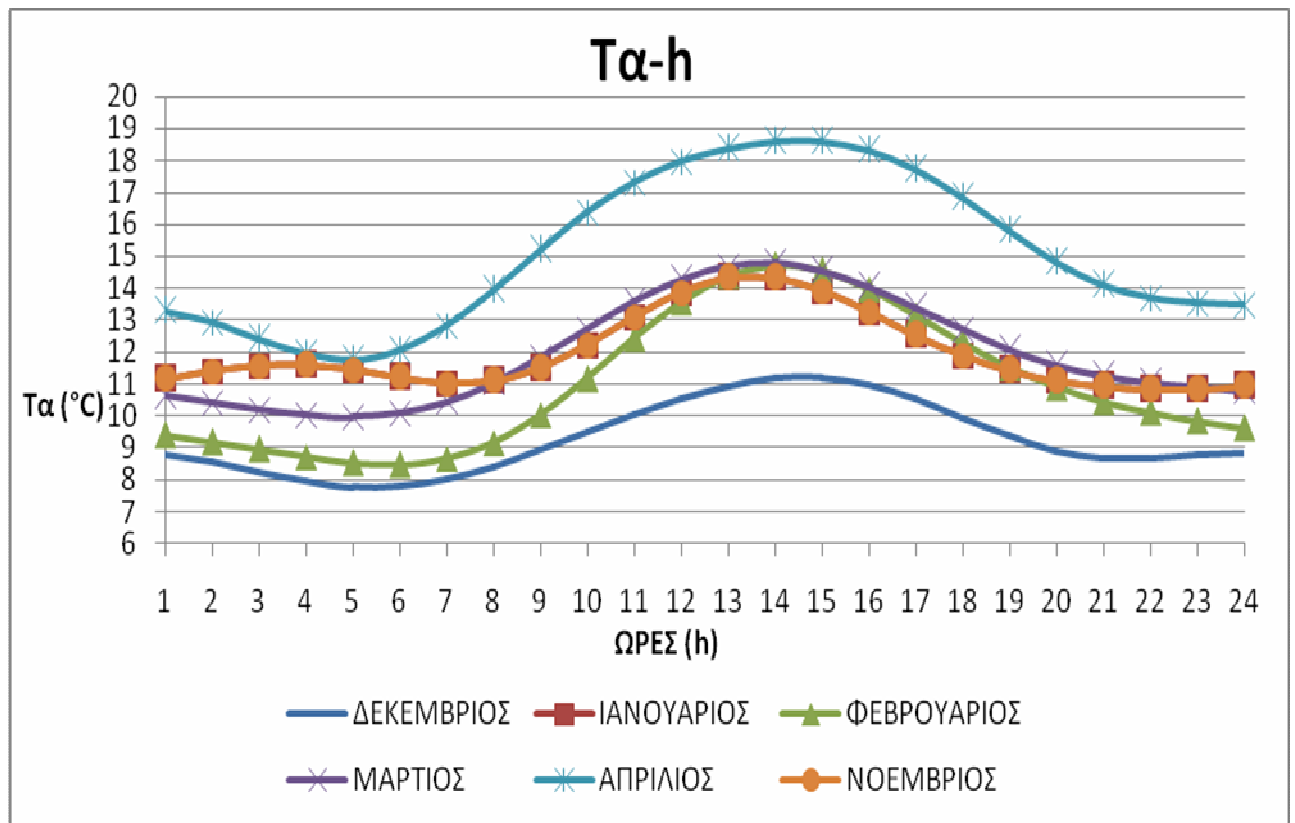
όπου :

H: η ώρα της ημέρας (1÷24)

M, C1, C2, C3, S1, S2, S3: συντελεστές, οι τιμές των οποίων προκύπτουν από τον Πίνακα 3 του Παραρτήματος.

Οι παραπάνω ορισμοί και οι εξισώσεις προέρχονται από το βιβλίο του μαθήματος 9^{ου} εξαμήνου Ενεργειακών Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π., Κλιματισμός.

Μετά από υπολογισμούς στο excel, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα, το οποίο παρουσιάζει τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια του 24ώρου, για την 21^η κάθε μήνα από το Νοέμβριο έως τον Απρίλιο.



Σχήμα 4: Θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος την 21^η κάθε μήνα, κατά τη διάρκεια του 24ώρου

Παρατηρώντας τα διαγράμματα της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, κατά τη διάρκεια του 24ώρου, για την 21^η ημέρα κάθε μήνα από το Νοέμβριο έως και τον Απρίλιο, βλέπουμε ότι ο Νοέμβρης βρίσκεται σε μια μέση κατάσταση σε σχέση με τους άλλους μήνες. Αυτό σημαίνει, ότι κατά τη διάρκεια του μήνα αυτού, έχουμε μεν αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες, ωστόσο έχουμε και αρκετή ηλιακή ακτινοβολία.

Για το λόγο αυτό, στην παρούσα εργασία, επιλέγεται να η μελετηθεί ο μήνας Νοέμβριος ως προς τη θέρμανση οικιακού νερού χρήσης, με τη βοήθεια των Υ.Α.Φ.

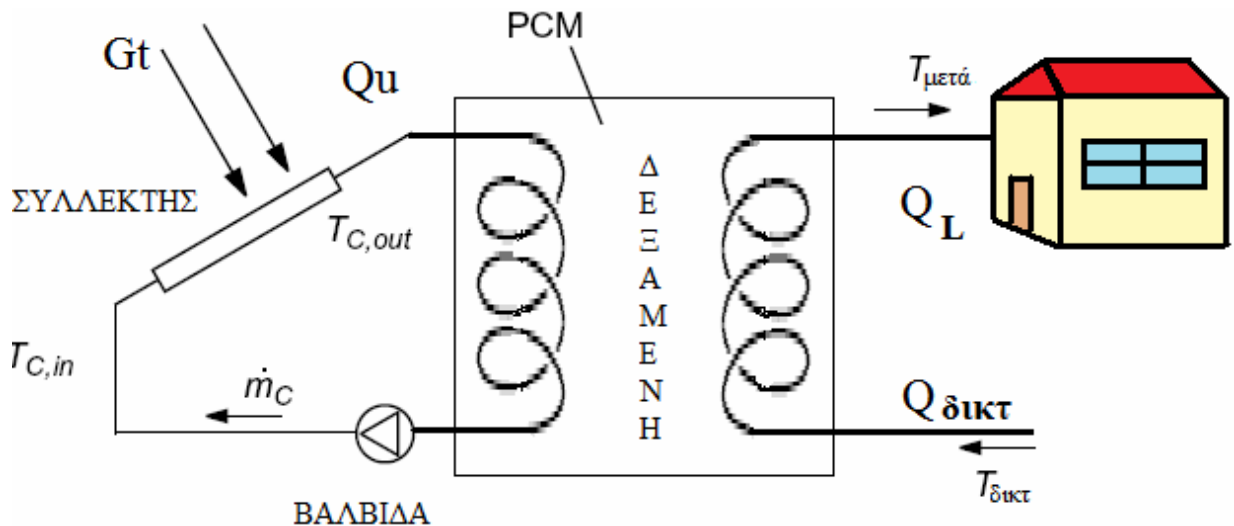
4.3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΝΟΕΜΒΡΙΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ Υ.Α.Φ.

4.3.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ Υ.Α.Φ.

Το σύστημα που μελετάται στην παρούσα εφαρμογή για την ηλιακή θέρμανση του οικιακού νερού χρήσης, είναι παρόμοιο με αυτό ενός τυπικού ηλιακού θερμοσίφωνα, στη δεξαμενή του οποίου προσθέτουμε Υ.Α.Φ. Κάνουμε την παραδοχή ότι το Υ.Α.Φ. δεν βρίσκεται τοποθετημένο σε κάψουλες, αλλά έχει τοποθετηθεί μέσα στο νερό της δεξαμενής, στην καθαρή μορφή του και βρίσκεται σε λεπτομερή επαφή με αυτό.

Το σύστημα διαθέτει αυτοματισμούς ώστε να διακόπτεται η κυκλοφορία του νερού κατά τη νύχτα και τις ώρες νέφωσης.

Η διάταξη του συστήματος αυτού, παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Εικόνα 32: Σχηματική αναπαράσταση συστήματος ηλιακής θέρμανσης οικιακού νερού χρήσης με προσθήκη Υ.Α.Φ.

Το μέγεθος της δεξαμενής του συστήματος και το μέγεθος του συλλέκτη θα μεταβάλλονται, ενώ οι συνθήκες του περιβάλλοντος θα διατηρούνται σταθερές.

4.3.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη, είναι αυτό της τριγωνικής κατανομής της Θερμοχωρητικότητας. Σύμφωνα με το συγκεκριμένο μοντέλο, η διαδικασία αλλαγής φάσης των Υ.Α.Φ. εξετάζεται μόνο ως ένα μακροσκοπικό φαινόμενο, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη περαιτέρω λεπτομέρειες. Το περιεχόμενο δηλαδή της δεξαμενής, όπου υπάρχει νερό και Υ.Α.Φ., αντιμετωπίζεται ως μια μάζα η οποία έχει την ίδια θερμοκρασία, θεωρώντας ότι δεν υπάρχει στρωμάτωση. Η μοναδική δυσκολία έγκειται στο γεγονός πως πρέπει να είναι γνωστό το μέγεθος της θερμοχωρητικότητας $C_{p,eff}(T)$, του Υ.Α.Φ. που χρησιμοποιείται, ανάλογα με τη θερμοκρασία που αναπτύσσεται. Η θερμοχωρητικότητα, συναρτήσει της θερμοκρασίας, εκφράζεται γενικά με την παρακάτω εξίσωση:

$$C_{p,\text{eff}}(T) = 4(H-bC_{ps})(T-T_s) / b^2 + C_{ps}, \quad \text{για } T_s \leq T \leq T_c \quad (4.3.2.1.)$$

$$C_{p,\text{eff}}(T) = 4(bC_{pl}-H)(T-T_s-b/2)/b^2 + 2H/b - C_{pl}, \quad \text{για } T_c \leq T \leq T_1 \quad (4.3.2.2.)$$

όπου:

H: η λανθάνουσα θερμότητα

C_{ps} : η θερμοχωρητικότητα του στερεού

C_{pl} : η θερμοχωρητικότητα του υγρού

T_s : η θερμοκρασία του Υ.Α.Φ. λίγο πριν την αρχή αλλαγής φάσης από στερεό σε υγρό

T_1 : η θερμοκρασία του Υ.Α.Φ. όταν έχει γίνει πλήρως υγρό

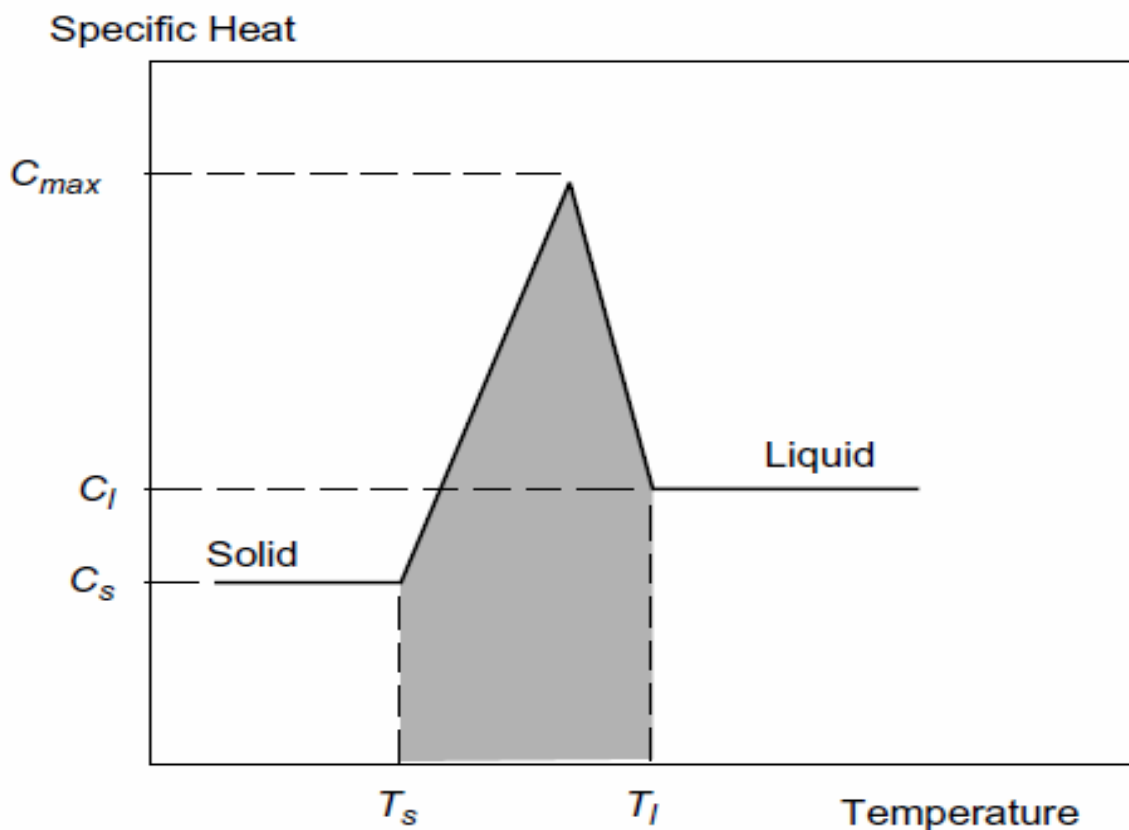
T_c : η θερμοκρασία στη μέση της αλλαγής φάσης του Υ.Α.Φ. η οποία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$T_c = (T_1 + T_s)/2 \quad (4.3.2.3.)$$

και τέλος

$$b = T_1 - T_s \quad (4.3.2.3.)$$

Όλα τα παραπάνω φαίνονται σχηματικά στο διάγραμμα του τριγώνου που ακολουθεί:



Εικόνα 33: Μεταβολή θερμοχωρητικότητας Υ.Α.Φ. συναρτήσει της θερμοκρασίας.
 Η γκρι περιοχή περιλαμβάνει την ενθαλπία αλλαγής φάσης.

4.3.3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΗΘΗΚΕ

Η παρούσα παραμετρική μελέτη πραγματοποιήθηκε για το μήνα Νοέμβριο, με συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος, για κάθε ημέρα του μήνα, ίδιες με αυτές που παρουσιάστηκαν αναλυτικά παραπάνω, για την 21^η Νοεμβρίου, κατά τη διάρκεια του 24ώρου. Οι συνθήκες αυτές παραμένουν ίδιες σε όλες τις δοκιμές.

Τα μεγέθη τα οποία μεταβάλλονται σε κάθε δοκιμή είναι το μέγεθος της δεξαμενής, το οποίο λαμβάνεται $0,08\text{ m}^3$, $0,1\text{ m}^3$ και $0,12\text{ m}^3$ και το μέγεθος του συλλέκτη, το οποίο για κάθε μια από τις παραπάνω τιμές της δεξαμενής, παίρνει τις τιμές 3 m^2 , 4 m^2 , 6 m^2 , 7 m^2 αντίστοιχα.

Σε κάθε δοκιμή, ακολουθείται η εξής διαδικασία, η οποία χωρίζεται βασικά σε δύο φάσεις:

Στην πρώτη φάση, για κάθε έναν από τους παραπάνω συνδυασμούς μεταξύ μεγέθους δεξαμενής και συλλέκτη, μελετάμε αρχικά τη λειτουργία του συστήματος ηλιακής θέρμανσης οικιακού νερού χρήσης, όταν στο εσωτερικό της δεξαμενής υπάρχει μόνο νερό ως αποθηκευτικό μέσο και η κατανάλωση θερμού νερού χρήσης είναι μηδενική. Στη συνέχεια, προσθέτουμε στο εσωτερικό της δεξαμενής κατάλληλο Υ.Α.Φ. και συγκρίνουμε την απόδοση του συστήματος στις δύο παραπάνω περιπτώσεις.

Στη δεύτερη φάση, για τον συνδυασμό γεωμετρικών χαρακτηριστικών του συστήματος που θεωρήσαμε προηγουμένως, μελετάμε τη λειτουργία του , όταν στη δεξαμενή έχουμε ως μέσο αποθήκευσης μόνο νερό, λαμβάνοντας όμως υπόψη τη μέση ωριαία κατανάλωση του θερμού νερού χρήσης, που έχουμε κατά τη διάρκεια του 24ώρου.

Στη συνέχεια, προσθέτουμε στο εσωτερικό της δεξαμενής του συστήματος κατάλληλο Υ.Α.Φ. και συγκρίνουμε την απόδοση του συστήματος στις δύο παραπάνω περιπτώσεις.

Και στις δύο φάσεις θεωρούμε ότι, με βοηθητικό σύστημα, έχουμε θερμάνει το νερό χρήσης στους 40 °C και ότι η θέρμανση με το σύστημα ηλιακής θέρμανσης νερού ξεκινά με αυτή τη θερμοκρασία την 1^η Νοεμβρίου.

Η πραγματικά αποδιδόμενη θερμική ισχύς που προσδίδεται στη δεξαμενή από τον ηλιακό συλλέκτη δίνεται από τη σχέση:

$$q_U (J / h) = A_c F_R (\tau \alpha) G_T - A_c F_R U_L (T_{\mu\epsilon\pi\acute{\iota}} - T_{\pi\rho\iota\nu}) \quad (4.3.3.1.)$$

όπου:

A_c (m^2): η επιφάνεια του καλύμματος του συλλέκτη

F_R : ο παράγων θερμικής απολαβής του συλλέκτη

(τα): το μέσο και το προσαυξημένο γινόμενο διαπερατότητας-απορροφητικότητας

G_T : η στιγμιαία τιμή της ακτινοβολίας

U_L ($W / m^2 \text{ } ^\circ\text{C}$): ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας, που εκφράζει τις θερμικές απώλειες από το συλλέκτη στο περιβάλλον δι' αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας

$T_{\muεπ\acute{\alpha}}$: θερμοκρασία εισόδου του νερού στη δεξαμενή

$T_{\pi\rho\iota\nu}$ η θερμοκρασία εισόδου του νερού στο συλλέκτη

Στην πρώτη φάση των δοκιμών, όπου δεν υπάρχει κατανάλωση θερμού νερού χρήσης, η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής υπολογίζεται κάθε ώρα από τη σχέση:

$$Q_U \text{ (J / h)} = MC_p (T_{\muεπ\acute{\alpha}} - T_{\pi\rho\iota\nu}) \quad (4.3.3.2.)$$

όπου:

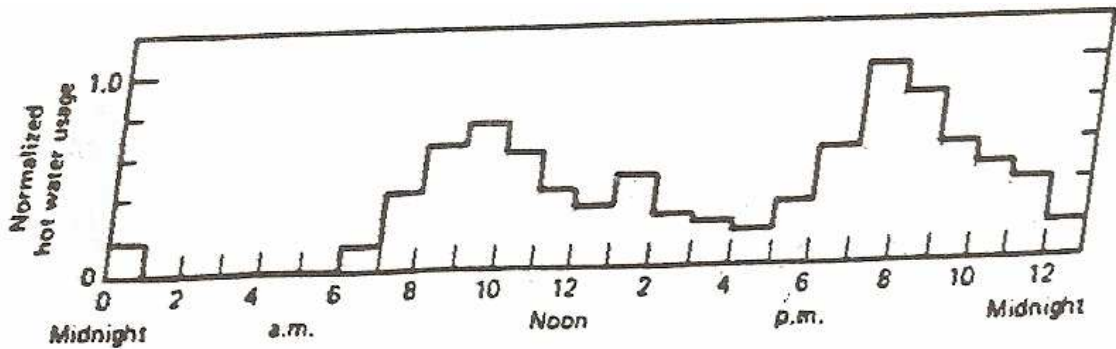
$T_{\pi\rho\iota\nu}$: η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής την προηγούμενη ώρα της ημέρας

M: η μάζα του νερού της δεξαμενής

$C_{p \text{ νερού}} = 4190 \text{ J/kg K}$: η θερμοχωρητικότητα του νερού

Στη δεύτερη φάση των δοκιμών, λαμβάνουμε υπόψη τη μέση ωριαία κατανάλωση του θερμού νερού χρήσης που έχουμε κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Στο σχήμα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η κατανομή της κατανάλωσης θερμού νερού σε κατοικίες κατά τη διάρκεια του 24ώρου:



Εικόνα 34: Τυπική κατανομή της κατανάλωσης θερμού νερού σε κατοικίες κατά το 24ωρο.

Αν υποθέσουμε, ότι η μέση κατανάλωση θερμού νερού, σε οικία που διαμένει τετραμελής οικογένεια, είναι ίση με $0,25 \text{ m}^3 / \text{ημέρα}$, δηλαδή 250 kg/ημέρα , τότε με βάση το παραπάνω διάγραμμα, η μέση ποσότητα του νερού που καταναλώνεται ανά ώρα είναι αυτή που παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 5: Μέση ωριαία κατανάλωση μάζας θερμού νερού κατά τη διάρκεια του 24ώρου.

Με βάση την ωριαία αυτή κατανάλωση, υπολογίζουμε την ισχύ της κατανάλωσης, που προκύπτει από τη σχέση:

$$Q_L (J / h) = m C p_{\text{νερού}} (T_{\text{μετά}} - T_{\text{πριν}}) \quad (4.3.3.3.)$$

όπου:

m: η μάζα του νερού που καταναλώνεται ανά ώρα

$C p_{\text{νερού}} = 4190 \text{ J/kg K}$: η θερμοχωρητικότητα του νερού

$T_{\text{πριν}}$: η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής

$T_{\text{μετά}}$: η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής την επόμενη ώρα

Επίσης, τις ώρες που έχουμε κατανάλωση θερμού νερού χρήσης, το θερμό αυτό νερό εξέρχεται από το πάνω μέρος της δεξαμενής και οδηγείται στην οικία, ενώ ψυχρό νερό εισέρχεται στη δεξαμενή από το δίκτυο, στο κάτω μέρος της, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Η ισχύς του δικτύου δίνεται από τη σχέση:

$$Q_{\text{δίκτ}} (J / h) = m C p_{\text{νερού}} (T_{\text{μετά}} - T_{\text{δίκτ}}) \quad (4.3.3.4.)$$

όπου:

m: η μάζα του νερού που εισέρχεται ανά ώρα

$C p_{\text{νερού}} = 4190 \text{ J/kg K}$: η θερμοχωρητικότητα του νερού

$T_{\text{μετά}}$: η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής

$T_{\text{δίκτ}}$: η θερμοκρασία του νερού που εισέρχεται από το δίκτυο, δηλαδή η θερμοκρασία περιβάλλοντος

Επομένως, στην περίπτωση αυτή, η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής υπολογίζεται κάθε ώρα από τη σχέση:

$$(Q_U - Q_L + Q_{\delta\kappa\tau})(J/h) = MC_p (T_{\mu\epsilon\acute{\alpha}} - T_{\pi\rho\iota\nu}) \quad (4.3.3.5.)$$

Οι απώλειες της μόνωσης θεωρούνται μηδενικές, καθώς είναι αμελητέες σε σχέση με τα άλλα μεγέθη.

Όλοι οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν στο Excel και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.

4.3.4. Υ.Α.Φ. ΠΟΥ ΧΡΗΣΗΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

Τα Υ.Α.Φ. που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση των δοκιμών είναι παραφίνες, που διατίθενται στην αγορά από τη γερμανική εταιρία Rubitherm, με τις εμπορικές ονομασίες RT42, RT50, RT65.

Τα συγκεκριμένα Υ.Α.Φ. επιλέχθηκαν σε κάθε δοκιμή, έτσι ώστε το θερμοκρασιακό εύρος για την αλλαγή φάσης τους, να πλησιάζει στο εύρος των θερμοκρασιών του νερού της δεξαμενής, όταν σε αυτή το μέσο αποθήκευσης ήταν μόνο νερό. Τα Υ.Α.Φ. αυτά, προτιμήθηκαν επίσης για την ομοιομορφία των τιμών των θερμοκρασιών που έδιναν.

Τα χαρακτηριστικά των υλικών αυτών παρουσιάζονται αναλυτικά στο τέλος του Παραρτήματος της εργασίας.

4.3.5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Σε όλες τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν τα παρακάτω μεγέθη διατηρήθηκαν σταθερά:

- $F_R(\tau\alpha) = 0.75$
- $F_R U_L = 4,5$
- $C_p = 4190 J / kgK$

Σε όλες τις δοκιμές και για όλα τα Υ.Α.Φ. έχει ληφθεί:

$$C_{ps} = 7kJ / kg \text{ και } C_{pl} = 8kJ / kg$$

Παρακάτω παρουσιάζονται οι συνδυασμοί των δοκιμών που υπολογίστηκαν στο Excel και τα αποτελέσματά τους.

I. Όγκος δεξαμενής: $V = 0,08 \text{ m}^3$

ΔΟΚΙΜΗ 1^H

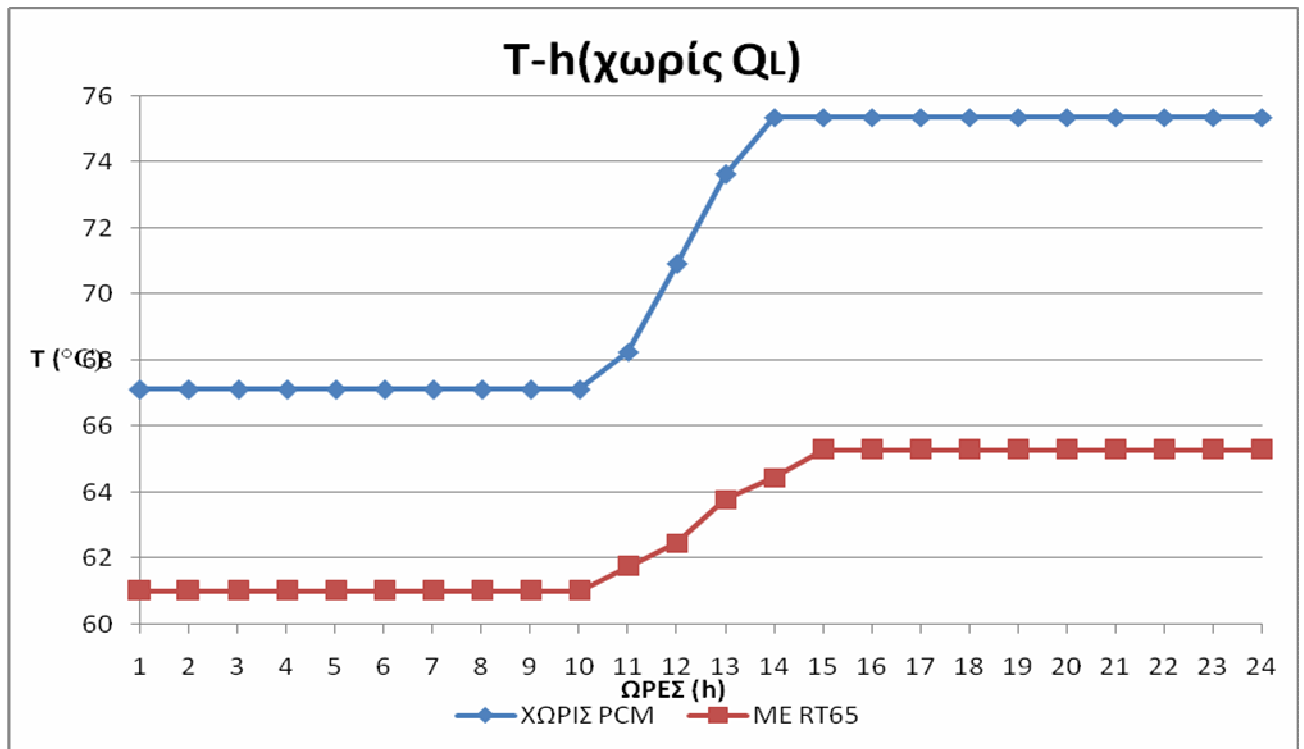
Γεωμετρικά χαρακτηριστικά συστήματος ηλιακής θέρμανσης νερού

- Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη: $A_c = 3m^2$

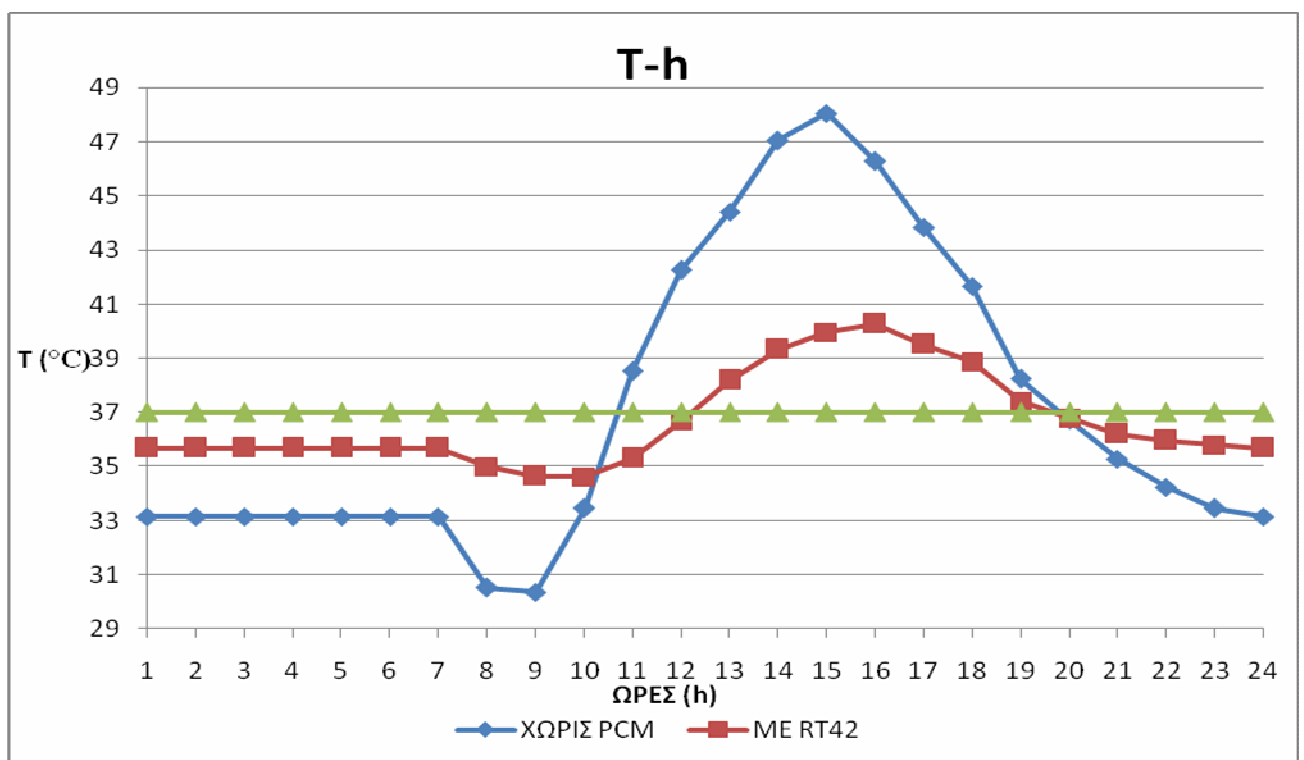
Χαρακτηριστικά των Υ.Α.Φ.

- Ονομασία : **RT42**
- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης: 38-43 °C
- Λανθάνουσα θερμότητα: H=174 kJ/kg

- Ονομασία: **RT65**
- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης: 57-68 °C
- Λανθάνουσα θερμότητα: H=152 kJ/kg



Σχήμα 6: Θερμοκρασίες νερού δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου, χωρίς κατανάλωση, με $V=0,08\text{ m}^3$ και $A_c = 3\text{ m}^2$ με και χωρίς Υ.Α.Φ.



Σχήμα 7: Θερμοκρασίες νερού δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου, με κατανάλωση θερμού νερού χρήσης, με $V=0,08\text{ m}^3$ και $A_c = 3\text{ m}^2$ με και χωρίς Υ.Α.Φ.

ΔΟΚΙΜΗ 2^Η

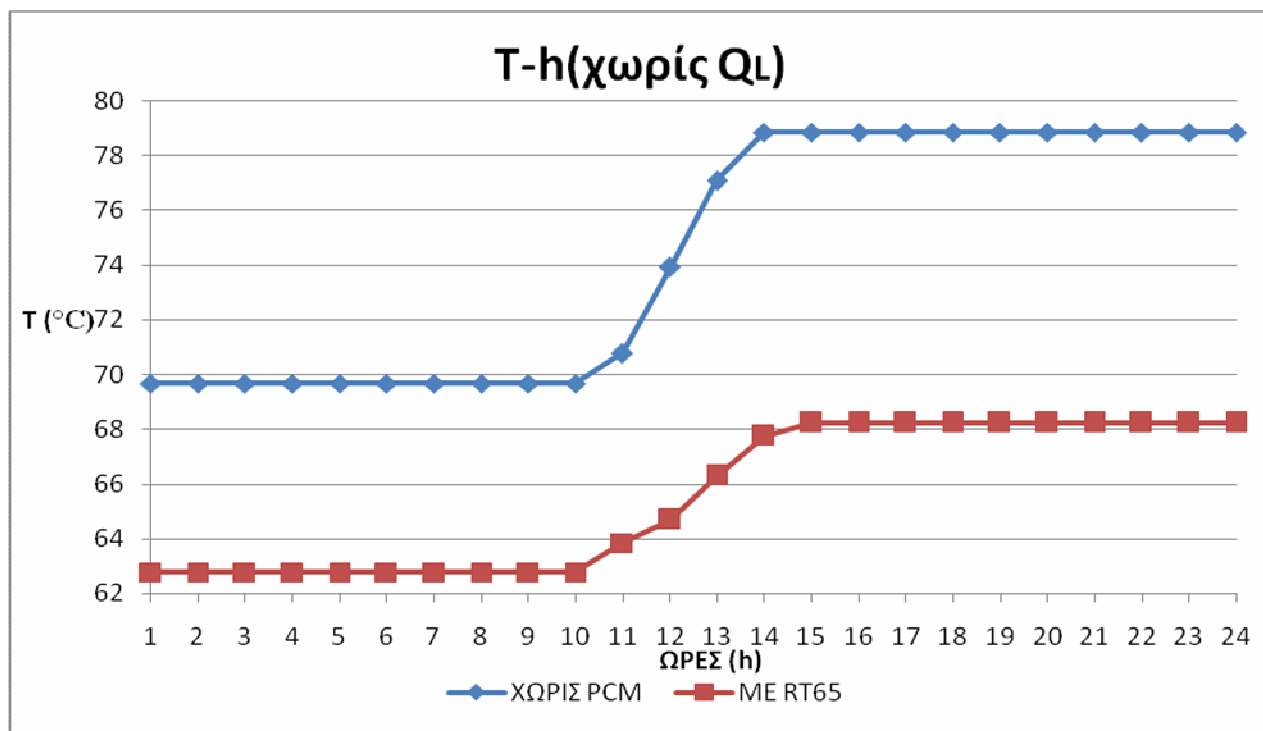
Γεωμετρικά χαρακτηριστικά συστήματος ηλιακής θέρμανσης νερού

- Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη: $A_c = 4m^2$

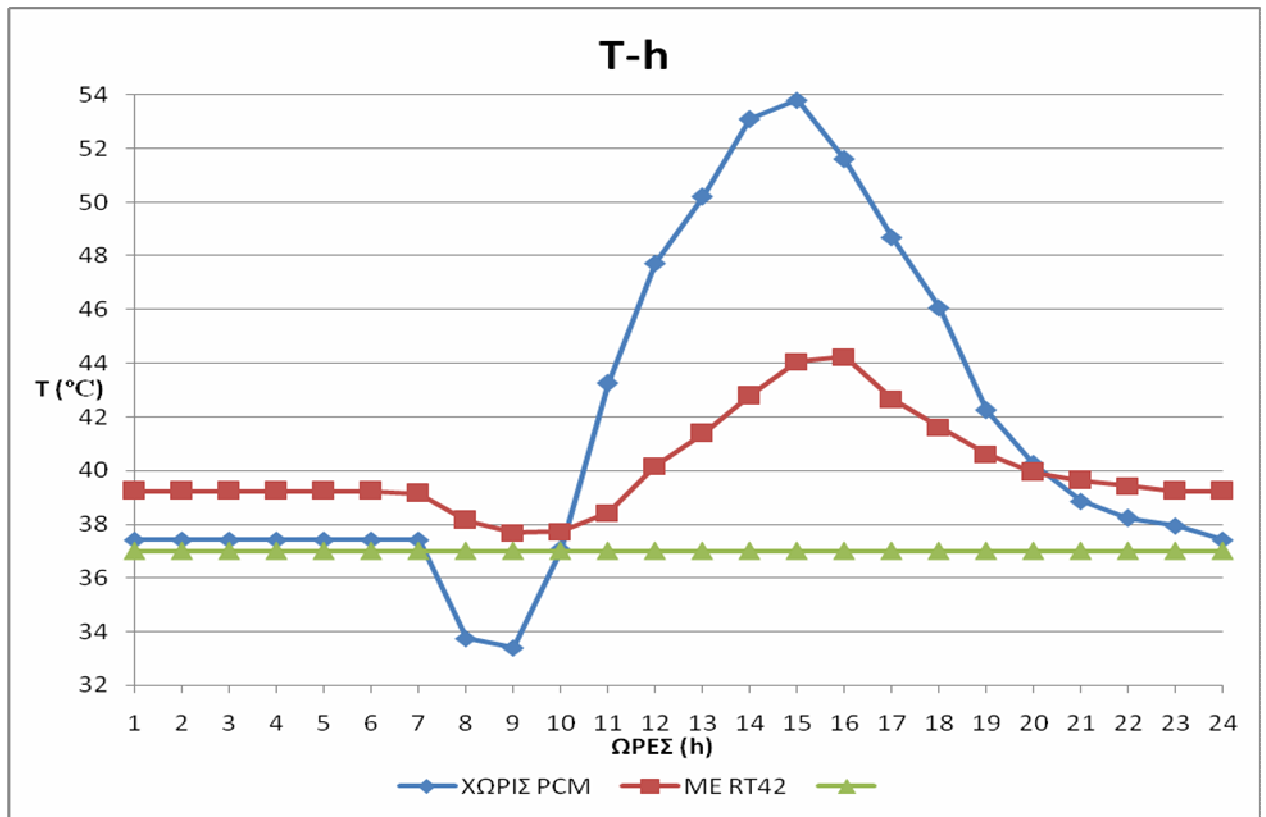
Χαρακτηριστικά των Υ.Α.Φ.

- Ονομασία : **RT42**
- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης: 38-43 °C
- Λανθάνουσα θερμότητα: $H=174 \text{ kJ/kg}$

- Ονομασία: **RT65**
- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης: 57-68 °C
- Λανθάνουσα θερμότητα: $H=152 \text{ kJ/kg}$



Σχήμα 8: Θερμοκρασίες νερού δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου, χωρίς κατανάλωση, με $V=0,08m^3$ και $A_c = 4m^2$ με και χωρίς Υ.Α.Φ.



Σχήμα 9: Θερμοκρασίες νερού δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου ,με κατανάλωση θερμού νερού χρήσης, με $V=0,08\text{ m}^3$ και $A_c = 4\text{ m}^2$ με και χωρίς Υ.Α.Φ.

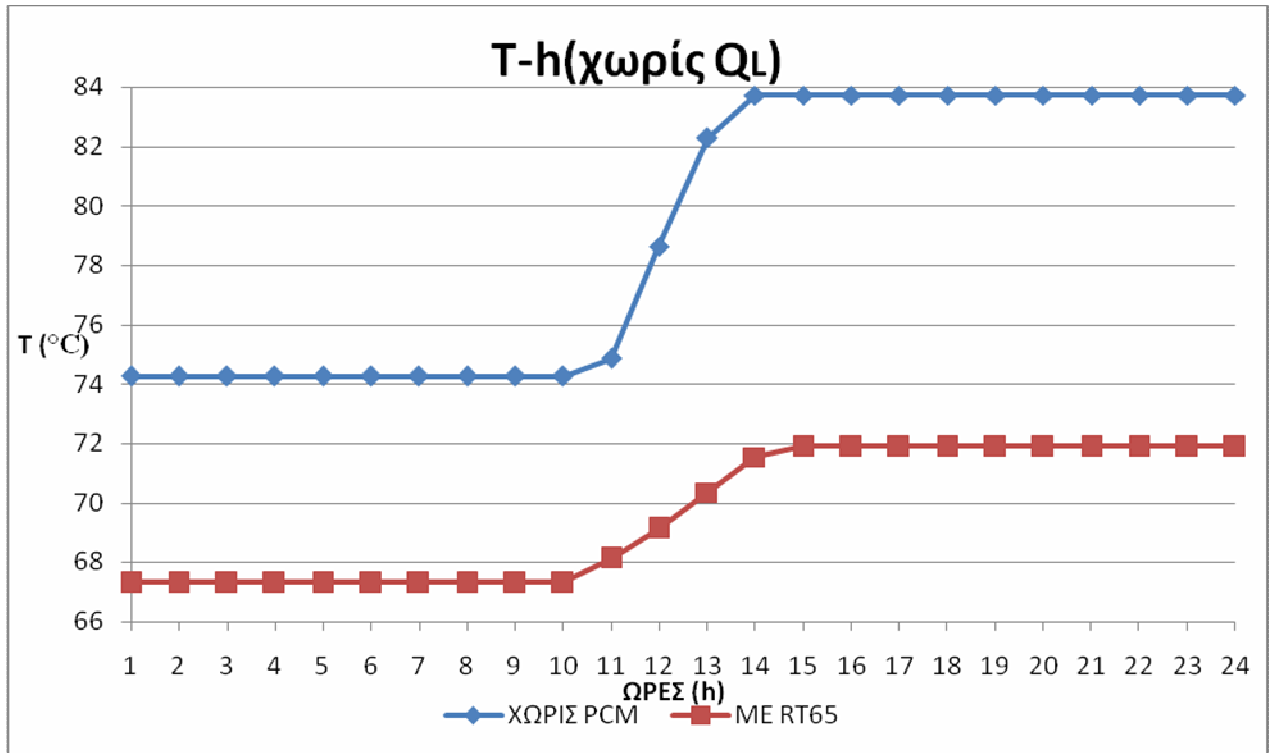
ΔΟΚΙΜΗ 3^Η

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά συστήματος ηλιακής θέρμανσης νερού

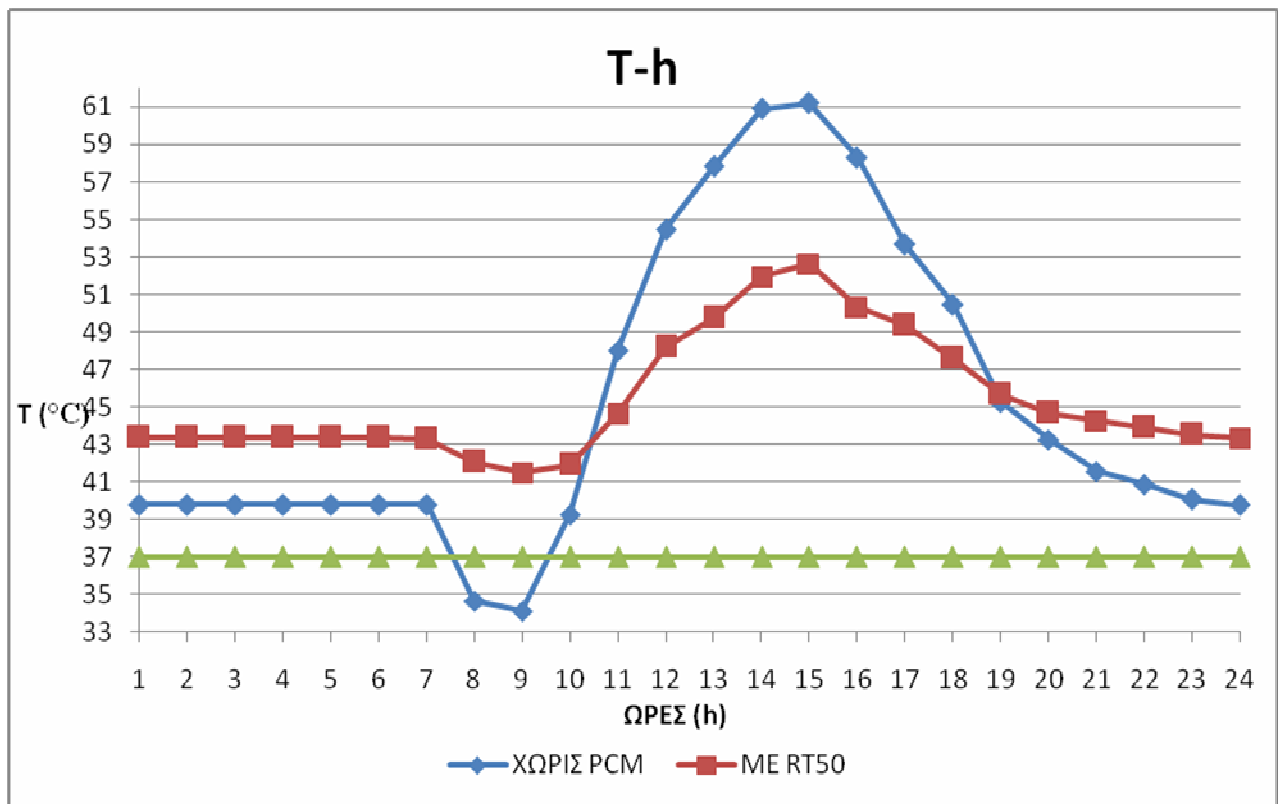
- Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη: $A_c = 6\text{ m}^2$

Χαρακτηριστικά των Υ.Α.Φ.

- Ονομασία : **RT50**
- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης: 45-51 °C
- Λανθάνουσα θερμότητα: $H=168\text{ kJ/kg}$
- Ονομασία : **RT65**
- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης: 57-68 °C
- Λανθάνουσα θερμότητα: $H=152\text{ kJ/kg}$



Σχήμα 10: Θερμοκρασίες νερού δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου, χωρίς κατανάλωση, με $V=0,08\text{ m}^3$ και $A_c = 6\text{ m}^2$ με και χωρίς Υ.Α.Φ.



Σχήμα 11: Θερμοκρασίες νερού δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου, με κατανάλωση θερμού νερού χρήσης, με $V=0,08\text{ m}^3$ και $A_c = 6\text{ m}^2$ με και χωρίς Υ.Α.Φ.

ΔΟΚΙΜΗ 4^Η

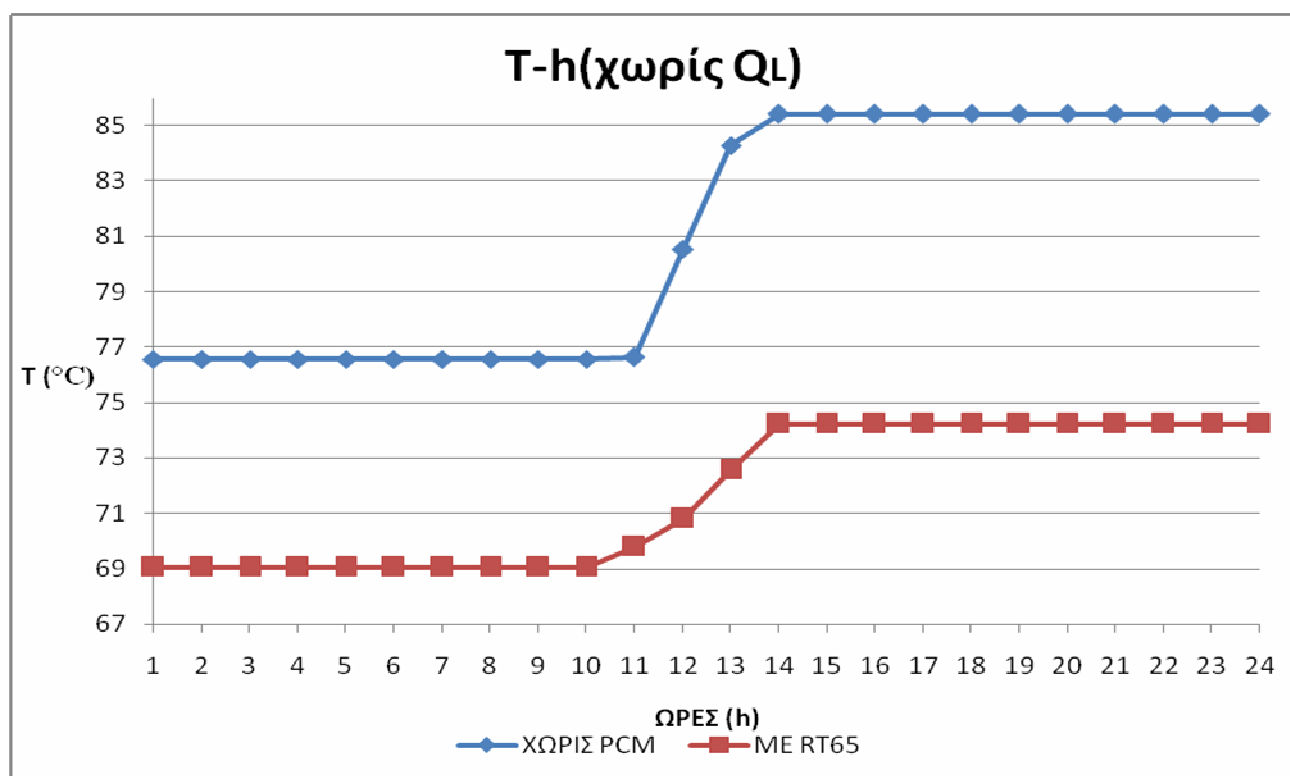
Γεωμετρικά χαρακτηριστικά συστήματος ηλιακής θέρμανσης νερού

- Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη: $A_c = 7m^2$

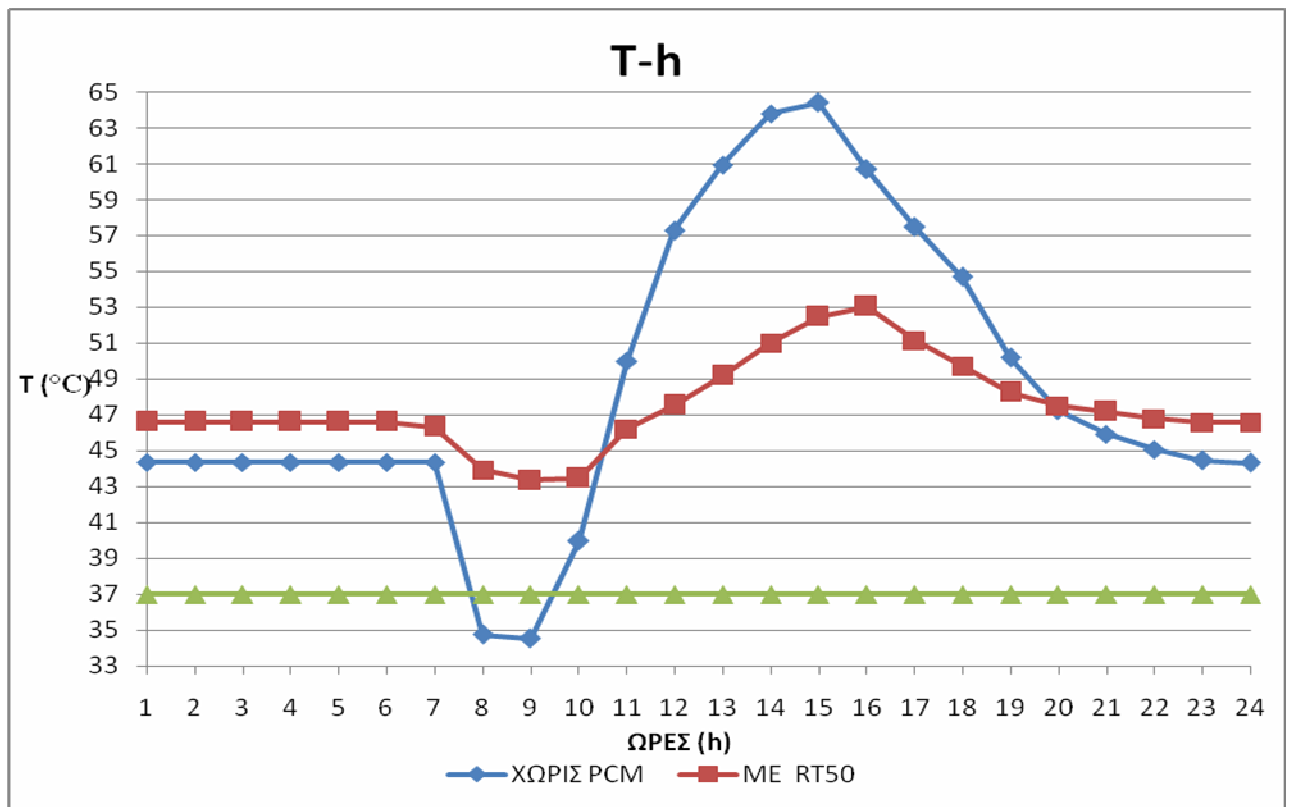
Χαρακτηριστικά των Υ.Α.Φ.

- Ονομασία : **RT50**
- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης: 45-51 °C
- Λανθάνουσα θερμότητα: $H=168$ kJ/kg

- Ονομασία : **RT65**
- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης: 57-68 °C
- Λανθάνουσα θερμότητα: $H=152$ kJ/kg



Σχήμα 12: Θερμοκρασίες νερού δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου, χωρίς κατανάλωση, με $V=0,08m^3$ και $A_c = 7m^2$ με και χωρίς Υ.Α.Φ.



Σχήμα 13: Θερμοκρασίες νερού δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου ,με κατανάλωση θερμού νερού χρήσης, με $V=0,08\text{ m}^3$ και $A_c = 7\text{ m}^2$ με και χωρίς Υ.Α.Φ.

Παρατηρήσεις

- Στα διαγράμματα όπου παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες του νερού της δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου, κατά τη διάρκεια του 24ώρου, χωρίς κατανάλωση θερμού νερού χρήσης, παρατηρούμε ότι, όταν στο σύστημα θέρμανσης νερού, χρησιμοποιείται ως μέσο αποθήκευσης μόνο νερό, τότε οι θερμοκρασίες που προκύπτουν είναι μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές που έχουμε με την προσθήκη του Υ.Α.Φ. στο σύστημα. Αυτό είναι απολύτως φυσιολογικό, εάν σκεφτούμε πως το νερό στην περίπτωση αυτή δεν ανανεώνεται. Έτσι, όταν έχουμε ως μόνο μέσο αποθήκευσης το νερό, η θερμότητα που προσδίδεται στο σύστημα από το συλλέκτη

χρησιμοποιείται για να αυξήσει την θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής. Ενώ στην περίπτωση που έχουμε προσθέσει στη δεξαμενή Υ.Α.Φ., μέρος της θερμότητας χρησιμοποιείται ως λανθάνουσα για την αλλαγή φάσης του, μην επιτρέποντας στο νερό της δεξαμενής να αυξήσει τόσο πολύ την θερμοκρασία του.

- Στα διαγράμματα όπου παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες της δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου, κατά τη διάρκεια του 24ώρου, όταν έχουμε κατανάλωση θερμού νερού χρήσης, παρατηρούμε πως στην περίπτωση της προσθήκης του Υ.Α.Φ., οι θερμοκρασίες αυτές είναι συνεχώς υψηλότερες, σε σχέση με την περίπτωση που έχουμε ως μέσο αποθήκευσης μόνο νερό, εκτός από το διάστημα 10 π.μ. έως 7 μ.μ. όπου έχουμε την μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό συμβαίνει, επειδή ψυχρό νερό από το δίκτυο εισέρχεται στη δεξαμενή, για να αναπληρώσει το θερμό νερό που καταναλώνεται. Στην περίπτωση που έχουμε Υ.Α.Φ., ένα μέρος από τη θερμότητα που έχει αποθηκεύσει για την αλλαγή φάσης του, χρησιμοποιείται για την θέρμανση του ψυχρού νερού κι έτσι προκύπτει θερμότερο νερό, ακόμα και τις ώρες της ημέρας που δεν έχουμε καθόλου ηλιοφάνεια.
- Θεωρώντας ως σημείο αναφοράς τους 37 °C, που είναι προσεγγιστικά η θερμοκρασία του σώματος ενός μέσου ανθρώπου, παρατηρούμε πως εκτός από την πρώτη δοκιμή, οι υπόλοιπες τρεις μας δίνουν νερό κατάλληλο για χρήση, καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου, στην περίπτωση χρήσης Υ.Α.Φ. Ωστόσο, δε συμβαίνει το ίδιο και χωρίς τη χρήση Υ.Α.Φ., αφού στην περίπτωση αυτή, σε καμία δοκιμή δεν προκύπτει κατάλληλο θερμό νερό χρήσης για όλο το 24ωρο.

II. Όγκος δεξαμενής: $V = 0,1 \text{ m}^3$

ΔΟΚΙΜΗ 1^H

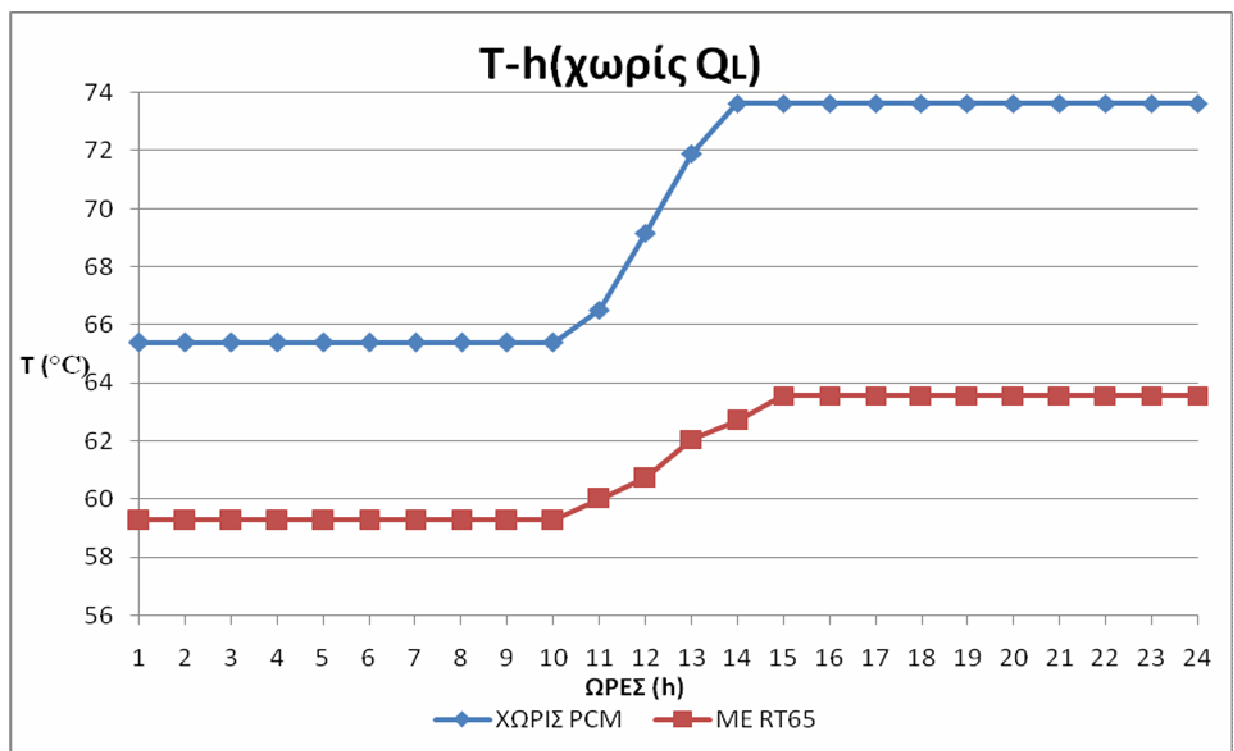
Γεωμετρικά χαρακτηριστικά συστήματος ηλιακής θέρμανσης νερού

- Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη: $A_c = 3 \text{ m}^2$

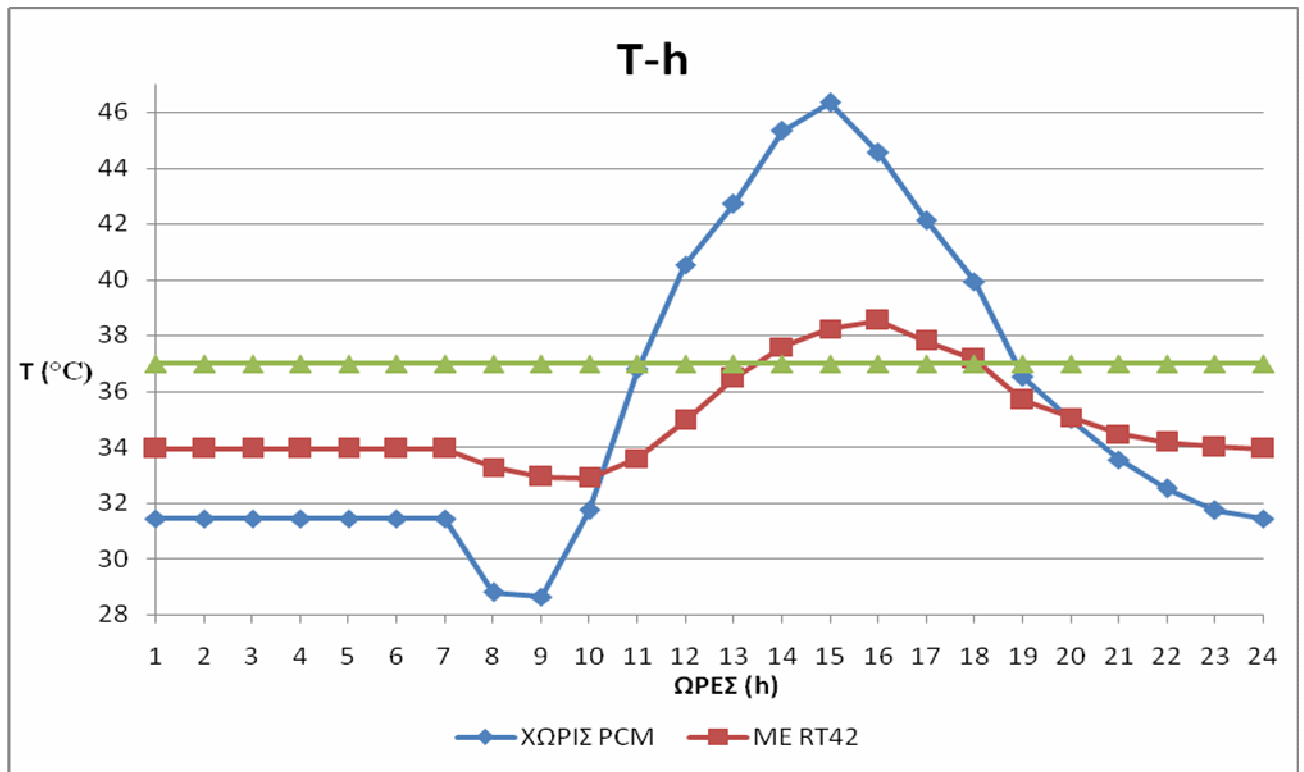
Χαρακτηριστικά των Υ.Α.Φ.

- Ονομασία : **RT42**
- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης: 38-43 °C
- Λανθάνουσα θερμότητα: $H=174 \text{ kJ/kg}$

- Ονομασία : **RT65**
- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης: 57-68 °C
- Λανθάνουσα θερμότητα: $H=152 \text{ kJ/kg}$



Σχήμα 14: Θερμοκρασίες νερού δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου, χωρίς κατανάλωση, με $V=0,1 \text{ m}^3$ και $A_c = 3 \text{ m}^2$ με και χωρίς Υ.Α.Φ.



Σχήμα 15: Θερμοκρασίες νερού δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου ,με κατανάλωση θερμού νερού χρήσης, με $V=0,1\text{ m}^3$ και $A_c = 3\text{ m}^2$ με και χωρίς Υ.Α.Φ.

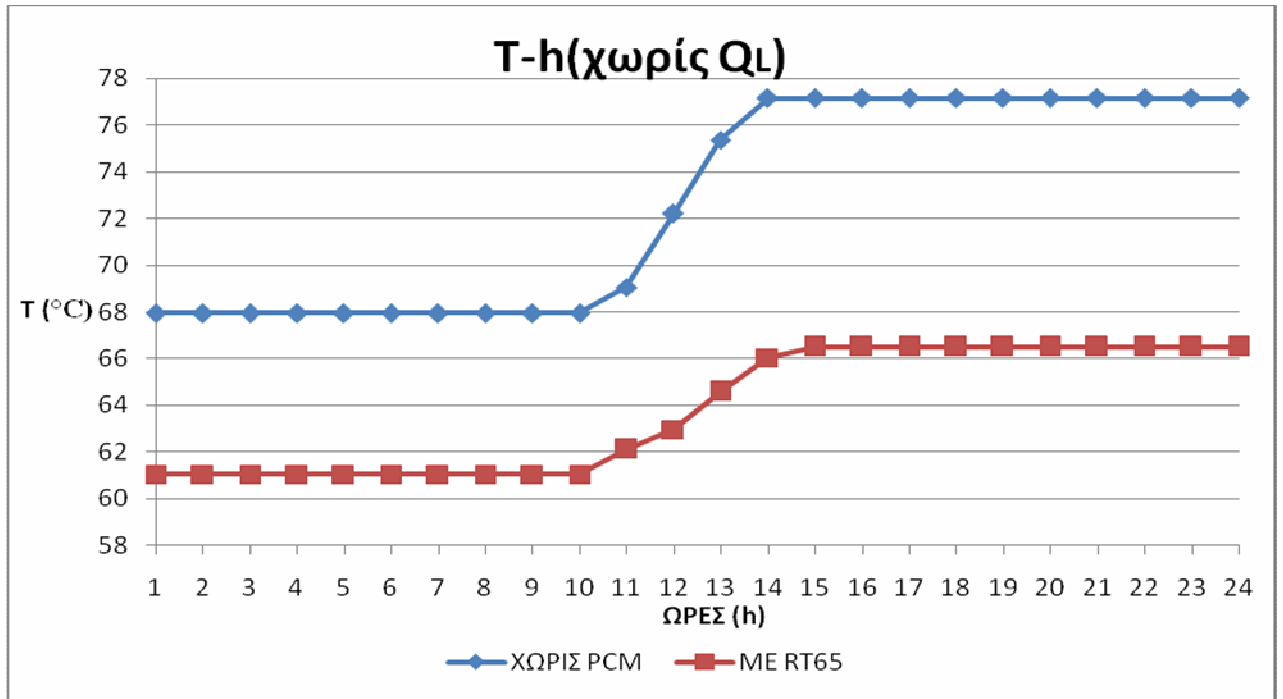
ΔΟΚΙΜΗ 2^Η

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά συστήματος ηλιακής θέρμανσης νερού

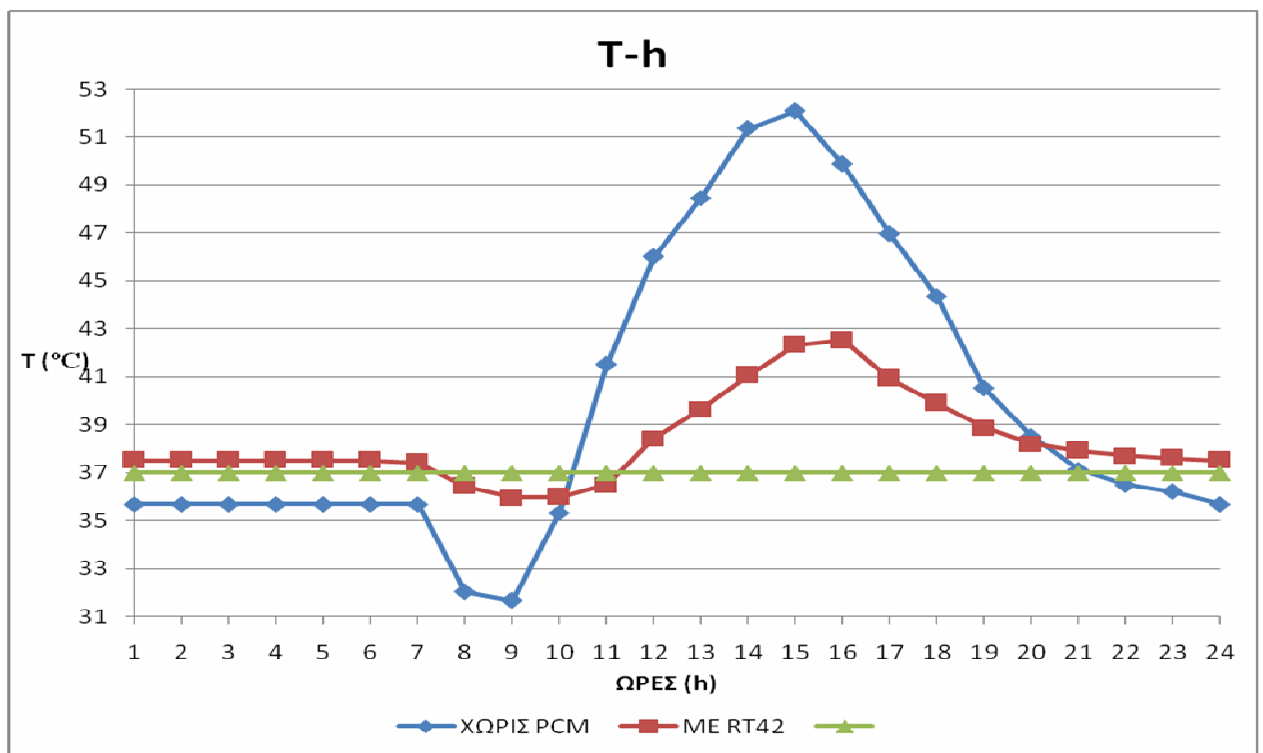
- Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη: $A_c = 4\text{ m}^2$

Χαρακτηριστικά των Υ.Α.Φ.

- Ονομασία : **RT42**
- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης: 38-43 °C
- Λανθάνουσα θερμότητα: $H=174\text{ kJ/kg}$
- Ονομασία : **RT65**
- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης: 57-68 °C
- Λανθάνουσα θερμότητα: $H=152\text{ kJ/kg}$



Σχήμα 16: Θερμοκρασίες νερού δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου, χωρίς κατανάλωση, με $V=0,1 \text{ m}^3$ και $A_c = 4\text{m}^2$ με και χωρίς Υ.Α.Φ.



Σχήμα 17: Θερμοκρασίες νερού δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου, με κατανάλωση θερμού νερού χρήσης, με $V=0,1 \text{ m}^3$ και $A_c = 4\text{m}^2$ με και χωρίς Υ.Α.Φ.

ΔΟΚΙΜΗ 3^Η

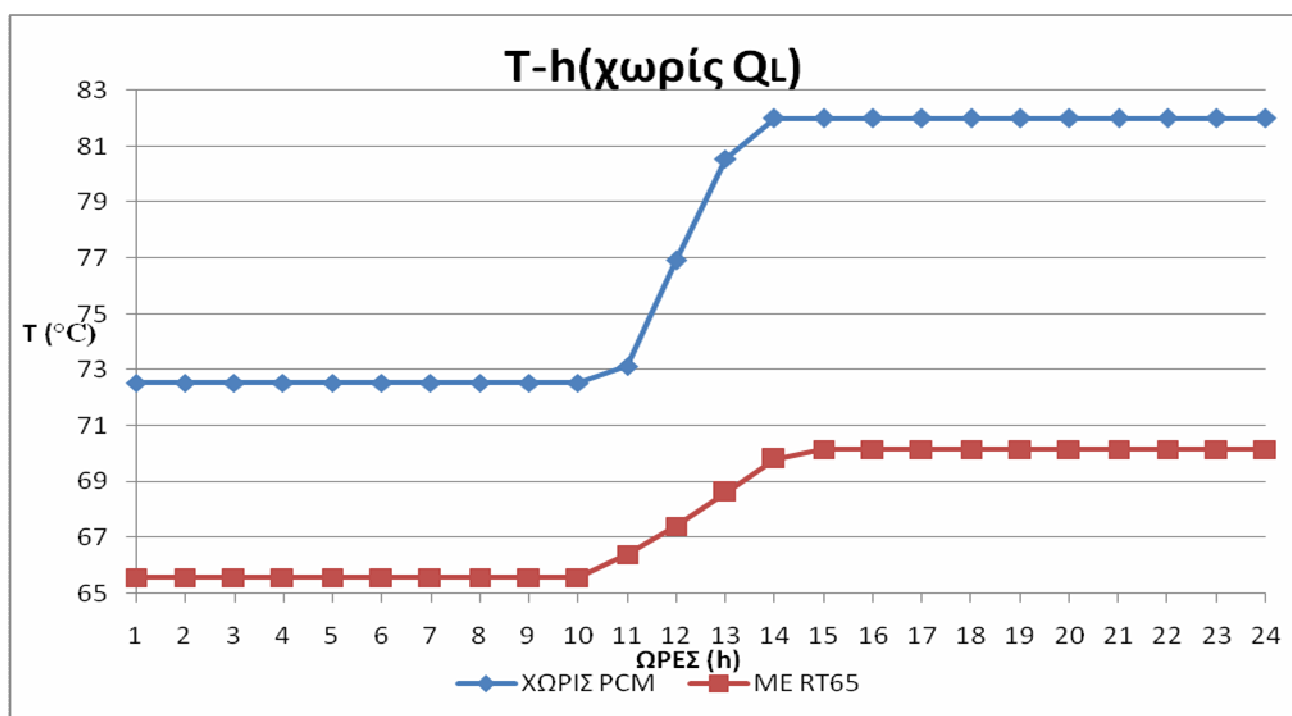
Γεωμετρικά χαρακτηριστικά συστήματος ηλιακής θέρμανσης νερού

- Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη: $A_c = 6m^2$

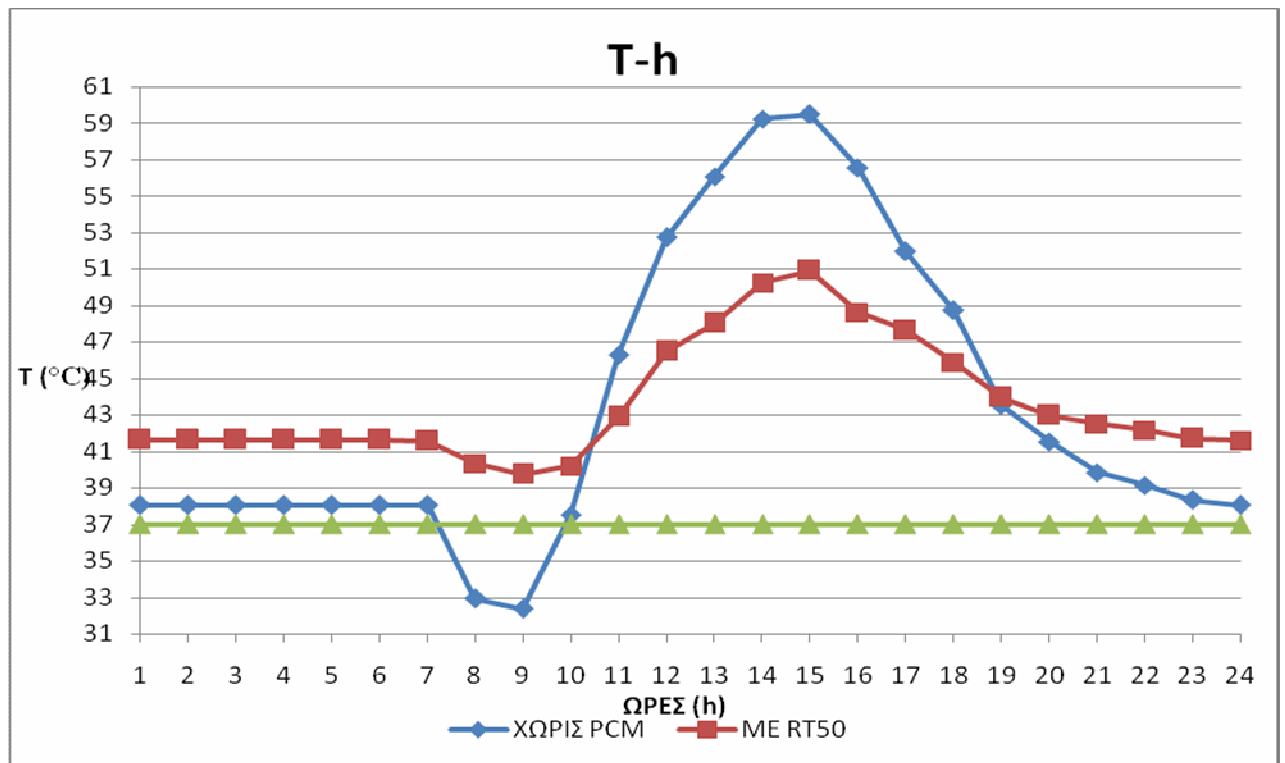
Χαρακτηριστικά των Υ.Α.Φ.

- Ονομασία : **RT50**
- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης: 45-51 °C
- Λανθάνουσα θερμότητα: $H=152$ kJ/kg

- Ονομασία : **RT65**
- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης: 57-68 °C
- Λανθάνουσα θερμότητα: $H=152$ kJ/kg



Σχήμα 18: Θερμοκρασίες νερού δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου, χωρίς κατανάλωση, με $V=0,1$ m³ και $A_c = 6m^2$ με και χωρίς Υ.Α.Φ.



Σχήμα 19: Θερμοκρασίες νερού δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου ,με κατανάλωση θερμού νερού χρήσης, με $V=0,1\text{ m}^3$ και $A_c = 6\text{ m}^2$ με και χωρίς Υ.Α.Φ.

ΔΟΚΙΜΗ 4^Η

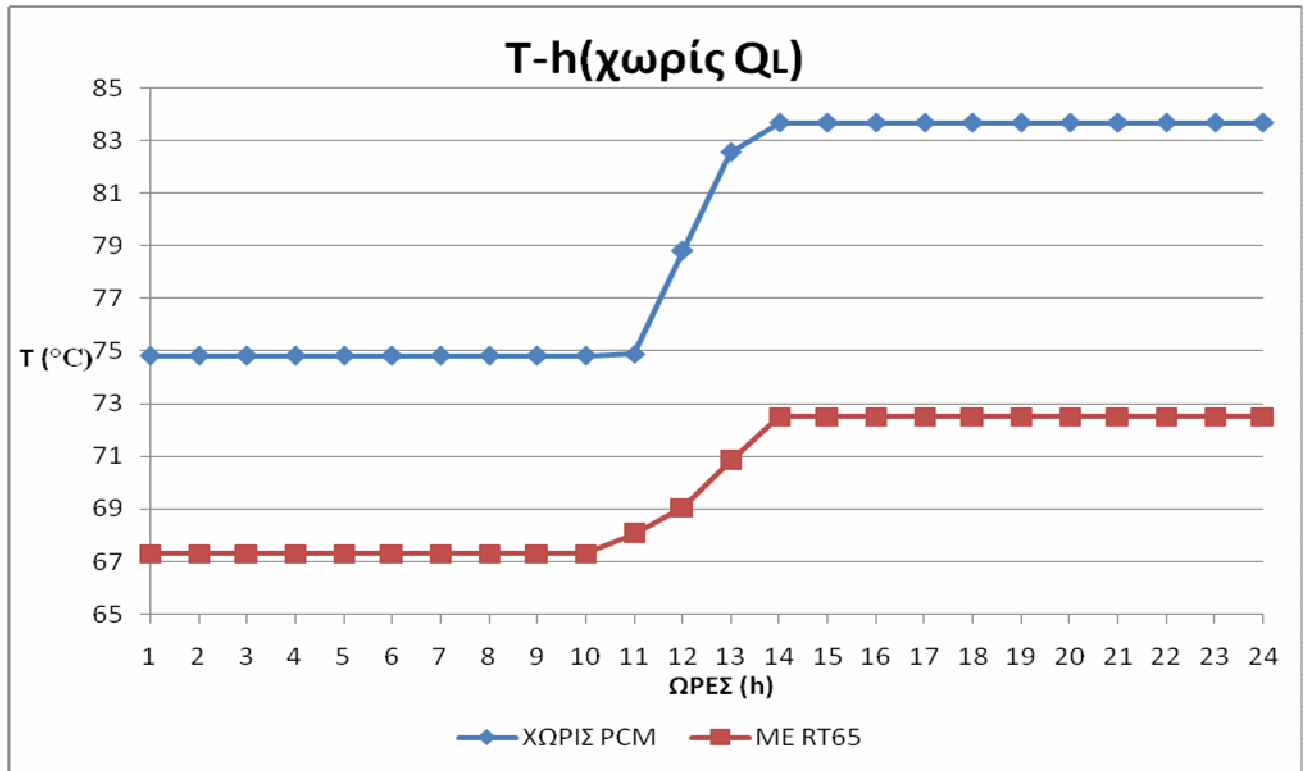
Γεωμετρικά χαρακτηριστικά συστήματος ηλιακής θέρμανσης νερού

- Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη: $A_c = 7\text{ m}^2$

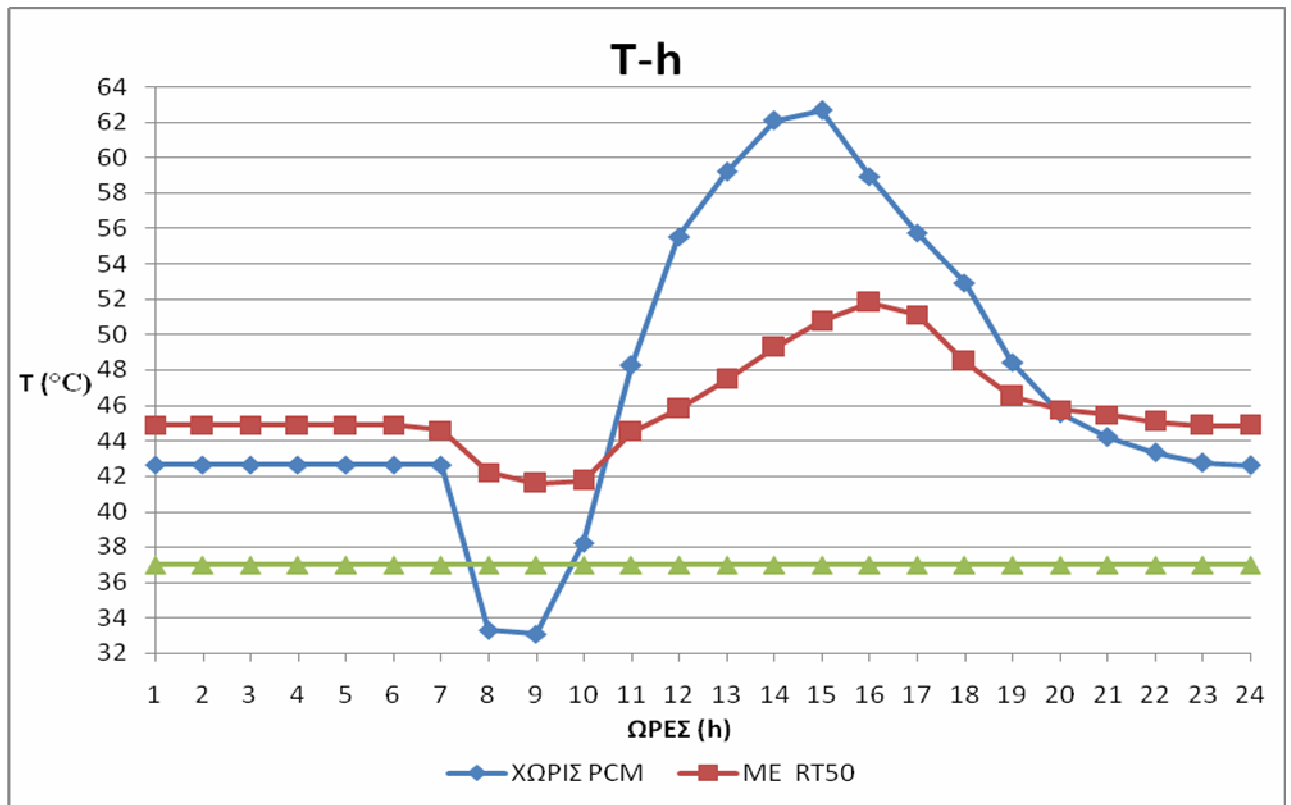
Χαρακτηριστικά των Υ.Α.Φ.

- Ονομασία : **RT50**
- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης: 45-51 °C
- Λανθάνουσα θερμότητα: $H=152\text{ kJ/kg}$
- Ονομασία : **RT65**
- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης: 57-68 °C

- Λανθάνουσα θερμότητα: $H=152 \text{ kJ/kg}$



Σχήμα 20: Θερμοκρασίες νερού δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου, χωρίς κατανάλωση, με $V=0,1 \text{ m}^3$ και $A_c = 7 \text{ m}^2$ με και χωρίς Υ.Α.Φ.



Σχήμα 21: Θερμοκρασίες νερού δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου ,με κατανάλωση θερμού νερού χρήσης, με $V=0,1 m^3$ και $A_c = 7m^2$ με και χωρίς Υ.Α.Φ.

Παρατηρήσεις

- Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση προσθήκης Υ.Α.Φ. στο σύστημα θέρμανσης νερού, οι δυο τελευταίες δοκιμές δίνουν θερμό νερό κατάλληλο για χρήση καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Αντίθετα, όταν το μέσο αποθήκευσης θερμότητας είναι μόνο νερό, τότε το θερμό νερό, δεν είναι σε καμία δοκιμή κατάλληλο για χρήση σε όλη τη διάρκεια του 24ώρου.
- Κατά τα άλλα ισχύουν οι ίδιες παρατηρήσεις που προέκυψαν για όγκο δεξαμενής $V=0,08 m^3$.

II. Όγκος δεξαμενής: $V = 0,12 \text{ m}^3$

ΔΟΚΙΜΗ 1^Η

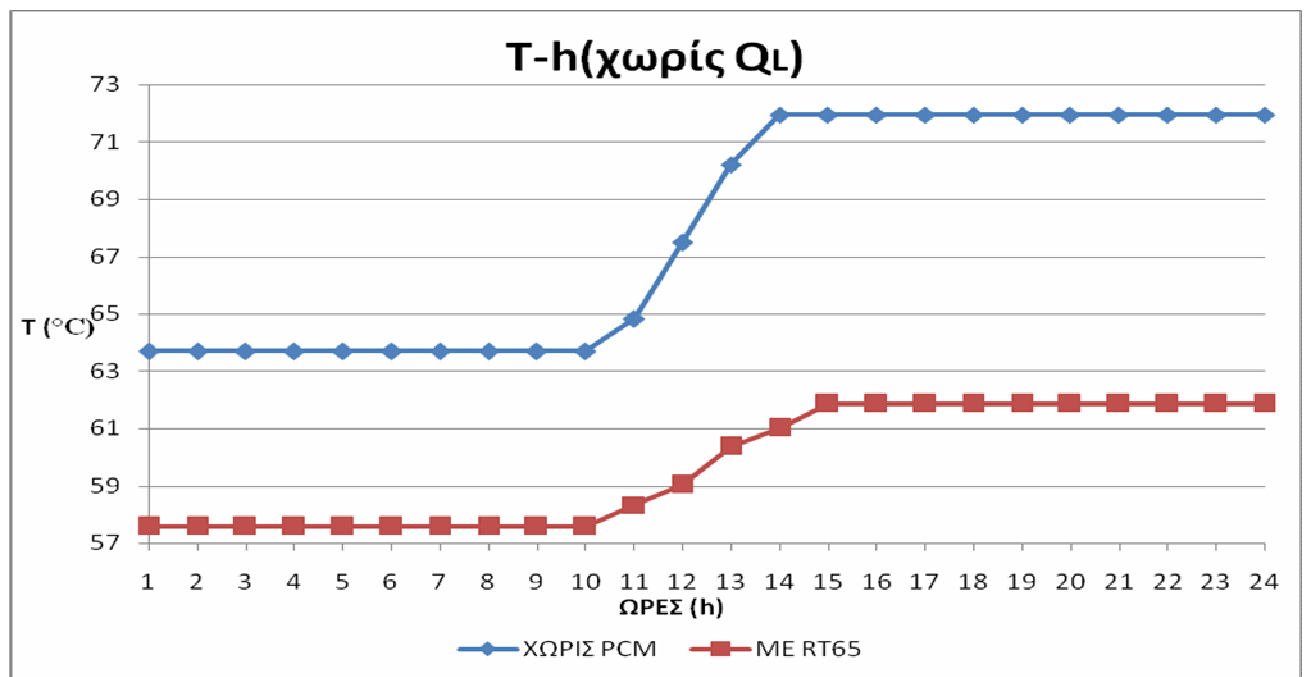
Γεωμετρικά χαρακτηριστικά συστήματος ηλιακής θέρμανσης νερού

- Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη: $A_c = 3 \text{ m}^2$

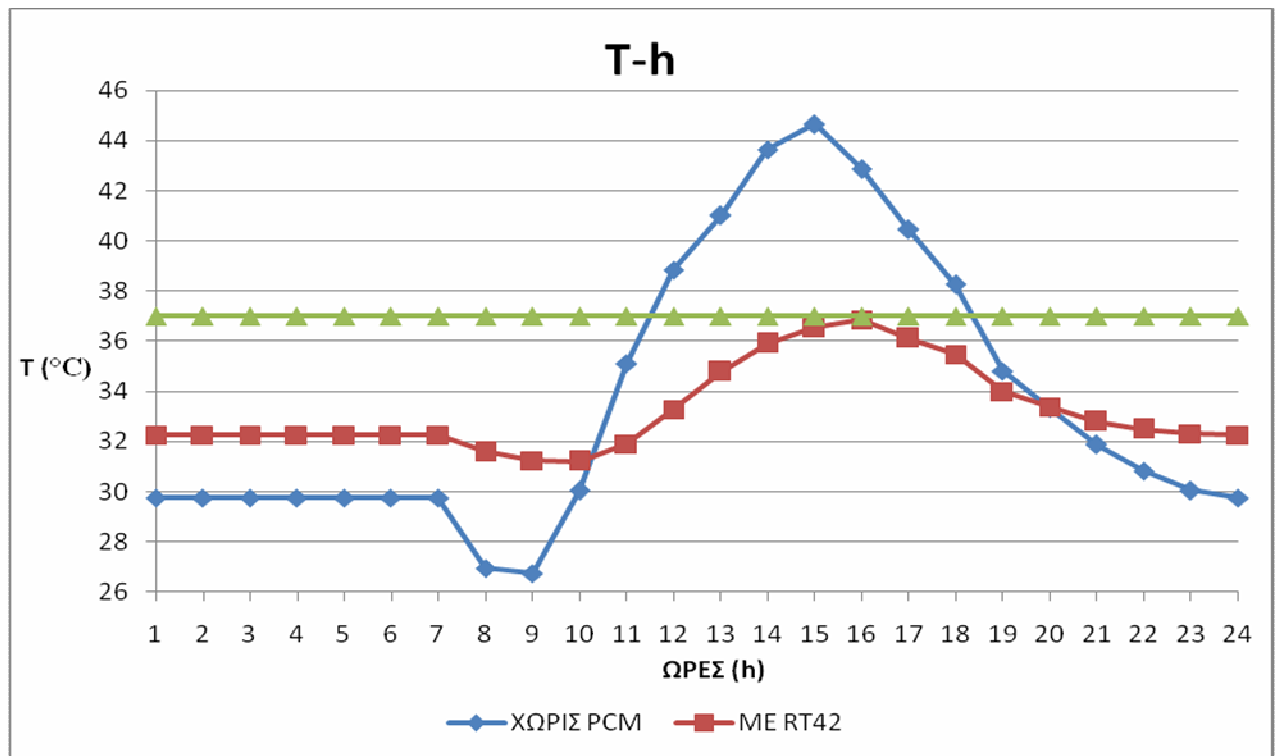
Χαρακτηριστικά των Υ.Α.Φ.

- Ονομασία : **RT42**
- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης: 38-43 °C
- Λανθάνουσα θερμότητα: $H=174 \text{ kJ/kg}$

- Ονομασία : **RT65**
- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης: 57-68 °C
- Λανθάνουσα θερμότητα: $H=152 \text{ kJ/kg}$



Σχήμα 22: Θερμοκρασίες νερού δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου, χωρίς κατανάλωση, με $V=0,12 \text{ m}^3$ και $A_c = 3 \text{ m}^2$ με και χωρίς Υ.Α.Φ.



Σχήμα 23: Θερμοκρασίες νερού δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου ,με κατανάλωση θερμού νερού χρήσης, με $V=0,12\text{ m}^3$ και $A_c = 3\text{ m}^2$ με και χωρίς Υ.Α.Φ.

ΔΟΚΙΜΗ 2^Η

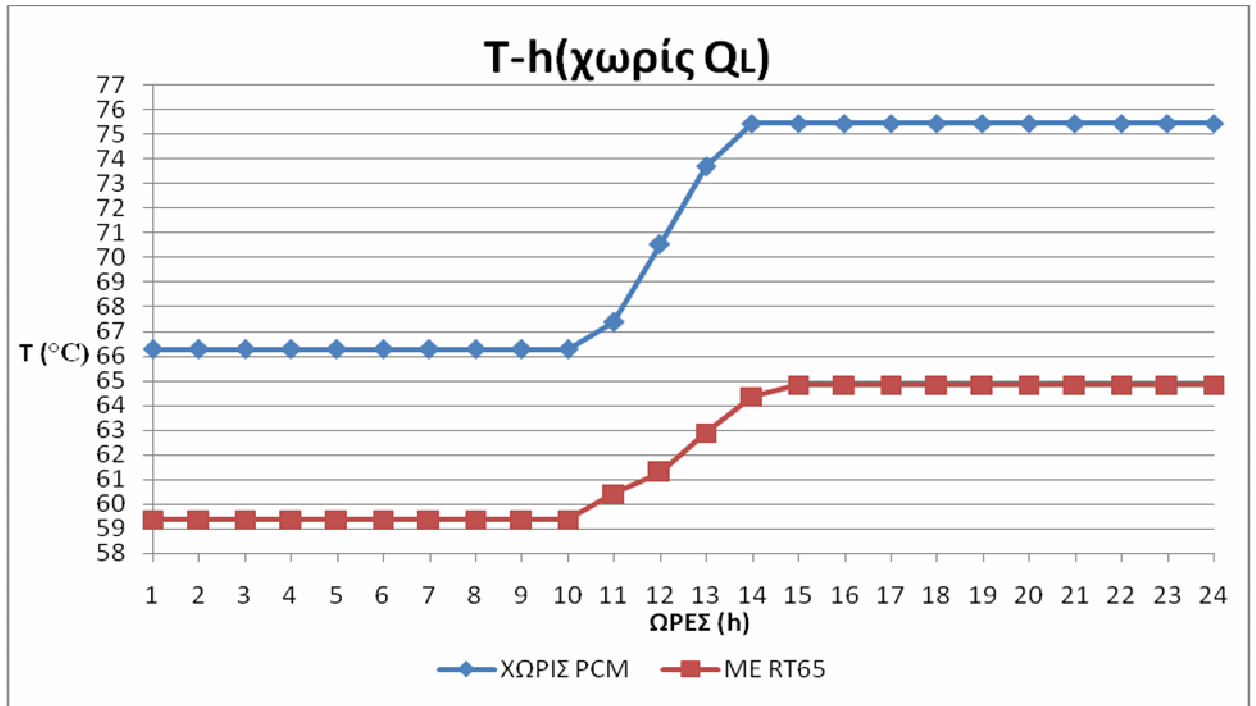
Γεωμετρικά χαρακτηριστικά συστήματος ηλιακής θέρμανσης νερού

- Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη: $A_c = 4\text{ m}^2$

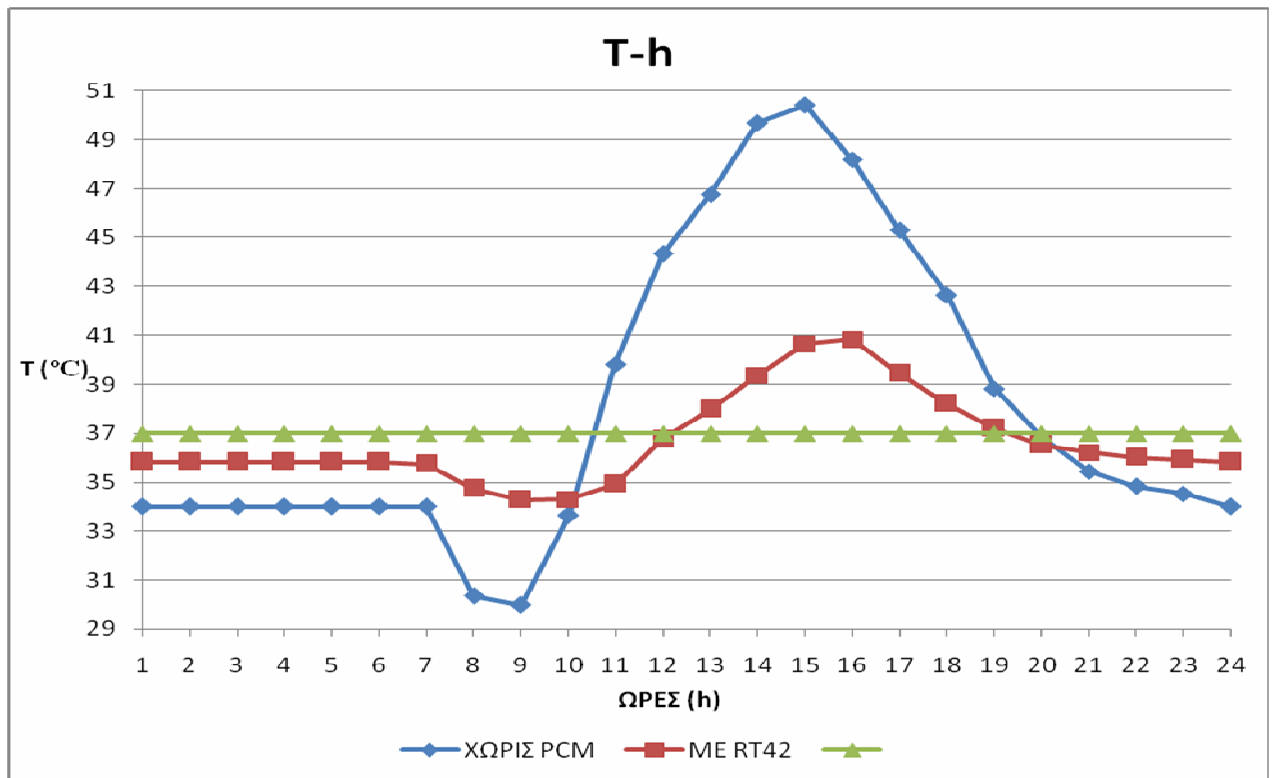
Χαρακτηριστικά των Υ.Α.Φ.

- Ονομασία : **RT42**
- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης: 38-43 °C
- Λανθάνουσα θερμότητα: $H=174\text{ kJ/kg}$

- Ονομασία : **RT65**
- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης: 57-68 °C
- Λανθάνουσα θερμότητα: $H=152\text{ kJ/kg}$



Σχήμα 24: Θερμοκρασίες νερού δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου, χωρίς κατανάλωση, με $V=0,12 \text{ m}^3$ και $A_c = 4\text{m}^2$ με και χωρίς Υ.Α.Φ.



Σχήμα 25: Θερμοκρασίες νερού δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου, με κατανάλωση θερμού νερού χρήσης, με $V=0,12 \text{ m}^3$ και $A_c = 4\text{m}^2$ με και χωρίς Υ.Α.Φ.

ΔΟΚΙΜΗ 3^Η

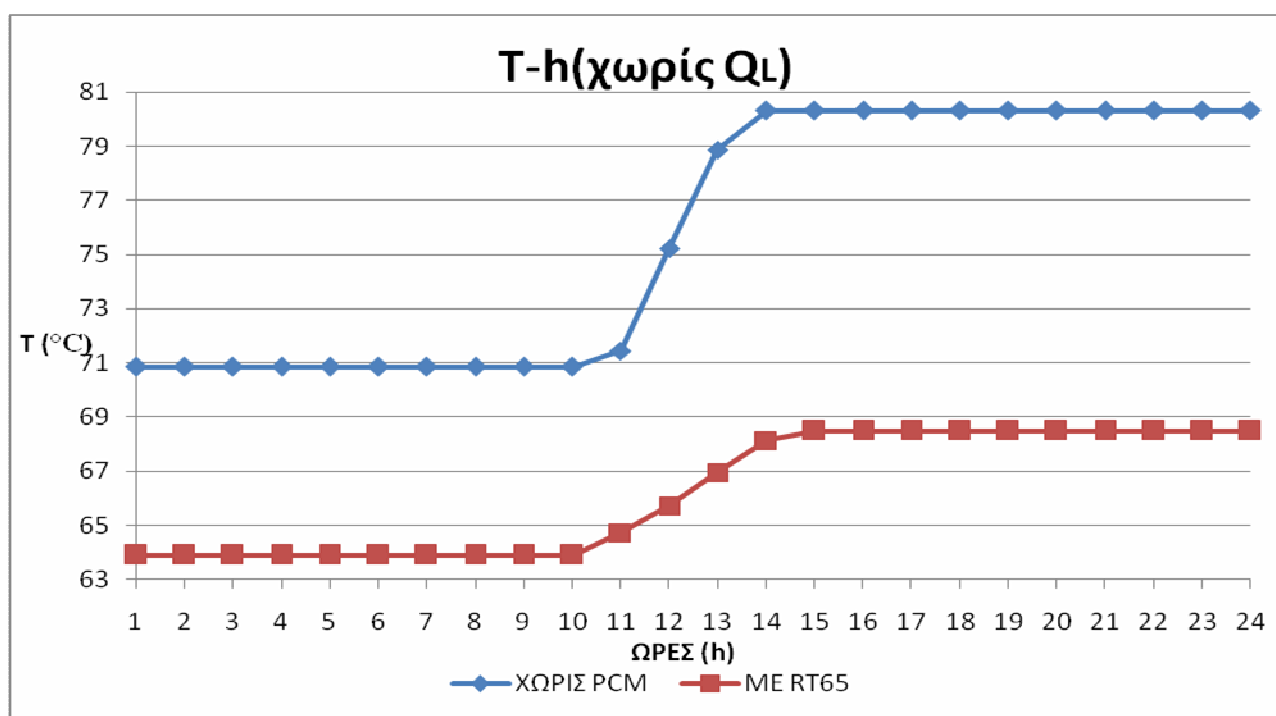
Γεωμετρικά χαρακτηριστικά συστήματος ηλιακής θέρμανσης νερού

- Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη: $A_c = 6m^2$

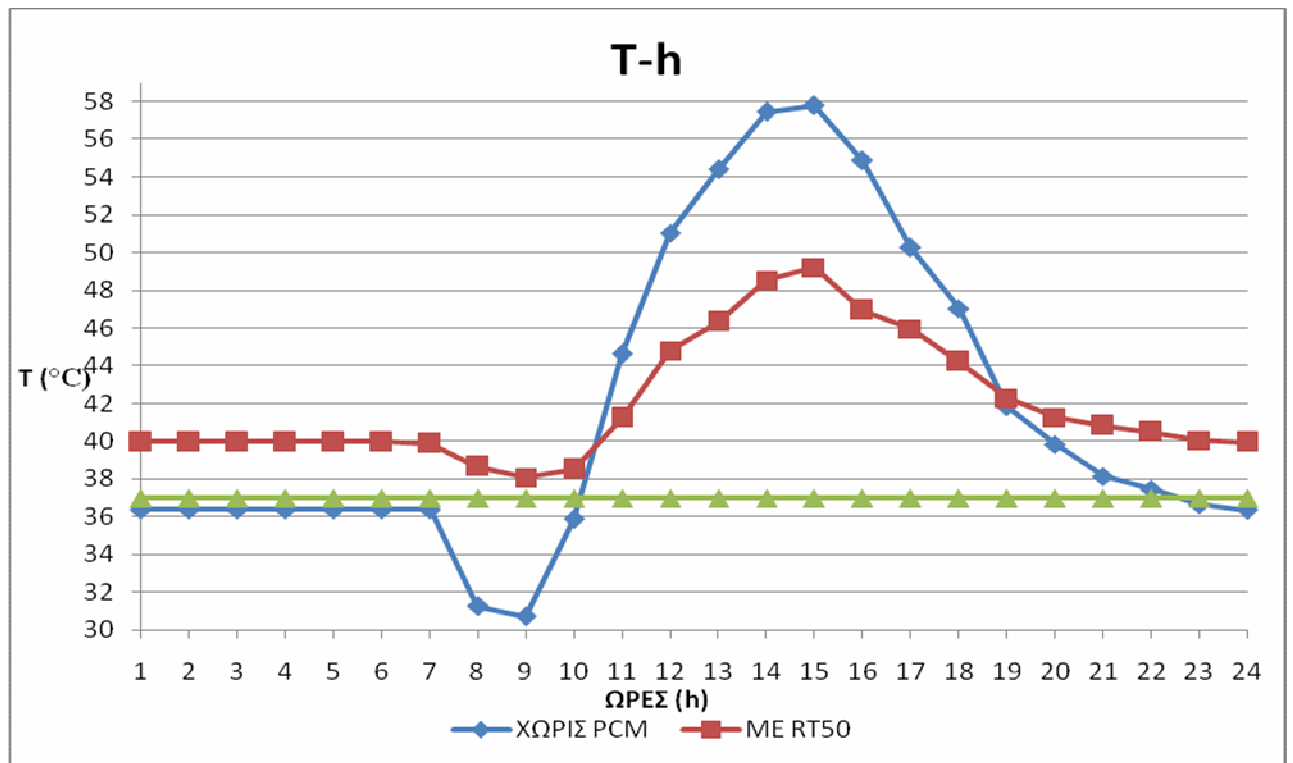
Χαρακτηριστικά των Υ.Α.Φ.

- Ονομασία : **RT50**
- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης: 45-51 °C
- Λανθάνουσα θερμότητα: $H=152$ kJ/kg

- Ονομασία : **RT65**
- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης: 57-68 °C
- Λανθάνουσα θερμότητα: $H=152$ kJ/kg



Σχήμα 26: Θερμοκρασίες νερού δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου, χωρίς κατανάλωση, με $V=0,12$ m³ και $A_c = 6m^2$ με και χωρίς Υ.Α.Φ.



Σχήμα 27: Θερμοκρασίες νερού δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου ,με κατανάλωση θερμού νερού χρήσης, με $V=0,12\text{ m}^3$ και $A_c = 6\text{ m}^2$ με και χωρίς Υ.Α.Φ.

ΔΟΚΙΜΗ 4^Η

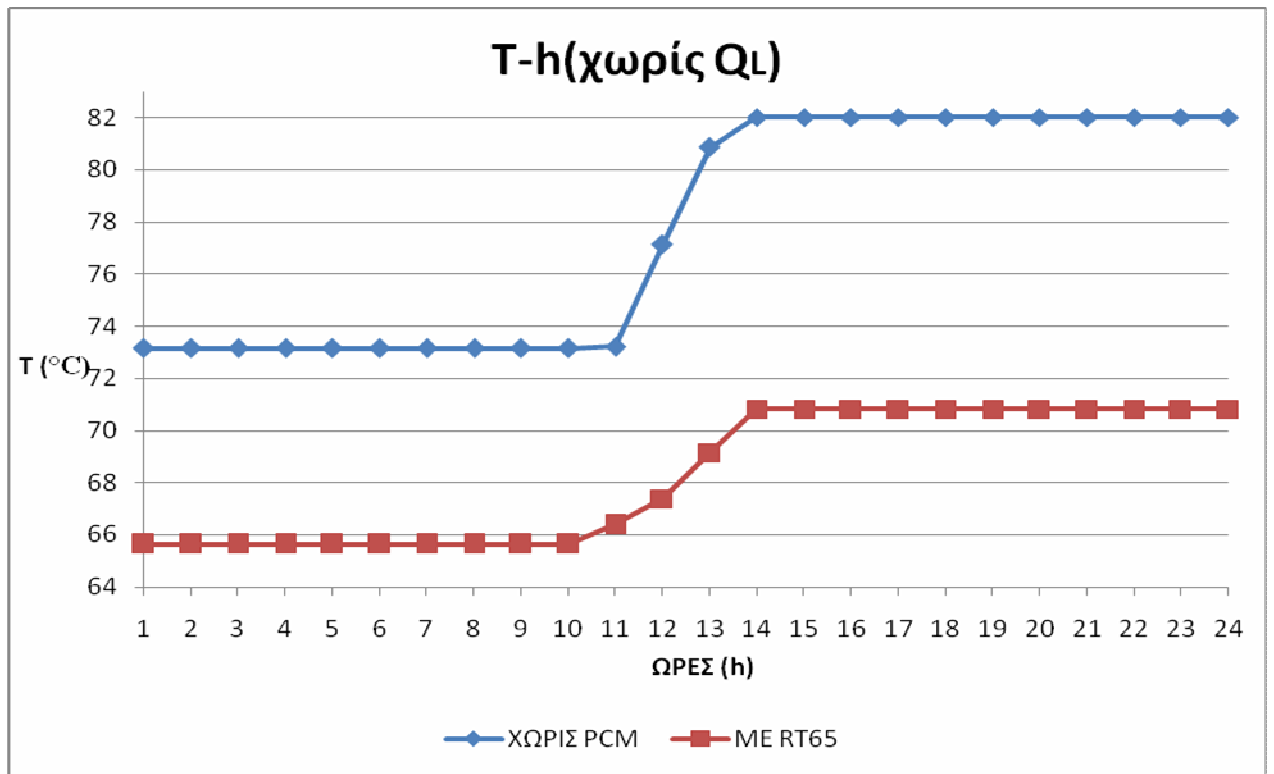
Γεωμετρικά χαρακτηριστικά συστήματος ηλιακής θέρμανσης νερού

- Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη: $A_c = 7\text{ m}^2$

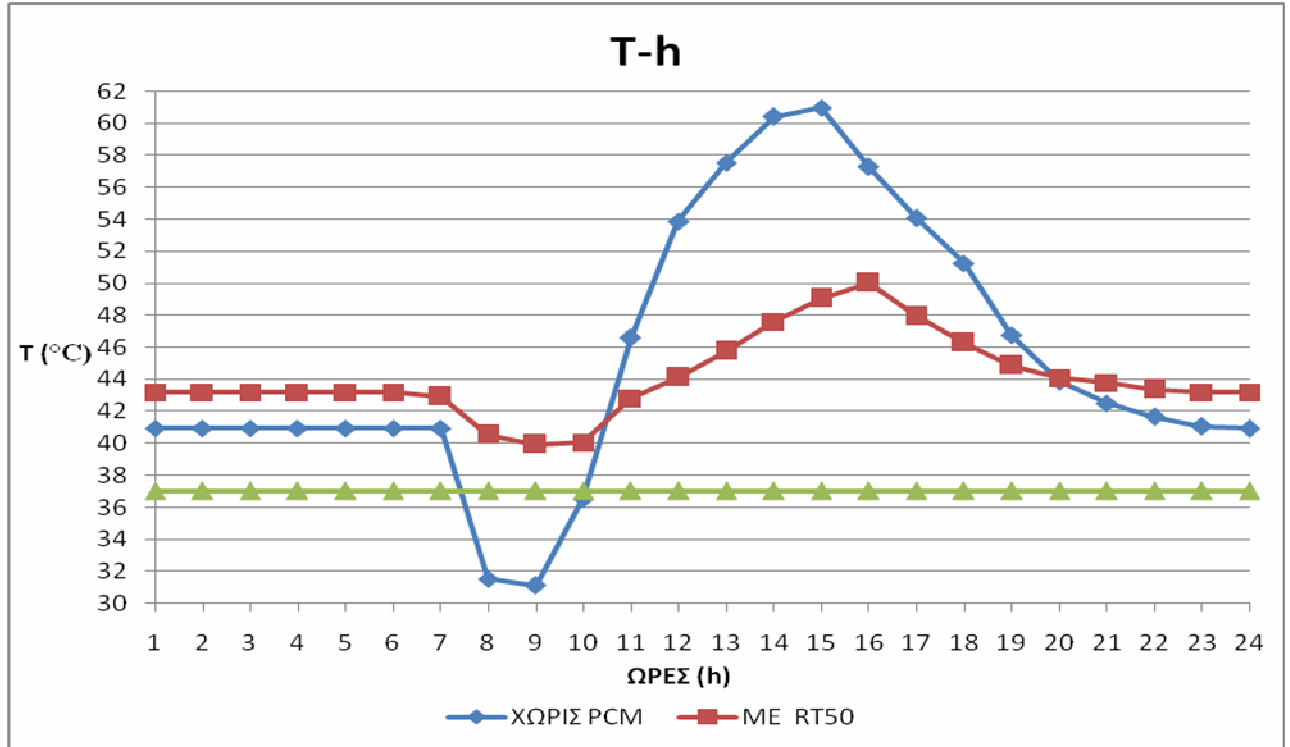
Χαρακτηριστικά των Υ.Α.Φ.

- Ονομασία : **RT50**
- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης: 45-51 °C
- Λανθάνουσα θερμότητα: $H=152\text{ kJ/kg}$

- Ονομασία : **RT65**
- Θερμοκρασιακό εύρος αλλαγής φάσης: 57-68 °C
- Λανθάνουσα θερμότητα: $H=152\text{ kJ/kg}$



Σχήμα 28: Θερμοκρασίες νερού δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου, χωρίς κατανάλωση, με $V=0,12 \text{ m}^3$ και $A_c = 7 \text{ m}^2$ με και χωρίς Υ.Α.Φ.



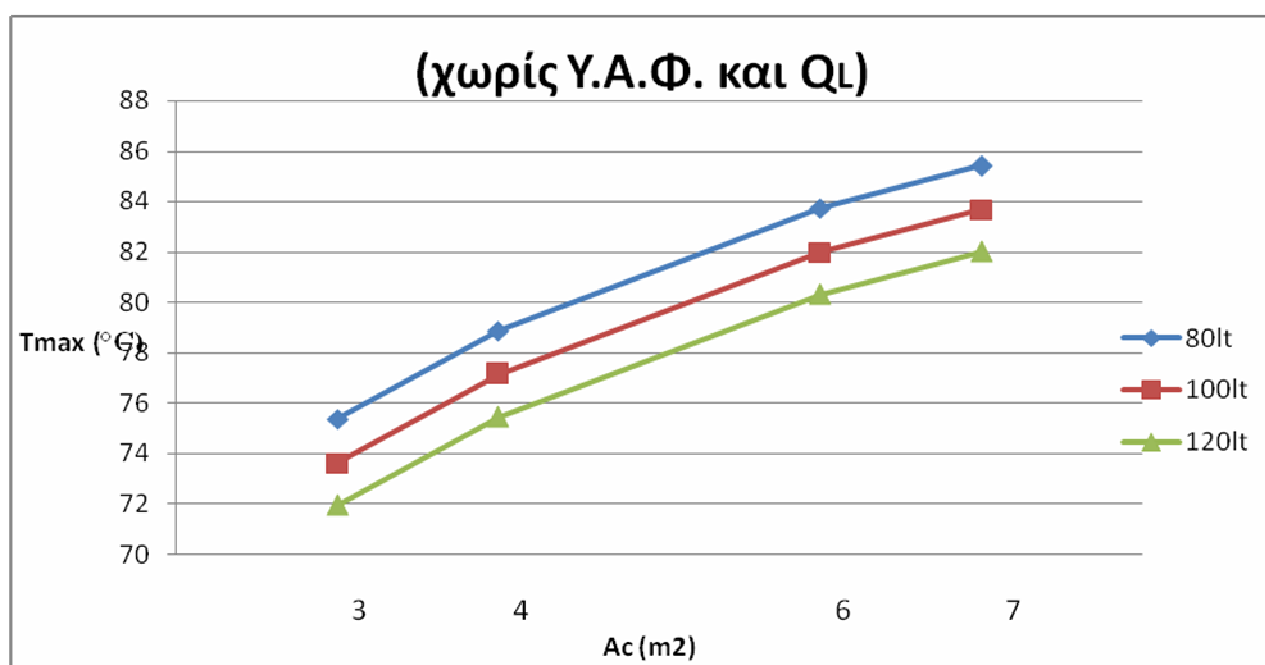
Σχήμα 29: Θερμοκρασίες νερού δεξαμενής την 21^η Νοεμβρίου, με κατανάλωση θερμού νερού χρήσης, με $V=0,12 \text{ m}^3$ και $A_c = 7 \text{ m}^2$ με και χωρίς Υ.Α.Φ.

Παρατηρήσεις

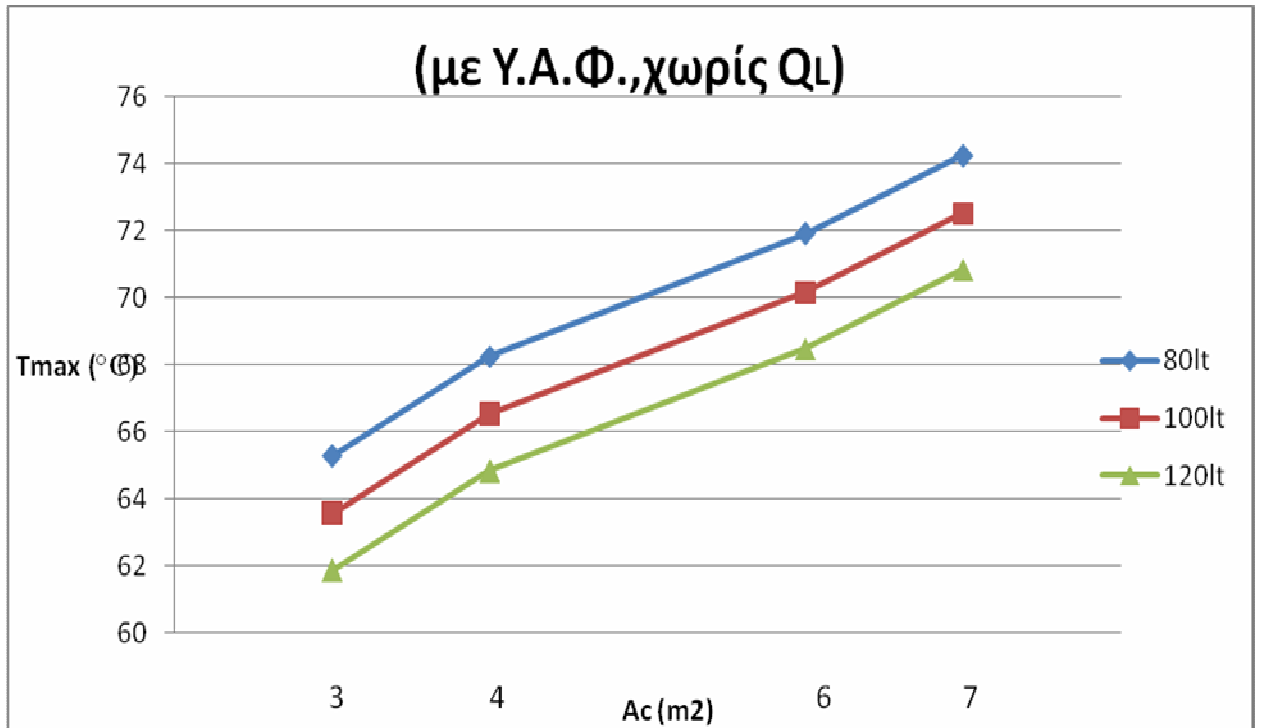
- Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση προσθήκης Υ.Α.Φ. στο σύστημα θέρμανσης νερού, οι δυο τελευταίες δοκιμές δίνουν θερμό νερό κατάλληλο για χρήση καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Αντίθετα, όταν το μέσο αποθήκευσης θερμότητας είναι μόνο νερό, τότε το θερμό νερό, δεν είναι σε καμία δοκιμή κατάλληλο για χρήση σε όλη τη διάρκεια του 24ώρου.
- Κατά τα άλλα ισχύουν οι ίδιες παρατηρήσεις που προέκυψαν για όγκο δεξαμενής $V=0,08m^3$.

Συσχετισμός αποτελεσμάτων των παραπάνω δοκιμών

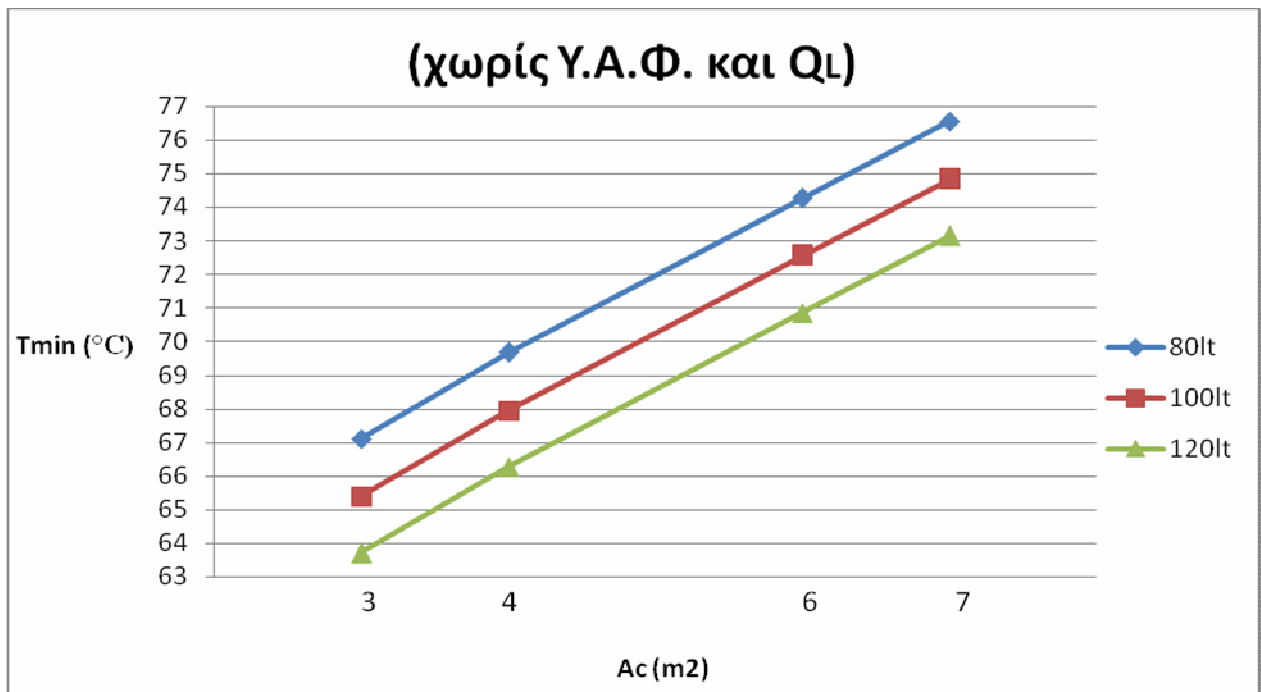
Παρακάτω ακολουθούν συγκεντρωτικά διαγράμματα, για τις μέγιστες και τις ελάχιστες θερμοκρασίες που αναπτύσσει το νερό τις δεξαμενής στις παραπάνω περιπτώσεις, με και χωρίς Υ.Α.Φ., συναρτήσει των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του συστήματος ηλιακής θέρμανσης νερού:



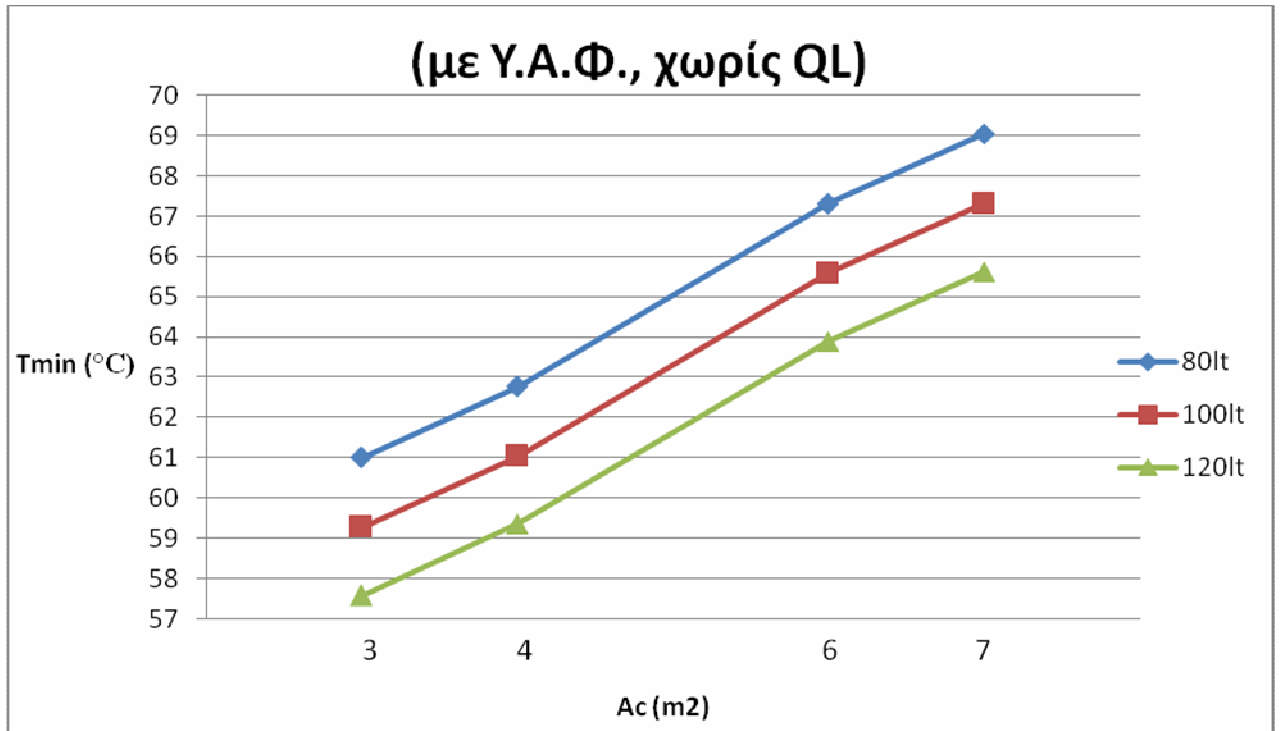
Σχήμα 30: Μέγιστες θερμοκρασίες νερού δεξαμενής, χωρίς κατανάλωση θερμού νερού, χωρίς Υ.Α.Φ., συναρτήσει των $V(m^3)$ και $A_c(m^2)$



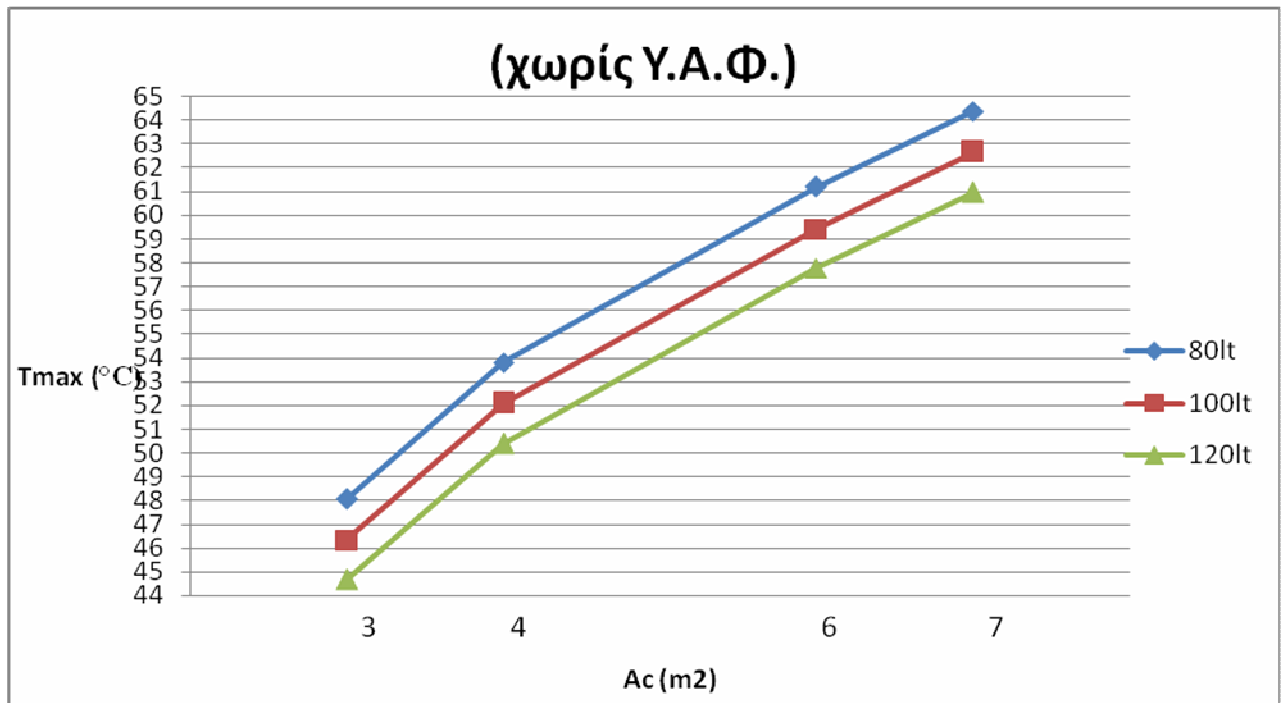
Σχήμα 31: Μέγιστες θερμοκρασίες νερού δεξαμενής, χωρίς κατανάλωση θερμού νερού, με Υ.Α.Φ., συναρτήσει των $V(m^3)$ και $A_c(m^2)$



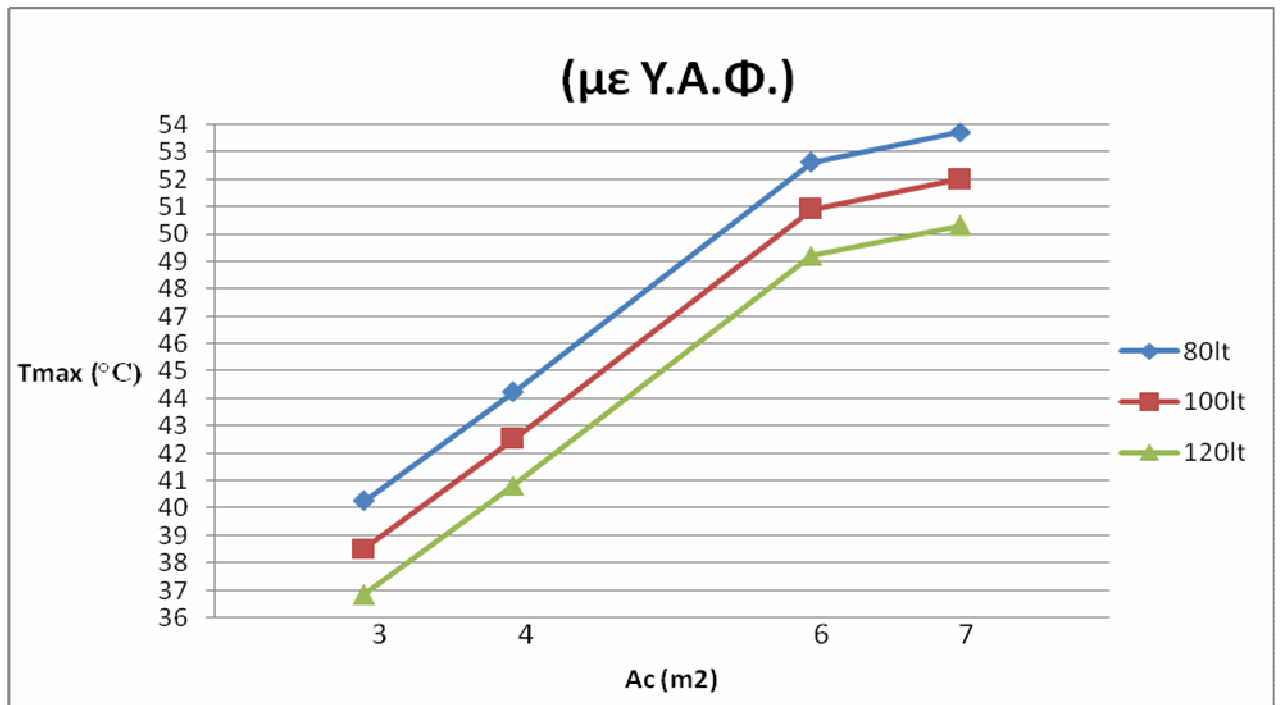
Σχήμα 32: Ελάχιστες θερμοκρασίες νερού δεξαμενής, χωρίς κατανάλωση θερμού νερού, χωρίς Υ.Α.Φ., συναρτήσει των $V(m^3)$ και $A_c(m^2)$



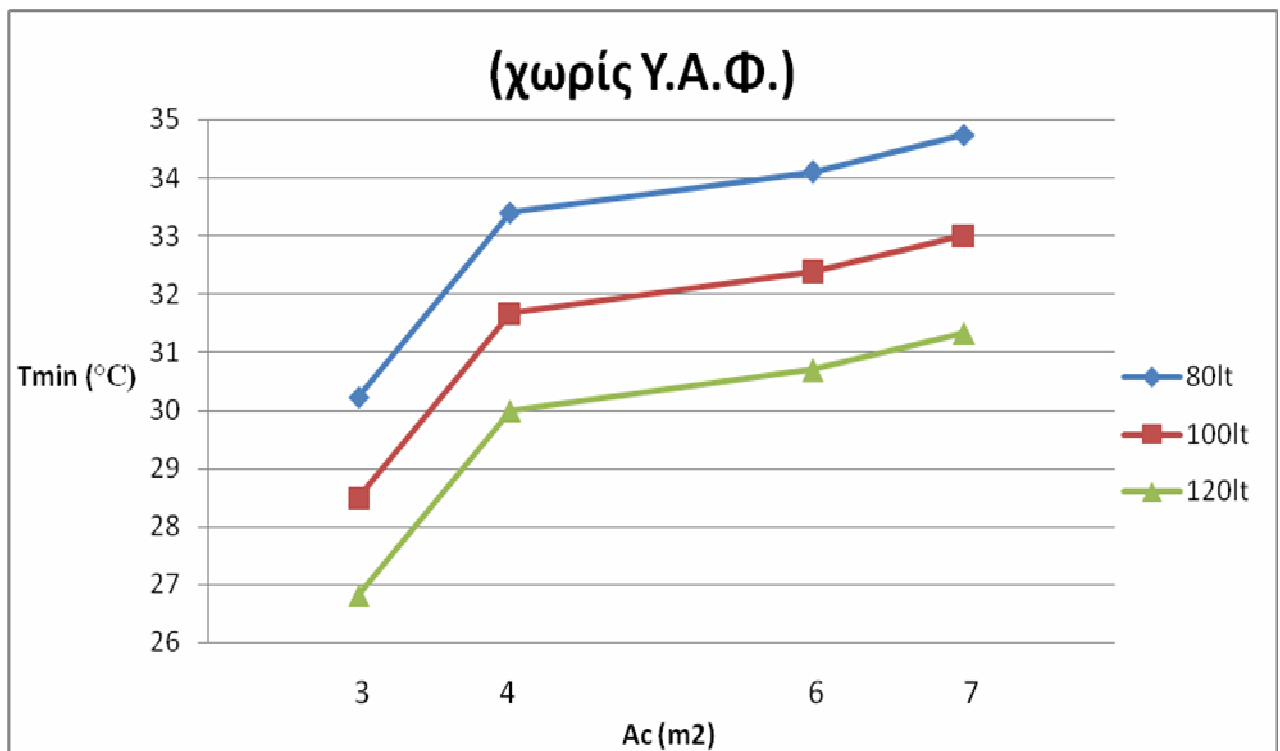
Σχήμα 33: Ελάχιστες θερμοκρασίες νερού δεξαμενής, χωρίς κατανάλωση θερμού νερού, με Υ.Α.Φ., συναρτήσει των $V(m^3)$ και $A_c(m^2)$



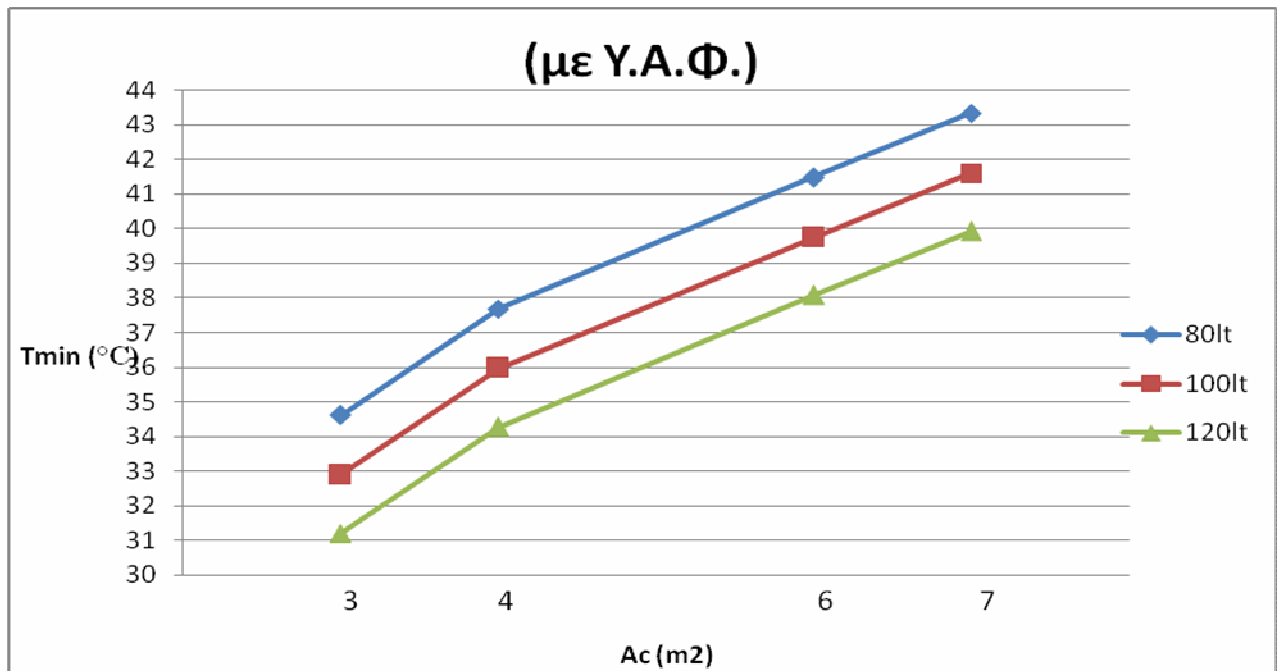
Σχήμα 34: Μέγιστες θερμοκρασίες νερού δεξαμενής, με κατανάλωση θερμού νερού, χωρίς Υ.Α.Φ., συναρτήσει των $V(m^3)$ και $A_c(m^2)$



Σχήμα 35: Μέγιστες θερμοκρασίες νερού δεξαμενής, με κατανάλωση θερμού νερού, με Υ.Α.Φ., συναρτήσει των $V(m^3)$ και $A_c(m^2)$



Σχήμα 36: Ελάχιστες θερμοκρασίες νερού δεξαμενής, με κατανάλωση θερμού νερού, χωρίς Υ.Α.Φ., συναρτήσει των $V(m^3)$ και $A_c(m^2)$



Σχήμα 37: Ελάχιστες θερμοκρασίες νερού δεξαμενής, με κατανάλωση θερμού νερού, με Υ.Α.Φ., συναρτήσει των $V(m^3)$ και $A_c(m^2)$

Παρατηρήσεις

- Όπως ήταν αναμενόμενο, οι μέγιστες θερμοκρασίες του νερού της δεξαμενής, στην δοκιμή όπου είχαμε τη μικρότερη δεξαμενή ($V=80\text{lt}$) και το μεγαλύτερο συλλέκτη ($A_c=7\text{m}^2$), είναι μεγαλύτερες από τις υπόλοιπες, ενώ οι χαμηλότερες μέγιστες, παρατηρούνται για τη μεγαλύτερη δεξαμενή ($V=120\text{lt}$) και το μικρότερο συλλέκτη ($A_c=3\text{m}^2$), και με Υ.Α.Φ. και χωρίς, και στην περίπτωση που έχουμε κατανάλωση θερμού νερού χρήσης, αλλά και όταν η κατανάλωση αυτή είναι μηδενική.
- Οι ελάχιστες θερμοκρασίες του νερού της δεξαμενής, στην δοκιμή όπου είχαμε τη μεγαλύτερη δεξαμενή ($V=120\text{lt}$) και το μικρότερο συλλέκτη ($A_c=3\text{m}^2$), είναι μικρότερες από τις υπόλοιπες, ενώ οι υψηλότερες ελάχιστες, παρατηρούνται για τη μικρότερη δεξαμενή ($V=80\text{lt}$) και το μεγαλύτερο συλλέκτη ($A_c=7\text{m}^2$), και με Υ.Α.Φ. και χωρίς, και στην

περίπτωση που έχουμε κατανάλωση θερμού νερού χρήσης, αλλά και όταν η κατανάλωση αυτή είναι μηδενική.

- Οι μέγιστες θερμοκρασίες του νερού της δεξαμενής, παρατηρούνται σε όλες τις δοκιμές, όταν στη δεξαμενή υπάρχει μόνο νερό, σε σχέση με τις αντίστοιχες στις οποίες κάνουμε χρήση Υ.Α.Φ.
- Οι ελάχιστες θερμοκρασίες του νερού της δεξαμενής, παρατηρούνται σε όλες τις δοκιμές, όταν στη δεξαμενή υπάρχει μόνο νερό, σε σχέση με τις αντίστοιχες στις οποίες κάνουμε χρήση Υ.Α.Φ.
- Στις δοκιμές όπου είχαμε κατανάλωση θερμού νερού χρήσης, οι μέγιστες θερμοκρασίες του νερού της δεξαμενής, είναι μικρότερες σε όλες τις περιπτώσεις, είτε έχουμε Υ.Α.Φ., είτε όχι, σε σχέση με τις δοκιμές όπου η κατανάλωση αυτή είναι μηδενική.
- Στις δοκιμές όπου είχαμε κατανάλωση θερμού νερού χρήσης, οι ελάχιστες θερμοκρασίες του νερού της δεξαμενής, είναι μεγαλύτερες σε όλες τις περιπτώσεις, είτε έχουμε Υ.Α.Φ., είτε όχι, σε σχέση με τις δοκιμές όπου η κατανάλωση αυτή είναι μηδενική.

4.3.6. ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν δεν είναι τα βέλτιστα δυνατά καθώς:

- i. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε είναι πολύ προσεγγιστικό. Χρησιμοποιήθηκε χάριν ευελιξίας και απλότητας, ωστόσο δεν αποτελεί την καλύτερη αριθμητική μέθοδο. Για καλύτερα αποτελέσματα θα έπρεπε να επιλέξουμε τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών.

- ii. Μερικές απώλειες οφείλονται επίσης, στο μεγάλο χρονικό βήμα (1 ώρα) το οποίο ελήφθη στους υπολογισμούς.

Ωστόσο, οι παραπάνω προσεγγίσεις ελήφθησαν, διότι σκοπός της εφαρμογής είναι να ληφθεί μια πρώτη εκτίμηση της συμπεριφοράς των Υ.Α.Φ. σε σχέση με το νερό .

4.3.7. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χρήση Υ.Α.Φ. σε σύστημα ηλιακής θέρμανσης νερού χρήσης σε οικία κατά το μήνα Νοέμβριο, αποδείχθηκε συμφέρουσα στην περίπτωση που υπάρχει μέση κατανάλωση θερμού νερού κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Αναμφισβήτητα, τις ώρες που υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία, το νερό της δεξαμενής αναπτύσσει θερμοκρασίες αρκετά υψηλότερες στην περίπτωση που το μέσο αποθήκευσης είναι μόνο νερό.

Τις πρωινές ώρες ωστόσο, όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι μηδενική και η κατανάλωση του θερμού νερού είναι αρκετά υψηλή, το νερό αδυνατεί να διατηρήσει θερμοκρασίες κατάλληλες για χρήση.

Στις περιπτώσεις στις οποίες γίνεται χρήση Υ.Α.Φ., παρατηρείται ότι κατά τις πρωινές και τις βραδινές ώρες, οι θερμοκρασίες του νερού της δεξαμενής, διατηρούνται σε σχεδόν ίδια επίπεδα με αυτές που αναπτύσσονται το μεσημέρι, καθιστώντας έτσι δυνατό, να υπάρχει νερό κατάλληλο για χρήση, περισσότερες ώρες κατά τη διάρκεια της ημέρας.

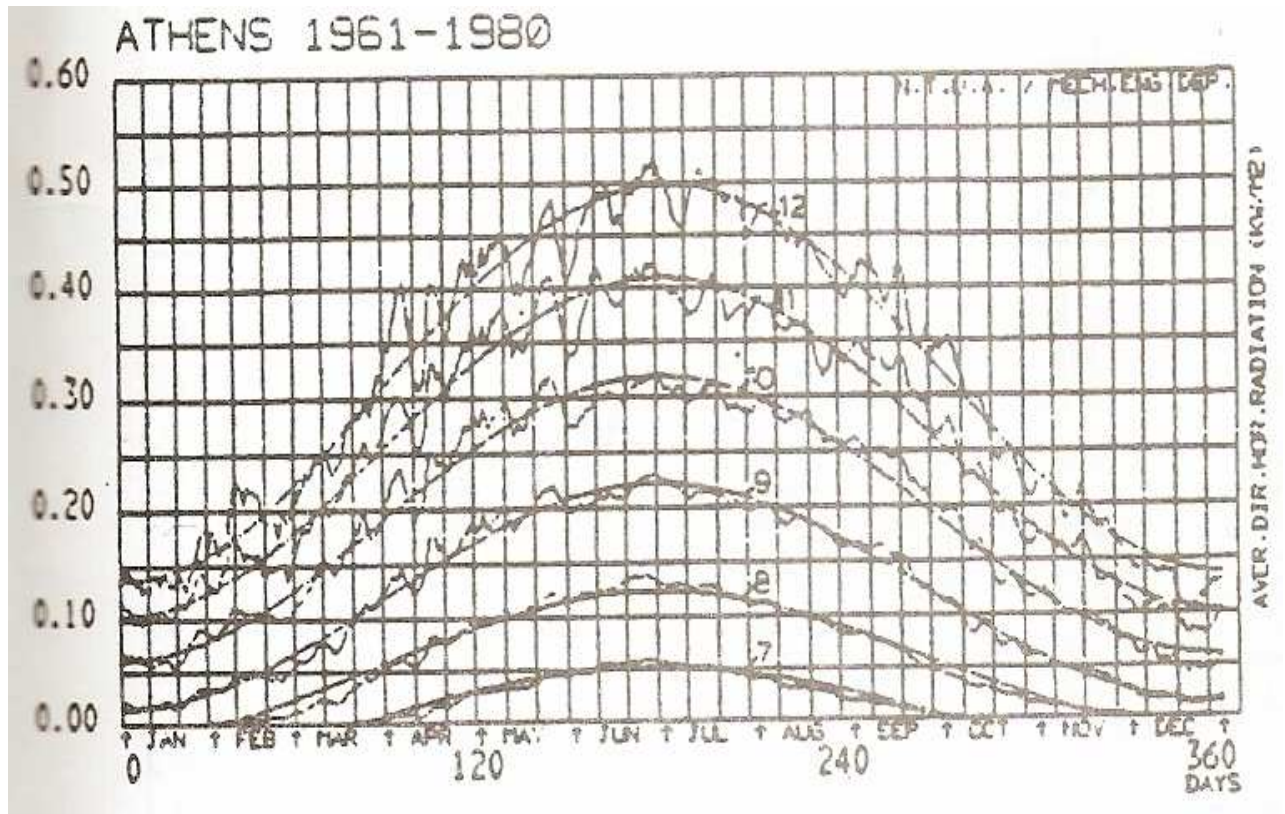
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

(Από το βιβλίο του μαθήματος 9^ο εξαμήνου Ενεργειακών Μηχανολόγων Μηχανικών, Ηλιακή Ενέργεια).

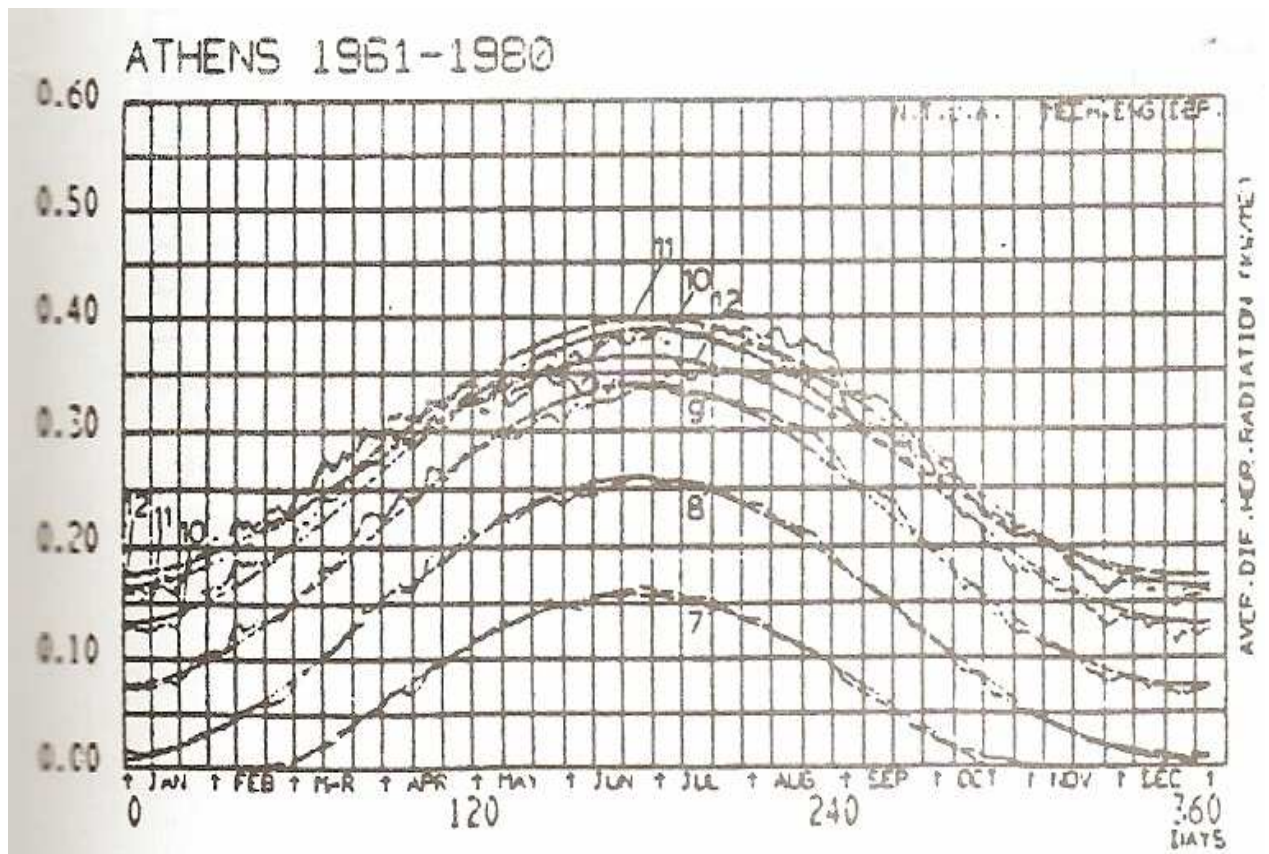
Πίνακας 1: Τιμές των συντελεστών της εξίσωσης (4.2.1.2.)

Τώρα t hrs LST	M_t kW/m ²	A_t kW/m ²	P_t degrees	m_t kg/m ²	Δt K/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

(Από το βιβλίο του μαθήματος 9^ο εξαμήνου Ενεργειακών Μηχανολόγων Μηχανικών, Ηλιακή Ενέργεια).



Σχήμα 1: Μέση άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Αθηνών συναρτήσει των ημερών του τυπικού έτους για τις ώρες 7÷12



Σχήμα 2: Μέση διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου Αθηνών συναρτήσει των ημερών του τυπικού έτους για τις ώρες 7÷12

(Από το βιβλίο του μαθήματος 9^ο εξαμήνου Ενεργειακών Μηχανολόγων Μηχανικών, Ηλιακή Ενέργεια).

Πίνακας 2: Αύξων αριθμός ημέρας του έτους, n . Μέση ημέρα κάθε μήνα και αντίστοιχη τιμή της ηλιακής απόκλισης, δ .


Month	n for i th Day of Month ^b	For the Average Day of the Month		
		Date	n , Day of Year ^b	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

(Από το βιβλίο του μαθήματος 9^ο εξαμήνου Ενεργειακών Μηχανολόγων Μηχανικών, Κλιματισμός).

Πίνακας 3: Τιμές των συντελεστών της συνάρτησης (4.2.2.1)

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	11.956	-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	0.3330	0.0080

Χαρακτηριστικά των Υ.Α.Φ. που χρησιμοποιήθηκαν [31]

Data Sheet			
<u>RUBITHERM[®] RT 42</u>		Typical Values	
Melting area	°C	38 - 43 Typical being: 41 °C	
Congealing 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

PHASE CHANGE MATERIAL

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.

RUBITHERM[®] RT 42

9. Physical and chemical properties

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 mm ² /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):

<u>EWC-Code</u>	<u>Description</u>
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, ADN/ADN; IMDG/GGVSee; ICAO-TI and IATA-DGR).

No dangerous goods.

15. Statutory provisions

Technical Instructions on Air Quality:

Threshold value TAL:	150 mg/m ³
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

Data Sheet

RUBITHERM[®] RT 50

before: RT 52



Typical Values

Melting area	°C	45 - 51 Typical being: 49 °C
Congeeing area	°C	51 - 46 Typical being: 50 °C
Heat storage capacity Temperature range 43 °C to 58 °C	kJ/kg	168
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 80 °C	mm ² /s	31.20
Flash point (PCM)	°C	> 100
corrosion		chemically inert with respect to most materials
water hazard		Water hazard class (WGK) 1

Version: 20.08.2009

PHASE CHANGE MATERIAL

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

1. Chemical product and company identification

RUBITHERM® RT 50

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 eyescontact.

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 limit 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.

RUBITHERM® RT 50

9. Physical and chemical properties

Physical state:	at room temperature solid
Colour:	clear (liquid), whitish (Solid)
Odour:	odourless
Melting point (OECD 103):	45 - 51 °C
Typical:	49 °C
Boiling range (OECD 103):	> 300 °C
Flash point:	approx. 200 °C
Auto flammability:	> 245 °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):	0.78 Kg/l
Solubility at 20°C - in water:	insolubly
Viscosity at 70°C (Brookfield):	31.2 mm ² /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):

<u>EWC-Code</u>	<u>Description</u>
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, ADN/ADN; IMDG/GGVSee; ICAO-TI and IATA-DGR).
No dangerous goods.

15. Statutory provisions

Technical Instructions on Air Quality:

Threshold value TAL:	150 mg/m ³
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

Data Sheet

RUBITHERM[®] RT 65



Typical Values

Melting area	°C	57-68 typical being: 65°C
Congeaing area	°C	67-58 typical being: 66°C
Heat storage capacity temperature range 55°C to 70°C	kJ/kg	152
Density solid at 15 °C	kg/l	0.88
Density liquid at 80 °C	kg/l	0.78
Volume expansion In phase change range	%	12
Heat conductivity	W/(m*K)	0.2
Kin. Viscosity at 100 °C	mm ² /s	38.96
Flash point (PCM)	°C	> 100
corrosion		chemically inert with respect to most materials
water hazard		Water hazard class (WGK) 1

Version: 20.08.2009

PHASE CHANGE MATERIAL

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

1. Chemical product and company identification

RUBITHERM® RT 65

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: Xn, harmful

Potential dangers to health and environment:

In case of swallowing product lung damage can be caused.
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 eyescontact.

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.

RUBITHERM® RT 65

9. Physical and chemical properties

Physical state:	at room temperature solid
Colour:	clear (liquid), whitish (solid)
Odour:	odourless
Melting point (OECD 103):	57-68°C
Typical:	65°C
Boiling range (OECD 103):	> 300 °C
Flash point:	approx. 240 °C
Auto flammability:	> 285 °C
Explosive limit in air:	0.35 – 3.5 Vol.-%
Vapour pressure at 20 °C (OECD104):	< 0.1 hPa
Density at 100 °C (DIN 51 757):	0.77 Kg/l
Solubility at 20 °C - in water:	insolubly
Viscosity at 100 °C (Brookfield):	38.96 mm ² /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):

<u>EWC-Code</u>	<u>Description</u>
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, ADN/R/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:

Xn harmful
Risk-phrase, R-phrase:
R 65 Harmful. In case of swallowing product lung damage can be caused.
R 66 Repeated skin contact can cause dryness or cracking
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

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] http://www.renewable.gr/wwgr/s_solar_gr.html
- [2] <http://www.cres.gr/kape/.../27.htm>
- [3] attica.olx.gr/iid-71773202
- [4] 13tee-thess.thess.sch.gr/SOLAR/thermansinerou.htm
- [5] Solar Energy, the state of the art, isis position papers, Jeffrey Gordon
- [6] http://www.ebhe.gr/library/ESIF_Leaflet_gr.pdf
- [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] Vineet Veer Tyagi, D. Buddhi, PCM thermal storage in buildings: A state of art, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11, 2007
- [12] http://en.wikipedia.org/wiki/Phase_Change_Material

- [13] Lane, G.A., Solar Heat Storage: Latent Heat Materials Volume I: Background and Scientific Principles. Vol. I. 1983, Florida: CRC Press, Inc.
- [14] Lane, G.A., Solar Heat Storage: Latent Heat Materials Volume II: Technology
- [15] A. Felix Regin, S.C. Solanki, J.S. Saini: Heat Transfer characteristics of thermal energy storage system using PCM capsules: A review
- [16] <http://www.climator.com>
- [17] http://en.wikipedia.org/wiki/Phase_change_material#Micro-Encapsulated_Phase_Change_Materials
- [18] Luisa F. Cabeza, Manuel Ibanez, Cristian Sole, Joan Roca, Miquel Nogues: Experimentation with a water tank including a PCM module
- [19] Muhsin Mazman, Luisa F. Cabeza, Harald Mehling, Miquel Nogues, Hunay Evliya, Halime O. Paksoy: Utilization of phase change materialw in solar domestic hot water systems
- [20] H. Mehling, L. F. Cabeza, S. Hippeli, S. Hiebler: PCM- module to improve hot water heat stores with stratification
- [21] Σημειώσεις μαθήματος <<Θερμική Συμπεριφορά Κτιρίων>>, 9^ο εξαμήνου, σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π.

[22] B.Zalba, J. M. Marin, L. F. Cabeza, H. Mehling: Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications

[23] <http://visual.merriam-webster.com/energy/solar-energy/solar-house/solar-house.php>

[24] <https://www.msu.edu/~santalam/earthspacepics.htm>

[25] http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE_%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1

[26] <http://www.econews.gr/2009/09/15/europe-invests-heavily-solar-power/>

[27] <http://www.allaboutenergy.gr/HliakaSistimata.html>

[28] Harald Mehling and Luisa F. Cabeza: Phase Change Materials and their Basic Properties.

[29] S. Canbazoglu, A. Sahinaslan, A. Ekmekyapar, Y. Gökhan Aksoy, F. Akarsu: Enhancement of solar thermal energy storage performance using sodium thiosulfate pentahydrate of a conventional solar water-heating system.

[30] I. Al-Hinti, A. Al-Ghandoor, A. Maaly, I. Abu Naqeera, Z. Al-Khateeb, O. Al-Sheikh: Experimental investigation on the use of water-phase change material storage in conventional solar water heating systems.

[31] <http://www.rubitherm.com>

[32] 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.

[33] Tomlinson.J, New Materials for Thermal Storage, Oak Ridge National Laboratory, No.4, Tennessee, USA, 1989.

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

[35] 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