



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ : «ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΗΛΙΑΚΩΝ ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ(PCM) ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ
ΑΘΗΝΑΣ»**

ΜΟΥΤΣΙΚΑ ΑΓΓΕΛΙΚΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΚΙΜΩΝ Α. ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

A ΜΕΡΟΣ-ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (THERMAL ENERGY STORAGE- TES)	7
1.1 Εισαγωγή	7
1.2 Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα	8
1.2.1 Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες	9
1.2.2 Συγκεντρωτικοί συλλέκτες	11
1.2.3 Μέθοδοι υπολογισμού ηλιακού θερμικού συστήματος	12
1.3 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα	12
1.3.1 Συστήματα άμεσου κέρδους	14
1.3.2 Συστήματα έμμεσου κέρδους	15
1.3.2.1 Τοίχος Trombe με υλικά αλλαγής φάσης	17
1.3.2.2 Τοίχος Trombe με φωτοβολταϊκά πλαίσια	17
1.3.2.3 Τοίχος με διαφανές μονωτικό υλικό και υλικά αλλαγής φάσης για ηλιακή θέρμανση χώρου και φυσικό φωτισμό	18
1.3.3 Συστήματα απομονωμένου κέρδους	18
1.4 Υβριδικά Συστήματα	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ - (PCM)	21
2.1 Εισαγωγή	21
2.2 Εφαρμογές ΥΑΦ	21
2.2.1 Διάφορες εφαρμογές	21
2.2.2 Κτιριακός τομέας	22
2.2.2.1 Βοτανικός κήπος Βερολίνου-Τροπικό θερμοκήπιο	22
2.3 Οργανικά	23
2.3.1 Λιπαρά οξέα	24
2.3.2 Αλκάνια-κορεσμένοι υδρογονάνθρακες(παραφίνες)	24
2.3.3 Αλκοόλες-γλυκόλες	24
2.4 Ανόργανα	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ	27
3.1 Μέθοδος Ενθαλπίας	27
3.2 Μέθοδος Ενεργού Θερμοχωρητικότητας	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΜΕΤΡΗΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ PCM	28
4.1 Εισαγωγή	28
4.2 TGA	29

4.3	DTA	29
4.4	DSC	30
4.4.1	HP DSC	30
4.5	T History	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΥΑΦ		34
5.1	Microencapsulation	34
5.1.1	Εφαρμογές με μικροκάψουλες σε κτίρια	35
5.2	Macroencapsulation	36
5.3	Nanoencapsulation	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΤΟ ΙΔΑΝΙΚΟ PCM		38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΑΦ ΚΑΙ SOLID-SOLID ΥΑΦ		40
7.1	Solid-solid ΥΑΦ	40
7.2	Σύνθετα ΥΑΦ	42
7.2.1	Δομή	42
7.2.2	Λειτουργία σύνθετων ΥΑΦ	42
7.2.3	Εφαρμογές με σύνθετα ΥΑΦ	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ		44
8.1	Τα πλεονεκτήματα της ενδοδαπέδιας θέρμανσης	44
8.2	Τοποθέτηση-εγκατάσταση ενδοδαπέδιας θέρμανσης	44
8.3	Μελέτες ενδοδαπέδιας θέρμανσης σε συνδυασμό με ΥΑΦ	45
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (ΜΕΡΟΣ Α)		47
Β ΜΕΡΟΣ-ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ		50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 : ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ		50
9.1	Εισαγωγή-Αρχικοί υπολογισμοί	50
9.2	ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη	55
9.3	Αριθμητικό μοντέλο	59
9.4	Αρχικός υπολογισμός συλλεκτικής επιφάνειας	61
9.5	Υπολογισμός θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος	61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 : ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΥΑΦ	64
10.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 : ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΣΥΛΛΕΚΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	78
11.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12 : ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΑΡΟΧΗ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟΥΣ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ	89
12.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	94
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	95
Παράρτημα 1.	96
Παράρτημα 2.	98
Παράρτημα 3.	103
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (ΜΕΡΟΣ Β)	104

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται ένα ενεργητικό σύστημα ηλιακής θέρμανσης σε συνδυασμό με ενδοδαπέδια θέρμανση και υλικά αλλαγής φάσης. Στο πρώτο μέρος παρουσιάζονται από θεωρητική σκοπιά τα υλικά αλλαγής φάσης καθώς και διάφορα πειράματα που έχουν γίνει μέχρι τώρα. Πρόκειται για υλικά πολλά υποσχόμενα, τα οποία βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο. Επίσης παρουσιάζονται αναλυτικά τα ενεργητικά και τα παθητικά ηλιακά συστήματα καθώς και πειράματα που έχουν γίνει κατά καιρούς σε συνδυασμό με διάφορα υλικά αλλαγής φάσης.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας, θα εξεταστεί ένα κτίριο, με ηλιακούς συλλέκτες, ενδοδαπέδια θέρμανση και υλικά αλλαγής φάσης στην περιοχή της Αθήνας. Μέσα από τον συνδυασμό διαφορετικών υλικών αλλαγής φάσης, διαφορετικών και διάφορων άλλων παραμέτρων θα παρουσιαστεί η βέλτιστη λύση για ένα κτίριο στην περιοχή της Αθήνας. Το κτίριο έχει διαστάσεις 10x10x2,8 μ.. Η συνολική συλλεκτική επιφάνεια ήταν μία παράμετρος η οποία επίσης εξετάστηκε.

Στο τέλος της εργασίας παρουσιάζεται ο κώδικας σε Matlab, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

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

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Κίμωνα Αντωνόπουλο για την πολύτιμη βοήθειά του και υποστήριξη σε όλα τα στάδια συγγραφής της εργασίας.

Α ΜΕΡΟΣ-ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Αποθήκευση θερμικής ενέργειας (Thermal Energy Storage-TES)

1.1 Εισαγωγή

Ένα μείζον πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπίσει η κοινωνία στις μέρες μας είναι η μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και κατ'επέκταση η ελαχιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Η τεχνολογία λοιπόν προσανατολίζεται στην απαγκίστρωσή μας από τη χρήση του πετρελαίου και στην εύρεση νέων πηγών ενέργειας καθώς και τρόπων μείωσης των ενεργειακών μας αναγκών.

Η αύξηση των επιπέδων του διοξειδίου του άνθρακα έχει πλέον κάνει αισθητή την παρουσία της και είναι πλέον επιβεβλημένη η λύση του συγκεκριμένου προβλήματος. Η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ είναι αποτέλεσμα της συνεχώς αυξανόμενης ενεργειακής κατανάλωσης[1].

Στη συνάντηση του Κγγοτο το 1998 για την κλιματική αλλαγή έγιναν για πρώτη φορά συγκεκριμένα τα μέτρα που θα έπρεπε να ληφθούν από τις κυβερνήσεις για την μείωση των εκπομπών του CO₂ [2].

Ο στόχος πλέον των Ευρωπαϊκών χωρών με την ευρωπαϊκή οδηγία του 2010 είναι μέχρι το 2020 η κατασκευή όλων των νέων κτιρίων με “σχεδόν μηδενική ενεργειακή κατανάλωση”. Ως κτίριο μηδενικής κατανάλωσης ορίζεται ένα κτίριο του οποίου το ετήσιο ισοζύγιο ενέργειας είναι μηδενικό ή θετικό, δηλαδή δεν καταναλώνει περισσότερη ενέργεια από αυτή που παράγει[3].

Ο τομέας ο οποίος καταναλώνει περίπου το ένα τρίτο της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης παγκοσμίως αλλά ο οποίος ταυτόχρονα επιδέχεται μεγάλες βελτιώσεις, είναι ο κτιριακός τομέας. Στην Ελλάδα τα κτίρια αντιπροσωπεύουν το 36% της συνολικής ζήτησης ενέργειας και πρόκειται για ένα ποσοστό το οποίο έχει αυξητικές τάσεις. Υπολογίζεται ότι είναι εφικτή μία μείωση της τάξεως τουλάχιστον του 30% της σημερινής κατανάλωσης με την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και τον βιοκλιματικό σχεδιασμό των κτιρίων. Στο μέλλον σύμφωνα με την οδηγία της

Ευρωπαϊκής Ένωσης θα πρέπει να επιτύχουμε την σχεδόν “μηδενική” ενεργειακή κατανάλωση στον κτιριακό τομέα. Πρέπει να τονίσουμε πως ο κτιριακός τομέας είναι υπεύθυνος για το 45% περίπου των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Στην Ελλάδα πλέον είναι αναγκαστική η έκδοση του λεγόμενου Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) από τις 09.01.2011 για οποιαδήποτε αγοραπωλησία/ενοικίαση υφιστάμενων κατοικιών αλλά και μετά την κατασκευή νέου ή ανακαίνιση υφιστάμενου κτιρίου. Το συγκεκριμένο πιστοποιητικό έχει ισχύ δέκα χρόνων και σκοπό έχει την εξαγωγή συγκρίσιμων πληροφοριών για την πραγματική ενεργειακή χρήση των κτιρίων σε Ευρωπαϊκό πλαίσιο[3].

Ακόμη έχει θεσπιστεί ο τακτικός έλεγχος των λεβήτων και κλιματιστικών από κάποιο ελάχιστο μέγεθος και πάνω ώστε να καθορίζεται η ενεργειακή τους απόδοση αλλά και τα επίπεδα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου[3].

Εδώ στην Ελλάδα, μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που έχουμε σε αφθονία και θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε είναι ο ήλιος. Είναι πολύ σημαντικό να κατανοήσουμε τα οφέλη που θα έχει για όλους μας η στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Για την εκμετάλλευση λοιπόν της ηλιακής ενέργειας θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τα λεγόμενα ενεργητικά αλλά και παθητικά ηλιακά συστήματα τα οποία περιγράφονται λεπτομερώς στις επόμενες ενότητες.

1.2 Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα

Ενεργητικά είναι τα συστήματα που χρησιμοποιούν μηχανικά μέσα για την συλλογή, μεταφορά και αποθήκευση ηλιακής ενέργειας. Τέτοια συστήματα είναι για παράδειγμα οι ηλιακοί συλλέκτες και τα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Τα ενεργητικά συστήματα σε συνδυασμό με τα παθητικά μπορούν να έχουν σαν αποτέλεσμα ένα σπίτι με ελάχιστη ενεργειακή κατανάλωση ετησίως. Αυτός είναι και ο στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τον κτιριακό τομέα έως το 2020. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει εκδώσει οδηγία σύμφωνα με την οποία κάθε καινούριο δημόσιο κτίριο θα πρέπει να έχει σχεδόν ‘μηδενική’ ενεργειακή κατανάλωση[3].

Το πιο σύνηθες χρησιμοποιούμενο ενεργητικό σύστημα είναι οι ηλιακοί συλλέκτες, η λειτουργία των οποίων θα περιγραφεί παρακάτω. Οι συλλέκτες συνδυάζονται κατά το πλείστον και με ένα δοχείο αποθήκευσης του ζεστού νερού που παράγεται στους συλλέκτες και από εκεί οδηγείται όπου αυτό είναι απαραίτητο μέσα στο σπίτι.

Στις μέρες μας έχει αρχίσει να γίνεται όλο και πιο διαδεδομένη η χρήση ενεργητικών ηλιακών συστημάτων σε συνδυασμό με τα συστήματα θέρμανσης. Ειδικά στην Ελλάδα, λόγω κλίματος, ευνοούνται τέτοιου είδους συστήματα. Βέβαια κάτι τέτοιο θα πρέπει να συνδυαστεί απαραίτητως με ένα κτίριο χαμηλών ενεργειακών απαιτήσεων και τα συγκεκριμένα συστήματα απαιτούν σωστό σχεδιασμό ώστε να επιτύχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Ο ήλιος είναι μία ανεξάντλητη πηγή ενέργειας την οποία μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για την παραγωγή ενέργειας και θερμότητας. Πρόκειται για ανανεώσιμη πηγή ενέργειας την οποία, ειδικά στην Ελλάδα, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε σε όλο της το φάσμα. Κατά προσέγγιση στην Ελλάδα η ετήσια ηλιακή ακτινοβολία είναι 1400 kwh/m^2 .

Οι ηλιακοί συλλέκτες είναι εναλλάκτες θερμότητας οι οποίοι μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα.

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 (γωνία αζιμούθιου ίση με το 0 ($\gamma=0^\circ$), για το βόρειο ημισφαίριο), και βόρειο προσανατολισμό ($\gamma=180^\circ$, για το νότιο ημισφαίριο) και κλίση τέτοια ώστε να μεγιστοποιηθεί το ποσό της ακτινοβολίας που συλλέγεται ετησίως. Η κλίση του συλλέκτη για μέγιστη ετήσια ενέργεια πρέπει να είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής στην οποία τοποθετείται. Σε περίπτωση που θέλουμε μεγιστοποίηση της ενέργειας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η κλίση του συλλέκτη θα είναι 15° μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος, ενώ για μέγιστη ενέργεια το χειμώνα απαιτείται κλίση συλλέκτη 15° μεγαλύτερη[4].

Οι συλλέκτες χωρίζονται ανάλογα με το αν είναι επίπεδοι ή συλλεκτικοί. Οι δύο μεγάλες αυτές κατηγορίες συλλεκτών αναλύονται παρακάτω.

1.2.1 Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες

Ένας επίπεδος ηλιακός συλλέκτης χρησιμοποιείται κυρίως για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Οι πιο κοινώς χρησιμοποιούμενοι συλλέκτες είναι οι συλλέκτες θέρμανσης νερού, αλλά υπάρχουν αντίστοιχα και οι θέρμανσης αέρος. Υπάρχουν διάφοροι τύποι θερμαντήρων αέρος ανάλογα με τον αν έρχεται ο αέρας σε επαφή με το κάλυμμα ή όχι, ή αν διέρχεται μέσα από κατάλληλο πλέγμα ή υάλινες πλάκες. Ένα άλλο είδος επίπεδων συλλεκτών

είναι οι επιλεκτικοί συλλέκτες , που διαφέρουν στο υλικό του απορροφητήρα όπως περιγράφεται παρακάτω και χρησιμοποιούνται για ηλιακή θέρμανση [4]. Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες αποτελούνται από τα εξής μέρη :

- Πλάκα απορρόφησης (ή απορροφητήρας). Πρόκειται για τη μαύρη επιφάνεια η οποία απορροφά την ακτινοβολία του ήλιου και η επιλογή του χρώματος είναι λόγω της μεγάλης απορροφητικότητας της ηλιακής ακτινοβολίας που εμφανίζει το μαύρο χρώμα. Η απορροφητικότητα της πλάκας απορρόφησης φτάνει υψηλά επίπεδα (90%) στα μικρά μήκη κύματος της ακτινοβολίας ενώ έχει ελάχιστη ανάκλαση στα μεγάλα μήκη κύματος. Αυτό σημαίνει ότι η επιφάνεια αυτή απορροφά όσο το δυνατόν περισσότερο την ηλιακή ακτινοβολία χωρίς να την ανακλά. Επίσης ο απορροφητήρας έχει ενσωματωμένο το δίκτυο νερού ή τους αεραγωγούς αν πρόκειται για θερμαντήρα αέρος. Οι σωληνώσεις κυκλοφορίας του νερού είναι από χαλκό, ενώ η πλάκα απορρόφησης είναι ή αλουμίνιο μαύρου χρώματος ή φύλλο χαλκού. Αν το υλικό της απορροφητικής επιφάνειας είναι υψηλής απορροφητικότητας τότε ο συλλέκτης ονομάζεται επιλεκτικός[4],[5].
- Διαφανή καλύμματα πάνω από τον απορροφητήρα. Ένα ή περισσότερα διαφανή καλύμματα από γυαλί(υαλοπίνακας ασφαλείας) ή και πλαστικό τοποθετούνται πάνω από τον απορροφητήρα ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον. Το κάλυμμα εμποδίζει τον αέρα να απομακρύνει τη θερμότητα και επίσης προστατεύει την απορροφητική επιφάνεια από συσσώρευση σκόνης και σκουπιδιών. Βέβαια υπάρχουν και συλλέκτες χωρίς κάλυμμα πάνω από την απορροφητική επιφάνεια. Αυτοί οι συλλέκτες χρησιμεύουν σε περιπτώσεις όπου η επιθυμητή θερμοκρασία του νερού είναι χαμηλή, δηλαδή γύρω στους 18 με 25° C. Τέτοιες εφαρμογές είναι συνήθως τα κολυμβητήρια όπου δεν χρειαζόμαστε πολύ υψηλές θερμοκρασίες νερού. Εδώ η συνολική συλλεκτική επιφάνεια είναι περίπου ίση με την επιφάνεια της πισίνας. Η κυκλοφορία του νερού γίνεται μέσα στους συλλέκτες και διοχετεύεται απευθείας στην πισίνα και έτσι δεν χρειάζεται επιπλέον εξοπλισμός[4],[5].
- Θερμομόνωση στην πίσω πλευρά και τις παράπλευρες επιφάνειες για μείωση των θερμικών απωλειών. Το υλικό της μόνωσης είναι συνήθως fiberglass ή αφρός πολυουραιθάνης ή ορυκτοβάμβακα, ή πετροβάμβακα[5].

Εκτός από τους κλασικούς επίπεδους συλλέκτες, υπάρχουν και οι συλλέκτες κενού. Οι συλλέκτες κενού αποτελούνται από αρκετούς γυάλινους σωλήνες, σειριακά συνδεδεμένους, οι οποίοι στο σύνολό τους μας κάνουν έναν

συλλέκτη. Μέσα σε αυτούς τους σωλήνες υπάρχει ένα ειδικό ρευστό , ένα ανόργανο και μη τοξικό πτητικό αέριο, το οποίο εξατμίζεται και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Επίσης υπάρχει ένας δεύτερος εσωτερικός σωλήνας, με επιλεκτική εξωτερική επιφάνεια, μεταξύ του οποίου και του εξωτερικού υπάρχει κενό αέρος. Ο εσωτερικός σωλήνας περιλαμβάνει επίσης έναν σωλήνα στον οποίο γίνεται η μετακίνηση του αερίου, δηλαδή ο σωλήνας τροφοδοσίας. Το αέριο θερμαίνεται και μετατρέπεται σε υπέρθερμο ατμό και ανεβαίνει στην πάνω πλευρά του σωλήνα που είναι τοποθετημένος μέσα σε έναν εναλλάκτη θερμότητας όπου θερμαίνεται το νερό χρήσης ή ο αέρας ανάλογα τη χρήση. Εκεί το αέριο συμπυκνώνεται και επιστρέφει στο κάτω μέρος του σωλήνα για να επαναληφθεί η διαδικασία. Στους συλλέκτες κενού αναπτύσσονται πολύ υψηλές θερμοκρασίες γι αυτό και δεν συνιστανται για οικιακή χρήση[5].

1.2.2 Συγκεντρωτικοί συλλέκτες

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες επιτυγχάνουν αρκετά υψηλότερες θερμοκρασίες από αυτές των επίπεδων συλλεκτών. Αυτό γίνεται λόγω της συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας σε μια μικρή επιφάνεια απορρόφησης. Στους συγκεντρωτικούς συλλέκτες χρησιμοποιούνται ανακλαστικές ή διαθλαστικές συσκευές για την επίτευξη των υψηλών θερμοκρασιών. Απαιτείται συνήθως μηχανισμός κίνησης και προσανατολισμού διότι θέλουμε η συλλεκτική επιφάνεια να “παρακολουθεί” τον ήλιο. Αυτό γίνεται ή με συστήματα μονού άξονα ή συστήματα διπλού άξονα. Ο μηχανισμός αυτός ρυθμίζεται ανάλογα με το αν θέλουμε συνεχή παρακολούθηση ή κατά διαστήματα παρακολούθηση[4].

Τα κύρια τμήματα ενός συγκεντρωτικού συλλέκτη είναι τα εξής :

- Ο δέκτης
- Ο συγκεντρωτής
- Τα καλύμματα
- Η μόνωση

Ο δέκτης περιλαμβάνει την απορροφητική επιφάνεια αλλά και το σύστημα μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε άλλη μορφή ενέργειας.

Ο τύπος του συγκεντρωτή είναι και αυτό που διαχωρίζει τους συγκεντρωτικούς συλλέκτες στα διάφορα είδη τα οποία περιγράφονται ως εξής :

- Συλλέκτες με συγκεντρωτές χωρίς είδωλο. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι σύνθετοι παραβολικοί συγκεντρωτές (CPC). Ο

συγκεντρωτής έχει επιμήκη μορφή και επιτυγχάνει μικρό λόγο συγκέντρωσης.

- Συλλέκτες με επιμήκεις παραβολικούς συγκεντρωτές με είδωλο. Ο δέκτης του συλλέκτη είναι επίπεδος ή κυλινδρικός. Οι συλλέκτες με αυτούς τους συγκεντρωτές αξιοποιούν μόνο την άμεση ηλιακή ακτινοβολία και επιτυγχάνουν μεσαίες τιμές λόγου συγκέντρωσης.
- Συλλέκτες με παραβολοειδείς συγκεντρωτές. Πρόκειται για συγκεντρωτές με είδωλο. Μπορούν να επιτύχουν υψηλές τιμές λόγου συγκέντρωσης. Ο δέκτης είναι σφαιρικός, επίπεδος ή κοίλος.
- Συλλέκτες με συγκεντρωτή μη συνεχή, δηλαδή με πολλά κάτοπτρα. Αυτά τα κάτοπτρα ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία σε έναν κεντρικό δέκτη που βρίσκεται σε έναν πύργο. Στο συγκεκριμένο σύστημα απαιτείται μεγάλη έκταση εδάφους[4].

1.2.3 Μέθοδοι υπολογισμού ηλιακού θερμικού συστήματος

Η επιλογή του συλλέκτη γίνεται βάσει των αναγκών του κάθε κτιρίου σε ζεστό νερό χρήσης ή θέρμανση. Η συλλεκτική επιφάνεια που θα επιλεγεί, βάσει όσων έχουν προηγουμένως αναλυθεί, εξαρτάται από το αν προορίζεται για οικιακή ή βιομηχανική χρήση. Για οικιακή χρήση προτιμούνται απλοί επίπεδοι συλλέκτες λόγω απλότητας συνεπώς και χαμηλού κόστους. Για βιομηχανική χρήση επιλέγονται συλλέκτες κενού ή συγκεντρωτικοί. Οι συλλέκτες κενού προτιμούνται όταν πρόκειται για εγκατάσταση σε περιοχές με ήπιο ή ψυχρό κλίμα και αυτό διότι σε πιο θερμά κλίματα αναπτύσσονται πολύ υψηλές θερμοκρασίες κατά τους καλοκαιρινούς μήνες[5].

Η συνολική συλλεκτική επιφάνεια καθορίζεται από τις συνολικές ανάγκες του εκάστοτε κτιρίου. Χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι και από τις πιο γνωστές είναι η μέθοδος των καμπυλών f με την οποία υπολογίζονται τα μηνιαία και ετήσια ποσοστά ηλιακής κάλυψης. Για τους υπολογισμούς είναι αναγκαίο να έχουμε τα στοιχεία του συλλέκτη, την χωρητικότητα της δεξαμενής αποθήκευσης του ζεστού νερού χρήσης, τα χαρακτηριστικά των εναλλακτών θερμότητας αλλά και τις παροχές σε πρωτεύον και δευτερεύον κύκλωμα του εναλλάκτη[4].

1.3 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα

Τα παθητικά συστήματα στηρίζονται στην αξιοποίηση των περιβαλλοντικών πηγών ενέργειας για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό χωρίς μηχανικά μέσα και αφορούν κυρίως την αρχιτεκτονική του κτιρίου και τα υλικά κατασκευής του ώστε να έχουμε όσο το δυνατόν μειωμένες απώλειες. Ο βιοκλιματικός

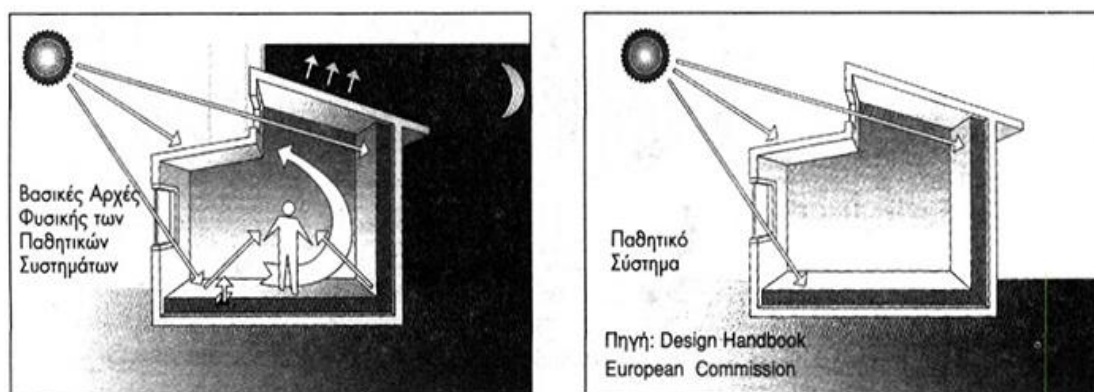
σχεδιασμός των κτιρίων είναι πλέον βασικό κριτήριο σχεδιασμού λόγω της απαίτησης μειωμένων ενεργειακών αναγκών[6].

Τέτοια συστήματα είναι τα δομικά στοιχεία ενός κτιρίου που βοηθούν την καλύτερη, άμεση ή έμμεση, εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση ή το δροσισμό του κτιρίου. Πρόκειται για τη θερμική μάζα του κτιρίου, δηλαδή το κέλυφος(τοίχοι, στέγη, πάτωμα) η οποία απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία και την αποδίδει στο χώρο. Η λειτουργία των παθητικών συστημάτων θέρμανσης στηρίζεται 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, ακτίνων 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[6].

Με τη μείωση των απωλειών πετυχαίνουμε τη μείωση των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου που είναι και ο κεντρικός μας στόχος. Οι κατηγορίες στις οποίες διαχωρίζονται τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης είναι οι εξής :

- Συστήματα άμεσου κέρδους
- Συστήματα έμμεσου κέρδους
- Συστήματα απομονωμένου κέρδους

Παρακάτω γίνεται ανάλυση των τριών αυτών συστημάτων και παρουσιάζονται πειράματα που έχουν γίνει με τα συγκεκριμένα συστήματα και με υλικά αλλαγής φάσης.



1-1 Βασικές αρχές παθητικών συστημάτων

1.3.1 Συστήματα άμεσου κέρδους

Από τα συστήματα άμεσου κέρδους η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται απευθείας μέσα στο χώρο, απορροφάται από τη θερμική μάζα του κτιρίου και αποδίδεται στο χώρο. Στα συστήματα άμεσου κέρδους ανήκουν οι υαλοπίνακες, οι οποίοι θα πρέπει να έχουν το σωστό προσανατολισμό ώστε να προσφέρουν χειμώνα και καλοκαίρι θερμική άνεση. Ο σωστός προσανατολισμός εξαρτάται αρχικά από το ημισφαίριο στο οποίο βρίσκεται το κτίριο. Εάν βρισκόμαστε στο βόρειο ημισφαίριο οι υαλοπίνακες πρέπει να έχουν νότιο προσανατολισμό ενώ στη βόρεια πλευρά του κτιρίου πρέπει να υπάρχουν λιγοστά ανοίγματα για προστασία από ψυχρά ρεύματα αέρα. Εάν μιλάμε για το Νότιο ημισφαίριο τότε τα δεδομένα αλλάζουν και οι υαλοπίνακες πρέπει να έχουν βόρειο προσανατολισμό. Επίσης ο αριθμός των υαλοπινάκων άρα και τα συνολικά τετραγωνικά κάλυψης από υαλοπίνακες καθώς και το είδος των υαλοπινάκων (μονοί – διπλοί ακόμα και τριπλοί υαλοπίνακες) είναι παράμετροι οι οποίοι μπορούν να ενισχύσουν το κτίριο και να ελαχιστοποιήσουν τις ενεργειακές ανάγκες θέρμανσης ενός κτιρίου κατά τη διάρκεια του χειμώνα[4],[6].

Πλέον στην αγορά υπάρχουν πάρα πολλά είδη υαλοπινάκων από τα οποία μπορούμε να διαλέξουμε και καλύπτουν οποιαδήποτε ανάγκη. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας U-value ή K-value ($W/m^2 K$) είναι αυτός που χαρακτηρίζει έναν υαλοπίνακα. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας εκφράζει το ρυθμό απωλειών της θερμότητας ανά τετραγωνικό μέτρο επιφανείας σε μόνιμες συνθήκες για θερμοκρασιακή διαφορά εσωτερικού-εξωτερικού χώρου ενός βαθμού της κλίμακας Kelvin ή Κελσίου. Οι νέοι βελτιωμένοι ενεργειακοί υαλοπίνακες αγγίζουν πολύ μικρές τιμές θερμοπερατότητας (~ 1,5) και προσφέρουν εξοικονόμηση ενέργειας και θερμική άνεση χειμώνα καλοκαίρι[7]-[8].

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει σε έναν υαλοπίνακα , ένα ποσοστό της διαπερνά τον υαλοπίνακα , ένα ποσοστό ανακλάται και ένα άλλο ποσοστό απορροφάται από τον υαλοπίνακα. Το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που διέρχεται μέσα από έναν υαλοπίνακα εξαρτάται από τα οπτικά χαρακτηριστικά του, το πάχος και τα στρώματα του γυαλιού[4].

Το συνολικό θερμικό κέρδος στιγμιαία, είναι το σύνολο της ροής της θερμότητας λόγω διαφοράς εσωτερικής-εξωτερικής θερμοκρασίας, της ακτινοβολίας που διέρχεται από τον υαλοπίνακα και της ροής της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας προς τον εσωτερικό χώρο[4].

Οι νέοι υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής (LOW E) αποτελούνται από δύο υαλοπετάσματα μεταξύ των οποίων υπάρχει είτε κενό αέρος είτε ένα ευγενές αέριο. Το εσωτερικό υαλοπέτασμα είναι ένας συμβατικός μονός υαλοπίνακας

ενώ η εσωτερική πλευρά του εξωτερικού έχει επίστρωση από μεταλλικά στοιχεία η οποία αυξάνει την ανάκλαση της υπέρυθρης ακτινοβολίας[7]-[8].

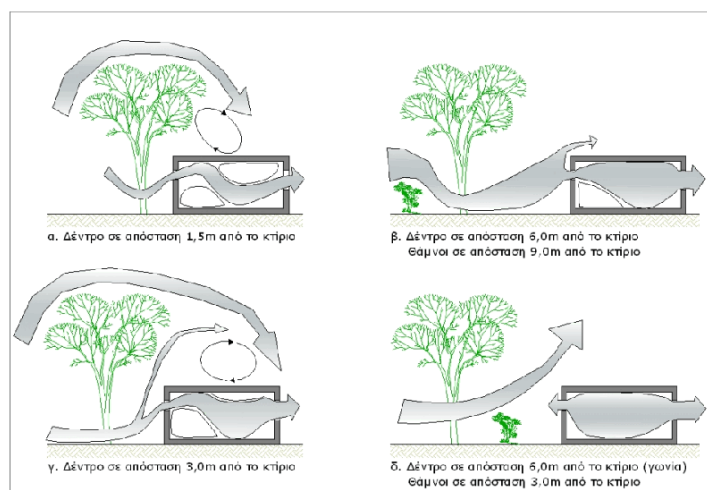
1.3.2 Συστήματα έμμεσου κέρδους

Τα συστήματα έμμεσου κέρδους αποτελούνται από τους διάφορους τύπους τοίχων θερμικής αποθήκευσης οι οποίοι αποθηκεύουν θερμότητα και την αποδίδουν στον εσωτερικό χώρο με χρονική υστέρηση.

Στα παθητικά συστήματα έμμεσου κέρδους , ανήκουν και οι πράσινες προσόψεις και οι ταράτσες. Οι πράσινες προσόψεις δημιουργούν ένα είδος μικροκλίματος γύρω από το σπίτι και μελέτες έχουν δείξει πως το καλοκαίρι υπάρχει θερμοκρασιακή διαφορά τριών με τεσσάρων βαθμών μεταξύ ενός σπιτιού με πράσινη πρόσοψη και ενός χωρίς πράσινη πρόσοψη[9]. Οι πράσινες προσόψεις προσφέρουν τα εξής :

- Σκίαση
- Μόνωση μεταξύ πράσινου τοίχου και σπιτιού
- Ψύξη
- Προστασία από ανέμους

Εκτός από τις προσόψεις και τις ταράτσες, έχουν γίνει έρευνες και για την συνεισφορά των σκιάσεων των δέντρων που μπορεί να υπάρχουν στο περίγυρο ενός σπιτιού και κατά πόσο αυτό μπορεί να μειώσει την ενεργειακή κατανάλωση. Οι έρευνες έδειξαν πως η ύπαρξη δέντρων και κατά συνέπεια οι σκιάσεις που δημιουργούν μπορούν να μειώσουν την ενεργειακή κατανάλωση κατά μέσο όρο 4KW h/d [9].

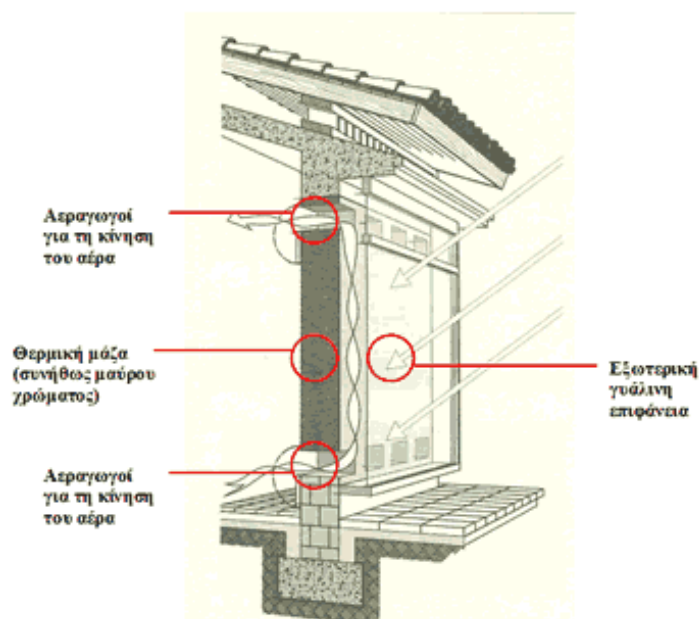


1-2 Ροή του αέρα ανάμεσα σε δέντρο-κτίριο

Όσον αφορά στους τοίχους, ξεχωρίζουν δύο κατηγορίες τοίχων, οι απλοί τοίχοι μάζας και οι τοίχοι τύπου Trombe.

Οι απλοί τοίχοι μάζας είναι μη θερμοσιφωνικοί, συμπαγείς ή αποτελούμενοι από υλικά αλλαγής φάσης των οποίων η λειτουργία θα περιγραφεί παρακάτω. Ο τοίχος τύπου Trombe είναι ένας τύπος τοίχου συλλογής θερμότητας ο οποίος αιχμαλωτίζει την ηλιακή θερμότητα και την αποδίδει στο εσωτερικό του κτιρίου. Ένας τοίχος Trombe έχει νότιο προσανατολισμό, μαύρο χρώμα και έναν υαλοπίνακα στην εξωτερική πλευρά μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται αέρας όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Στο κάτω και στο πάνω μέρος του τοίχου υπάρχουν οπές αερισμού ώστε να επιτυγχάνεται η ροή του αέρα. Την αρχική ιδέα την είχε ο Edward S. Morse το 1881 ενώ ο Γάλλος μηχανικός Felix Trombe ήταν αυτός ο οποίος ανέπτυξε την ιδέα και συμπεριέλαβε τον τοίχο Trombe στα αρχιτεκτονικά στοιχεία ενός κτιρίου. Για αντιαισθητικούς κυρίως λόγους βέβαια δεν έχει διαδοθεί ο συγκεκριμένος τύπος τοίχου. Ένα μειονέκτημα που έχει αυτός ο τοίχος είναι κατά την καλοκαιρινή περίοδο κάποια φαινόμενα υπερθέρμανσης που μπορεί να παρουσιαστούν, δηλαδή ανεπιθύμητα θερμικά κέρδη. Μελέτες που έχουν γίνει για την αποφυγή αυτών των προβλημάτων προσανατολίζονται σε τρεις κατηγορίες: εξαερισμός, σκίαση και μόνωση [10].

Έχουν γίνει επίσης μελέτες, στις οποίες συνδυάζεται ο τοίχος Trombe με υλικά αλλαγής φάσης, με φωτοβολταϊκά πλαίσια. Ακόμη, έχει γίνει μελέτη για τοίχους θερμικής αποθήκευσης με διαφανές μονωτικό υλικό και ημιδιαφανή υλικά αλλαγής φάσης. Σύντομη περιγραφή των μελετών αυτών θα γίνει παρακάτω.



1-3 Τοίχος Trombe

1.3.2.1 Τοίχος Trombe με υλικά αλλαγής φάσης

Μελέτες έχουν γίνει σε τοίχους θερμικής αποθήκευσης με ενσωμάτωση υλικών αλλαγής φάσης. Τα αποτελέσματα είναι πολύ θετικά αλλά χρειάζεται σίγουρα και περαιτέρω έρευνα. Μία από αυτές τις μελέτες εξετάζει τον τοίχο Trombe με ενσωματωμένα υλικά αλλαγής φάσης με παραμετροποίηση ως προς το υλικό αλλαγής φάσης και ως προς την ακριβή του θέση μέσα στον τοίχο. Τέσσερα διαφορετικά υλικά της εταιρίας Rubitherm χρησιμοποιήθηκαν – RT21, RT27, RT31, RT42 – ώστε να καταλήξουμε στο πιο αποδοτικό. Η μελέτη έγινε για πέντε διαφορετικές πόλεις της Αυστραλίας με διαφορετικό κλίμα ώστε να καλύπτεται όλο το φάσμα των περιοχών από ψυχρό και ήπιο έως θερμό και ξηρό κλίμα. Θεωρήθηκε ακόμη ότι το πάτωμα και η οροφή είναι αδιαβατικά καθώς και οι δύο τοίχοι με δυτικό και ανατολικό προσανατολισμό. Το δωμάτιο του πειράματος είναι 25 m². Στη νότια πλευρά έχουμε μονωμένο τοίχο με ένα παράθυρο με διπλά τζάμια. Στη βόρεια πλευρά, η οποία εκτίθεται απευθείας στην ηλιακή ακτινοβολία (βρισκόμαστε στο νότιο ημισφαίριο) έχουμε τοίχο τύπου Trombe και μονό γυαλί πάχους 6 mm τα οποία χωρίζουν 100 mm κενό αέρος. Ο τοίχος έχει οπές εξαερισμού πάνω και κάτω ενώ γρίλιες υπάρχουν για την σκίαση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Το χρονικό βήμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν 120s. Στις περιοχές με κρύα και ήπια κλίματα, αποδεικνύεται πως το RT27 είναι το πιο επωφελές, και το αποτέλεσμα είναι μία μείωση στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας για το εικοσιτετράωρο. Στις περιοχές με ήπια ζέστη και υποτροπικό κλίμα, φαίνεται πως τα οφέλη από την ενσωμάτωση των ΥΑΦ αυξάνονται εκθετικά με την αύξηση της θερμοκρασίας κρυστάλλωσης των ΥΑΦ. Τέλος για την περιοχή με θερμό και ξηρό κλίμα η ενσωμάτωση των ΥΑΦ αντιστοιχεί σε πολύ μεγάλη μείωση των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας της τάξης των 5°C[11].

1.3.2.2 Τοίχος Trombe με φωτοβολταϊκά πλαίσια

Ένας καινούριος τύπος τοίχου Trombe παρουσιάζεται σε αυτή τη μελέτη του Ji Jie et al., με φωτοβολταϊκά. Ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο χάνει την απόδοσή του όταν η θερμοκρασία έχει πολύ υψηλές τιμές. Έτσι με την ενσωμάτωσή του στο πίσω μέρος του υάλινου πάνελ η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού μειώνεται λόγω της ροής του αέρα πίσω από αυτό και άρα η απόδοσή του αυξάνεται. Άρα όχι μόνο παράγει ηλεκτρισμό και θέρμανση χώρου αλλά κάνει και πιο ελκυστικό τον μαύρο συμπαγή τοίχο. Η διαφορά μεταξύ ενός κλασικού τοίχου Trombe και του συγκεκριμένου είναι η αλλαγή του απλού γυαλιού στην εξωτερική πλευρά με ένα φωτοβολταϊκό υάλινο πάνελ με μερικά φωτοβολταϊκά κύτταρα στο πίσω μέρος του, τα οποία είναι πολύ λεπτά και η προσκόλλησή τους στον γυάλινο πάνελ πολύ καλή[12].

1.3.2.3 Τοίχος με διαφανές μονωτικό υλικό και υλικά αλλαγής φάσης για ηλιακή θέρμανση χώρου και φυσικό φωτισμό

Μία μελέτη με χρήση καινοτόμων υλικών όπως διαφανή μονωτικά υλικά και ημιδιαφανή υλικά αλλαγής φάσης έχει γίνει από τον H.Manz et al. Ως υλικό αλλαγής φάσης χρησιμοποιήθηκε ένυδρο άλας($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) και αποθηκεύτηκε σε ειδικά υάλινα δοχεία. Λόγω της διαφάνειας των υλικών πετυχαίνεται και φυσικός φωτισμός. Η διαδικασία τήξης του υλικού αλλαγής φάσης προκαλείται με την απορρόφηση ενός μέρους της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Αυτή η αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια θα χρησιμοποιηθεί για θέρμανση με χρονική υστέρηση. Το διαφανές μονωτικό υλικό βοηθάει στην μείωση των απωλειών από το υλικό αποθήκευσης προς το εξωτερικό περιβάλλον. Το πείραμα διήρκησε από τον Νοέμβριο έως τον Απρίλιο στην Σουηδία. Ο εξωτερικός τοίχος έχει συνολικό πάχος 278mm στον οποίο έχουν τοποθετηθεί και ρολά σκίασης. Σαν αποτέλεσμα του πειράματος φάνηκε η θετική επίδραση των υλικών αλλαγής φάσης. Η παραμετρική μελέτη βέβαια έδειξε ότι μείωση της θερμοκρασίας τήξης του υλικού αλλαγής φάσης θα ήταν επωφελής. Τέλος μέσα από το συγκεκριμένο πείραμα διάρκειας πέντε μηνών φάνηκε πως η σταθερότητα του $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ δεν ισχύει μόνο για πολύ μικρές ποσότητες αλλά και για μερικά κιλά που χρησιμοποιήθηκαν στο συγκεκριμένο πείραμα. Δεν παρατηρήθηκε δηλαδή κανένας διαχωρισμός του υλικού[13].

1.3.3 Συστήματα απομονωμένου κέρδους

Τα συστήματα απομονωμένου κέρδους είναι αυτά που περιλαμβάνουν έναν επιπλέον χώρο εκτός κτιρίου και γύρω από αυτό για να αποθηκεύσουν την ηλιακή ενέργεια. Τέτοια συστήματα είναι :

- Ηλιακός χώρος. Πρόκειται για έναν κλειστό χώρο ο οποίος λειτουργεί σαν θερμοκήπιο. Το χειμώνα η ηλιακή ακτινοβολία εγκλωβίζεται στον χώρο αυτό και αποδίδεται στο εσωτερικό του κτιρίου, προσφέροντας έως και 30% εξοικονόμηση στα έξοδα θέρμανσης. Οι υαλοπίνακες θα πρέπει να είναι διπλοί για καλύτερα αποτελέσματα και φυσικά ο ηλιακός χώρος θα πρέπει να έχει νότιο προσανατολισμό. Ακόμη χρειάζονται και ανοίγματα ή θυρίδες προς το εσωτερικό του κτιρίου για την καλύτερη μεταφορά θερμότητας. Βέβαια για μία χώρα όπως η Ελλάδα, τους καλοκαιρινούς μήνες χρειάζεται απαραίτητως ένα σύστημα σκίασης ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα υπερθέρμανσης[6].
- Ηλιακό αίθριο. Το ηλιακό αίθριο συμβάλλει στον φυσικό φωτισμό του κτιρίου αλλά φυσικά λειτουργεί και ως χώρος αποθήκευσης

θερμότητας. Πρόκειται για χώρους καλυμμένους με υαλοπίνακες οι οποίοι επιτρέπουν στην ηλιακή ακτινοβολία να περνάει μέσα στο κτίριο και αποθηκεύεται στα δομικά υλικά του κτιρίου. Ακόμη τα ηλιακά αίθρια βοηθούν ώστε να επιτευχθεί οπτική άνεση στους χώρους του κτιρίου με φυσικό τρόπο. Φυσικά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες είναι απαραίτητη η ύπαρξη διόδων αερισμού[6].

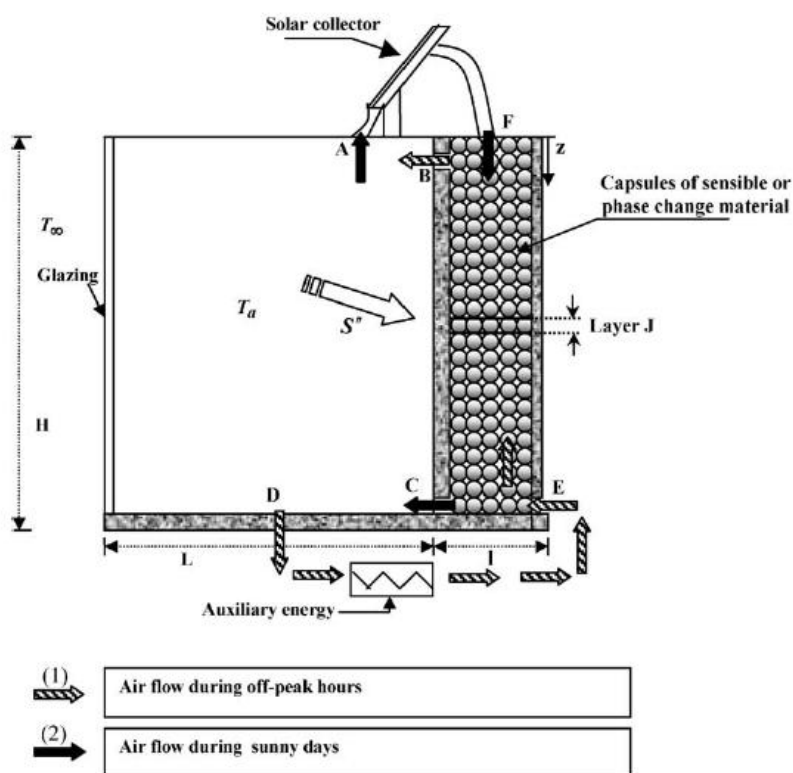
1.4 Υβριδικά Συστήματα

Σύμφωνα με τον Νόμο 3468-2006 ορίζεται ως υβριδικός σταθμός κάθε σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που:

- Χρησιμοποιεί μία, τουλάχιστον, μορφή Α.Π.Ε..
- Η συνολική ενέργεια που απορροφά από το Δίκτυο, σε ετήσια βάση, δεν υπερβαίνει το 30% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται για την πλήρωση του συστήματος αποθήκευσης του σταθμού αυτού. Ως ενέργεια που απορροφά ο Υβριδικός Σταθμός από το Δίκτυο, κατά το προηγούμενο εδάφιο, ορίζεται η διαφορά μεταξύ της ενέργειας που μετράται κατά την είσοδό της στο σταθμό και της ενέργειας που αποδίδεται απευθείας στο Δίκτυο από τις μονάδες Α.Π.Ε. του Υβριδικού Σταθμού. Η διαφορά αυτή υπολογίζεται, για τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά, σε ωριαία βάση. Αν για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας εφαρμόζεται τεχνολογία διαφορετική από αυτή των φωτοβολταϊκών, μπορεί να χρησιμοποιείται και συμβατική ενέργεια που δεν απορροφάται στο Δίκτυο, εφόσον η χρήση της ενέργειας αυτής κρίνεται αναγκαία για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Η χρησιμοποιούμενη συμβατική ενέργεια δεν μπορεί να υπερβαίνει το 10% της συνολικής ενέργειας που παράγεται, σε ετήσια βάση, από τις μονάδες αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας. Εφόσον τα παθητικά συστήματα υποβοηθούνται από μηχανικά μέσα τότε μιλάμε για υβριδικά συστήματα.
- Η μέγιστη ισχύς παραγωγής των μονάδων του σταθμού Α.Π.Ε. δεν μπορεί να υπερβαίνει την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων αποθήκευσης του σταθμού αυτού, προσαυξημένη κατά ποσοστό μέχρι 20%.

Με μία απλή προσέγγιση δηλαδή Υβριδικό σύστημα μπορεί να θεωρηθεί ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης, όπως είναι ο λέβητας πετρελαίου σε συνδυασμό με τη χρήση μίας τουλάχιστον μορφής Α.Π.Ε., όπως είναι η γεωθερμία, η ηλιακή και η αιολική ενέργεια.

Ένα παράδειγμα υβριδικού συστήματος παρουσιάζουν οι Zouhair A.H και Marcel L. το 2005 , με συνδυασμό ηλιακών συλλεκτών και υλικών αλλαγής φάσης, λεπτομέρειες για τα οποία θα παρουσιάσω στο επόμενο κεφάλαιο. Το σύστημα θέρμανσης που προτείνεται λοιπόν συνδυάζει την αποθήκευση ηλιακής ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας καθώς και την αποθήκευση θερμικής ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια που το ρεύμα έχει χαμηλές τιμές(βραδινές ώρες). Έτσι όταν το κτίριο έχει ανάγκη από θέρμανση, την αντλεί από την αποθηκευμένη ενέργεια. Το υβριδικό αυτό σύστημα φαίνεται λεπτομερώς στο παρακάτω σχήμα, όπου μπορούμε να δούμε ότι στον τοίχο περιέχονται ΥΑΦ. Ανοίγματα επίσης στο κάτω και στο πάνω μέρος του κτιρίου επιτρέπουν την κυκλοφορία του αέρα. Μέσα από το πείραμα φάνηκε πως όσο μειώνεται το πάχος του τοίχου που περιέχει ΥΑΦ τόσο περισσότερη ενέργεια αποθηκεύεται ως λανθάνουσα στο ΥΑΦ που έχει επιλεγεί. Έτσι καταλήγουν στην επιλογή πάχους τοίχου 0,15m. και το επιλεγμένο ΥΑΦ είναι η-δεκαοκτάνιο. Τα αποτελέσματα δείχνουν μία μείωση της τάξεως του 30% στην ηλεκτρική ενεργειακή κατανάλωση την περίοδο του μήνα Ιανουαρίου στον Καναδά, όπου και έγιναν οι μετρήσεις[14].



1-4 Σχηματική απεικόνιση υβριδικού συστήματος με ηλιακούς συλλέκτες και ΥΑΦ ενσωματωμένα σε τοίχο του δωματίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Υλικά Αλλαγής Φάσης - (PCM)

2.1 Εισαγωγή

Λανθάνουσα θερμότητα ονομάζεται η θερμότητα εκείνη που χρειάζεται ένα υλικό για τη μετάβαση από τη μία φάση(π.χ. υγρή) στην άλλη(στερεή) κατά τη διάρκεια της οποίας το υλικό έχει σταθερή θερμοκρασία. Είναι το ποσό της θερμικής ενέργειας που απορροφάται ή εκλύεται όταν μια ουσία αλλάζει κατάσταση. Ονομάζεται λανθάνουσα γιατί ακριβώς είναι 'κρυφή', δε μπορεί να ανιχνευτεί ως διαφορά στη θερμοκρασία της ουσίας. Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης-συμπύκνωσης είναι η θερμότητα εκείνη που πρέπει να προστεθεί σε 1g της ουσίας που θέλουμε να μεταβεί από την υγρή στη αέρια φάση. Για παράδειγμα για το νερό η θερμότητα αυτή ανέρχεται σε 540cal/g στους 100° C διότι πρέπει να διασπαστούν όλοι οι σύνδεσμοι υδρογόνου. Αντίστροφα η λανθάνουσα θερμότητα τήξης είναι η θερμότητα που χρειάζεται το στερεό για να μεταβεί στην υγρή φάση. Στο παράδειγμα του νερού, ο πάγος χρειάζεται μόλις 80cal/g για την μετάβαση αυτή διότι σημαντικός αριθμός δεσμών υδρογόνου διατηρείται στο νερό χαμηλών θερμοκρασιών. Η χρήση των υλικών αλλαγής φάσης στηρίζεται ακριβώς σε αυτόν τον κανόνα, δηλαδή στην χρήση της λανθάνουσας θερμότητας κατά την αλλαγή φάσης τους ανάλογα με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

2.2 Εφαρμογές ΥΑΦ

2.2.1 Διάφορες εφαρμογές

Τα υλικά αλλαγής φάσης(ΥΑΦ) είναι υλικά χρησιμοποιούμενα για αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας. Η χρήση αυτών των υλικών έχει ευρύ φάσμα αλλά βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο ειδικά σε ότι αφορά στον κτιριακό τομέα. Ένας τομέας στον οποίο βρίσκουν μεγάλη απήχηση είναι αυτός των μεταφορών ευαίσθητων στη θερμοκρασία προϊόντων. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι στον ιατρικό τομέα η μεταφορά φαρμακευτικών προϊόντων, αίματος, οργάνων, εμβολίων και γενικά ό,τι έχει ευαισθησία στις αλλαγές θερμοκρασιών. Μία καινοτομία στον τομέα μεταφοράς αίματος έχει να επιδείξει η εταιρία Rubitherm δημιουργώντας ένα σύστημα μεταφοράς που στηρίζεται στις ιδιότητες των ΥΑΦ και εγγυάται την σωστή μεταφορά ακόμη και στις υψηλές θερμοκρασίες της καλοκαιρινή περιόδου. Ένας άλλος τομέας που βρίσκουν εφαρμογή τα ΥΑΦ είναι αυτός της μεταφοράς τροφίμων[15]. Η εφαρμογή του συστήματος HACCP (Μέθοδος ανάλυσης κινδύνων και κρίσιμα σημεία ελέγχου) στη μεταφορά τροφίμων είναι αρκετά

δύσκολη με τα σημερινά δεδομένα. Με τη βοήθεια των ΥΑΦ όμως και την τοποθέτησή τους στα κουτιά μεταφοράς τροφίμων θα έκανε πολύ εύκολη την ανταπόκριση στις απαιτήσεις του συστήματος της Ευρωπαϊκή Ένωσης[16]. Άλλοι τομείς στους οποίους τα ΥΑΦ έχουν βρει εφαρμογή είναι τα ενδύματα για ειδικούς σκοπούς, π.χ. ειδικά μπουφάν για ορειβάτες τα οποία θα κρατούν σε μία καλή θερμοκρασία το ανθρώπινο σώμα, καθώς και ο ηλεκτρονικός τομέας όπου συνήθως η υπερθέρμανση ηλεκτρολογικού υλικού προκαλεί προβλήματα. Με τη χρήση των ΥΑΦ όμως μπορούν να ξεπεραστούν τέτοιου είδους προβλήματα.

2.2.2 Κτιριακός τομέας

Στον κτιριακό τομέα τα ΥΑΦ θα μπορούσαν να φέρουν μεγάλες αλλαγές ως προς την μείωση των ενεργειακών αναγκών. Διαφέρουν από τα κλασικά δομικά υλικά λόγω της μεγάλης χωρητικότητας αποθήκευσης θερμότητας ανά μονάδα όγκου. Κατά τη διάρκεια της ημέρας και όταν η θερμοκρασία του υλικού φτάσει τη θερμοκρασία τήξης του, αυτό αρχίζει να αλλάζει φάση ενώ αποθηκεύει θερμότητα την οποία εμποδίζει εκείνη την ώρα να περάσει στο εσωτερικό του κτιρίου. Έπειτα όταν η θερμοκρασία αρχίζει να μειώνεται, το υλικό απελευθερώνει τη θερμότητα προς τον εσωτερικό χώρο όπου πλέον είναι αναγκαία καθυστερώντας έτσι την μείωση της θερμοκρασίας στον χώρο[17].

Κάθε υλικό έχει τη δική του τιμή λανθάνουσας θερμότητας αλλά δεν είναι όλα τα υλικά κατάλληλα για την επίτευξη θερμικής άνεσης μέσα στο κτίριο. Ένα ΥΑΦ για να τοποθετηθεί στο κέλυφος ενός κτιρίου θα πρέπει να πληροί κάποιες συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Καταρχήν θα πρέπει κατά τη διάρκεια αλλαγής φάσης να μην αλλάζει καθόλου ή ελάχιστα τον όγκο του για λόγους σταθερότητας και στατικότητας της κατασκευής. Επίσης το υλικό θα πρέπει να είναι χημικά σταθερό καθώς και καλός αγωγός της θερμότητας. Ακόμη, μεγάλη σημασία παίζει η θερμοκρασία στην οποία συμβαίνει η αλλαγή φάσης και άρα η επιλογή του κατάλληλου ΥΑΦ κάτι το οποίο ορίζεται από τις καιρικές συνθήκες και τις ενεργειακές ανάγκες του σπιτιού. Έχουν γίνει αρκετές μελέτες για την ενσωμάτωση των ΥΑΦ σε κτίρια με διαφορετικές προσεγγίσεις η κάθε μία (ενσωμάτωση σε τοίχους, δάπεδο, γυψοσανίδες κ.α.) [17].

2.2.2.1 Βοτανικός κήπος Βερολίνου-Τροπικό θερμοκήπιο

Μέχρι σήμερα τα υλικά αυτά βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο στον κτιριακό τομέα. Παρόλα αυτά, στη Γερμανία στον Βοτανικό κήπο του Βερολίνου, χρησιμοποιήθηκαν ΥΑΦ όταν έγινε πρόσφατα ανακαίνιση με σκοπό και τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης. Πρόκειται για ένα

τροπικό θερμοκήπιο μέσα στο οποίο πρέπει να επικρατούν συνθήκες υψηλής υγρασίας και σταθερής θερμοκρασίας περίπου 30°C. Μέσα στο θερμοκήπιο η ροή-κυκλοφορία του αέρα γίνεται μέσα από δύο τεράστιους πύργους μέσα στους οποίους ενσωματώθηκαν ΥΑΦ (ένυδρο άλας) σε δοχεία αλουμινίου της εταιρίας Rubitherm. Η λειτουργία του θερμοκηπίου είναι ως εξής :

- Την ημέρα η θερμοκρασία στο πάνω μέρος του θερμοκηπίου ανεβαίνει γρήγορα.
- Ένας ανεμιστήρας αναλαμβάνει να 'κατεβάσει' τον θερμό αέρα προς το κάτω μέρος του θερμοκηπίου μέσα από τους πύργους.
- Μέσα στους πύργους τα ΥΑΦ απορροφούν θερμότητα αυξάνοντας τη θερμοκρασία τους και αλλάζοντας φάση.
- Ο αέρας που φτάνει τελικά στα φυτά στο έδαφος είναι πιο δροσερός και στην κατάλληλη θερμοκρασία.

Αντίστοιχα το βράδυ συμβαίνει το αντίστροφο. Ο κρύος αέρας στην οροφή περνάει από τους πύργους όπου θερμαίνεται από τη θερμότητα που εκλύουν τα ΥΑΦ αλλάζοντας φάση και φτάνει στο έδαφος στην κατάλληλη θερμοκρασία για τα φυτά. Για την αποτελεσματική αποθήκευση και απελευθέρωση θερμότητας από τα ΥΑΦ είναι σημαντικό αυτά να είναι εκτεθειμένα σε επαρκή και σταθερή ροή αέρα. Η συνολική μάζα ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκε ήταν περίπου 3000kg με θερμοχωρητικότητα της τάξεως των 26kWh[15].

2.3 Οργανικά

Κάθε ζωντανός οργανισμός απαρτίζεται από οργανικά μόρια. Οργανικές ενώσεις είναι όλες οι ενώσεις του άνθρακα. Κάποια από τα οργανικά υλικά αλλαγής φάσης με τα οποία έχουν πειραματιστεί πολλοί επιστήμονες είναι ενδεικτικά τα αλκάνια, τα λιπαρά οξέα, οι αλκοόλες, τα πολυμερή και τα παράγωγά τους[18].

Βέβαια τα οργανικά υλικά παρουσιάζουν κάποια μειονεκτήματα όπως είναι η επιβεβλημένη χρήση δοχείων αποθήκευσης. Ακόμη τα οργανικά ΥΑΦ έχουν το μειονέκτημα του πολύ μικρού συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας κάτι που επηρεάζει συνολικά την αποτελεσματική μεταφορά θερμότητας.

Ο Α.Α. Aydin στην μελέτη του για νέα οργανικά PCM προτείνει διεστέρες υψηλών αλυσίδων δικαρβοξυλικού οξέος με ανώτερες αλκοόλες όπως είναι

με την εμπορική της ονομασία η μυριστιλική αλκοόλη. Πρόκειται για ένα καινούριο PCM το οποίο έπειτα και από συγκεκριμένες μετρήσεις έδειξε πως μπορεί να είναι πολλά υποσχόμενο[19].

2.3.1 Λιπαρά οξέα

Τα λιπαρά οξέα είναι μη τοξικά, τα βρίσκουμε εύκολα στην αγορά, έχουν καλή θερμική και χημικά ισορροπία, βολική θερμοκρασία αλλαγής φάσης, υψηλή λανθάνουσα θερμότητα κατά την αλλαγή της φάσης και ελάχιστη αλλαγή όγκου. Πρόκειται για ανανεώσιμες πρώτες ύλες κάτι που τα καθιστά ακόμη πιο ελκυστικά. Τα λιπαρά οξέα μπορούν να κάνουν χιλιάδες θερμικούς “κύκλους” χωρίς να υποστούν θερμικό διαχωρισμό. Τα χαρακτηρίζει η ευκολία στο να εμποτίζονται σε πολύπλοκες δομές και άρα είναι πολλά υποσχόμενα για χρήση σε ηλιακά συστήματα θέρμανσης και σαν δομικό υλικό στα κελύφη κτιρίων. Το πρόβλημα βέβαια που πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι τα δοχεία αποθήκευσης, καθώς και με όλα τα υλικά αλλαγής φάσης που μεταβαίνουν από τη στερεή φάση στην υγρή και το αντίστροφο[18].

2.3.2 Αλκάνια-κορεσμένοι υδρογονάνθρακες(παραφίνες)

Τα αλκάνια ή αλλιώς και κορεσμένοι υδρογονάνθρακες (C_nH_{2n+2}) περιέχουν μόνο απλούς δεσμούς C-C και C-H. Τα αλκάνια έχουν την ιδιότητα να εμφανίζουν σταδιακή αύξηση στα σημεία ζέσεως και τήξεως καθώς αυξάνει το μοριακό της βάρος λόγω ασθενών δυνάμεων Van der Waals που εμφανίζονται μεταξύ των μορίων. Οι γνωστές παραφίνες χρησιμοποιούνται εδώ και πολλά χρόνια σε πειράματα ως υλικά αλλαγής φάσης. Είναι υλικά με τα οποία μπορούμε να έχουμε της επιθυμητές για το κάθε πείραμα θερμοκρασίες τα οποία δεν εμφανίζουν διαχωρισμό κατά τη διάρκεια αλλαγών φάσης. Ένα πρόβλημα που παρουσιάζουν είναι αυτό της υπέρψυξης, δηλαδή η θερμοκρασία αποκρυστάλλωσης στην ψύξη είναι μικρότερη της θερμοκρασίας τήξης. Οι παραφίνες χρησιμοποιούνται κυρίως ως ΥΑΦ λόγω της διαθεσιμότητας της και των ιδανικών θερμικών χαρακτηριστικών της σε χαμηλές θερμοκρασίες όπου το εργαζόμενο υγρό έχει θερμοκρασιακό εύρος από 0 έως 100 °C[18].

2.3.3 Αλκοόλες-γλυκόλες

Οι αλκοόλες είναι οι πιο διαδεδομένες οργανικές ενώσεις. Περιέχουν έναν απλό δεσμό άνθρακα με κάποιο ηλεκτραρνητικότερο άτομο. Οι αλκοόλες περιέχουν ομάδες υδροξυλίου συνδεδεμένες με κορεσμένα άτομα άνθρακα. Πρόκειται στην ουσία για οργανικά παράγωγα του νερού στο οποίο ένα από

τα υδρογόνα του έχει αντικατασταθεί από μια οργανική ομάδα. Η πιο γνωστή αλκοόλη είναι η αιθανόλη. Έχουν υψηλά σημεία ζέσεως και μπορούν να παρασκευαστούν από της κατηγορίες ενώσεων της αλκένια και εστέρες αλλά μπορούν να μετατραπούν και σε μία μεγάλη ποικιλία άλλων ενώσεων[18].

2.4 Ανόργανα

Στις ανόργανες ενώσεις είχαν στραφεί κατά τα πρώτα χρόνια πειραμάτων με ΥΑΦ οι επιστήμονες λόγω της υψηλής θερμικής αγωγιμότητας και της μεγάλης δυνατότητας αποθήκευσης ενέργειας. Οι ανόργανες ενώσεις είναι μη εύφλεκτες, φτηνές και εύκολα διαθέσιμες. Παρόλα αυτά τα ανόργανα ΥΑΦ παρουσίαζαν πολλά μειονεκτήματα όπως το ότι ήταν διαβρωτικά , αντιδρούσαν με διάφορα υλικά και παρουσίαζαν το φαινόμενο της υπέρψυξης καθώς και διαχωρισμό κατά τη διάρκεια των θερμικών κύκλων. Αυτά τα μειονεκτήματα λοιπόν οδήγησαν τις έρευνες προς τα οργανικά υλικά[20].

Ένα ανόργανο ΥΑΦ είναι για παράδειγμα τα ένυδρα άλατα. Η μεγάλη δυνατότητα αποθήκευσης που παρουσιάζουν μειώνεται καθώς αυξάνονται οι θερμικοί κύκλοι. Το φαινόμενο της υπέρψυξης εμφανίζεται στα ένυδρα άλατα όταν αρχίζουν να στερεοποιούνται σε θερμοκρασία μικρότερη της θερμοκρασίας πήξης. Ένα ακόμη πρόβλημα που μπορεί να εμφανιστεί είναι το φαινόμενο του διαχωρισμού φάσης κατά τη διάρκεια της κύκλου. Ο διαχωρισμός που μπορεί να παρουσιάσει ένα ένυδρο άλας κατά τη διάρκεια της θερμικού κύκλου μπορεί να αντιμετωπιστεί είτε προσθέτοντας ένα πολυμερές στο άλας ώστε να δημιουργηθεί ένα πλέγμα που θα κρατήσει το τελικό προϊόν χωρίς διαχωρισμούς , είτε ενσωματώνοντας στο άλας ένα πρόσθετο που θα αυξήσει το ιξώδες του[21].

Παρατίθεται πίνακας όπου φαίνονται συγκεντρωτικά τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ανόργανων και οργανικών ΥΑΦ ως προς τη θερμοχωρητικότητα, τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, το φαινόμενο της υπέρψυξης, τη λανθάνουσα θερμότητα τήξης, τις διαβρωτικές τους ιδιότητες, το φαινόμενο του διαχωρισμού, την ανάφλεξη, το κόστος και τη διαθεσιμότητά τους στην αγορά.

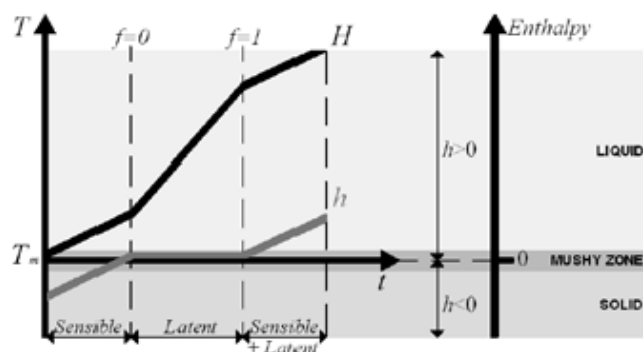
Πίνακας 1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα οργανικών και ανόργανων ΥΑΦ

	ΟΡΓΑΝΙΚΑ	ΑΝΟΡΓΑΝΑ
ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ	μικρότερη τιμή θερμοχωρητικότητας σε σχέση με τα ανόργανα	υψηλότερη τιμή θερμοχωρητικότητας
ΣΥΝΤ.ΘΕΡΜ.ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ	μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας	μεγαλύτερο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας σε σχέση με τα οργανικά
ΥΠΕΡΨΥΞΗ	καθόλου ή μικρό πρόβλημα υπέρψυξης	πρόβλημα υπέρψυξης
ΛΑΝΘΑΝΟΥΣΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΤΗΞΗΣ	μικρότερη τιμή σε σχέση με τα ανόργανα	μεγάλη τιμή λανθάνουσας θερμότητας τήξης
ΔΙΑΒΡΩΣΗ	δεν παρουσιάζουν διαβρωτική συμπεριφορά	διαβρωτική συμπεριφορά
ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ	δεν παρουσιάζουν διαχωρισμό	παρουσιάζουν διαχωρισμό φάσεων
ΑΝΑΦΛΕΞΗ	εύφλεκτο	μη εύφλεκτο
ΚΟΣΤΟΣ-ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ	πιο ακριβά από τα ανόργανα-εύκολα διαθέσιμα	φτηνά-εύκολα διαθέσιμα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ

3.1 Μέθοδος Ενθαλπίας

Η μέθοδος της ενθαλπίας επιλύει την διαφορική εξίσωση μεταφοράς της ενθαλπίας. Η ενθαλπία είναι η εξαρτημένη μεταβλητή. Στο σχήμα που φαίνεται παρακάτω φαίνεται η διαμόρφωση της ενθαλπίας συναρτήσει της θερμοκρασίας ενώ διακρίνεται και η ζώνη συνύπαρξης των δύο φάσεων(στερεής-υγρής) ή mushy zone. Αυτή η μέθοδος εγγυάται την ισόθερμη φύση της διαδικασίας αλλαγής φάσης ενώ καθορίζει το σύνολο της αισθητής και της λανθάνουσας θερμότητας. Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των λεπτομερειών της διαδικασίας αλλαγής φάσης[22].



3-1 Διαμόρφωση ενθαλπίας

3.2 Μέθοδος Ενεργού Θερμοχωρητικότητας

Η μέθοδος της ενεργού θερμοχωρητικότητας ακολουθεί τη συνήθη διαδικασία αριθμητικής επίλυσης της διαφορικής εξίσωσης μεταφοράς ενέργειας, θεωρώντας ότι η θερμοχωρητικότητα του PCM κατά την αλλαγή φάσης δίδεται από μια συνάρτηση της θερμοκρασίας γνωστή ως “συνάρτηση ενεργού θερμοχωρητικότητας” $C_{p,eff}(T)$. Η μόνη δυσκολία είναι ότι η συνάρτηση $C_{p,eff}(T)$ για το εκάστοτε χρησιμοποιούμενο PCM πρέπει να είναι γνωστή[22]. Στο δεύτερο μέρος της εργασίας, θα χρησιμοποιηθεί η συγκεκριμένη μέθοδος για την επίλυση του προβλήματος και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Μέτρηση ιδιοτήτων PCM

4.1 Εισαγωγή

Θερμική ανάλυση είναι η μέτρηση των αλλαγών συγκεκριμένων φυσικών και χημικών ιδιοτήτων μιας ουσίας με την αλλαγή της θερμοκρασίας. Οι πρώτες θερμικές αναλύσεις (18ος αι.) όπου ενδιέφερε κυρίως η μελέτη του άνθρακα βασίζονταν στις διαφορές βάρους που εντοπίζονταν με την αλλαγή της θερμοκρασίας(Thermo-gravimetric analysis). Τα επόμενα χρόνια, με την εξέλιξη της τεχνολογίας, το επόμενο βήμα ήταν η μέτρηση της θερμιδικής αξίας της ουσίας της εξέταση[23].

Η χρήση των υλικών αλλαγής φάσης απαιτεί την πλήρη γνώση των ιδιοτήτων τους, κάτι που το πετυχαίνουμε με τις θερμικές μεθόδους που θα περιγραφούν παρακάτω. Για να μπορέσουμε να τελειοποιήσουμε ένα ΥΑΦ χρειάζεται να μπορούμε να μετράμε της θερμοφυσικές του ιδιότητες.

Σήμερα, οι πιο συνήθεις τύποι θερμικής ανάλυσης είναι οι εξής :

- 1) Θερμοσταθμική Ανάλυση-TGA-Thermo Gravimetric Analysis
- 2) Διαφορική Θερμική Ανάλυση-DTA-Differential Thermal Analysis
- 3) Διαφορική Θερμιδομετρία Σάρωσης-DSC-Differential Scanning Calorimetry
- 4) T History



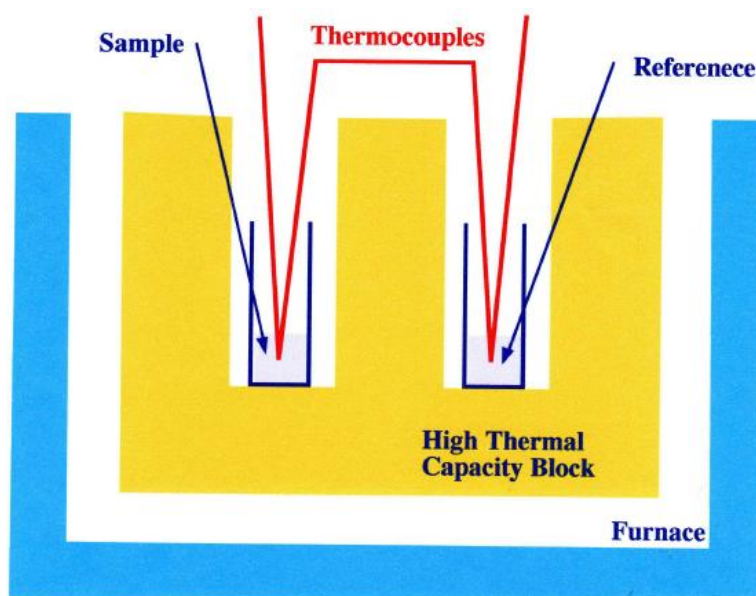
4-1 Μηχάνημα θερμοσταθμικής ανάλυσης

4.2 TGA

Η συγκεκριμένη τεχνική έχει ένα ευρύ πεδίο εφαρμογής. Μετράει την αλλαγή της μάζας του δείγματος συναρτήσει της θερμοκρασίας. Μία συνηθισμένη διάταξη περιλαμβάνει έναν φούρνο (ζεσταίνει το δείγμα σε υψηλή θερμοκρασία) , μία χοάνη όπου τοποθετείται το δείγμα, έναν ευαίσθητο αναλυτικό ζυγό, έναν μικροεπεξεργαστή καθώς και ένα σύστημα καθαρισμού με διαβίβαση αερίου που διασφαλίζει αδρανή ατμόσφαιρα[23].

4.3 DTA

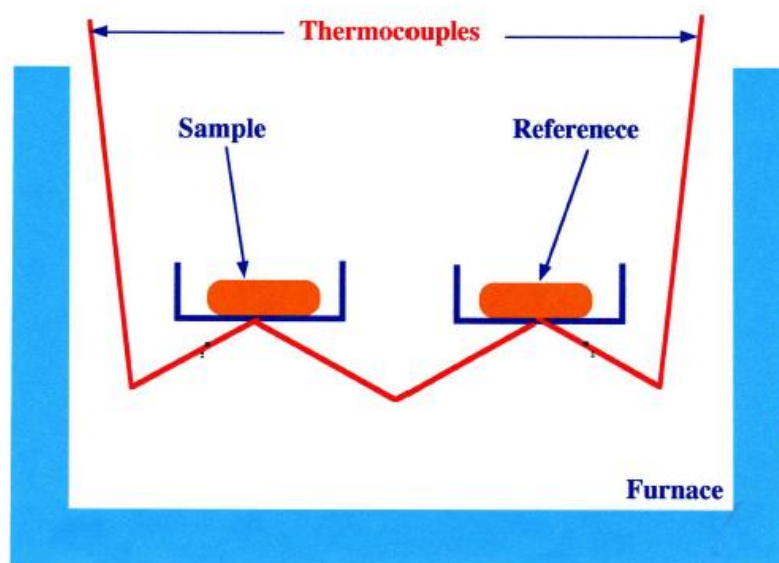
Στη διαφορική θερμική ανάλυση, το δείγμα και ένα αδρανές πρότυπο αναφοράς θερμαίνονται σε πανομοιότυπη θερμοκρασία και οι θερμοκρασιακές τους διαφορές καταγράφονται κατά τη διάρκεια της θέρμανσης. Μόλις το δείγμα αλλάξει κατάσταση, η λανθάνουσα θερμότητα θα απορροφηθεί και η θερμοκρασία του δείγματος θα σταθεροποιηθεί σε σχέση με αυτή του προτύπου. Το δείγμα και το υλικό αναφοράς τοποθετούνται σε δύο κοιλότητες οι οποίες βρίσκονται μέσα σε έναν φούρνο της φαίνεται και στο σχήμα 4.2. Θερμοστοιχεία συνδέονται στα δύο υλικά και ανιχνεύουν κάθε αλλαγή φάσης του δείγματος σε σχέση με το υλικό αναφοράς[23].



4-2 Διάταξη DTA

Μία πιο διαδεδομένη διάταξη που έχει και καλύτερα αποτελέσματα φαίνεται στο σχήμα 4.3. Εδώ τα θερμοστοιχεία ενώνονται σχεδόν απευθείας με τα

υλικά και έτσι μειώνονται οι καθυστερήσεις μεταφοράς θερμότητας από τα υλικά στα θερμοστοιχεία[23].



4-3 Διαφορετικού τύπου διάταξη DTA

4.4 DSC

Η αρχή λειτουργίας της συγκεκριμένης μεθόδου στηρίζεται στη μέτρηση της ροής θερμότητας από το δείγμα και το υλικό αναφοράς, συναρτήσει της θερμοκρασίας του δείγματος όταν οι δύο ουσίες υπόκεινται σε ελεγχόμενο πρόγραμμα θερμοκρασίας. Η καρδιά του συστήματος είναι οι αισθητήρες οι οποίοι ορίζουν και την ποιότητά του. Οι αισθητήρες αυτοί είναι ικανοί να ανιχνεύσουν ακόμα και αλλαγές μW και θα πρέπει να έχουν πολύ μεγάλη ευαισθησία και εξαιρετική ανάλυση. Η ανάλυση γίνεται μέσα σε ένα χωνευτήριο, η μορφή και το υλικό κατασκευής του οποίου εξαρτώνται από το δείγμα που έχουμε. Η θερμοχωρητικότητα και η θερμική αγωγιμότητα του χωνευτηρίου επηρεάζουν τις μετρήσεις. Τα μειονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι το περιορισμένο μέγεθος δείγματος, η διαβάθμιση θερμοκρασίας μέσα στο δείγμα και το χαμηλό σήμα σε δείκτες θορύβου τα οποία καταλήγουν σε υψηλότερο βαθμό υπόψυξης και μικρότερο βαθμό διαχωρισμού φάσεων.[23]

4.4.1 HP DSC

Πρόκειται για μία νέα σχετικά μέθοδο η οποία κερδίζει έδαφος για έναν βασικό λόγο : αρκετές φυσικές και χημικές διεργασίες συμβαίνουν σε πολύ

υψηλότερους ρυθμούς σάρωσης σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο DSC. Τα συγκεκριμένα μηχανήματα μπορούν να φτάσουν ακόμα και τα $750^{\circ}\text{C}/\text{min}$, ενώ ο ρυθμός εξαγωγής των αποτελεσμάτων φάνει τα 100σημεία/sec. Έχουν πολύ μεγάλη απήχηση στις φαρμακευτικές αναλύσεις[23].

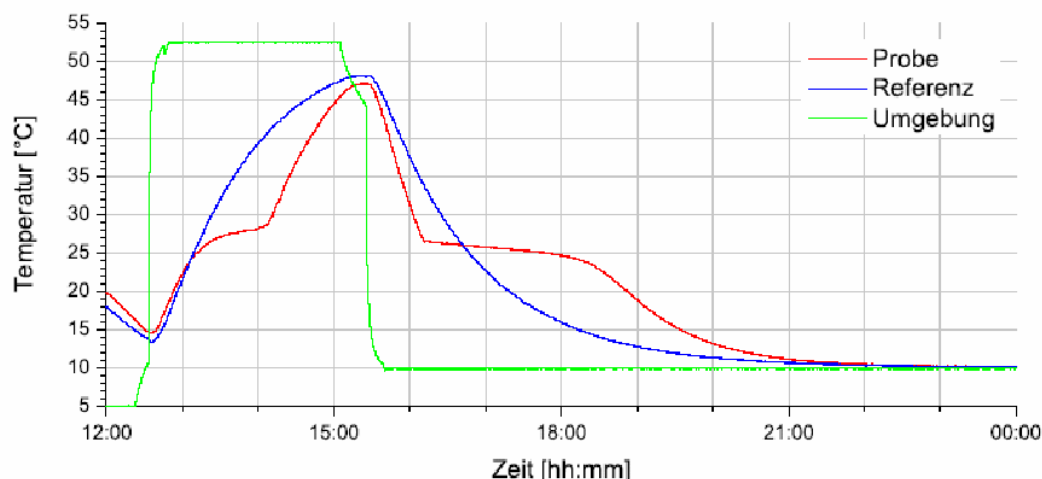


4-4 HP DSC

4.5 T History

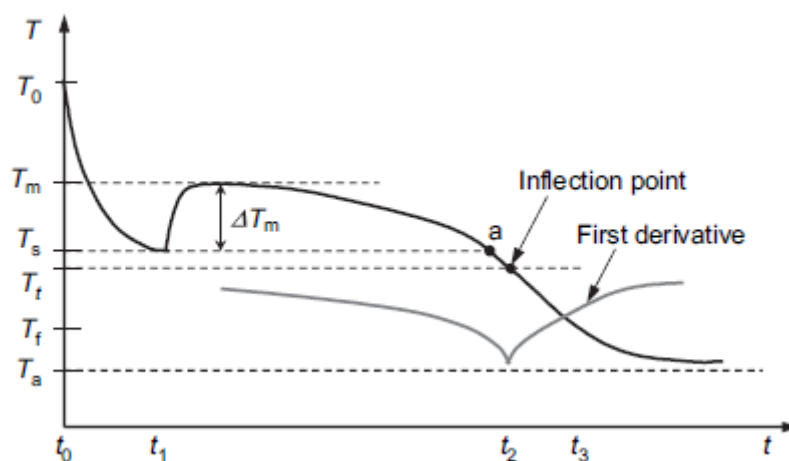
Η συγκεκριμένη μέθοδος προτάθηκε από τον Zhang et al. το 1999 ως μία απλούστερη μέθοδος μέτρησης των θερμικών ιδιοτήτων των ΥΑΦ σε σχέση με τις μεθόδους DSC και DTA. Η μέθοδος T History χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των βασικών θερμικών ιδιοτήτων των ΥΑΦ, της θερμοκρασίας και της ενθαλπίας, της θερμοχωρητικότητας και του βαθμού υπόψυξης. Σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους η συγκεκριμένη διακρίνεται για την απλότητα και την ευκολία της καθώς και για το μεγάλο μέγεθος του δείγματος που μπορεί να δεχθεί προς μέτρηση. Η μέτρηση γίνεται χρησιμοποιώντας δύο πανομοιότυπους σωλήνες. Ο ένας σωλήνας περιέχει το δείγμα και ο άλλος το υλικό αναφοράς, τα οποία εκτίθενται σε απότομη αλλαγή θερμοκρασίας. Οι καμπύλες θερμοκρασίας-χρόνου των δύο υλικών καταγράφονται ταυτόχρονα και συγκρίνονται. Τυπικές καμπύλες θερμοκρασίας-χρόνου εμφανίζονται στο παρακάτω διάγραμμα 4-5[23].

Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής σε σχέση για παράδειγμα με την μέθοδο DSC είναι αρχικά η απλότητά της αλλά και το γεγονός ότι μπορούμε να έχουμε δείγμα μεγάλου μεγέθους. Το μεγάλο μέγεθος δείγματος της επιτρέπει να έχουμε καλύτερα αποτελέσματα για ετερογενή μείγματα τα οποία δεν θα μπορούσαν να έχουν αντιπροσωπευτική σύσταση σε πολύ μικρό μέγεθος. Επιπλέον λόγω μεγάλου δείγματος μπορούμε να έχουμε πιο αντιπροσωπευτική τιμή του βαθμού υπόψυξης[23].



4-5 Μέθοδος T-History : Τυπικές καμπύλες θερμοκρασίας-χρόνου(μπλε γραμμή=υλικό αναφοράς, κόκκινη=δείγμα, πράσινη=περιβάλλον)

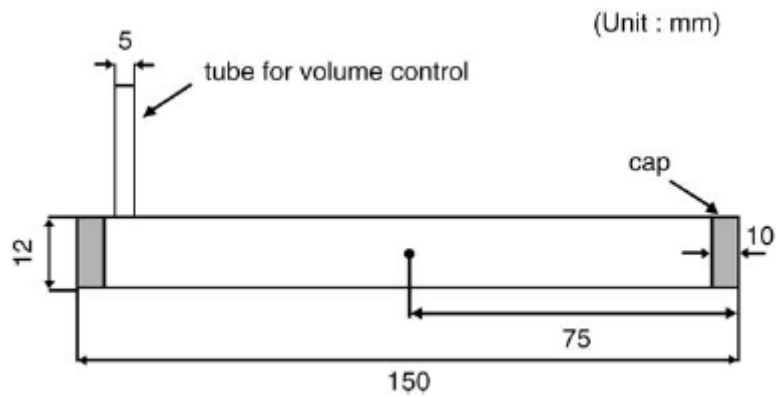
Στη μελέτη που έγινε το 2005 από της Jong Hyeon et al. για την ακριβή μέτρηση λανθάνουσας θερμότητας της ΥΑΦ με χαμηλή θερμοκρασία τήξης(χαμηλότερη από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος), παρατηρήθηκαν δύο σημαντικά προβλήματα για τα οποία δόθηκαν και προτάσεις για λύση. Το πρώτο πρόβλημα ήταν ότι η μέθοδος T History χρησιμοποιεί το σημείο υπέρψυξης ως το σημείο που τελειώνει η αλλαγή φάσης. Κάτι τέτοιο της είναι λάθος και έτσι στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκε άλλο σημείο στην καμπύλη(inflection point), το οποίο φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα, εκεί όπου η πρώτη παράγωγος της καμπύλης παρουσιάζει ελάχιστο.



4-6 Τυπική καμπύλη ΥΑΦ κατά τη διάρκεια ψύξης

Ακόμη ένα άλλο πρόβλημα που παρουσιάστηκε ήταν ο κάθετος σωλήνας που χρησιμοποιείται στη μέθοδο αυτή, ο οποίος έπρεπε να τοποθετηθεί οριζόντια, διότι όταν ο σωλήνας ήταν κάθετος το κάτω μέρος του πάγου

έλιωνε πιο γρήγορα λόγω φυσικής συναγωγής. Έτσι ο σωλήνας τοποθετήθηκε οριζόντια αλλά χρειάστηκε επιπλέον σωλήνας ελέγχου του όγκου, κάθετος στον πρώτο της φαίνεται στο σχήμα. Στην ουσία λοιπόν η μέθοδος βελτιώθηκε μέσα από τη συγκεκριμένη μελέτη και για τα συγκεκριμένα δεδομένα, δίνοντας σωστά και ακριβή αποτελέσματα[24].



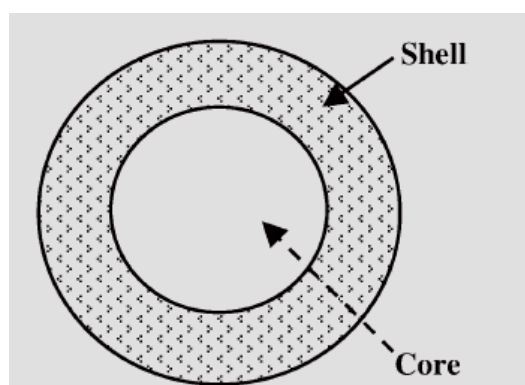
4-7 Οριζόντιος σωλήνας με επιπλέον σωλήνα για έλεγχο του όγκου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Αποθήκευση ΥΑΦ

Τα ΥΑΦ που αλλάζουν από την υγρή στη στερεή φάση είναι αναγκαίο να αποθηκευτούν με κάποιο τρόπο ώστε να αποφευχθεί η οποιαδήποτε τύπου διαρροή. Παρακάτω παρουσιάζονται τρόποι με της οποίους μπορούμε να αποθηκεύσουμε ΥΑΦ για να μπορέσουμε να τα χρησιμοποιήσουμε σε διάφορες εφαρμογές χωρίς να υπάρχει το πρόβλημα της διαρροής.

5.1 Microencapsulation

Η συγκεκριμένη μέθοδος αποθήκευσης γίνεται ως εξής : το υλικό που θέλουμε να αποθηκεύσουμε-σε στερεή ή υγρή φάση- περικλείεται από ένα εξωτερικό συνεχές κέλυφος (πολυμερές) και έτσι δημιουργούνται κάψουλες στην τάξη των μικρόμετρων-χιλιοστόμετρων της φαίνεται ενδεικτικά και στην εικόνα που ακολουθεί [25].



5-1 Κάψουλα διαμέτρου τάξεως μικρόμετρων

Η μορφολογία αυτών των κάψουλων συνδέεται με το υλικό που θέλουμε να ενσωματώσουμε στην κάψουλα. Διακρίνονται τρεις κατηγορίες :

- Μονοπύρηνες κάψουλες. Πρόκειται για την κάψουλα που περιγράφηκε παραπάνω και φαίνεται στο σχήμα 5-1.
- Πολυπύρηνες κάψουλες. Περικλείονται πολλοί πυρήνες μέσα σε ένα κέλυφος.
- Πλέγμα ενθυλάκωσης. Το υλικό του πυρήνα διανέμεται ομοιόμορφα μέσα στο υλικό του κελύφους.

- Επιπλέον σε αυτές της κατηγορίες μπορεί να έχουμε μονοπύρηνες κάψουλες με πολλά κελύφη.

Οι μικροκάψουλες μπορεί να έχουν σφαιρικό σχήμα αλλά μπορεί να πάρουν και διάφορα σχήματα ανάλογα με την περίπτωση. Υπάρχουν φυσικοί και χημικοί τρόποι (πολυμερισμός) δημιουργίας για τις μικροκάψουλες[25].

5.1.1 Εφαρμογές με μικροκάψουλες σε κτίρια

Η πλειονότητα των κτιρίων σήμερα είναι κατασκευασμένα από συμβατικά δομικά υλικά της τούβλα και κονίαμα, σκυρόδεμα (οπλισμένο ή μη), και ξύλο. Σε αρκετές εφαρμογές έχουν προσθέσει μικροκάψουλες σε κλασικά δομικά υλικά και κάποιες από αυτές θα παρατεθούν παρακάτω[25].

Σε πάρα πολλές περιοχές ανά τον κόσμο χρησιμοποιείται σκυρόδεμα ως βασικό οικοδομικό υλικό. Έτσι οι Mihashi et al. χρησιμοποίησαν στεατικό βουτύλιο ως ΥΑΦ με θερμοκρασία τήξης γύρω της 18°C σε πορώδη ελαφρά αδρανή υλικά. Τέτοιο σκυρόδεμα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε κατασκευές όπου θέλουμε να διατηρήσουμε τη θερμοκρασία γύρω στους 18°C[25].

Οι Benz και Turpin δούλεψαν σε εφαρμογές με μικροκάψουλες σε σκυρόδεμα. Παρουσίασαν τρεις πιθανές εφαρμογές ενσωμάτωσης ΥΑΦ σε σκυρόδεμα με αδρανή αλαφρά υλικά και κατέληξαν πως τα ΥΑΦ μπορούν να ενισχύσουν της επιδόσεις του σκυροδέματος είτε με απευθείας ενσωμάτωση είτε με μικροκάψουλες. Αυτά τα ελαφριά αδρανή υλικά μπορούν να παίξουν το ρόλο του κομιστή για τα ΥΑΦ. Για παράδειγμα ένα αδρανές υλικό με απορροφητική ικανότητα 20% μπορεί να παρέχει έως και 350kg/m³ ΥΑΦ σε τυπικό σκυρόδεμα[25].

Οι Voelker et al. εστίασαν στην επίλυση του προβλήματος της υπερθέρμανσης σε πολλά κτίρια λόγω ελαφρών κατασκευών. Η πιθανή λύση είναι η ενσωμάτωση ΥΑΦ για την αύξηση της θερμικής μάζας του κτιρίου. Ένα τροποποιημένο είδος γύψινου κονιάματος καθώς και ένα μείγμα αλάτων επελέχθησαν για τη μελέτη μείωσης της εσωτερικής θερμοκρασίας της δωματίου. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι χωρίς ΥΑΦ η θερμοκρασία δωματίου έφτανε της 36,1°C ενώ η θερμοκρασία δωματίου με ΥΑΦ μετρήθηκε 32,3°C η οποία είναι μία αρκετά σημαντική διαφορά. Βέβαια κατά τη διάρκεια της νύχτας η θερμοκρασία στο δωμάτιο με ΥΑΦ ήταν μεγαλύτερη από αυτήν στο δωμάτιο χωρίς ΥΑΦ και αυτό οφείλεται στην στερεοποίηση του ένυδρου άλατος (ΥΑΦ) κατά τη διάρκεια της νύχτας. Αποτελεσματικός αερισμός του δωματίου κατά τη διάρκεια της νύχτας θα

μπορούσε να αντισταθμίσει την υψηλότερη θερμοκρασία που παρουσιάζεται τη νύχτα[25].

Σε μία άλλη μελέτη, που αφορούσε περιοχές με θερμά κλίματα, συνδυάστηκαν τούβλα και ΥΑΦ τα οποία ενσωματώθηκαν της οπές των τούβλων αλλά και στο υλικό τους, για τη μείωση του θερμικού κέρδους. Η αποτελεσματικότητα του συστήματος που εξετάστηκε βάσει της σύγκριση της ροής θερμότητας στην εσωτερική επιφάνεια μεταξύ τοίχου με και χωρίς ΥΑΦ. Τα αποτελέσματα της παραμετρικής μελέτης έδειξαν πως τα καλύτερα αποτελέσματα ήταν με την τοποθέτηση των ΥΑΦ στο κέντρο των οπών του τούβλου και όχι ενσωματωμένα στο υλικό των τούβλων[25].

5.2 Macroencapsulation

Στη συγκεκριμένη μέθοδο αποθήκευσης ΥΑΦ , χρησιμοποιούνται μεγάλα αποθηκευτικά δοχεία όπως φαίνονται στα σχήματα που ακολουθούν παρακάτω. Υπάρχουν πολλά είδη δοχείων αποθήκευσης διαθέσιμα στην αγορά ιδανικά το καθένα για συγκεκριμένες εφαρμογές.

Η εταιρία PCM Products Ltd. έχει να παρουσιάσει μία μεγάλη γκάμα δοχείων αποθήκευσης όπως αυτό της εικόνας 5-2. Κάθε τέτοιο δοχείο χωράει μέχρι και τρία λίτρα ΥΑΦ και λόγω σχήματος μπορούν να τοποθετηθούν πολλά τέτοια δοχεία το ένα πάνω στο άλλο και μεταξύ τους να υπάρχει κενό ώστε να περνάει αέρας ή νερό ανάλογα την εφαρμογή[26].



5-2 Επίπεδο παραλληλόγραμμο δοχείο αποθήκευσης της PCM Products

Ένα διαφορετικό δοχείο αποθήκευσης είναι τα σφαιρίδια της ίδιας εταιρίας που φαίνονται στην εικόνα 5-3 . Εδώ το ΥΑΦ ενσωματώνεται απευθείας μέσα σε πλαστική ή από καουτσούκ μήτρα. Έπειτα αυτό μπορεί να πάρει την σφαιρική μορφή της εικόνας ή και όποια άλλη μορφή επιθυμούμε[26].



5-3 Σφαιρικές κάψουλες αποθήκευσης ΥΑΦ

Ακόμη υπάρχουν πολλά άλλα είδη δοχείων , όπως σωλήνες , ευτηκτικές πλάκες και σακουλάκια σε διάφορα μεγέθη για κάθε είδους εφαρμογή[26].

5.3 Nanoencapsulation

Οι Fang et al. μελέτησαν την ενσωμάτωση ΥΑΦ σε νανοκάψουλες. Η μορφολογία τους παρατηρήθηκε με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM). Οι θερμικές ιδιότητες διερευνήθηκαν με τη μέθοδο διαφορικής θερμιδομετρίας σάρωσης (DSC) και με θερμοσταθμική ανάλυση. Οι νανοκάψουλες είχαν γενικά μέγεθος 100nm. Η θερμοσταθμική ανάλυση έδειξε πως η θερμική σταθερότητα των νανοκαψουλών θα μπορούσε να βελτιωθεί με μερικά πρόσθετα της NaCl στην διαδικασία του πολυμερισμού[27].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Το ιδανικό PCM

Το ιδανικό PCM πρέπει χαρακτηρίζεται από της παρακάτω ιδιότητες :

- Υψηλή θερμοχωρητικότητα. Η υψηλή τιμή θερμοχωρητικότητας σε συνδυασμό με την υψηλή τιμή της ενθαλπίας τήξης δίνει στο ΥΑΦ μεγάλη δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας[15].
- Υψηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Τα ΥΑΦ της παρουσιάζουν μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Βέβαια ένα τέτοιο μειονέκτημα μπορεί να αντιμετωπιστεί αυξάνοντας την επιφάνεια μετάδοσης της θερμότητας[15].
- Μικρή αλλαγή όγκου κατά τη διαδικασία αλλαγής φάσης. Κάθε υλικό με τη μεταβολή της κατάστασής του αλλάζει και όγκου. Αυτό της είναι ένα φαινόμενο το οποίο πρέπει να αντιμετωπιστεί σε ότι αφορά τα ΥΑΦ και βέβαια για το συγκεκριμένο πρόβλημα λύνεται με τα σταθερά-σταθερία ΥΑΦ[15].
- Θερμική σταθερότητα σε κυκλική φόρτιση. Τα ΥΑΦ πρέπει να χαρακτηρίζονται από σταθερότητα όσον αφορά της θερμικούς κύκλους από υγρή σε στερεή φάση. Γίνονται μετρήσεις συνήθως για πάνω από 1000 κύκλους για να συμπεράνουμε αν το υλικό δεν αλλάζει της ιδιότητές του μετά από τόσους επαναλαμβανόμενους θερμικούς κύκλους[15].
- Ιδανική θερμοκρασία αλλαγής φάσης. Η κάθε εφαρμογή απαιτεί και διαφορετική θερμοκρασία τήξης του ΥΑΦ. Για παράδειγμα στον κτιριακό τομέα τα ΥΑΦ που χρησιμοποιούνται πρέπει να έχουν θερμοκρασία τήξης περίπου στη θερμοκρασία δωματίου (~20°C). Για εφαρμογές όπου θέλουμε να κρατήσουμε της θερμοκρασίες χαμηλά π.χ. -5°C θα πρέπει να διαλέξουμε και το ανάλογο ΥΑΦ.
- Μη εμφάνιση υπέρψυξης. Εάν το σημείο τήξης βρίσκεται ψηλότερα από το σημείο στερεοποίησης τότε εμφανίζεται το φαινόμενο της υπέρψυξης ή αλλιώς υπόψυξης. Τα ΥΑΦ που χρησιμοποιούμε δεν θα πρέπει να εμφανίζουν αυτό το φαινόμενο και γίνονται διάφορες προσπάθειες περιορισμού αυτού του φαινομένου.
- Χημική σταθερότητα.

- Μη διαβρωτικό. Το ΥΑΦ που χρησιμοποιούμε πρέπει να είναι μη διαβρωτικό ώστε να μην καταστρέφει το υλικό αποθήκευσης ή το υλικό με το οποίο έρχεται σε άμεση επαφή.
- Μη τοξικό. Το ΥΑΦ πρέπει να είναι φιλικό προς το περιβάλλον.
- Μη εύφλεκτο. Δεν θέλουμε το ΥΑΦ που χρησιμοποιούμε να είναι εύφλεκτο.
- Χαμηλή τιμή και διαθεσιμότητα. Είναι καλό τα υλικά που χρησιμοποιούμε να είναι προσιτά και εύκολα διαθέσιμα διότι έτσι διευκολύνεται και η διαδικασία των πειραμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : Σύνθετα ΥΑΦ και Solid-Solid ΥΑΦ

7.1 Solid-solid ΥΑΦ

Τα συνήθη ΥΑΦ που χρησιμοποιούνται σε πειράματα και εφαρμογές είναι υλικά τα οποία στηρίζονται στην αλλαγή φάσης από υγρή σε στερεή παρουσιάζουν ένα βασικό πρόβλημα στην εφαρμογή τους που δεν είναι άλλο από την επιβεβλημένη αποθήκευσή της για την αποφυγή της διαρροής. Οι μέθοδοι που παρουσιάστηκαν νωρίτερα για αποθήκευση σε κάψουλες είναι ένας τρόπος με τον οποίο τα ΥΑΦ μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε εφαρμογή παρακάμπτοντας το πρόβλημα της διαρροής αλλά παράλληλα αυξάνουν αρκετά και το κόστος.

Έρευνες τα τελευταία 30 με 40 χρόνια σχετικά με τις φυσικές ιδιότητες των στερεών έδειξαν ότι μερικά από αυτά υφίστανται αλλαγές φάσης στη σταθερή τους μορφή οι οποίες συνοδεύονται από υψηλές τιμές ενθαλπίας. Αυτά τα υλικά αλλάζουν κρυσταλλική δομή σε μία συγκεκριμένη και σταθερή θερμοκρασία και η αλλαγή αυτή μπορεί να έχει τόσο αποδοτικά αποτελέσματα όσο και το πιο αποτελεσματικό στερεό-υγρό ΥΑΦ.

Για την προετοιμασία ΥΑΦ στερεής φάσης υπάρχουν δύο γενικοί κανόνες : η φυσική μέθοδος στην οποία σύνθετα ΥΑΦ δημιουργούνται με διασπορά των ΥΑΦ σε πολυμερή μήτρα, κάτι το οποίο της μπορεί να οδηγήσει σε διαχωρισμούς κατά τη διάρκεια αλλαγής φάσεων. Η άλλη μέθοδος είναι μία χημική διεργασία, μετά την οποία τα ΥΑΦ χάνουν την ρευστότητά τους σε μεγαλύτερη θερμοκρασία από τη θερμοκρασία τήξης τους και άρα το πρόβλημα της διαρροής ξεπερνιέται[28].

Είναι προφανές ότι υλικά με μεγάλη έκλυση λανθάνουσας θερμότητας από στερεά σε στερεά μεταβολή είναι αρκετά ελκυστικά για χρήση ως υλικά αποθήκευσης θερμότητας. Εκτός του ότι δεν είναι αναγκαίο κάποιο αποθηκευτικό μέσο για τα στερεά ΥΑΦ της δεν παρουσιάζουν καμία εξωτερική αλλαγή εκτός από μικρές διαστολές/συστολές. Οι μετασχηματισμοί στερεάς κατάστασης ονομάζονται αλλοτροπικοί ή πολυμορφικοί μετασχηματισμοί. Πρόκειται για το φαινόμενο κατά το οποίο πολλά στοιχεία ή ενώσεις κρυσταλλώνονται σε περισσότερες από μία κρυσταλλικές δομές κάτω από διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας. Η αλλαγή της κρυσταλλικής δομής συνεπάγεται αρκετές αλλαγές σε διάφορες ιδιότητες των υλικών , όπως η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η ειδική θερμότητα κ.α. Οι μετασχηματισμοί που γίνονται σε στερεή κατάσταση δεν πραγματοποιούνται στιγμιαία λόγω ορισμένων εμποδίων που επιβραδύνουν την εξέλιξη της αντίδρασης του μετασχηματισμού , η οποία εξαρτάται από το

χρόνο. Για παράδειγμα, ένα τέτοιο εμπόδιο είναι ότι οι περισσότεροι μετασχηματισμοί οδηγούν στο σχηματισμό τουλάχιστον μιας νέας φάσης, η οποία έχει διαφορετική κρυσταλλική δομή από εκείνη του μητρικού πλέγματος από το οποίο προέρχεται. Είναι ανάγκη λοιπόν να πραγματοποιηθούν ανακατανομές ατόμων κάτι που είναι εξαρτώμενο του χρόνου. Το πρώτο στάδιο που συνοδεύει έναν τέτοιο μετασχηματισμό φάσης είναι η πυρηνοποίηση, ο σχηματισμός δηλαδή υπομικροσκοπικών σωματιδίων, των πυρήνων της νέας φάσης. Τέλος ακολουθεί το στάδιο της ανάπτυξης, κατά τη διάρκεια της οποίας οι πυρήνες αναπτύσσονται[29].

Σε μελέτη όπου εξετάστηκαν οι θερμικές ιδιότητες του dC₆Br ως ΥΑΦ στερεής φάσης έγιναν εμφανή τα πλεονεκτήματα τέτοιων ΥΑΦ σε σχέση με τα συμβατικά. Η απορρόφηση ενέργειας από το ΥΑΦ γίνεται μέσω της “τήξης” των αλκυλικών αλυσίδων στη σταθερή φάση του ΥΑΦ και μάλιστα σε θερμοκρασία δωματίου (~20°C), κάτι που το καθιστά ελκυστικό για τις κτιριακές εφαρμογές. Στη μελέτη αυτή το ΥΑΦ επεβλήθη σε 1000 θερμικούς κύκλους από -15°C έως και 50°C χρησιμοποιώντας DSC και παρατηρήθηκε μόνο μία μείωση της τάξης του 3% της λανθάνουσας θερμότητας κάτι που υποδεικνύει τη σταθερότητα του συγκεκριμένου ΥΑΦ [30].

Η PCM Products Ltd έχει παρουσιάσει έναν κατάλογο προϊόντων ΥΑΦ στερεής φάσης με θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 25°C έως και 180°C και με λανθάνουσα θερμότητα από 110kj/kg έως 280kj/kg. Η θερμική αγωγιμότητα αυτών των προϊόντων είναι της τάξης των 0,36W/mk της φαίνεται και στον πίνακα 7-1 που ακολουθεί[26].

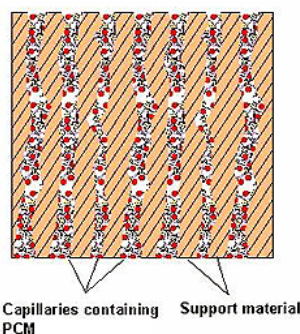
PCM Type	Phase Change Temperature		Density		Latent Heat Capacity		Volumetric Heat Capacity		Specific Heat Capacity		Thermal Conductivity	
	(°C)	(°F)	(kg/m ³)	(lb / ft ³)	(kJ/kg)	(Btu / lb)	(MJ/m ³)	(Btu / ft ³)	(kJ/kg K)	(Btu / lb °F)	(W/m K)	(Btu / ft ² h°F)
SOLID-SOLID PCM SOLUTIONS												
X25	25	77	1,055	65.9	110	47	116	3,115	1.63	0.386	0.360	0.208
X30	30	86	1,050	65.5	105	45	110	2,959	1.65	0.391	0.360	0.208
X40	40	104	1,046	65.3	125	54	131	3,509	1.67	0.396	0.360	0.208
X55	55	131	1,060	66.2	115	49	122	3,272	1.62	0.384	0.360	0.208
X70	70	158	1,085	67.7	125	54	136	3,640	1.57	0.372	0.360	0.208
X80	80	176	1,193	74.5	140	60	167	4,483	1.52	0.360	0.360	0.208
X90	90	194	1,200	74.9	135	58	162	4,348	1.51	0.358	0.360	0.208
X95	95	203	1,215	75.9	140	60	170	4,565	1.51	0.358	0.360	0.208
X120	120	248	1,245	77.7	180	77	224	6,015	1.50	0.355	0.360	0.208
X130	130	266	1,280	79.9	260	112	333	8,932	1.47	0.348	0.360	0.208
X165	165	329	1,304	81.4	230	99	300	8,050	1.43	0.339	0.360	0.208
X180	180	356	1,330	83.0	280	120	372	9,995	1.40	0.332	0.360	0.208

7-1 ΥΑΦ στερεής φάσης της εταιρίας PCM Products Ltd.

7.2 Σύνθετα ΥΑΦ

7.2.1 Δομή

Ως σύνθετο ΥΑΦ ονομάζεται το τελικό προϊόν που αποτελείται κατά ένα μεγάλο ποσοστό από ένα συμβατικό ΥΑΦ και από ένα υλικό που παίζει το ρόλο του σταθεροποιητή. Το ΥΑΦ διανέμεται ομοιογενώς στη μήτρα του υλικού στήριξης και μαζί αποτελούν το τελικό προϊόν το οποίο δεν αλλάζει κρυσταλλική δομή κάτι που είναι πολύ σημαντικό επειδή δεν έχουμε απώλεια της αποθηκευτικής ικανότητας λανθάνουσας θερμότητας[15].



7-2 Δομή σύνθετου ΥΑΦ

7.2.2 Λειτουργία σύνθετων ΥΑΦ

Όταν το ΥΑΦ φτάνει στη θερμοκρασία τήξης του και αρχίζει να αλλάζει φάση, μέσα στην ειδική δομή στήριξης λόγω των ειδικά διασταυρωμένων συνδέσεων του υλικού στήριξης το υγρό πλέον ΥΑΦ δεν έχει τη δυνατότητα διαρροής. Τα κενά αέρος που υπάρχουν μέσα στη σύνθετη αυτή δομή επιτρέπουν και τις μεταβολές όγκου. Σαν τελικό προϊόν λοιπόν έχουμε ένα ΥΑΦ που δεν αλλάζει φάση φαινομενικά-εξωτερικά και αυτό το καθιστά πολύ εύχρηστο[15].

7.2.3 Εφαρμογές με σύνθετα ΥΑΦ

Επειδή το ΥΑΦ που χρησιμοποιείται κυρίως στα σύνθετα ΥΑΦ είναι συνήθως οργανικό, είναι σημαντικό να βρεθεί τρόπος ενίσχυσης της θερμικής αγωγιμότητας αρχικά του οργανικού ΥΑΦ (π.χ. παραφίνες) και κατ' επέκταση του τελικού σύνθετου προϊόντος. Έτσι οι Lei Zhang et al. επικεντρώθηκαν στην ενίσχυση αυτού του συντελεστή. Στη μελέτη τους χρησιμοποίησαν πρόσθετα γραφίτη ώστε να πετύχουν αυτή την ενίσχυση. Τα αποτελέσματα δείχνουν αύξηση και του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας αλλά και του συντελεστή ηλεκτρικής αγωγιμότητας[32].

Οι Barrio et al. με την εφαρμογή σύνθετων υλικών στο δάπεδο ενός δωματίου, παρουσίασαν πολύ καλά αποτελέσματα ως προς την αποθηκευόμενη ενέργεια και την αλλαγή της ανάγκης ηλεκτροδότησης από τις ώρες αιχμής στις ώρες φτηνού ηλεκτρικού ρεύματος[33].

Πειράματα έχουν γίνει και για την κατασκευή δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης με σύνθετα ΥΑΦ. Το πείραμα έγινε από της Font et al. και το ΥΑΦ τοποθετήθηκε σε 5 διαφορετικές αποστάσεις από το πάνω μέρος του δοχείου. Το πείραμα διεξήχθη για δύο διαφορετικές θερμοκρασίες 53°C και 65°C, της οποίες έπρεπε να διατηρηθεί το ΥΑΦ. Ήταν απαραίτητη η φόρτιση του ΥΑΦ για οχτώ ώρες στον ήλιο. Αυτό που μελετήθηκε ήταν ο απαιτούμενος χρόνος φόρτισης ανάλογα με την απόσταση από την επιφάνεια του δοχείου και φυσικά όσο πιο μακριά από την επιφάνεια τόσο περισσότερο χρόνο φόρτισης χρειαζόταν[31].

Μέσα από τα διάφορα πειράματα που αφορούν τα σύνθετα ΥΑΦ έχουν βγει μερικά συμπεράσματα :

- Τα σύνθετα ΥΑΦ με βάση της παραφίνες είναι τα πιο εύκολα στην παρασκευή και παρουσιάζουν πολύ καλές ιδιότητες εκτός του μικρού συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ο οποίος επιδέχεται βελτιώσεων.
- Πολλά από τα σύνθετα ΥΑΦ με βάση την πολυαιθυλενογλυκόλη παρουσίασαν το πρόβλημα της υπέρψυξης το οποίο μας αποτρέπει από το να τα χρησιμοποιήσουμε.

Τα σύνθετα ΥΑΦ δεν είναι ακόμα διαθέσιμα στην αγορά διότι υπάρχει ακόμα ένα μεγάλο κομμάτι προς διερεύνηση ως προς την αποδοτικότητα, την αποτελεσματικότητα και τη χρήση τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : Ενδοδαπέδια θέρμανση

8.1 Τα πλεονεκτήματα της ενδοδαπέδιας θέρμανσης

Η ενδοδαπέδια θέρμανση έχει αρχίσει στις μέρες μας να χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο. Οι λόγοι για τους οποίους θα έκανε κάποιος την επιλογή της ενδοδαπέδιας και όχι ενός συμβατικού συστήματος θέρμανσης είναι πολλοί. Αρχικά, ένας προφανής λόγος είναι από αισθητικής πλευράς η έλλειψη σωμάτων θέρμανσης καθώς και η εξοικονόμηση χώρου.

Στην ενδοδαπέδια θέρμανση η θερμότητα διαδίδεται με ακτινοβολία και είναι αρκετά αποτελεσματική. Σωλήνες περνούν κάτω από το δάπεδο του εκάστοτε κτιρίου μέσα από τους οποίους περνά νερό θερμοκρασίας από 35°C έως και 45°C. Έτσι γίνεται άμεσα αντιληπτό πως σε σύγκριση με τους συμβατικούς τρόπους θέρμανσης όπου χρειαζόμαστε νερό θερμοκρασίας 70-80°C η ενδοδαπέδια θέρμανση θα είναι , ενεργειακά, λιγότερο απαιτητική. Οι διαφορές θερμοκρασίας που επικρατούν στο δάπεδο και στο ανώτερο μέρος του ανθρώπινου σώματος, το κεφάλι, είναι μικρές και άρα επιτυγχάνεται θερμική άνεση. Επειδή η θερμοκρασία του αέρα δεν είναι υψηλότερη από αυτή των τοίχων δεν συμβαίνει συμπύκνωση στους τοίχους άρα δεν υπάρχει και λόγος ύγρανσης του χώρου τον χειμώνα. Ακόμη, η μεταφορά του αέρα είναι ελάχιστη και έτσι ελαχιστοποιείται η μετακίνηση της σκόνης[34].

8.2 Τοποθέτηση-εγκατάσταση ενδοδαπέδιας θέρμανσης

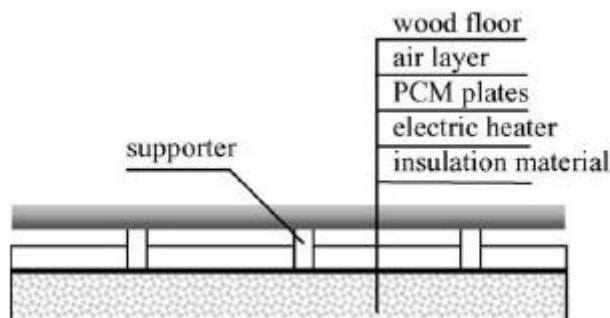
Οι σωλήνες όπου κυκλοφορεί το νερό είναι πολυαιθυλενίου, με αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες. Κατά την εγκατάσταση είναι σημαντικό να υπάρχει μία απόσταση της τάξεως των 100mm των σωληνώσεων από τους τοίχους του κτιρίου. Σε μία τυπική περίπτωση εγκατάστασης ενδοδαπέδιας , η αρχή γίνεται με την τοποθέτηση της μεμβράνης για προστασία από υγρασία, ή αλλιώς υγρομόνωση. Έπειτα ακολουθεί η πλάκα σκυροδέματος και η περιμετρική μόνωση στους τοίχους η οποία θα έχει τέτοιο βάθος ώστε να περιλαμβάνει όλο το σύστημα από το σκυρόδεμα έως το δάπεδο. Ύστερα τοποθετείται η μόνωση, η οποία συνηθέστερα θα είναι πολυουραιθάνη με πάχος περίπου 50mm. Η τοποθέτηση των σωληνώσεων γίνεται αμέσως μετά, και ακολουθεί ένα στρώμα κονιάματος πάχους 65-75mm ώστε να μπορέσει να γίνει και η τελική επίστρωση του δαπέδου[34].

Στην περίπτωση του ξύλινου δαπέδου υπάρχουν διάφορες τεχνικές με τις οποίες εγκαθίσταται η ενδοδαπέδια θέρμανση και αυτό λόγω της μικρής θερμικής αγωγιμότητας που παρουσιάζει το ξύλο σε σχέση με το κλασικό κονίαμα. Έτσι σε μία εγκατάσταση σε ξύλινο δάπεδο προσφέρονται διάφορες

λύσεις στο εμπόριο. Μία από αυτές είναι η τοποθέτηση πολυουραιθάνης σαν μόνωση μεταξύ των δοκών σε σφιχτή συναρμογή και η τοποθέτηση των σωληνώσεων πάνω στο στρώμα της μόνωσης. Οι σανίδες του δαπέδου δεν θα πρέπει να έχουν απόσταση μεγαλύτερη των 25mm από τη μόνωση της πολυουραιθάνης. Ένας διαφορετικός τρόπος εγκατάστασης χρησιμοποιεί πλάκες αλουμινίου εκπομπής θερμότητας, κάτι που αυξάνει πάρα πολύ το τελικό κόστος. Ακόμη, ένας εναλλακτικός τρόπος είναι η εγκατάσταση συστήματος λεπτών φύλλων μετάλλου με επικάλυψη πολυαιθυλενίου για μόνωση[35].

8.3 Μελέτες ενδοδαπέδιας θέρμανσης σε συνδυασμό με ΥΑΦ

Στην μελέτη των Kunring Lin et al. το 2004, εξετάστηκε η περίπτωση ενδοδαπέδιας θέρμανσης με πλάκες ΥΑΦ σταθερού σχήματος. Οι πλάκες αυτές αποτελούνταν από 75% παραφίνη και 25% πολυαιθυλένιο ως υποστηρικτικό-σταθεροποιητικό υλικό. Η θερμοκρασία αλλαγής φάσης της παραφίνης ήταν 52°C ενώ η λανθάνουσα θερμότητα τήξης 200kJ/kg. Για τη μελέτη χρησιμοποιήθηκε ένα πειραματικό σπίτι στην Κίνα διαστάσεων 3Χ2Χ2 μ. , το οποίο είχε και ένα παράθυρο με νότιο προσανατολισμό διαστάσεων 1,6Χ1,5 μ. . Το υλικό κατασκευής της οροφής και των τοίχων ήταν πολυστυρένιο ενώ η διαστρωμάτωση του δαπέδου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Το υλικό της μόνωσης ήταν πολυστυρένιο.



8-1 Διαστρωμάτωση ξύλινου δαπέδου με ενδοδαπέδια και πλάκες ΥΑΦ

Οι μετρήσεις έγιναν τον Απρίλιο του 2003, και όταν όλες οι εσωτερικές συσκευές λειτουργούσαν μέσα στο σπίτι έδιναν περίπου 150W. Τα συμπεράσματα από την μελέτη ήταν τα εξής :

- Το σύστημα θέρμανσης αύξησε την εσωτερική θερμοκρασία, ενώ η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ μέρας και νύχτας δεν άλλαξε.

- Η θερμοκρασία των πλακών ΥΑΦ κρατήθηκε σε θερμοκρασία άνω των 45°C για πάνω από δέκα ώρες αφού σταματούσε τη λειτουργία της η ενδοδαπέδια θέρμανση. Παραπάνω λοιπόν από τη μισή ενέργεια θέρμανσης άλλαξε από τις ώρες αιχμής της βραδινές ώρες φτηνού ρεύματος, προσφέροντας έτσι μεγάλη οικονομία.
- Στο εσωτερικό του σπιτιού δεν παρατηρήθηκαν αποκλίσεις (λιγότερο από 5°C) μεταξύ δύο σημείων μέσα στο χώρο, το ένα στο 0,5 και το άλλο στο 1,5 μ. από το δάπεδο. Κάτι τέτοιο δείχνει πως επιτεύχθηκε και θερμική άνεση μέσα στο δωμάτιο[30].

Σε μία άλλη μελέτη, των M.Farid και W.J.Kong , το 2001, χρησιμοποιήθηκαν ΥΑΦ με αλλαγή από υγρή σε στερεή φάση τα οποία χρειάστηκαν δοχεία αποθήκευσης για την αποφυγή διαρροών, και ενσωματώθηκαν στο σκυρόδεμα του δαπέδου. Σαν αποτέλεσμα η διακύμανση της θερμοκρασίας του δαπέδου ήταν πολύ μικρή σε σχέση με το δάπεδο χωρίς ΥΑΦ , ενώ η θερμοκρασία του δαπέδου διατηρήθηκε σε πολύ καλά επίπεδα καθ'όλη τη διάρκεια της ημέρας παρόλο που η θέρμανση δούλεψε μόνο για 8 ώρες [36].

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (ΜΕΡΟΣ Α)

- [1] Γεώργιος Μπεργελές, ΠΗΓΕΣ, ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ
- [2] <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>.
- [3] COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS, Brussels, 10.11.2010
- [4] Κίμωνας Αντωνόπουλος, Κλιματισμός
- [5] ΤΟ ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ GREENBUILDING, ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΝΕΡΟΥ-ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ
- [6] ΛΑΖΑΡΗ Α. ΕΥΓΕΝΙΑ ΒΙΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ:ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ,2002
- [7] Μαλεφάκης Ν.,ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΣΗΣΕΣ ΤΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ, 2008
- [8] Ηλιάδης Γ.,Οι Ενεργειακοί Υαλοπίνακες ως μέσο εξοικονόμησης Ενέργειας στα Κτίρια
- [9] Gabriel Perez et al., *Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings*, 2011
- [10] Omidreza Saadatian et al. , *Trombe walls: A review of opportunities and challenges in research and development*, 2012
- [11] Francesco Fiorito, *Trombe walls for lightweight buildings in temperate and hot climates. Exploring the use of phase-change materials for performances improvement*, 2012
- [12] Ji Jie et al., *Trombe wall with Pv shells*, 2006
- [13] H.Manz et al., *Trombe wall with transparent insulating material and pcm*.
- [14] Zouhair A.H και Marcel L., *Hybrid system*
- [15] <http://www.rubitherm.de/>. (n.d.).
- [16]http://portal.efet.gr/portal/page/portal/efetnew/authorities_control/control_auth_trait_rai/programs
- [17] Ana Vaz S´a et al, *Thermal enhancement of plastering mortars with Phase Change Materials: experimental and numerical approach*, 2011
- [18] McMurry, J. *Οργανική Χημεία*.
- [19] Aydin et al., *High-chain fatty acid esters of 1-hexadecanol for low temperature thermal energy storage with phase change materials*,2011
- [20] <http://rgees.com/products.php>
- [21] <http://climatetechwiki.org/technology/jiqweb-pcm-0>
- [22] Χ. Τζιβανίδης, Κ.Α. Αντωνόπουλος, Ε.Δ. Κραββαρίτης, ΧΡΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ (PCM) ΣΕ ΗΛΙΑΚΟ ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΟΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΧΩΡΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ
- [23] R.P.W.Scott. *Physical Chemistry resources*.
- [24] Jong Hyeon Pecka, J.-J. K. (n.d.). *A study of accurate latent heat measurement for a PCM with a low melting temperature using T History method*,2005
- [25] V.V Tyagi et al., *Development of phase change materials based microencapsulated technology for buildings: A review*,2010
- [26] <http://www.pcmproducts.net/>
- [27] Fang et al., *Preparation and characterization of nano-encapsulated n tetradecane as phase change material for thermal energy storage*,2008
- [29] Ahmet Sari et al., *Synthesis and thermal energy storage characteristics of polystyrene-graft-palmitic acid copolymers as solid-solid phase change materials*,2011
- [29] Χρυσουλάκης Γ., Παντελής Δ., *ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ*
- [30] Whitman et al., *Characterization of thermal performance of a solid-solid phase change material, di-n-hexylammonium bromide, for potential integration in building materials*,2012

- [31] Murat Kenisarin et al. *Form-stable phase change materials for thermal energy storage*, 2012
- [32] Lei Zhang et al. *Thermal and electrical conductivity enhancement of graphite nanoplatelets on form-stable polyethylene glycol/polymethyl methacrylate composite phase change materials*, 2012
- [33] Barrio M et al., *Floor radiant system with heat storage by a solid-solid phase transition material*.
- [34] <http://www.underfloorheatingsystems.co.uk/>.
- [35] www.ybsinsulation.com.
- [36] M. Farid, W. K. *Underfloor heating with latent heat storage*.

Β ΜΕΡΟΣ-ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 : Υπολογιστική Μελέτη

9.1 Εισαγωγή-Αρχικοί υπολογισμοί

Στο πειραματικό μέρος θα εξετάσουμε ένα κτίριο στην περιοχή της Αθήνας , με ενδοδαπέδια θέρμανση και υλικά PCM που περικλείονται κάτω από το δάπεδο και τις σωλήνες νερού αλλά και σύνδεση με ηλιακούς συλλέκτες. Οι μετρήσεις θα γίνουν για τους μήνες που χρειάζεται θέρμανση στην Αθήνα ,δηλαδή από τον Νοέμβριο έως και τον Μάρτιο. Το υπό εξέταση κτίριο θα έχει διαστάσεις 10x10x2,8(m) . Ο αριθμός των συλλεκτών στην ταράτσα θα είναι ένας παράγοντας που θα εξεταστεί ώστε να βρούμε τον βέλτιστο αριθμό τους.

Το γεωγραφικό πλάτος στην Αθήνα είναι $\Phi=37,97^\circ$, και η γωνία αζιμουθίου τοποθέτησης των συλλεκτών $\gamma=0^\circ$ (στραμμένοι προς τον Νότο). Οι συλλέκτες θα τοποθετηθούν σε βέλτιστη γωνία για μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία το χειμώνα ίση με $\beta=53^\circ$. Αρχικός βασικός υπολογισμός που πρέπει να γίνει είναι να βρω την ολική ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου G_T .

Για τον υπολογισμό του G_T χρειάζονται οι παρακάτω εξισώσεις (1) έως (5), όπου G_b είναι η ολική άμεση ακτινοβολία, G_d είναι η ολική διάχυτη ακτινοβολία, ρ είναι η ανακλαστικότητα του εδάφους (για χειμώνα η τιμή του διαμορφώνεται όπως στην εξ.(6), ω είναι η ωραία γωνία, θ_z είναι η γωνία ζενίθ, θ η γωνία πρόσπτωσης της άμεσου ακτινοβολίας πάνω σε μία επιφάνεια και δ είναι η ηλιακή απόκλιση. Στην εξ. (7), $n(1-365)$ είναι η ημέρα του έτους [1]-[2].

$$G_T = G_b \cdot R_b + G_d \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + (G_b + G_d) \cdot \rho \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (1)$$

$$R_b = G_{bT} / G_b \quad (2)$$

$$\omega = 0,25 \cdot (\text{min από ηλιακό μεσημέρι}) \quad (3)$$

$$\cos\theta = \sin\delta \cdot \sin(\Phi - \beta) + \cos\delta \cdot \cos(\Phi - \beta) \cdot \cos\omega \quad (4)$$

$$\cos\theta_z = \sin\delta \cdot \sin\Phi + \cos\delta \cdot \cos\Phi \cdot \cos\omega \quad (5)$$

$$\rho = 0,7 \quad (6)$$

$$\delta=23,45*\sin((360*(284+n))/365) \quad (7)$$

Έπειτα βρίσκω τη διάρκεια της ημέρας για κάθε ημέρα των υπολογισμών μου από την εξ. (8). Μετά μπορώ να βρω αντίστοιχα την ακριβή ώρα δύσης και ανατολής από τις εξ. (9) και (10).

$$N(h)=2/15*(\arccos(-\tan\Phi*\tan\delta)) \quad (8)$$

$$H_{\delta\acute{\upsilon}\sigma\eta\varsigma} = 12+ N/2 \quad (9)$$

$$H_{\alpha\nu\alpha\tau\omicron\lambda.} = 12- N/2 \quad (10)$$

Η ανάλυση έγινε για την 21η ημέρα του κάθε μήνα. Έτσι υπολογίστηκε το G_T (W/m^2) για κάθε μήνα και τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί. Ακολουθούν πίνακες με τα υπολογισμένα G_d και G_b για τον κάθε μήνα , καθώς και ο συγκεντρωτικός πίνακας με την υπολογισμένη προσπίπτουσα ακτινοβολία G_T . Όπως είναι εύκολο να παρατηρήσουμε από τους πίνακες 2 έως 6 , κάποιες τιμές δεν είναι λογικές για τις ώρες στις οποίες αντιστοιχούν, δηλαδή κάποιες αρνητικές τιμές και κάποιες πολύ μεγάλες τιμές μετά τις 16:00. Έτσι ο πίνακας (7) μετατρέπεται στον Πίνακα (8).

Πίνακας 2. Τιμές G_d - G_b Νοεμβρίου

Ώρα	Νοέμβριος	
	$G_b(W/m^2)$	$G_d(W/m^2)$
7	-30,3879	-47,4619
8	2,522915	26,18235
9	36,37152	96,95438
10	89,01691	155,3959
11	138,7638	187,7503
12	181,5125	190,5776
13	193,9791	173,8635
14	178,2016	143,4366
15	134,146	108,3706
16	57,73098	77,10447
17	-36,2394	43,91101
18	-126,744	-22,3944

Πίνακας 3. Τιμές Gd -Gb Δεκεμβρίου

Ώρα	Δεκέμβριος	
	G _b (W/m ²)	G _d (W/m ²)
7	-38,7444	-62,9798
8	-10,4679	7,103417
9	15,96282	75,29277
10	63,31002	132,5858
11	106,9735	166,6224
12	141,3146	176,0957
13	151,3618	162,0405
14	143,3924	127,6351
15	103,9345	90,16634
16	36,08621	57,75764
17	-52,9983	26,42317
18	-138,866	-39,3873

Πίνακας 4. Τιμές Gd -Gb Ιανουαρίου

Ώρα	Ιανουάριος	
	G _b (W/m ²)	G _d (W/m ²)
7	-34,8475	-48,6265
8	-5,40629	22,13966
9	23,10667	89,25698
10	71,73542	144,1933
11	115,5116	176,6723
12	148,4797	187,1217
13	159,5756	171,9934
14	157,1808	133,8737
15	117,937	94,87804
16	53,95147	60,58399
17	-34,4509	29,61574
18	-120,225	-32,1828

Πίνακας 5. Τιμές Gd -Gb Φεβρουαρίου

Ώρα	Φεβρουάριος	
	G _b (W/m ²)	G _d (W/m ²)
7	-19,3137	-7,40333
8	17,00909	68,28187
9	56,91626	136,241
10	113,3256	188,2821
11	163,6725	216,2896
12	203,0625	221,4724
13	218,5172	201,6917
14	217,6359	161,2813
15	173,9468	122,1479
16	107,7024	85,7721
17	15,36687	53,4928
18	-75,1037	-1,84709

Πίνακας 6. Τιμές Gd -Gb Μαρτίου

Ώρα	Μάρτιος	
	G _b (W/m ²)	G _d (W/m ²)
7	1,174214	43,49524
8	47,05942	126,1453
9	102,6664	196,3253
10	169,9178	245,9586
11	230,26	268,4456
12	280,7024	264,6942
13	301,945	238,696
14	298,5641	197,9813
15	247,8616	159,9576
16	174,8047	122,0158
17	75,83743	87,40576
18	-21,9281	38,51471

Πίνακας 7. Υπολογισμός G_T

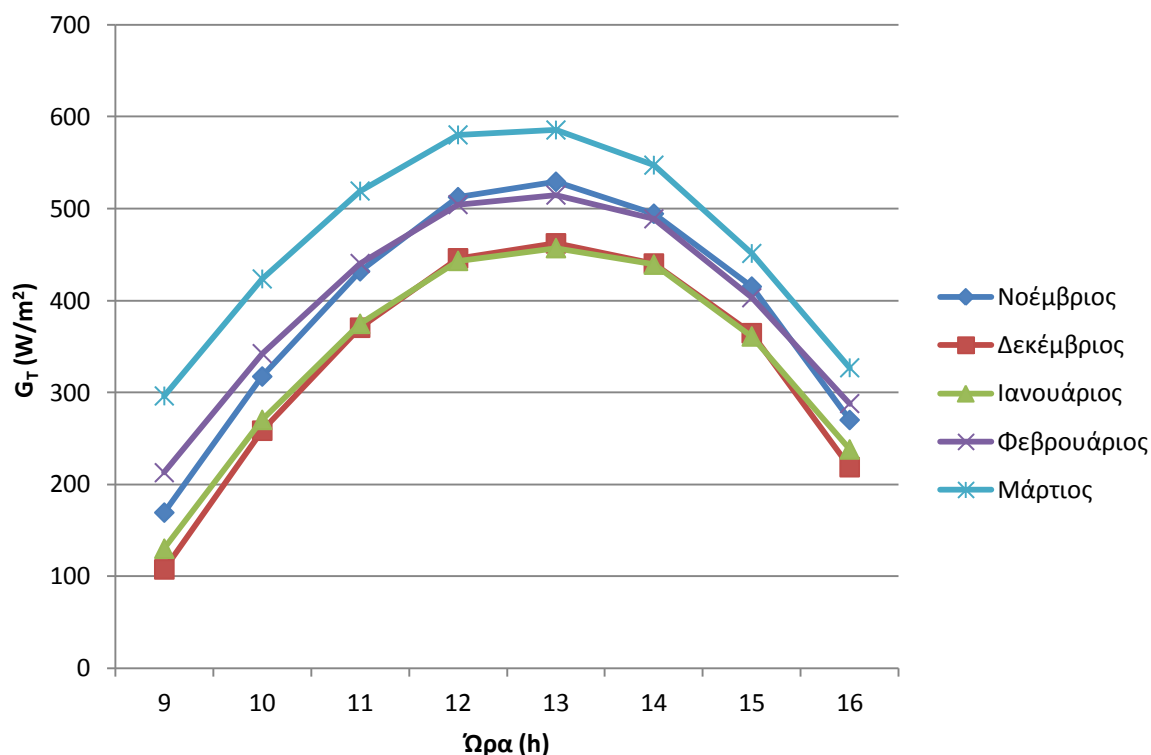
Ώρα	$G_T(W/m^2)$				
	Νοέμβρης	Δεκέμβρης	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος
7	375,4112	168,9617	514,974	-78,0603	38,09478
8	30,98261	-43,40832	-0,14067	91,4929	166,441
9	169,3765	107,63474	130,1379	212,8254	296,2446
10	317,3809	258,45439	270,2668	342,2885	423,503
11	431,8356	370,44216	374,7264	440,3471	519,1192
12	512,4309	445,88967	443,1556	504,3427	580,1556
13	529,1832	462,17673	457,0783	514,697	585,4593
14	494,4141	440,21851	439,1149	488,9462	547,2474
15	415,1729	364,46672	360,9841	403,0675	451,2022
16	270,0912	218,78826	238,0884	287,9488	326,8942
17	532,2036	325,76497	574,4276	102,1289	172,1209
18	29,54528	19,885619	18,82767	27,10956	40,72562

Επίσης στο διάγραμμα 9-1 που ακολουθεί, βλέπουμε γραφικά τις τιμές του G_T συναρτήσει της ώρας. Όπως είναι αναμενόμενο οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται τον μήνα Μάρτιο κάτι που γίνεται άμεσα αντιληπτό και από το διάγραμμα.

Πίνακας 8. Τιμές $G_T(W/m^2)$

Ώρα	$G_T(W/m^2)$				
	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος
9	169,3765	107,63474	130,1379	212,8254	296,2446
10	317,3809	258,45439	270,2668	342,2885	423,503
11	431,8356	370,44216	374,7264	440,3471	519,1192
12	512,4309	445,88967	443,1556	504,3427	580,1556
13	529,1832	462,17673	457,0783	514,697	585,4593
14	494,4141	440,21851	439,1149	488,9462	547,2474
15	415,1729	364,46672	360,9841	403,0675	451,2022
16	270,0912	218,78826	238,0884	287,9488	326,8942

Ακολουθεί το αντίστοιχο διάγραμμα 9-1 του Πίνακα 8 όπου φαίνεται καθαρά πως μεταβάλλεται το G_T συναρτήσει της ώρας.



Διάγραμμα 9-1 Gt συναρτήσει της ώρας

9.2 ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν πέντε διαφορετικά ΥΑΦ, στοιχεία των οποίων φαίνονται στον πίνακα 9. Πρόκειται για αποτελέσματα που έχουν εξαχθεί από το εργαστήριο του Τομέα Θερμότητας του ΕΜΠ.

Πίνακας 9 . Ιδιότητες ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη

Είδος PCM	ελληνική παραφίνη	RT20	RT27	RT58	Μείγμα οργανικού-ανόργανου SP25A8(Rubitherm)
H(kj/kg)	136,5	132,1	167,4	166,1	141,5
T _s (°C)	50	15	22	53	22
T _i (°C)	58	26	31	62	32
C _{ps} (kj/kg*°C)	2,7	1,9	2	1,9	2,6
C _{pl} (kj/kg*°C)	4,4	2,5	2,3	2,6	2,7

Στη συγκεκριμένη εργασία, επελέγη το μοντέλο της συνάρτησης θερμοχωρητικότητας $C_{p,eff}(T)$ διότι, η αλλαγή φάσης ενδιαφέρει μόνο σαν μακροσκοπικό φαινόμενο χωρίς την ανάγκη υπολογισμού περαιτέρω

λεπτομερειών. Σύμφωνα με τη μέθοδο της ενεργού θερμοχωρητικότητας, για τον υπολογισμό του $C_{p,eff}$ χρησιμοποιούμε μια συνάρτηση, η οποία εκτιμήθηκε έπειτα από μετρήσεις στο εργαστήριο κλιματισμού για διάφορα ΥΑΦ και είναι η εξής:

$$C_{p,eff} = 4(H-bC_{ps})(T-T_s)/b^2 + C_{ps} , T_s \leq T \leq T_c \quad (11)$$

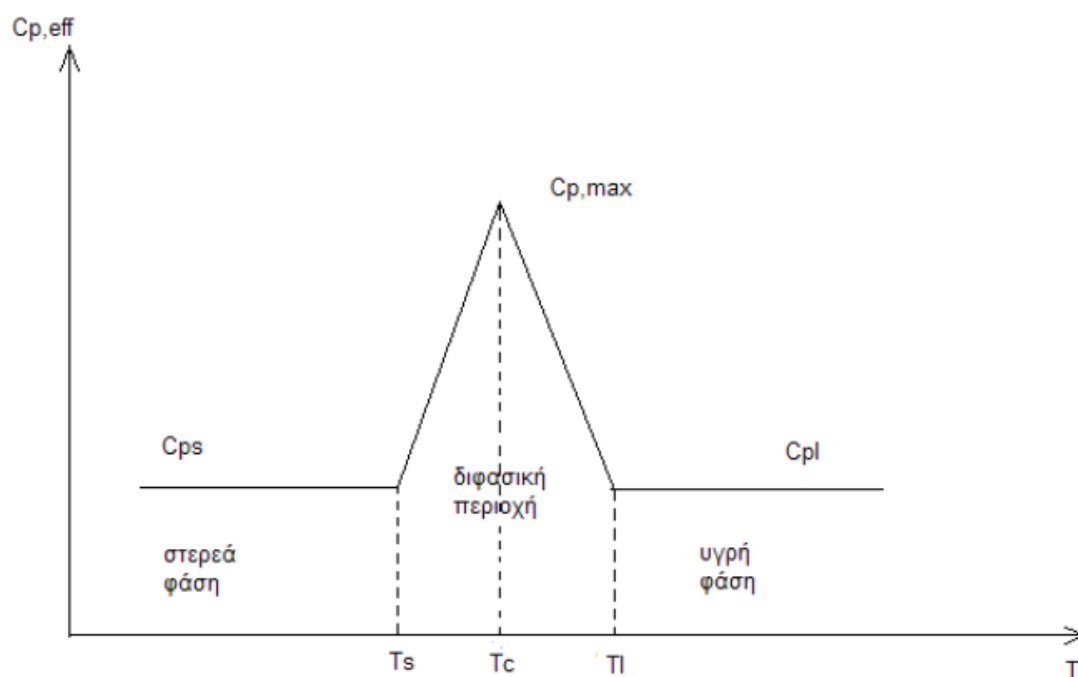
$$C_{p,eff} = 4(bC_{pl}-H)(T-T_s-b/2)/b^2 + (2H)/b-C_{pl} , T_c < T \leq T_l \quad (12)$$

όπου

$$b = T_l - T_s \quad (13)$$

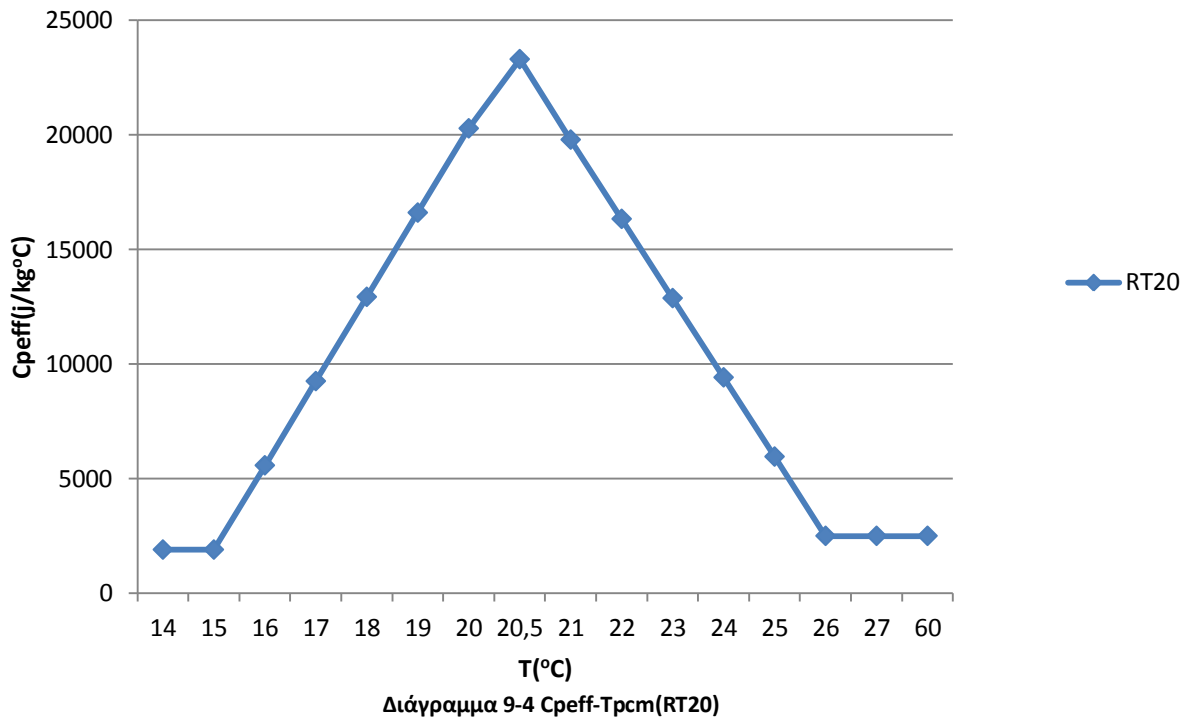
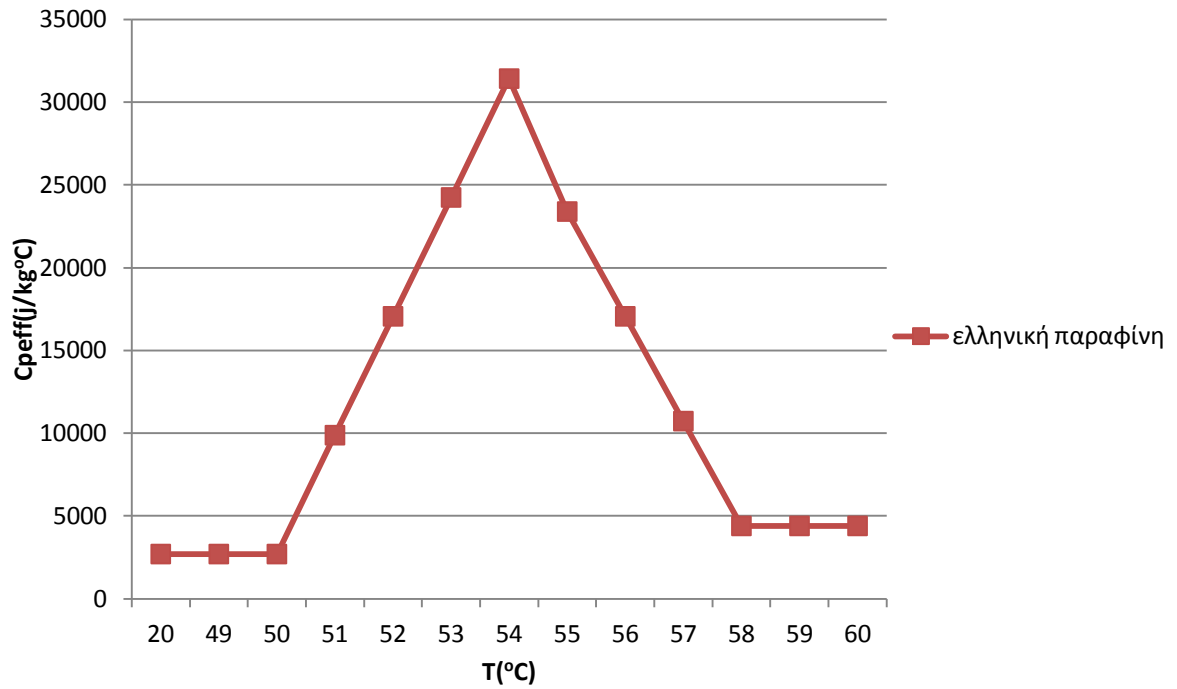
$$T_c = (T_l + T_s)/2 \quad (14)$$

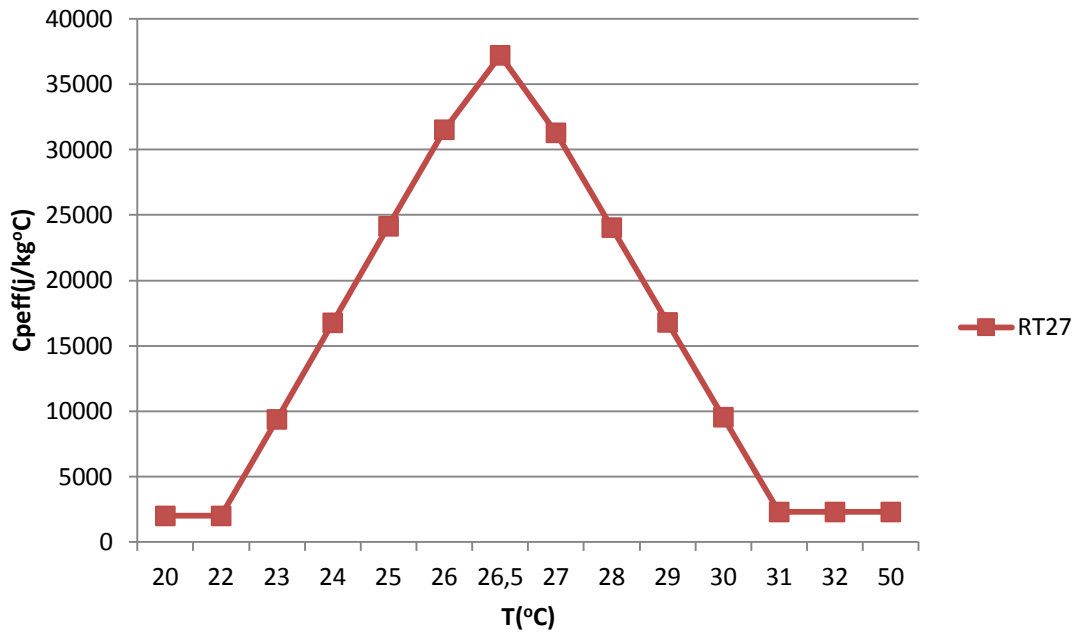
Το διάγραμμα της ενεργού θερμοχωρητικότητας $C_{p,eff}$ συναρτήσει της θερμοκρασίας του ΥΑΦ θα έχει τη μορφή του διαγράμματος 9-2.



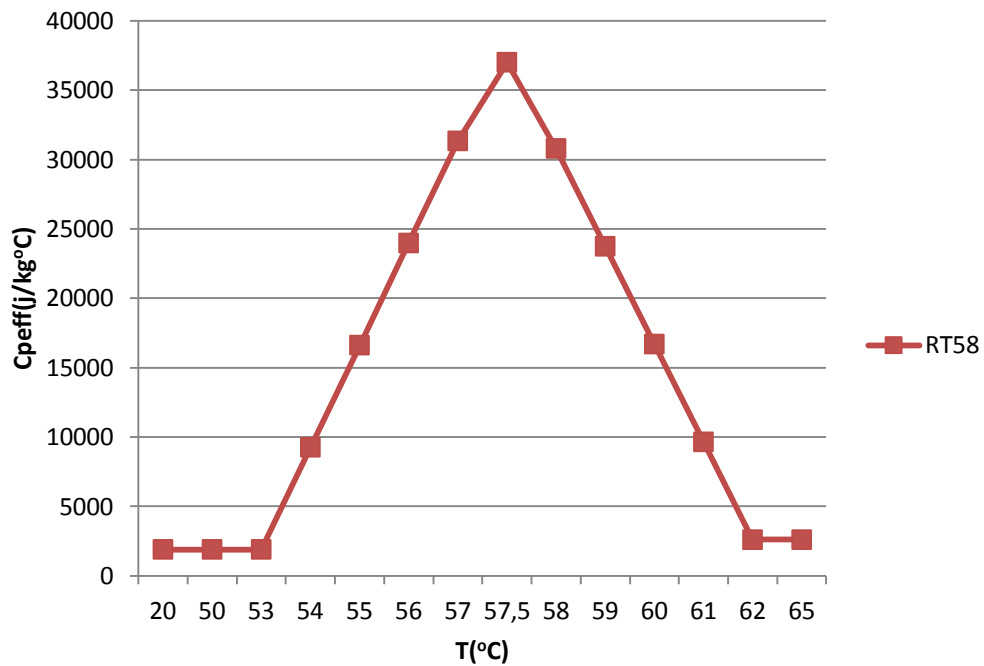
Διάγραμμα 9-2 $C_{p,eff}$ συναρτήσει T_{PCM}

Για τα ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη μελέτη σχεδιάστηκαν τα διαγράμματα $C_{p,eff}$ - T και φαίνονται παρακάτω (9-3 έως 9-7). Αυτό που μπορούμε να παρατηρήσουμε είναι ότι τα διαγράμματα αυτά επιβεβαιώνουν το προηγούμενο διάγραμμα τριγωνικής μορφής.

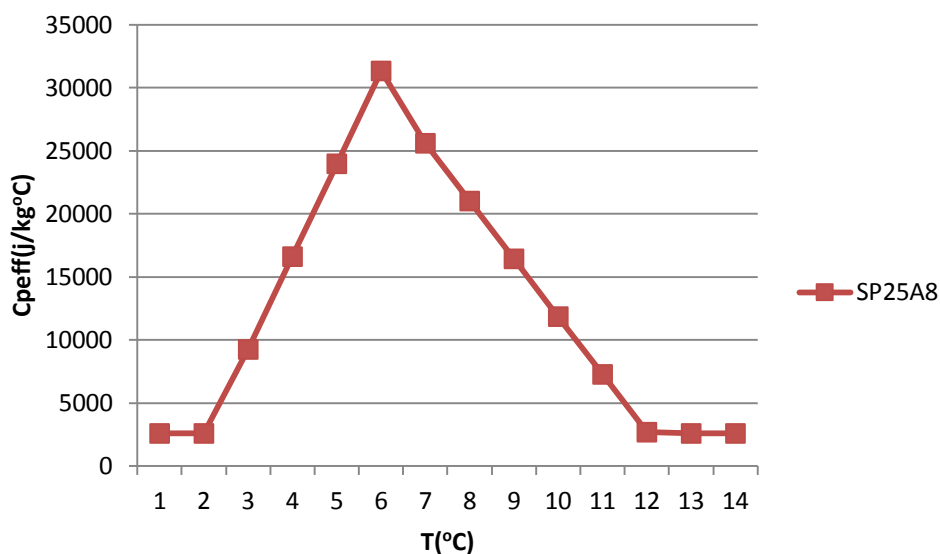




Διάγραμμα 9-5 C_{peff}-T_{pcm} (RT27)



Διάγραμμα 9-6 C_{peff}-T_{pcm} (RT58)



Διάγραμμα 9-7 Cpεff-Tpcm (SP25A8)

9.3 Αριθμητικό μοντέλο

Το βήμα των υπολογισμών είναι η μία ώρα. Η ροή των εξισώσεων οι οποίες επιλύθηκαν καθώς και οι θεωρήσεις απλοποίησης για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων είναι οι παρακάτω:

- 1) Υπολογίζεται το Q_u των συλλεκτών ανά ώρα από την εξ.(15). Το A_c στην εξ.(15) είναι το συνολικό A_c όλων των συλλεκτών. Το T_{in} είναι η θερμοκρασία εισόδου του νερού στους συλλέκτες και T_a είναι η εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος. Θεωρώ μία αρχική θερμοκρασία εισόδου του νερού τυχαία(έστω 12°C) ώστε συνεχίζοντας με τις επαναλήψεις να συγκλίνουμε στη σωστή θερμοκρασία. Θεωρήθηκε πως η θερμοκρασία εξόδου του νερού από τους ηλιακούς συλλέκτες είναι ίση με τη θερμοκρασία εισόδου του νερού στις σωληνες νερού της ενδοδαπέδιας.
- 2) Υπολογίζεται η θερμοκρασία εξόδου του νερού από τους συλλέκτες T_{out} , από την εξ.(16), όπου $M_w=360\text{kg/h}$ είναι η παροχή του νερού που περνάει από τους συλλέκτες ως προς την οποία θα ακολουθήσει παραμετρική μελέτη και $C_{p,n}$ η θερμοχωρητικότητα του νερού $C_{p,n}=4190\text{J/kg}^\circ\text{C}$. Για την T_{out} ,άρα και την θερμοκρασία εισόδου στις σωληνώσεις της ενδοδαπέδιας σύμφωνα με την απλοποίηση που έχει γίνει, υπάρχει ανώτατο και κατώτατο όριο. Βάσει βιβλιογραφίας η θερμοκρασία εισόδου στις σωληνώσεις πρέπει να κυμαίνεται από 35°C έως 50°C . Στους υπολογισμούς τέθηκε ένα άνω όριο 70°C

($T_{out} < 70$) καθώς και ένα κατώτατο όριο εισόδου του νερού στην ενδοδαπέδια 29°C ($T_{out} > 29^{\circ}\text{C}$).

- 3) Υπολογίζεται η θερμοκρασία του εκάστοτε ΥΑΦ για κάθε ώρα, εξ.(17). Η μάζα του ΥΑΦ, M_{pcm} , θεωρείται 4000kg σε όλες τις περιπτώσεις, ενώ $Q_{pcm-\Delta\omega\mu}$ είναι η ροή θερμότητας μεταξύ ΥΑΦ και δωματίου η οποία υπολογίζεται από την εξ.(18). Με A συμβολίζεται το εμβαδό του δαπέδου ($A=100\text{m}^2$) και με U η θερμοπερατότητα ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) η οποία υπολογίζεται στην εξ.(19). Στην εξ.(19) R_i είναι η αντίσταση θερμικής μετάβασης στο εσωτερικό του δωματίου, λαμβάνεται ίση με $R_i=0,2$, d είναι το πάχος του εκάστοτε στρώματος του δαπέδου, και λ είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας[3]. Τα στοιχεία για το κάθε στρώμα δαπέδου φαίνονται στον πίνακα 10. Για τελική επίστρωση δαπέδου έχει επιλεγεί το μάρμαρο.
- 4) Οι υπολογισμοί ξεκινούν με τυχαία αρχική τιμή θερμοκρασίας του υλικού αλλαγής φάσης και προχωρούν μέσα στο 24ωρο μέχρις ότου να υπολογιστεί εκ νέου η αρχική τιμή η οποία θα είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα. Έπειτα από επαναλήψεις (5 συνήθως) συγκλίνουμε στα τελικά αποτελέσματα.
- 5) Θεωρήθηκε πως η θερμοκρασία εξόδου του νερού από τις σωλήνες είναι ίση με τη θερμοκρασία εισόδου στους συλλέκτες.
- 6) Θεωρούμε πως η θερμοκρασία μέσα στο κτίριο παραμένει σταθερή και ίση με 21°C ($T_{\Delta\omega\mu}=21^{\circ}\text{C}$) με τη βοήθεια επιπλέον μέσων (θερμαντικά σώματα, air condition κλπ.)
- 7) Η μάζα του εκάστοτε υλικού αλλαγής φάσης θεωρήθηκε ισοκατανεμημένη γύρω από τους σωλήνες νερού της ενδοδαπέδια εγκατάστασης.

$$Q_u = A_c [F_R T_a G_T - F_R U_L (T_{in} - T_a)] \text{ (Watt)} \quad (15)$$

$$3600 Q_u = M v C_p v (T_{out} - T_a) \quad (16)$$

$$3600 Q_u \pm Q_{pcm-\Delta\omega\mu} = M_{pcm} C_{p\text{eff}} (T_{i+1} - T_i) \quad (17)$$

$$Q_{pcm-\Delta\omega\mu} = A U (T_i - T_{\Delta\omega\mu}) \quad (18)$$

$$1/U = 1/R_i + d_{\sigma\kappa}/\lambda_{\sigma\kappa} + d_{\kappa\omicron\nu}/\lambda_{\kappa\omicron\nu} + d_{\mu\alpha\rho\mu}/\lambda_{\mu\alpha\rho\mu} \quad (19)$$

Πίνακας 10. Συντ.θερμ.αγωγ.(λ) και πάχος στρωμάτων δαπέδου

	σκυρόδεμα	κονίαμα	μάρμαρο
$\lambda(w/m^{\circ}C)$	1,43	0,7	2,9
$d(m)$	0,02	0,007	0,03

9.4 Αρχικός υπολογισμός συλλεκτικής επιφάνειας

Με βάση εμπειρικά δεδομένα και θεωρώντας μία μέση τιμή απωλειών για το συγκεκριμένο κτίριο της τάξεως των $15W/m^2$, έγινε ένας πρόχειρος υπολογισμός της απαιτούμενης συλλεκτικής επιφάνειας, αν και στη συνέχεια θα εξεταστεί η συγκεκριμένη παράμετρος διεξοδικά.

Έγινε λοιπόν αρχικά η παραδοχή των $15W/m^2$ για τις απώλειες του κτιρίου, και έπειτα υπολογίστηκε η απαιτούμενη ενέργεια ανά 24ωρο σύμφωνα με τις απώλειες και τα τετραγωνικά του κτιρίου. Υποθέτω ακόμα έναν μέσο βαθμό απόδοσης περίπου στο 30% και χρησιμοποιώ την εξ.(20) :

$$0,3=Q_u/(AcG_T) \quad (20)$$

Βγάζοντας λοιπόν έναν μέσο όρο για κάθε μήνα του G_T για τις ώρες της ηλιοφάνειας και έπειτα για όλους τους μήνες που μελετούνται, βγάζω σαν αποτέλεσμα $Ac=33m^2$.

Οι ηλιακοί συλλέκτες που χρησιμοποιήθηκαν έχουν τα εξής στοιχεία :

Πίνακας 11. Στοιχεία συλλεκτών

Ηλιακοί συλλέκτες ARISTON KAIROS VT20	$FrU_L(W/^{\circ}Cm^2)$	$Fr(\tau\alpha)$	$Ac(m^2)$
	2,3	0,82	2,11

9.5 Υπολογισμός θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος

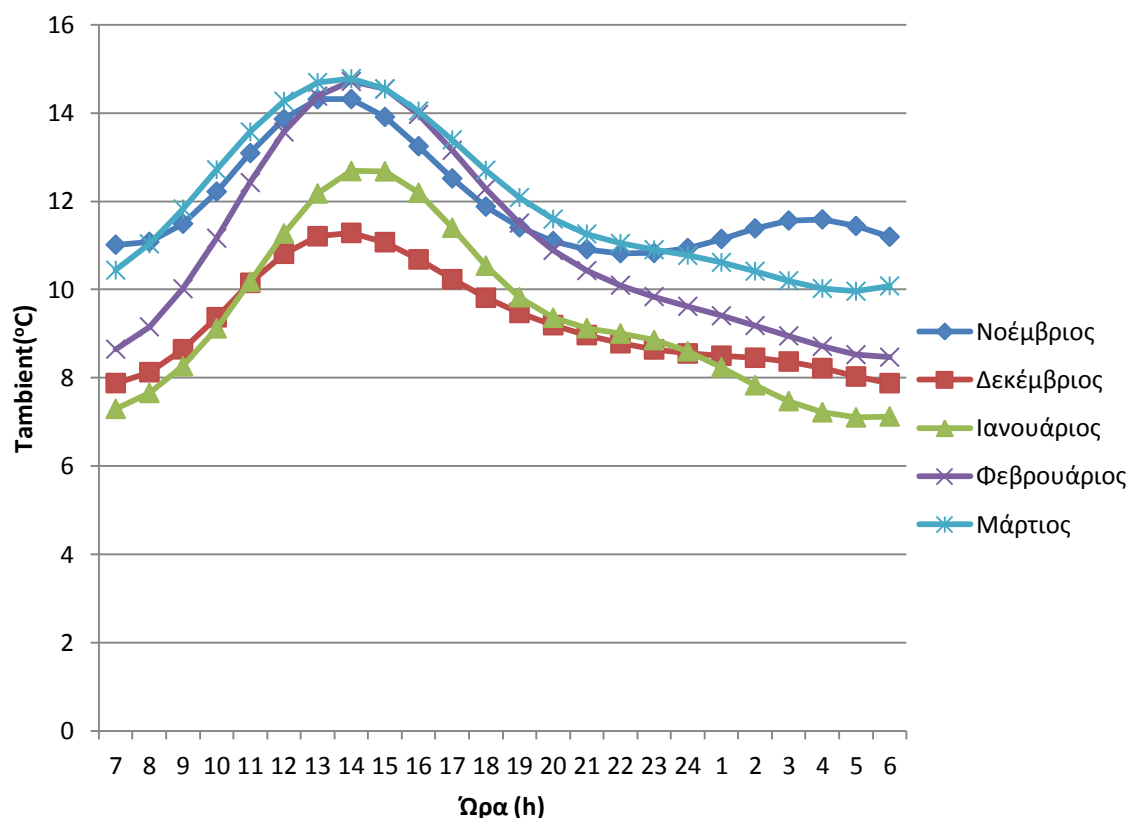
Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις που υπολογίστηκαν από το εργαστήριο του Τομέα Θερμότητας του Ε.Μ.Π. .

$$T_o(H)=M+\sum_{i=1}^3 C_i * \cos[i(360/24)(H - 0,5)]+\sum_{i=1}^3 S_i * \sin[i(360/24)(H - 0,5)] \quad (21)$$

Παρακάτω φαίνεται ο πίνακας των συντελεστών που εμφανίζονται στην εξ.(21)

Πίνακας 12. Συντελεστές συνάρτησης υπολογισμού T_o

M	11,97	9,26	9,38	10,98	11,96
C1	-1,30	-1,11	-1,67	-2,15	-1,90
C2	0,62	0,52	0,71	0,79	0,65
C3	-0,25	-0,15	0,01	-0,11	-0,01
S1	-0,32	-0,88	-1,72	-1,75	-1,08
S2	0,63	0,33	0,52	0,58	0,26
S3	-0,05	0,01	-0,24	-0,07	-0,01



Διάγραμμα 9-8. Εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος

Οι θερμοκρασίες εξωτερικού περιβάλλοντος απεικονίζονται και στο σχεδιάγραμμα 9-8 όπου μπορούμε να δούμε γραφικά τις μεταβολές της θερμοκρασίας ανά ώρα υπολογισμού για τον κάθε μήνα. Από το διάγραμμα εύκολα μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι τους μήνες Δεκέμβριο και

Ιανουάριο έχουμε τις χαμηλότερες θερμοκρασίες, ενώ τις υψηλότερες τις παρατηρούμε τον Μάρτιο. Βάσει αυτών των θερμοκρασιών εξωτερικού περιβάλλοντος θα γίνουν και οι υπολογισμοί για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 : Παραμετρική μελέτη ως προς το ΥΑΦ

Έγινε παραμετρική μελέτη ως προς το ΥΑΦ που ενσωματώνεται στο δάπεδο. Τα ΥΑΦ που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και οι ιδιότητές τους φαίνονται στον Πίνακα 3.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έγιναν για συνολική συλλεκτική επιφάνεια περίπου 30 τετραγωνικών μέτρων, ξεκινούν οι υπολογισμοί για 15 συλλέκτες, άρα συνολική συλλεκτική επιφάνεια 31,65 m². Οι υπολογισμοί γίνονται και για τα πέντε διαφορετικά ΥΑΦ και τα γραφήματα των θερμοκρασιών του κάθε ΥΑΦ συναρτήσει της ώρας φαίνονται παρακάτω και σχολιάζονται. Για τους αρχικούς υπολογισμούς θεώρησα παροχή νερού $Mv=360\text{kg/h}$, και στη συνέχεια θα γίνει παραμετροποίηση ως προς την παροχή.

Στους υπολογισμούς θεώρησα ένα άνω όριο για το νερό που περνάει στις σωληνώσεις τους 70°C παρόλο που βάσει βιβλιογραφίας η θερμοκρασία αυτή πρέπει να είναι κάτω των 45°C . Για λόγους πληρότητας παρουσιάζονται αρχικά και υπολογισμοί που έγιναν με άνω όριο τους 45°C.

Στο διάγραμμα 10-1 παρατηρούμε κάποιες ανωμαλίες στις καμπύλες οι οποίες οφείλονται στο όριο που έχουμε ορίσει για την θερμοκρασία του νερού που θα περνάει από τις σωληνώσεις της ενδοδαπέδιας θέρμανσης. Εδώ έχει οριστεί σαν όριο η $T=45^\circ\text{C}$ και αυτό φαίνεται και από το διάγραμμα που ακολουθεί 10-2, όπου φαίνεται πως η θερμοκρασία νερού που εξέρχεται από του συλλέκτες ξεπερνάει σε όλες τις περιπτώσεις αυτή την τιμή. Είναι εμφανές στα σημεία του διαγράμματος 10-2 όπου η θερμοκρασία παίρνει τιμές πάω από 45°C , αντίστοιχα στο διάγραμμα 10-1 οι καμπύλες στις αντίστοιχες αρχίζουν να πέφτουν.

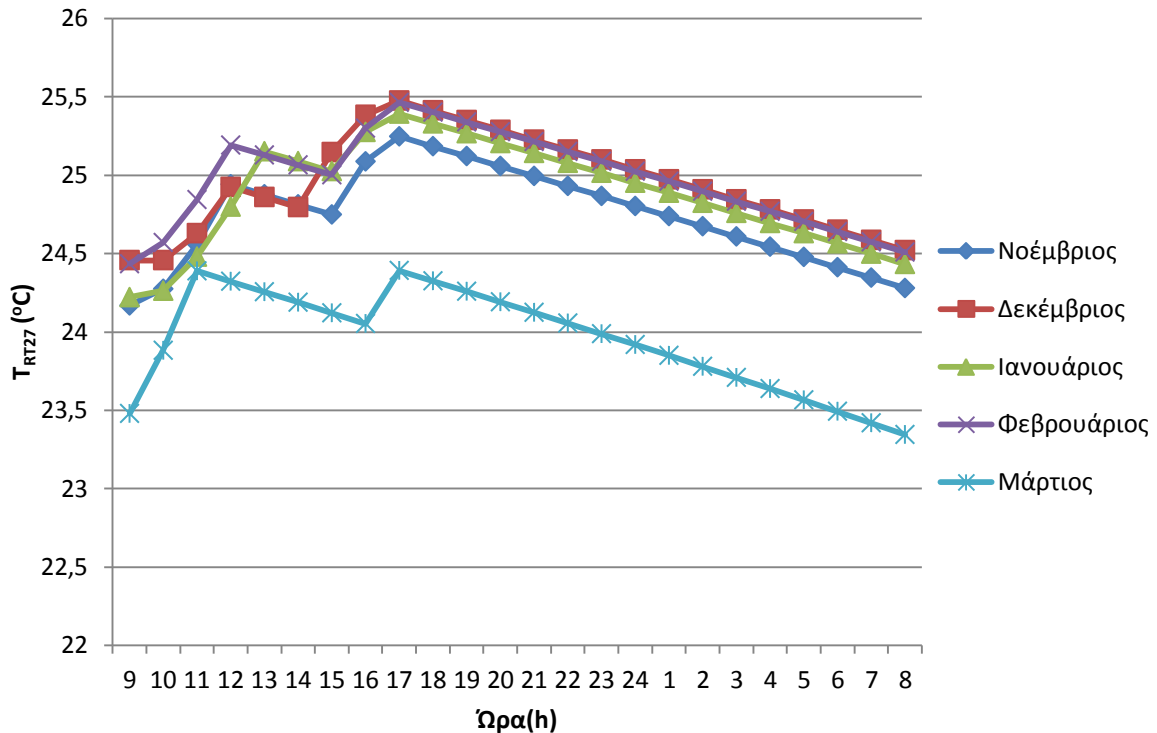
Παράλληλα παρουσιάζεται πάλι η θερμοκρασία του RT27 συναρτήσει της ώρας ,διάγραμμα 10-3, αυτή τη φορά όμως με όριο εισόδου του νερού στις σωληνώσεις τους 70°C.

Στο διάγραμμα 10-3 οι καμπύλες είναι ομοιόμορφες και οι τιμές του ΥΑΦ σε όλους τους μήνες είναι αρκετά μεγαλύτερες από αυτές που εμφανίζονται στο διάγραμμα 10-1. Σε αυτή την περίπτωση η θερμοκρασία εξόδου του νερού βρίσκεται μέσα στα όρια που έχω θέσει $29^\circ\text{C}\leq T_{out}\leq 70^\circ\text{C}$ και άρα η διαδικασία εισαγωγής του νερού στις σωληνώσεις δεν διακόπτεται.

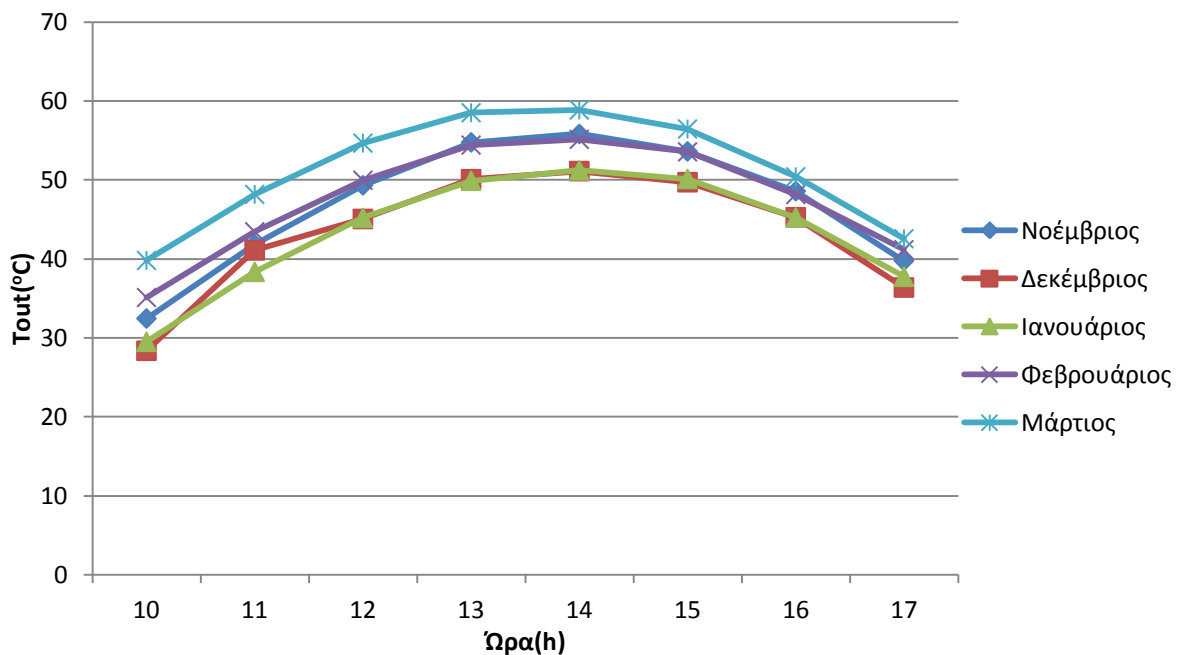
Συνεχίζοντας με το διάγραμμα για την ελληνική παραφίνη και πλέον για όλους τους επόμενους υπολογισμούς με άνω όριο εισαγωγής τους 70°C θα

παρατηρήσουμε ότι σε μερικές περιπτώσεις θα εμφανιστούν θερμοκρασίες άνω των 70°C όπου και πάλι τα διαγράμματα της θερμοκρασίας των ΥΑΦ δεν θα είναι ομαλά όπως και στην περίπτωση του RT27 με άνω όριο τους 45°C.

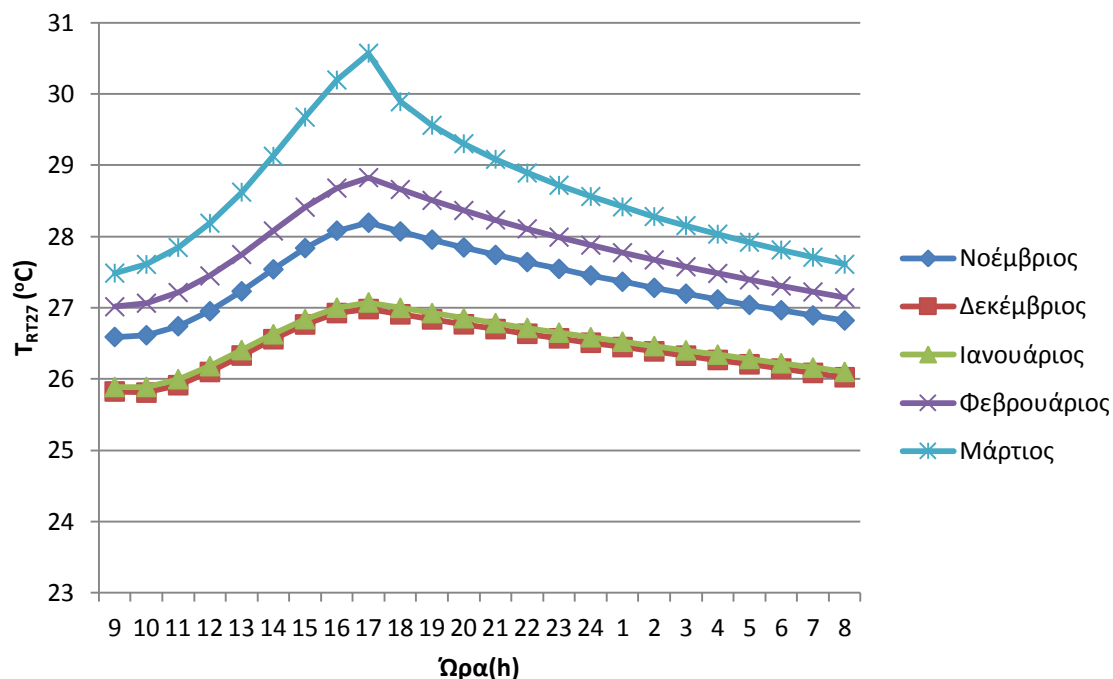
- Ακολουθούν τα διαγράμματα που αφορούν το RT27 :



Διάγραμμα 10-1. Θερμοκρασία RT27 – 15 συλλέκτες – Tout ≤ 45°C

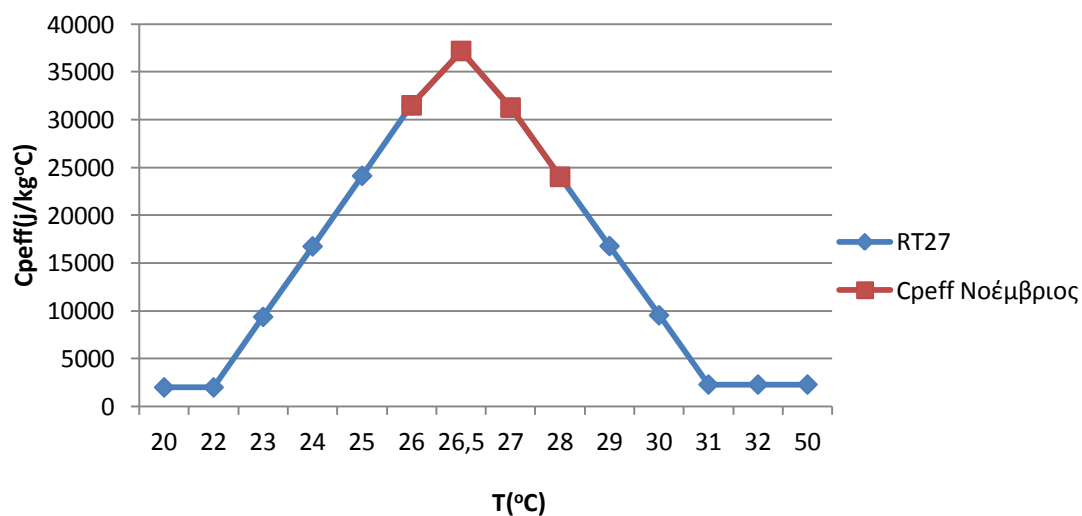


Διάγραμμα 10-2. Θερμοκρασία εξόδου νερού από τους συλλέκτες συναρτήσει της ώρας – RT27 – 15 συλλέκτες

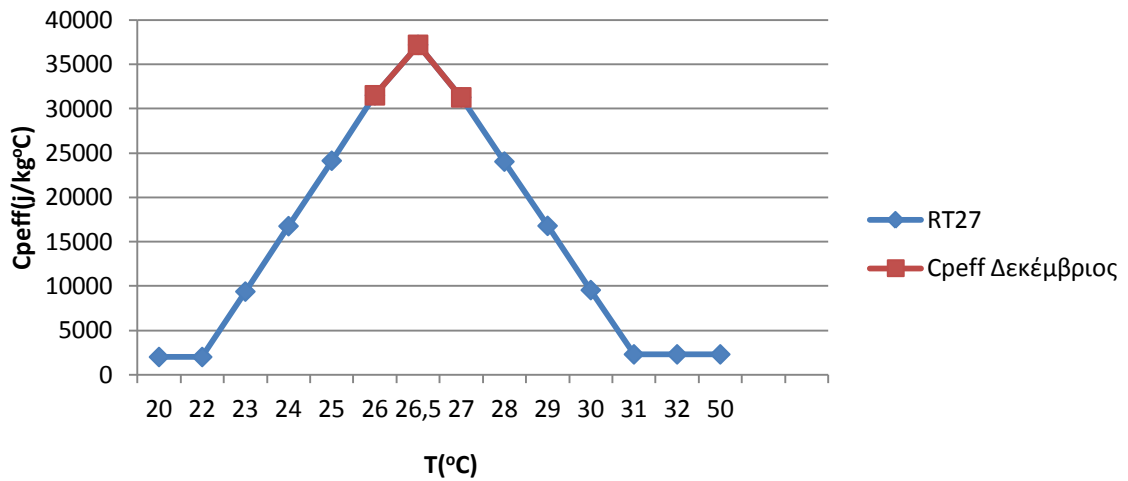


Διάγραμμα 10-3. Θερμοκρασία RT27 – 15 συλλέκτες – Tout ≤70°C

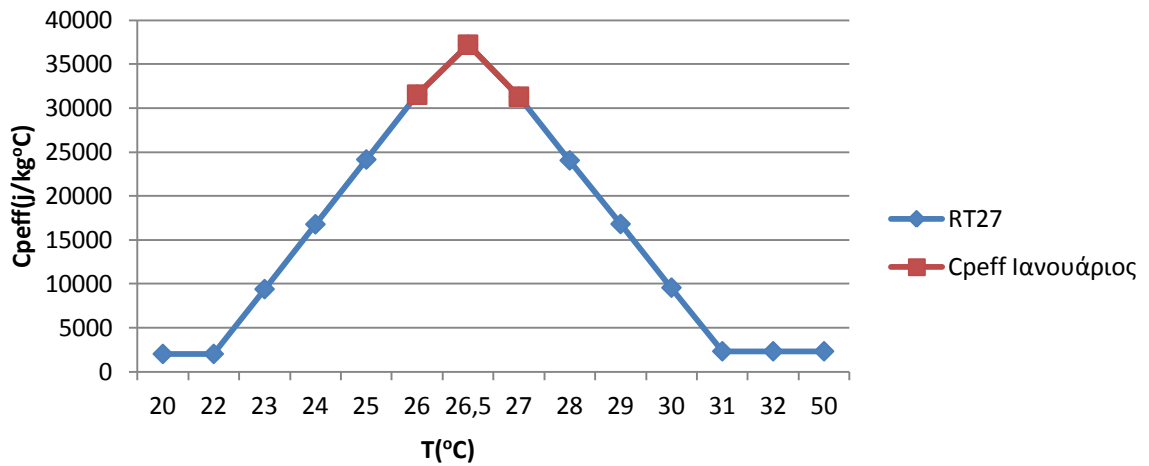
Αυτό που είναι σημαντικό να παρατηρήσουμε είναι κατά πόσο το C_{peff} του ΥΑΦ που εξετάζουμε ακολουθεί όλη την καμπύλη του C_{peff} από την θερμοκρασία T_i έως και την T_s. Από όλους τους μήνες που εξετάζονται, τον Μάρτιο χρησιμοποιείται το μεγαλύτερο μέρος της καμπύλης όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 10-8. Είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί όλη η διαδρομή του C_{peff} από την αρχή του τριγώνου μέχρι το τέλος και γίνονται προσπάθειες ώστε να επιτευχθεί η όλη διαδικασία αλλαγής φάσης από στερεό σε υγρό.



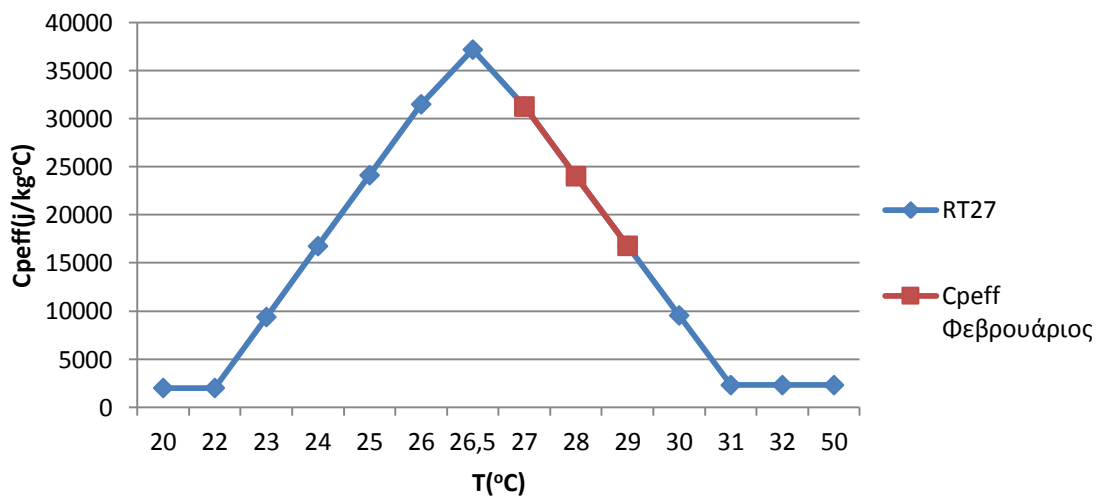
Διάγραμμα 10-4. C_{peff} Νοέμβριος - RT27 - 15 συλλέκτες - Tout ≤70°C



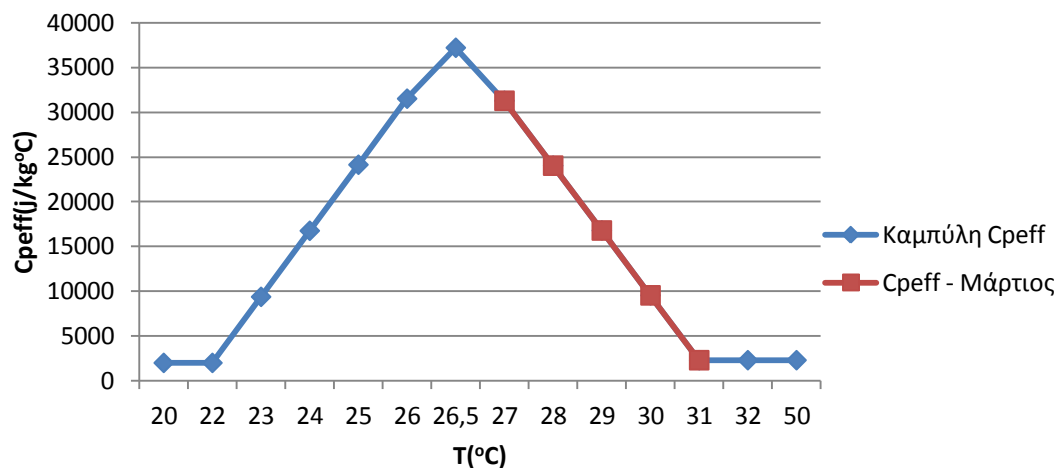
Διάγραμμα 10-5. Cpeff Δεκέμβριος – RT27 – 15 συλλέκτες - Tout≤70°C



Διάγραμμα 10-6. Cpeff Ιανουάριος - RT27 - 15 συλλέκτες - Tout≤70



Διάγραμμα 10-7. Cpeff Φεβρουάριος - RT27 - 15 συλλέκτες - Tout≤70°C

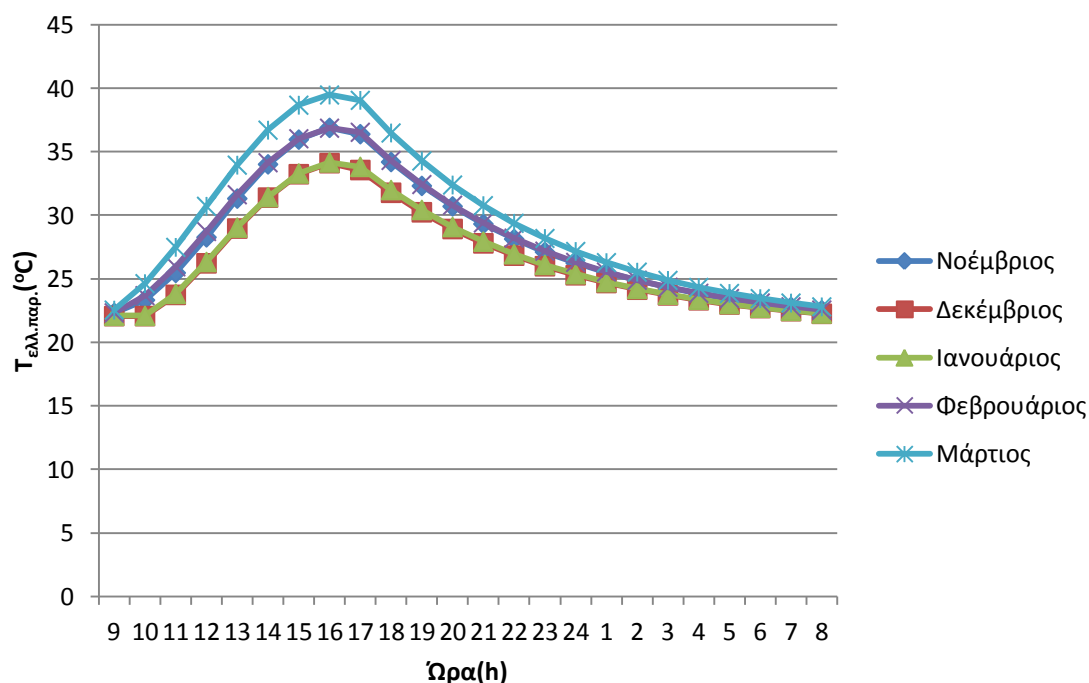


Διάγραμμα 10-8. Cp_eff – Μάρτιος – RT27 - Tout≤70°

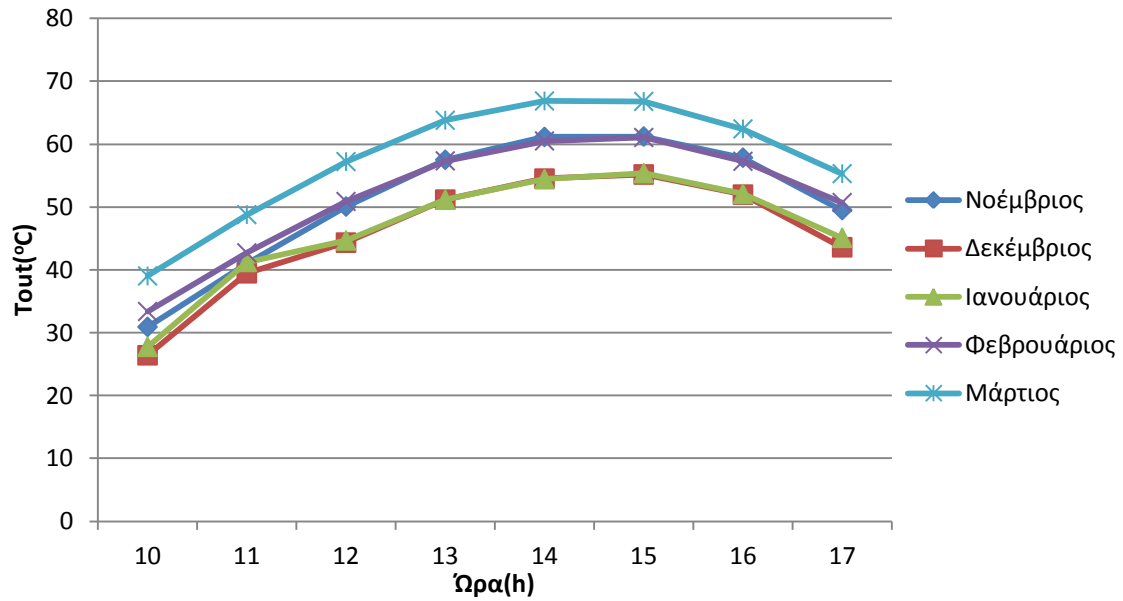
Συγκρίνοντας τα διαγράμματα 10-4 έως 10-8 είναι εύκολο να συμπεράνουμε πως τον Μάρτιο γίνεται η μεγαλύτερη αξιοποίηση του RT27.

- Ακολουθούν τα ανάλογα διαγράμματα για την ελληνική παραφίνη .

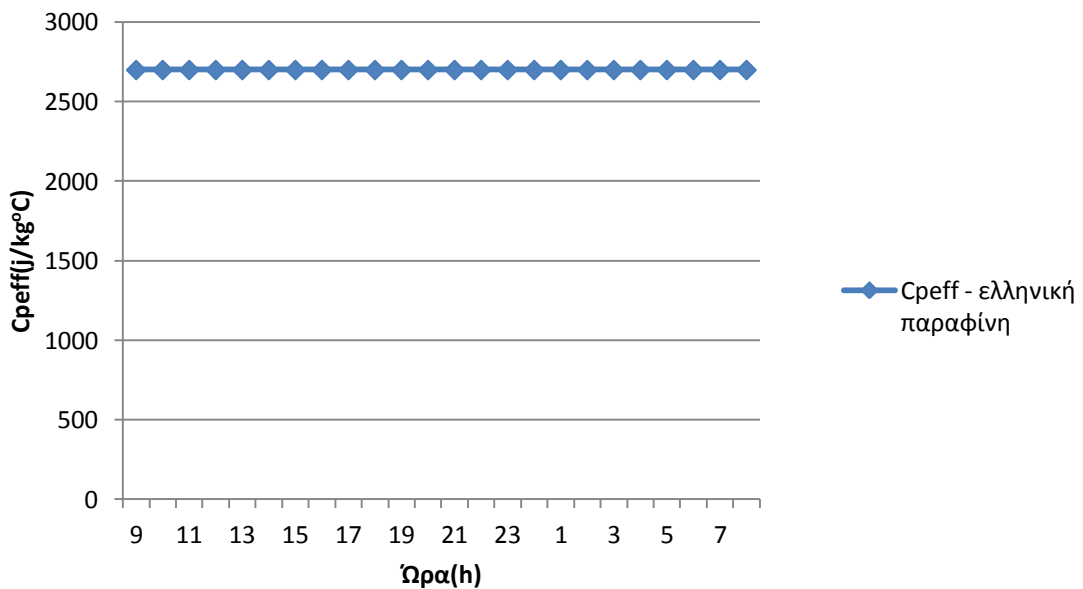
Παρατηρώντας το διάγραμμα 10-10 βλέπουμε πως καμία καμπύλη δεν ξεπερνά το όριο των 70°C και άρα είναι λογική η ομοιομορφία των καμπυλών στο διάγραμμα 10-9.



Διάγραμμα 10-9. Θερμοκρασία ελληνικής παραφίνης - 15 συλλέκτες



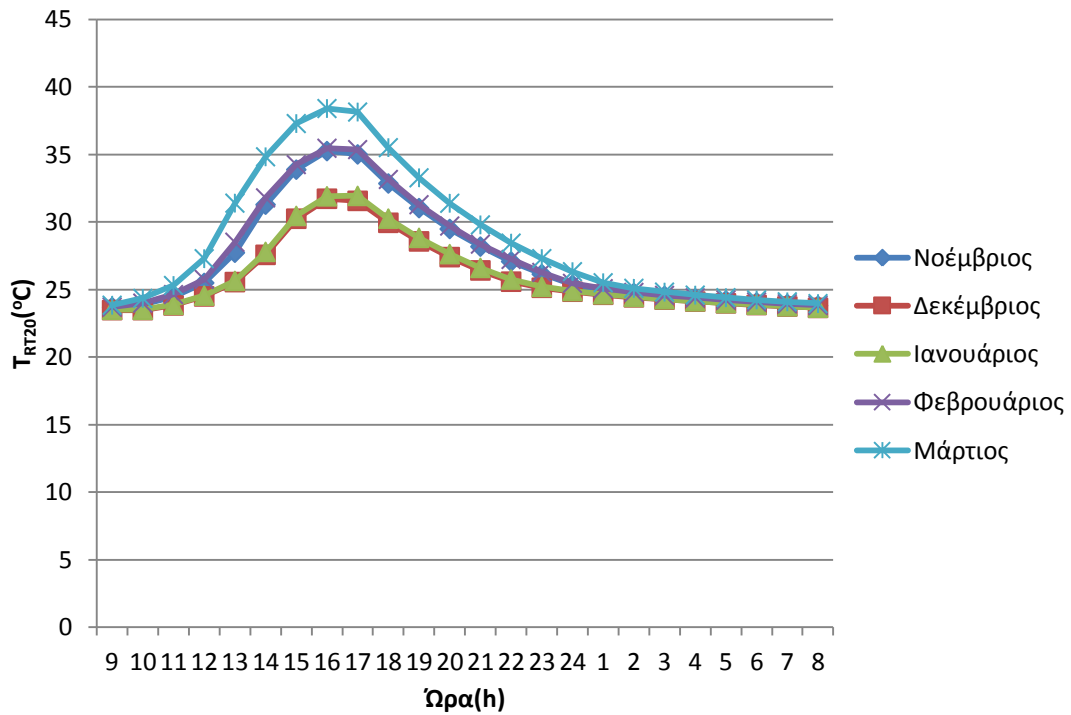
Διάγραμμα 10-10. Tout - ελληνική παραφίνη - 15 συλλέκτες



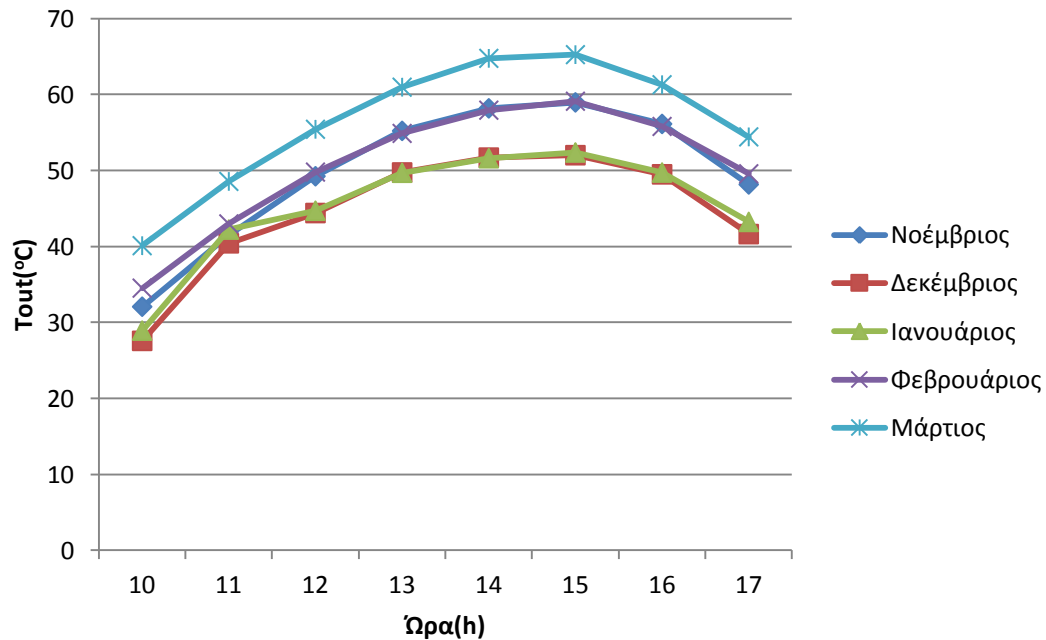
Διάγραμμα 10-11. Cpeff - ελληνική παραφίνη

Για όλους τους μήνες από Νοέμβριο έως και Μάρτιο το Cpeff ήταν σταθερό στα 2700 J/kgk και αυτό διότι αν παρατηρήσουμε τις θερμοκρασίες αλλαγής φάσης του συγκεκριμένου ΥΑΦ θα δούμε πως απέχουν πολύ από τις θερμοκρασίες που εμφανίζονται στο διάγραμμα 10-9. Έτσι το ΥΑΦ στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν μπόρεσε να προσφέρει στο σύστημα λόγω ακαταλληλότητας της θερμοκρασίας αλλαγής φάσης. Η παραφίνη παρέμεινε σε όλη τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου στη στερεή φάση.

- Συνεχίζοντας με το ΥΑΦ RT20 , ακολουθούν τα αντίστοιχα διαγράμματα.

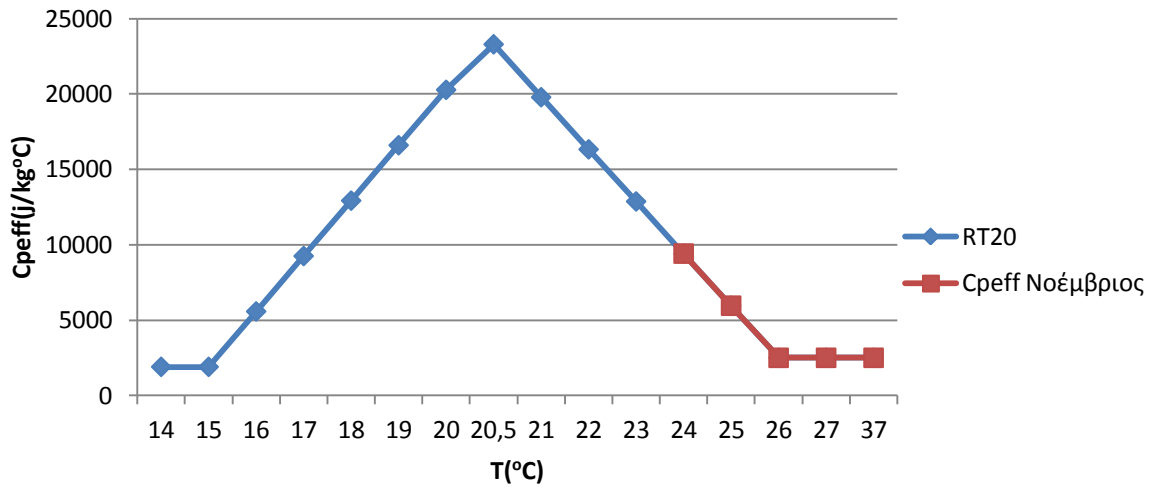


Διάγραμμα 10-12. Θερμοκρασία RT20 – 15 συλλέκτες

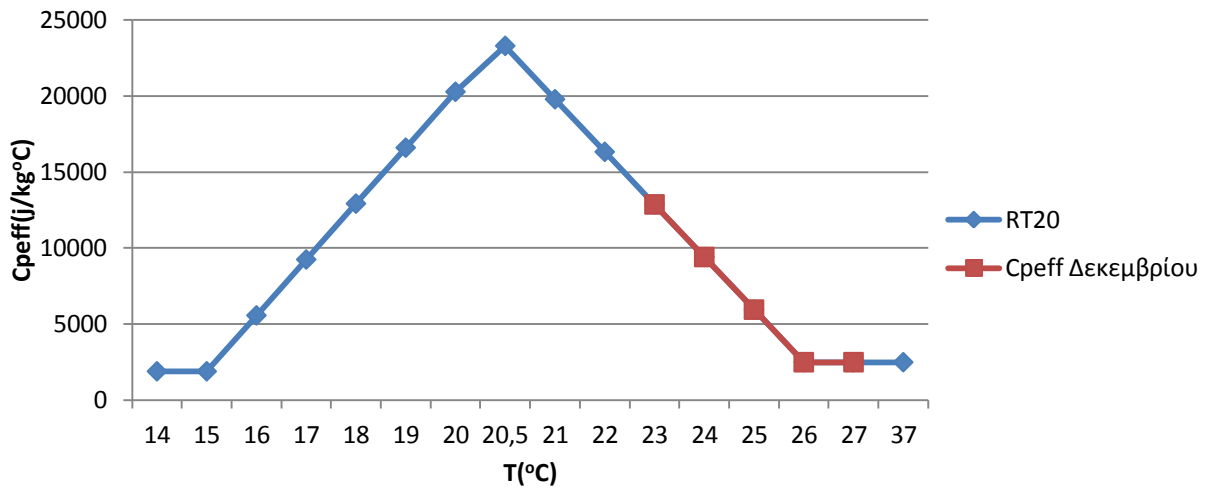


Διάγραμμα 10-13. Θερμοκρασία Tout – RT20 – 15 συλλέκτες

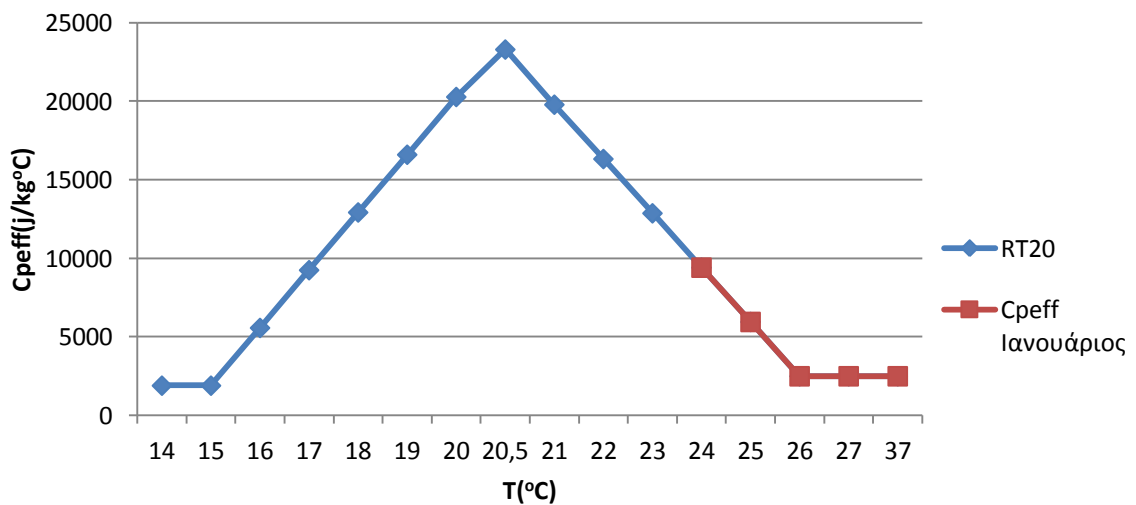
Παρατηρούμε και για το RT20 ότι οι θερμοκρασίες εξόδου από τους συλλέκτες είναι κάτω των 70°C.



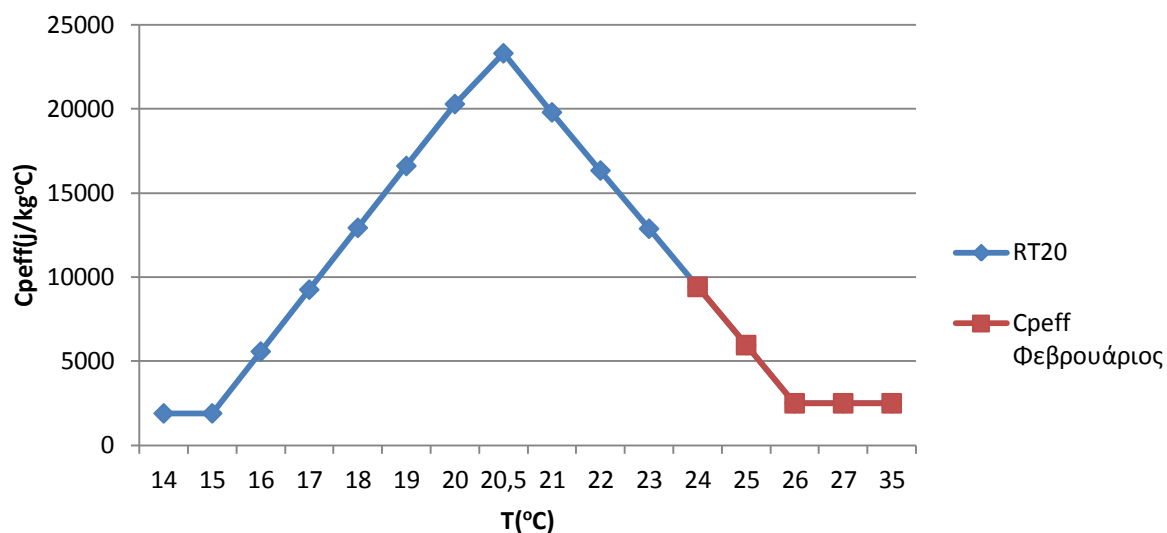
Διάγραμμα 10-14. Cp_eff Νοεμβρίου - RT20 - 15 συλλέκτες



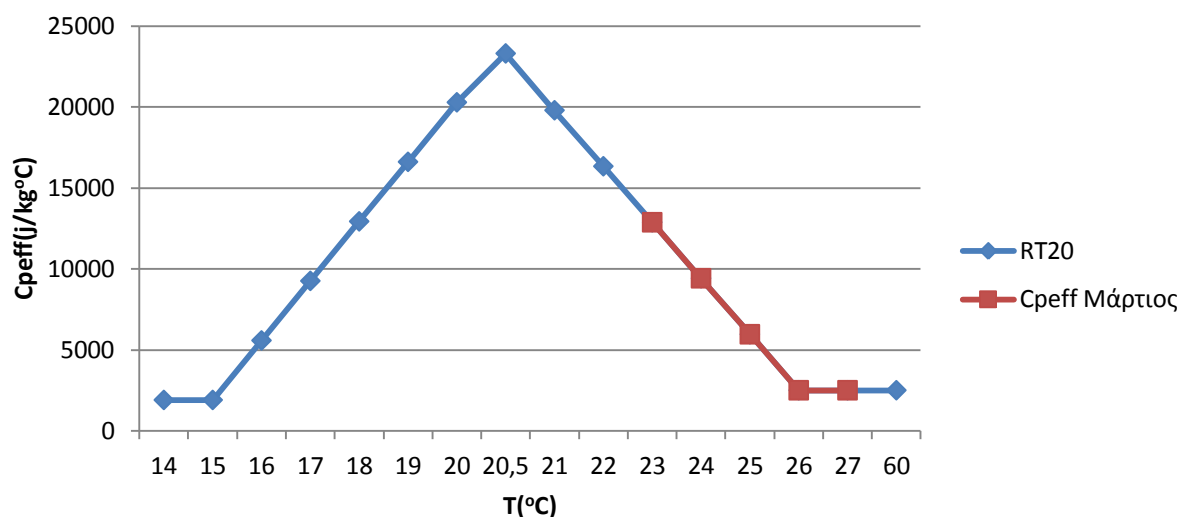
Διάγραμμα 10-15. Cp_eff Δεκεμβρίου- RT20 - 15 συλλέκτες



Διάγραμμα 10-16. Cp_eff Ιανουαρίου - RT20 - 15 συλλέκτες



Διάγραμμα 10-17. Cp_eff Φεβρουαρίου – RT20 – 15 συλλέκτες

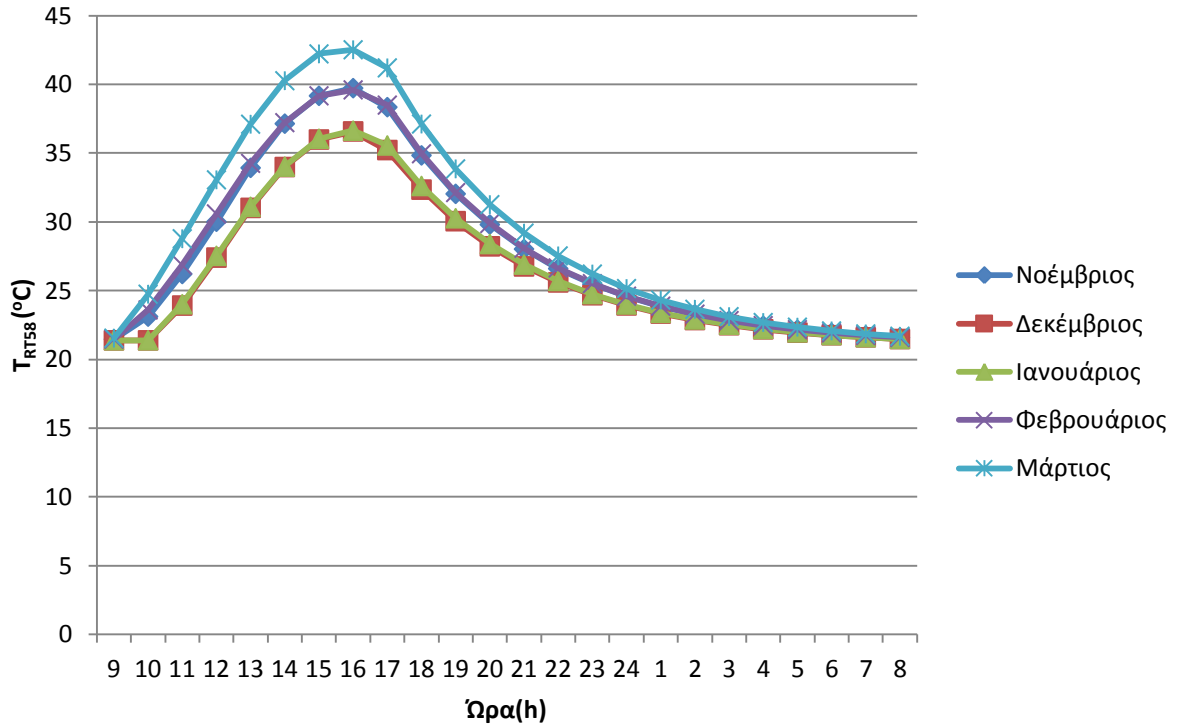


Διάγραμμα 10-18. Cp_eff Μαρτίου – RT20 – 15 συλλέκτες

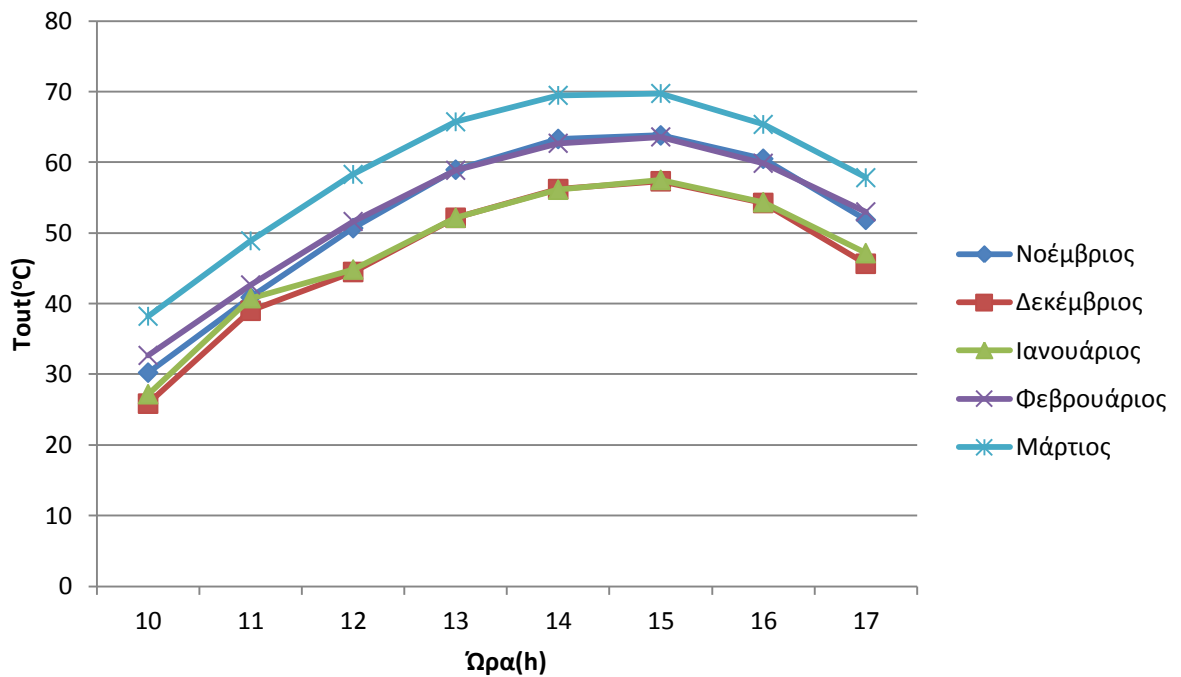
Είναι εμφανές από τα παραπάνω διαγράμματα πως κατά τους μήνες Μάρτιο και Δεκέμβριο γίνεται η καλύτερη αξιοποίηση του RT20.

- Ακολουθούν τα διαγράμματα για το RT58 .

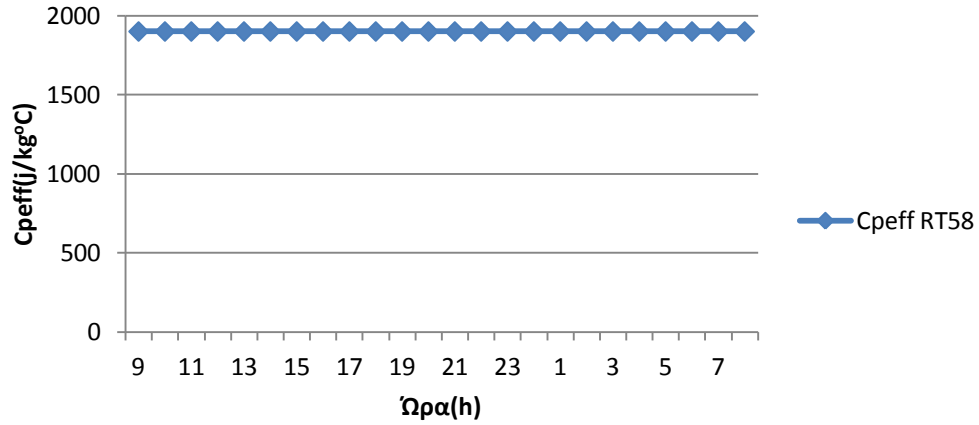
Το RT58 λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που χρειάζεται για την αλλαγή φάσης , δεν είναι αξιοποιήσιμο σε εφαρμογές όπως αυτή που απαιτούνται θερμοκρασίες δωματίου. Έτσι όπως και με την ελληνική παραφίνη , το Cp_eff παραμένει αμετάβλητο σε όλη τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου (διάγραμμα 10-21), και το RT58 είναι μόνιμα στη στερεή φάση.



Διάγραμμα 10-19. Θερμοκρασία RT58 – 15 συλλέκτες

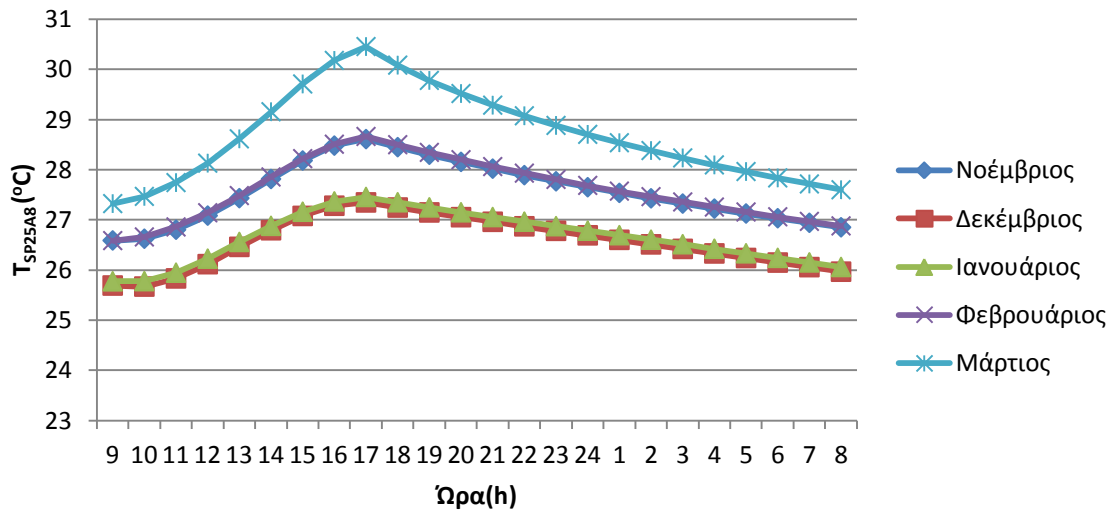


Διάγραμμα 10-20. Θερμοκρασία Tout – RT58 – 15 συλλέκτες

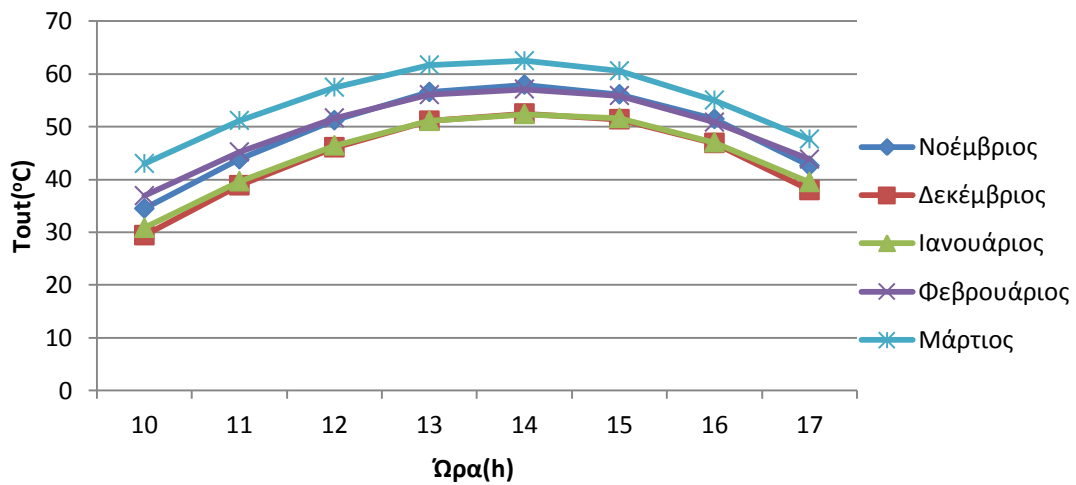


Διάγραμμα 10-21. Cp eff RT58 συναρτήσει της ώρας

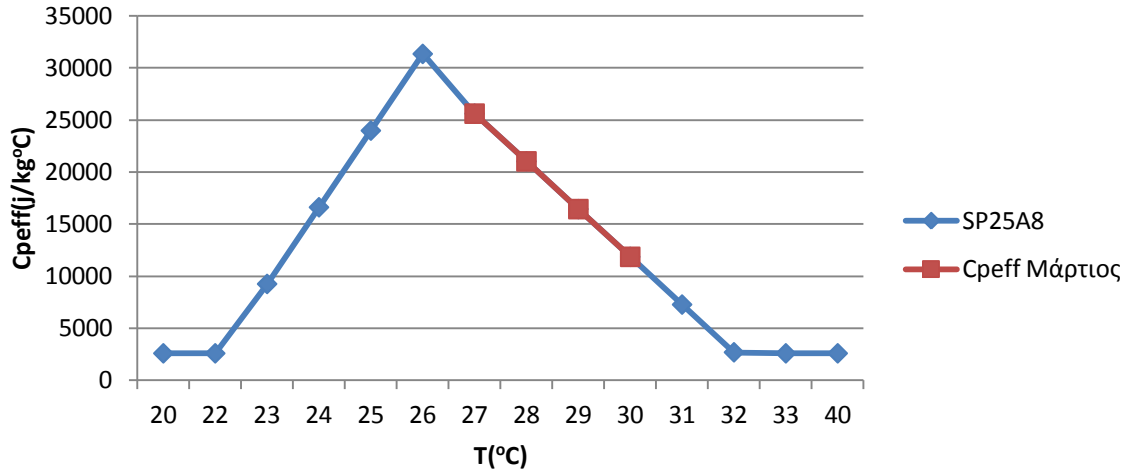
- Τέλος, ακολουθούν τα διαγράμματα για το SP25A8 .



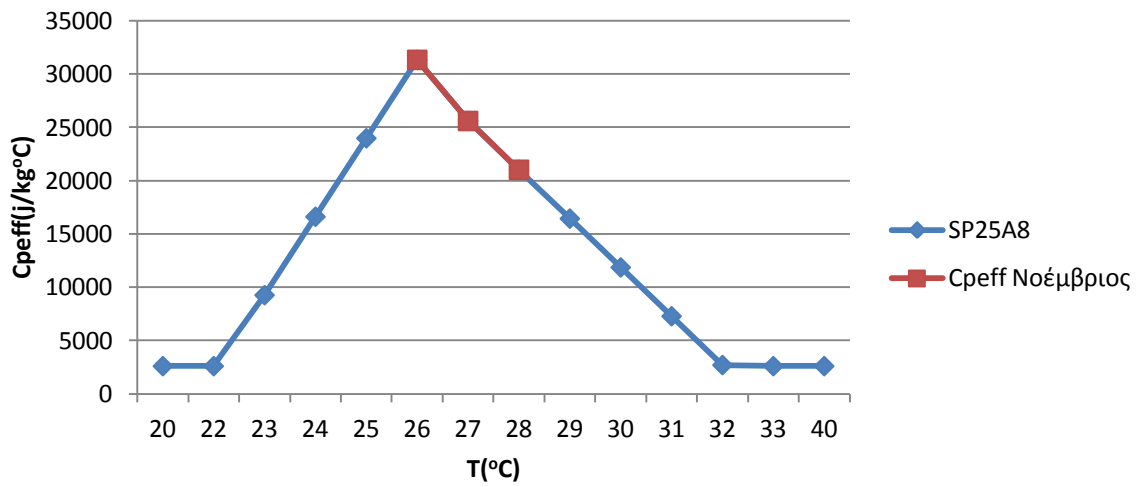
Διάγραμμα 10-22. Θερμοκρασία SP25A8 – 15 συλλέκτες



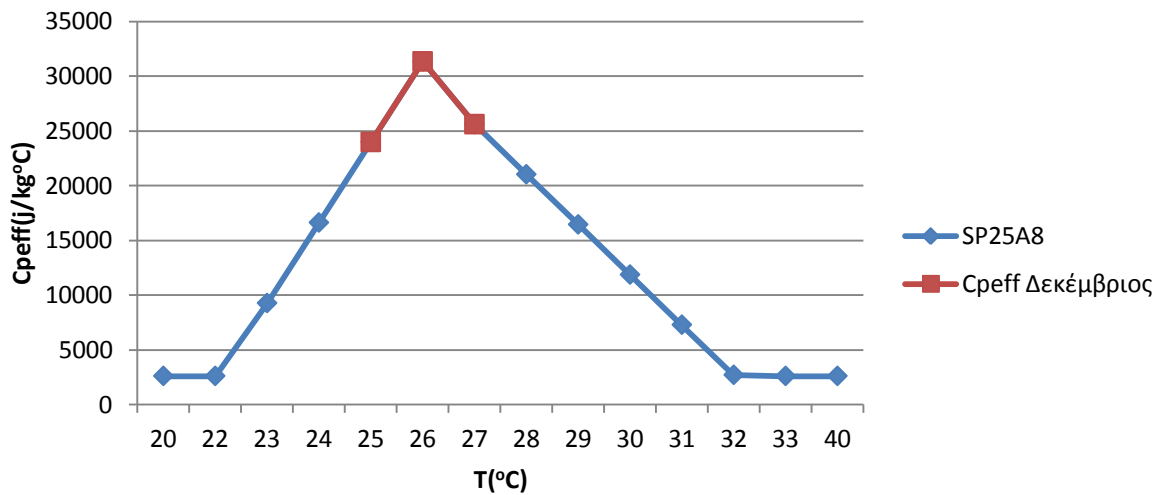
Διάγραμμα 10-23. Θερμοκρασία Tout – SP25A8 – 15 συλλέκτες



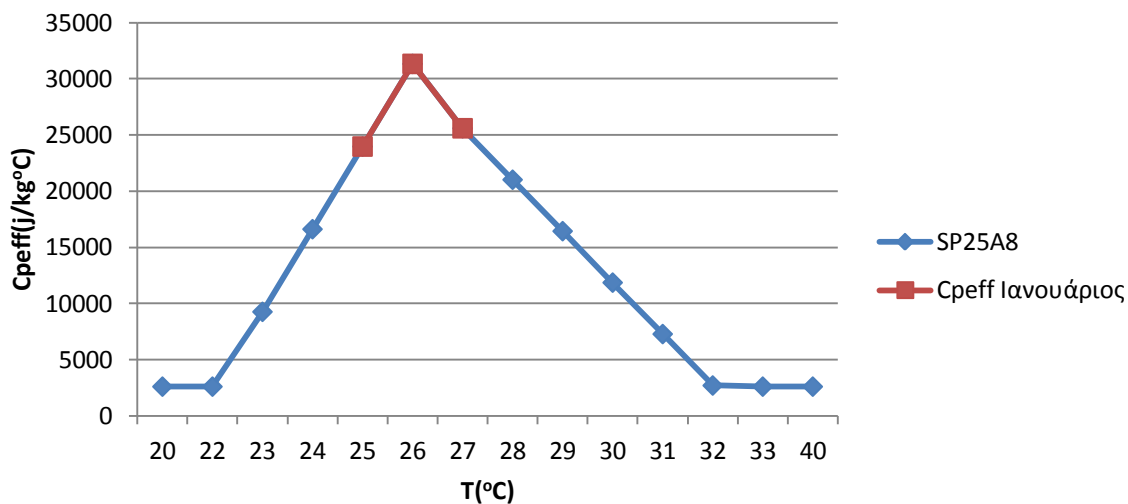
Διάγραμμα 10-24. Cp Μαρτίου – SP25A8 – 15 συλλέκτες



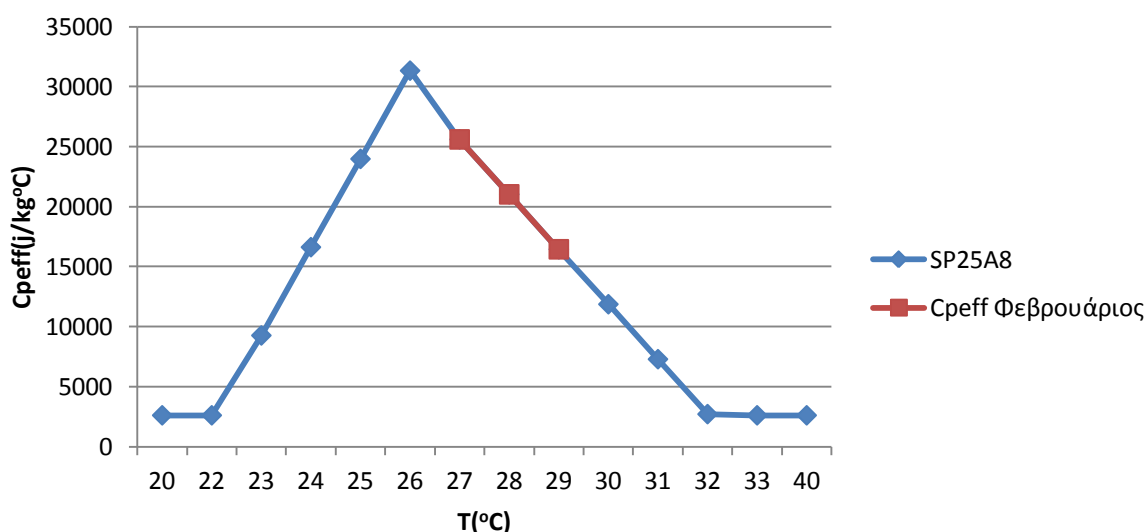
Διάγραμμα 10-25. Cp Νοεμβρίου – SP25A8 – 15 συλλέκτες



Διάγραμμα 10-26. Cp Δεκεμβρίου – SP25A8 – 15 συλλέκτες



Διάγραμμα 10-27 Cpeff Ιανουαρίου– SP25A8 – 15 συλλέκτες



Διάγραμμα 10-28 Cpeff Φεβρουαρίου – SP25A8 – 15 συλλέκτες

10.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από την παραμετροποίηση ως προς το ΥΑΦ που θα χρησιμοποιηθεί είναι :

- Η ακαταλληλότητα μερικών από αυτών των ΥΑΦ– ελληνική παραφίνη και RT58 – λόγω πολύ υψηλών θερμοκρασιών αλλαγής φάσης.
- Από τα διαγράμματα του Cpeff για κάθε ΥΑΦ και κάθε μήνα υπολογισμών φαίνεται το μικρό ποσοστό εκμετάλλευσης των ΥΑΦ ακόμα και όταν αυτά έχουν θερμοκρασίες αλλαγής φάσης κατάλληλες

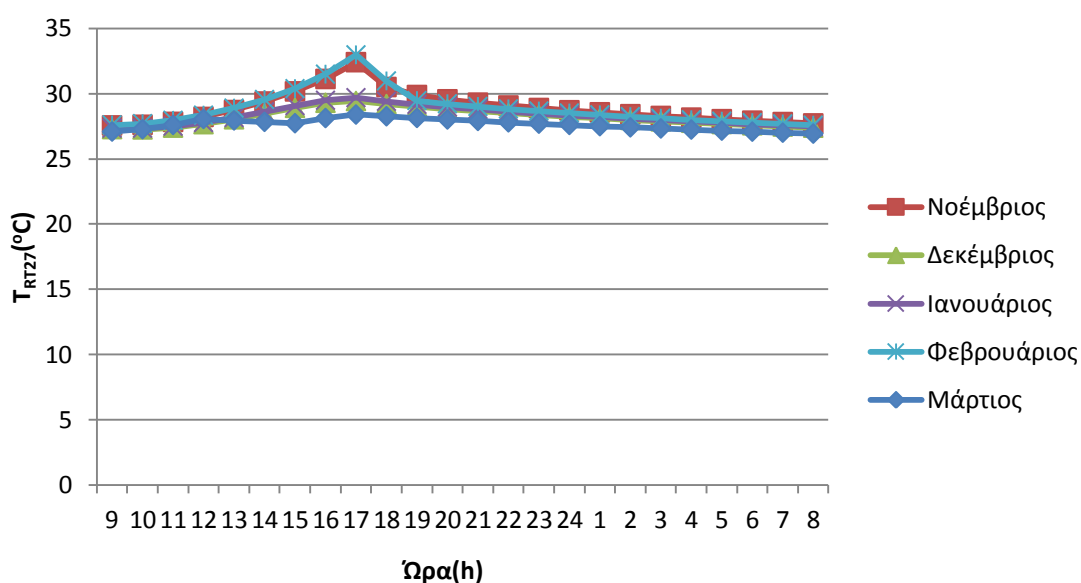
για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Σε όλες τις περιπτώσεις κινούμαστε κυρίως στη διφασική περιοχή και ενίοτε το ΥΑΦ είναι στην πλήρως υγρή φάση.

- Επίσης ένα ακόμη συμπέρασμα που μπορούμε να εξάγουμε είναι για τη θερμοκρασία εξόδου του νερού από τους συλλέκτες η οποία αρκετές φορές- κυρίως βέβαια τον Μάρτιο - αυξάνεται αρκετά και υπερβαίνει τους 70°C. Κάτι τέτοιο όμως δεν εξυπηρετεί την ενδοδαπέδια θέρμανση με αποτέλεσμα να διακόπτεται η ροή του νερού στις σωληνώσεις. Βέβαια ακόμα και οι θερμοκρασίες της τάξεως των 60°C δεν είναι επιτρεπτές για τις σωληνώσεις του ενδοδαπέδιου συστήματος. Αυτό που θα μπορούσε να γίνει σε τέτοιες περιπτώσεις είναι η χρήση του νερού υψηλής θερμοκρασίας που προέρχεται από τους συλλέκτες για ζεστό νερό χρήσης, διότι έχουμε περίσσεια ζεστού νερού το οποίο δεν χρησιμεύει στη σύστημά μας.

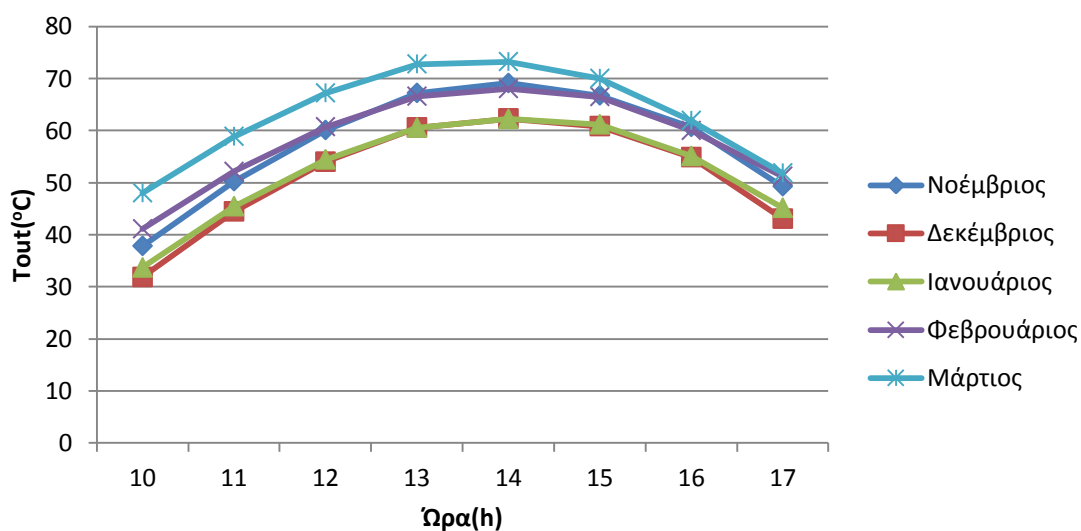
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 : Παραμετρική μελέτη ως προς τη συλλεκτική επιφάνεια

Η παραμετροποίηση ως προς τη συνολική συλλεκτική επιφάνεια έγινε επιλέγοντας 20 συλλέκτες αυτή τη φορά. Για κάθε ΥΑΦ λοιπόν, έγινε ξανά η διαδικασία των επαναλήψεων ώστε να δούμε τελικά τη διαφορά μεταξύ συνολικής συλλεκτικής επιφάνειας 31,65τ.μ. και 42,2τ.μ. . Τα διαγράμματα των θερμοκρασιών του κάθε ΥΑΦ συναρτήσει της θερμοκρασίας φαίνονται παρακάτω και συγκρίνονται με αυτά του προηγούμενου κεφαλαίου.

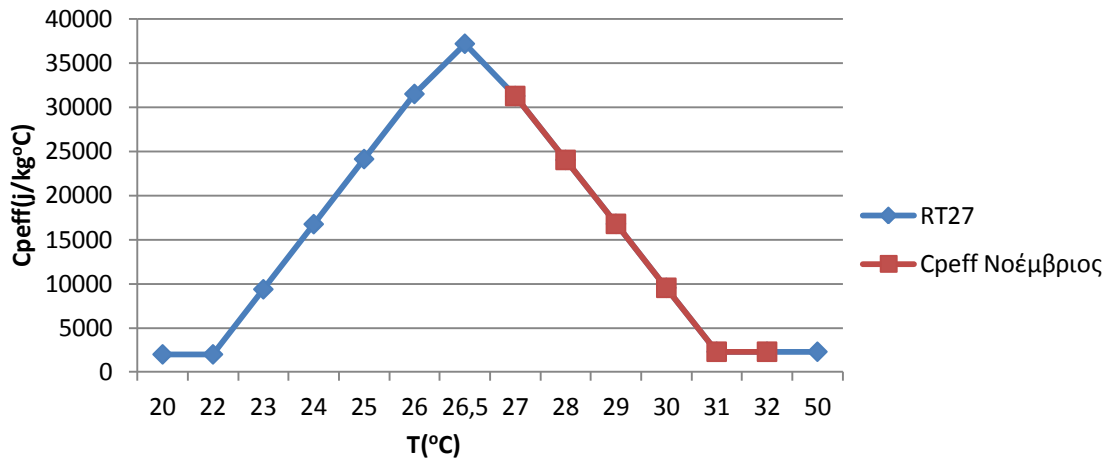
- Ακολουθούν τα διαγράμματα για το RT27.



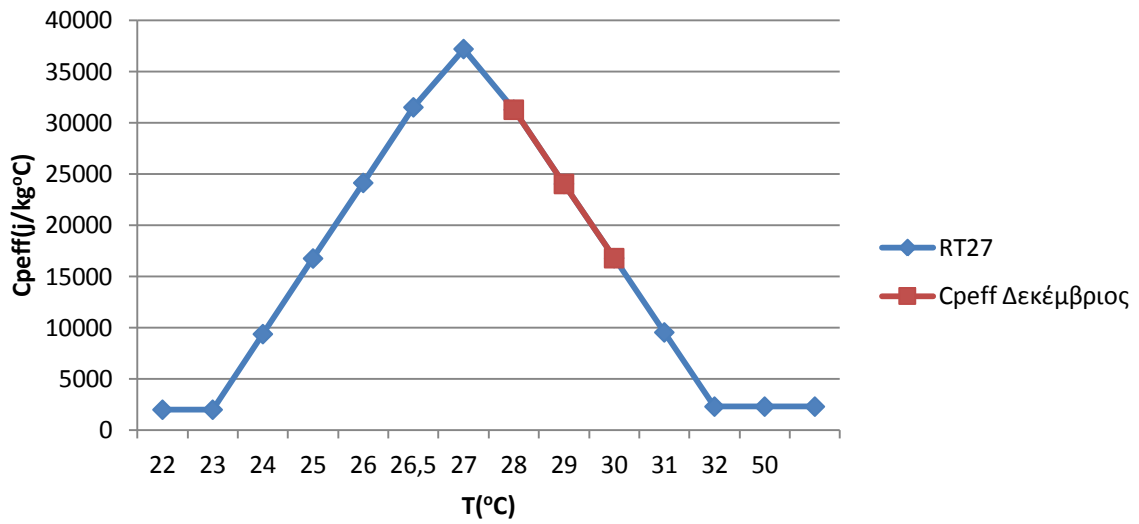
Διάγραμμα 11-1. Θερμοκρασία RT27-20 συλλέκτες



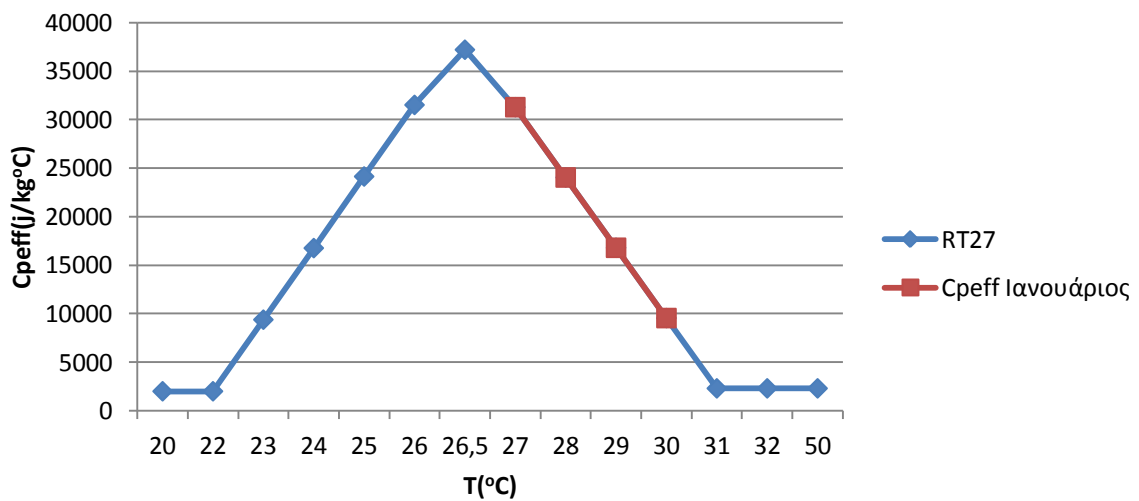
Διάγραμμα 11-2. Tout συναρτήσει της ώρας – RT27 - 20 συλλέκτες



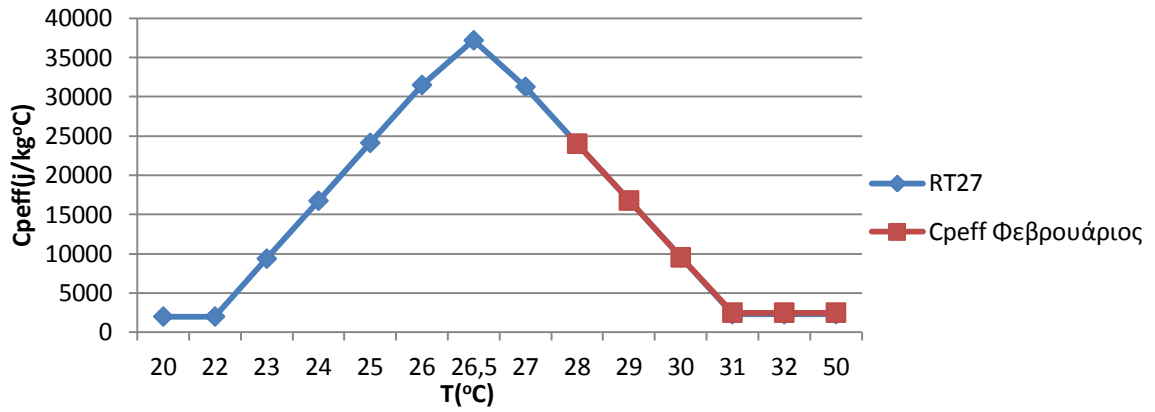
Διάγραμμα 11-3. Cpeff Νοεμβρίου - RT27 - 20 συλλέκτες



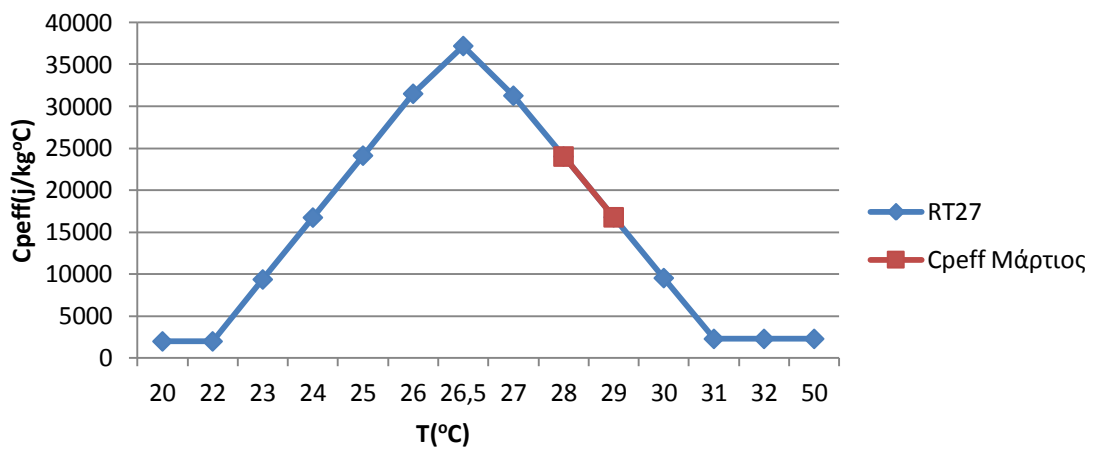
Διάγραμμα 11-4. Cpeff Δεκεμβρίου - RT27 - 20 συλλέκτες



Διάγραμμα 11-5. Cpeff Ιανουαρίου - RT27 - 20 συλλέκτες

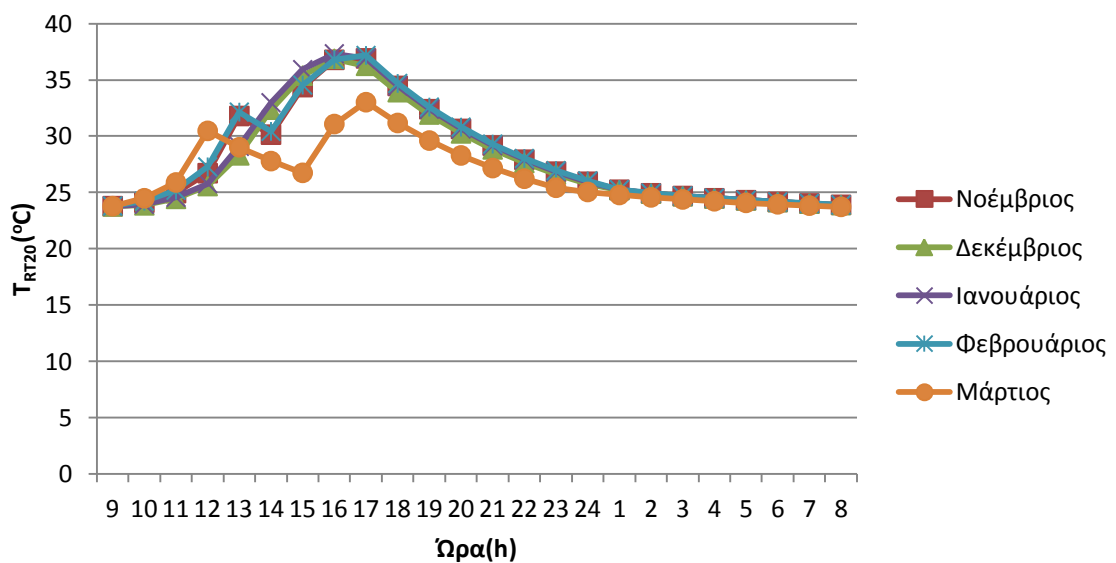


Διάγραμμα 11-6. Cp Φεβρουαρίου - RT27 - 20 συλλέκτες

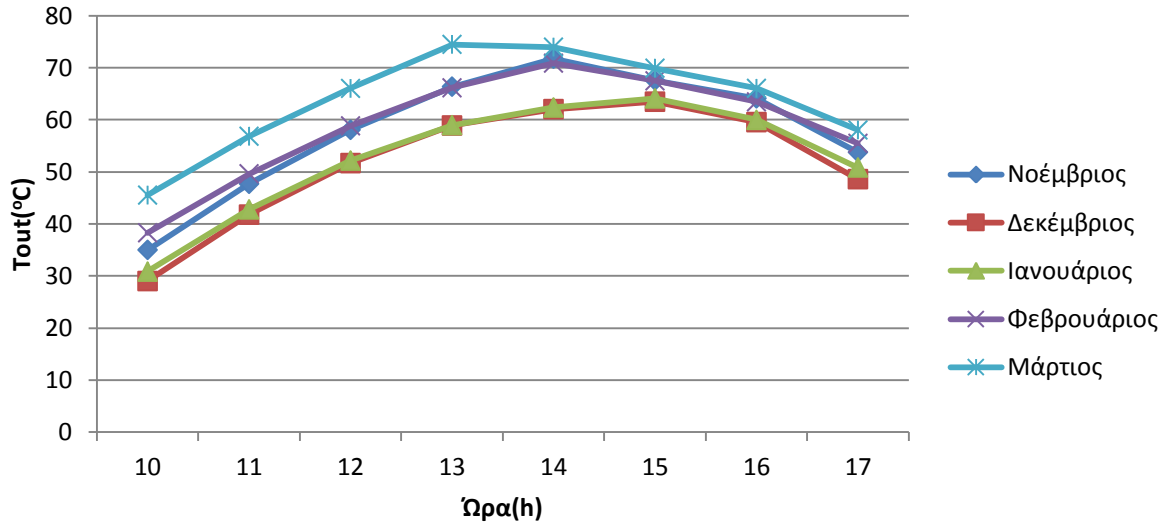


Διάγραμμα 11-7. Cp Μαρτίου - RT27 - 20 συλλέκτες

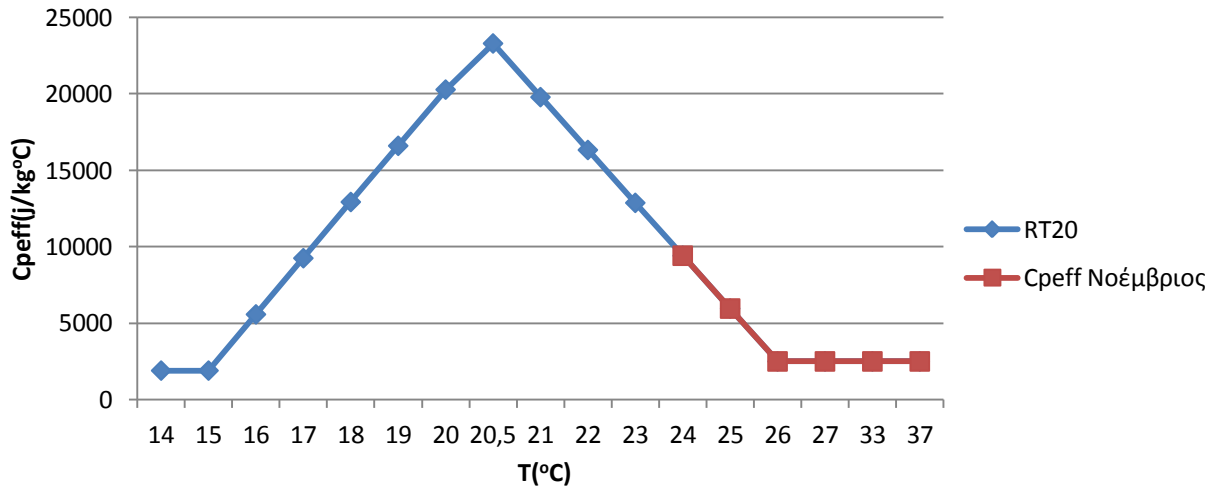
- Ακολουθούν τα διαγράμματα για το RT20.



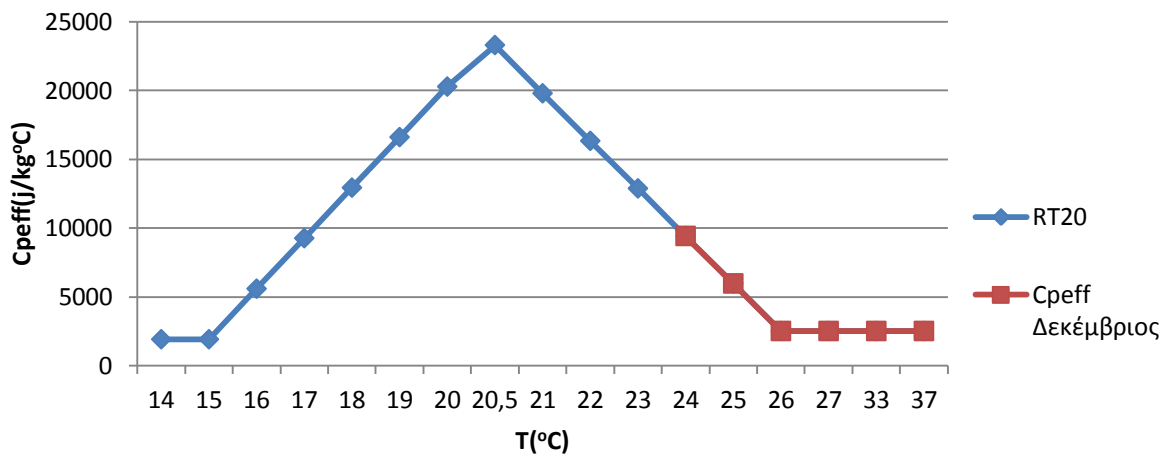
Διάγραμμα 11-8. Θερμοκρασία RT20-20 συλλέκτες



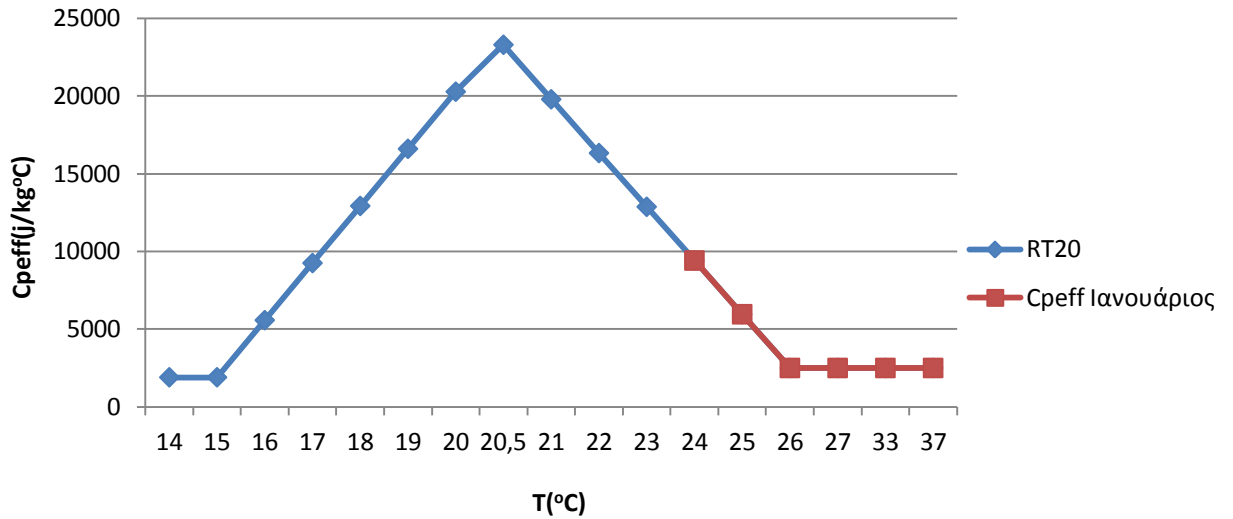
Διάγραμμα 11-9. Tout συναρτήσει της ώρας -RT20 - 20 συλλέκτες



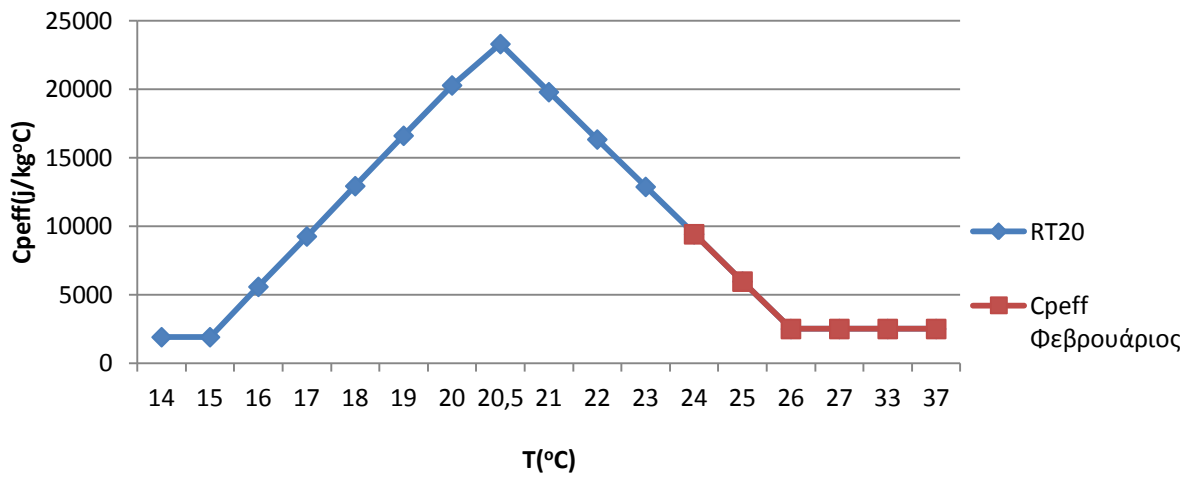
Διάγραμμα 11-10. Cpeff Νοεμβρίου - RT20 - 20 συλλέκτες



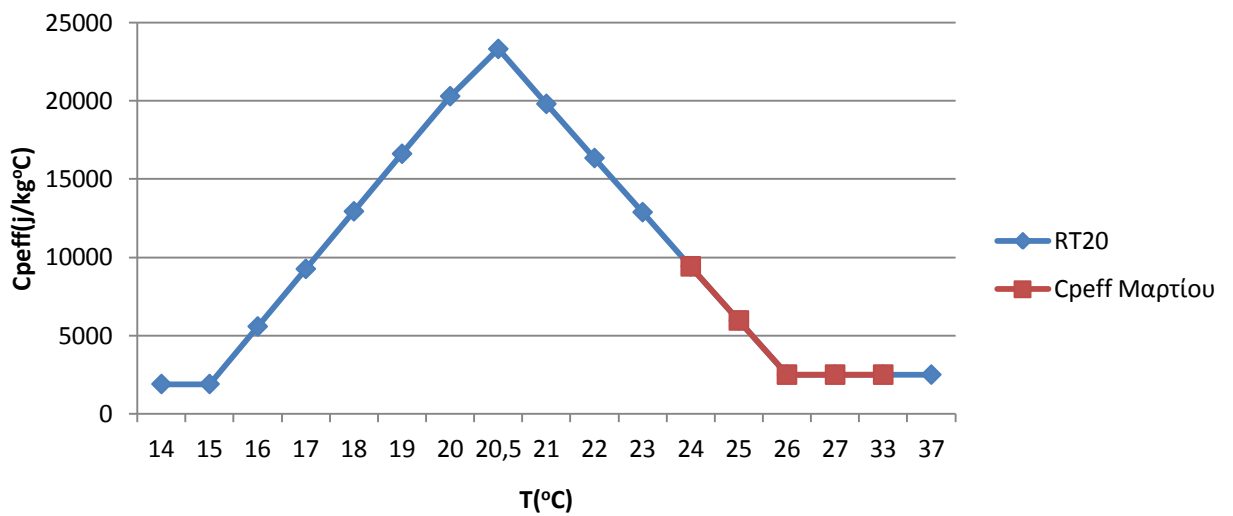
Διάγραμμα 11-11. Cpeff Δεκεμβρίου - RT20 - 20 συλλέκτες



Διάγραμμα 11-12. Cpeff Ιανουαρίου - RT20 - 20 συλλέκτες

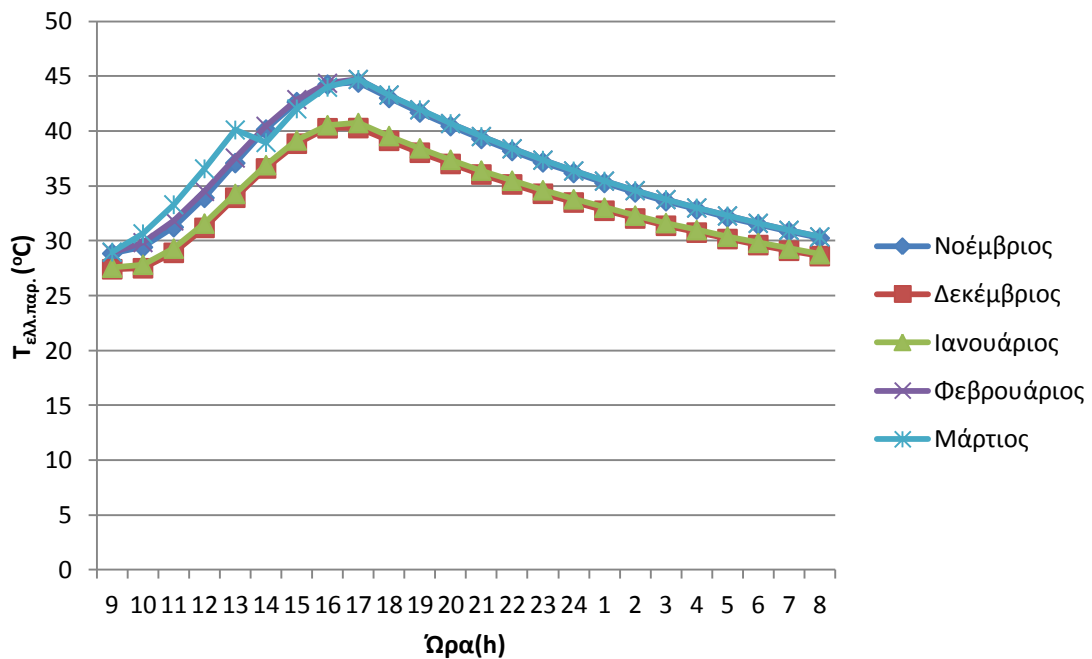


Διάγραμμα 11-13. Cpeff Φεβρουαρίου - RT20 - 20 συλλέκτες

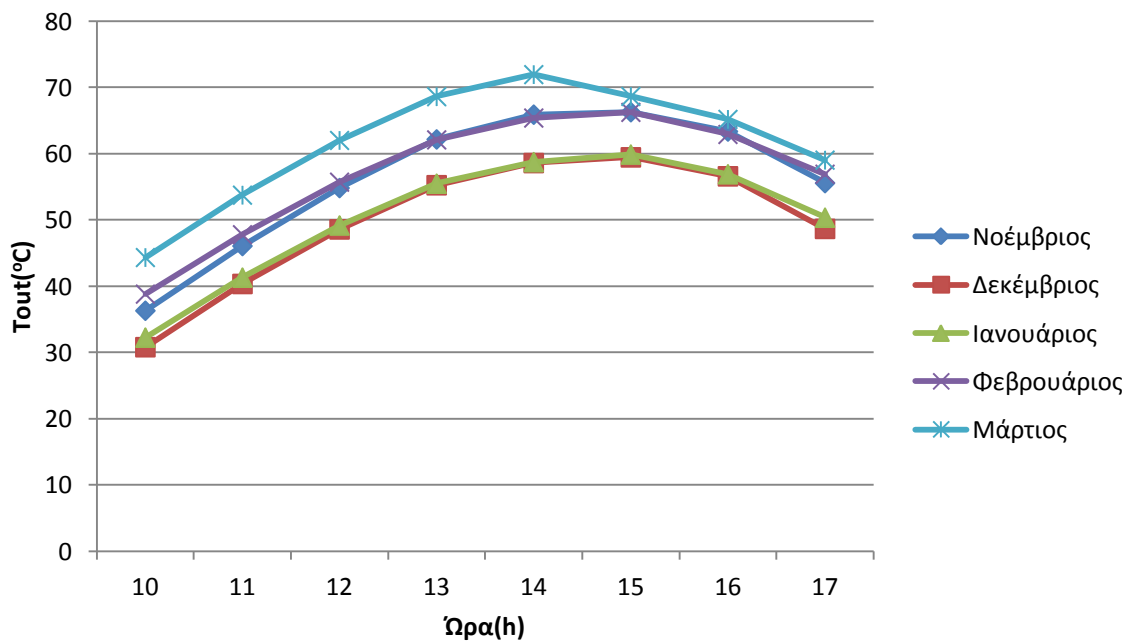


Διάγραμμα 11-14. Cpeff Μαρτίου - RT20 - 20 συλλέκτες

- Ακολουθούν τα διαγράμματα για την ελληνική παραφίνη.

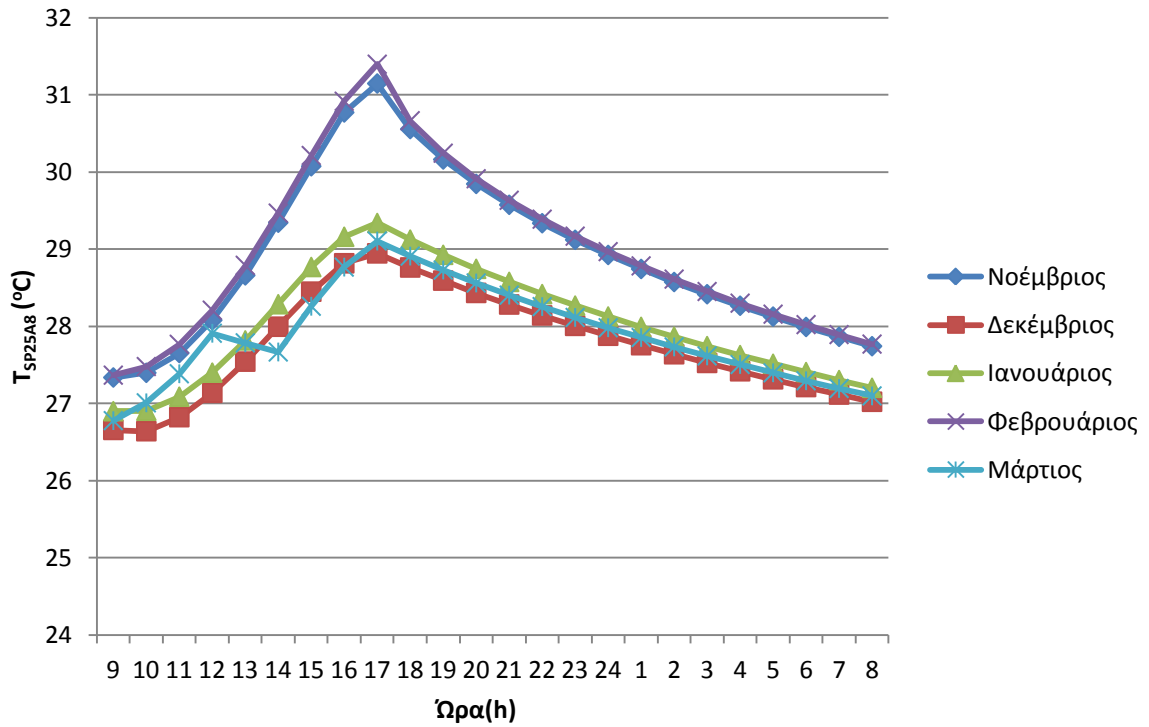


Διάγραμμα 11-15. Θερμοκρασία ελληνικής παραφίνης-20 συλλέκτης

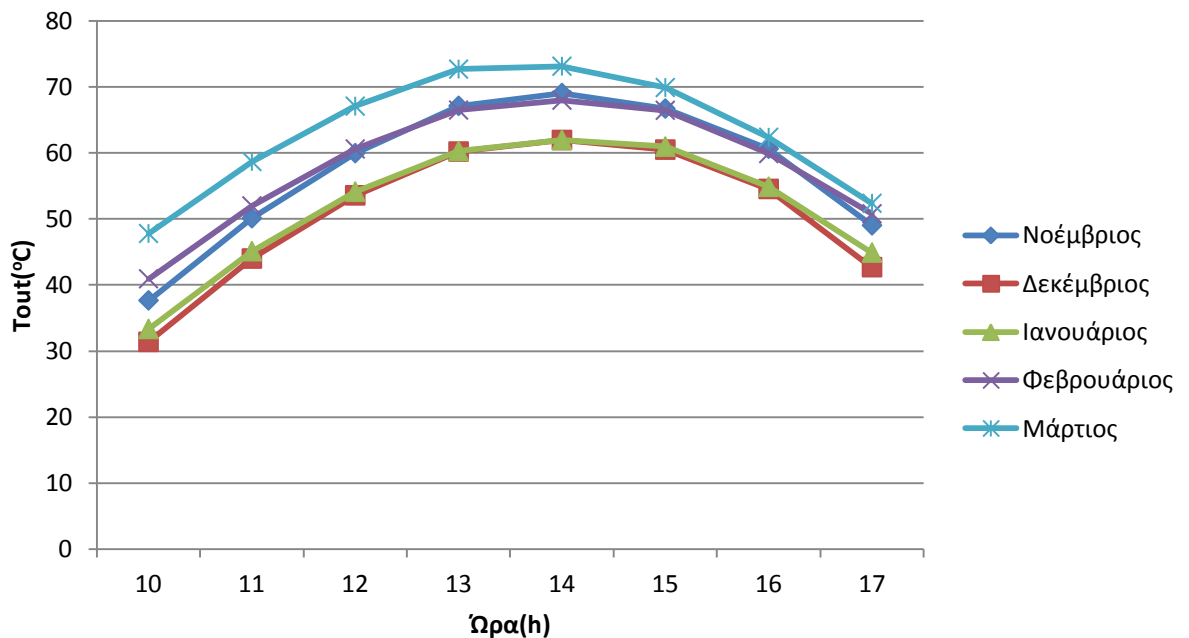


Διάγραμμα 11-16. Tout συναρτήσει της ώρας – ελληνική παραφίνη - 20 συλλέκτης

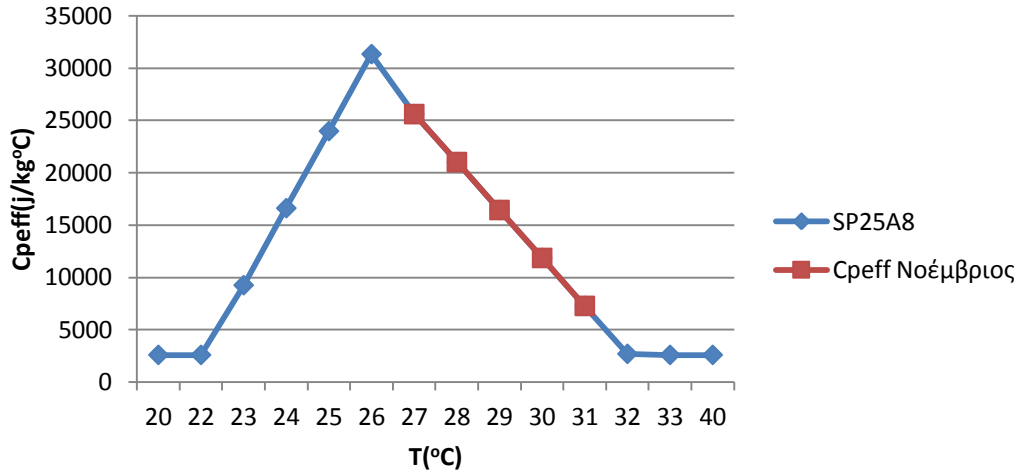
- Ακολουθούν τα διαγράμματα για το SP25A8.



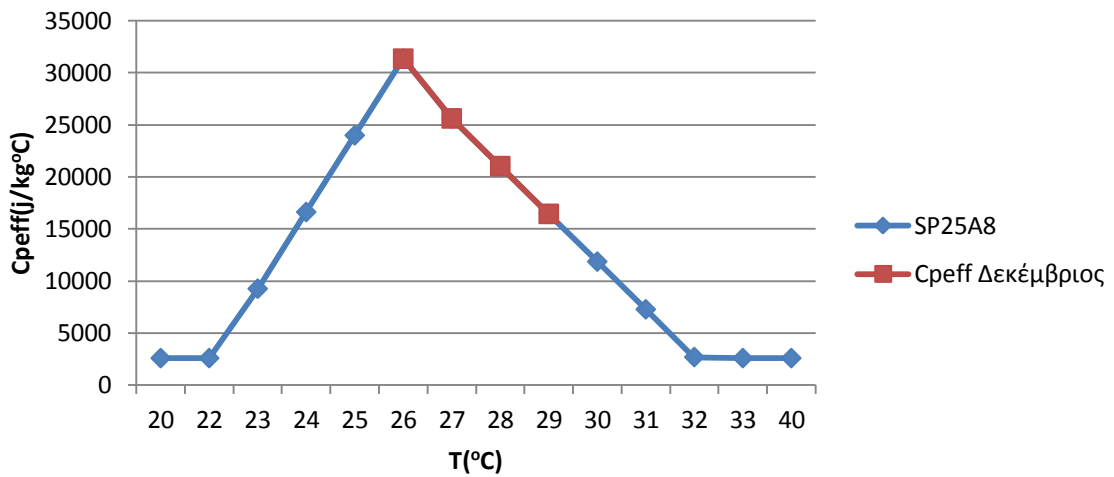
Διάγραμμα 11-17. Θερμοκρασία SP25A8 - 20 συλλέκτες



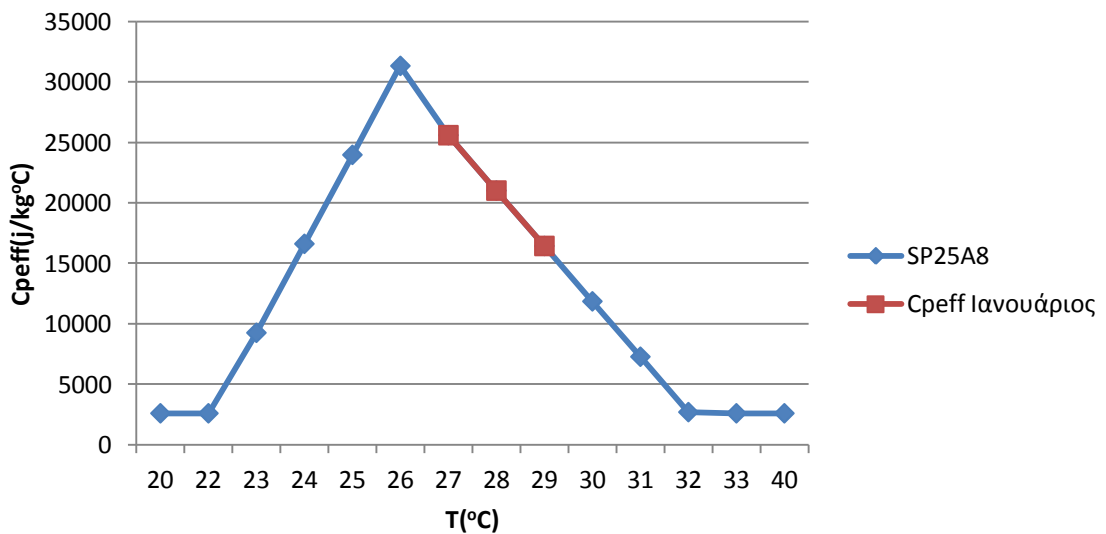
Διάγραμμα 11-18. Tout συναρτήσει της ώρας – SP25A8 - 20 συλλέκτες



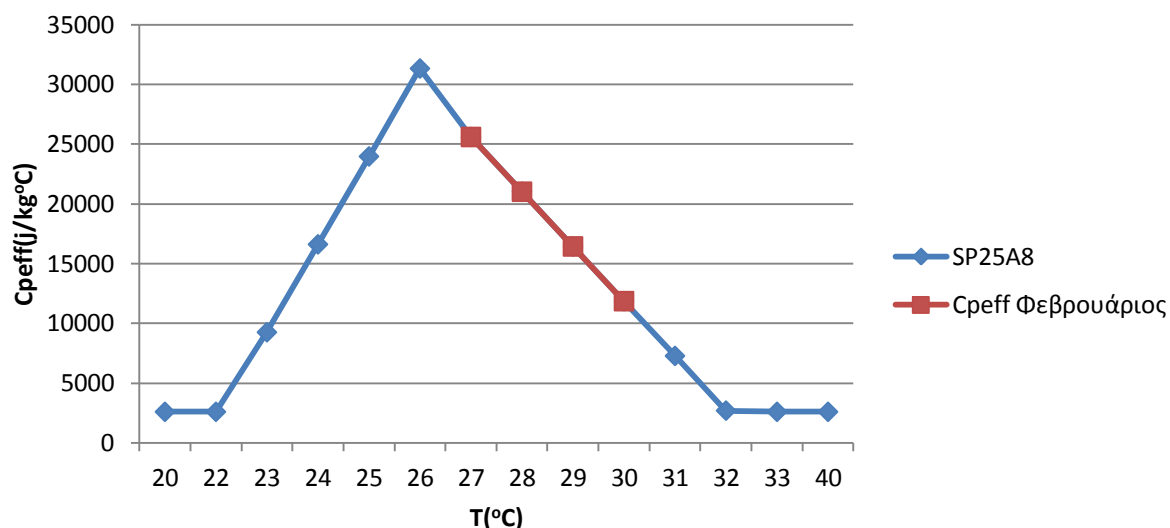
Διάγραμμα 11-19. Cpeff Νοεμβρίου – SP25A8 - 20 συλλέκτες



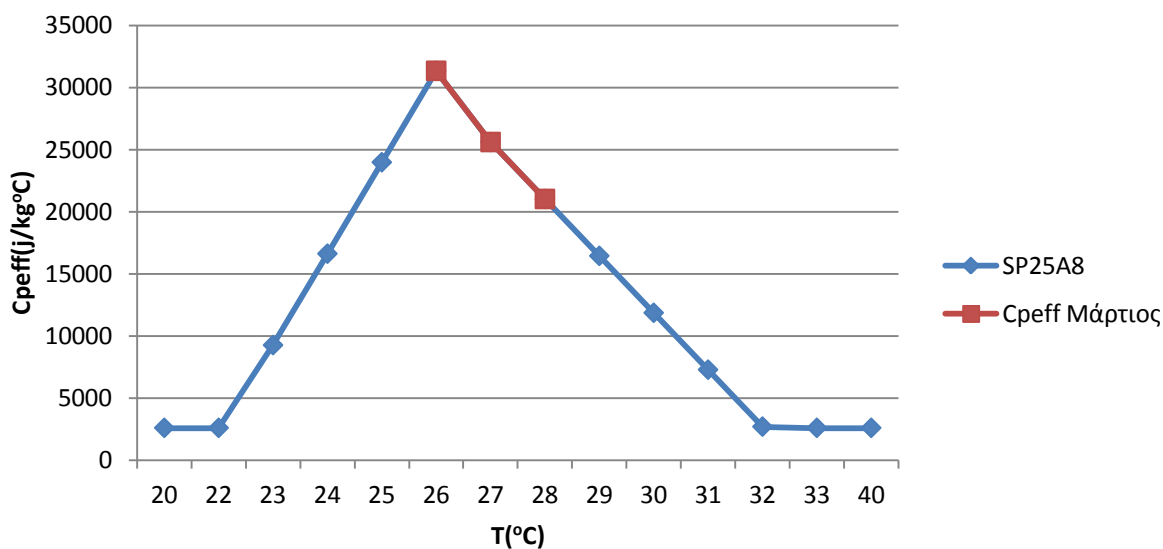
Διάγραμμα 11-20. Cpeff Δεκεμβρίου – SP25A8 - 20 συλλέκτες



Διάγραμμα 11-21. Cpeff Ιανουαρίου – SP25A8 - 20 συλλέκτες



Διάγραμμα 11-22. Cp_eff Φεβρουαρίου – SP25A8 - 20 συλλέκτες

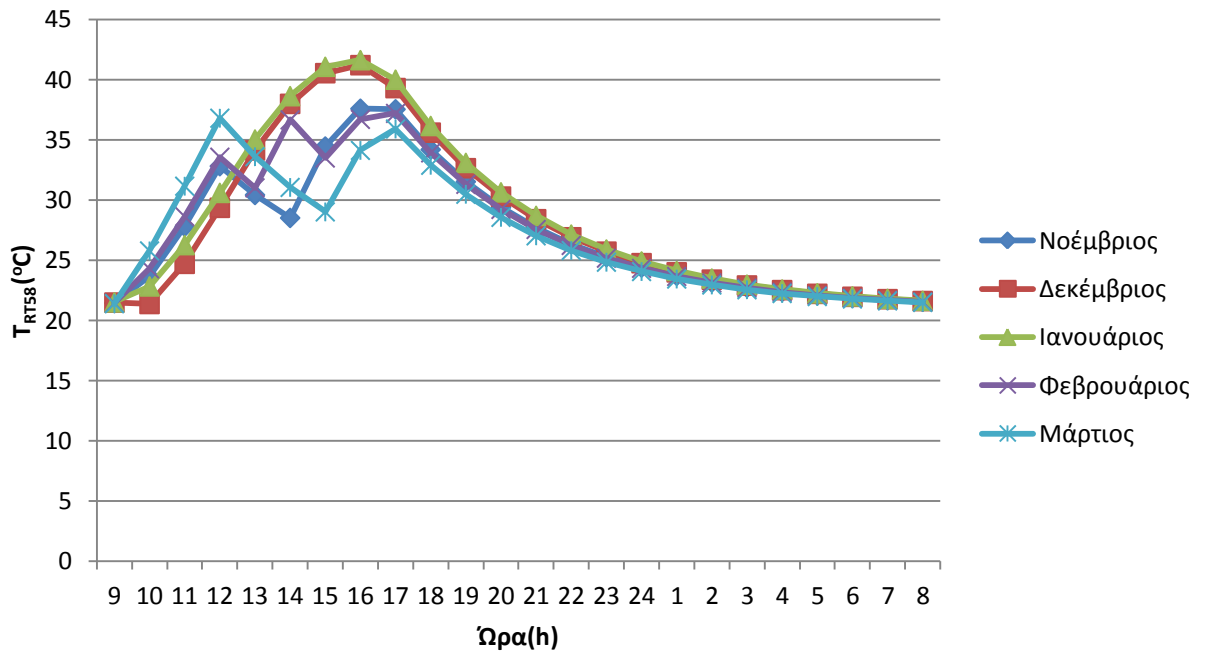


Διάγραμμα 11-23. Cp_eff Μαρτίου – SP25A8 - 20 συλλέκτες

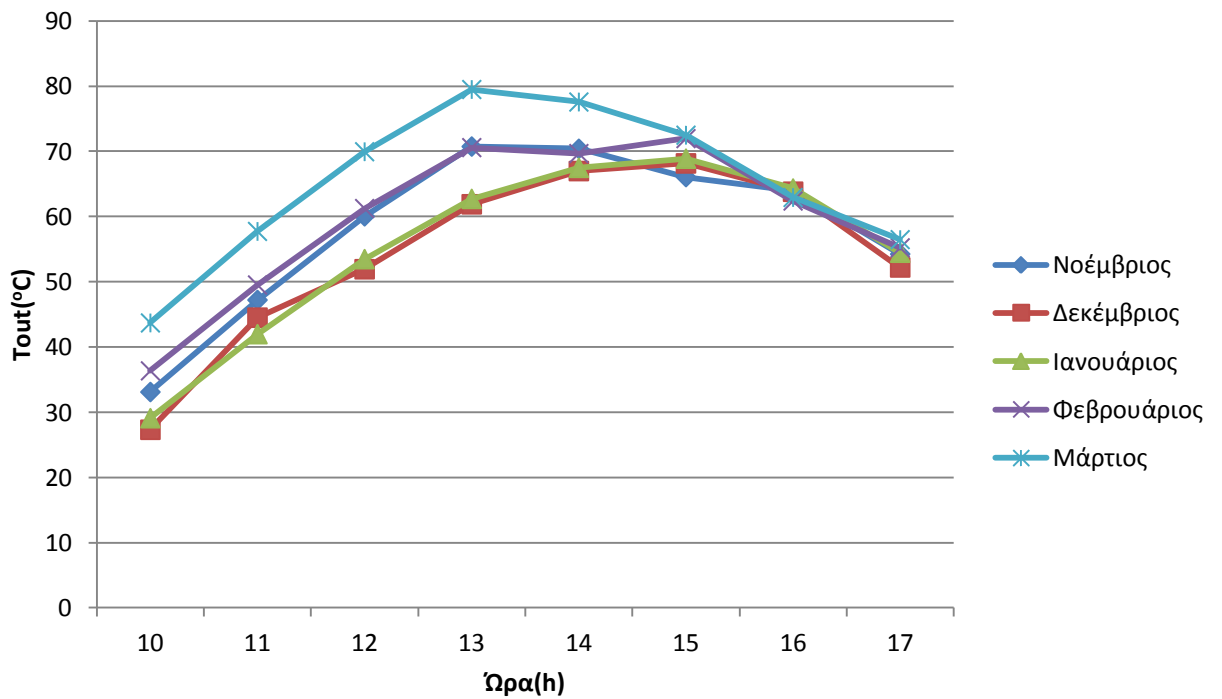
Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα η μέγιστη αξιοποίηση του SP25A8 γίνεται κατά τον μήνα Νοέμβριο ενώ στους υπόλοιπους μήνες έχουμε όλο και λιγότερη αξιοποίησή του.

Επίσης λόγω των υψηλών θερμοκρασιών (>70°C) που έχει το νερό που εξέρχεται από τους συλλέκτες κατά το μήνα Μάρτιο δικαιολογείται και η μορφή της καμπύλης της θερμοκρασίας του SP25A8 στο διάγραμμα 11-17 κατά τον ίδιο μήνα.

- Ακολουθούν τα διαγράμματα για το RT58.



Διάγραμμα 11-24. Θερμοκρασία RT58 - 20 συλλέκτες



Διάγραμμα 11-25. Tout συναρτήσεως της ώρας – RT58 - 20 συλλέκτες

11.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

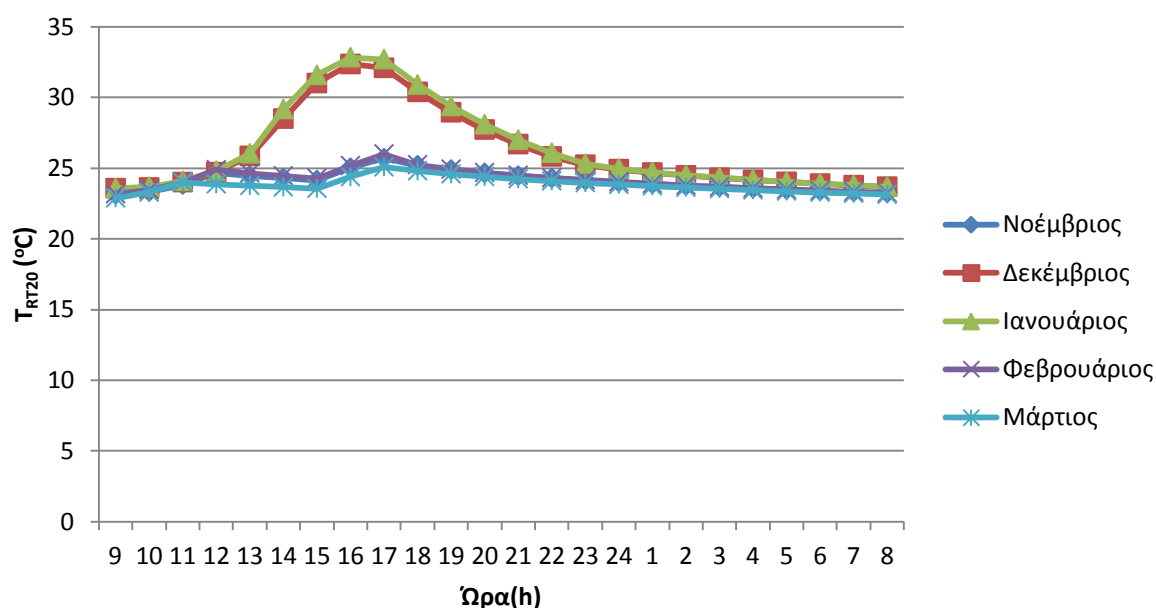
Τα συμπεράσματα που βγαίνουν μέσα από την παραμετροποίηση ως προς την συνολική συλλεκτική επιφάνεια είναι τα εξής :

- Κανένα από τα ΥΑΦ δεν αξιοποιείται όπως θα θέλαμε, δηλαδή να μεταβεί από την στερεή φάση στην υγρή. Σε όλες τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται μόνο ένα μικρό κομμάτι αυτού που θα μπορούσαν να προσφέρουν , με μικρές διακυμάνσεις ανάλογα τον μήνα και το ΥΑΦ. Οι καμπύλες του Creff κινούνται σε όλες τις περιπτώσεις στη διφασική περιοχή και ενίοτε μεταβαίνουν και στην υγρή φάση.
- Η ελληνική παραφίνη και το RT58 είναι ακατάλληλα για τη συγκεκριμένη εφαρμογή όπου απαιτούνται θερμοκρασίες αλλαγής φάσης στα πλαίσια της θερμοκρασίας δωματίου (~21°C). Και σε αυτή την περίπτωση τα δύο αυτά ΥΑΦ παραμένουν στη στερεή φάση κατά τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου.
- Στις περισσότερες περιπτώσεις, η Tout παίρνει τιμές άνω των 70°C και αυτό δικαιολογεί τη μορφή των καμπυλών των θερμοκρασιών των ΥΑΦ συναρτήσει της ώρας. Αυτό μας δείχνει ότι η επιλογή μεγαλύτερης συλλεκτικής επιφάνειας έδωσε μεγαλύτερες τιμές στο νερό εξόδου από τους συλλέκτες κάτι το οποίο όμως δεν ήταν απαραίτητο και άρα η προηγούμενη επιλογή 15 συλλεκτών ήταν πιο σωστή. Βέβαια το νερό αυτό με την υψηλή θερμοκρασία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για ζεστό νερό χρήσης.

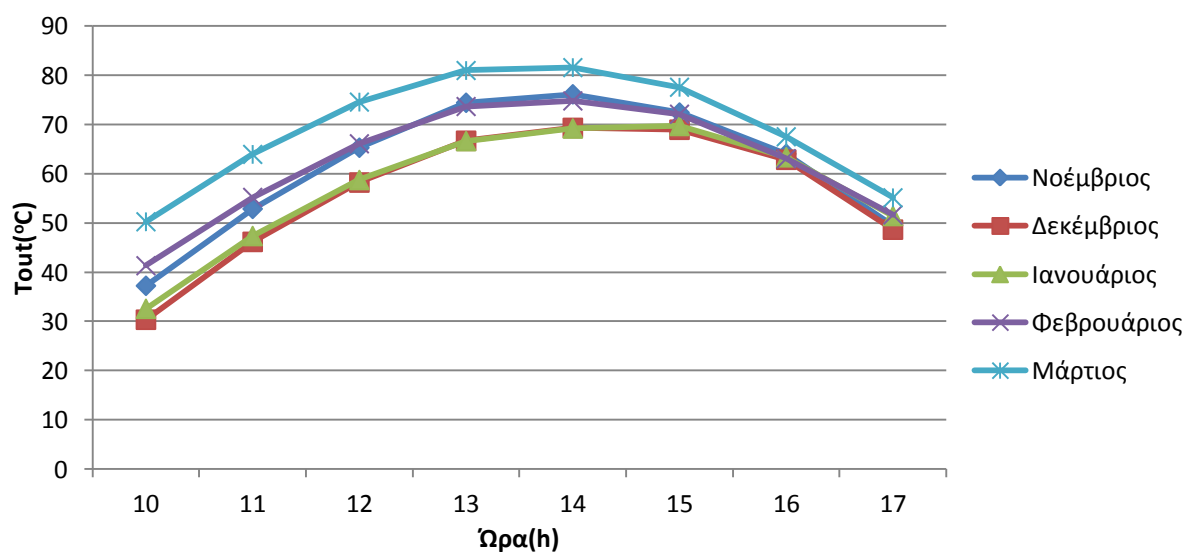
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12 : Παραμετρική μελέτης ως προς την παροχή νερού στους συλλέκτες

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται παραμετροποίηση ως προς την παροχή νερού που περνάει από τους συλλέκτες. Δοκιμάζονται δύο τιμές παροχής, 216kg/h και 486 kg/h ή αντίστοιχα 0,004kg/s*συλλέκτη και 0,009kg/s*συλλέκτη. Το ΥΑΦ που χρησιμοποιώ είναι το RT20 και ακολουθούν τα ανάλογα διαγράμματα.

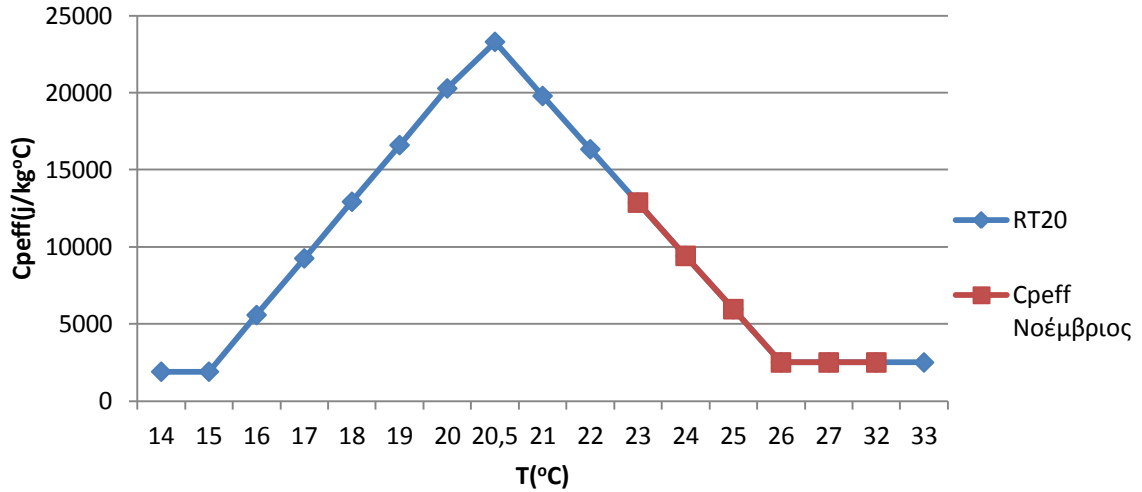
- Παροχή=216kg/h



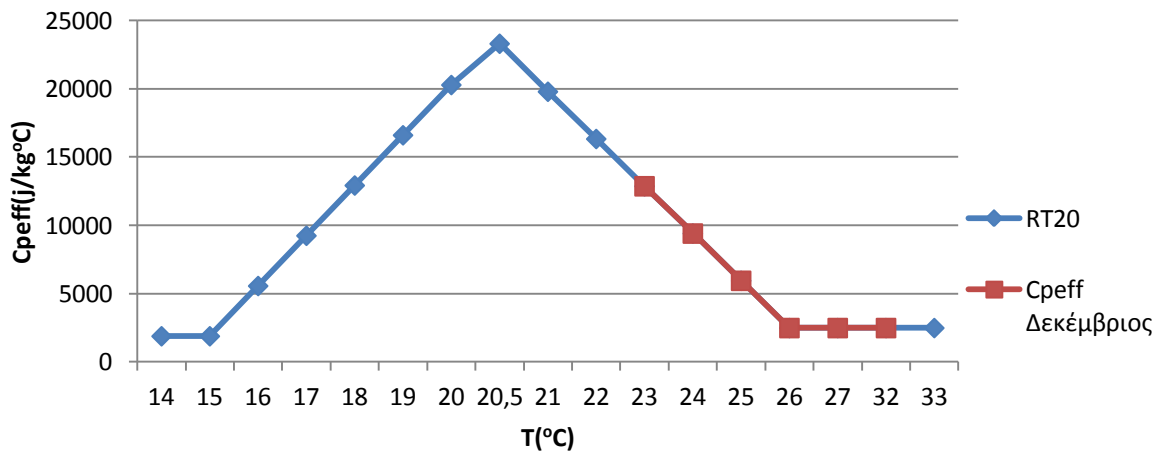
Διάγραμμα 12-1. Θερμοκρασία RT20 - 15 συλλέκτες - 216kg/h



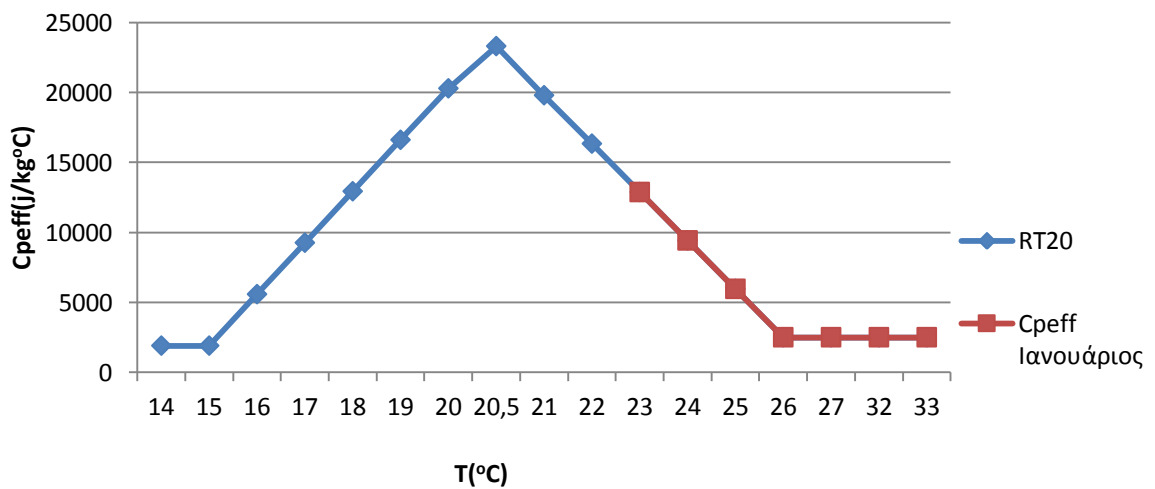
Διάγραμμα 12-2. Tout συναρτήσεως της ώρας - 15 συλλέκτες - 216kg/h



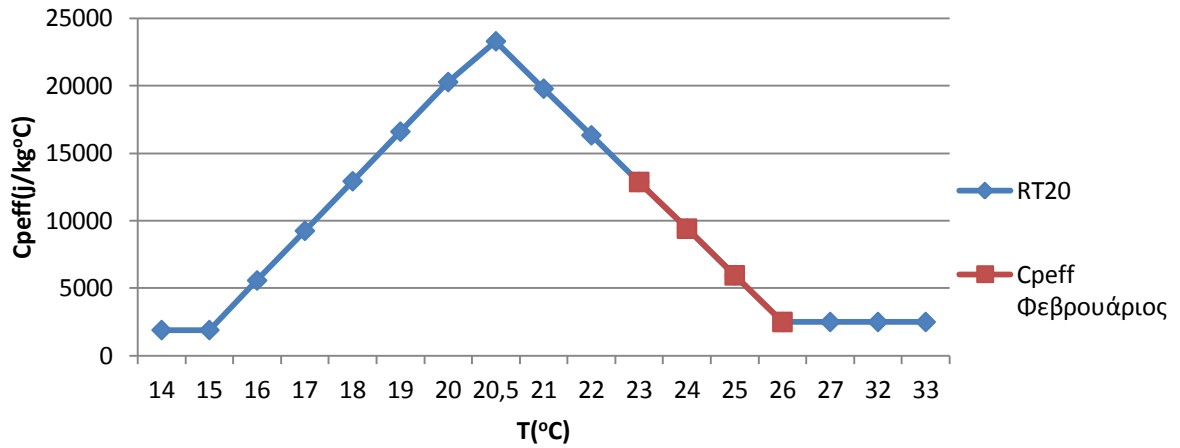
Διάγραμμα 12-3. Cp_eff Νοεμβρίου – RT20 – 15 συλλέκτες – 216kg/h



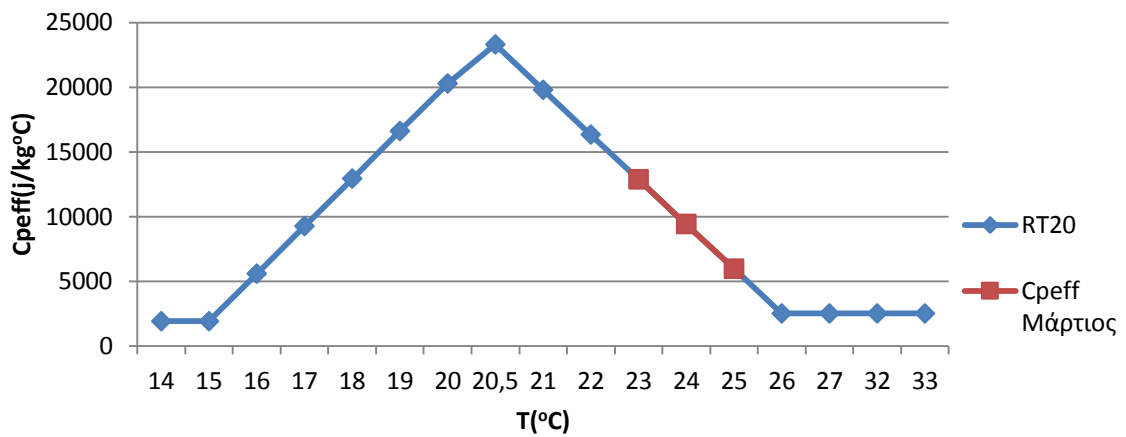
Διάγραμμα 12-4. Cp_eff Δεκεμβρίου – RT20 – 15 συλλέκτες – 216kg/h



Διάγραμμα 12-5. Cp_eff Ιανουαρίου – RT20 – 15 συλλέκτες – 216kg/h

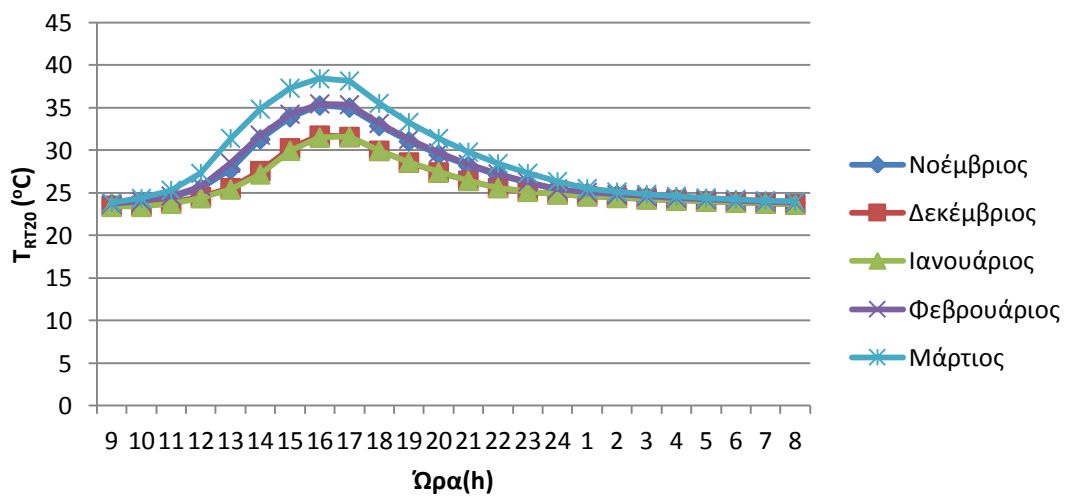


Διάγραμμα 12-6. Cp_eff Φεβρουαρίου – RT20 – 15 συλλέκτες – 216kg/h

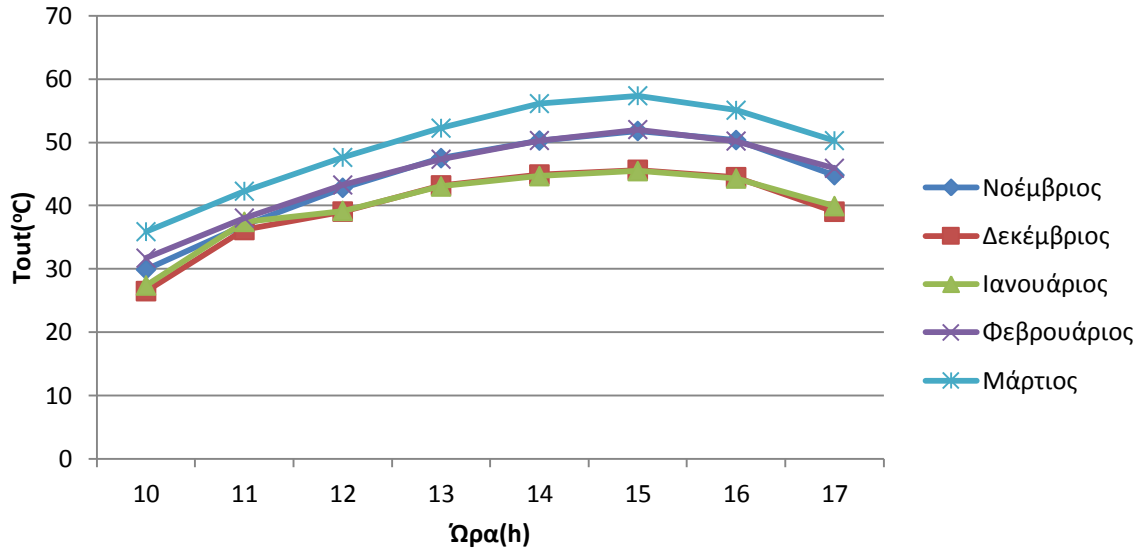


Διάγραμμα 12-7. Cp_eff Μαρτίου – RT20 – 15 συλλέκτες – 216kg/h

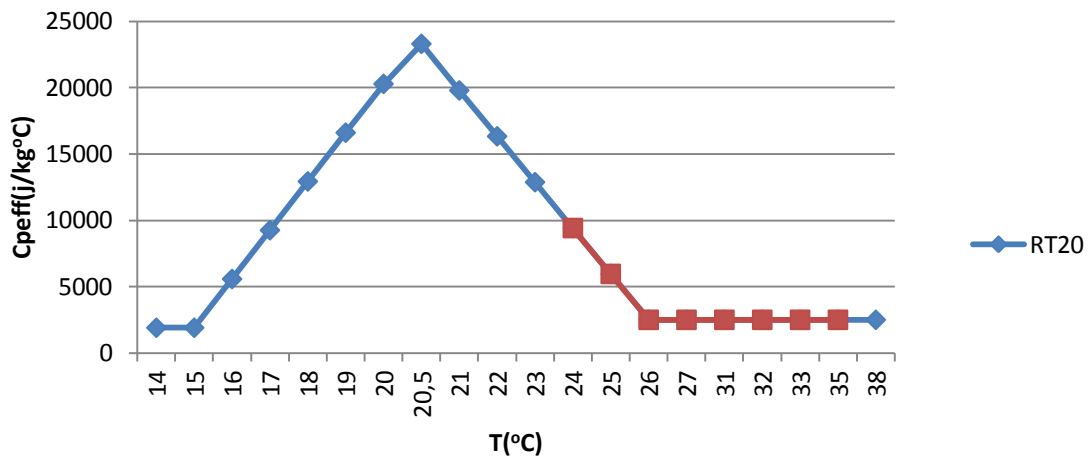
- Παροχή=486kg/h



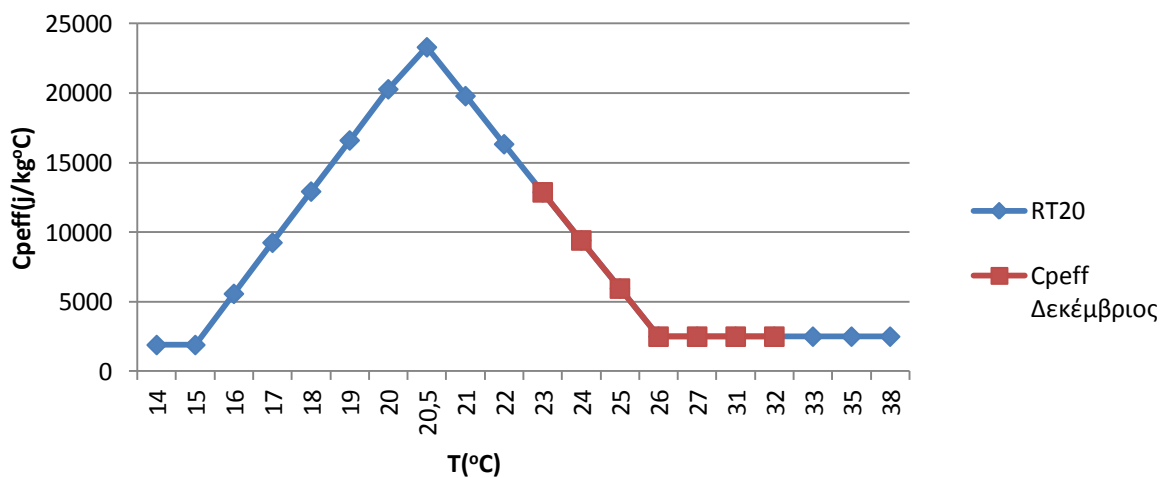
Διάγραμμα 12-8. Θερμοκραρία RT20 - 15 συλλέκτες - 486kg/h



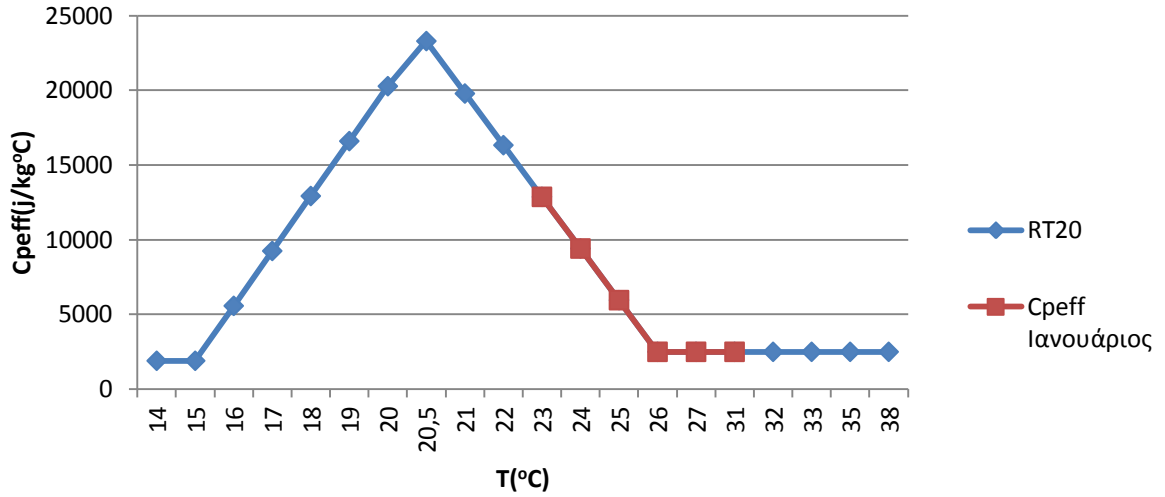
Διάγραμμα 12-9. Tout συναρτήσει της ώρας – 15 συλλέκτες – 486kg/h



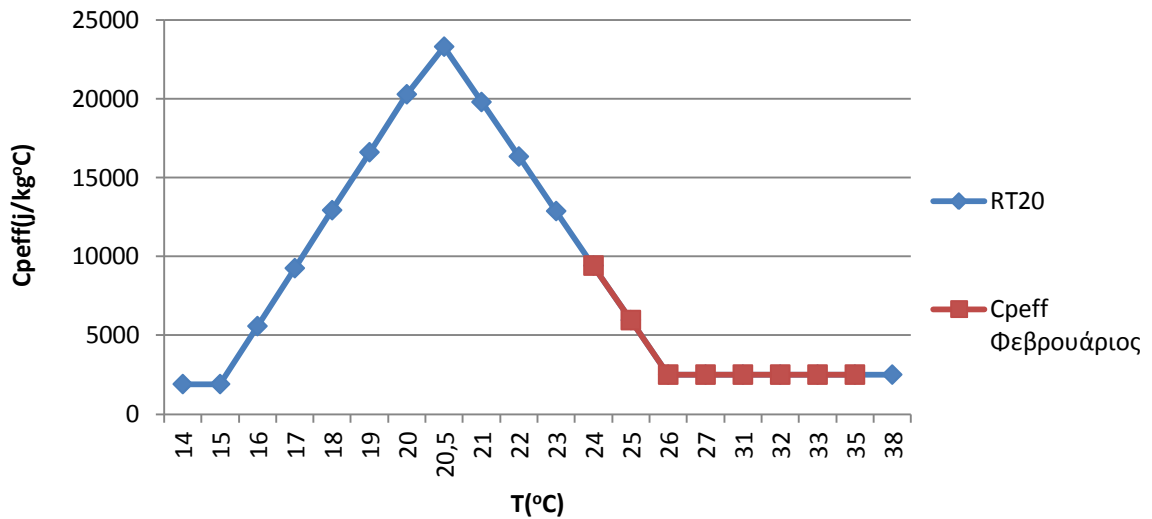
Διάγραμμα 12-10. Cpeff Νοεμβρίου – RT20 – 15 συλλέκτες – 486kg/h



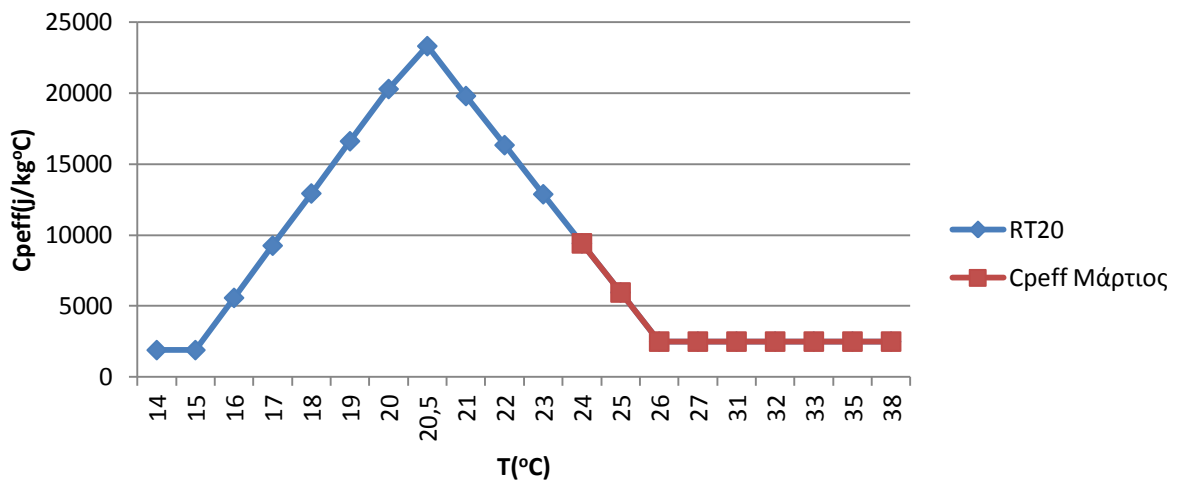
Διάγραμμα 12-11. Cpeff Δεκεμβρίου – RT20 – 15 συλλέκτες – 486kg/h



Διάγραμμα 12-12. Cp_eff Ιανουαρίου – RT20 – 15 συλλέκτες – 486kg/h



Διάγραμμα 12-13. Cp_eff Φεβρουαρίου – RT20 – 15 συλλέκτες – 486kg/h



Διάγραμμα 12-14. Cp_eff Μαρτίου – RT20 – 15 συλλέκτες – 486kg/h

12.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ως προς την παροχή του νερού που περνάει από τους συλλέκτες είχαμε ουσιαστικά τρεις τιμές παροχής : 486kg/h , 360kg/h και 216 kg/h.

Αυτά που μπορούμε να παρατηρήσουμε είναι τα εξής :

- Με τη μείωση της παροχής στα 216kg/h οι θερμοκρασίες εξόδου του νερού από τους συλλέκτες αυξάνονται αρκετά σε σχέση με τις τιμές του Τουτ των άλλων δύο παροχών και αυτό διότι το νερό περνάει πιο αργά από τους συλλέκτες και έτσι αυξάνει αρκετά τη θερμοκρασία του. Κάτι τέτοιο όμως κάνει τις θερμοκρασίες αυτές (>80°C) του νερού ακατάλληλες για την ενδοδαπέδια θέρμανση, διότι κάτι τέτοιο θα οδηγούσε σε υπερθέρμανση του δαπέδου. Φυσικά, και στη συγκεκριμένη περίπτωση θα μπορούσαμε να στραφούμε στην αξιοποίηση αυτού του ζεστού νερού σε άλλες χρήσεις.
- Όπως ήταν αναμενόμενο, δεν αξιοποιούμε σε καμία περίπτωση όλες τις δυνατότητες του ΥΑΦ κάτι που φαίνεται από όλα τα διαγράμματα C_{reff} όπου η καμπύλη C_{reff} του ΥΑΦ καλύπτει στην εκάστοτε περίπτωση μόνο μία μικρή περιοχή του τριγώνου του C_p.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα 1.

Παρατίθενται ο κύριος κώδικας που χρησιμοποιήθηκε σε Matlab για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

```
for j=1:5
for i=1:24
if Tpcm(i,j)<PCM(2)
Cpeff(i,j)=PCM(4);
elseif Tpcm(i,j)>=PCM(2)&& Tpcm(i,j)<=PCM(6)
Cpeff(i,j)=(4*(PCM(1)-(PCM(3)-PCM(2))*PCM(4))*(PCM(i,j)-
PCM(2)))/((PCM(3)-PCM(2))^2)+PCM(4);
elseif Tpcm(i,j)>=PCM(6) && Tpcm(i,j)<=PCM(3)
Cpeff(i,j)=(4*((PCM(3)-PCM(2))*PCM(5)-PCM(1))*(Tpcm(i,j)-PCM(2)-((PCM(3)-
PCM(2))/2)))/((PCM(3)-PCM(2))^2)+(2*PCM(1))/(PCM(3)-PCM(2))-PCM(5);
elseif Tpcm(i,j)>= PCM(3)
Cpeff(i,j)=PCM(5);
end
Qprosdom=A*U*3600*(Tpcm(i,j)-Tdom);
if i<=8.00
Qu(i,j)= Ac*(FrTa*Gt(i,j)-FrUl*(Tin(i,j)-Ta(i,j)));
Tout(i+1,j)=(3600*Qu(i,j))/(Mv*Cpv)+Tin(i,j);
if Tout(i+1,j)>=29.00 && Tout(i+1,j)<=70.00
if Qprosdom>=0
Tpcm(i+1,j)=((3600*Qu(i,j)-Qprosdom)/(PCM(7)*Cpeff(i,j)))+Tpcm(i,j);
Tin(i+1,j)=Tpcm(i+1,j);
elseif Qprosdom<0
Tpcm(i+1,j)=((3600*Qu(i,j)+Qprosdom)/(PCM(7)*Cpeff(i,j)))+Tpcm(i,j);
Tin(i+1,j)=Tpcm(i+1,j);
end
elseif Tout(i+1,j)<29.00
if Tpcm(i,j)<=Ta(i+1,j)
Tpcm(i+1,j)=Ta(i+1,j);
elseif Tpcm(i,j)>Ta(i+1,j)
Tpcm(i+1,j)=Tpcm(i,j);
end
Tin(i+1,j)=Tout(i+1,j);
elseif Tout(i+1,j)>70.00
if Qprosdom>=0
Tpcm(i+1,j)=((-Qprosdom)/(PCM(7)*Cpeff(i,j)))+Tpcm(i,j);
Tin(i+1,j)=Tpcm(i+1,j);
elseif Qprosdom<0
Tpcm(i+1,j)=((Qprosdom)/(PCM(7)*Cpeff(i,j)))+Tpcm(i,j);
Tin(i+1,j)=Tpcm(i+1,j);
```



```
end
end
elseif i>8.00 && i<=23.00
  if Qprosdom>=0
    Tpcm(i+1,j)=((-Qprosdom)/(PCM(7)*Cpeff(i,j)))+Tpcm(i,j);
  elseif Qprosdom<0
    Tpcm(i+1,j)=((Qprosdom)/(PCM(7)*Cpeff(i,j)))+Tpcm(i,j);
  end
end
end
end
end
```

Παράρτημα 2.

Παρατίθενται οι επαναλήψεις που έγιναν για μία από όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν.

Πίνακας 13 Trcm – 1η επανάληψη

	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος
Ώρα					
9	11,489	8,647	8,261	10,016	11,823
10	12,217	9,371	9,121	11,161	13,603
11	13,991	9,896	9,686	12,907	17,282
12	17,851	12,213	12,021	16,667	18,298
13	18,699	15,868	15,627	17,902	19,171
14	19,421	17,541	17,621	18,745	19,907
15	20,005	18,301	18,370	19,402	20,510
16	20,445	18,800	18,863	19,871	20,974
17	20,701	19,035	19,130	20,169	21,335
18	20,696	18,990	19,088	20,154	21,328
19	20,690	18,944	19,045	20,138	21,321
20	20,684	18,895	19,000	20,122	21,314
21	20,678	18,845	18,954	20,106	21,308
22	20,673	18,794	18,906	20,090	21,302
23	20,667	18,740	18,856	20,073	21,295
24	20,660	18,685	18,805	20,055	21,289
1	20,654	18,627	18,752	20,038	21,283
2	20,648	18,567	18,697	20,019	21,278
3	20,641	18,505	18,640	20,001	21,272
4	20,635	18,440	18,580	19,982	21,266
5	20,628	18,373	18,519	19,963	21,261
6	20,621	18,302	18,454	19,943	21,256
7	20,615	18,228	18,387	19,923	21,250
8	20,608	18,151	18,317	19,902	21,245

Πίνακας 14. Trcm - 2η επανάληψη

	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος
Ώρα					
9	23,070	21,079	21,195	22,659	23,495
10	20,767	18,232	18,390	20,118	21,568
11	21,095	18,527	18,689	20,460	22,078
12	21,585	19,008	19,162	20,894	22,773
13	22,217	19,556	19,692	21,453	23,674
14	22,947	20,076	20,198	22,078	24,818
15	23,731	20,531	20,648	22,733	26,435
16	24,505	20,891	21,018	23,328	29,504
17	25,055	21,109	21,270	23,773	30,846
18	24,785	21,107	21,265	23,668	29,332
19	24,568	21,105	21,260	23,571	28,051
20	24,384	21,103	21,254	23,481	26,967
21	24,223	21,101	21,249	23,396	26,050
22	24,080	21,099	21,244	23,316	25,274
23	23,950	21,097	21,239	23,240	24,946
24	23,832	21,095	21,234	23,169	24,699
1	23,723	21,093	21,230	23,101	24,496
2	23,622	21,091	21,225	23,036	24,322
3	23,528	21,089	21,220	22,975	24,168
4	23,440	21,088	21,216	22,916	24,030
5	23,358	21,086	21,212	22,860	23,905
6	23,280	21,084	21,207	22,807	23,790
7	23,206	21,082	21,203	22,756	23,685
8	23,137	21,081	21,199	22,706	23,586

Πίνακας 15. Trcm - 3η επανάληψη

	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος
Ώρα					
9	23,665	22,943	23,029	23,603	23,826
10	23,261	21,079	21,195	22,909	23,960
11	23,747	21,333	21,460	23,401	24,800
12	24,556	21,751	21,891	24,153	26,293
13	25,878	22,298	22,448	25,265	30,584
14	29,208	22,923	23,087	27,182	34,164
15	32,175	23,592	23,785	30,473	36,746
16	33,858	24,210	24,438	32,365	37,959
17	33,864	24,554	24,873	32,827	37,779
18	31,887	24,372	24,640	31,009	35,200
19	30,213	24,213	24,446	29,470	33,017
20	28,797	24,070	24,278	28,168	31,170
21	27,599	23,942	24,129	27,066	29,607
22	26,584	23,824	23,995	26,134	28,284
23	25,726	23,716	23,873	25,345	27,164
24	25,199	23,616	23,761	24,994	26,216
1	24,893	23,522	23,657	24,737	25,415
2	24,656	23,434	23,561	24,528	25,040
3	24,460	23,352	23,471	24,350	24,773
4	24,290	23,275	23,386	24,193	24,558
5	24,140	23,201	23,307	24,053	24,375
6	24,005	23,132	23,232	23,925	24,215
7	23,882	23,066	23,161	23,809	24,073
8	23,769	23,003	23,093	23,702	23,944

Πίνακας 16. Trcm - 4η επανάληψη

	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος
Ώρα					
9	23,700	23,484	23,511	23,710	23,846
10	23,867	22,943	23,029	23,888	24,330
11	24,428	23,259	23,363	24,506	25,279
12	25,440	23,837	23,964	25,568	27,225
13	27,582	24,686	24,842	27,881	31,349
14	31,167	25,892	26,129	31,278	34,791
15	33,782	28,485	29,091	33,833	37,260
16	35,175	30,283	30,790	35,120	38,380
17	34,945	30,387	31,022	35,086	38,125
18	32,801	28,944	29,481	32,920	35,493
19	30,987	27,723	28,178	31,088	33,265
20	29,452	26,689	27,074	29,537	31,379
21	28,153	25,815	26,141	28,225	29,784
22	27,053	25,226	25,350	27,114	28,434
23	26,123	24,912	24,998	26,174	27,291
24	25,335	24,672	24,740	25,379	26,324
1	24,988	24,473	24,531	25,017	25,506
2	24,733	24,301	24,352	24,755	25,094
3	24,524	24,150	24,195	24,543	24,815
4	24,346	24,014	24,054	24,362	24,593
5	24,190	23,890	23,927	24,204	24,405
6	24,050	23,777	23,811	24,063	24,242
7	23,923	23,672	23,703	23,935	24,097
8	23,807	23,575	23,604	23,818	23,966

Πίνακας 17. Trcm - 5η επανάληψη

	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος
Ώρα					
9	23,700	23,484	23,511	23,710	23,846
10	23,903	23,484	23,511	24,001	24,353
11	24,470	23,831	23,876	24,639	25,309
12	25,498	24,498	24,562	25,761	27,294
13	27,735	25,560	25,647	28,511	31,405
14	31,292	27,576	27,799	31,795	34,837
15	33,884	30,251	30,460	34,256	37,298
16	35,259	31,732	31,913	35,468	38,412
17	35,014	31,574	31,943	35,371	38,151
18	32,860	29,949	30,261	33,161	35,514
19	31,036	28,573	28,837	31,292	33,283
20	29,494	27,409	27,632	29,710	31,395
21	28,188	26,424	26,613	28,371	29,797
22	27,083	25,590	25,750	27,238	28,445
23	26,148	25,140	25,207	26,279	27,300
24	25,357	24,849	24,899	25,468	26,332
1	25,002	24,621	24,661	25,072	25,512
2	24,744	24,429	24,464	24,798	25,098
3	24,534	24,263	24,294	24,579	24,818
4	24,354	24,116	24,143	24,393	24,595
5	24,197	23,983	24,008	24,231	24,407
6	24,056	23,862	23,884	24,087	24,244
7	23,929	23,751	23,771	23,957	24,098
8	23,812	23,648	23,667	23,838	23,967

Παράρτημα 3.

Ακολουθούν οι πίνακες από το βιβλίο του κλιματισμού για τις θερμοκρασίες περιβάλλοντος για τους μήνες Νοέμβριο έως και Μάρτιο.

Ώρα	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος
1	11.4	8.6	8.3	9.5	10.7
2	11.5	8.5	8.1	9.3	10.5
3	11.5	8.3	7.7	9.0	10.2
4	11.4	8.1	7.3	8.6	10.0
5	11.2	7.9	7.0	8.4	10.0
6	11.1	7.8	6.9	8.4	10.1
7	11.1	7.9	7.1	8.6	10.4
8	11.3	8.3	7.6	9.2	11.0
9	11.7	8.8	8.3	10.1	11.8
10	12.4	9.4	9.3	11.3	12.7
11	13	10.1	10.4	12.4	13.5
12	13.6	10.7	11.4	13.5	14.2
13	14.1	11.1	12.1	14.2	14.6
14	14.2	11.2	12.5	14.6	14.7
15	14	11.1	12.4	14.5	14.5
16	13.5	10.8	12.1	14.0	14.0
17	12.8	10.4	11.5	13.3	13.4
18	12	9.9	10.8	12.4	12.7
19	11.4	9.4	10.1	11.5	12.1
20	10.9	9.1	9.5	10.8	11.6
21	10.7	8.8	9.0	10.3	11.3
22	10.7	8.7	8.8	10.0	11.1
23	10.9	8.7	8.6	9.8	10.9
24	11.1	8.7	8.5	9.7	10.8

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (ΜΕΡΟΣ Β)

- [1] Κίμωνος Α. Αντωνόπουλου, Κλιματισμός
- [2] Κίμωνος Α. Αντωνόπουλου, Θερμικά-Ηλιακά συστήματα
- [3] Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2010, ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ,2010