

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ: ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΠΙΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ :**

**«Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου θερμικής εξομοίωσης  
συστήματος ηλιακών συλλεκτών»**

**Σπουδαστές:  
Πριφτάκης Σωτήριος  
Α.Μ 2823  
Χρήστου Αλέξανδρος  
Α.Μ 2795**

**Εισηγητής :**

**Καθ. Δρ. Σωκράτης Καπλάνης  
Υπεύθυνος εργαστηρίου Η.Μ.Ε**

**-ΠΑΤΡΑ 2001**

## Περιεχόμενα

---

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°

|  |    |
|--|----|
| 1.1 Περιγραφή συστημάτων ηλιακών συστημάτων.....                 | 6  |
| 1.2 Περιγραφή υπολογιστικής μεθόδου καμπυλών f.....              | 9  |
| 1.3 Ανάλυση των επιμέρους συντελεστών.....                       | 12 |
| 1.3.1 Επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών $A_c$ .....                    | 12 |
| 1.4 Διορθωτικός συντελεστής συλλέκτη - εναλλάκτη.....            | 14 |
| 1.5 Διορθωτικός συντελεστής $(ta)/(ta)_n$ .....                  | 16 |
| 1.6 Χαρακτηριστικά μεγέθη συλλέκτη $F_R U_L, F_R (ta)_n$ .....   | 18 |
| 1.6.1 Συντελεστής χωρητικότητας της δεξαμενής $K_2$ .....        | 21 |
| 1.6.2 Διορθωτικός συντελεστής ζεστού νερού.....                  | 21 |
| 1.6.3 Διορθωτικός συντελεστής εναλλάκτη.....                     | 22 |
| 1.6.4 Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο..... | 23 |

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

|  |    |
|--|----|
| 2.1 Γενικά.....  | 28 |
| 2.1.1 Φορτίο θέρμανσης χώρου $L_{sh}$ .....                  | 28 |
| 2.1.2 Σφάλμα υπολογισμού βαθμοημερών.....                    | 34 |
| 2.1.3 Η έννοια της μαθηματικής πολυωνυμικής προσαρμογής..... | 45 |

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°

|  |    |
|--|----|
| 3.1: Αναλυτική περιγραφή.....  | 51 |
| 3.2 Θερμικά φορτία λόγω θερμοπερατότητας υπό σταθερές θερμικές συνθήκες..... | 59 |
| 3.3 Θερμικά φορτία - Παραγωγή ζεστού νερού.....                              | 60 |

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°

|  |    |
|--|----|
| 4.1 Περιγραφή της κατοικίας, δεδομένα.....                                       | 64 |
| 4.2 Υπολογισμός συντελεστών θερμοπερατότητας.....                                | 66 |
| 4.2.1 Συντελεστής θερμοπερατότητας δαπέδου επί φυσικού εδάφους.....              | 66 |
| 4.2.2 Συντελεστής θερμοπερατότητας δαπέδου πάνω από μη θερμαινόμενο υπόγειο..... | 68 |
| 4.2.3 Συντελεστής θερμοπερατότητας οροφής.....                                   | 72 |

|   |    |
|---|----|
| 4.2.4 Συντελεστής θερμοπερατότητας εξωτερικών τοίχων.....                                       | 73 |
| 4.2.5 Συντελεστής θερμοπερατότητας ανοιγμάτων.....  | 73 |
| 4.2.6 Μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας κατοικίας.....   | 74 |
| 4.3 Θερμικά φορτία.....   | 74 |
| 4.3.1 Υπολογισμός θερμικών φορτίων λόγω θερμοπερατότητας υπό σταθερές<br>θερμικές συνθήκες..... | 74 |
| 4.3.2 Υπολογισμός θερμικών φορτίων για παραγωγή ζεστού νερού.....                               | 76 |
| 4.3.3 Υπολογισμός θερμικών φορτίων απωλειών σωληνώσεων $L_p$ .....                              | 77 |
| 4.4 Μέση μηνιαία ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο $\overline{H_T}$ .....                        | 79 |
| 4.5 Διαστασιολόγηση.....  | 80 |
| Συμπεράσματα.....   | 86 |
| Παράρτημα .....   | 88 |
| Βιβλιογραφία.....   | 97 |

Η πτυχιακή αυτή εργασία, πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Ήπιων Μορφών Ενέργειας κατά τη διάρκεια του σπουδαστικού έτους 2000-2001 και πραγματεύεται:

- τη μελέτη της κάλυψης θερμικών φορτίων μιας συγκεκριμένης κατοικίας από ηλιακούς συλλέκτες και
- την πρόβλεψη, των διαστάσεων μιας εγκατάστασης συστήματος συλλεκτών, ικανού να καλύψει, συγκεκριμένο ποσοστό θερμικών αναγκών.

Για το σκοπό αυτό, θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος εξομοίωσης θερμικών συστημάτων ηλιακών συλλεκτών, γνωστή ως f-chart.

Για την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου, θα αναλυθούν μετεωρολογικά δεδομένα που ελήφθησαν από το Πανεπιστήμιο της Πάτρας και την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία για το χρονικό διάστημα των τελευταίων 7(1995-2001) ετών, ώστε να προσδιοριστούν με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια τα μηνιαία φορτία για μια δεδομένη κατοικία.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον καθηγητή μας Δρ.Σ.Καπλάνη (υπεύθυνο του εργαστηρίου των Η.Μ.Ε) και τον εργαστηριακό συνεργάτη Αχ.Κωστούλα για τη βοήθεια που μας προσέφερε κατά τη συγγραφή της πτυχιακής αυτής εργασίας.

## Εισαγωγή

---

Η σχεδίαση ενός ανταγωνιστικού και βιώσιμου συστήματος ηλιακών συλλεκτών, προϋποθέτει τον υπολογισμό της θερμικής απόδοσης, δηλαδή τον προσδιορισμό της ωφέλιμης ενέργειας που θα παρέχει το σύστημα, για την κάλυψη των θερμικών φορτίων.

Η σχεδίαση αυτή, βασίζεται επίσης στην ανάλυση σειράς ετήσιων μετεωρολογικών δεδομένων, (ένταση ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασία περιβάλλοντος) και είναι φυσικό ο όγκος των υπολογισμών να είναι πολύ μεγάλος ακόμα και για μονάδες H/Y.

Επειδή τα δεδομένα αυτά συμπεριφέρονται στοχαστικά, είναι ανάγκη η λήψη και καταγραφή μετρήσεων των ποσοτήτων αυτών επί σειράς ετών, ώστε να προκύψουν οι μέσες τιμές των μεγεθών και η τυπική στατιστική απόκλιση αυτών.

Ουσιαστικά δηλαδή, η εκτίμηση των μεγεθών αυτών επιβάλλεται να γίνει σε υψηλό επίπεδο πιστότητας.

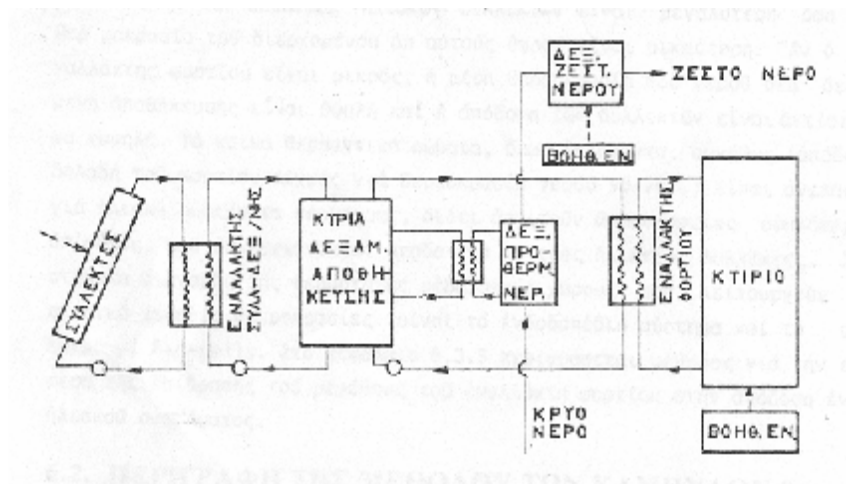
Η εργασία αυτή, με την εφαρμογή της μεθόδου εξομοίωσης θερμικών συστημάτων ηλιακών συλλεκτών, γνωστής ως f-chart, που αναπτύχθηκε από τους Αμερικανούς S.Klein, W.Beckman και Duffy του Πανεπιστημίου του Wisconsin, δίνει απαντήσεις στο ζήτημα του ποσοστού της κάλυψης των θερμικών φορτίων μιας συγκεκριμένης κατοικίας από την ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει σε ηλιακούς συλλέκτες. Η επιφάνεια,  $A_c$ , των ηλιακών συλλεκτών, θα είναι παράμετρος στην ανάλυση που θα παρουσιαστεί.

Τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιούμε για τον υπολογισμό του φορτίου, προέρχονται από την καταγραφή μετρήσεων για την Δυτική Ελλάδα για μια σειρά των επτά τελευταίων ετών. Είναι λεπτομερή και βασίζονται σε ωριαίες μετρήσεις με αποτέλεσμα να δίνουν με μεγάλη ακρίβεια το θερμικό φορτίο,  $L_{sh}$ , της θέρμανσης χώρου.

1.1 Περιγραφή συστημάτων ηλιακών συστημάτων

Η μέθοδος των καμπυλών  $f$ , είναι μια προσεγγιστική μέθοδος για να υπολογίζουμε τα ποσοστά της κάλυψης των θερμικών φορτίων ζεστού νερού και θέρμανσης χώρου σε σύστημα ηλιακών συλλεκτών όπως φαίνεται στο σχήμα 1.1.1<sup>(5,10)</sup>. Η μέθοδος αυτή, ισχύει για τις διατάξεις αυτές και μόνο. Στα συστήματα αυτά χρησιμοποιείται υγρό (νερό ή κάποιο αντιπηκτικό διάλυμα) ως μέσο μεταφοράς θερμότητας από τους ηλιακούς συλλέκτες στην αποθήκη και νερό ως μέσον αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας.

Για τη μετατροπή της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε θερμική ενέργεια, θεωρείται ότι χρησιμοποιούνται επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες<sup>(5)</sup>. Η ενέργεια αυτή αποθηκεύεται με μορφή αισθητής θερμότητας στη δεξαμενή αποθήκευσης και χρησιμοποιείται, όταν χρειάζεται, για να τροφοδοτήσει το φορτίο θέρμανσης και ζεστού νερού, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 1.1.1 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος θέρμανσης

Γενικά, μέσα από τους συλλέκτες κυκλοφορεί ένα αντιπηκτικό διάλυμα και μεταξύ συλλεκτών και δεξαμενής χρησιμοποιείται ένας εναλλάκτης,

Για τη μεταφορά θερμότητας από τη δεξαμενή αποθήκευσης στο κτίριο, χρησιμοποιείται ένας εναλλάκτης υγρού-αέρα, που ονομάζεται εναλλάκτης φορτίου.

Ένας άλλος εναλλάκτης χρησιμοποιείται για τη μεταφορά θερμότητας στο σύστημα ζεστού νερού χρήσης, που αποτελείται από μια δεξαμενή προθέρμανσης, που τροφοδοτεί με προθερμασμένο νερό ένα συμβατικό θερμοσίφωνα.

Όταν η ενέργεια στη δεξαμενή αποθήκευσης δεν είναι επαρκής, χρησιμοποιείται συμπληρωματικά μια συμβατική πηγή ενέργειας ( αντλία θερμότητας, μηχανή DIESEL ) για να τροφοδοτήσει το φορτίο. Διάφοροι αυτοματισμοί ,βαλβίδες ασφαλείας, κυκλοφορητές, σωληνώσεις, συμπληρώνουν το σύστημα.

Η σημερινή εμπειρία στο πεδίο των ηλιακών εφαρμογών, έχει καταλήξει σε μερικούς πρακτικούς κανόνες για τη σχεδίαση ηλιακών συστημάτων σαν αυτά του σχήματος 1. Οι κανόνες συνοψίζονται στο παρακάτω σχήμα.

### Πίνακας 1.1: Πρακτικοί κανόνες για το σχεδιασμό ηλιακών εγκαταστάσεων για θέρμανση και ζεστό νερό

|  |  |
|--|--|
| Παροχή από τους συλλέκτες                          | $0,015 \text{ l / s} - \text{m}^2$   |
| Κλίση και προσανατολισμός συλλεκτών                | Γεωγραφικό πλάτος συν $10^\circ$ - $15^\circ$ προς νότο είναι το βέλτιστο. Όμως αποκλίσεις από τη βέλτιστη κλίση και προσανατολισμό μέχρι $15^\circ$ έχουν μικρή σημασία |
| Εναλλάκτης συλλεκτών                               | $F_R' / F_R > 0.9$   |
| Χωρητικότητα δεξαμενής αποθήκευσης                 | 50 μέχρι $100 \text{ l / m}^2$   |
| Εναλλάκτης αποθήκευσης προθερμασμένου νερού χρήσης | 1.5 μέχρι 2 φορές η χωρητικότητα του συμβατικού θερμοσίφωνα  |
| Εναλλάκτης φορτίου                                 | $1 < e_L C_{\min} / (UA)_b < 5$  |

Όπου:

$F'_R$  : ο συντελεστής θερμικής απολαβής του συνδυασμού ηλιακού συλλέκτη εναλλάκτη θερμότητας της δεξαμενής αποθηκείσεως

$F_R$  : ο συντελεστής θερμικής απολαβής του συλλέκτη

$(UA)_b$  : το γινόμενο του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας επί την εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου <sup>(4)</sup>

$e_L$  : ο βαθμός εκμετάλλευσης του εναλλάκτη. <sup>(5)</sup>

$C_{min}$  : η μικρότερη από τις δύο θερμοχωρητικές παροχές ( παροχή μάζας επί ειδική θερμότητα).

Η απόδοση των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών είναι μεγαλύτερη όσο η θερμοκρασία του διερχόμενου από αυτούς υγρού είναι μικρότερη. Αν ο εναλλάκτης φορτίου είναι μικρός, η μέση θερμοκρασία του νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης είναι υψηλή και η απόδοση των συλλεκτών είναι αντίστοιχα χαμηλή. Τα κοινά θερμαντικά σώματα, όπως εκλέγονται συνήθως, (απόδοση δηλαδή του φορτίου αιχμής για θερμοκρασία νερού 90-70 °C ), είναι ανεπαρκή για ηλιακά συστήματα θέρμανσης, διότι απαιτούν θερμοκρασίες υψηλότερες από αυτές που επιτυγχάνονται αποδοτικά με τους ηλιακούς συλλέκτες. Για το λόγο αυτό, σε διατάξεις εφαρμογών ηλιακών συλλεκτών για θέρμανση χώρων, χρησιμοποιούνται εναλλάκτες που λειτουργούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, όπως είναι τα fan-coils .



## 1.2 Περιγραφή υπολογιστικής μεθόδου καμπυλών f

Η εξομοίωση, βάσει της μεθόδου f-chart, που θα επιχειρηθεί, βασίζεται σε μέσες μηνιαίες τιμές.

Κατά τη μέθοδο των καμπυλών f-chart, το ποσοστό f, του μηνιαίου θερμικού φορτίου που καλύπτεται από την ηλιακή ενέργεια (ή απλά και κάλυψη,) δίνεται από τον τύπο:

$$f_i = \frac{Q_{u,i}}{L_i} \quad (1.2.1)$$

όπου

$L_i$ : η μέση μηνιαία ωφέλιμη ενέργεια κατά το μήνα  $i$ ,  $\{i: 1-12\}$  που οι συλλέκτες επιφανείας  $A_c$  αποδίδουν και που η θερμότητα αποθηκεύεται σε μια δεξαμενή.

$L_i$ : το θερμικό φορτίο της κατοικίας κατά το μήνα  $i$

Συγκεκριμένα:

$$L = L_w + L_p + L_{sh} \quad (1.2.2)$$

όπου

$L$  το συνολικό μηνιαίο θερμικό φορτίο, που είναι το άθροισμα του φορτίου για θέρμανση χώρου και του φορτίου παραγωγής ζεστού νερού συναθροίζοντας και τις απώλειες λόγω κυκλοφορίας του ζεστού νερού.

Το μέσο μηνιαίο φορτίο για θέρμανση νερού,  $L_w$ , υπολογίζεται ως εξής:

$$L_w = NV_w \rho C_p (T_w - T_m) \quad (1.2.3)$$

όπου

$N$  ο αριθμός ημερών του μήνα

$V_w$  η μέση ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού θερμοκρασίας  $T_w$  (lt)

$\rho$  το ειδικό βάρος του νερού ( 1kg/lt )

$C_p$  η ειδική θερμότητα του νερού ( 4190 J/kg-°C )

$T_w$  η επιθυμητή θερμοκρασία του ζεστού νερού

$T_m$  η θερμοκρασία του κρύου νερού

$$L_p = Nt\bar{U}l \quad (1.2.4)$$

όπου :

$N$  ο αριθμός ημερών κάθε μήνα

$T$  η ημερήσια διάρκεια χρήσης του δικτύου ( s )

$\bar{U}$  ο μέσος συντελεστής απωλειών σωλήνων (W/m )<sup>(5)</sup>

$l$  το συνολικό μήκος του δικτύου ( m )

$L_{sh}$  : Το μηνιαίο φορτίο θέρμανσης χώρου που δίνεται από τη σχέση

$$L_{sh} = 24 \frac{h}{d} \times (UA)_b \times f_e \times 3600 J$$

Το  $f$  εκφράζεται με τη βοήθεια δύο αδιάστατων συντελεστών  $X$  και  $Y$ .

$$X = F_R U_L \times (F'_R / F_R) \times (T_{REF} - \bar{T}_a) \times \Delta t \times (A_C / L) \times K_2 \times K_3 \quad (1.2.5)$$

$$Y = F_R (ta)_n \times (F'_R / F_R) \times (\bar{ta}) / (ta)_n \times \bar{H}_T \times (A_C / L) \times K_4 \quad (1.2.6)$$

Οι αδιάστατοι συντελεστές  $X$  και  $Y$  έχουν την εξής φυσική έννοια:

Το  $Y$  αντιστοιχεί με το πηλίκο της ολικής ενέργειας που απορροφάται από την επιφάνεια των συλλεκτών προς το ολικό θερμικό φορτίο του μήνα.

Το  $X$  αντιστοιχεί με το πηλίκο των μηνιαίων απωλειών του συλλέκτη προς το ολικό θερμικό φορτίο του μήνα.

Για τον προσδιορισμό της κάλυψης  $f$ , δηλαδή του ποσοστού του θερμικού φορτίου που καλύπτεται από την ηλιακή ενέργεια, πρέπει πρώτα να προσδιοριστούν οι συντελεστές  $X$  και  $Y$ .

Η μέση μηνιαία ωφέλιμη ενέργεια  $Q_u$  είναι το γινόμενο του  $f$  επί το μέσο μηνιαίο θερμικό φορτίο  $L$ , για κάθε μήνα. Η μέση μηνιαία κάλυψη, είναι το άθροισμα των  $f$  επί  $L$  διαιρεμένο με το μέσο μηνιαίο φορτίο.

Η σχέση μεταξύ των  $X$ ,  $Y$  και  $f$ , εκφράζεται με την εξίσωση:

$$f = 1,029Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,0018X^2 + 0,0215Y^3 \quad (1.2.7)$$

για  $0 < Y < 3$  και  $0 < X < 18$

## 1.3 Ανάλυση των επιμέρους συντελεστών

### 1.3.1 Επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών $A_c$

$A_c$  : Η επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών (  $m^2$  ) είναι το πρώτο ζητούμενο για μια εγκατάσταση

Στην ειδική προσεγγιστική μέθοδο που θα ακολουθήσουμε, το  $A_c$  είναι μια παράμετρος , όπου για διάφορες τιμές του  $A_c$  , υπολογίζουμε το  $f$  , ώστε να αποφασίσουμε για το λογικότερο σενάριο της συστοιχίας των ηλιακών συλλεκτών.

Τα κύρια μέρη του συλλέκτη είναι: Η απορροφητική πλάκα ή απορροφητήρας, που είναι συνήθως μια μεταλλική επιφάνεια βαμμένη με μαύρο χρώμα, για να επιτυγχάνεται η μέγιστη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η θερμική μόνωση για την πίσω καθώς και τις παράπλευρες επιφάνειες του συλλέκτη. Ένα ή περισσότερα στρώματα αέρα, που χωρίζονται από διαφανή καλύμματα και παρέχουν μόνωση στην πάνω επιφάνεια του συλλέκτη και τέλος ένα πλαίσιο που εξασφαλίζει την αντοχή του συλλέκτη στα καιρικά φαινόμενα και προσδίδει μηχανική αντοχή.

Τα διαφανή καλύμματα είναι συνήθως από γυαλί. Το γυαλί έχει εξαιρετική αντοχή στις καιρικές συνθήκες και καλές μηχανικές ιδιότητες. Έχει μεγάλη διαφάνεια , αν περιέχει μικρή ποσότητα οξειδίου του σιδήρου και είναι σχετικά φτηνό. Τα μειονεκτήματα του γυαλιού είναι ότι είναι βαρύ και εύθραυστο. Μπορεί βέβαια να χρησιμοποιηθούν και ορισμένα πλαστικά. Είναι γενικά λιγότερα εύθραυστα, ελαφρά και φτηνά, καθώς χρησιμοποιούνται σε πολύ λεπτά φύλλα. Όμως τα πλαστικά, γενικά, δεν έχουν την υψηλή αντοχή του γυαλιού στις καιρικές συνθήκες. Πολλά πλαστικά επίσης γερνούν και κιτρινίζουν με το πέρασμα του χρόνου, πράγμα που μειώνει τη διαπερατότητα στην ηλιακή ακτινοβολία και οδηγεί σε μείωση της μηχανικής αντοχής. Άλλο μειονέκτημα είναι ότι το πλαστικό, αντίθετα από το γυαλί, είναι διαφανές για ένα μέρος της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος, με αποτέλεσμα οι απώλειες ακτινοβολίας του συλλέκτη να είναι μεγαλύτερες.

Οι επίπεδοι συλλέκτες λειτουργούν και στη διάχυτη ακτινοβολία. Συνήθως τοποθετούνται σταθερά πάνω στο κτίριο και σε θέση (κλίση και προσανατολισμό), που εξαρτάται από τον τόπο και την εποχή του έτους, που λειτουργεί ο συλλέκτης, ώστε να μην σκιάζονται.

Οι επίπεδοι συλλέκτες παράγουν θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας, που είναι η μορφή ενέργειας, που χρειάζεται για θέρμανση νερού και χώρων. Επίσης, ανάλογα με τη σύνδεση, είναι δυνατόν να αυξήσουμε τη θερμοκρασία, συνδέοντας συλλέκτες σε σειρά.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου f-chart, στην περίπτωση μας προκειμένου να προσεγγιστεί η κάλυψη, θα παίρνουμε διάφορες τιμές επιφάνειας συλλεκτών  $A_c$  και τέλος αποφασίζουμε για το τι είναι αποτελεσματικότερο τόσο ενεργειακά, όσο και οικονομικά.

#### 1.4 Διορθωτικός συντελεστής συλλέκτη - εναλλάκτη

Ο διορθωτικός συντελεστής  $F'_R/F_R$  όπου

$F'_R$  : ο συντελεστής θερμικής απολαβής του συνδυασμού ηλιακού συλλέκτη εναλλάκτη θερμότητας της δεξαμενής αποθηκείσεως

$F_R$  : ο συντελεστής θερμικής απολαβής του συλλέκτη

Προσδιορίζεται σαν συνάρτηση των παραμέτρων του συλλέκτη και του εναλλάκτη θερμότητας και παρουσιάζεται με τη βοήθεια των παραμέτρων  $G_c C_{pc}/F_R U_L$  και  $\Delta T/\Delta T'$  όπου:

$G_c$  : η παροχή μάζας από τον συλλέκτη ανά μονάδα συλλεκτικής επιφάνειας ( $\text{kg/s-m}^2$ ) και δίνεται από τη σχέση :

$$G_c = \rho r \times r \quad (1.4.1)$$

όπου  $r$  η πυκνότητα του υγρού

$C_{pc}$  : η ειδική θερμότητα του υγρού του κυκλώματος των συλλεκτών ( $\text{J/kg-}^\circ\text{C}$ )

$\Delta T$  : η διαφορά θερμοκρασίας εισόδου-εξόδου στον εναλλάκτη του υγρού του κυκλώματος των συλλεκτών ( $^\circ\text{C}$ ),  $T_1-T_2$

$\Delta T'$  : η διαφορά των θερμοκρασιών εισόδου στον εναλλάκτη των δύο ρευμάτων ( $^\circ\text{C}$ )

Διακρίνουμε τις παρακάτω περιπτώσεις:

1. Όταν ο εναλλάκτης βρίσκεται μέσα στη δεξαμενή ο λόγος  $\Delta T/\Delta T'$  εκφράζεται ως εξής:

$$\Delta T/\Delta T' = 1 - \exp(-UA_e/A_c G_c C_{pc}) \quad (1.4.2)$$

όπου:

$U$  : ο συντελεστής συναλλαγής της θερμότητας στον εναλλάκτη ( $W/m^2$ ).

$A_e$  : η επιφάνεια συναλλαγής ( $m^2$ ).

2. Όταν ο εναλλάκτης βρίσκεται έξω από τη δεξαμενή

$$\Delta T/\Delta T' = e_L C_{\min}/A_c G_c C_{pc} \quad (1.4.3)$$

όπου:

$e_L$  : ο βαθμός εκμετάλλευσης του εναλλάκτη.

$C_{\min}$  : η μικρότερη από τις δύο θερμοχωρητικές παροχές (παροχή μάζας επί ειδική θερμότητα).

Όταν το  $C_{\min}$  αντιστοιχεί στη θερμοχωρητική παροχή των συλλεκτών όπως συμβαίνει συνήθως κατά κανόνα ισχύει:

$$\Delta T/\Delta T' = e_L \quad (1.4.4)$$

### 1.5 Διορθωτικός συντελεστής $(ta)/(ta)_n$

Ο συντελεστής διάβασης,  $t$ , του διαφανούς καλύμματος του συλλέκτη, καθώς και ο συντελεστής απορρόφησης,  $a$ , του απορροφητήρα, εξαρτώνται από τη γωνία που η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη. Από τις δοκιμές των συλλεκτών προκύπτει το γινόμενο  $F_R(ta)_n$  που αντιστοιχεί σε τιμές των  $t$  και  $a$  για κάθετη πρόσπτωση. Η μέση μηνιαία τιμή του  $(ta)/(ta)_n$  μπορεί να είναι σημαντικά χαμηλότερη από την τιμή για ακτινοβολία που προσπίπτει κάθετα. Η τιμή του  $(\overline{ta})$  εξαρτάται από τη θέση (προσανατολισμός και κλίση) του συλλέκτη και την εποχή του έτους.<sup>(5,8)</sup>

Στους παρακάτω πίνακες δίνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές του διορθωτικού συντελεστή  $(\overline{ta})/(\overline{ta})_n$  για διάφορες κλίσεις και νότιο προσανατολισμό. Κατά προσέγγιση οι τιμές ισχύουν και για προσανατολισμό με απόκλιση μέχρι  $15^\circ$  από το νότο. Οι τιμές του πίνακα είναι μέσες για όλη τη χώρα

**Πίνακας 1.5.1.α : ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ  $(\overline{ta})/(\overline{ta})_n$  για 1 τζάμι**

| ΚΛΙΣΗ | 0°   | 10°  | 20°  | 30°  | 40°  | 50°  | 60°  | 70°  | 80°  | 90°  |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| I     | 0,79 | 0,85 | 0,88 | 0,91 | 0,93 | 0,94 | 0,95 | 0,95 | 0,94 | 0,93 |
| Φ     | 0,84 | 0,88 | 0,90 | 0,92 | 0,93 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,93 | 0,91 |
| M     | 0,88 | 0,91 | 0,92 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,91 | 0,89 | 0,86 |
| A     | 0,92 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,90 | 0,88 | 0,84 | 0,78 |
| M     | 0,93 | 0,94 | 0,94 | 0,93 | 0,92 | 0,91 | 0,88 | 0,84 | 0,78 | 0,71 |
| I     | 0,94 | 0,94 | 0,93 | 0,92 | 0,91 | 0,89 | 0,81 | 0,81 | 0,75 | 0,67 |
| I     | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,93 | 0,92 | 0,91 | 0,87 | 0,82 | 0,76 | 0,68 |
| A     | 0,93 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,93 | 0,92 | 0,89 | 0,86 | 0,81 | 0,74 |
| Σ     | 0,90 | 0,92 | 0,93 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,92 | 0,90 | 0,88 | 0,83 |
| O     | 0,86 | 0,89 | 0,92 | 0,93 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,93 | 0,92 | 0,89 |
| N     | 0,80 | 0,85 | 0,89 | 0,92 | 0,94 | 0,94 | 0,95 | 0,95 | 0,94 | 0,93 |
| Δ     | 0,77 | 0,83 | 0,88 | 0,91 | 0,93 | 0,94 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,94 |



**Πίνακας 1.5.1 β: ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ  $\overline{(ta)}/(ta)_n$  για 2 τζάμια**

| ΚΛΙΣΗ | 0°   | 10°  | 20°  | 30°  | 40°  | 50°  | 60°  | 70°  | 80°  | 90°  |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| I     | 0,74 | 0,81 | 0,86 | 0,89 | 0,91 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,91 |
| Φ     | 0,80 | 0,85 | 0,88 | 0,90 | 0,92 | 0,92 | 0,93 | 0,92 | 0,91 | 0,88 |
| M     | 0,85 | 0,88 | 0,90 | 0,91 | 0,92 | 0,92 | 0,91 | 0,89 | 0,87 | 0,83 |
| A     | 0,89 | 0,91 | 0,92 | 0,92 | 0,91 | 0,90 | 0,88 | 0,85 | 0,80 | 0,74 |
| M     | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,91 | 0,90 | 0,88 | 0,85 | 0,80 | 0,73 | 0,65 |
| I     | 0,92 | 0,93 | 0,92 | 0,91 | 0,89 | 0,87 | 0,83 | 0,88 | 0,70 | 0,61 |
| I     | 0,92 | 0,93 | 0,92 | 0,92 | 0,90 | 0,87 | 0,84 | 0,78 | 0,71 | 0,61 |
| A     | 0,91 | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,91 | 0,90 | 0,87 | 0,83 | 0,77 | 0,69 |
| Σ     | 0,88 | 0,90 | 0,91 | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,90 | 0,88 | 0,85 | 0,79 |
| O     | 0,82 | 0,86 | 0,89 | 0,91 | 0,92 | 0,93 | 0,93 | 0,92 | 0,90 | 0,87 |
| N     | 0,75 | 0,82 | 0,87 | 0,90 | 0,92 | 0,93 | 0,94 | 0,94 | 0,93 | 0,91 |
| Δ     | 0,72 | 0,80 | 0,85 | 0,89 | 0,91 | 0,93 | 0,94 | 0,94 | 0,93 | 0,92 |

## 1.6 Χαρακτηριστικά μεγέθη συλλέκτη $F_R U_L F_R (ta)_n$

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη του συλλέκτη προκύπτουν από την καμπύλη απόδοσης του. Οι συλλέκτες δοκιμάζονται σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ 388-1 του ΕΛΟΤ (Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης), που βασικά συμπίπτει με το αμερικάνικο πρότυπο ASHRAE 93 – 77. Η ηλιακή ακτινοβολία, η ταχύτητα τού ανέμου, η θερμοκρασία τού περιβάλλοντος και η θερμοκρασία εισαγωγής τού ρευστού είναι αισθητά σταθερές για ένα χρονικό διάστημα, έτσι ώστε να μην αλλάζουν αισθητά με το χρόνο η θερμοκρασία εξόδου τού ρευστού και το θερμικό κέρδος.

Οι δοκιμές προβλέπεται να γίνονται στο ύπαιθρο, σε ημέρες με ηλιοφάνεια, αμέσως πριν και μετά το ηλιακό μεσημέρι. Έτσι η έμμεση συνιστώσα τής ακτινοβολίας είναι μικρή και η ακτινοβολία προσπίπτει στην επιφάνεια τού συλλέκτη σχεδόν κάθετα.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών παρουσιάζονται καλύτερα σαν γραφική παράσταση της στιγμιαίας απόδοσης συναρτήσεως του παράγοντα  $(T_i - T_a) / I_T$ . Η θεωρητική βάση αυτής της παράστασης γίνεται φανερή, αν αμφότερα τα μέλη της εξίσωσης  $Q = F_R A_c [I_T \times (ta) - U_L (T_i - T_a)]$  που μας δίνει την ωφέλιμη συλλεγόμενη θερμική ισχύ  $Q$  διαιρεθούν με  $I_T A_c$ . Έτσι η στιγμιαία απόδοση εκφράζεται ως εξής:

$$n = Q_u / A_c I_T = F_R (ta)_n - F_R U_L (T_i - T_a) / I_T \quad (1.6.1)$$

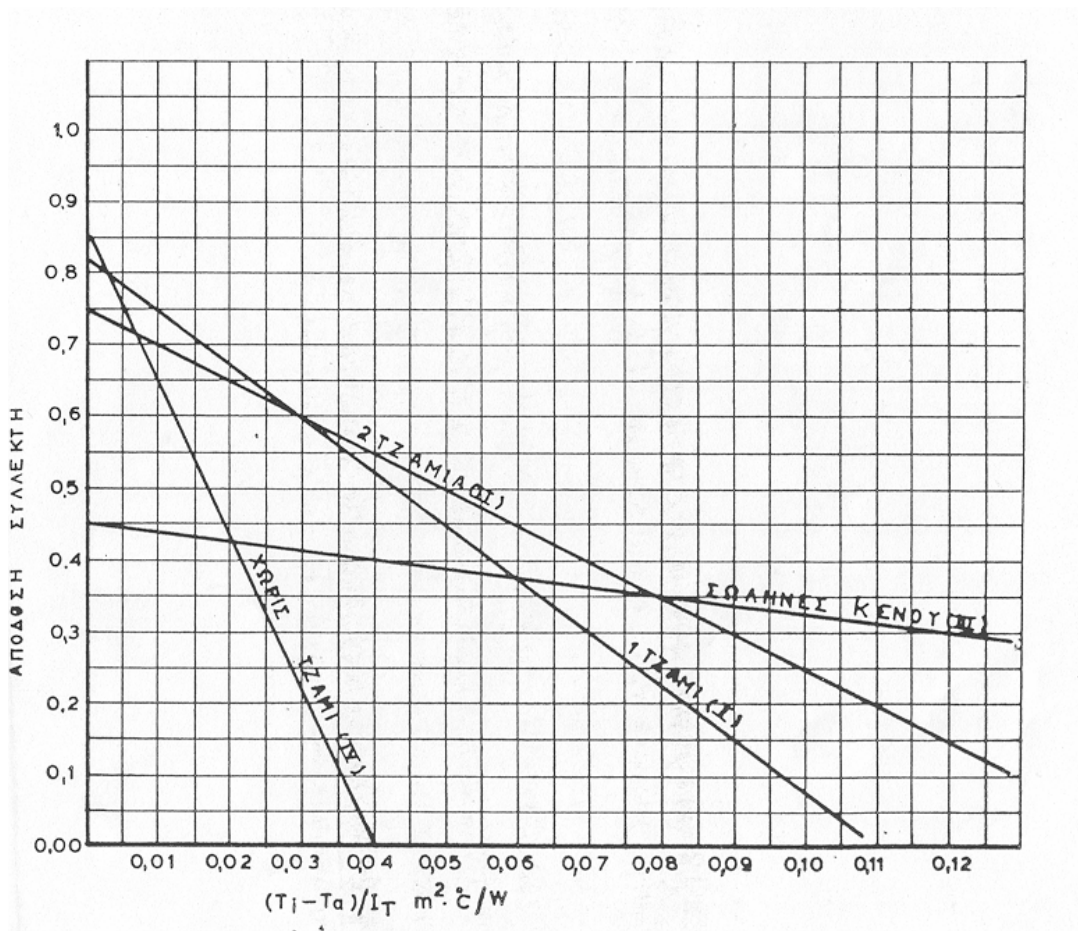
$$Q_u = m_c c_{pc} (T_o - T_i) \quad (1.6.2)$$

Αν ο συντελεστής  $U_L$  υποθεθεί ότι είναι σταθερός η παράσταση της απόδοσης του συλλέκτη σαν συνάρτηση του  $(T_i - T_a) / I_T$  είναι ευθεία γραμμή με κλίση  $-F_R U_L$  που τέμνει τον άξονα των τεταγμένων στο σημείο  $F_R (ta)_n$ .

Δεδομένου ότι οι τιμές των  $F_R U_L$  και  $F_R (ta)_n$  είναι απαραίτητες για τον υπολογισμό της μακροχρόνιας απόδοσης των ηλιακών συστημάτων, είναι φανερό ότι ο ανωτέρω τρόπος παρουσίασης των αποτελεσμάτων των δοκιμών είναι πολύ χρήσιμος.

Στον παρονομαστή της σχέσης 1.6.1 που ορίζει το βαθμό απόδοσης του συλλέκτη εμφανίζεται η επιφάνεια του συλλέκτη  $A_c$ . Σαν τέτοια λαμβάνεται είτε η επιφάνεια που καθορίζεται από τις εξωτερικές διαστάσεις της συσκευής, είτε η επιφάνεια του διαφανούς καλύμματος (επιφάνεια παραθύρου). Η καμπύλη απόδοσης κάθε συλλέκτη πρέπει να διευκρινίζεται σε ποια επιφάνεια αντιστοιχεί.

Κατά ASHRAE και ΕΛΟΤ συνίσταται η επιφάνεια που καθορίζεται από τις εξωτερικές διαστάσεις του συλλέκτη.



Σχήμα 1.6.1: Τυπικές καμπύλες απόδοσης διαφόρων τύπων ηλιακών συλλεκτών

Στο σχήμα παρουσιάζονται οι αντιπροσωπευτικές καμπύλες αποδόσεως τεσσάρων τύπων συλλεκτών . Πρόκειται για ένα συλλέκτη με μαύρο απορροφητήρα και ένα τζάμι , που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές , που απαιτείται σχετικά χαμηλή θερμοκρασία ( 40 – 60 °C ) , όπως η θέρμανση νερού χρήσης. Ο άλλος συλλέκτης έχει μαύρο απορροφητήρα και δύο τζάμια , είναι δε κατάλληλος για θέρμανση νερού σε υψηλότερες θερμοκρασίες ( μέχρι 80 ° C ) καθώς και για θέρμανση χώρων. Ο τρίτος είναι ένας συλλέκτης με σωλήνες κενού κατάλληλος για θερμοκρασίες άνω των 80 ° C Θερμοκρασίες αυτής της τάξης απαιτούνται για τη λειτουργία των ψυκτικών μηχανών απορρόφησης ( Ηλιακή Ψύξη ) .Τέλος ο τέταρτος τύπος είναι ένας πλαστικός συλλέκτης χωρίς διαφανές κάλυμμα και χωρίς μόνωση πίσω και στα πλάγια .Πρόκειται δηλαδή για ένα απλό απορροφητήρα που χρησιμοποιείται για εφαρμογές χαμηλών θερμοκρασιών ( μέχρι 30 ° C ) , όπως η θέρμανση κολυμβητικών δεξαμενών . Η απόδοση των συλλεκτών αυτού του τύπου επηρεάζονται σημαντικά από την ταχύτητα του ανέμου επειδή δεν υπάρχει το διαφανές κάλυμμα.

#### **Πίνακας 4:Χαρακτηριστικά μεγέθη διαφόρων συλλεκτών**

| Τύπος | Περιγραφή  | $F_R(\tau\alpha)_n$ | $F_R U_L(W / m^2\text{ }^\circ\text{C})$ |
|-------|--|---------------------|--|
| I     | Μαύρο χρώμα 1 τζάμι  | 0,82                | 7,5                                      |
| II    | Μαύρο χρώμα 2 τζάμια<br>ή επιλεκτική επιφάνεια                         | 0,75                | 5,0                                      |
| III   | Σωλήνες κενού  | 0,45                | 1,25                                     |
| IV    | Πλαστικός συλλέκτης χωρίς τζάμι και μόνωση ( ταχύτητα ανέμου 2,2 m/s ) | 0,86                | 21,5                                     |

Στον παραπάνω πίνακα οι διάφοροι συλλέκτες κατατάσσονται σε τέσσερις ομάδες με παρόμοια χαρακτηριστικά  $F_R(\tau\alpha)_n$  και  $F_R U_L$  .Οι ομάδες διακρίνονται με τους λατινικούς χαρακτήρες I , II , III , IV .

Η ομαδοποίηση αυτή διευκολύνει τη σύνταξη απλοποιημένων πινάκων και διαγραμμάτων.

### 1.6.1 Συντελεστής χωρητικότητας της δεξαμενής $K_2$

Είναι προφανές ότι αύξηση του όγκου της δεξαμενής πάνω από 50 λίτρα νερού ανά τετραγωνικό μέτρο συλλεκτικής επιφάνειας βελτιώνει ελαφρά την ετήσια απόδοση του συστήματος. Αν ληφθεί υπόψη και το κόστος της δεξαμενής αποδεικνύεται ότι η βέλτιστη χωρητικότητα βρίσκεται μεταξύ 50 και 100 λίτρων νερού ανά τετραγωνικό μέτρο συλλεκτικής επιφάνειας.

Οι καμπύλες  $f$  έχουν αναπτυχθεί για χωρητικότητα δεξαμενής  $75 \text{ l/m}^2$ , μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν και για τον υπολογισμό συστημάτων με άλλη χωρητικότητα δεξαμενής με τη βοήθεια του συντελεστή  $K_2$ , που δίνεται από την εξίσωση:

$K_2 = (M / 75)^{-0.75}$  της αποθήκης σε λίτρα ανά τετραγωνικό μέτρο συλλεκτών.

Όπου  $M$  είναι η χωρητικότητα της δεξαμενής του ζεστού νερού σε lt και αρχικά θεωρείται μονάδα, δηλαδή  $K_2 = 1$

### 1.6.2 Διορθωτικός συντελεστής ζεστού νερού

Η μέθοδος των καμπυλών  $f$  έχει αναπτυχθεί για ηλιακά συστήματα που καλύπτουν ανάγκες θέρμανσης και ζεστού νερού, με την προϋπόθεση όμως ότι το φορτίο για την θέρμανση νερού είναι μικρό ποσοστό του φορτίου για τη θέρμανση χώρου. Στην περίπτωση αυτή είναι  $K_3 = 1$ . Όταν το θερμικό φορτίο

οφείλεται κυρίως ή αποκλειστικά στη θέρμανση νερού, τότε υπολογίζεται ο συντελεστής  $K_3$ , που εξαρτάται από τη μέση μηνιαία θερμοκρασία του κρύου νερού  $T_m$ , και την επιθυμητή θερμοκρασία του ζεστού νερού  $T_w$ . Ο συντελεστής ζεστού νερού  $K_3$ , υπολογίζεται από την εξίσωση :

$$K_3 = (11,6 + 1,18T_w + 3,86T_m - 2,32\bar{T}_a) / (100 - \bar{T}_a) \quad (1.6.2.1)$$

όπου

$\bar{T}_a$  : η μέση ημερήσια θερμοκρασία

Η κατανομή κατανάλωσης είναι η μέση για κατοικίες. Άλλα κτίρια μπορεί να έχουν διαφορετική ημερήσια κατανομή κατανάλωσης. Πάντως η κατανομή του θερμικού φορτίου στη διάρκεια της μέρας δεν έχει σοβαρή επίδραση στην απόδοση του ηλιακού συστήματος, όταν η δεξαμενή αποθήκευσης είναι γύρω στα  $751/m^2$  ή μεγαλύτερη.

### 1.6.3 Διορθωτικός συντελεστής εναλλάκτη

Το μέγεθος του εναλλάκτη φορτίου επηρεάζει σημαντικά την απόδοση των ηλιακών συλλεκτών. Όταν μειώνεται το μέγεθος του εναλλάκτη, η θερμοκρασία της δεξαμενής πρέπει να αυξηθεί για να μπορεί να παρέχει το ίδιο ποσό ενέργειας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα υψηλότερη θερμοκρασία εισόδου στους συλλέκτες, πράγμα που μειώνει την απόδοσή τους. Ένα μέτρο του μεγέθους του εναλλάκτη που απαιτείται για ένα συγκεκριμένο κτίριο, δίνεται από τον αδιάστατο παράγοντα  $e_L C_{\min} / (UA)_b$ . Όπου  $e_L$  είναι ο συντελεστής εκμετάλλευσης του εναλλάκτη του φορτίου,  $C_{\min}$  είναι η ελάχιστη θερμοχωρητική παροχή στον

εναλλάκτη.  $(UA)_b$  είναι το γινόμενο του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας επί την εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου, στοιχείο που θα αναλυθεί στο κεφάλαιο 3.

Η βέλτιστη τιμή του συντελεστή  $e_L C_{\min}/(UA)_b$  από θερμικής σκοπιότητας, είναι απεριόριστα μεγάλη. Αν λάβουμε υπ'όψη όμως το κόστος του εναλλάκτη, οι πιο οικονομικές τιμές του συντελεστή πρακτικά κυμαίνονται μεταξύ 1 και 3. Η μέθοδος  $f$  έχει αναπτυχθεί για  $e_L C_{\min}/(UA)_b = 2$ . Για άλλες τιμές του συντελεστή, η απόδοση του συστήματος υπολογίζεται με τη βοήθεια του παράγοντα  $K_4$  όπως φαίνεται στη σχέση (1.6.3.1)

$$K_4 = 0,39 + 0,65 \exp[-0,139 / (e_L C_{\min} / (UA)_b)] \quad (1.6.3.1)$$

#### 1.6.4 Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο

Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε σύστημα ηλιακών συλλεκτών κεκλιμένο ή προς το οριζόντιο κατά γωνία  $S$ , είναι βασικός παράγοντας που πρέπει να υπολογίζεται πάντοτε με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια.

Ο υπολογισμός της μέσης ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο  $\overline{H}_T$ , έχει αναπτυχθεί από τους Liu και Jordan και δίνεται από τη σχέση:

$$\overline{H}_T = \overline{RH} \quad (1.6.4.1)$$

όπου:

$\overline{H}$  η μέση μηνιαία ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο

$\overline{R}$  ο συντελεστής μετατροπής από το οριζόντιο στο κεκλιμένο και δίνεται από τον τύπο :

$$\bar{R} = (1 - \bar{H}d / \bar{H})\bar{R}b + \bar{H}d / \bar{H}(1 + \cos s) / 2 + r(1 - \cos s) / 2 \quad (1.6.4.2)$$

όπου:

$\bar{H}d$  η μέση μηνιαία τιμή της διάχυτης ακτινοβολίας

$\bar{R}b$  ο λόγος της μέσης μηνιαίας άμεσης ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο προς αυτήν σε οριζόντιο επίπεδο

$s$  η κλίση της επιφάνειας ως προς το οριζόντιο επίπεδο

$r$  ο συντελεστής ανάκλασης του εδάφους, οι τιμές του οποίου κυμαίνονται από 0,2 μέχρι 0,7

Ο μέσος συντελεστής μετατροπής  $\bar{R}$  για την γεωγραφική ζώνη 3, στην οποία ανήκει και η Πάτρα δίνεται στον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 1.6.4.1: Μέσος συντελεστής μετατροπής  $\bar{R}$  για την κλιματολογική ζώνη 3**

| ΚΛΙΣΗ | 0°   | 10°  | 20°  | 30°  | 40°  | 50°  | 60°  | 70°  | 80°  | 90°  |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| I     | 1.00 | 1.20 | 1.37 | 1.51 | 1.62 | 1.69 | 1.71 | 1.69 | 1.63 | 1.53 |
| Φ     | 1.00 | 1.13 | 1.24 | 1.32 | 1.37 | 1.39 | 1.38 | 1.33 | 1.25 | 1.15 |
| M     | 1.00 | 1.08 | 1.13 | 1.17 | 1.17 | 1.15 | 1.11 | 1.13 | 0.94 | 0.83 |
| A     | 1.00 | 1.03 | 1.04 | 1.03 | 0.99 | 0.94 | 0.87 | 0.78 | 0.68 | 0.56 |
| M     | 1.00 | 1.00 | 0.98 | 0.94 | 0.88 | 0.81 | 0.72 | 0.62 | 0.52 | 0.41 |
| I     | 1.00 | 0.98 | 0.95 | 0.90 | 0.83 | 0.75 | 0.66 | 0.55 | 0.45 | 0.34 |
| I     | 1.00 | 0.99 | 0.96 | 0.92 | 0.85 | 0.77 | 0.68 | 0.58 | 0.47 | 0.36 |
| A     | 1.00 | 1.02 | 1.02 | 1.00 | 0.95 | 0.89 | 0.81 | 0.71 | 0.60 | 0.48 |
| Σ     | 1.00 | 1.07 | 1.11 | 1.13 | 1.12 | 1.09 | 1.03 | 0.95 | 0.85 | 0.72 |
| O     | 1.00 | 1.12 | 1.23 | 1.30 | 1.35 | 1.36 | 1.33 | 1.28 | 1.20 | 1.08 |
| N     | 1.00 | 1.19 | 1.35 | 1.48 | 1.58 | 1.63 | 1.65 | 1.62 | 1.56 | 1.45 |
| Δ     | 1.00 | 1.21 | 1.39 | 1.55 | 1.66 | 1.74 | 1.77 | 1.76 | 1.70 | 1.60 |



Στη σχέση (1.6.4.2) ο πρώτος όρος εκφράζει τη συνεισφορά , στην τιμή του R, της άμεσης ακτινοβολίας, ο δεύτερος όρος τη συμμετοχή της διάχυτης ακτινοβολίας και ο τρίτος όρος τη συμμετοχή της ακτινοβολίας που ανακλάται από το έδαφος πάνω στην επιφάνεια του συλλέκτη.

Ο λόγος  $\overline{Hd}/\overline{H}$  εκφράζεται ως συνάρτηση του συντελεστή αιθριότητας  $K_T$  , σε μηνιαία βάση, που είναι ο λόγος της μηνιαίας ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο προς αυτή που θα έφτανε σε οριζόντιο επίπεδο αν δεν υπήρχε ατμόσφαιρα. Μέσες μηνιαίες τιμές αυτής της ακτινοβολίας δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 1.6.4.2: Μέση μηνιαία ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας ( $MJ/m^2 - mo$ )**

| Γεωγραφικό πλάτος | Ι   | Φ   | Μ   | Α    | Μ    | Ι    | Ι    | Α    | Σ   | Ο   | Ν   | Δ   |
|-------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| 35                | 561 | 653 | 908 | 1065 | 1228 | 1236 | 1249 | 1147 | 945 | 772 | 576 | 518 |
| 38                | 505 | 605 | 869 | 1043 | 1222 | 1246 | 1249 | 1132 | 913 | 723 | 524 | 460 |
| 40                | 468 | 573 | 843 | 1029 | 1218 | 1242 | 1249 | 1122 | 891 | 691 | 489 | 422 |

Το γεωγραφικό πλάτος των 38° αναφέρεται στην περιοχή της Πάτρας.

Η σχέση μεταξύ  $\overline{Hd}/\overline{H}$  και  $\overline{K}_T$  εκφράζεται από την εμπειρική σχέση των Liu και Jordan:

$$\overline{Hd}/\overline{H} = 1.39 - 4.03\overline{K}_T + 5.53\overline{K}_T^2 - 3.11\overline{K}_T^3 \quad (1.6.4.3)$$

Το  $\overline{R}_b$ , για επιφάνειες που είναι στραμμένες ακριβώς προς το νότο, δίνεται σαν συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους  $f$  και της κλίσης,  $s$ , της επιφάνειας των ηλιακών συλλεκτών από την παρακάτω σχέση:

$$\overline{R}_b = \frac{\cos(f-s)\cos\delta \cos' s + p/180\omega'_s \sin(f-s)\sin\delta}{\cos f \cos\delta \cos\delta_s + p/180\omega_s \sin f \sin\delta} \quad (1.6.4.4)$$

όπου :

$w_s$  η ωριαία γωνία που δύνει ο ήλιος σε οριζόντιο επίπεδο

$$w_s = \arccos(-\tan f \times \tan\delta) \quad (1.6.4.5)$$

$w'_s$  η ωριαία γωνία που δύνει ο ήλιος στην κεκλιμένη επιφάνεια :

$$w'_s = \text{MIN}(w_s, \arccos(-\tan(\varphi - s)\tan\delta))$$

$d$  : η ηλιακή απόκλιση

$$d = 23,45 \sin\{360 \times (284 + n)/365\}$$

$n$  : η μέρα του έτους

Ο τρόπος αυτός υπολογισμού, ισχύει για επιφάνειες με νότιο προσανατολισμό, μπορεί όμως επίσης να εφαρμοστεί χωρίς μεγάλο σφάλμα και για επιφάνειες με προσανατολισμό που αποκλίνει μέχρι  $15^\circ$  από το νότο.

**Θερμικά φορτία – Βαθμομέρες θέρμανσης - Υπολογισμός του φορτίου L**

**2.1 Γενικά**

Το φορτίο L αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη μελέτη του συστήματος ηλιακών συλλεκτών και ειδικότερα για τη διαστασιολόγησή του και αφορά στο φορτίο θέρμανσης  $L_{sh}$  ( κατοικία, ή άλλου είδους κτιριακής εγκατάστασης ), το φορτίο παραγωγής ζεστού νερού  $L_w$ , και το φορτίο  $L_p$  για θερμικές απώλειες μέσω των σωληνώσεων.

Στη μελέτη αυτή, περισσότερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η θέρμανση χώρου γιατί το φορτίο L ζεστού νερού είναι μικρότερο.

**2.1.1 Φορτίο θέρμανσης χώρου  $L_{sh}$**

Το μηνιαίο φορτίο  $L_{sh}$  για τη θέρμανση χώρου δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$L_{sh} = 24 \frac{h}{d} \times (UA)_b \times D \times f \times 3600J \quad (2.1.1.1)$$

οπού

$(UA)_b$ ): το γινόμενο του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας και της περιβάλλουσας επιφάνειας του κτιρίου και θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

Μετράται σε  $W / m^2$

(D): ο αριθμός των βαθμομερών του μήνα

Η σχέση αυτή είναι η αντίστοιχη του νόμου Θέρμανσης- Ψύξης του Νεύτωνα

$$Q = U_{ol} A \Delta T \quad (2.1.1.2)$$

ο οποίος για τους παραπάνω σκοπούς έχει μετασχηματιστεί στη σχέση ( 2.1.1.1 ), με τη διαφορά ότι η σχέση αυτή δίνει το  $L_{sh}$  σε WATT, ενώ η (2.1.1.2) σε JOULE.

Ο παράγοντας  $D$  ορίζεται ως το άθροισμα των βαθμομερών  $D_{(nj)}$  των ημερών του μήνα, τον οποίο μελετούμε. Για κάθε μέρα ο αριθμός αυτός προκύπτει από τη θερμοκρασιακή διαφορά :

$$T_{ref} - \bar{T}_{a(n)}$$

όπου  $T_{ref}$  είναι μια θερμοκρασία αναφοράς . Ως θερμοκρασία αναφοράς ελήφθη αυτή των 18.33°C.<sup>(5,10)</sup>

$\bar{T}_{a(n)}$  η μέση θερμοκρασία της ημέρας (  $n$  ).

Στην εργασία αυτή, ο υπολογισμός του  $\bar{T}_{a(n)}$  είναι θεμελιώδες συστατικό και πρωτότυπη καθώς αναλύθηκαν τα δεδομένα των 7 τελευταίων ετών.<sup>(1,2)</sup>

Η λεπτομερέστερη και αναλυτικότερη πρακτική στον τρόπο υπολογισμού του φορτίου θέρμανσης χώρων, οδήγησε στον ορισμό των βαθμοωρών, όπου πλέον στη θερμοκρασιακή διαφορά λαμβάνεται όχι η μέση ημερήσια τιμή, αλλά οι τιμές της μέσης ωριαίας τιμής  $\bar{T}_a ( h_i, n_j )$ , που έχουν ως βάση πάλι τις μετρήσεις των επτά τελευταίων ετών στην Πάτρα.

Είναι αυτονόητο πως οι έννοιες των βαθμομερών και των βαθμοωρών υφίστανται μόνο εάν ισχύει:

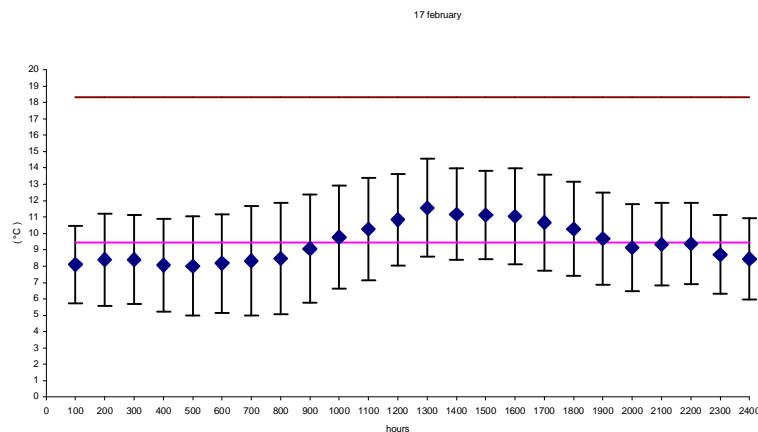
$$T_{ref} - \bar{T}_a(n) > 0 \quad \text{και} \quad T_{ref} - \bar{T}_a(h_i, n_j) > 0$$

Οι σχέσεις αυτές γίνονται κατανοητές στα παρακάτω διαγράμματα I, II, III, που αφορούν συγκεκριμένες μέρες του έτους και όπου απεικονίζονται ενδεικτικοί μέσες ωριαίες θερμοκρασίες  $\bar{T}_a(h_i, n_j)$ , κάποιων ημερών:

Στα διαγράμματα αυτά απεικονίζεται και η μέση ημερήσια θερμοκρασία  $\bar{T}_a(n)$  καθώς και η θερμοκρασία αναφοράς.

Επίσης, απεικονίζεται το εύρος της τυπικής απόκλισης της θερμοκρασίας, εύρος που προκύπτει από την προσθαφαίρεση του σφάλματος στην τιμή της θερμοκρασίας. Το σφάλμα αυτό υπολογίζεται και αναλύεται παρακάτω.

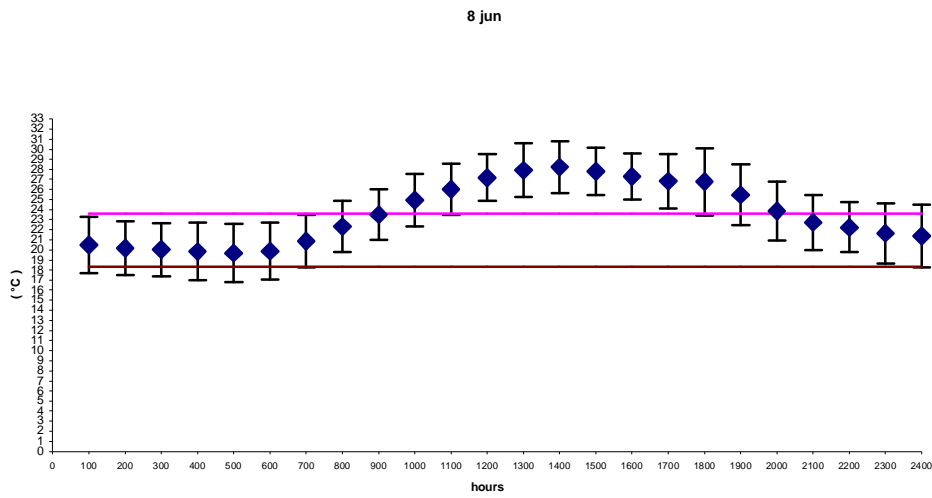
Στο παράρτημα, δίνονται τα διαγράμματα των ωριαίων θερμοκρασιών των μέσων ημερών για κάθε μήνα χωριστά, καθώς και η τυπική ωριαία απόκλιση από τη μέση ωριαία θερμοκρασία.



### Διάγραμμα I

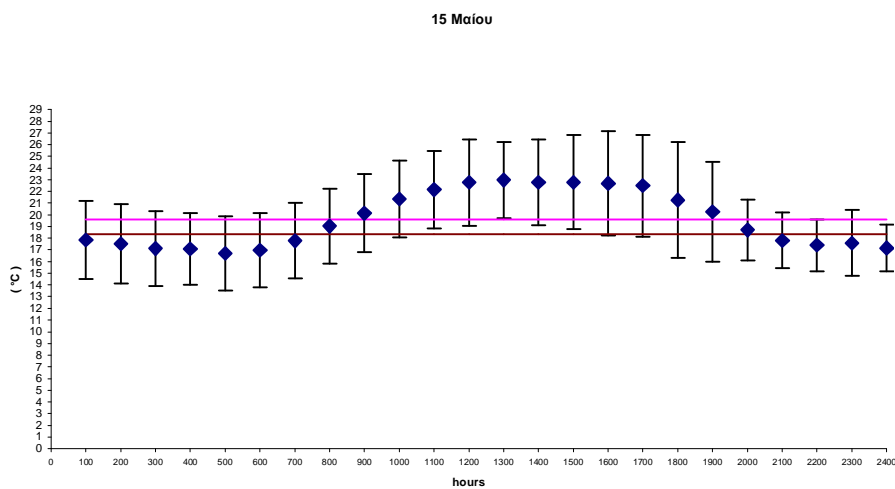
Στην περίπτωση αυτή η καμπύλη των μέσων ωριαίων θερμοκρασιών είναι κάτω από την καμπύλη της  $T_{ref}$ , οπότε

$$T_{ref} - \bar{T}_a(h_i, n_j) > 0 \quad \text{για όλες τις ώρες της μέρας.}$$



### Διάγραμμα II

Όπως φαίνεται, η καμπύλη των μέσων ωριαίων θερμοκρασιών  $\bar{T}_a(h_i, n_j)$  βρίσκεται πάνω από την καμπύλη  $T_{ref}$ , δηλαδή οι θερμοκρασίες ήταν πάνω από  $18.33^\circ\text{C}$  σε όλη τη διάρκεια της μέρας, οπότε και  $T_{ref} - \bar{T}_a(h_i, n_j) < 0$  και επομένως δεν υφίσταται η έννοια των βαθμομερών, ή καλύτερα βαθμωρών και της συγκεκριμένης βαθμομέρας



### Διάγραμμα III

Ἡ περίπτωση αὐτή εἶναι κάπως πολυπλοκότερη καθώς ὅπως φαίνεται ἀπὸ τὸ διάγραμμα, ἡ καμπύλη τῶν μέσων ωριαίων θερμοκρασιῶν βρίσκεται ἐκατέρωθεν τῆς καμπύλης  $T_{ref}$  γιὰ ὀρισμένες τιμές τῆς μέρας.

Ὁ υπολογισμὸς τῶν βαθμωρῶν γίνεται προφανῶς μόνο γιὰ τὶς ὥρες κατὰ τὶς ὁποῖες ἡ μέση ωριαία τιμὴ εἶναι μικρότερη τῆς  $T_{ref}$ . Κατὰ συνέπεια, ὁ υπολογισμὸς τῶν βαθμοημερῶν πρέπει νὰ γίνῃ με πολλή προσοχή καὶ σύμφωνα με τὴν ἀνάλυση πὺ περιγράφεται στὴ συνέχεια.

Στὴν περίπτωση αὐτή, οἱ βαθμοημέρες  $D(n_j)$ , υπολογίζονται ἀπὸ τὴ σχέση:

$$D(n_j) = \sum_{i=1}^{24} \frac{(18.33^\circ - \bar{T}_a(h_i, n_j))^+ 1h}{24 \frac{h}{d}} \quad (2.1.1.3)$$

δηλαδή ἀπὸ τὸ πηλίκο τοῦ αθροίσματος τῶν θετικῶν διαφορῶν τοῦ  $T_{ref}$  καὶ τῶν μέσων ωριαίων θερμοκρασιῶν, πρὸς τὸν ἀριθμὸ τῶν ὡρῶν τῆς μέρας : 24

Ὁ ἀριθμὸς πὺ προκύπτει, ἀπὸ τὸν παραπάνω τύπο, εἶναι προφανές ὅτι ἐκφράζεται σὲ θερμοκρασιακὴ διαφορὰ ἀνὰ ἡμέρα. Ὁ υπολογισμὸς τῆς βαθμοημέρας μπορεῖ νὰ γίνῃ χρησιμοποιώντας καὶ τὴ μέση ἡμερήσια θερμοκρασία  $\bar{T}_a(n)$ .

Στὴν περίπτωση I ἀρκεῖ νὰ υπολογιστεῖ ἡ διαφορὰ  $T_{ref} - \bar{T}_a(n)$  καὶ προκύπτει ἀπευθείας ὁ ἀριθμὸς τῆς βαθμοημέρας.

Στὴν περίπτωση II, ὅπως φαίνεται καὶ ἀπὸ τὸ διάγραμμα II,  $T_{ref} - \bar{T}_a(n) < 0$ , ὁπότε δὲν υφίσταται ἡ ἔννοια τῆς βαθμοημέρας.



Για τον υπολογισμό του αριθμού των βαθμομερών μέσω της  $T_{ref} - \bar{T}_a(n)$ , στην περίπτωση III, δηλαδή όταν ο αριθμός των θετικών διαφορών  $T_{ref} - \bar{T}_a(h_i, n_j)$  ικανοποιεί τη σχέση:

$$0 < T_{ref} - \bar{T}_a(h_i, n_j) < 24,$$

τότε αποδεικνύεται ότι

$$D(n_j) = \frac{N^+}{24} (18,33^\circ\text{C} - \bar{T}_a(n_j))$$

όπου  $N^+$  ο αριθμός των ωρών για τις οποίες υπάρχουν θετικές διαφορές

Πράγματι:

$$\begin{aligned} \text{Degree} - ^\circ\text{Cdays} &= \sum (T_{ref} - \bar{T}_a(h))^+ \times h \\ &= N^+ \times 18,33^\circ\text{C} \times h - \sum \bar{T}_a(h)^+ \times h^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (2.1.1.4)$$

$$\text{θέτοντας} \quad \bar{T}_a(n_j)^+ = \frac{\sum \bar{T}_a(h)^+}{N^+}$$

η (2.1.1.4) γράφεται:

$$\begin{aligned} \text{Degree} - ^\circ\text{Cdays} &= N^+ 18,33^\circ\text{C} \times h - N^+ \times \bar{T}_a(n_j)^+ \times h \\ &= N^+ [18,33 - \bar{T}_a(n_j)^+]^\circ\text{C} \times h \\ &= \frac{N^+ [18,33 - \bar{T}_a(n_j)^+]^\circ\text{C} \times h}{24h / \text{day}} \end{aligned}$$

$$= \frac{N^+ [18,33 - \bar{T}_a(n_j)^+]}{24} \text{ } ^\circ\text{C} \times \text{day} \quad (2.1.1.5)$$

Ο αριθμός λοιπόν των βαθμοημερών μιας ημέρας που προκύπτει στην περίπτωση αυτή, είναι ίσος με το γινόμενο του αριθμού των θετικών ωριαίων διαφορών, επί τη μέση ημερήσια θερμοκρασιακή διαφορά.

Είναι προφανές ότι οι τιμές των βαθμοωρών προκύπτουν από τη σχέση (2.1.1.5), αν, απλά, δε διαιρέσουμε με τον αριθμό των ωρών της μέρας αυτής με το  $24 \frac{h}{d}$ .

### 2.1.2 Σφάλμα υπολογισμού βαθμοημερών

Για την όσο το δυνατόν ακριβέστερη και πληρέστερη εκτίμηση για την περιοχή της Πάτρας, των βαθμοημερών, και των θερμικών φορτίων που αυτές συνεπάγονται, είναι απαραίτητη η μελέτη και καταγραφή του τυπικού σφάλματος, που συνοδεύει τις τιμές των βαθμοημερών.

Το σφάλμα αυτό εξαρτάται από τη στατιστική διακύμανση της  $\bar{T}_a(h_i, n_j)$ , που υπολογίζεται από τον τύπο<sup>(10)</sup>:

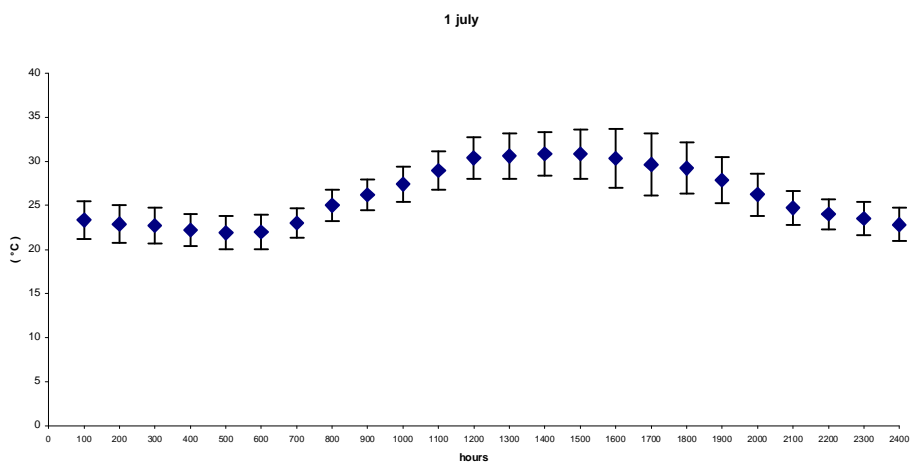
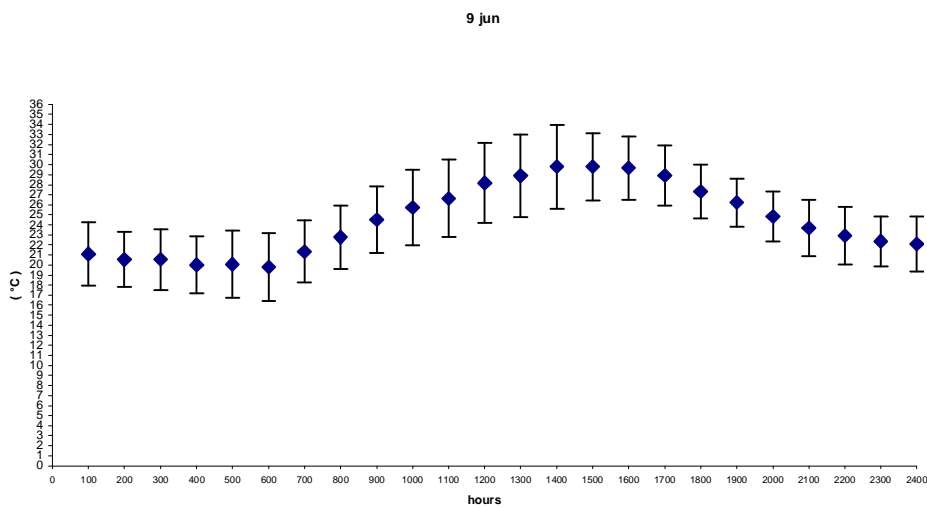
$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{24} (T_a(h_i, n_j) - \bar{T}_a(h_i, n_j))^2}{(N-1)}} \quad (2.1.2.1)$$

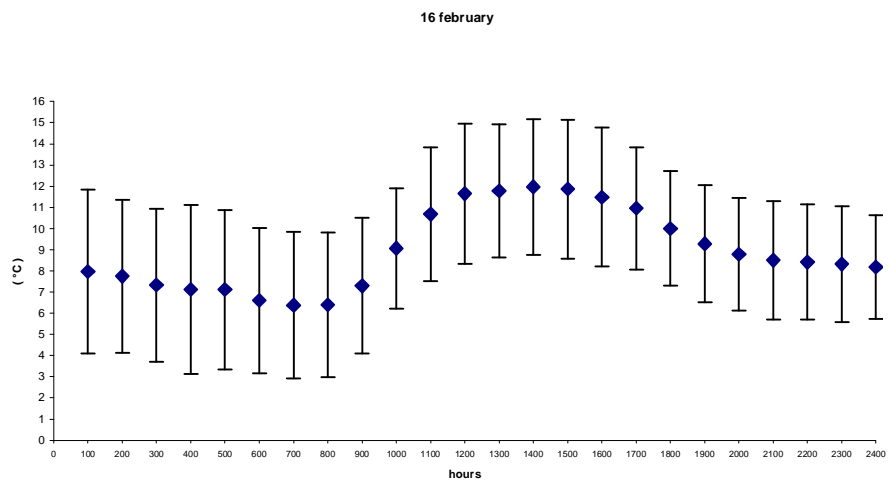
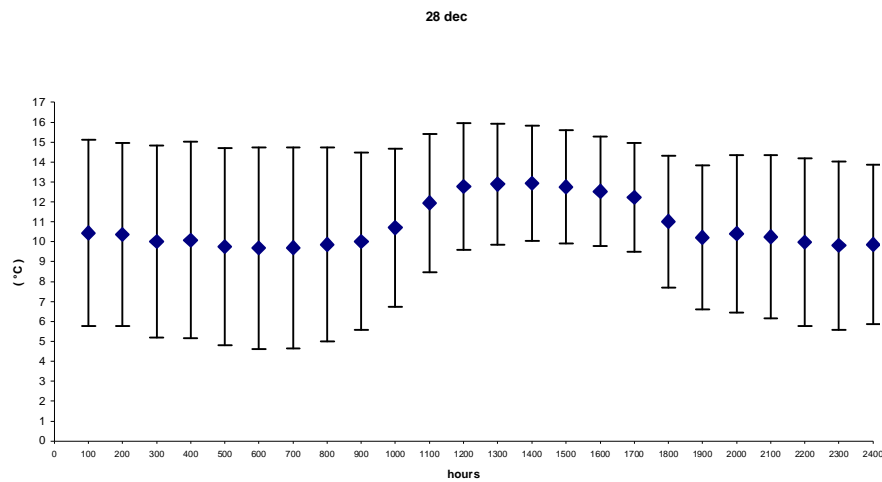
όπου:  $T_a(h_i, n_j)$  είναι οι συγκεκριμένες ωριαίες τιμές  $h_i$ , όταν  $i = 1 - \dots - 24$  για συγκεκριμένη μέρα για όλα τα έτη.

$\bar{T}_a(h_i, n_j)$  είναι η μέση ωριαία τιμή για συγκεκριμένη μέρα  $n_j$  όλων των ετών.

και  $N$  είναι ο αριθμός των ετών, κατά τη διάρκεια των οποίων ελήφθησαν οι μετρήσεις.

Θεωρώντας ότι οι τιμές  $T_a(h_i, n_j)$  ακολουθούν κατανομή GAUSS για τη συγκεκριμένη ώρα της συγκεκριμένης μέρας, οι μέσες τιμές των θερμοκρασιών για μερικές τυχαίες μέρες του έτους, μαζί με την τυπική απόκλιση, ( Standard Deviation ), δείχνονται στα παρακάτω διαγράμματα:



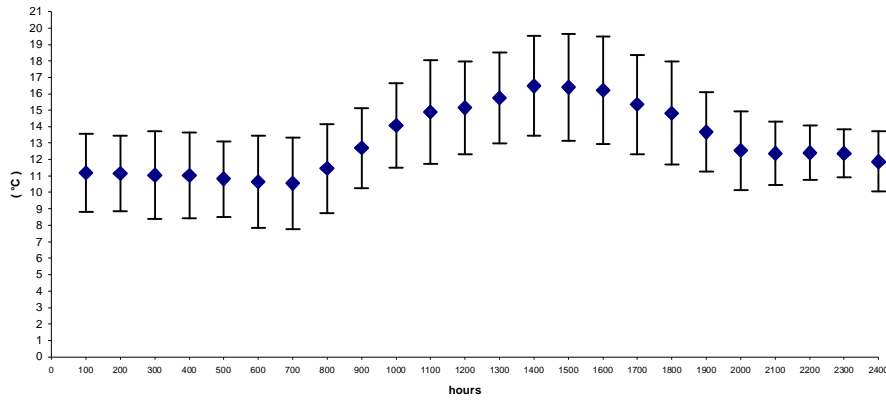


Τα διαγράμματα αυτά, δείχνουν ότι το καλοκαίρι η τυπική απόκλιση απολύτως είναι μικρότερη από ότι το χειμώνα. Ουσιαστικά δηλαδή τον Ιούλιο η περιοχή της στατιστικής αβεβαιότητας είναι μικρότερη από ότι το χειμώνα καθώς οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις είναι μικρότερες. Προφανώς, η σχετική διασπορά των τιμών το χειμώνα είναι μεγαλύτερη και οδηγεί στο να ληφθούν δεδομένα περισσότερων χρόνων για αποτέλεσμα στην  $\bar{T}_a$  με μικρό τυπικό σφάλμα-απόκλιση.

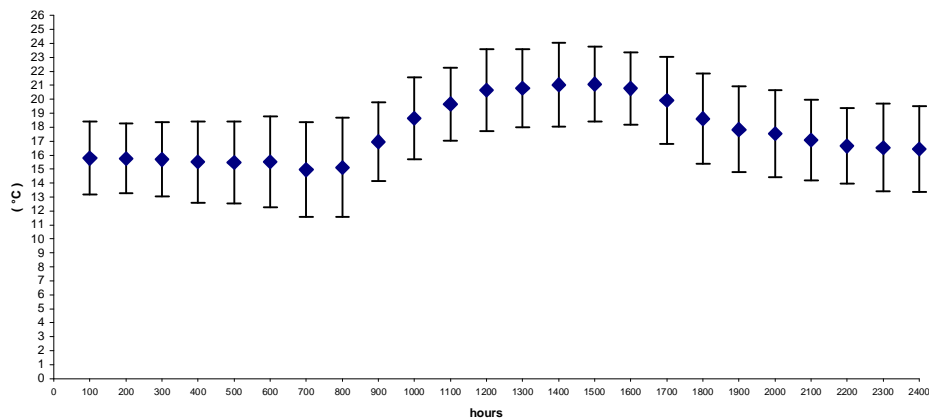
Η αβεβαιότητα, αυτή με τη σειρά της, δημιουργεί αβεβαιότητα στις αναμενόμενες θερμοκρασιακές διαφορές, στην τιμή του θερμικού φορτίου L και , εν κατακλείδι, στην τιμή της κάλυψης f και της διαστασιολόγησης<sup>(12)</sup>.

Αντιστοίχως, για διαγράμματα που αφορούν ενδιάμεσες περιόδους, ( άνοιξη – φθινόπωρο ) παρατηρείται, όπως αναμενόταν εξάλλου, διασπορά τιμών, η οποία κινείται σε χαμηλότερα επίπεδα, που δημιουργεί τη μικρότερη αβεβαιότητα.

6 apr



26 oct



Η στατιστική διακύμανση του  $T_a(h)$  συνεισφέρει, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, στη δημιουργία στατιστικών σφαλμάτων στον υπολογισμό των βαθμοωρών D.

Το σφάλμα  $s_D$  των βαθμοωρών, δίνεται από τον τύπο<sup>(8,10)</sup>:

$$s_D = \sqrt{s_{T_{a,1}}^2 + s_{T_{a,2}}^2 + \dots + s_{T_{a,24}}^2} \quad (2.1.2.2)$$

και επομένως και οι βαθμώρες στην τιμή των οποίων υπεισέρχεται και το σφάλμα:

$$D \pm \sigma_D = D \pm \sqrt{s^2_{T_{a,1}} + s^2_{T_{a,2}} + \dots + s^2_{T_{a,n}}} \quad (2.1.2.3)$$

Επειδή οι οικονομοτεχνικές μελέτες και τα προγράμματα εξομοίωσης έχουν αναπτυχθεί με βάση μέσες μηνιαίες τιμές, δηλαδή υπολογίζεται το μηνιαίο φορτίο  $L$ , είναι προφανές ότι ενδιαφέρον ουσιαστικά παρουσιάζει το μηνιαίο άθροισμα των ημερήσιων τιμών των βαθμομερών  $D(nj)$ . Για το λόγο αυτό, για κάθε μήνα, θα αθροίζονται οι βαθμομέρες της κάθε μέρας για να προκύπτει ο συνολικός αριθμός των βαθμομερών  $D$  και κατά συνέπεια θα υπολογίζεται το μηνιαίο  $L$  του θερμικού φορτίου από το  $D$  που αφορά συνολικά το μήνα, βάσει της σχέσης (2.1.1.1).

Για να τεθούν τις τιμές που βρέθηκαν, σε σύγκριση με ένα ευρύτερο πλαίσιο τιμών που έχουν προκύψει από άλλες μελέτες, οι οποίες όμως βασίστηκαν σε μηνιαία, και όχι ημερήσια ανάλυση δεδομένων, παραθέτονται στον παρακάτω συγκριτικό πίνακα και οι τιμές των βαθμομερών όπως δίνονται από τη σχετική βιβλιογραφία<sup>(5)</sup> που όμως βασίζονται σε τιμές πολύ παλαιότερων χρόνων όταν το μικροκλίμα της περιοχής ήταν διαφορετικό.

Στους πίνακες αυτούς, κάτω από τους εκάστοτε μήνες αναγράφονται οι αύξοντες αριθμοί των ημερών του έτους. Ακριβώς κάτω από τις βαθμώρες του κάθε μήνα καταδεικνύεται το σύνολο των βαθμομερών του μήνα, ενώ οι τιμές από άλλες μελέτες<sup>(5)</sup> δίδονται στην αμέσως επόμενη σειρά, ώστε να γίνει και η σχετική σύγκριση.

#### Συγκριτικοί Πίνακες

| Ιανουάριος | Degree-hours | Φεβρουάριος | Degree-hours |
|------------|--------------|-------------|--------------|
| 1          | 157.77       | 32          | 216.80       |

|                           |        |    |        |
|---------------------------|--------|----|--------|
| 2                         | 159.99 | 33 | 220.74 |
| 3                         | 195.07 | 34 | 205.34 |
| 4                         | 217.35 | 35 | 222.48 |
| 5                         | 177.90 | 36 | 215.20 |
| 6                         | 189.70 | 37 | 188.20 |
| 7                         | 188.39 | 38 | 212.22 |
| 8                         | 191.29 | 39 | 222.08 |
| 9                         | 187.32 | 40 | 182.60 |
| 10                        | 179.79 | 41 | 165.40 |
| 11                        | 170.44 | 42 | 169.74 |
| 12                        | 188.84 | 43 | 185.70 |
| 13                        | 194.25 | 44 | 181.24 |
| 14                        | 203.47 | 45 | 155.42 |
| 15                        | 204.59 | 46 | 172.16 |
| 16                        | 229.77 | 47 | 182.04 |
| 17                        | 246.47 | 48 | 168.36 |
| 18                        | 221.72 | 49 | 201.04 |
| 19                        | 216.67 | 50 | 226.10 |
| 20                        | 228.47 | 51 | 196.06 |
| 21                        | 224.44 | 52 | 193.80 |
| 22                        | 217.87 | 53 | 173.37 |
| 23                        | 222.65 | 54 | 176.55 |
| 24                        | 206.02 | 55 | 190.07 |
| 25                        | 206.19 | 56 | 173.45 |
| 26                        | 223.64 | 57 | 152.96 |
| 27                        | 221.60 | 58 | 147.82 |
| 28                        | 223.95 | 59 | 148.13 |
| 29                        | 210.97 |    |        |
| 30                        | 210.34 |    |        |
| 31                        | 218.80 |    |        |
| <b>ΠΑΡΟΥΣΑ ΜΕΛΕΤΗ</b>     | 264    |    | 218    |
| <b>ΜΕΛΕΤΗ<br/>ΒΑΖΑΙΟΥ</b> | 281    |    | 225    |

| Μάρτιος        | Degree-hours | Απρίλιος | <i>Degree-hours</i> |
|----------------|--------------|----------|---------------------|
| 60             | 154.30       | 91       | 157.59              |
| 61             | 138.62       | 92       | 147.28              |
| 62             | 168.65       | 93       | 111.96              |
| 63             | 172.34       | 94       | 100.46              |
| 64             | 167.25       | 95       | 115.95              |
| 65             | 189.39       | 96       | 124.96              |
| 66             | 188.75       | 97       | 133.96              |
| 67             | 185.29       | 98       | 126.48              |
| 68             | 173.60       | 99       | 116.18              |
| 69             | 185.94       | 100      | 125.79              |
| 70             | 196.87       | 101      | 108.72              |
| 71             | 180.80       | 102      | 94.89               |
| 72             | 177.87       | 103      | 113.46              |
| 73             | 180.87       | 104      | 123.93              |
| 74             | 156.07       | 105      | 107.31              |
| 75             | 178.22       | 106      | 84.09               |
| 76             | 190.77       | 107      | 90.28               |
| 77             | 196.99       | 108      | 83.56               |
| 78             | 209.39       | 109      | 99.09               |
| 79             | 195.34       | 110      | 90.76               |
| 80             | 203.59       | 111      | 83.46               |
| 81             | 219.62       | 112      | 65.18               |
| 82             | 204.84       | 113      | 52.54               |
| 83             | 190.59       | 114      | 55.31               |
| 84             | 180.07       | 115      | 60.01               |
| 85             | 153.95       | 116      | 68.45               |
| 86             | 126.34       | 117      | 57.71               |
| 87             | 124.29       | 118      | 41.59               |
| 88             | 153.99       | 119      | 45.31               |
| 89             | 131.54       | 120      | 39.82               |
| 90             | 124.29       |          |                     |
| ΠΑΡΟΥΣΑ ΜΕΛΕΤΗ | 224          |          | 118                 |
| ΜΕΛΕΤΗ ΒΑΖΑΙΟΥ | 205          |          | 121                 |



| <b>Μάϊος</b>          | <b>Degree-hours</b> | <b>Ιούνιος</b> | <b>Degree-hours</b> |
|-----------------------|---------------------|----------------|---------------------|
| 121                   | 38.12               | 152            | 0                   |
| 122                   | 26.68               | 153            | 0                   |
| 123                   | 23.94               | 154            | 0                   |
| 124                   | 25.32               | 155            | 0                   |
| 125                   | 45.10               | 156            | 0                   |
| 126                   | 29.02               | 157            | 0                   |
| 127                   | 27.39               | 158            | 0                   |
| 128                   | 22.78               | 159            | 0                   |
| 129                   | 29.84               | 160            | 0                   |
| 130                   | 27.19               | 161            | 0                   |
| 131                   | 19.09               | 162            | 0                   |
| 132                   | 11.84               | 163            | 0                   |
| 133                   | 3.35                | 164            | 0                   |
| 134                   | 7.17                | 165            | 0                   |
| 135                   | 10.63               | 166            | 0                   |
| 136                   | 13.45               | 167            | 0                   |
| 137                   | 15.19               | 168            | 0                   |
| 138                   | 7.07                | 169            | 0                   |
| 139                   | 11.98               | 170            | 0                   |
| 140                   | 7.35                | 171            | 0                   |
| 141                   | 7.30                | 172            | 0                   |
| 142                   | 3.58                | 173            | 0                   |
| 143                   | 5.05                | 174            | 0                   |
| 144                   | 8.98                | 175            | 0                   |
| 145                   | 7.70                | 176            | 0                   |
| 146                   | 3.59                | 177            | 0                   |
| 147                   | 0                   | 178            | 0                   |
| 148                   | 1.13                | 179            | 0                   |
| 149                   | 1.11                | 180            | 0                   |
| 150                   | 8.25                | 181            | 0                   |
| 151                   | 2.62                |                |                     |
| <b>ΠΑΡΟΥΣΑ ΜΕΛΕΤΗ</b> | <b>19</b>           |                | <b>0</b>            |
| <b>ΜΕΛΕΤΗ ΒΑΖΑΙΟΥ</b> | <b>14</b>           |                | <b>0</b>            |

| Ιούλιος                   | Degree-hours | Αύγουστος | Degree-hours |
|---------------------------|--------------|-----------|--------------|
| 182                       | 0            | 213       | 0            |
| 183                       | 0            | 214       | 0            |
| 184                       | 0            | 215       | 0            |
| 185                       | 0            | 216       | 0            |
| 186                       | 0            | 217       | 0            |
| 187                       | 0            | 218       | 0            |
| 188                       | 0            | 219       | 0            |
| 189                       | 0            | 220       | 0            |
| 190                       | 0            | 221       | 0            |
| 191                       | 0            | 222       | 0            |
| 192                       | 0            | 223       | 0            |
| 193                       | 0            | 224       | 0            |
| 194                       | 0            | 225       | 0            |
| 195                       | 0            | 226       | 0            |
| 196                       | 0            | 227       | 0            |
| 197                       | 0            | 228       | 0            |
| 198                       | 0            | 229       | 0            |
| 199                       | 0            | 230       | 0            |
| 200                       | 0            | 231       | 0            |
| 201                       | 0            | 232       | 0            |
| 202                       | 0            | 233       | 0            |
| 203                       | 0            | 234       | 0            |
| 204                       | 0            | 235       | 0            |
| 205                       | 0            | 236       | 0            |
| 206                       | 0            | 237       | 0            |
| 207                       | 0            | 238       | 0            |
| 208                       | 0            | 239       | 0            |
| 209                       | 0            | 240       | 0            |
| 210                       | 0            | 241       | 0            |
| 211                       | 0            | 242       | 0            |
| 212                       | 0            | 243       | 0            |
| <b>ΠΑΡΟΥΣΑ ΜΕΛΕΤΗ</b>     | <b>0</b>     |           | <b>0</b>     |
| <b>ΜΕΛΕΤΗ<br/>ΒΑΖΑΙΟΥ</b> | <b>0</b>     |           | <b>0</b>     |

| <b>Σεπτέμβριος</b>    | <b>Degree-hours</b> | <b>Οκτώβριος</b> | <b>Degree-hours</b> |
|-----------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| 244                   | 0                   | 274              | 0                   |
| 245                   | 0                   | 275              | 0.15                |
| 246                   | 0                   | 276              | 0                   |
| 247                   | 0                   | 277              | 0                   |
| 248                   | 0                   | 278              | 0                   |
| 249                   | 0                   | 279              | 1.09                |
| 250                   | 0                   | 280              | 0.17                |
| 251                   | 0                   | 281              | 0                   |
| 252                   | 0                   | 282              | 0                   |
| 253                   | 0                   | 283              | 0.59                |
| 254                   | 0                   | 284              | 0                   |
| 255                   | 0                   | 285              | 0                   |
| 256                   | 0                   | 286              | 3.16                |
| 257                   | 0                   | 287              | 11.77               |
| 258                   | 0                   | 288              | 13.07               |
| 259                   | 0                   | 289              | 16.22               |
| 260                   | 0                   | 290              | 13.44               |
| 261                   | 0                   | 291              | 18.49               |
| 262                   | 0                   | 292              | 18.37               |
| 263                   | 0                   | 293              | 29.13               |
| 264                   | 0                   | 294              | 17.46               |
| 265                   | 0                   | 295              | 9.55                |
| 266                   | 0                   | 296              | 4.17                |
| 267                   | 0                   | 297              | 26.06               |
| 268                   | 0                   | 298              | 23.50               |
| 269                   | 0                   | 299              | 32.09               |
| 270                   | 0                   | 300              | 47.07               |
| 271                   | 0                   | 301              | 37.97               |
| 272                   | 0                   | 302              | 36.51               |
| 273                   | 0                   | 303              | 37.71               |
|                       |                     | 304              | 47.07               |
| <b>ΠΑΡΟΥΣΑ ΜΕΛΕΤΗ</b> | <b>0</b>            |                  | <b>18</b>           |
| <b>ΜΕΛΕΤΗ ΒΑΖΑΙΟΥ</b> | <b>0</b>            |                  | <b>46</b>           |

| Νοέμβριος             | Degree-hours | Δεκέμβριος | Degree-hours |
|-----------------------|--------------|------------|--------------|
| 305                   | 44.92        | 335        | 153.80       |
| 306                   | 41.49        | 336        | 167.25       |
| 307                   | 52.73        | 337        | 155.40       |
| 308                   | 54.91        | 338        | 151.34       |
| 309                   | 60.90        | 339        | 119.22       |
| 310                   | 91.74        | 340        | 123.27       |
| 311                   | 94.15        | 341        | 134.75       |
| 312                   | 69.40        | 342        | 166.70       |
| 313                   | 82.55        | 343        | 185.17       |
| 314                   | 77.47        | 344        | 190.07       |
| 315                   | 77.29        | 345        | 197.64       |
| 316                   | 63.87        | 346        | 173.75       |
| 317                   | 79.59        | 347        | 148.94       |
| 318                   | 86.89        | 348        | 164.05       |
| 319                   | 88.15        | 349        | 162.35       |
| 320                   | 76.37        | 350        | 167.09       |
| 321                   | 78.42        | 351        | 196.09       |
| 322                   | 102.82       | 352        | 209.64       |
| 323                   | 134.79       | 353        | 204.55       |
| 324                   | 149.79       | 354        | 173.79       |
| 325                   | 151.47       | 355        | 150.97       |
| 326                   | 127.35       | 356        | 179.52       |
| 327                   | 130.10       | 357        | 161.64       |
| 328                   | 142.49       | 358        | 152.02       |
| 329                   | 143.17       | 359        | 154.95       |
| 330                   | 136.45       | 360        | 157.85       |
| 331                   | 153.47       | 361        | 171.05       |
| 332                   | 151.79       | 362        | 179.72       |
| 333                   | 136.00       | 363        | 198.75       |
| 334                   | 147.60       | 364        | 171.45       |
|                       |              | 365        | 162.90       |
| <b>ΠΑΡΟΥΣΑ ΜΕΛΕΤΗ</b> | <b>126</b>   |            | <b>216</b>   |
| <b>ΜΕΛΕΤΗ ΒΑΖΑΙΟΥ</b> | <b>129</b>   |            | <b>246</b>   |

Όπως προκύπτει από τη μελέτη του πίνακα, στους πέντε από τους οκτώ μήνες στους οποίους έχουμε συγκρίσιμες τιμές, οι βαθμοημέρες, βάσει της μελέτης αυτής, είναι κάτι τι μικρότερες από ότι τις βαθμοημέρες, αλλά όμως εντός του σφάλματος.

Πάντως ο υπολογισμός του μηνιαίου φορτίου  $L$  για τη θέρμανση χώρων προκύπτει μικρότερος. Το συμπέρασμα αυτό είναι απόλυτα φυσιολογικό, αν αναλογιστούμε ότι η μελέτη<sup>(10)</sup> βασίστηκε σε μηνιαία δεδομένα που αφορούσαν τη χρονική περίοδο 1965-1975, ενώ τα δεδομένα της εργασίας αυτής βασίστηκε σε μετρήσεις των επτά ετών (1994-2000) χρονικό διάστημα στο οποίο, η μέση θερμοκρασία της γης, και άρα και της Πάτρας έχει αυξηθεί.

Οπότε, και η διαφορά  $T_{ref} - \overline{T_a}(n)$  έχει, έστω και ελάχιστα, διαφοροποιηθεί.

### 2.1.3 Η έννοια της μαθηματικής πολυωνυμικής προσαρμογής

Τα τελευταία χρόνια, οι προσπάθειες εξομοίωσης των συστημάτων υπολογισμού και πρόβλεψης του θερμικού φορτίου  $L$ , αλλά και της αποτελεσματικότερης διαχείρισης του  $L$  σε περίπτωση αυτοδύναμου συστήματος ηλιακών ή υβριδικών ηλιακών συστημάτων, οδήγησε στην εύρεση μιας συνάρτησης  $f(x)$ . Η διαδικασία αυτή, της μαθηματικής προσαρμογής, που καλείται fitting, βασίζεται στην απαίτηση όπως το άθροισμα των τετραγώνων των αποστάσεων των σημείων  $f(x_i)$  της θεωρητικής καμπύλης από αυτά της πειραματικής  $(x_i, y_i)$  γίνει ελάχιστο. Τα πειραματικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εξομοίωση και τη βέλτιστη προσαρμογή, πάνω σε αυτά, της συνάρτησης  $f(x)$ , είναι τα μετεωρολογικά δεδομένα που πάρθηκαν από το Πανεπιστήμιο της Πάτρας και την Ε.Μ.Υ και αφορούν θερμοκρασιακές μετρήσεις των τελευταίων 7 ετών για την περιοχή της Πάτρας.

Ο υπολογισμός των βαθμοωρών θα γίνεται από τη συνάρτηση  $f(x)$ , που εκτιμάται ότι θα έχει τη μορφή:

$$y = a + b \cos(cx + d)$$

Το μοντέλο της προσαρμογής τέθηκε υπό την τριγωνομετρική αυτή σχέση καθώς, όπως και οι άλλες, είναι συμμετρικές περί μια χρονική περίοδο ανά έτος αλλά και γιατί σ' όλες τις σχέσεις που δίνουν την ηλιακή ακτινοβολία  $I \frac{W}{m^2}$  του ηλίου, υπεισέρχονται αναλυτικές τριγωνομετρικές σχέσεις.

Οι τιμές των επιμέρους συντελεστών  $a, b, c, d$  προσδιορίστηκαν και είναι:

$$\begin{aligned} a &= 50.34 \\ b &= 156.65 \\ c &= 0.017 \\ d &= -0.58 \end{aligned}$$

Η συνάρτηση αυτή, παρίσταται στο παρακάτω σχήμα και μας δίνει τη δυνατότητα να υπολογίσουμε τις βαθμοώρες κάθε ημέρας και κατ' επέκταση το θερμικό φορτίο  $L$  για οποιαδήποτε ημερολογιακή μέρα του έτους θελήσουμε, χωρίς πλέον να ανατρέχουμε στην ανάλυση των επιμέρους στοιχείων.

Η συνάρτηση αυτή εξομοίωσης, ισχύει βέβαια μόνο για την περιοχή της Πάτρας. Για τις άλλες περιοχές, θα πρέπει να γίνει ακριβώς η ίδια εργασία με την προηγούμενη για τον ακριβή προσδιορισμό των σταθερών της  $f(x)$ .

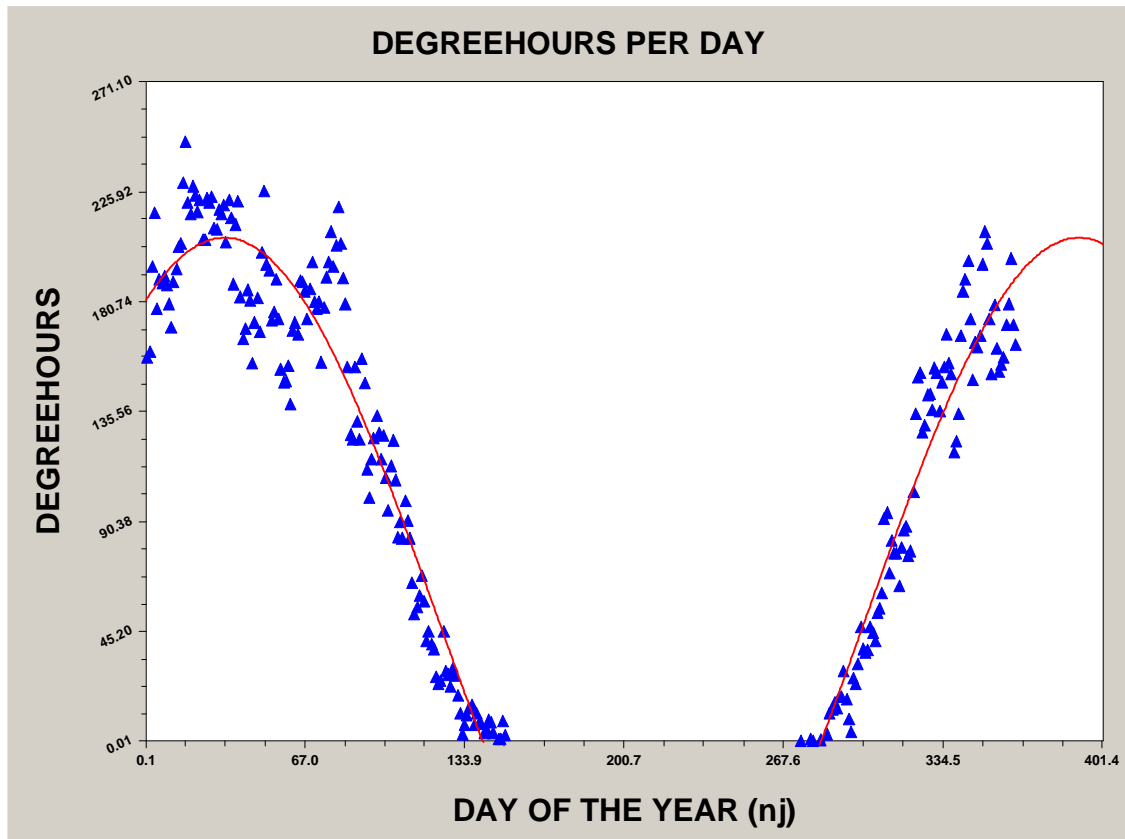
Η προσαρμογή των δεδομένων πάνω στη θεωρητική καμπύλη  $y = a + b \cos(cx + d)$ , έγινε με βαθμό συσχετισμού  $r = 96\%$ , που υποδηλώνει την αξιοπιστία από το συσχετισμό των δεδομένων.

Γνωρίζοντας τη συνάρτηση αυτή, είναι δυνατόν ανά πάσα στιγμή, και για οποιαδήποτε μέρα, να υπολογιστούν οι βαθμοώρες και κατ'επέκτασιν το θερμικό φορτίο  $L$  που θα χρειαστεί για τη θέρμανση χώρου.

Είναι αυτονόητο ότι τυχόν αλλαγή στον αριθμό της  $T_{ref}$ , θα επιφέρει αλλαγές στον αριθμό των βαθμοωρών και, κατά συνέπεια, στις σταθερές της

συνάρτησης εξομοίωσης. Όπως έχει αναφερθεί ήδη σε προηγούμενο κεφάλαιο, η σταθερά  $T_{ref}$  για τους υπολογισμούς σε αυτήν την εργασία, είναι  $18.33^{\circ}\text{C}$ .

Σχήμα 2.1.3(α): Προσαρμογή των δεδομένων στην καμπύλη  $y = a + b\cos(cx + d)$



Στον παρακάτω πίνακα, παραθέεται μια σύγκριση των τιμών των βαθμωρών, που προέκυψαν από την ανωτέρω προσαρμογή πάνω στα πειραματικά δεδομένα των 7 τελευταίων ετών.

Ελήφθησαν 10 τυχαίες ημερολογιακές μέρες. Για κάθε τέτοια ημερολογιακή μέρα, είναι εφικτό με ευκολία να υπολογιστεί η αντίστοιχη τιμή των βαθμωρών της χάρις στη συνάρτηση  $y = a + b\cos(cx + d)$  που προέκυψε από την προσαρμογή.

Για αύξοντα αριθμό ημερολογιακής μέρας π.χ 15, δηλαδή για την 15<sup>η</sup> Ιανουαρίου, οι βαθμώρες θέρμανσης για τη μέρα αυτή είναι 207,602.

**Πίνακας 2.1.3: Σύγκριση τιμών ( α )**

| <b>Αύξοντας αριθμός ημερολογιακών ημερών</b> | <b>Βαθμώρες θέρμανσης (<math>\Delta T \times h</math>)</b> |
|--|--|
| 15   | 199.181  |
| 50   | 200.147  |
| 73   | 170.129  |
| 102  | 105.788  |
| 139  | 5.95   |
| 202  | 0  |
| 299  | 42.9   |
| 308  | 67,60  |
| 323  | 107,51   |
| 350  | 167.744  |

Η ίδια διαδικασία μπορεί να ακολουθηθεί και για τον προσδιορισμό της αντίστοιχης συνάρτησης  $f(x)$ , που να βασίζεται όχι πλέον στα πειραματικά δεδομένα των 7 τελευταίων ετών, αλλά στα δεδομένα της βιβλιογραφίας<sup>(1,2)</sup>.

Στην εξομοίωση αυτή, στον άξονα των  $Y$  αναφέρονται οι βαθμοημέρες για κάθε μήνα ξεκινώντας από την αρχή του έτους, ενώ στον άξονα των  $X$ , οι αύξοντες τιμές των μέσων μηνιαίων ημερών του κάθε μήνα, όπως αυτές προκύπτουν από τη διεθνή βιβλιογραφία.

Να σημειωθεί ότι ως  $T_{ref}$  χρησιμοποιήθηκε η βάση των  $18^{\circ}C$  και όχι των  $18.33^{\circ}C$  όπως έγινε νωρίτερα.

Οι συντελεστές της συνάρτησης για την εξομοίωση αυτή βρέθηκαν ίσοι με :



$$a = 1,567903$$

$$b = 6,930772$$

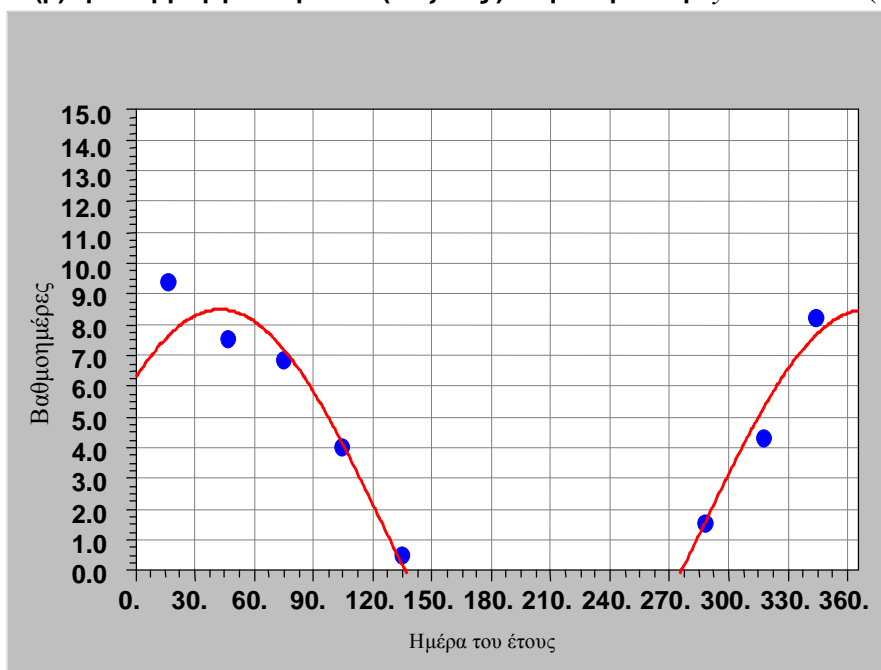
$$c = 0,01921463$$

$$d = -0,8137855$$

Η εξομοίωση της συνάρτησης, πάνω στη θεωρητική καμπύλη στην περίπτωση αυτή, έγινε με ποσοστό 98,23%, μεγαλύτερο από το 96,55% που προέκυψε νωρίτερα, στοιχείο απόλυτα φυσιολογικό, αν ληφθεί υπ'όψη ότι τα προς εξομοίωση δεδομένα στην περίπτωση αυτή, καθ'ότι μηνιαία, ήταν πολύ λιγότερα από την προηγούμενη μελέτη, που αφορούσε ημερήσιες τιμές.

Η προσαρμογή παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα :

Σχήμα 2.3.1(β) Προσαρμογή δεδομένων (Βαζαίος ) στην καμπύλη  $y = a + b \cos(cx + d)$



Στον παρακάτω πίνακα παραθέτονται οι βαθμώσεις των 10 ημερών, που ελήφθησαν και προηγουμένως και που προέκυψαν από την προσαρμογή πάνω στα πειραματικά δεδομένα της βιβλιογραφίας ( Βαζαίος ) για τη ζώνη 3, στην οποία βρίσκεται η Πάτρα.

**Πίνακας 2.1.3: Σύγκριση τιμών (β )**

| <b>Αύξοντας αριθμός ημερολογιακών ημερών</b> | <b>Βαθμοώρες θέρμανσης (<math>\Delta T \times h</math>)</b> |
|--|---|
| 15   | 217,49  |
| 50   | 201,36  |
| 73   | 163,98  |
| 102  | 96,3  |
| 139  | 1,74  |
| 202  | 0   |
| 299  | 68,32   |
| 308  | 91,75   |
| 323  | 129,14  |
| 350  | 184,47  |

Η σύγκριση των δύο τελευταίων πινάκων (2.1.3(α)) , (2.1.3(β)) οδηγείται στα ίδια συμπεράσματα με πριν, ότι δηλαδή η μείωση του αριθμού των βαθμοημερών στη μελέτη που βασίστηκε στα πειραματικά δεδομένα των 7 τελευταίων ετών, σε σχέση με τη μελέτη της βιβλιογραφίας<sup>(5)</sup> που χρησιμοποίησε δεδομένα παλαιότερων ετών, είναι απόλυτα συνυφασμένη με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας περιβάλλοντος τα τελευταία χρόνια, στοιχείο που οδηγεί και στη μείωση του απαιτούμενου θερμικού φορτίου L, για την κάλυψη των θερμικών αναγκών στη θέρμανση χώρων.

**Θερμοπερατότητα  $U$**

**3.1: Αναλυτική περιγραφή**

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται διεξοδική ανάλυση της θερμοπερατότητας  $U$  καθώς είναι απαραίτητος όρος για τον προσδιορισμό του θερμικού φορτίου, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Η θερμοπερατότητα καθορίζει την ποσότητα θερμότητας που μεταδίδεται από τη μια πλευρά ενός υλικού στην άλλη όταν και από τις δύο πλευρές το υλικό έρχεται σε επαφή με τον αέρα.

Η θερμοπερατότητα λαμβάνει υπόψη της την θερμοδιαφυγή του υλικού και τη θερμική μετάβαση και για τις δύο πλευρές του. Μετράται με τον συντελεστή θερμοπερατότητας  $U$ , που δίνει την ποσότητα θερμότητας η οποία μεταδίδεται σε σταθερή θερμική κατάσταση, σε μια ώρα, από μια επιφάνεια του υλικού  $1m^2$ , όταν η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα που είναι σε επαφή και από τις δύο πλευρές με το υλικό είναι  $1^\circ C$ . Οι μονάδες του συντελεστή θερμοπερατότητας είναι  $Kcal/m^2h^\circ C$  ή  $W/m^2K$ . Το αντίστροφο του συντελεστή θερμοπερατότητας είναι η αντίσταση θερμοπερατότητας και μετράται σε  $m^2h^\circ C/Kcal$  ή σε  $m^2K/W$ .

Η θερμοπερατότητα ενός οικοδομικού στοιχείου που αποτελείται από διάφορα στρώματα, δίνεται από τη σχέση:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_{so}} \quad , \text{ όπου} \quad (3.1.1)$$

$R_{si}$  η

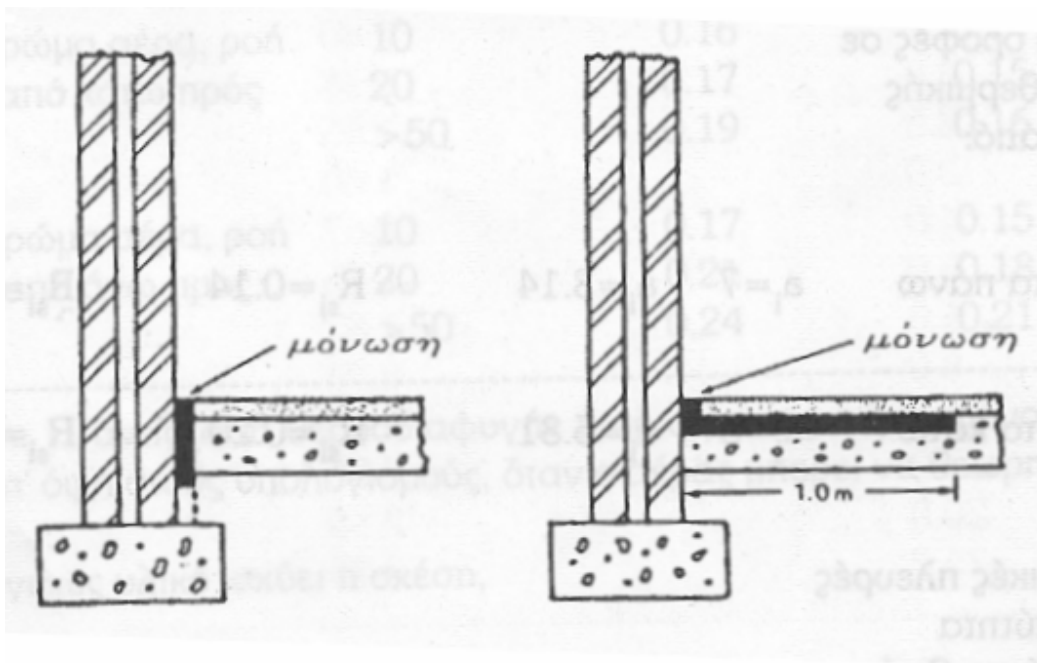
αντίσταση μετάβασης της εσωτερικής επιφάνειας του στοιχείου

$R_{so}$  η αντίσταση μετάβασης της εξωτερικής επιφάνειας του στοιχείου

$R_{1,2} \dots$  οι αντιστάσεις θερμοδιαφυγής των διαφόρων στρωμάτων του οικοδομικού στοιχείου.

Η σχέση αυτή, είναι ικανή για τον υπολογισμό της θερμοπερατότητας των τοίχων και της οροφής ενός κτιρίου. Για τον υπολογισμό της θερμοπερατότητας του δαπέδου, είτε αυτό είναι πάνω από το θερμαινόμενο υπόγειο, είτε ακουμπά στο έδαφος καθώς και των ανοιγμάτων, υπάρχουν διάφορες εμπειρικές σχέσεις και πίνακες υπολογισμού.

Εδώ ακολουθείται η μέθοδος που προτείνεται διεθνώς<sup>(4,9)</sup>



**Σχήμα 3.1.1: Πλευρές εκτεθειμένες στο γύρω περιβάλλον**

Για τα δάπεδα που εφάπτονται με το έδαφος, θεωρείται ότι χάνουν το μέγιστο μέρος της θερμότητας από τις πλευρές που είναι εκτεθειμένες προς το γύρω περιβάλλον όπως το παραπάνω σχήμα. Υπό τις

συνθήκες αυτές, η θερμοπερατότητα δίνεται από τη σχέση,

$$U_g = \frac{2I_g B}{1/2bp} \arctan h\left(\frac{1/2b}{1/2b + 1/2w}\right) \quad \text{και} \quad (3.1.2)$$

$$B = \exp\left(\frac{1/2b}{l}\right) \quad \text{όπου είναι} \quad (3.1.3)$$

$I_g$  η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους, η οποία εξαρτάται από την περιεχόμενη υγρασία και κυμαίνεται από 0.7 μέχρι 2.1 W/Mk

b το πλάτος του δαπέδου

l το μήκος του δαπέδου

w το πάχος του τοίχου που περιβάλλει το δάπεδο.

H

σχέση (3.1.2) ισχύει για δάπεδα στο έδαφος, που έχουν εκτεθειμένες και τις τέσσερις πλευρές τους.

1.1 Για δάπεδα με δύο παράλληλες πλευρές εκτεθειμένες, χρησιμοποιείται η ίδια σχέση, αλλά θεωρείται ότι το μήκος του δαπέδου είναι άπειρο.

1.2 Για δάπεδα με δύο κάθετες πλευρές εκτεθειμένες, η σχέση (3.1.2) εξακολουθεί να ισχύει αλλά το δάπεδο θεωρείται διπλάσιου μήκους και πλάτους.

1.3 Για δάπεδα με μια εκτεθειμένη πλευρά, η θερμοχωρητικότητα δίνεται όπως στην περίπτωση των δαπέδων με δύο παράλληλες πλευρές, αλλά διπλασιάζεται το πλάτος του δαπέδου.

1.4 Εάν το δάπεδο είναι μονωμένο, όπως δείχνει το σχήμα, (η μόνωση όλου του δαπέδου είναι περιττή), και εφόσον η μόνωση έχει ελάχιστη αντίσταση θερμοδιαφυγής  $0.25\text{m}^2\text{KW}$ , τότε ισχύει η διόρθωση της θερμοπερατότητας του δαπέδου, όπως δείχνει ο παρακάτω πίνακας:

**Πίνακας 8: Ποσοστά μείωσης θερμοπερατότητας**

| Διαστάσεις δαπέδου<br>(m) | Ποσοστά μείωσης της<br>θερμοπερατότητας για μόνωση<br>που εκτείνεται σε βάθος (m) |     |     |
|---------------------------|---|-----|-----|
|                           | 0.25  | 0.5 | 1.0 |
| Πολύ μακρύ επί 100m       | 2   | 6   | 10  |
| “ “ επί 60m               | 2   | 6   | 11  |
| “ “ επί 40m               | 3   | 7   | 11  |
| “ “ επί 20m               | 3   | 8   | 11  |
| “ “ επί 10m               | 4   | 9   | 14  |

|       |    |          |    |    |    |
|-------|----|----------|----|----|----|
| ''    | '' | επί 6m   | 4  | 9  | 15 |
| ''    | '' | επί 4m   | 5  | 12 | 20 |
| ''    | '' | επί 2m   | 6  | 15 | 25 |
| 100 m |    | επί 100m | 3  | 11 | 16 |
| 60m   |    | επί 60m  | 4  | 11 | 17 |
| 40m   |    | επί 40m  | 4  | 12 | 18 |
| 20m   |    | επί 20m  | 5  | 13 | 19 |
| 10m   |    | επί 10m  | 6  | 14 | 22 |
| 6m    |    | επί 6m   | 6  | 15 | 25 |
| 4m    |    | επί 4m   | 7  | 18 | 28 |
| 2m    |    | επί 2m   | 10 | 20 | 35 |

Στο σχήμα 3.1.2 φαίνονται οι θερμικές αντιστάσεις που μεσολαβούν για να μεταβούμε από έναν θερμικό κόμβο με θερμοκρασία  $T_i$ , δηλαδή εσωτερικού περιβάλλοντος, σε μια θερμοκρασία  $T_o$  δηλαδή εξωτερικού χώρου. Στο σχήμα 3.1.2 φαίνεται ότι μεσολαβούν οι εξής θερμικές αντιστάσεις:

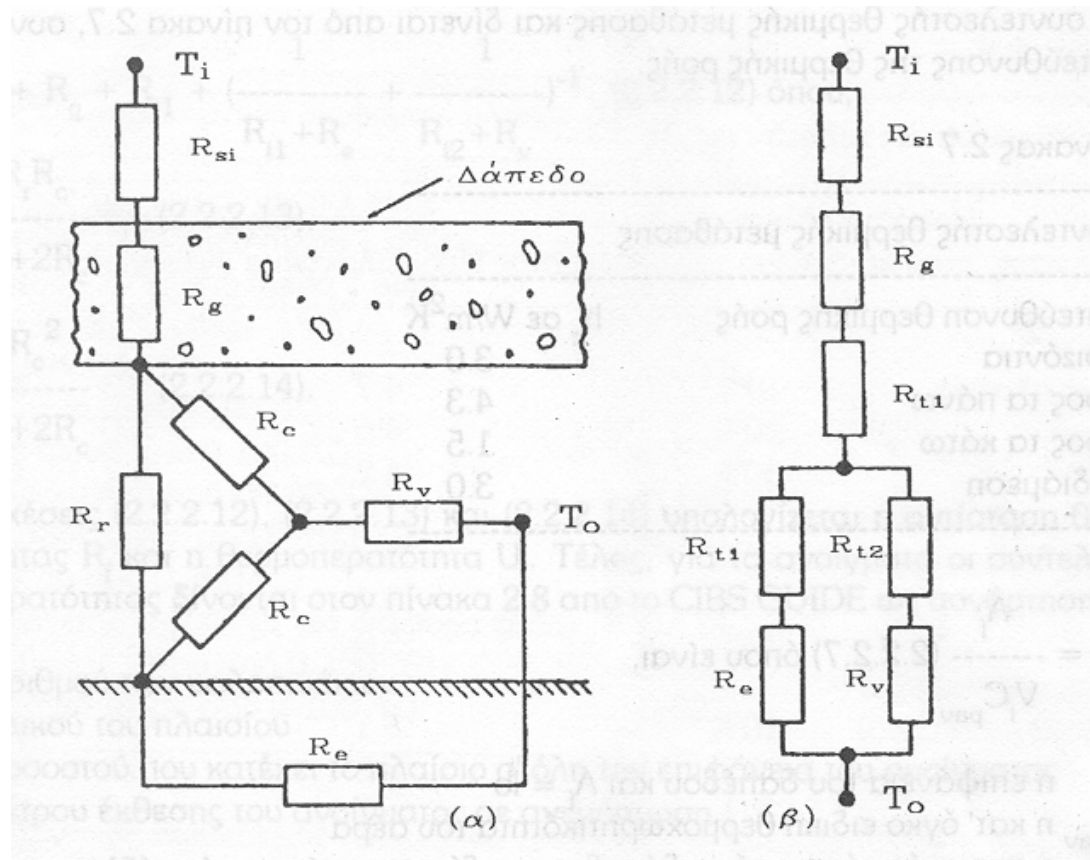
- $R_{si}$  αντίσταση εσωτερικής επιφάνειας δαπέδου
- $R_g$  αντίσταση θερμοδιαφυγής του δαπέδου
- $R_r$  ισοδύναμη θερμική αντίσταση λόγω ακτινοβολίας
- $R_c$  ισοδύναμη θερμική αντίσταση λόγω θερμικής μετάβασης
- $R_v$  ισοδύναμη θερμική αντίσταση λόγω αερισμού
- $R_e$  θερμική αντίσταση του εδάφους

Οι αντιστάσεις συντίθενται όπως στο σχήμα 3.1.2 β και είναι  $R_r = (\epsilon h_r)^{-1}$  (7), όπου

$\epsilon$  : συντελεστής εκπομπής

$h_r$ : συντελεστής θερμικής μετάβασης με ακτινοβολία

Ο συντελεστής εκπομπής για τα οικοδομικά υλικά μπορεί να ληφθεί περίπου ίσον με 0.9 αλλά για επιφάνειες με μεταλλικό τελείωμα, όπως το αλουμίνιο είναι πολύ μικρός ~0.05



Σχ

ήμα 3.1.2: Διάταξη θερμικών αντιστάσεων

Ο συντελεστής θερμικής μετάβασης με ακτινοβολία, δίνεται συναρτήσει της θερμοκρασίας της επιφάνειας του στοιχείου, από τον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 9: Συντελεστής θερμικής μετάβασης( α )

| Συντελεστής θερμικής μετάβασης με ακτινοβολία $h_r$ |                   |
|---|-------------------|
| Θερμοκρασία επιφάνειας σε °C                        | $h_r$ σε $W/m^2k$ |
| -10   | 4.1               |

|    |     |
|----|-----|
| 00 | 4.6 |
| 10 | 5.1 |
| 20 | 5.7 |

$R_c=1/h_c$  (3.1.4)

όπου :

$h_c$  ο συντελεστής θερμικής μετάβασης και δίνεται από τον παρακάτω πίνακα συναρτήσει της κατεύθυνσης της θερμικής ροής

**Πίνακας 10: Συντελεστής θερμικής μετάβασης(  $\beta$  )**

| Συντελεστής θερμικής μετάβασης |                   |
|--------------------------------|-------------------|
| Κατεύθυνση θερμικής ροής       | $h_c$ σε $W/m^2K$ |
| Οριζόντια                      | 3.0               |
| Προς τα πάνω                   | 4.3               |
| Προς τα κάτω                   | 1.5               |
| Ενδιάμεση                      | 3.0               |

$$R_n = \frac{A_f}{V_f C_{pav}} \quad , \quad \text{όπου} \quad (3.1.5)$$

$A_f$  η επιφάνεια του δαπέδου και  $A_f = lb$

$C_{pav}$  η κατ'όγκο ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα

$V_f$  ο αερισμός κάτω από το δάπεδο

$$V_f = 0.66avl \quad (3.1.6)$$

Το  $a$  παριστάνει την ελεύθερη επιφάνεια του δαπέδου ανηγμένη ανά  $l$  σε  $m^2/m$  και το  $v$  την ταχύτητα του ανέμου σε  $m/s$ .



Λόγω της σχέσης (3.1.6) , η (3.1.5 ) γράφεται

$$R_v = \frac{1.5b}{C_{pav}av} \quad (3.1.7)$$

Για  $C_{pav}=1200J/m^3K$  ,  $a = 0.002m^2/m$  και  $u = 1m/s$  έχουμε:

$$R_v = 0.63b \quad (3.1.8)$$

$$R_e = 1/U_g - R_{si} \quad (3.1.9)$$

όπου η θερμοπερατότητα του εδάφους υπολογίζεται από τη σχέσεις (3.1.2) και (3.1.3).

Έχοντας υπολογίσει όλες τις θερμικές αντιστάσεις , η αντίσταση θερμοπερατότητας του δαπέδου που βρίσκεται πάνω από μη θερμαινόμενο υπόγειο, είναι:

$$R_f = R_{si} + R_g + R_{t1} + \left( \frac{1}{R_{t1} + R_e} + \frac{1}{R_{t2} + R_v} \right)^{-1} \quad (3.1.10)$$

όπου:

$$R_{t1} = \frac{R_r R_c}{R_r + 2R_c} \quad (3.1.11)$$

$$R_{t2} = \frac{R_c^2}{R_r + 2R_c} \quad (3.1.12)$$

Με τις σχέσεις (3.1.10), (3.1.11), (3.1.12), υπολογίζεται η αντίσταση θερμοπερατότητας  $R_f$  και η θερμοπερατότητα  $U_f$ . Τέλος, για τα ανοίγματα, οι συντελεστές θερμοπερατότητας δίνονται στον παρακάτω πίνακα, ως συνάρτηση :

1. του αριθμού των υαλοπινάκων
2. του υλικού του πλαισίου
3. του ποσοστού που κατέχει το πλαίσιο σε όλη την επιφάνεια του ανοίγματος
4. του μέρους έκθεσης του ανοίγματος σε ανεμόπτωση

Ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός του κτιρίου αποτελεί τον τρίτο παράγοντα που καθορίζει τις θερμικές του απώλειες.

Ειδικότερα, το μέγεθος της θερμικής επιφάνειας του κτιρίου, δηλαδή της επιφάνειας απωλειών θερμότητας (που αποτελείται από τους εξωτερικούς τοίχους και ανοίγματα, την οροφή και το δάπεδο), καθορίζει, σε ευθεία αναλογία, και τις θερμικές απώλειες. Κτίρια με πολύπλοκα σχήματα παρουσιάζουν μεγάλη θερμική επιφάνεια και κατά συνέπεια μεγάλα ποσά ενέργειας για να θερμανθούν. Επίσης, για τον ίδιο όγκο, συνήθως, μια μονοκατοικία έχει περισσότερες απώλειες από ένα διαμέρισμα μιας διπλοκατοικίας, γιατί παρουσιάζει μεγαλύτερη θερμική επιφάνεια, και το τελευταίο, με τη σειρά του, έχει μεγαλύτερες απώλειες από ένα διαμέρισμα μιας πολυκατοικίας του ίδιου όγκου, για τον ίδιο λόγο.

Ένας συντελεστής που μας δίνει πληροφορίες για την θερμική επιφάνεια του κτιρίου σε σχέση με τον όγκο του, είναι ο λόγος  $A/V$  όπου  $A$  είναι η συνολική θερμική επιφάνεια του κτιρίου και  $V$  ο όγκος που περικλείεται από αυτήν. Όσο μικρότερος είναι ο λόγος αυτός, τόσο μικραίνουν οι θερμικές απώλειες του κτιρίου ανά μονάδα όγκου και άρα τόσο καλύτερα είναι σχεδιασμένο το κτίριο από θερμικής πλευράς.

### 3.2 Θερμικά φορτία λόγω θερμοπερατότητας υπό σταθερές θερμικές συνθήκες

Η γνώση των επιμέρους συντελεστών θερμοπερατότητας του κάθε τμήματος ενός κτιρίου, οδηγεί στον ορισμό του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας, που δίνεται από τη σχέση:

$$\bar{U}_v = \frac{U_w A_w + U_r A_r + U_g A_g + U_f A_f}{A} \quad (3.1.13)$$

όπου είναι:

- $U_w$ : ο συντελεστής θερμοπερατότητας των τοίχων
- $U_r$ : ο συντελεστής θερμοπερατότητας της οροφής
- $U_g$ : ο συντελεστής θερμοπερατότητας των ανοιγμάτων
- $U_f$ : ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δαπέδου
- $A_w$ : η επιφάνεια των τοίχων
- $A_r$ : η επιφάνεια της οροφής
- $A_g$ : η επιφάνεια των ανοιγμάτων
- $A_f$ : η επιφάνεια του δαπέδου

Η γνώση του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας μας δίνει σαφή ένδειξη για τις θερμικές απώλειες του κτιρίου

### 3.3 Θερμικά φορτία - Παραγωγή ζεστού νερού

Για την παραγωγή ζεστού νερού απαιτείται ενέργεια αφ'ενός για να ανέβει η θερμοκρασία του κρύου νερού μέχρι την επιθυμητή θερμοκρασία και αφ'ετέρου για να καλυφτούν οι απώλειες δικτύου διανομής του ζεστού νερού.

$$L = L_w + L_p$$

Το μέσο μηνιαίο φορτίο για θέρμανση νερού,  $L_w$ , υπολογίζεται ως εξής:

$$L_w = NV_w \rho C_p (T_w - T_m) \quad \text{όπου}$$

$N$  : ο αριθμός ημερών του μήνα

$V_w$  : η μέση ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού θερμοκρασίας  $T_w$  ( lt )

$\rho$  : το ειδικό βάρος του νερού ( 1kg/lt )

$C_p$  : η ειδική θερμότητα του νερού ( 4190 J/kg-°C )

$T_w$  : η επιθυμητή θερμοκρασία του ζεστού νερού

$T_m$  : η θερμοκρασία του κρύου νερού

Η απαιτούμενη ποσότητα είναι συνάρτηση του είδους του κτιρίου ( κατοικοδοχείο κ.τ.λ), από το μέγεθος του κτιρίου ( αριθμός ενοίκων, αριθμός κλινών ) και από τον τρόπο ζωής αυτών που χρησιμοποιούν το νερό.

Η ημερήσια κατανάλωση ποικίλει από μέρα σε μέρα και από περίοδο σε περίοδο. Γενικά είναι αποδεκτή μια κατανάλωση μεταξύ 30-40 λίτρων ημερησίως ανά άτομο.

Στατιστικές αναλύσεις μεγάλου αριθμού κατοικιών, έδειξε αυξημένη κατανάλωση το πρωί και το απόγευμα με μια δευτερεύουσα αύξηση κατανάλωσης το μεσημέρι .

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τιμές της μέσης ημερήσιας κατανάλωσης νερού για διάφορα ήδη κτιρίων.

Η κατώτερη επιθυμητή θερμοκρασία  $T_w$  του ζεστού νερού χρήσης στις περισσότερες περιπτώσεις λαμβάνεται ίση με 40°C.

**Πίνακας 11: Χρήση ζεστού νερού σε διάφορα κτίρια**

| Είδος κτιρίων           | Μέση ημερήσια κατανάλωση νερού ανά άτομο ( <i>lt</i> ) |
|-------------------------|--|
| Οικοτροφεία             | 50   |
| Σχολεία                 | 5  |
| Κατοικίες: Στάθμη μέση  | 50   |
| Στάθμη υψηλή            | 100  |
| Νοσοκομεία              | 60   |
| Ξενοδοχεία: Κατηγορία   |  |
| LUX                     | 100  |
| A' και B'               | 80   |
| Γ'                      | 60   |
| Γραφεία                 | 6  |
| Αθλοπαιδιές             | 40   |
| Κουζίνες: Πλήρη γεύματα | 9lt την ώρα ανά γεύμα                                  |
| Πρόχειρο φαγητό         | 2.5lt την ώρα ανά γεύμα                                |

Στον παρακάτω πίνακα δίνεται η μέση μηνιαία θερμοκρασία του κρύου νερού για τις διάφορες Ελλαδικές γεωγραφικές ζώνες:

**Πίνακας 12: θερμοκρασία κρύου νερού σε μεγάλα υπόγεια δίκτυα διανομής**

| ΖΩΝΗ | Ι  | Φ  | Μ  | Α  | Μ  | Ι  | Ι  | Α  | Σ  | Ο  | Ν  | Δ  |
|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1,2  | 12 | 12 | 14 | 16 | 19 | 22 | 24 | 24 | 22 | 19 | 16 | 14 |
| 2,3  | 10 | 10 | 12 | 15 | 19 | 21 | 24 | 24 | 22 | 19 | 15 | 12 |
| 3,4  | 8  | 8  | 10 | 13 | 17 | 19 | 22 | 22 | 20 | 17 | 13 | 10 |

Όπως φαίνεται, για την περιοχή της Πάτρας, που ανήκει, ως γνωστόν, στη ζώνη 3, η θερμοκρασία του ποικίλλει από 10 ° C το Γενάρη έως 24 ° C Ιούλιο-Αύγουστο.

Η ύπαρξη δικτύου διανομής του ζεστού νερού από την πηγή τροφοδοσίας έως την κατανάλωση, είναι φυσικό να δημιουργεί επιπρόσθετες απώλειες θερμικού φορτίου.

Οι απώλειες αυτές, σε μηνιαία βάση, υπολογίζονται από τη σχέση:

$$L_p = Nt\bar{U}l$$

όπου :

$N$  : ο αριθμός ημερών κάθε μήνα

$T$  : η ημερήσια διάρκεια χρήσης του δικτύου ( s )

$\bar{U}$  : ο μέσος συντελεστής απωλειών σωλήνων (W/m )

$l$  : το συνολικό μήκος του δικτύου ( m )

Η μέση ημερήσια διάρκεια χρήσης του δικτύου, εξαρτάται πρωτίστως από το είδος του κτιρίου. Για τις απλές κατοικίες π.χ κυμαίνεται από 8 έως και 16 ώρες ημερησίως.

Ο συντελεστής απωλειών των σωλήνων,  $\bar{U}$ , εξαρτάται από τη διατομή των σωλήνων, το είδος της μόνωσης, και τις θερμοκρασίες.

Στον παρακάτω πίνακα , απεικονίζονται οι απώλειες γυμνών και μονωμένων σωλήνων σε W ανά τρέχον μέτρο και βαθμό Κελσίου.

**Πίνακας 13:Απώλειες σωληνών σε δίκτυα διανομής ζεστού νερού ( $W / m^{\circ}C$ )**

| Διάμετρος | Σωλήνες γυμνοί | Σωλήνες μονωμένοι                                |
|-----------|----------------|--|
|           |                | $l = 0,035W/m^{\circ}C$<br>πάχος μόνωσης<br>13mm |
| 1/2"      | 0,66           | 0,37   |

|                    |      |      |
|--------------------|------|------|
| 3/4"               | 0,81 | 0,42 |
| 1"                 | 0,98 | 0,49 |
| 1 <sup>1/4</sup> " | 1,20 | 0,57 |
| 1 <sup>1/2</sup> " | 1,34 | 0,62 |
| 2"                 | 1,62 | 0,73 |
| 2 <sup>1/2</sup> " | 1,99 | 0,87 |
| 3"                 | 2,28 | 0,98 |
| 4"                 | 2,84 | 1,21 |

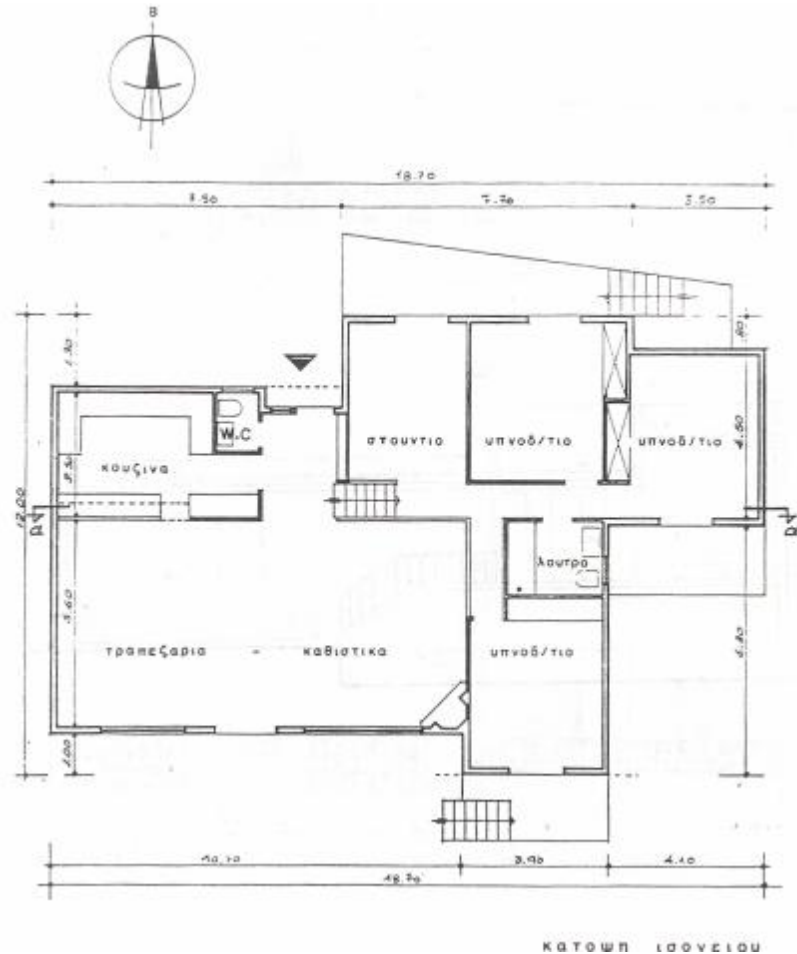
Οι τιμές του  $U_d$  είναι το γινόμενο των τιμών του πίνακα αυτού και της διαφορά θερμοκρασίας σωλήνα και περιβάλλοντος.

Όταν δεν είναι γνωστές οι κατασκευαστικές λειτουργίες του δικτύου, υποθέτουμε ότι το δίκτυο είναι κατασκευασμένο από σωλήνα ενιαίας διαμέτρου, συνήθως 1<sup>1/4</sup>".

**Παράδειγμα υπολογισμού θερμικών φορτίων κατοικίας****4.1 Περιγραφή της κατοικίας, δεδομένα**

Η κάτοψη της προτεινόμενης για υπολογισμό θερμικών φορτίων κατοικίας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Αποτελείται από μεγάλο καθημερινό, χωλ, WC, και κουζίνα που βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος. Ελαφρά υπερυψωμένα, περίπου 1.20m, υπάρχουν ένα στούντιο, τρία υπνοδωμάτια και μια τουαλέτα. Η υπερύψωση αυτή εξασφαλίζει ένα ημιβυθισμένο στο έδαφος μη θερμαινόμενο χώρο που χρησιμεύει σαν αποθήκη και λεβητοστάσιο. Η κατοικία θεωρείται διατεταγμένη κατά το μεγάλο άξονα Ανατολή – Δύση και έχει μεγάλα και άνετα ανοίγματα στο Νότο και τα απολύτως απαραίτητα στο Βορρά.





Οι εξωτερικοί τοίχοι αποτελούνται από δύο τούβλα διάτρητα,  $1200\text{kg/m}^3$  πάχους  $6\text{cm}$ , μεταξύ των οποίων υπάρχει μόνωση από πλάκες υαλοβάμβακα  $4\text{cm}$ , και ασβεστοκονίαμα και από τις δύο επιφάνειες των τοίχων πάχους  $2\text{cm}$ .

Η οροφή αποτελείται από τα εξής οικοδομικά στοιχεία κατά σειρά από μέσα προς τα έξω: Ασβεστοκονίαμα πάχους  $2\text{cm}$ , οπλισμένο σκυρόδεμα B160  $18\text{cm}$ , μόνωση με πλάκες υαλοβάμβακα  $8\text{cm}$ , κισσηρόδεμα  $1000\text{kg/m}^3$   $17\text{cm}$ , ασβεστοτσιμεντοκονίαμα  $2\text{cm}$  και πλάκες τσιμέντου B120  $3\text{cm}$ .

Τα οικοδομικά στοιχεία του δαπέδου είναι: Μαρμάρινες πλάκες  $2\text{cm}$ , ασβεστοτσιμεντοκονίαμα  $2\text{cm}$ , γαρμπιλοσκυρόδεμα  $1900\text{kg/m}^3$   $6\text{cm}$ , σκυρόδεμα B160 πάχους  $14\text{cm}$ , πλάκες υαλοβάμβακα  $5\text{cm}$  και ασβεστοκονίαμα  $2\text{cm}$ . Τα παράθυρα είναι ξύλινα και καταλαμβάνουν το  $20\%$  της επιφάνειας του ανοίγματος και τα τζάμια διπλά. Οι συνθήκες ανεμόπτωσης θεωρούνται κανονικές.

Αν θεωρήσουμε ότι μας δίδονται τα εξής στοιχεία,

|                                 |          |   |                     |
|---------------------------------|----------|---|---------------------|
| Επιφάνεια εξωτερικών τοιχωμάτων | $A_w$    | = | $201\text{m}^2$     |
| Επιφάνεια ανοιγμάτων            | $A_g$    | = | $30\text{m}^2$      |
| Επιφάνεια οροφής                | $A_r$    | = | $171\text{m}^2$     |
| Επιφάνεια δαπέδου               | $A_f$    | = | $171\text{m}^2$     |
| Θερμική επιφάνεια οικοδομής     | $A$      | = | $573\text{m}^2$     |
| Θερμαινόμενος όγκος οικοδομής   | $V$      | = | $618\text{m}^3$     |
| Λόγος επιφάνειας προς όγκο      | $A/V$    | = | $0.93\text{m}^{-1}$ |
| Επιφάνεια βορείων ανοιγμάτων    | $A_{gN}$ | = | $10\text{m}^2$      |
| Επιφάνεια νοτίων ανοιγμάτων     | $A_{gS}$ | = | $20\text{m}^2$      |

Κάτοικοι, τέσσερις ενήλικες,

## 4.2 Υπολογισμός συντελεστών θερμοπερατότητας

### 4.2.1 Συντελεστής θερμοπερατότητας δαπέδου επί φυσικού εδάφους

Δάπεδο επί φυσικού εδάφους έχουν το καθημερινό, το χωλ, το W.C και η κουζίνα. Για τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας το δάπεδο αυτό χωρίστηκε σε δύο τμήματα: το πρώτο τμήμα περιλαμβάνει το καθημερινό με διαστάσεις  $5.60\text{m} \times 10.70\text{m}$  και το άλλο τμήμα τη κουζίνα, το W.C και το χωλ με διαστάσεις  $= 7.50\text{m} \times 3.50\text{m}$ .

Ο υπολογισμός της θερμοπερατότητας δαπέδου επί φυσικού εδάφους γίνεται από τις σχέσεις ( 4.2.1.1 ) και ( 4.2.1.2 ) δηλ. από τις σχέσεις:

$$U = \frac{2lB}{1/2bp} ar \tanh\left(\frac{1/2b}{1/2b + 1/2w}\right) \quad (4.2.1.1)$$

όπου  $\lambda_g$  είναι η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους που ελήφθη  $\lambda_g = 1.4 \text{ W/Mk}$  και,

$$B = \exp\frac{1/2b}{1} \quad (4.2.1.2)$$

όπου για την περίπτωση μας, που έχουμε για το κάθε τμήμα δύο πλευρές θερμικά εκτεθειμένες, ισχύει,

b το διπλάσιο της μικρής διάστασης

l το διπλάσιο της μεγάλης διάστασης

w το πάχος του τοίχου που περικλείει το χώρο (ελήφθη  $w = 0.20 \text{ cm}$ )

Βάσει των ανωτέρω προϋποθέσεων έχουμε, ότι ο συντελεστής θερμοπερατότητας καθημερινού διαστάσεων  $5.60\text{m} \times 10.70\text{m}$  είναι,

$$U_{f1} = \frac{2 \times 1.4 \times B}{1/2 \times 11.20 \times p} ar \tanh\left[\frac{(1/2) \times 11.20}{(1/2) \times 11.20 + (1/2) \times 0.20}\right] \quad \text{όπου} \quad (4.2.1.3)$$

$$B_1 = \exp\frac{1/2 \times 11.20}{21.40} \exp(0.26) = 1.3 \quad (4.2.1.4)$$

άρα

$$U_{f1} = 0.207 ar \tanh 0.98 = 0.49 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Συντελεστής θερμοπερατότητας χωλ, W.C και κουζίνας διαστάσεων =  $3.50\text{m} \times 7.50\text{m}$ .

$$U_{f2} = \frac{2 \times 1.4B}{1/2 \times 7 \times p} \operatorname{artanh} \left[ \frac{(1/2) \times 7}{(1/2) \times 7 + (1/2) \times 0.20} \right] \quad (4.2.1.5)$$

όπου

$$B_2 = \exp \frac{1/2 \times 7}{15} \exp(0.23) = 1.3 \quad (4.2.1.6)$$

άρα

$$U_{f2} = 0.331 \operatorname{artanh} 0.97 = 0.70 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Στις τιμές  $U_{f1}$  και  $U_{f2}$  γίνεται μια ποσοστιαία ελάττωση, λόγω μονώσεως βάθους 1m, σύμφωνα με τον πίνακα 1, 23% και 26% αντίστοιχα, οπότε τελικά έχουμε:

$$\text{Για επιφάνεια δαπέδου } A_{f1} \text{ (καθημερινό)} = 59.90 \text{ m}^2, \quad U_{f1} = 0.38 \text{ W/ m}^2\text{K}$$

$$\text{Για επιφάνεια δαπέδου } A_{f2} \text{ (χώλ, κουζίνα, W.C)} = 25.30 \text{ m}^2, \quad U_{f2} = 0.52 \text{ W/ m}^2\text{K}$$

#### 4.2.2 Συντελεστής θερμοπερατότητας δαπέδου πάνω από μη θερμαινόμενο υπόγειο.

Υπολογίζουμε με τη σειρά τις αντιστάσεις  $R_{si}$ ,  $R_g$ ,  $R_r$ ,  $R_c$ ,  $R_v$  και  $R_e$ .

Η αντίσταση μετάβασης της εσωτερικής επιφάνειας δαπέδου  $R_{si}$  δίνεται από τον πίνακα 4.2.2.1 και είναι  $R_{si} = 0.17 \text{ m}^2\text{K/W}$

Πίνακας 4.2.2.1: Αντίσταση θερμικής μετάβασης

| Αντίσταση θερμικής μετάβασης                             | $R_{si}$ | σε | $m^2 K / W$     |
|--|----------|----|-----------------|
| Επιφάνεια τοίχων, εσωτερικά παράθυρα, εξωτερικά παράθυρα |          |    | $R_{si} = 0.12$ |
| Δάπεδα και οροφές σε περίπτωση θερμικής μετάβασης από:   |          |    |                 |
| κάτω προς τα πάνω  |          |    | $R_{si} = 0.12$ |
| πάνω προς τα κάτω  |          |    | $R_{si} = 0.17$ |

Πίνακας 4.2.2.2: Θερμική αγωγιμότητα δαπέδου

Δάπεδο

| Περιγραφή υλικού              | Θερμική αγωγιμότητα (W/mK) | Πάχος (m) |
|-------------------------------|----------------------------|-----------|
| 1. Μαρμάρινες πλάκες          | 3.49                       | 0.02      |
| 2. Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα     | 0.87                       | 0.02      |
| 3. Γαρμπιλοσκυρόδεμα 1900kg/m | 1.10                       | 0.06      |
| 4. Σκυρόδεμα B160             | 2.03                       | 0.14      |
| 5. Πλάκες υαλοβάμβακα         | 0.04                       | 0.05      |
| 6. Ασβεστοκονίαμα             | 0.58                       | 0.012     |

$$R_g = \frac{0.02}{3.49} + \frac{0.02}{0.87} + \frac{0.06}{1.10} + \frac{0.14}{2.03} + \frac{0.05}{0.04} + \frac{0.012}{0.58} = 1.63 m^2 K / W$$

Η ισοδύναμη θερμική αντίσταση λόγω ακτινοβολίας  $R_r$  δίνεται, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, από τη σχέση  $R_r = (\epsilon h_r)^{-1}$ , ο συντελεστής εκπομπής  $\epsilon$  είναι εκείνος που ισχύει για οικοδομικά υλικά δηλ.  $\epsilon = 0.90$  και ο συντελεστής θερμικής μετάβασης με ακτινοβολία δίνεται από τον πίνακα 9 για θερμοκρασία  $20^\circ C$   $h_r = 5.7 W / m^2 K$ . Έτσι :

$$R_r = (0.90 \times 5.7)^{-1} = 0.2 m^2 K / W$$

Η ισοδύναμη θερμική αντίσταση λόγω θερμικής μετάβασης  $R_c$  δίδεται, ως γνωστόν, από τη σχέση  $R_c = (h_c)^{-1}$  και όπου ο συντελεστής θερμικής μετάβασης  $h_c$  δίδεται από πίνακα του κεφαλαίου 3,  $h_c = 1.5$  και έχουμε,

$$R_c = 1.5^{-1} = 0.67 \text{ m}^2\text{K/W}.$$

Η ισοδύναμη θερμική αντίσταση λόγω αερισμού  $R_v$  δίδεται από τη σχέση  $R_v = 0.63b$ .

Ας χωρίσουμε τώρα το δάπεδο πάνω από το μη θερμαινόμενο υπόγειο σε δύο τμήματα. Το πρώτο  $A_3$  περιλαμβάνει τον χώρο του Studio και των δύο βόρειων υπνοδωματίων και έχει διαστάσεις  $= 11.20\text{m} \times 5.50\text{m}$  και το δεύτερο  $A_4$  το χώρο του νοτίου υπνοδωματίου και του λουτρού και έχει διαστάσεις  $6.50\text{m} \times 3.90\text{m}$ .

Τότε η ισοδύναμη θερμική αντίσταση λόγω αερισμού είναι,

$$R_{v3} = 0.63 \times 5.50 = 3.46 \text{ m}^2\text{K/W} \text{ και}$$

$$R_{v4} = 0.63 \times 3.90 = 2.46 \text{ m}^2\text{K/W}.$$

Η θερμική αντίσταση του εδάφους δίδεται από :

$$R_e = 1/U_g - R_{si} \text{ όπου } R_{si} = 0.17 \text{ m}^2\text{K/W} \text{ και}$$

$$U_g = \frac{4I_g \exp(b/2l)}{bp} \operatorname{ar} \tanh\left(\frac{b}{b+1/2w}\right) \text{ και για την περίπτωση μας,}$$

$$U_{g3} = \frac{4 \times 1.4 \exp[5.50/(2 \times 11.20)]}{5.50 \times 3.14} \operatorname{ar} \tanh\left(\frac{5.50}{5.50 + 0.10}\right) = \frac{5.6 \times 1.28 \times 2.35}{17.27} = 0.98 \text{ W/m}^2\text{K},$$

$$U_{g4} = \frac{4 \times 1.4 \exp[3.90 / (2 \times 6.50)]}{3.90 \times 3.14} \operatorname{ar\,tanh}\left(\frac{3.90}{3.90 + 0.10}\right) = \frac{5.6 \times 1.35 \times 2.18}{12.25} = 1.35 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

Έτσι οι αντίστοιχες αντιστάσεις  $R_{e3}$  και  $R_{e4}$  είναι,

$$R_{e3} = 1/0.98 - 0.17 = 0.85 \text{ m}^2\text{K/W} \text{ και}$$

$$R_{e4} = 1/1.35 - 0.17 = 0.57 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι αντιστάσεις  $R_{t1}$  και  $R_{t2}$  από τις σχέσεις ( 3.1.11 ) και (3.1.12 ) του κεφαλαίου 3:

$$R_{t1} = \frac{R_r R_c}{R_r + 2R_c} = \frac{0.2 \times 0.67}{0.2 + 2 \times 0.67} = 0.09 \text{ m}^2\text{K/W} \text{ και}$$

$$R_{t2} = \frac{R_c^2}{R_r + 2R_c} = \frac{(0.67)^2}{0.2 + 2 \times 0.67} = 0.29 \text{ m}^2\text{K/W} \text{ και}$$

Έχοντας υπολογίσει όλες τις αντιστάσεις που συνθέτουν την  $R_f$  βάσει της σχέσης ( 3.1.10 ), υπολογίζουμε τις αντιστάσεις  $R_{f3}$  και  $R_{f4}$  και τους αντίστοιχους συντελεστές θερμοπερατότητας  $U_{f3}$  και  $U_{f4}$

Έχουμε:

$$R_f = R_{si} + R_g + R_{t1} + \left( \frac{1}{R_{t1} + R_e} + \frac{1}{R_{t2} + R_v} \right)^{-1} \quad \text{ή}$$

$$R_{f3} = 0.17 + 1.63 + 0.09 + \left( \frac{1}{0.09 + 0.85} + \frac{1}{0.29 + 3.46} \right)^{-1} = 2.64 \text{ m}^2\text{K/W}$$

άρα  $U_{f3} = 0.38 \text{W/m}^2\text{K}$  για επιφάνεια  $A_{f3} = 60.40 \text{m}^2$  και

$$U_{f4} = 0.17 + 1.63 + 0.09 + \left( \frac{1}{0.09 + 0.57} + \frac{1}{0.29 + 2.46} \right)^{-1} = 2.42 \text{m}^2\text{K/W}$$

άρα  $U_{f4} = 0.41 \text{W/m}^2\text{K}$  για επιφάνεια  $A_{f4} = 25.40 \text{m}^2$

#### 4.2.3 Συντελεστής θερμοπερατότητας οροφής

Ο υπολογισμός του συντελεστή  $U_r$  γίνεται βάσει του πίνακα 4.2.3.1 και είναι βάσει της σχέσης ( 3.1.1 ).

**Πίνακας 4.2.3.1:Θερμοπερατότητα οροφής**  
Οροφή

| Περιγραφή υλικού            | Θερμική αγωγιμότητα (W/mK) | Πάχος (m) |
|-----------------------------|----------------------------|-----------|
| 1. Ασβεστοκονίαμα           | 0.87                       | 0.02      |
| 2. Οπλισμένο σκυρόδεμα B160 | 2.03                       | 0.18      |
| 3. Πλάκες υαλοβάμβακα       | 0.04                       | 0.08      |
| 4. Κισσηρόδεμα 1000Kg/m     | 0.35                       | 0.17      |
| 5. Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα   | 0.87                       | 0.02      |
| 6. Πλάκες τσιμέντου B120    | 1.51                       | 0.03      |

$$U_r = \frac{1}{R_{si} + R_l + \dots + R_6 + R_{so}} = \frac{1}{0.12 + \frac{0.02}{0.87} + \frac{0.18}{2.03} + \frac{0.08}{0.04} + \frac{0.17}{0.35} + \frac{0.02}{0.87} + \frac{0.03}{1.51} + 0.04} = 0.36 \text{W/m}^2\text{K}$$



#### 4.2.4 Συντελεστής θερμοπερατότητας εξωτερικών τοίχων

Ο συντελεστής  $U_w$  υπολογίζεται με τη βοήθεια του πίνακα 4 και της γενικής σχέσης (4.2.4.1) ως εξής:

**Πίνακας 4.2.4.1: Θερμοπερατότητα εξωτερικών τοίχων**

Εξωτερικοί τοίχοι

| Περιγραφή υλικού                         | Θερμική αγωγιμότητα (W/mK) | Πάχος (m) |
|--|----------------------------|-----------|
| 1. Ασβεστοκονίαμα                        | 0.87                       | 0.02      |
| 2. Τούβλα διάτρητα 1200kg/m <sup>3</sup> | 2.03                       | 0.06      |
| 3. Πλάκες υαλοβάμβακα                    | 0.04                       | 0.08      |
| 4. Τούβλα διάτρητα 1200Kg/m <sup>3</sup> | 0.52                       | 0.06      |
| 5. Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα                | 0.87                       | 0.02      |

$$U_w = \frac{1}{R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_{so}} = \frac{1}{0.12 + \frac{0.02}{0.87} + \frac{0.06}{2.03} + \frac{0.08}{0.04} + \frac{0.06}{0.52} + \frac{0.02}{0.87} + 0.04} =$$

0.59W/m<sup>2</sup>K

#### 4.2.5 Συντελεστής θερμοπερατότητας ανοιγμάτων

Θεωρούμε ότι όλα τα ανοίγματα είναι κατασκευασμένα από ξύλο με διπλό τζάμι. Το ξύλινο τμήμα κάθε ανοίγματος καλύπτει το 20% της συνολικής του επιφάνειας και οι συνθήκες ανεμόπτωσης είναι κανονικές. Υπό αυτές τις προϋποθέσεις ο πίνακας του κεφαλαίου 3 μας δίνει συντελεστή θερμοπερατότητας ανοιγμάτων  $U_g = 2.9\text{W/m}^2\text{K}$ .

#### 4.2.6 Μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας κατοικίας

Υπολογίζεται από τη σχέση (3.1.13) του κεφαλαίου 3 αφού έχουν ευρεθεί οι συντελεστές θερμοπερατότητας κάθε οικοδομικού στοιχείου και οι αντίστοιχες επιφάνειες. Στην παρούσα περίπτωση έχουμε,

$$\overline{U}_v = \frac{U_w A_w + U_g A_g + U_r A_r + U_{f1} A_{f1} + U_{f2} A_{f2} + U_{f3} A_{f3} + U_{f4} A_{f4}}{A} = 0.59 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

### 4.3 Θερμικά φορτία

#### 4.3.1 Υπολογισμός θερμικών φορτίων λόγω θερμοπερατότητας υπό σταθερές θερμικές συνθήκες

Όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 2 το ανά μήνα απαιτούμενο θερμικό φορτίο  $Q$  μπορεί να ευρεθεί από την παρακάτω σχέση:

$$Q = U \times A \times D$$

Με βάση λοιπόν την παραπάνω σχέση έχοντας γνωστές τις βαθμοημέρες θέρμανσης από τους συγκριτικούς πίνακες για κάθε μήνα ξεχωριστά (κεφάλαιο 2), μπορούμε να υπολογίσουμε το ανά μήνα θερμικό φορτίο για την κατοικία μας:

**Πίνακας 4.3.1.1:Φορτίο θερμοπερατότητας**

| <b>ΜΗΝΕΣ</b>               | <b>Φορτίο θερμοπερατότητας Q</b> |
|----------------------------|----------------------------------|
| Ιανουάριος                 | 7690 MJ                          |
| Φεβρουάριος                | 7289 MJ                          |
| Μάρτιος                    | 6781 MJ                          |
| Απρίλιος                   | 2507 MJ                          |
| Μαΐ'ος                     | 549 MJ                           |
| Ιούνιος                    | 1,17 MJ                          |
| Ιούλιος                    | 0 MJ                             |
| Αύγουστος                  | 0 MJ                             |
| Σεπτέμβριος                | 1.17 MJ                          |
| Οκτώβριος                  | 591,8 MJ                         |
| Νοέμβριος                  | 3643 MJ                          |
| Δεκέμβριος                 | 6313 MJ                          |
| <b>Ετήσιο ολικό φορτίο</b> | <b>35366,14 MJ</b>               |

#### 4.3.2 Υπολογισμός θερμικών φορτίων για παραγωγή ζεστού νερού

Το μέσο μηνιαίο φορτίο για θέρμανση νερού  $L_w$  υπολογίζεται, ως γνωστόν, ως εξής:

$$L_w = N \times V_w \times r \times C_p \times (T_w - T_m)$$

όπου ως  $V_w$  έχει ληφθεί η ποσότητα των 200 lt ημερησίως, αφού τα άτομα της κατοικίας είναι 4 και η ατομική ημερήσια κατανάλωση νερού είναι 50lt/άτομο

$T_w = 45^\circ\text{C}$  επιθυμητή θερμοκρασία του νερού

$T_m$  η μέση θερμοκρασία κρύου νερού που λαμβάνεται από τον Πίνακα 12

Τα μηνιαία φορτία για θέρμανση νερού, φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα:

Πίνακας 4.3.2.1: Φορτίο θέρμανσης νερού

| ΜΗΝΕΣ       | ΦΟΡΤΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΝΕΡΟΥ |
|-------------|------------------------|
| Ιανουάριος  | 909,23 MJ              |
| Φεβρουάριος | 821,24 MJ              |
| Μάρτιος     | 857,28 MJ              |
| Απρίλιος    | 754,20 MJ              |
| Μάϊος       | 675,43 MJ              |
| Ιούνιος     | 603,36 MJ              |
| Ιούλιος     | 545,54 MJ              |
| Αύγουστος   | 527,94 MJ              |
| Σεπτέμβριος | 597,49 MJ              |
| Οκτώβριος   | 653,64 MJ              |

|                            |                    |
|----------------------------|--------------------|
| Νοέμβριος                  | 773,94 MJ          |
| Δεκέμβριος                 | 829,62 MJ          |
| <b>Ετήσιο ολικό φορτίο</b> | <b>90663,29 MJ</b> |

#### 4.3.3 Υπολογισμός θερμικών φορτίων απωλειών σωληνώσεων $L_p$

Ο μέσος συντελεστής απωλειών του δικτύου λαμβάνεται ίσος προς 11.4 W/m που αντιστοιχεί σε σωλήνα 1<sup>1/4</sup>" μονωμένο με 13mm υαλοβάμβακα σε περιβάλλον 25°C ( θερμοκρασία σωλήνα 45°C ). Το μήκος των σωληνώσεων λαμβάνεται ίση με  $l = 50m$  και ημερήσια λειτουργία  $t = 12ώρεV$ .

Οι μηνιαίες απώλειες του δικτύου, που δίνονται, ως γνωστόν, από τον παρακάτω τύπο:

$$L_p = N \times t \times \bar{U} \times l$$

φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα:

**Πίνακας 4.3.3.1:Φορτίο απωλειών σωληνώσεων**

| <b>ΜΗΝΕΣ</b> | <b>Απώλειες σωληνώσεων</b> |
|--------------|----------------------------|
| Ιανουάριος   | 763,4MJ                    |
| Φεβρουάριος  | 689,5 MJ                   |
| Μάρτιος      | 763,4 MJ                   |
| Απρίλιος     | 738,7 MJ                   |
| Μάϊ'τος      | 763,4 MJ                   |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| <b>Ιούνιος</b>             | 738,7 MJ   |
| <b>Ιούλιος</b>             | 763,4 MJ   |
| <b>Αύγουστος</b>           | 738,7 MJ   |
| <b>Σεπτέμβριος</b>         | 763,4 MJ   |
| <b>Οκτώβριος</b>           | 738,7 MJ   |
| <b>Νοέμβριος</b>           | 763,4 MJ   |
| <b>Δεκέμβριος</b>          | 738,7 MJ   |
| <b>Ετήσιο ολικό φορτίο</b> | 8.963,5 MJ |

Το συνολικό ετήσιο ολικό φορτίο, που δίνεται από τη σχέση  $L_{ol} = L_{sh} + L_w + L_p$ , ισούται με:  $L_{ol} = 35366,14\text{MJ} + 90663,29\text{MJ} + 8963,5\text{MJ}$   
 $= 134992,93\text{MJ}$

#### 4.4 Μέση μηνιαία ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο $\bar{H}_T$

Η μέση μηνιαία ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο, δίνεται στον παρακάτω Πίνακα:

**Πίνακας 4.4.1: Μέση μηνιαία ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο  $\bar{H}_T$**

| <b>ΜΗΝΕΣ</b>                    | $\bar{H}$ | $\bar{R}$ | $\bar{H}_T = \bar{H} \times \bar{R}$ |
|---------------------------------|-----------|-----------|--------------------------------------|
| <b>Ιανουάριος</b>               | 220       | 1,71      | <b>376,2</b>                         |
| <b>Φεβρουάριος</b>              | 259       | 1,38      | <b>357,82</b>                        |
| <b>Μάρτιος</b>                  | 400       | 1,11      | <b>444</b>                           |
| <b>Απρίλιος</b>                 | 493       | 0,87      | <b>428,91</b>                        |
| <b>Μαΐ'ος</b>                   | 684       | 0,72      | <b>492,48</b>                        |
| <b>Ιούνιος</b>                  | 745       | 0,66      | <b>491,7</b>                         |
| <b>Ιούλιος</b>                  | 781       | 0,68      | <b>531,8</b>                         |
| <b>Αύγουστος</b>                | 713       | 0,81      | <b>577,78</b>                        |
| <b>Σεπτέμβριος</b>              | 526       | 1,03      | <b>541,78</b>                        |
| <b>Οκτώβριος</b>                | 367       | 1,33      | <b>488,11</b>                        |
| <b>Νοέμβριος</b>                | 241       | 1,65      | <b>397,65</b>                        |
| <b>Δεκέμβριος</b>               | 187       | 1,77      | <b>330,99</b>                        |
| <b>ΕΤΗΣΙΑ ΟΛΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ</b> |           |           | <b>5459,22</b>                       |

## 4.5 Διαστασιολόγηση

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα υπολογιστεί το ποσοστό του ετήσιου θερμικού φορτίου που καλύπτεται με την ηλιακή ενέργεια για διάφορες επιφάνειες ,που στην προκειμένη περίπτωση είναι 40, 50 , 60, 70 m<sup>2</sup>

Το πρώτο βήμα είναι να προσδιοριστούν τα μέσα μηνιαία φορτία, τα οποία έχουν ήδη υπολογιστεί.

Σύμφωνα με τα δεδομένα του προβλήματος οι διορθωτικοί συντελεστές  $K_2, K_3, K_4$  ισούνται με 1.

Η μέση μηνιαία ακτινοβολία στο επίπεδο των συλλεκτών  $\bar{H}_T$  έχει, και αυτή, ήδη υπολογιστεί.

Το ποσοστό του μηνιαίου θερμικού φορτίου,  $f$ , που καλύπτεται από την ηλιακή ενέργεια, είναι συνάρτηση των αδιάστατων παραγόντων  $X$  και  $Y$ , που υπολογίζονται από τις γνωστές εξισώσεις :

$$X = F_R U_L \times (F'_R / F_R) \times (T_{REF} - \bar{T}_a) \times \Delta t \times (A_C / L) \times K_2 \times K_3$$

$$Y = F_R (ta)n \times (F'_R / F_R) \times (\bar{ta}) / (ta)n \times \bar{H}_T \times (A_C / L) \times K_4$$

για κάθε μήνα και για κάθε συλλεκτική επιφάνεια. Οι υπολογισμοί διευκολύνονται, αν υπολογιστούν πρώτα οι παράγοντες  $X / A_C$  και  $Y / A_C$ . Από τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει εύκολα ότι:

$$X / A_C = F_R U_L \times (F'_R / F_R) \times (T_{REF} - \bar{T}_a) \times (\Delta t \times L) \times K_2 \times K_3$$

$$Y / A_C = F_R (ta)n \times (F'_R / F_R) \times (\bar{ta}) / (ta)n \times (\bar{H}_T \times L) \times K_4$$



Αν τώρα οι τιμές των  $X/A_c$  και  $Y/A_c$  πολλαπλασιαστούν επί την συλλεκτική επιφάνεια, προκύπτουν οι τιμές  $X$  και  $Y$  για κάθε μήνα και για κάθε συλλεκτική επιφάνεια.

Οι τιμές του  $f$  βρίσκονται, ως γνωστόν, με τη βοήθεια της εξίσωσης

$$f = 1,029Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,0018X^2 + 0,0215Y^3$$

$$0 < X < 18 \quad \text{και} \quad 0 < Y < 3$$

Η ωφέλιμη ηλιακή ενέργεια για κάθε μήνα είναι το γινόμενο του  $f$  και του ολικού θερμικού φορτίου.

Στους υπολογισμούς αυτούς, θα χρησιμοποιήσουμε συλλέκτη μαύρου χρώματος με διπλό τζάμι.

Στον παρακάτω πίνακα, είναι καταχωρημένες οι τιμές των επιμέρους παραμέτρων που αναφέρθηκαν προηγουμένως:

**Πίνακας 4.5.1: Τιμές παραμέτρων**

| ΜΗΝΕΣ       | $Dt$<br>(sec)* $10^6$ | $100 - \bar{T}_a$<br>( $^{\circ}C$ )* $10^9$ | $L$<br>( $J/mo$ ) | $X/A_c$ | $(\bar{t}_a)/(t_a)n$ | $\bar{H}_T$<br>( $J/m^2 - mo$ )* $10^6$ | $Y/A_c$ |
|-------------|-----------------------|--|-------------------|---------|----------------------|---|---------|
| Ιανουάριος  | 2,68                  | 88   | 9,4               | 0,12    | 0,93                 | 376,2                                   | 0,026   |
| Φεβρουάριος | 2,42                  | 87   | 8,8               | 0,11    | 0,93                 | 357,82                                  | 0,027   |
| Μάρτιος     | 2,68                  | 86   | 8,4               | 0,13    | 0,91                 | 444                                     | 0,034   |
| Απρίλιος    | 2,59                  | 82   | 4                 | 0,25    | 0,88                 | 428,9                                   | 0,066   |
| Μαΐ'ος      | 2,68                  | 79   | 1,99              | 0,51    | 0,85                 | 492,5                                   | 0,15    |
| Ιούνιος     | 2,59                  | 74   | 1,4               | 0,65    | 0,83                 | 491,7                                   | 0,206   |
| Ιούλιος     | 2,68                  | 71   | 1,3               | 0,695   | 0,84                 | 531,8                                   | 0,243   |

|             |      |    |      |       |      |       |       |
|-------------|------|----|------|-------|------|-------|-------|
| Αύγουστος   | 2,68 | 71 | 1,3  | 0,695 | 0,87 | 577,8 | 0,274 |
| Σεπτέμβριος | 2,59 | 75 | 1,36 | 0,68  | 0,90 | 541,8 | 0,254 |
| Οκτώβριος   | 2,68 | 79 | 1,99 | 0,51  | 0,93 | 488,1 | 0,162 |
| Νοέμβριος   | 2,59 | 83 | 5,18 | 0,2   | 0,94 | 397,6 | 0,051 |
| Δεκέμβριος  | 2,68 | 86 | 7,89 | 0,135 | 0,94 | 331   | 0,027 |

Οι συντελεστές  $K_2, K_3, K_4$  λαμβάνονται ίσοι με τη μονάδα, οπότε για διάφορες προτεινόμενες συλλεκτικές επιφάνειες έχουμε τα παρακάτω ποσοστά καλύψεων:

Για συλλεκτική επιφάνεια  $A_c = 40m^2$ :

| ΜΗΝΕΣ       | $X$  | $Y$   | $f$  |
|-------------|------|-------|------|
| Ιανουάριος  | 4.8  | 1.04  | 0.42 |
| Φεβρουάριος | 4.4  | 1.08  | 0.49 |
| Μάρτιος     | 5.2  | 1.56  | 0.52 |
| Απρίλιος    | 10   | 2.64  | 0.55 |
| Μαΐος       | 20.4 | 6     | 0    |
| Ιούνιος     | 26   | 8.24  | 0    |
| Ιούλιος     | 28   | 9.72  | 0    |
| Αύγουστος   | 28   | 10.96 | 0    |
| Σεπτέμβριος | 27.2 | 10.16 | 0    |
| Οκτώβριος   | 20.4 | 6.48  | 0    |
| Νοέμβριος   | 8    | 2.04  | 0.50 |
| Δεκέμβριος  | 5.6  | 1.08  | 0.41 |

Για συλλεκτική επιφάνεια  $A_c = 50m^2$

| <b>ΜΗΝΕΣ</b> | <b>X</b> | <b>Y</b> | <b>f</b> |
|--------------|----------|----------|----------|
| Ιανουάριος   | 6.0      | 1.30     | 0.44     |
| Φεβρουάριος  | 5.5      | 1.35     | 0.54     |
| Μάρτιος      | 6.5      | 1.70     | 0.61     |
| Απρίλιος     | 12.5     | 3.30     | 0        |
| Μαΐος        | 25.5     | 7.50     | 0        |
| Ιούνιος      | 31.0     | 10.3     | 0        |
| Ιούλιος      | 35.0     | 12.15    | 0        |
| Αύγουστος    | 35.0     | 13.7     | 0        |
| Σεπτέμβριος  | 34.0     | 12.7     | 0        |
| Οκτώβριος    | 25.5     | 8.10     | 0        |
| Νοέμβριος    | 10.0     | 2.55     | 0.52     |
| Δεκέμβριος   | 7.0      | 1.35     | 0.45     |

Για συλλεκτική επιφάνεια  $A_c = 60m^2$ :

| ΜΗΝΕΣ       | $X$  | $Y$   | $f$  |
|-------------|------|-------|------|
| Ιανουάριος  | 7.2  | 1.56  | 0.48 |
| Φεβρουάριος | 6.6  | 1.62  | 0.56 |
| Μάρτιος     | 7.8  | 2.04  | 0.67 |
| Απρίλιος    | 15.0 | 3.96  | 0    |
| Μαΐ'ος      | 30.6 | 9.00  | 0    |
| Ιούνιος     | 39.0 | 12.36 | 0    |
| Ιούλιος     | 42.0 | 14.58 | 0    |
| Αύγουστος   | 42.0 | 16.44 | 0    |
| Σεπτέμβριος | 40.8 | 15.24 | 0    |
| Οκτώβριος   | 30.6 | 9.72  | 0    |
| Νοέμβριος   | 12.0 | 3.06  | 0    |
| Δεκέμβριος  | 8.4  | 1.62  | 0.49 |

Για συλλεκτική επιφάνεια  $A_c = 70m^2$ :

| ΜΗΝΕΣ       | $X$  | $Y$   | $f$  |
|-------------|------|-------|------|
| Πανούριος   | 8.4  | 1.82  | 0.54 |
| Φεβρουάριος | 7.7  | 1.89  | 0.60 |
| Μάρτιος     | 9.1  | 2.38  | 0.69 |
| Απρίλιος    | 17.5 | 4.62  | 0    |
| Μάιος       | 35.7 | 10.50 | 0    |
| Ιούνιος     | 45.5 | 14.42 | 0    |
| Ιούλιος     | 49   | 17.01 | 0    |
| Αύγουστος   | 49   | 19.18 | 0    |
| Σεπτέμβριος | 47.6 | 17.78 | 0    |
| Οκτώβριος   | 35.7 | 11.34 | 0    |
| Νοέμβριος   | 14   | 3.57  | 0    |
| Δεκέμβριος  | 9.8  | 1.89  | 0.51 |

## Συμπεράσματα

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία εφαρμόσθηκε το μοντέλο εξομοίωσης της λειτουργίας συστήματος ηλιακών συλλεκτών για θέρμανση και παραγωγή ζεστού νερού σε μια κατοικία.

Με τη μέθοδο αυτή μελετούμε εύκολα διάφορα σενάρια κάλυψης ενεργειακών αναγκών σε μηνιαία βάση για όλους τους μήνες του έτους. Χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία που προτείνεται στην εργασία αυτή, ένας μηχανικός μπορεί να αποφασίσει για την εγκατάσταση μιας συγκεκριμένης διάταξης με ένα συγκεκριμένο τύπο συστήματος ηλιακών συλλεκτών, αφού διερευνήσει την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών με παράμετρο την επιφάνεια των συλλεκτών.

Ουσιαστικά, η προσπάθεια δεν είναι να καλύψουμε τα θερμικά φορτία κατά 100% αλλά να καλύψουμε ένα ποσοστό  $f$ , ενώ το εναπομείναν φορτίο να καλύπτεται με συμβατική πηγή ενέργειας, ώστε η τελική λύση να είναι η πλέον οικονομική.

Η ετήσια μέση τιμή του  $f$  είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό μέγεθος καθώς τα καιρικά φαινόμενα ακολουθούν μια στατιστική συμπεριφορά κατά τη διάρκεια του έτους, είτε η ανάγκη γίνεται ανά ημέρα ή ώρα. Τούτο διαπιστώνεται στα διαγράμματα της παραγράφου 2.1.1 και 2.2.2.

Για τις ανάγκες της πτυχιακής αυτής εργασίας έγινε επεξεργασία των δεδομένων της θερμοκρασίας περιβάλλοντος της περιοχής της Πάτρας, για τα επτά τελευταία χρόνια (1995-2001) και στατιστική ανάλυση με πολυωνυμική προσαρμογή προσδιορίστηκε η βέλτιστη καμπύλη  $D(n_j)$  ( $n_j$ ) για τον υπολογισμό των φορτίων θέρμανσης με βάση τις βαθμοημέρες ανά ημέρα και ανά μήνα.

Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται για πρώτη φορά στη βιβλιογραφία. Είναι πρόσφατα και αξιόπιστα, ενώ ως σήμερα χρησιμοποιούνταν δεδομένα που είχαν συλλεχθεί τη δεκαετία του 70, παρόλον ότι που οι κλιματικές συνθήκες έχουν αλλάξει.

Η διερεύνηση των δεδομένων, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1.3 δείχνει μια μεγάλη διασπορά στις τιμές των βαθμομερών ανά ημέρα (Νοέμβριος, Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος) γεγονός που έχει επίπτωση στον συντελεστή κάλυψης ή αντίστοιχα στη διαστασιολόγηση των ηλιακών συλλεκτών. Το ζήτημα αυτό παρουσιάστηκε στο συνέδριο της ASME <sup>(12)</sup>

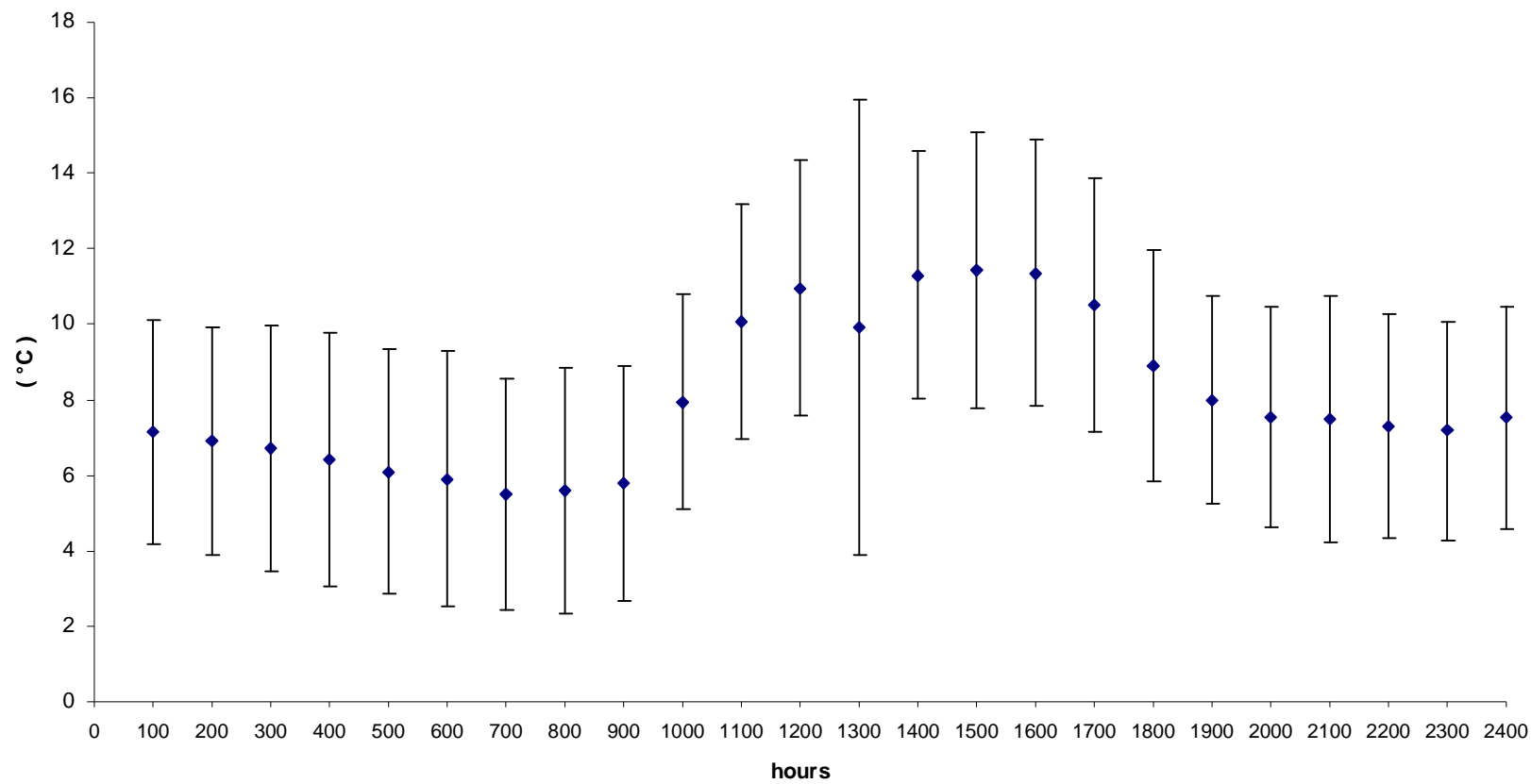
Για τις άλλες παραμέτρους που είναι αναγκαίες για τη μέθοδο της f-chart, ακολουθήσαμε μια αναλυτική προσέγγιση για τον υπολογισμό της θερμοπερατότητας του κτιρίου, U.

Τέλος για τα δεδομένα της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια περιοχή, <sup>(1),(2)</sup> οι μετρήσεις αυτές χρήζουν και αυτές περαιτέρω ανάλυσης, ανάλογα με αυτήν της παρούσας εργασίας. Τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας, που προωθείται παράλληλα στο εργαστήριο των Η.Μ.Ε θα ανακοινωθούν στο παγκόσμιο συνέδριο Ήπιων Μορφών Ενέργειας στην Κολωνία 28 Ιουνίου – 5 Ιουλίου 2002.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

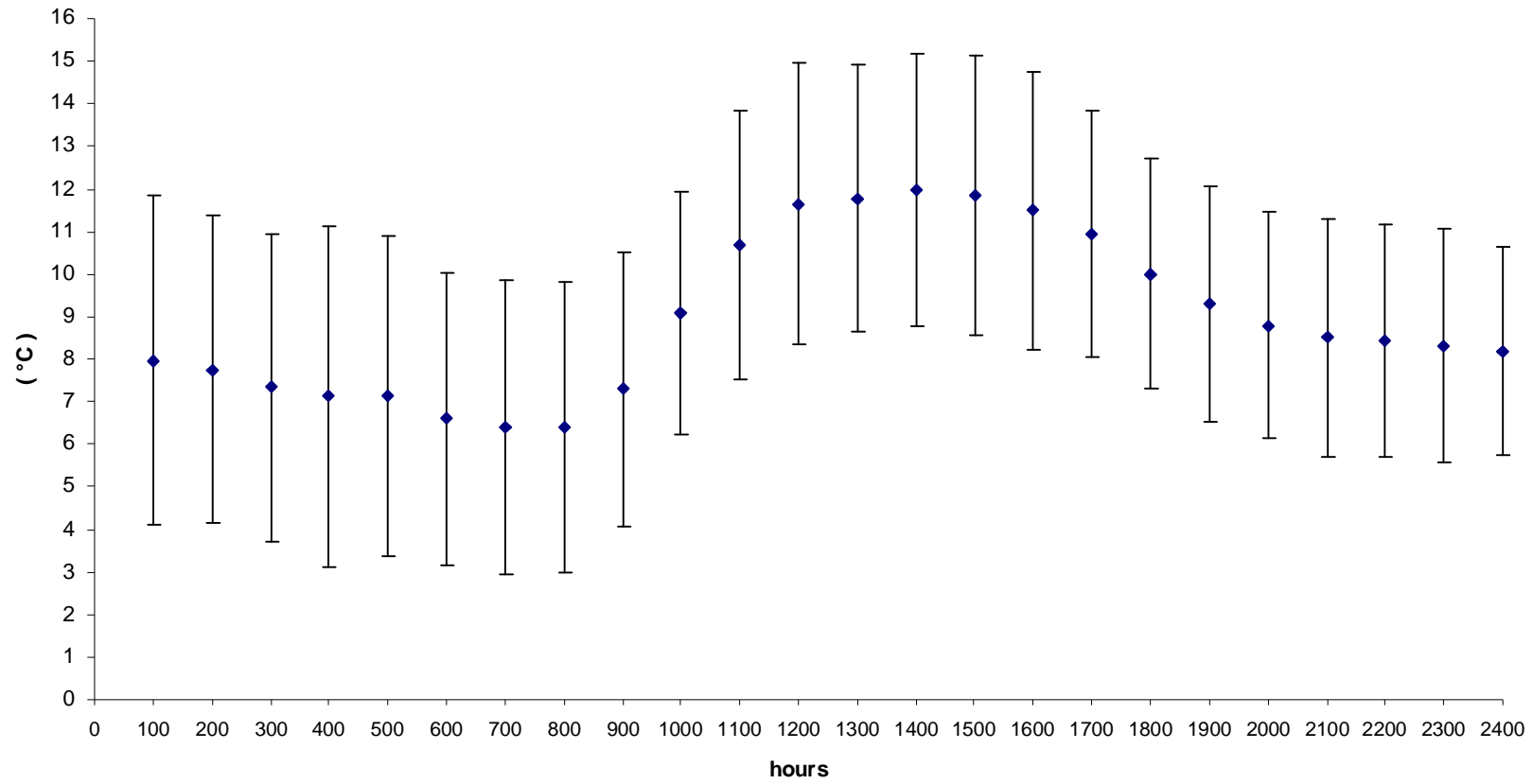


17 january

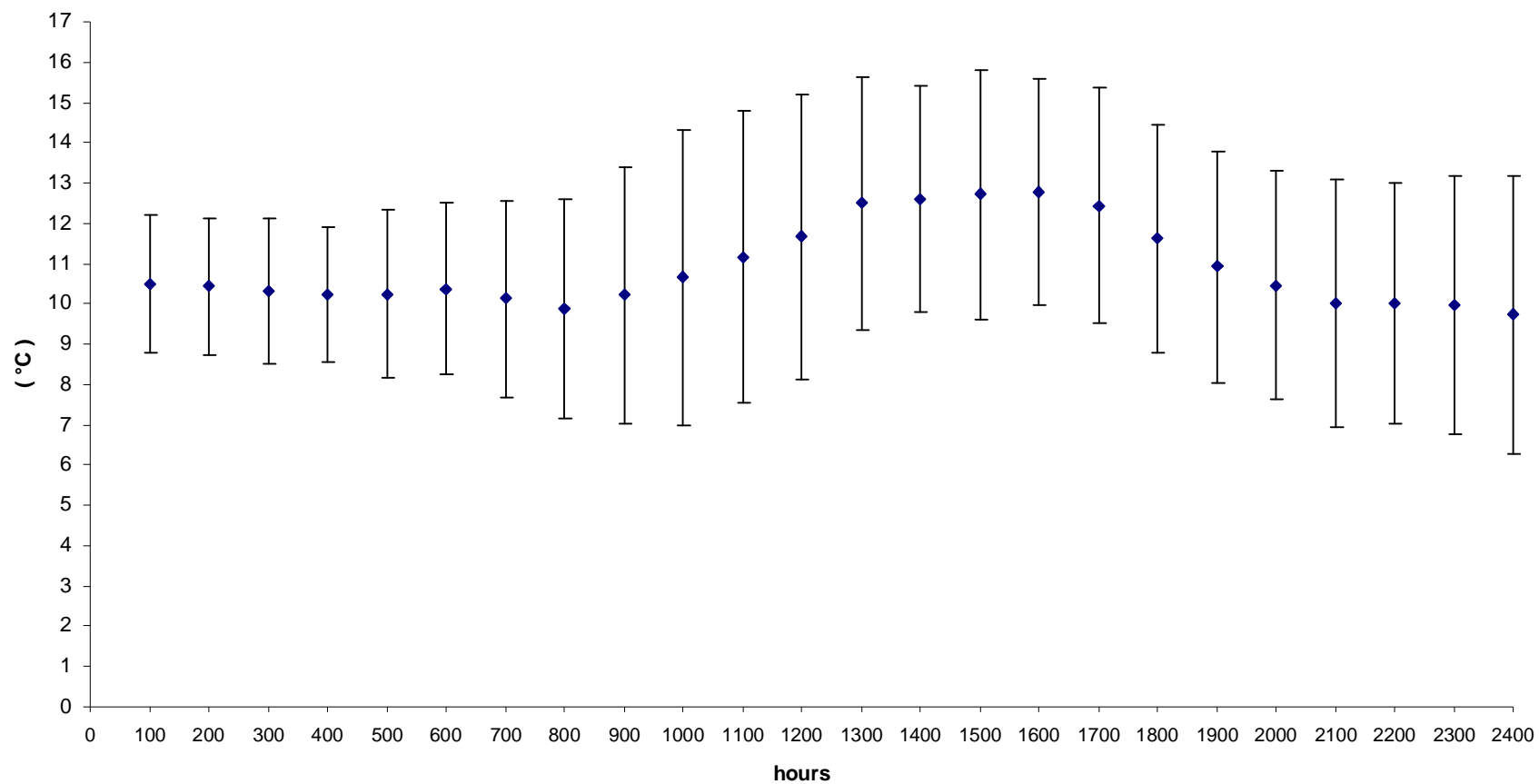


rteerteterert

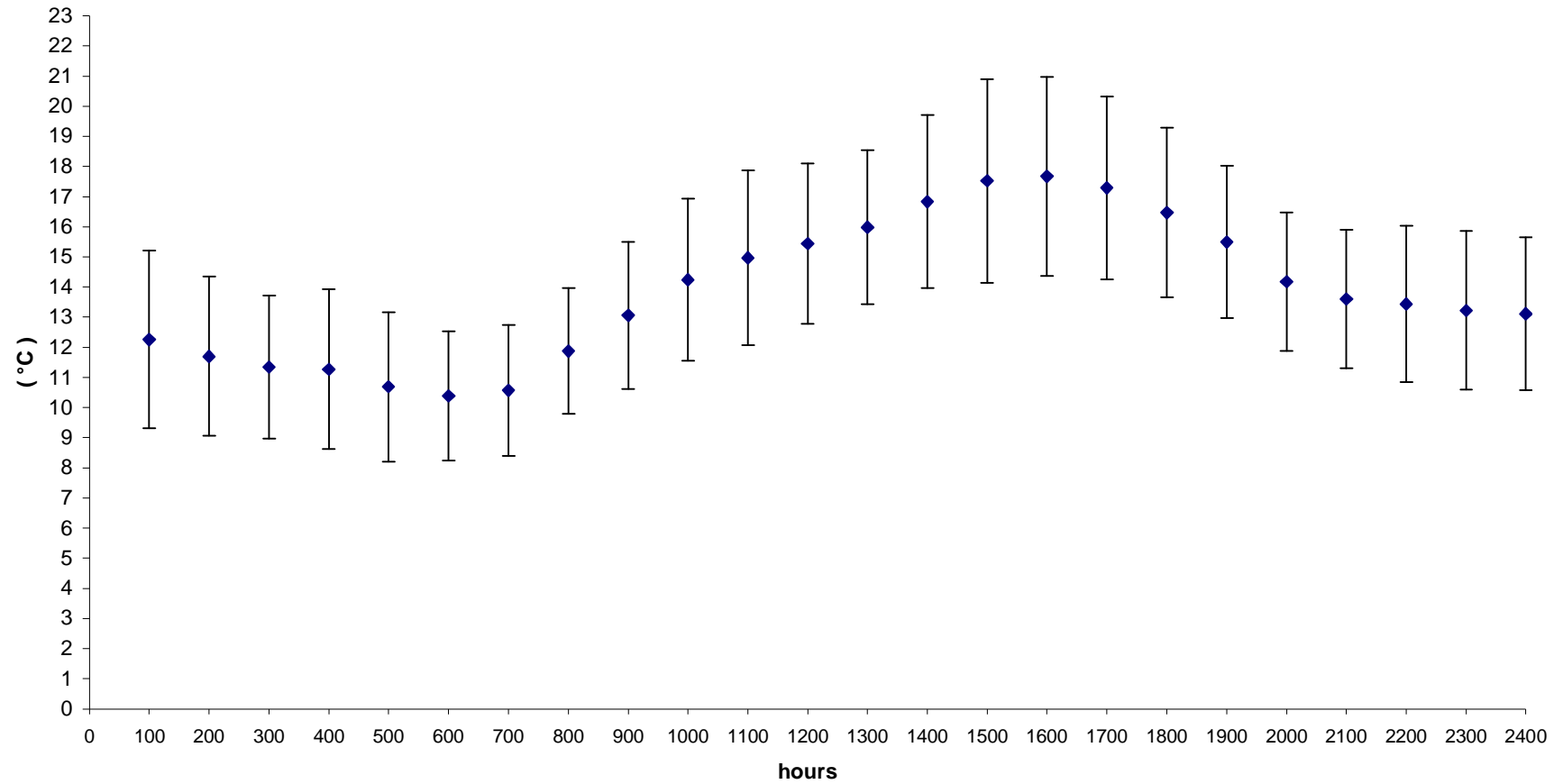
16 february



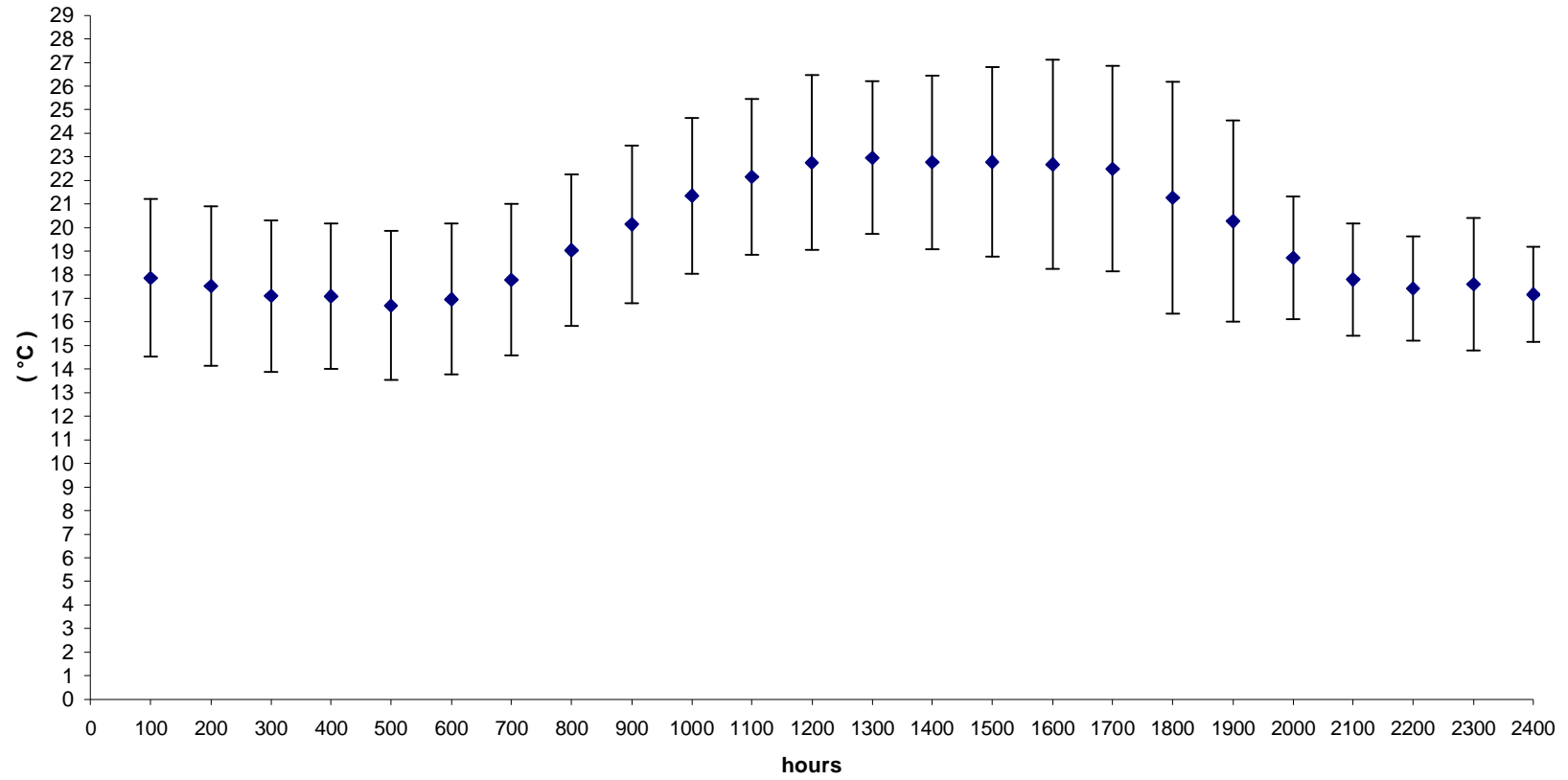
16 mar

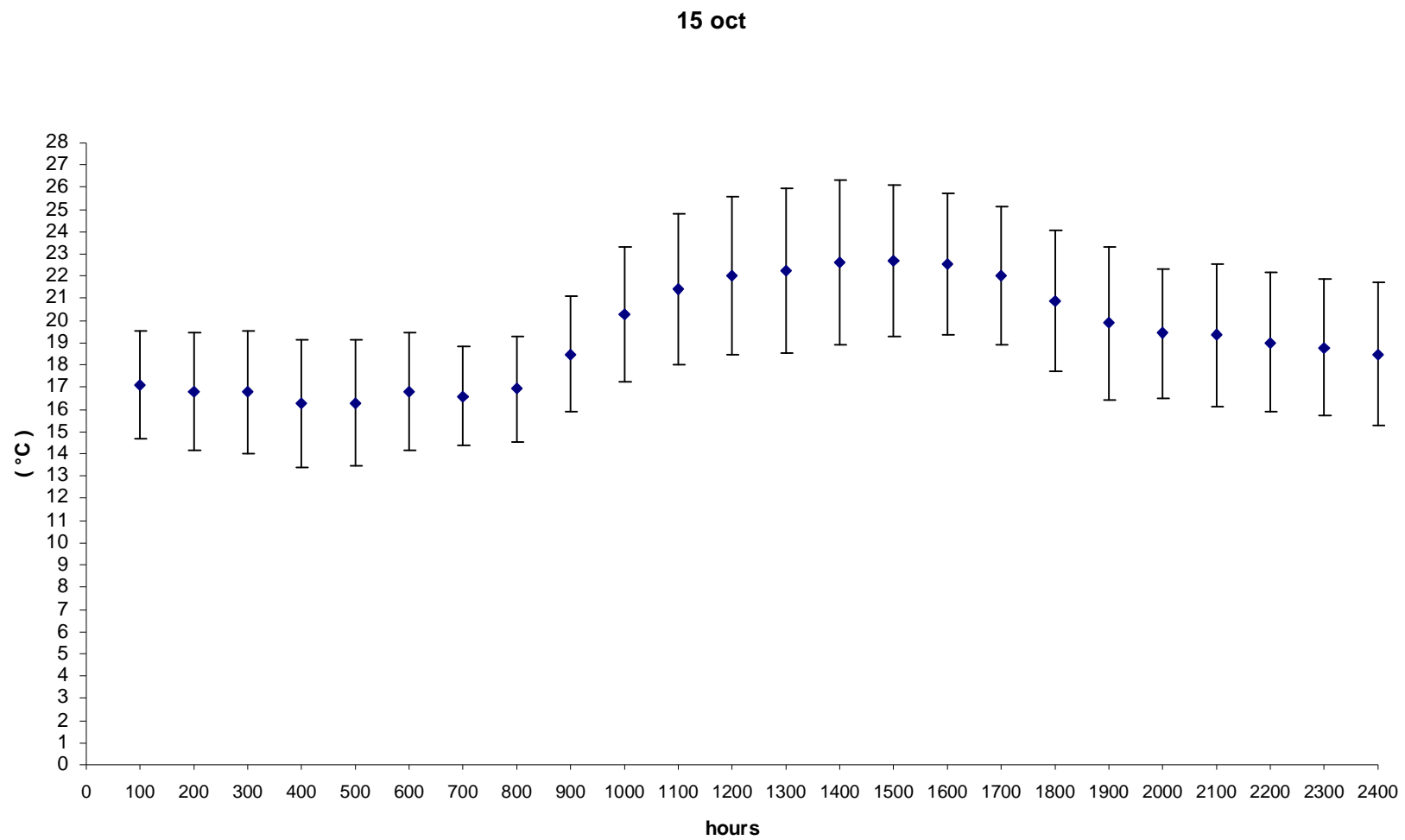


15 apr

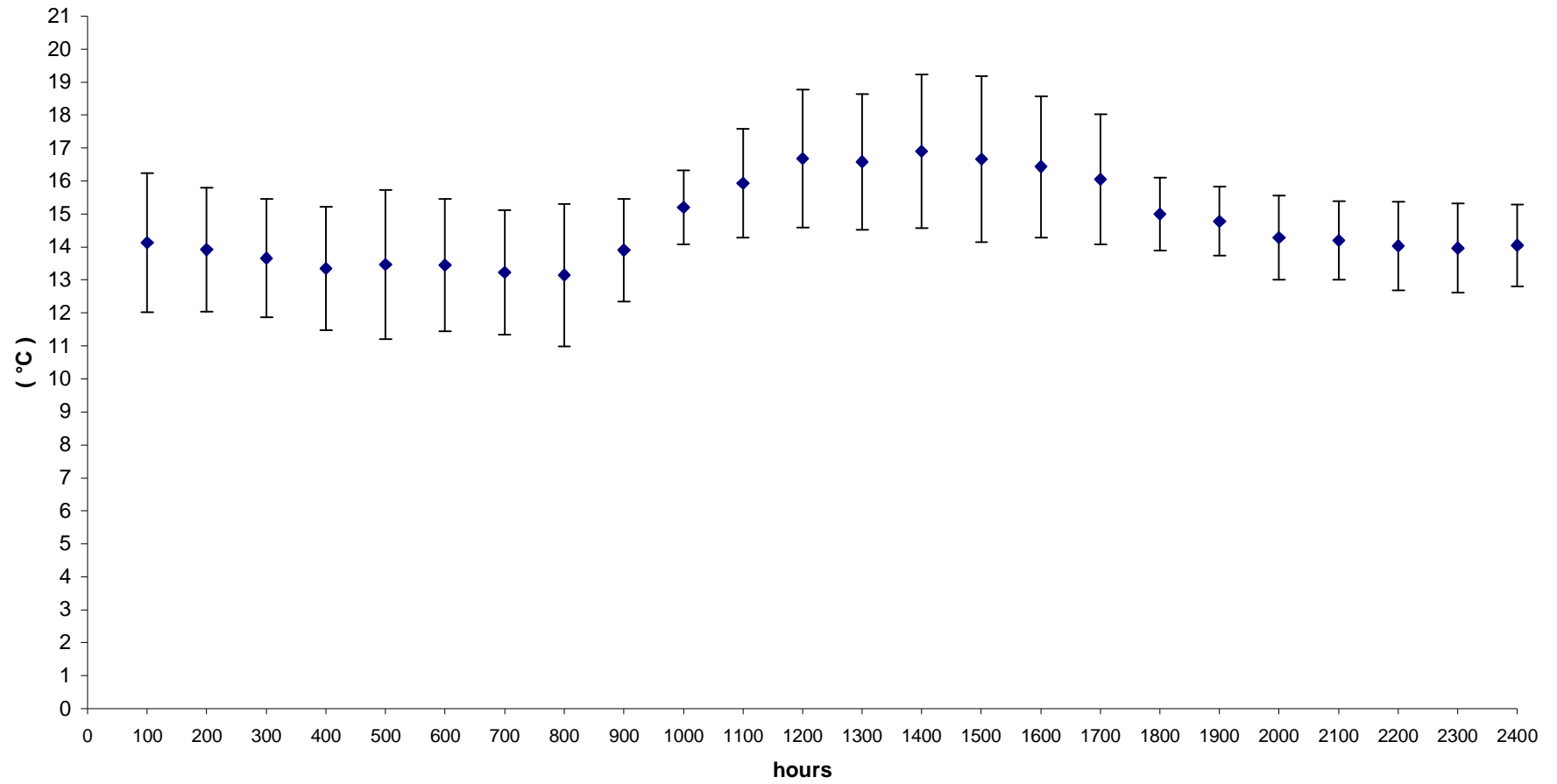


### 15 Μαΐου

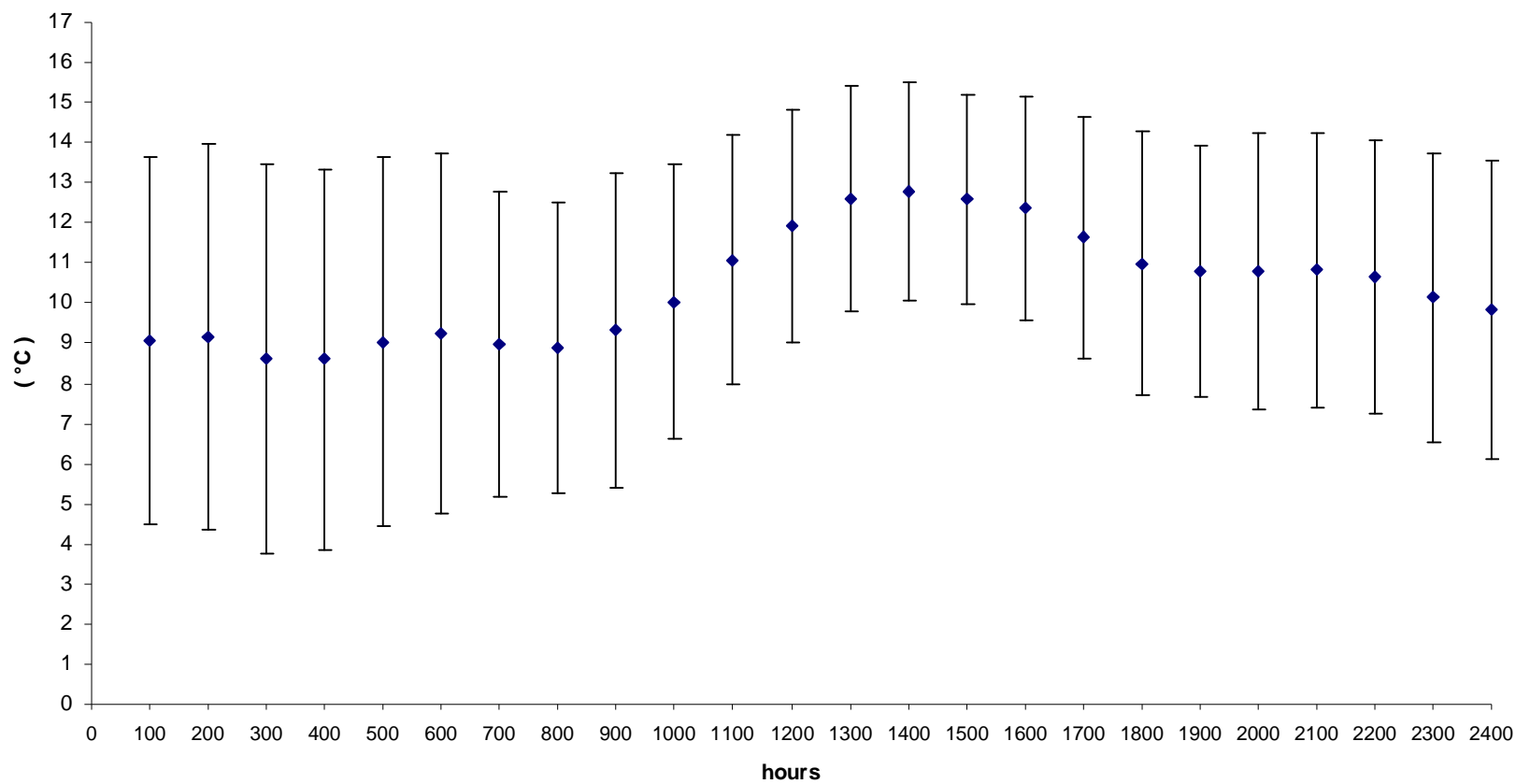




14 nov



10 dec





## Βιβλιογραφία - Πηγές

1. Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία Αθηνών
2. Εργαστήριο Ατμοσφαιρικής Φυσικής, Πανεπιστήμιο Πατρών
3. Proceeding of the Iasted International Conference Power And Energy Systems , July 3-6, 2001 , Rhodes Greece ,Hourly and Daily clearness index for Achaia region , W.Greece , generated by varius techniques,S.Kaplanis , Ach.G.Kostoulas , K.Kottas
4. Ανδρέας Ε. Μοσχάτος , Ηλιακή Ενέργεια , Συνιστώσες της ηλιακής θερμικής διαδικασίας.,1992
5. Ευθύμιος Η . Βαζαίος , Εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας , Υπολογισμός και σχεδίαση συστημάτων
6. Προεδρικό Διάταγμα, Περί εγκρίσεως κανονισμού δια την θερμομόνωση των κτιρίων, Εφημερίς της Κυβερνήσεως, Φύλλον 362 Τεύχος 4<sup>ο</sup>, Αθήνα 4 Ιουλίου 1979
7. ASHRAE, Standard 93-77, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, “Method of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors”, New York ( 1977 ).
8. Simonson, J.R, “Computing Methods in Solar Heating Design”, Macmillan Press, London.
9. Bourges, B , “ European Simplified Method for Active Solar System Design”, Commission of the European Communities, Kluwer Academic Publisherd.
10. Duffie J. and Beckman W., Solar Engineering Thermal Processes, John Wiley and Sons, New York, 1980.
11. Kreith F. and Kreider J., Principles of Solar Engineering, McGraw Hill, p.p 37-84, 1978.
12. Estimation of the uncertainty in the sizing of solar energy systems due to uncertainties in the concept of degree-days and in the clearness index: the case of W.Greece. S.Kaplanis, Ach.G.Kostoulas, ASME –GREEK SECTION, First Nat. Conf. On recent Advances in Mechanical Eng., September 17-20 2001, Patra, Greece.