



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Προσομοίωση Ελέγχου της Ηλιακής Ακτινοβολίας  
Για την ψύξη ενός δωματίου.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γιαννακόπουλος Παναγιώτης

Επιβλέπων : Νικόλαος Χατζηαργυρίου

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2009

.....  
Παναγιώτης Β.Γιαννακόπουλος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Παναγιώτης Β. Γιαννακόπουλος,2009.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν την χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

## Περίληψη

Ο σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας έγκειται στην προσομοίωση του αποτελέσματος που επιφέρει ο κατά την βούλησή μας έλεγχος της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας από έναν εσωτερικό χώρο, με την εγκατάσταση αυτόματα ελεγχόμενων περσίδων εξωτερικού χώρου στα παράθυρα του κτιρίου, με στόχο την διερεύνηση της συμπεριφοράς της θερμοκρασίας του χώρου και της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας εγκατεστημένης κλιματιστικής μονάδας κατά τους θερινούς μήνες.

Η μελέτη έγινε για την πρώτη εβδομάδα του Ιουλίου 2006, περίοδο κατά την οποία είχαμε μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος από ένα έξυπνο κτίριο που βρίσκεται στον Γέρακα Αττικής, ενώ ο υπό εξέταση χώρος είναι ένα δωμάτιο διαμερίσματος πολυκατοικίας που βρίσκεται στο Ηράκλειο Αττικής. Η θερμότητα που εισέρχεται στον χώρο λόγω πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας υπολογίζεται με το HDKR ηλιακό μοντέλο, ενώ ακολούθως περιγράφονται και υπολογίζονται όλες εκείνες οι παράμετροι που προκαλούν ροή θερμότητας προς το υπό εξέταση δωμάτιο.

Εφόσον γίνουν οι κατάλληλες παραδοχές για το θερμοδυναμικό μοντέλο του δωματίου, με την εφαρμογή του πρώτου θερμοδυναμικού νόμου γίνεται μια εκτίμηση της θερμοκρασίας του, χωρίς την παρουσία της κλιματιστικής μονάδας τις περσίδες σε κατάσταση λειτουργίας και χωρίς αυτές. Εν συνεχεία ακολουθείται ανάλογη διαδικασία παρουσίας της κλιματιστικής μονάδας, και με την εφαρμογή του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου γίνεται μια εκτίμηση της απόδοσης της, με τις περσίδες ενεργές και ανενεργές.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης εξήχθησαν αποκλειστικά με την χρήση του λογισμικού Labview 7.1.

## **Λέξεις Κλειδιά**

Προσπίπτουσα Ακτινοβολία, Απορροφούμενη Ακτινοβολία, HDKR, εκτιμώμενη Θερμοκρασία, Απόδοση, αυτόματα ελεγχόμενες περσίδες.

## **Abstract**

The aim of the particular dissertation is the simulation result that involves the control of the absorbed solar radiation from an internal space, with the installation of automatically controlled, external blinds on the windows of the building. Furthermore, the objective was to study the behavior of the room's temperature and the consumed electric energy of the installed air condition unit during the summer period.

The study took place during the first week of July 2006. At that period we measured the solar radiation and temperature that occurred to a smart building in Gerakas, while the under evaluation place is a bedroom in a block of buildings in Heraklion in Attica.

The heat that enters the room due to the solar radiation is calculated based on the HDKR solar model, while all the parameters that cause the flow of heat to the under evaluation bedroom are described and calculated.

After the appropriate admissions for the thermodynamic model of the bedroom are made, we estimate the temperature of the room by applying the first thermodynamic law without the presence of the air condition unit, the blinds in an on mode and off mode separately. Afterwards a similar procedure is followed but this time there is use of the air condition unit. By applying the second thermodynamic law we estimate its performance with the blinds being active as well as inactive.

The results of the simulation are exported exclusive through the use of Labview 7.1.

## **KeyWords**

Incident Radiation, Absorbed Radiation, HDKR, Predicted Temperature, Efficiency, Automatically External Controlled Blinds.

## Περιεχόμενα

<b>1</b>	Η περιγραφή του εξεταζόμενου δωματίου.....	7
<b>2</b>	Προσπίπτουσα Ηλιακή Ακτινοβολία.....	8
2.1	Το HDKR μοντέλο για τον υπολογισμό της Προσπίπτουσας Ηλιακής Ακτινοβολίας.....	8
2.2	Άμεσα Προσπίπτουσα Ακτινοβολία $I_{T,b}$ σε Κεκλιμένη Επιφάνεια.....	9
2.3	Διάχυτη Προσπίπτουσα ακτινοβολία $I_{T,d}$ σε Κεκλιμένη Επιφάνεια.....	12
2.4	Ανακλώμενη από το έδαφος Προσπίπτουσα Ακτινοβολία $I_{T,refl}$ Σε Κεκλιμένη Επιφάνεια.....	14
2.5	Επίδραση της Σκίασης στην Προσπίπτουσα Ακτινοβολία.....	16
<b>3</b>	Χρήση των αυτόματα ελεγχόμενων περσίδων για την μείωση της Απορροφούμενης Ηλιακής Ακτινοβολία.....	21
3.1	Υπολογισμός της βέλτιστης κλίσης των Αυτόματα Ελεγχόμενων Περσίδων .....	21
3.2	Προσομοίωση της βέλτιστης κλίσης των περσίδων για την εβδομάδα 01/07/07 – 07/07/06.....	23
<b>4</b>	Απορροφούμενη από το δωμάτιο ηλιακή ακτινοβολία (S).....	25
<b>5</b>	Εσωτερικές πηγές θερμότητας.....	30
5.1	Περιγραφή των εσωτερικών πηγών θερμότητας.....	30
5.2	Ημερήσιες καταναλώσεις των εσωτερικών πηγών θερμότητας.....	31
<b>6</b>	Μετάδοση θερμότητας μέσω των τοίχων.....	34
6.1	Μετάδοση θερμότητας διά επαφής.....	34
6.2	Μετάδοση Θερμότητας με ρεύματα ρευστού πάνω σε στερεά επιφάνεια Με διαφορετική θερμοκρασία.....	36
6.3	Μετάδοση θερμότητας μέσω σύνθετου τοίχου.....	37
6.4	Το θερμοδυναμικό μοντέλο του δωματίου.....	38

6.5 Συνολική μετάδοση θερμότητας στον υπό εξέταση χώρο λόγω διαφοράς θερμοκρασίας με το περιβάλλον.....	39
<b>7</b> Επίδραση της χρήσης περσίδων στην θερμοκρασία του δωματίου .....	42
7.1 Εκτίμηση της θερμοκρασίας του δωματίου.....	42
7.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης για την εβδομάδα 01/07/06 – 07/07/06.....	46
<b>8</b> Επίδραση των περσίδων στην κατανάλωση του κλιματιστικού.....	51
8.1 Εκτίμηση θερμοκρασίας δωματίου με την χρήση κλιματιστικού.....	51
8.2 Κατανάλωσης του κλιματιστικού.....	52
8.3 Βαθμός απόδοσης κλιματιστικού σε λειτουργία ψύξης ( $COP_{cooling}$ ).....	53
8.4 Υπολογισμός κατανάλωσης κλιματιστικού.....	55
<b>9</b> Συμπεράσματα.....	
Παράρτημα Α	
Υπολογισμός θερμικών αντιστάσεων των εξωτερικών επιφανειών.....	58
Υπολογισμός θερμικών αντιστάσεων των εσωτερικών επιφανειών.....	66
Παράρτημα Β	
Θερμική Αγωγημότητα των υλικών του δωματίου.....	71

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### Περιγραφή του προς εξέταση χώρου.



Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζεται ο υπό εξέταση χώρος, στον οποίο στηρίχτηκε η προσομοίωση. Είναι ένα υπνοδωμάτιο που βρίσκεται στον τελευταίο όροφο τριώροφης πολυκατοικίας στο Ηράκλειο Αττικής με την εικονιζόμενη επιφάνεια να προσανατολίζεται δυτικά του Νότου κατά 30 μοίρες, βρίσκεται σε θέση με γεωγραφικό πλάτος  $\varphi=38^{\circ}$ , γεωγραφικό μήκος  $L_{loc}=-23.46^{\circ}$  ενώ το εμβαδόν του είναι  $11 \text{ m}^2$ . Στη φωτογραφία απεικονίζεται η συρόμενη γυάλινη πόρτα που επιτρέπει την διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του δωματίου και της οποίας το εμβαδόν είναι  $2,05 \text{ m}^2$ . Στον εξωτερικό χώρο, απεικονίζεται πάνω αριστερά της συρόμενης πόρτας η εγκατεστημένη κλιματιστική μονάδα ονομαστικής ψυκτικής ικανότητας  $9000 \text{ Btu/h}$ .

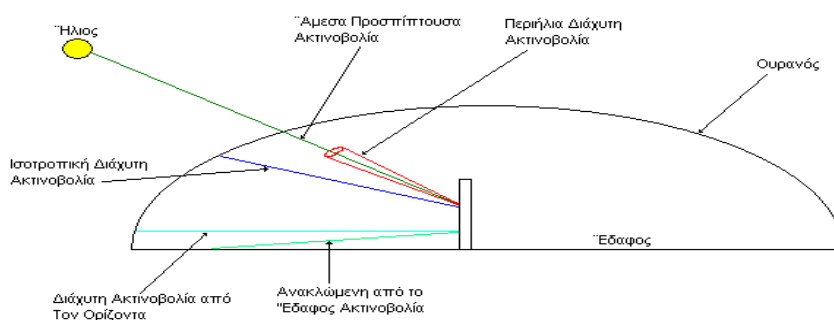
## Κεφάλαιο 2

### Προσπίπτουσα Ηλιακή Ακτινοβολία .

Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της συρόμενης γυάλινης πόρτας αποτελεί την πρώτη πηγή θερμότητας του δωματίου, αλλά παράλληλα και τον επιθυμητό έλεγχο. Για τον υπολογισμό της έχουν παρθεί μετρήσεις από ένα πυρανόμετρο, που μετράει την προσπίπτουσα ακτινοβολία στην επιφάνειά του σε  $\text{MJ/m}^2$ . Στην συνέχεια παρουσιάζεται το HDKR μοντέλο για τον υπολογισμό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γυάλινης πόρτας.

#### 2.1 Το HDKR μοντέλο για τον υπολογισμό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Το μοντέλο HDKR (Hay, Davies, Klucher, Reindl model), είναι ένα μοντέλο υπολογισμού της συνολικής προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένη επιφάνεια, έχοντας ως δεδομένο τις μετρήσεις σε οριζόντια επιφάνεια όπως το πυρανόμετρο . Στην εικόνα 2.1 παρουσιάζεται η συνολική ακτινοβολία που προσπίπτει στην μπαλκονόπορτα και αποτελείται από τρεις συνιστώσες. Την άμεσα προσπίπτουσα  $I_{T,b}$ , την διάχυτη  $I_d$  (που συνίσταται από την ιστροπική διάχυτη  $I_{T,d,iso}$ , την περιήλια διάχυτη  $I_{T,d,cs}$  και την διάχυτη από τον ορίζοντα  $I_{T,d,hor}$  ) και την ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία  $I_{T,refl}$ . Κάθε επιμέρους ακτινοβολία περιγράφεται και υπολογίζεται ακολούθως, σε ωριαία διαστήματα όπως η I.

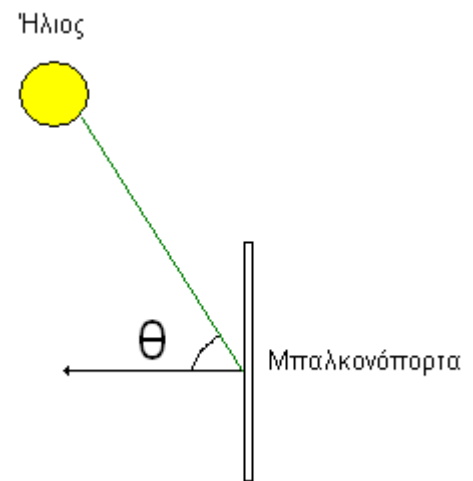


**Εικόνα 2.1:** Άμεσα προσπίπτουσα, διάχυτη και ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία.



## 2.2 Άμεσα Προσπίπτουσα Ακτινοβολία $I_{T,b}$ Σε Κεκλιμένη Επιφάνεια.

Η άμεσα προσπίπτουσα  $I_{T,b}$  ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) είναι η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην μπαλκονόπορτα κατευθείαν από τον ήλιο, χωρίς δηλαδή να έχει αλλάξει διεύθυνση από την ατμόσφαιρα τις γης, σε διάστημα μιας ώρας. Επομένως, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της θέσης του ήλιου σε σχέση με την υπό εξέταση επιφάνεια ώστε να γίνει γνωστή η διεύθυνση της συγκεκριμένης ακτινοβολίας.



Στην εικόνα 2.2 παρουσιάζεται η γωνία πρόσπτωσης της άμεσα προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ( $\theta$ ), που ορίζεται ως η γωνία μεταξύ του ηλίου και της κανονικής (κάθετης) για την μπαλκονόπορτα επιφάνεια. Ο υπολογισμός της, για κάθε χρονική στιγμή, δίνεται από τον τύπο ( 2.1)

**Εικόνα 2.2:** Γωνία Πρόσπτωσης της Άμεσα προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma \\ & + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \\ & + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \end{aligned} \quad (2.1)$$

Στην συγκεκριμένη περίπτωση η κλίση της επιφάνειας (μπαλκονόπορτα) είναι  $\beta=90^\circ$  και ο τύπος ( 2.1) γίνεται :

$$\begin{aligned} \cos \theta = & -\sin \delta \cos \phi \cos \gamma + \cos \delta \sin \phi \cos \gamma \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (2.2)$$

Όπου:

- $\varphi$  είναι το γεωγραφικό πλάτος. Στην περιοχή των Αθηνών όπου βρίσκεται το υπό εξέταση δωμάτιο είναι  $\varphi=38,02^\circ$ .
- $\gamma$  ονομάζεται η γωνία αζιμούθιου τις επιφάνειας, και προσδιορίζει τον προσανατολισμό τις με το μηδέν στον νότο, αρνητικές τιμές στα ανατολικά και θετικές στα δυτικά :  $-180 \leq \gamma \leq 180$ . Από τον προσανατολισμό του δωματίου που περιγράφηκε στο πρώτο κεφάλαιο προκύπτει  $\gamma = -30^\circ$ .
- $\delta$  ορίζεται η απόκλιση, ως η γωνιακή θέση του ήλιου κατά το ηλιακό μεσημέρι σε σχέση με το επίπεδο του ισημερινού. Υπολογίζεται δε μέσω τις σχέσης:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right) \quad (2.3)$$

$$-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$$

Όπου  $n$  η μέρα του έτους και θετικές τιμές για το βόρειο ημισφαίριο.

- $\omega$  ορίζεται η γωνία ώρας, ως η γωνιακή μετατόπιση του ήλιου, ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού, λόγω τις περιστροφής τις γης γύρω από τον άξονά τις, με  $15^\circ$  ανά ώρα. Πρόκειται για την ηλιακή ώρα εκφρασμένη σε μοίρες με  $0^\circ$  το ηλιακό μεσημέρι, όταν ο ήλιος βρίσκεται πάνω από τον τοπικό μεσημβρινό του παρατηρητή, θετικές τιμές τις απογευματινές ώρες και αρνητικές τις πρωινές. Επομένως, για κάθε χρονικό διάστημα  $t$  από το ηλιακό μεσημέρι προκύπτει  $\omega = 15t$  το απόγευμα και  $\omega = -15t$  το πρωί.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί η διαφορά που υπάρχει μεταξύ τις ηλιακής και τις τοπικής ώρας σύμφωνα με την σχέση:

$$\text{Ηλιακή Ώρα} - \text{Τοπική Ώρα} = 4(L_{st} - L_{loc}) + E \quad (2.4)$$

Όπου:  $L_{st}$  Το γεωγραφικό μήκος του τοπικού μεσημβρινού, που για την Ελλάδα είναι ίσο με  $-30^\circ$

$L_{loc}$  Το γεωγραφικό μήκος που βρίσκεται το υπό εξέταση δωμάτιο και είναι ίσο με  $-23,46^\circ$ .

Ενώ η χρονική εξίσωση  $E$  σε λεπτά τις ώρας δίνεται από τον τύπο:

$$E = 229.2(0.000075 + 0.001868 \cdot \cos B - 0.032077 \cdot \sin B - 0.014615 \cdot \cos 2B - 0.04089 \cdot \sin 2B) \quad (2.5)$$

με  $B = (n-1) \frac{360}{365}$ , όπου  $n$  η μέρα του έτους.

Κατά την περίοδο που εξετάζεται (01/07/06-07/07/06), έχει γίνει η αλλαγή σε θερινή ώρα. Επομένως, η τοπική ώρα σε σχέση με την ηλιακή ώρα, εκφρασμένη σε λεπτά δίδεται από την σχέση : Τοπική Ώρα=Ηλιακή Ώρα + 60' - [4(L<sub>st</sub> - L<sub>loc</sub>) + E]

Όλοι οι υπολογισμοί για την κίνηση του ήλιου γίνονται με βάση την ηλιακή ώρα και η κατόπιν γίνεται η αναγωγή στην τοπική ώρα, εκφρασμένη σε λεπτά, υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση (2.5).

Ο γεωμετρικός συντελεστής  $R_b$ , που εκφράζει το ποσοστό της άμεσα προσπίπτουσας ακτινοβολίας στην επιφάνεια της μπαλκονόπορτας σε σχέση με την άμεσα προσπίπτουσα ακτινοβολία στην οριζόντια επιφάνεια, είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό της  $I_{T,b}$  και δίδεται από την σχέση:

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (2.6)$$

Όπου :  $\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta$  (2.7)

Η γωνία πρόσπτωσης τις άμεσα προσπίπτουσας ακτινοβολίας στην οριζόντια επιφάνεια για κάθε χρονική στιγμή.

Οι τιμές των  $\cos \theta$  και  $\cos \theta_z$  για κάθε ωριαίο χρονικό διάστημα που εξετάζουμε,

προκύπτουν από τις ( 2.2) και ( 2.7) χρησιμοποιώντας ως  $\omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$ , όπου  $\omega_1$  και  $\omega_2$

οι ακραίες ώρες του συγκεκριμένου διαστήματος.

Εφόσον έχουν γίνει οι παραπάνω υπολογισμοί η  $I_{T,b}$  δίδεται από την σχέση

$$I_{T,b} = I_b \cdot R_b \quad (2.8),$$

ενώ η  $I_b$  υπολογίζεται στην επόμενη παράγραφο.

## 2.3 Διάχυτη Προσπίπτουσα Ακτινοβολία $I_{T,d}$ Σε Κεκλιμένη

### Επιφάνεια

Ως διάχυτη προσπίπτουσα ακτινοβολία, θεωρείται εκείνη που προσπίπτει στην επιφάνεια αφότου η κατεύθυνση της αλλάξει από την ατμόσφαιρα της γης και εξαρτάται από την καθαρότητα της ατμόσφαιρας και την συννεφιά. Όπως έχει ήδη αναφερθεί αποτελείται από εξής τρεις συνιστώσες:

- Την ισοτροπική διάχυτη ακτινοβολία  $I_{T,d,iso}$  ( $MJ/m^2$ ) . Θεωρείται ότι προσπίπτει στην επιφάνεια ομοιόμορφα από τον ουράνιο θόλο.
- Την περιήλια διάχυτη ακτινοβολία  $I_{T,d,cs}$  ( $MJ/m^2$ ) . Εντοπίζεται στην περιοχή του ουρανού γύρω από τον ήλιο και έχει την ίδια κατεύθυνση με την άμεσα προσπίπτουσα ακτινοβολία.
- Την διάχυτη από τον ορίζοντα ακτινοβολία  $I_{T,d,hor}$  ( $MJ/m^2$ ) και έχει, όπως προσδίδει η ονομασία της, την κατεύθυνση του ορίζοντα. Συναντάται τις μέρες του έτους με συννεφιά ή υψηλή ρύπανση.

Σύμφωνα με το HDKR μοντέλο, η συνολική διάχυτη προσπίπτουσα ακτινοβολία σε κεκλιμένη επιφάνεια, δίδεται από την σχέση:

$$I_{T,d} = I_d \left[ (1 - A_i) \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \left( 1 + f \cdot \sin^3 \left( \frac{\beta}{2} \right) \right) + R_b A_i \right] \quad (2.9)$$

Όπου

$$I_{T,d,iso} = I_d (1 - A_i) \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right), \text{ η ωριαία ισοτροπική διάχυτη ακτινοβολία.}$$

$$I_{T,d,cs} = I_d (1 - A_i) \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) f \sin^3 \left( \frac{\beta}{2} \right), \text{ η ωριαία περιήλια ακτινοβολία, και}$$

$$I_{T,d,hor} = I_d R_b A_i \text{ η ωριαία διάχυτη από τον ορίζοντα ακτινοβολία.}$$

Στην περίπτωση κάθετης επιφάνειας (μπαλκονόπορτα) όπου  $\beta=90^\circ$ , οι παραπάνω σχέσεις γίνονται:

$$I_{T,d} = I_d \left[ \frac{1}{2}(1 - A_i)(1 + f \cdot \sin^3(45^\circ)) + R_b A_i \right] \quad (2.10) \text{ με}$$

$$I_{T,d,iso} = \frac{1}{2} I_d (1 - A_i)$$

$$I_{T,d,cs} = \frac{1}{2} I_d (1 - A_i) f \sin^3(45^\circ)$$

$$I_{T,d,hor} = I_d R_b A_i$$

Όπου

$A_i$  ένας ωριαίος ανισοτροπικός δείκτης, που είναι μία συνάρτηση της μετάδοσης της άμεσα προσπίπτουσας ακτινοβολίας για την ατμόσφαιρα της γης και υπολογίζεται:

$$A_i = \frac{I_b}{I_o} \quad (2.11) \text{ , με}$$

$I_b$ , η ωριαία άμεσα προσπίπτουσα ακτινοβολία στην οριζόντια επιφάνεια (μονοκρυσταλλικό πυρανόμετρο), που υπολογίζεται από την σχέση (2.12).

$I_o$  η ωριαία εξωγήινη -έξω από την ατμόσφαιρα της γης- προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο που υπολογίζεται ως:

$$I_o = \frac{12 \cdot 3600 \cdot G_{sc}}{\pi} \left( 1 + 0.033 \cos \frac{360 \cdot n}{365} \right) \times \left[ \cos \phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{\pi (\omega_2 - \omega_1)}{180} \sin \phi \sin \delta \right] \quad (2.12) .$$

Η ηλιακή σταθερά  $G_{sc}=1367W/m^2$ , είναι ο ρυθμός της ηλιακής ενέργειας που δέχεται μια μοναδιαία κάθετη, ως προς την διεύθυνση μετάδοσης της ακτινοβολίας, επιφάνεια στην μέση απόσταση γης-ηλίου, έξω από την ατμόσφαιρα της γης.

Οι ώρες γωνίας  $\omega_1$  και  $\omega_2$ , είναι εκείνες που καθορίζουν τα άκρα του ωριαίου υπό εξέταση διαστήματος, με  $\omega_2$  μεγαλύτερο από  $\omega_1$ , ενώ  $n$  είναι η μέρα του έτους για την οποία γίνεται ο υπολογισμός.

Ο δείκτης  $A_i$ , έχει υψηλές τιμές υπό καθαρές ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Ο δείκτης  $f$ , στην διάχυτη από τον ορίζοντα ακτινοβολία, περιγράφει την επίδραση της νέφωσης σε αυτήν και ισούται με  $f = \sqrt{I_b/I}$  **(2.13).**

Στο σημείο αυτό ακολουθεί ο υπολογισμός των  $I_b$  και  $I_d$  από τις ωριαίες μετρήσεις  $I$  του πυρανόμετρου.

Ένας δείκτης καθαρότητας  $k_T$  ορίζεται ως το πηλίκο της ωριαίας προσπίπτουσας ακτινοβολίας στην οριζόντια επιφάνεια  $I$  διά της εξωγήινης ακτινοβολίας  $I_o$

$$k_T = \frac{I}{I_o} \quad (2.14)$$

Ο συσχετισμός του πηλίκου  $I_d/I$  με τον  $k_T$  προκύπτει από την σχέση:

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1.0 - 0.09 \cdot k_T & , k_T \leq 0.22 \\ 0.9511 - 0.1604 \cdot k_T + 4.388 \cdot k_T^2 & , 0.22 < k_T \leq 0.8 \\ -16.638 \cdot k_T^3 + 12.336 \cdot k_T^4 & \\ 0.165 & , k_T > 0.8 \end{cases} \quad (2.15).$$

Όπως έχει ειπωθεί στην αρχή του κεφαλαίου η ωριαία μετρούμενη ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο (πυρανόμετρο) ισούται με:

$$I = I_b + I_d \quad (2.16).$$

Η επίλυση του συστήματος των εξισώσεων (2.15) και (2.16) οδηγεί στον υπολογισμό της  $I_b$  και  $I_d$ , και επομένως οι  $I_{T,b}$  και  $I_{T,d}$  είναι πλέον υπολογίσιμες από τις σχέσεις (2,9) και (2.10) αντιστοίχως.

## **2.4 Ανακλώμενη Από Το Έδαφος Προσπίπτουσα Ακτινοβολία**

### **$I_{T,ref}$ Σε Κεκλιμένη Επιφάνεια.**

Η ανακλώμενη από το έδαφος  $I_{T,ref}(MJ/m^2)$  είναι η τελευταία συνιστώσα για τον υπολογισμό της ολικής προσπίπτουσας, στην κεκλιμένη επιφάνεια, ακτινοβολίας από

τις μετρήσεις στην οριζόντια επιφάνεια. Ορίζεται ως η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην κεκλιμένη επιφάνεια αφού έχει ανακλαστεί από τα διάφορα εμπόδια που βρίσκονται στο έδαφος, όπως δέντρα, κτίρια και το ίδιο το έδαφος.

Για τον υπολογισμό της, σύμφωνα με το HDKR μοντέλο, ορίζεται ο συντελεστής ανάκλασης του εδάφους  $\rho_g$ , ως η ανακλαστική ικανότητα του εδάφους με τιμές από μηδέν έως ένα. Για επιφάνειες με υψηλή ανακλαστική ικανότητα, όπως το χιόνι, ο  $\rho_g$  έχει μεγάλες τιμές και προσεγγίζει την μονάδα. Στην εφαρμογή για το υπό εξέταση δωμάτιο, έχει θεωρηθεί ένας μέσος συντελεστής ανάκλασης με τιμή,  $\rho_g=0,4$  [1].

Η ωριαία ανακλώμενη από το έδαφος προσπίπτουσα ακτινοβολία στην κεκλιμένη επιφάνεια δίδεται από την σχέση:

$$I_{T,refl} = I \cdot \rho_g \cdot \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \quad (2.17) \quad \text{ή}$$

$$I_{T,refl} = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \rho_g \quad (2.18) \quad \text{στην περίπτωση όπου}$$

$\beta=90^\circ$ .

Εφόσον έχουν οριστεί και υπολογιστεί οι ακτινοβολίες που συνθέτουν την συνολική ηλιακή ακτινοβολία, η συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία δίδεται από την σχέση :

$$I_T = (I_b + I_d A_i) R_b + I_d (1 - A_i) \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \left[ 1 + f \cdot \sin^3 \left( \frac{\beta}{2} \right) \right] + I \cdot \rho_g \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (2.19)$$

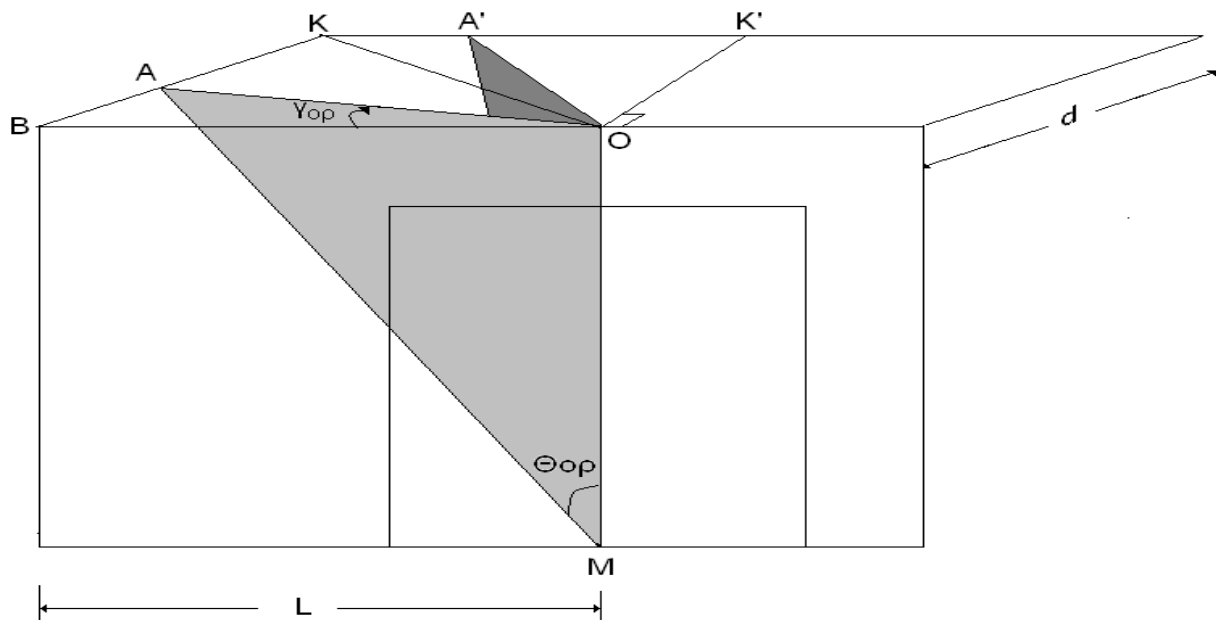
## 2.5 Επίδραση της σκίασης στην Προσπίπτουσα ακτινοβολία

Όταν ο ήλιος δεν προσπίπτει άμεσα στην επιφάνεια του γυαλιού της συρόμενης πόρτας λόγω φυσικών εμποδίων, αποκόπτεται η άμεσα προσπίπτουσα ακτινοβολία,  $I_{τ,b} = 0$ , και η συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία υπολογίζεται από την ( ) ανάλογα.

Από τον προσανατολισμό του κτιρίου προκύπτει πως ο ήλιος αρχίζει να προσπίπτει στην νοτιοδυτική , κατά 30 μοίρες, επιφάνεια του δωματίου όταν ο η γωνία αζιμούθιου του ήλιου είναι μικρότερη από  $-60^\circ$ .

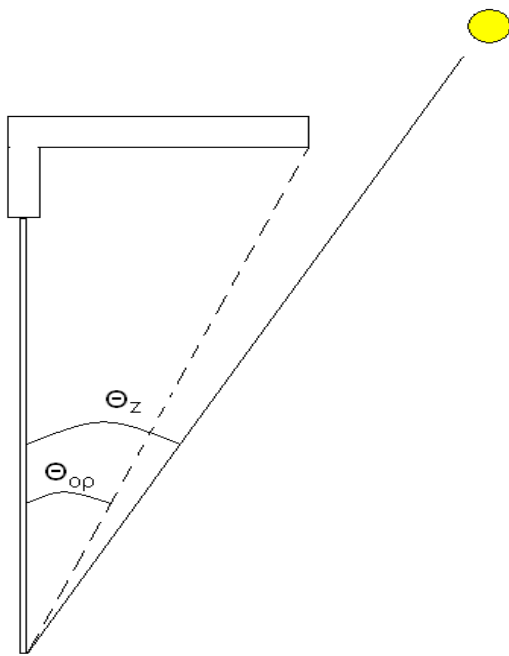
Επομένως, τις ώρες της ημέρας κατά τις οποίες ισχύει :  $\gamma_s < -60^\circ$  (2.20) , η άμεσα προσπίπτουσα ακτινοβολία αποκόπτεται.

Κατά τις ώρες όπου  $\gamma_s \geq -60^\circ$ , όπου ο ήλιος προσπίπτει άμεσα στην επιφάνεια του τζαμιού της πόρτας, το στέγαστρο του μπαλκονιού αποτελεί το φυσικό εμπόδιο. Ως έλεγχος για την άμεση ή μη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας , θεωρείται το σημείο που βρίσκεται στο μέσο της γυάλινης συρόμενης πόρτας στο επίπεδο του δαπέδου, δηλαδή το σημείο M όπως αυτό παρουσιάζεται στην εικόνα , με  $L=1,5$  m και το μήκος του στεγαστρού  $d=0,95$  m και  $h=3$ m. Εφόσον ο ήλιος προσπίπτει άμεσα στο σημείο M, θεωρείται ότι η άμεσα προσπίπτουσα ακτινοβολία είναι υπαρκτή σε όλη την επιφάνεια της γυάλινης συρόμενης πόρτας.



**Εικόνα 2.3 :** Διάταξη της γυάλινης πόρτας σε σχέση με το στέγαστρο του μπαλκονιού. Στην εικόνα 2.3 παρουσιάζεται η θέση του σημείου ελέγχου M, κατά τις στιγμές όπου η άμεσα προσπίπτουσα ακτινοβολία έχει την διεύθυνση που ορίζουν τα (AM) και (AM')





**Εικόνα 2.4 :** Πλάγια όψη μπαλκονιού.

Από την πλάγια όψη του μπαλκονιού,

προκύπτει πως η αναγκαία συνθήκη για να μην σκιάζεται η γυάλινη πόρτα είναι

$$\theta_z < \theta_{op} \quad (2.21), \text{ με}$$

Η  $\theta_{op}$  όπως φαίνεται στις εικόνες (2.3) και (2.4) εξαρτάται από την θέση του ήλιου και την γεωμετρία του στεγάστρου του μπαλκονιού, και είναι το ζητούμενο για τον προσδιορισμό της σκίασης.

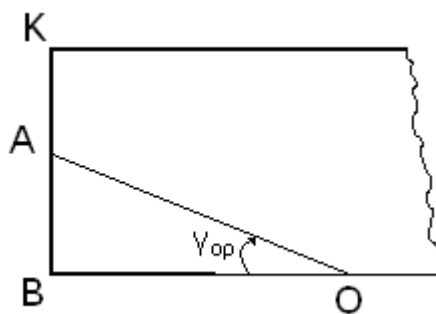
Για τον υπολογισμό της  $\theta_{op}$ , ορίζεται η γωνία  $\gamma_{op}$  που παρουσιάζεται στην εικόνα. Το μέτρο της γωνίας  $\gamma_{op}$ , καθώς ο ήλιος κινείται προς τα δυτικά, πρέπει να ακολουθεί την γωνία αζιμούθιου του ήλιου και ενώ η μηδενική της τιμή προκύπτει όταν  $\gamma_s = -60^\circ$ . Η γωνία που έχει τα παραπάνω χαρακτηριστική επομένως είναι  $\gamma_{op} = \gamma_s + 60$  (2.22) σε μοίρες, με  $\gamma_s > -60^\circ$ . από την εικόνα .

Από την εικόνα ( ) προκύπτει ότι η γωνία  $\gamma_{op}$  είναι περίπου ίση με  $32^\circ$  όταν ο ήλιος βρίσκεται στην θέση Κ ( $= \tan(d/L)$ ,  $d = 0,95$  και  $L=1,5$ ).

Ανάλογα με το μέτρο της γωνίας  $\gamma_{op}$  η  $\theta_{op}$  υπολογίζεται ως εξής :

- $0 < \gamma_{op} \leq 32^\circ$

Ο ήλιος κινείται επί του τμήματος ΒΚ, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



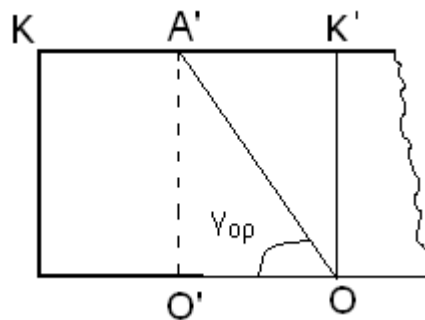
Το τμήμα BA υπολογίζεται ως :  $(BA) = \frac{L}{\cos \gamma_{op}} = \frac{L}{\cos(\gamma_s + 60)}$ . Από την εικόνα (2.3)

προκύπτει για την  $\Theta_{op}$   $\tan \Theta_{op} = \frac{(MA)}{(OM)} = \frac{L}{h \cdot \cos(\gamma_s + 60)}$

Άρα  $\Theta_{op} = \tan^{-1} \left( \frac{L}{h \cdot \cos(\gamma_s + 60)} \right)$

- $32 < \gamma_{op} < 90$

Ο ήλιος κινείται επί του τμήματος ΚΚ' όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα



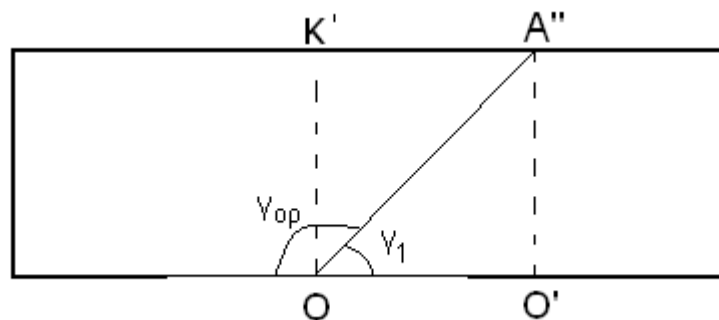
Το τμήμα (A'M) υπολογίζεται ως :  $(A'O) = \frac{(A'O')}{\sin \gamma_{op}} = \frac{d}{\sin(\gamma_s + 60)}$ .

Από την εικόνα() προκύπτει για την  $\Theta_{op}$   $\tan \Theta_{op} = \frac{(BA)}{(MO)} = \frac{d}{h \cdot \sin(\gamma_s + 60)}$ .

Άρα  $\Theta_{op} = \tan^{-1} \left( \frac{d}{h \cdot \sin(\gamma_s + 60)} \right)$

- $\gamma_{op} > 90^\circ$

Ο ήλιος κινείται επί του τμήματος (Κ'Α'') όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα



Από το τρίγωνο (OA''O') προκύπτει  $(OA'') = \frac{(A''O')}{\sin \gamma_1} = \frac{d}{\sin \gamma_1}$

Όμως, η  $\gamma_1$  είναι η συμπληρωματική της  $\gamma_{op}$ , άρα ισχύει  $\sin\gamma_1 = \cos\gamma_{op}$ .

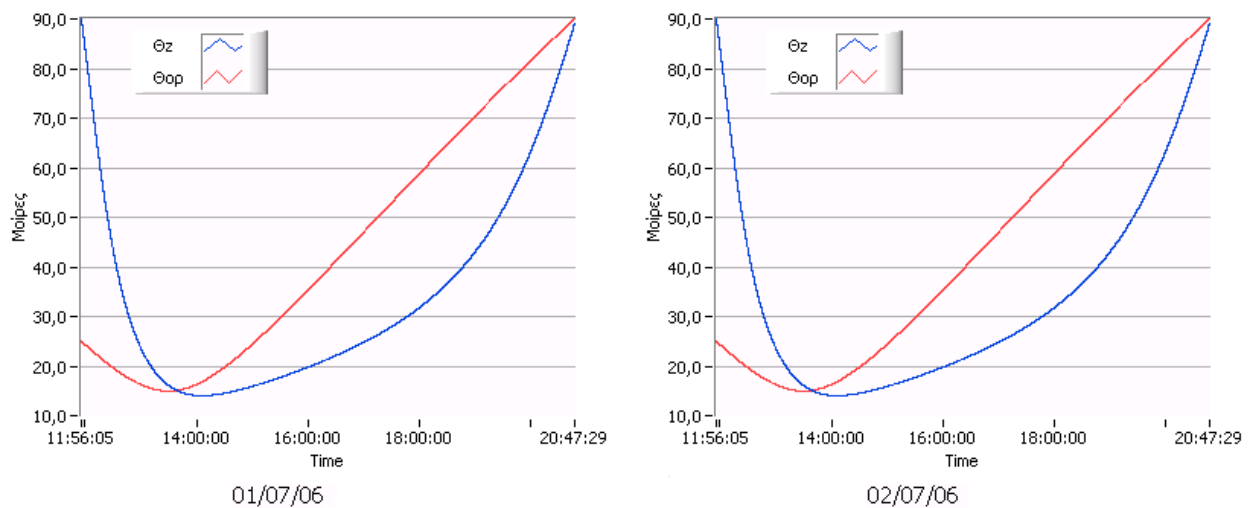
Επομένως, είναι  $(OA'') = \frac{d}{\cos(\gamma_s + 60)}$

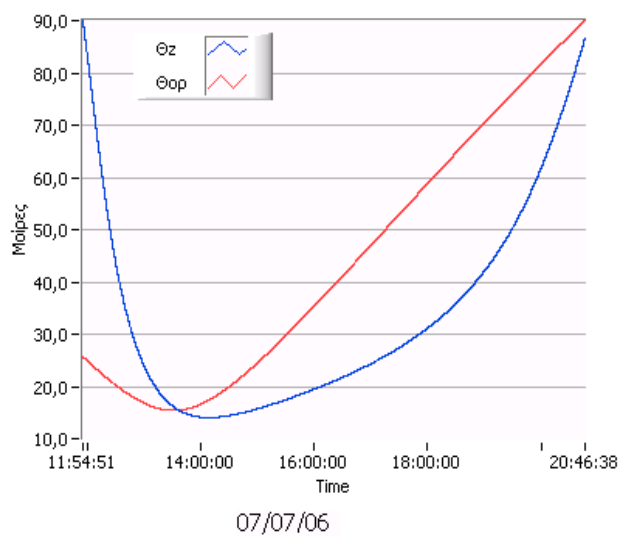
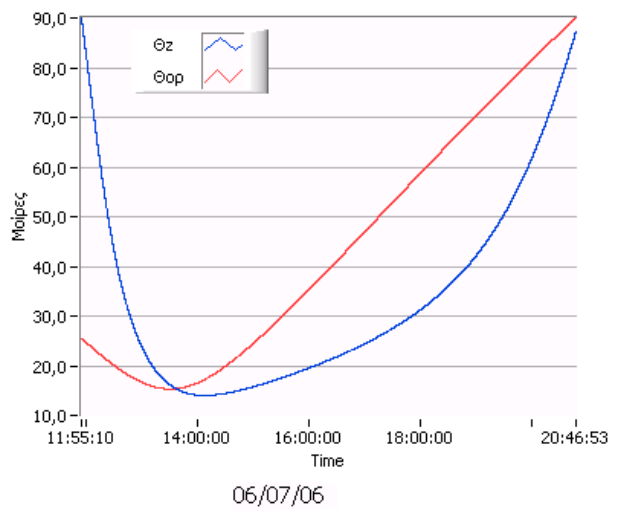
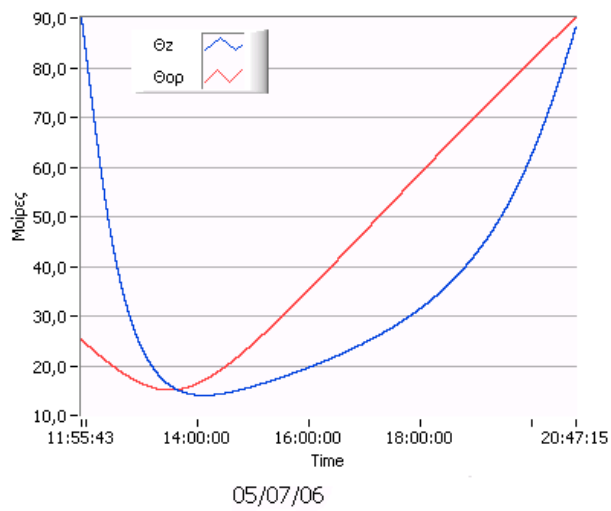
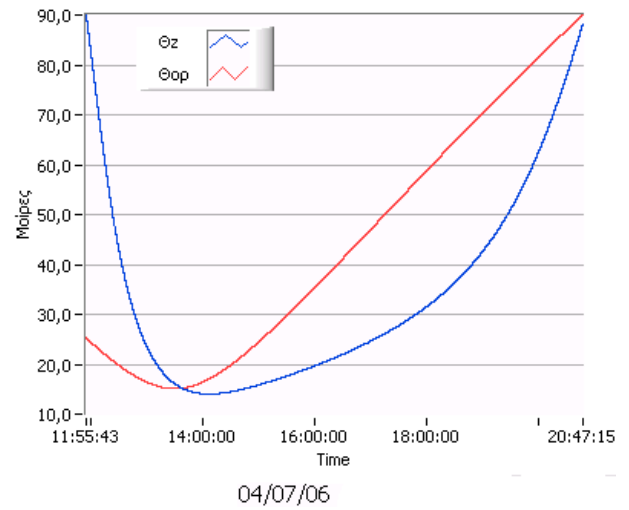
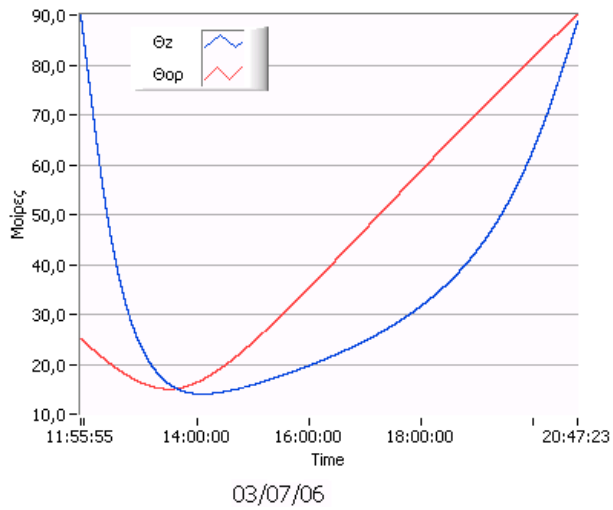
Όμοια λοιπόν προκύπτει ότι  $\tan \Theta_{op} = \frac{(OA'')}{(MO)} = \frac{d}{h \cdot \sin(\gamma_s + 60)}$ .

Άρα  $\Theta_{op} = \tan^{-1} \left( \frac{d}{h \cdot \sin(\gamma_s + 60)} \right)$

Με την χρήση του Labview 7.1 γίνονται οι παραπάνω υπολογισμοί και τα αποτελέσματα για την  $\Theta_{op}$  και την  $\Theta_z$  παρουσιάζονται στην εικόνα 2.5

**Εικόνα (2.5)**





Παρατηρείται επομένως, ότι ο ήλιος εξακολουθεί να μην προσπίπτει άμεσα στην επιφάνεια έως λίγο μετά το μεσημέρι για κάθε μέρα της υπό εξέταση εβδομάδας.

## **Κεφάλαιο 3**

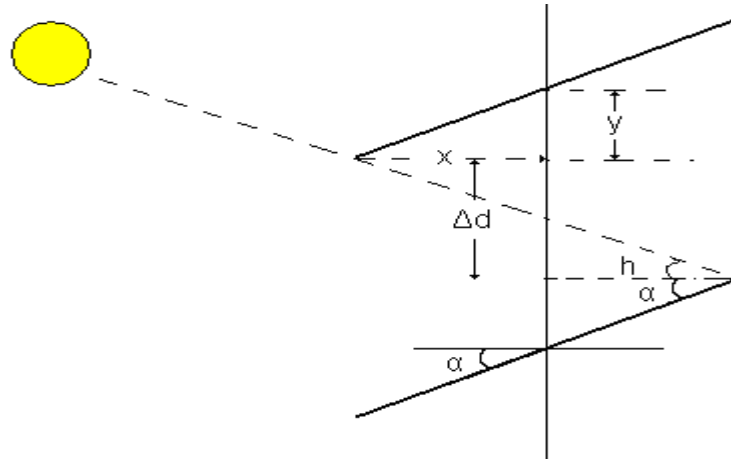
### **Χρήση Αυτόματα Ελεγχόμενων Περσίδων Για Την Μείωση Της Απορροφούμενης Ηλιακής Ακτινοβολίας.**

#### **3.1 Υπολογισμός βέλτιστης κλίσης των αυτόματα ελεγχόμενων περσίδων.**

Η άμεσα προσπίπτουσα ακτινοβολία ( $I_{T,b}$ ) παίζει σημαντικό ρόλο στο μέτρο της συνολικής προσπίπτουσας ακτινοβολίας ( $I_T$ ), επομένως και της απορροφούμενης από το δωμάτιο ηλιακής ακτινοβολίας ( $S$ ). Η εξάλειψή της από την επιφάνεια της Γυάλινης πόρτας, με την χρήση αυτόματα ελεγχόμενων περσίδων εξωτερικού χώρου, οδηγεί στην μείωση της ( $S$ ).

Ο προγραμματισμός των περσίδων πρέπει να δίνει απάντηση σε δύο βασικά ερωτήματα, στο πότε πρέπει να λειτουργούν κατά την διάρκεια της ημέρας και την κατάλληλη κλίση κατά την διάρκεια λειτουργίας ώστε να επιτυγχάνεται το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Για την αποφυγή άσκοπης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, η λειτουργία των περσίδων πρέπει να περιορίζεται στο διάστημα της ημέρας κατά το οποίο υπάρχει άμεσα προσπίπτουσα ακτινοβολία στην επιφάνεια της γυάλινης μπαλκονόπορτας. Στην παράγραφο που αφορά την σκίαση γίνονται έχουν υπολογιστεί οι ώρες κατά τις οποίες ο ήλιος δεν προσπίπτει άμεσα στην επιφάνεια της γυάλινης συρόμενης πόρτας. Επομένως, κατά τις ώρες της σκίασης, οι περσίδες πρέπει να είναι ανενεργές,  $\alpha=0^\circ$ . Όσον αφορά τον υπολογισμό της κλίσης τους κατά τις ώρες λειτουργίας, η γνώση της γωνίας μεγίστου  $\theta_z$  του ήλιου αρκεί, όπως θα φανεί ακολούθως.



**Εικόνα 3.1:** Πλάγια όψη περσίδων.

Στην εικόνα (3.1) παρουσιάζεται η πλάγια όψη δύο περσίδων με τους συμβολισμούς :

**b<sub>l</sub>**: Το μήκος των περσίδων.

**d**: Η μεταξύ τους απόσταση.

**α**: Η κλίση των περσίδων, εκφρασμένη σε μοίρες.

**h**: Η γωνία ύψους του ήλιου, εκφρασμένη σε μοίρες.

Η γωνία του ύψους του ήλιου  $h$ , είναι συμπληρωματική με την γωνία μεγίστου του ήλιου  $\theta_z$ , ισχύει δηλαδή:  $h = 90 - \theta_z$  (3.1).

Η ορθή χρήση των περσίδων επίσης, πρέπει να επηρεάζει όσο το δυνατόν λιγότερο την φωτεινότητα του δωματίου, που είναι μέγεθος αντιστρόφως ανάλογο της κλίσης τους ( $\alpha$ ). Επομένως, η βέλτιστη λειτουργία επιτυγχάνεται όταν αποκόπτεται η  $I_{\tau,b}$  και ταυτόχρονα η κλίση των περσίδων είναι η ελάχιστη δυνατή . Ορίζεται ως  $\alpha_{min}$  και υπολογίζεται ακολούθως.

$$\text{Από την εικόνα (3.1) προκύπτει για το ύψος του ήλιου } \tan(h) = \frac{\Delta d}{2x} \quad (3.2.a)$$

$$\text{Όπου: } \Delta d = d - 2y \Rightarrow \Delta d = d - 2 \cdot \sin(\alpha_{min}) \quad (3.2.β)$$

$$\text{Ενώ : } x = \frac{b_l}{2} \cdot \cos(\alpha_{min}) \Rightarrow 2x = b_l \cdot \cos(\alpha_{min}) \quad (3.2.γ)$$

Από το σύστημα των εξισώσεων (3.2.α), (3.2.β), (3.2.γ) και λαμβάνοντας υπ όψιν

την σχέση  $\tan(h) = \frac{\sin(h)}{\cos(h)}$  προκύπτει ότι :

$$\sin(h) \cdot \cos(\alpha_{\min}) + \cos(h) \cdot \sin(\alpha_{\min}) = \frac{d \cdot \cos(h)}{b_l} \quad (3.3)$$

Όμως ισχύει  $\sin(x) \cdot \cos(y) + \cos(x) \cdot \sin(y) = \sin(x + y)$  (3.3.a)

Από τις σχέσεις (3.3) και (3.3.a) προκύπτει πως

$$\sin(h + \alpha_{\min}) = d \cdot \frac{\cos(h)}{b_l} \Rightarrow \alpha_{\min} = \left[ \sin^{-1} \left( \frac{d \cdot \cos(h)}{b_l} \right) \right] - h \quad (3.4).$$

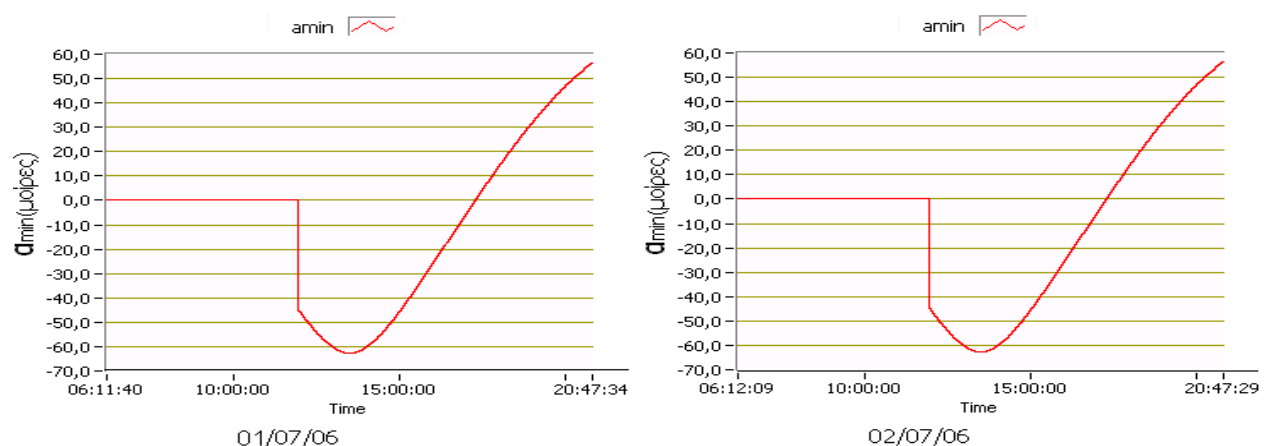
Τελικά, αντικαθιστώντας από την (3,1), προκύπτει για την βέλτιστη κλίση των περσίδων κατά την λειτουργία τους:

$$\alpha_{\min} = 90^\circ + \left[ \sin^{-1} \left( \frac{d \cdot \cos(90^\circ - \theta_z)}{b_l} \right) \right] - \theta_z \quad (3.5).$$

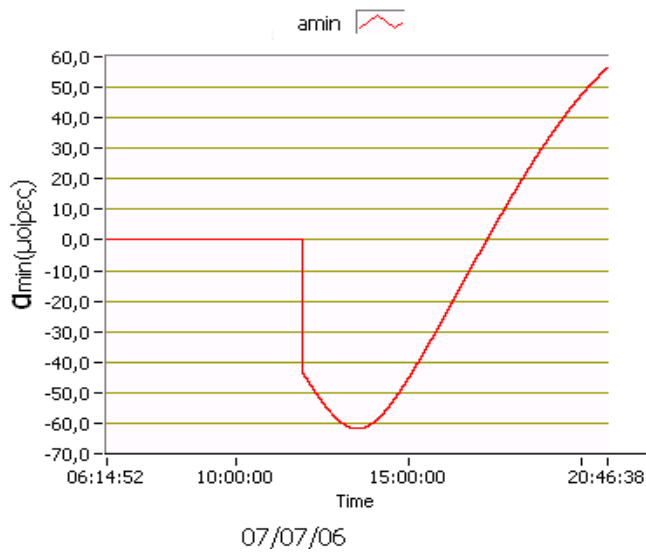
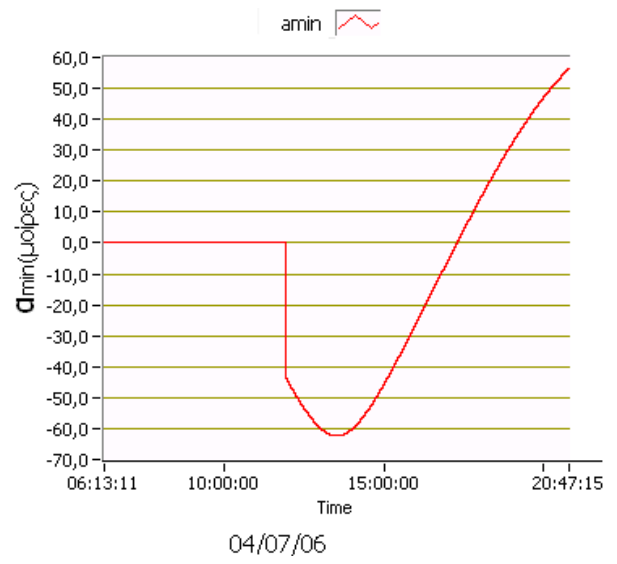
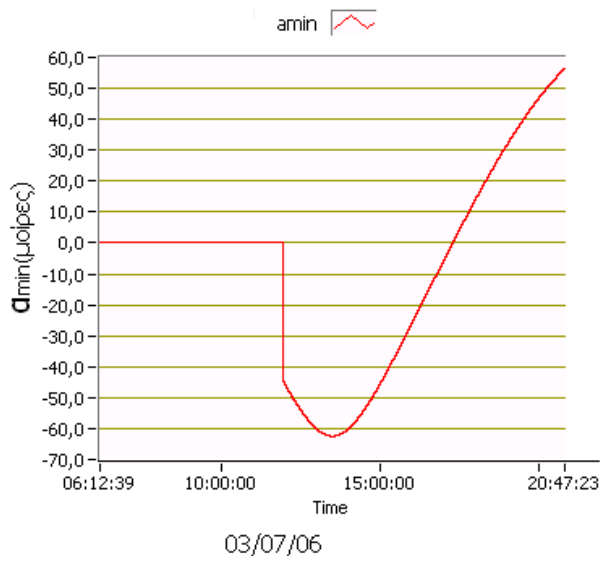
## 3.2 Προσομοίωση της Βέλτιστης κλίσης Για τις ημέρες της εβδομάδας 01/07/06 – 07/07/06

Η προσομοίωση με την χρήση του λογισμικού Labview 7.1 για την εβδομάδα 01/07/06 έως 07/07/06, χρησιμοποιώντας ως  $b_l=0.06$  m και  $d=0.05$  m που είναι οι τυπικές διαστάσεις για περσίδες εξωτερικού χώρου, δίνει τα ημερήσια διαγράμματα της εικόνας 3.2, Στον κατακόρυφο άξονα είναι η βέλτιστη κλίση των περσίδων, ενώ στον οριζόντιο οι ώρες της ημέρας.

**Εικόνα 3.2:** Ημερήσια βέλτιστη κλίση των περσίδων για την εβδομάδα 01/07/06-07/07/06



Εικόνα 3.2 (Συνέχεια)





## Κεφάλαιο 4

### Απορροφούμενη από το δωμάτιο ηλιακή ακτινοβολία (S).

Εφόσον έχει υπολογιστεί η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, με και χωρίς τις περσίδες, ακολουθεί ο υπολογισμός της απορροφούμενης ακτινοβολίας από το εσωτερικό του δωματίου, και ισούται σύμφωνα με το [1] ως:

$$S = A_a (I_b + I_d A_i) R_b (\tau\alpha)_b + A_a I_d (1 - A_i) (\tau\alpha)_d \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \left[ 1 + f \sin^3 \left( \frac{\beta}{2} \right) \right] + A_a I \rho_g (\tau\alpha)_g \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (4.1).$$

Ως απορροφούμενη ακτινοβολία από, ορίζεται ως η ενέργεια που εισέρχεται στο δωμάτιο, υπό μορφή θερμότητας, από τον ήλιο σε ωριαία διαστήματα. Εξαρτάται από την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας και τις γωνίες πρόσπτωσης, για κάθε ωριαίο διάστημα, των επιμέρους ακτινοβολιών στην επιφάνεια της γυάλινης συρόμενης πόρτας.

Από την σχέση ( ) γίνεται αντιληπτό ότι η απορροφούμενη ακτινοβολία είναι ίση με την προσπίπτουσα πολλαπλασιασμένη με έναν συντελεστή με  $(\tau\alpha)_c$ ,  $(c=b,d,g)$  όταν αναφέρεται στην  $I_{T,b}$ ,  $I_{T,g}$  και  $I_{T,g}$  αντιστοίχως, και ισούται με:

$$(\tau\alpha)_c = \tau_c \cdot \alpha_{eff} = \tau_c \frac{\alpha_i}{\alpha_i + \tau_d \frac{A_a}{A_i}} \quad (4.2).$$

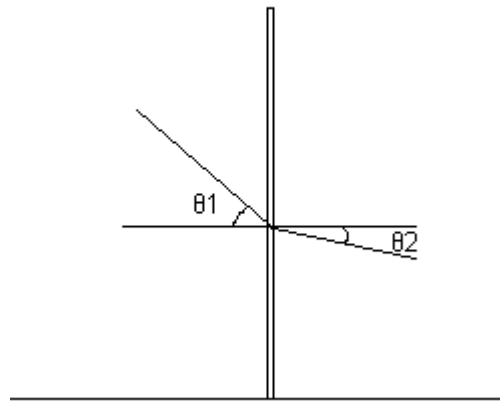
Ο δείκτης  $\tau_c$ , που συμβολίζεται με  $\tau_b$  όταν αναφέρεται στην άμεσα προσπίπτουσα και την περιήλια ακτινοβολία, με  $\tau_d$  όταν αναφέρεται στην ισοτροπική και την διάχυτη από τον ορίζοντα και ως  $\tau_g$  για την ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία, εκφράζει τις απώλειες της ηλιακής ακτινοβολίας από την διέλευσή της από το τζάμι της μπαλκονόπορτας, εξαρτάται από τις γωνίες πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας και υπολογίζεται ακολούθως.

Στην εικόνα (3.3) παρουσιάζονται οι γωνίες πρόσπτωσης και διάθλασης του φωτός όταν αυτό διέρχεται από ένα μέσο με δείκτη διάθλασης  $n_1$  σε ένα άλλο με δείκτη

διάθλασης  $n_2$ . Οι συγκεκριμένες γωνίες παίζουν σημαντικό ρόλο στον υπολογισμό του δείκτη  $\tau_c$ .

Σύμφωνα με τον νόμο διάθλασης του Snell, οι δύο γωνίες συνδέονται με την σχέση:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} \Leftrightarrow \sin \theta_2 = \sin \theta_1 \cdot \frac{n_1}{n_2} \quad (4.3)$$



**Εικόνα 4.1 :** Γωνίες πρόσπτωσης και διάθλασης

Το μέσο 1 στην περίπτωση που εξετάζεται, είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας με δείκτη διάθλασης  $n_1=1$ , ενώ το μέσο 2 είναι το μονό τζάμι της πόρτας με δείκτη διάθλασης  $n_2=1,526$  [1].

Όσον αφορά στον δείκτη  $\tau_b$ , η γωνία πρόσπτωσης  $\theta_1$  για κάθε ωριαίο διάστημα της ημέρας ισούται με την γωνία πρόσπτωσης της άμεσα προσπίπτουσας ακτινοβολίας ( $\theta_1=\theta$ ). Για τους δείκτες  $\tau_d$  και  $\tau_g$ , θεωρείται μια σταθερή γωνία πρόσπτωσης  $\theta_1 \approx 60^\circ$  καθόλη την διάρκεια της ημέρας [1].

Για λείες επιφάνειες ο Fresnel εξέφρασε τις σχέσεις (4.4) και (4.5) για την αντανάκλαση της μη πολωμένης ακτινοβολίας (όπως είναι το ηλιακό φως), όταν διέρχεται από ένα μέσο με δείκτη διάθλασης  $n_1$  σε μέσο με δείκτη ανάκλασης  $n_2$

$$r_{\perp} = \frac{\sin^2(\theta_2 - \theta_1)}{\sin^2(\theta_2 + \theta_1)} \quad (4.4) \quad r_{\parallel} = \frac{\tan^2(\theta_2 - \theta_1)}{\tan^2(\theta_2 + \theta_1)} \quad (4.5)$$

Όπου  $r_{\perp}$  και  $r_{\parallel}$  η κάθετη και η παράλληλη αντιστοίχως συνιστώσα της μη πολωμένης ακτινοβολίας.

Έχοντας γίνει οι παραπάνω υπολογισμοί, οι συνολικές απώλειες που οφείλονται στην αντανάκλαση του φωτός πάνω στο τζάμι δίδονται από την σχέση:

$$\tau_r = \frac{1}{2} \left( \frac{1-r_{//}}{1+r_{//}} + \frac{1-r_{\perp}}{1+r_{\perp}} \right) \quad (4.6) .$$

Πέρα των απωλειών λόγω αντανάκλασης, υπάρχουν και απώλειες που οφείλονται στην απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από το εσωτερικό του τζαμιού. Σύμφωνα με τον νόμο του Bouguer αυτές ισούνται με:

$$\tau_{\alpha} = e^{-\frac{KL}{\cos\theta_2}} \quad (4.7)$$

Όπου,

**K** ορίζεται ένας συντελεστής εξάλειψης, με τιμές από  $4 \text{ m}^{-1}$  για το λευκό (κοιτώντας το στα πλάγια) γυαλί, έως  $32 \text{ m}^{-1}$  για το πράσινο (κοιτώντας το στα πλάγια) γυαλί.

**L** συνολικό το πάχος του γυαλιού.

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή έχει υιοθετηθεί ως συνολικό γινόμενο  $KL=0,0524$  .

Εφόσον ακολουθηθεί η παραπάνω διαδικασία, οι συνολικές απώλειες της ηλιακής ακτινοβολίας από το τζάμι της πόρτας είναι γνωστές και ίσες με:  $\tau_c = \tau_{\alpha} \cdot \tau_r$

Στην σχέση (4.2) ο όρος  $a_{eff} = \frac{\alpha_i}{\alpha_i + \tau_d \frac{A_{\alpha}}{A_i}}$  καθορίζει την απορρόφηση της ηλιακής

ακτινοβολίας από το δωμάτιο και εξαρτάται από :

$\alpha_i$  : Συντελεστής που εκφράζει απορρόφηση της διάχυτης ακτινοβολίας από το δωμάτιο. Εξαρτάται από τα υλικά που αποτελούν το δωμάτιο με τιμές  $0 < \alpha_i \leq 1$  .

$\tau_d$  : Η μετάδοση της ισοτροπικής διάχυτης ακτινοβολίας μέσω της γυάλινης συρόμενης πόρτας.

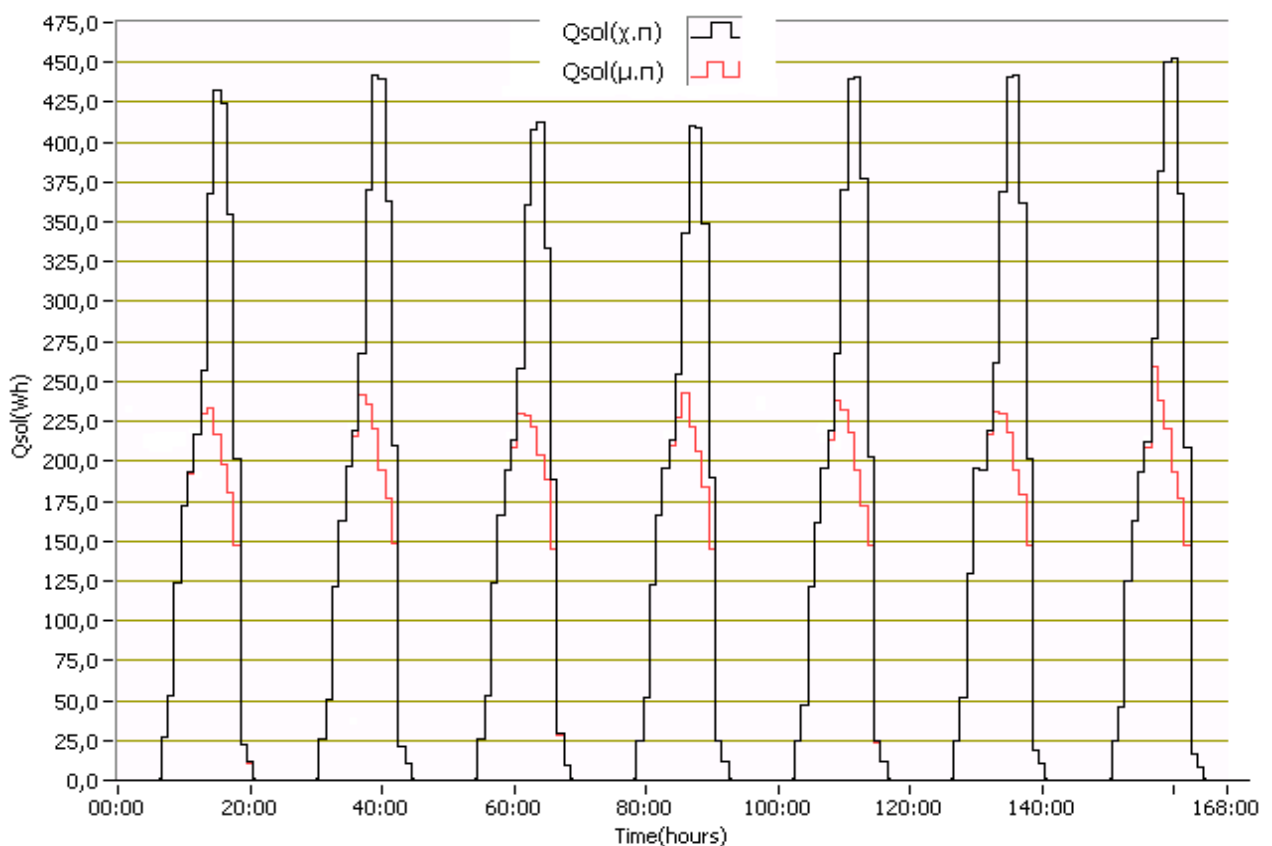
$A_{\alpha}$  : Το εμβαδόν της επιφάνειας της γυάλινης συρόμενης πόρτας ( $\text{m}^2$ ).

$A_i$  : Το συνολικό εμβαδόν του δωματίου ( $\text{m}^2$ ).

Το συγκεκριμένο δωμάτιο αποτελείται από επιφάνειες με διαφορετικά υλικά στους τοίχους, το δάπεδο, την οροφή και στην επίπλωση, και επομένως έχει χρησιμοποιηθεί ένας μέσος όρος για τον συντελεστή  $\alpha_i = 0,45$ . Το εμβαδόν της συρόμενης γυάλινης

πόρτας είναι  $A_\alpha = 2,05m^2$  ενώ το εμβαδόν του δωματίου  $A_i = 11m^2$ .

Εφόσον ακολουθηθεί η παραπάνω διαδικασία, η προσομοίωση με την χρήση του λογισμικού Labview 7.1 για την εβδομάδα 01/07/06-07/07/06 δίνει την θερμότητα από τον ήλιο (απορροφούμενη ακτινοβολία) σε ωριαία διαστήματα, με και χωρίς την χρήση των αυτόματα ελεγχόμενων περσίδων εξωτερικού χώρου, από την σχέση (4.1) σε kWh, όπως στην εικόνα (4.2).



**Εικόνα 4.2:** Απορροφούμενη Ηλιακή Ακτινοβολία

Παρατηρείται κατά την διάρκεια ηλιοφάνειας κάθε μέρας, πως για όσο διάστημα η ηλιακή ακτινοβολία δεν προσπίπτει άμεσα στην επιφάνεια της γυάλινης συρόμενης πόρτας ( $I_{T,b}=0$  τις ώρες όπου  $\cos\theta < 0$ ), λόγω των εμποδίων που εξετάστηκαν στην σκίαση, η ηλιακή ενέργεια που απορροφείται από τις επιφάνειες του δωματίου (S) υπό μορφή θερμότητας παραμένει ανεπηρέαστη από την χρήση ή μη των περσίδων. Αφού η  $Q_{sol}(\mu.\pi)$  με την  $Q_{sol}(\chi.\pi)$  ταυτίζονται, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα .

Τις υπόλοιπες ώρες κάθε μέρας όμως, η  $Q_{sol}(\mu.π)$  είναι πολύ μικρότερη από την  $Q_{sol}(\chi.π)$ , και σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρείται ακόμα και ο υποδιπλασιασμός της θερμότητας που εισέρχεται στο δωμάτιο από τον ήλιο

Η διαφορά αυτή, όπως θα δειχθεί στο κεφάλαιο 6 και 7, έχει άμεση επιρροή τόσο στην εκτιμώμενη θερμοκρασία του δωματίου κατά την διάρκεια της εβδομάδας όσο και στην βελτίωση της απόδοσης του κλιματιστικού κατά την λειτουργία του.

## Κεφάλαιο 5

### Εσωτερικές Πηγές Θερμότητας.

Εκτός από την επίδραση του περιβάλλοντος, σημαντικό ρόλο στην θερμοκρασία του δωματίου έχουν και οι εσωτερικές πηγές θερμότητας. Ως τέτοιες θεωρούνται όλες οι ηλεκτρικές συσκευές που βρίσκονται μέσα στο δωμάτιο και λειτουργούν κατά την διάρκεια της ημέρας. Επίσης ο άνθρωπος, κατά την παρουσία του στο δωμάτιο, προσδίδει θερμότητα στον χώρο και συνυπολογίζεται ως εσωτερική πηγή θερμότητας.

#### 5.1 Περιγραφή Των Εσωτερικών Πηγών Θερμότητας

Στο χώρο του δωματίου βρίσκεται ένας προσωπικός ηλεκτρονικός υπολογιστής (PC) ηλεκτρικής ισχύος 300W, ένα μόνιτορ ισχύος 100W, μια τηλεόραση ισχύος 50W, ένα κεντρικό φωτιστικό σώμα με λάμπα ισχύος 75W και ένα router ισχύος 10W. Τα παραπάνω παρουσιάζονται συνοπτικά στο πίνακα 5.1

Συσκευή	$\dot{q}(\text{W})$
Προσωπικός Υπολογιστής	300
Μόνιτορ	50
τηλεόραση	60
Φωτισμός	75
Router	10

**Πίνακας (5.1) :** Καταναλώσεις Ηλεκτρικών Συσκευών του Δωματίου

Το δωμάτιο που εξετάζεται είναι ένα τυπικό υπνοδωμάτιο, επομένως φιλοξενεί έναν άνθρωπο κατά μέσο όρο στην διάρκεια της ημέρας. Η θερμική ισχύς του ανθρώπου θεωρείται ίση με  $\dot{Q}_{man} = 60 \text{ (W)}$  [2].

Για τις υπόλοιπες ηλεκτρικές συσκευές από το [2], προκύπτει για κάθε μία συσκευή ξεχωριστά, ανάλογα με την κατανάλωσή τους οι τιμές του πίνακα (5.2), που παρουσιάζει την αντίστοιχη θερμότητα που εκλύεται από κάθε συσκευή σε (W)

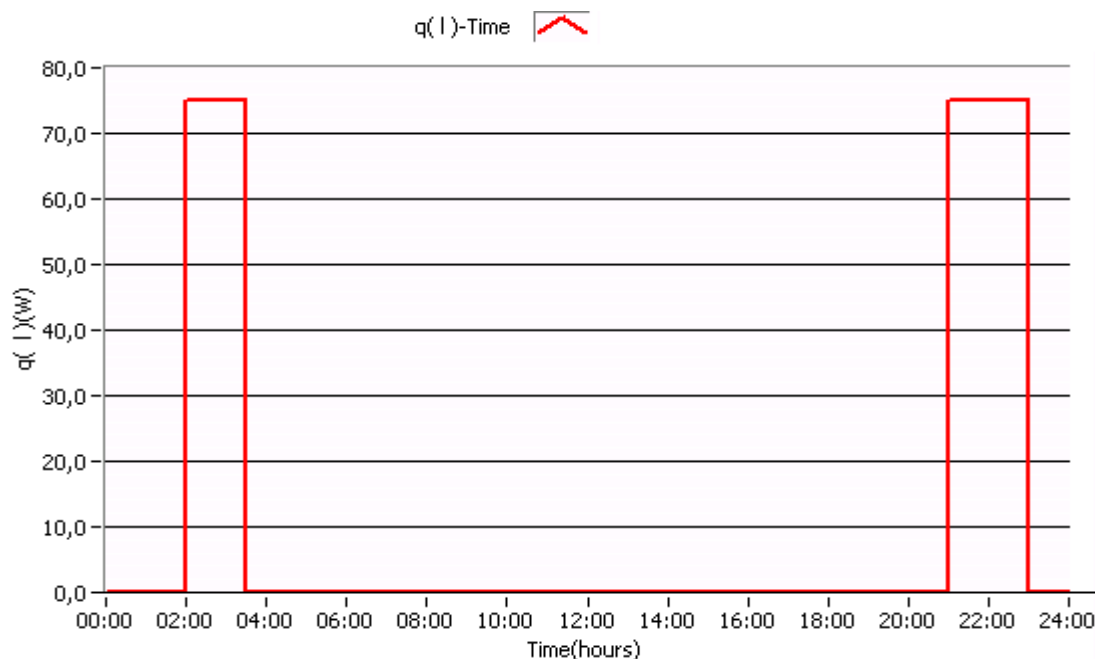
Συσκευή	$\dot{Q}$ (W)
Προσωπικός Υπολογιστής	60
Μόνιτορ	75
τηλεόραση	40
Φωτισμός	75
Router	10

Πίνακας 5.2: Εκλυόμενη θερμότητα στον χώρο

## 5.2 Ημερήσιες Καταναλώσεις Των Εσωτερικών Πηγών

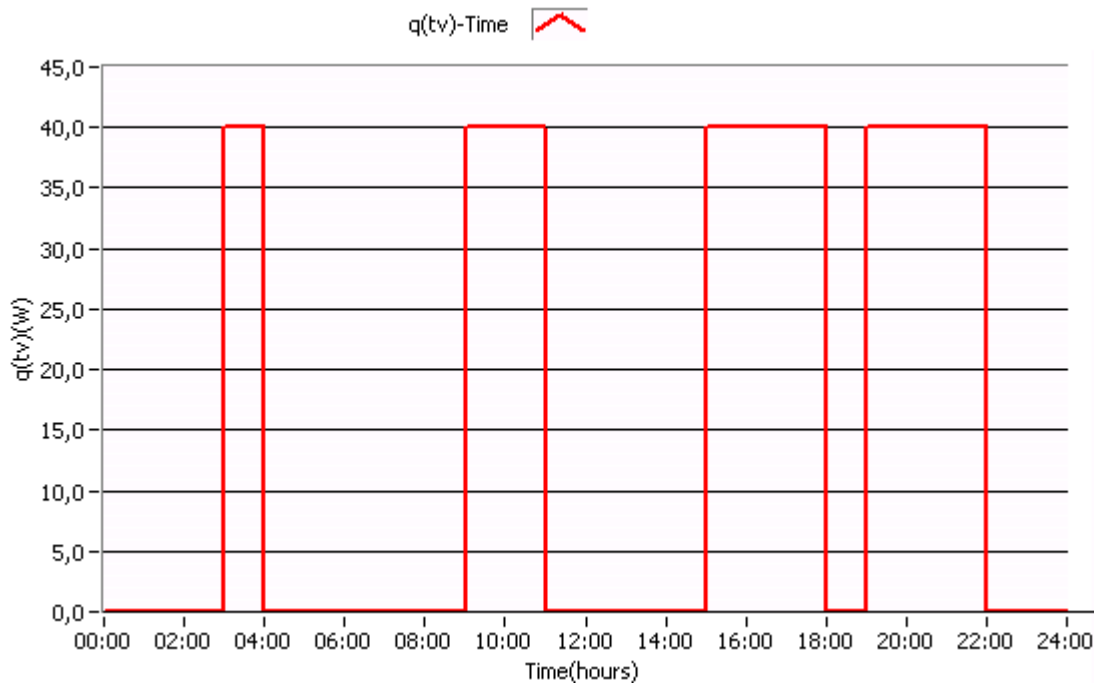
### Θερμότητας.

Εξίσου σημαντικό ρόλο στην θερμοκρασία του δωματίου, πέρα από την ισχύ των φορτίων, διαδραματίζει και η χρονική διάρκεια λειτουργίας αυτών κατά την διάρκεια της ημέρας. Για μία τυπική μέρα του Ιουλίου, στα διαγράμματα που ακολουθούν, παρουσιάζεται η ημερήσια κατανομή για κάθε ηλεκτρική συσκευή του δωματίου.



Εικόνα 5.1: Ημερήσια Κατανάλωση Φωτισμού  $\dot{q}_l$  (W).

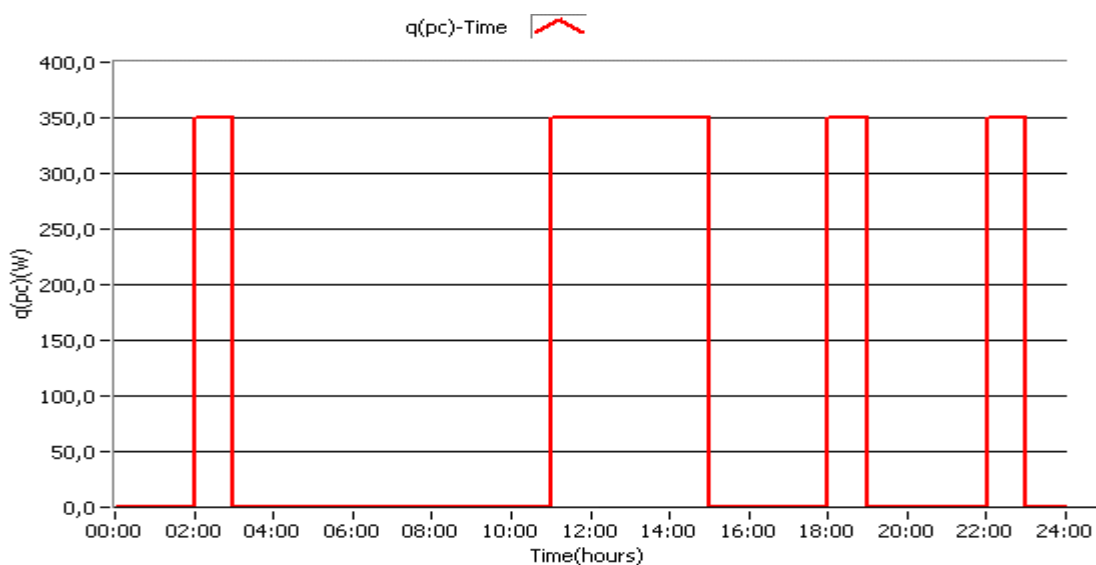
Το router ισχύος 10W είναι μόνιμως ανοιχτό, επομένως υπάρχει μια μόνιμη ηλεκτρική κατανάλωση  $\dot{q}_{router} = 10 \text{ (W)}$  για ολόκληρο το εικοσιτετράωρο.



**Εικόνα 5.2** Ημερήσια Κατανάλωση Τηλεόρασης  $\dot{q}_{tv}$  (W).

Το μόνιτορ παραμένει ανοιχτό μόνο όταν λειτουργεί ο ηλεκτρονικός υπολογιστής. Για τον λόγο αυτό, στην εικόνα 5.3 δίδεται το ενιαίο ημερήσιο διάγραμμά τους με :

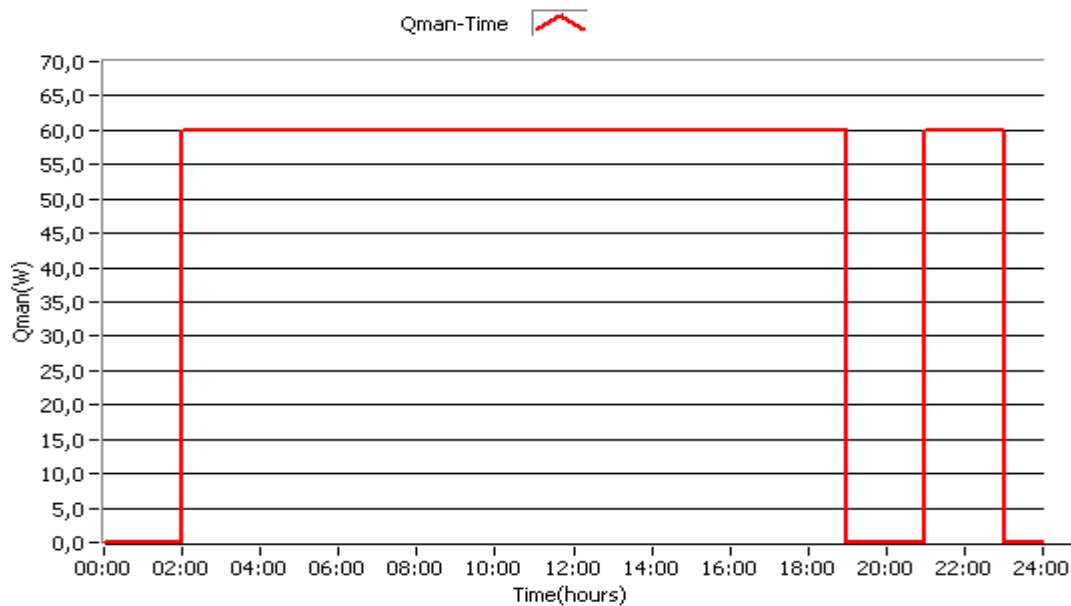
$$\dot{q}_{pc} = \dot{q}_{H/Y} + \dot{q}_{mon} = 300 \text{ (W)} + 50 \text{ (W)} = 350 \text{ W}.$$



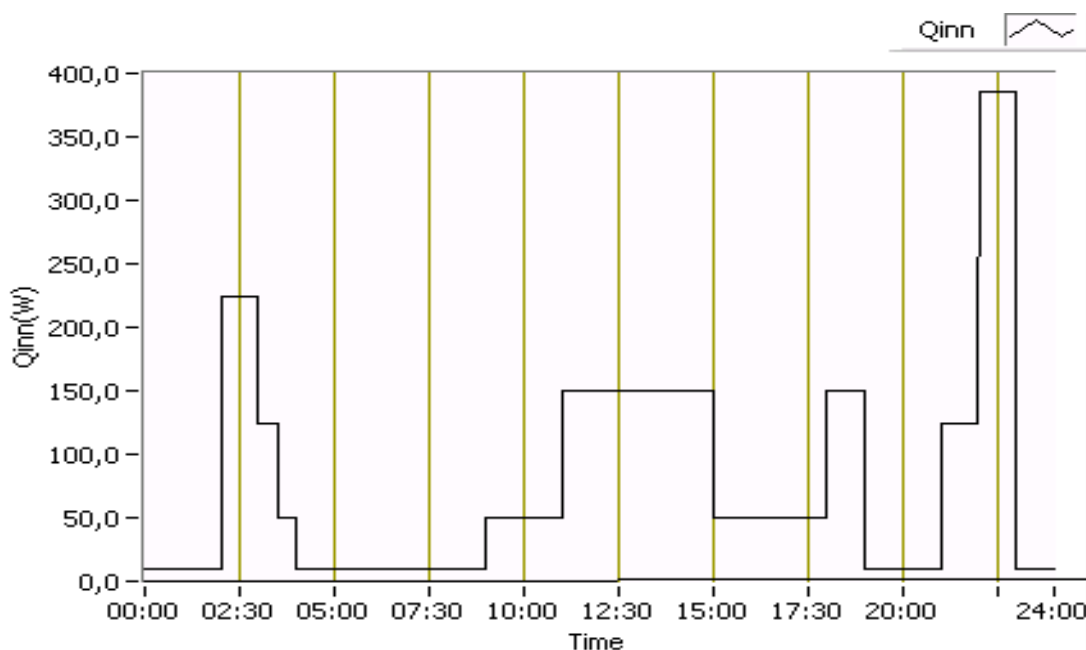
**Εικόνα 5.3** : Συνολική Ημερήσια Κατανάλωση Προσωπικού Η.Υ και της Οθόνης του.



Η παρουσία ή μη ανθρώπου στο δωμάτιο είναι κρίσιμη τόσο για την πρόγνωση της θερμοκρασίας, όσο και για την χρήση του κλιματιστικού, αφού λειτουργεί μόνο τις ώρες που βρίσκεται άνθρωπος στο δωμάτιο.



Επομένως, τις ώρες λειτουργίας κάθε συσκευής εκλύεται η αντίστοιχη θερμότητα στο δωμάτιο όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 5.2, και μαζί με την θερμότητα που εκλύει ο άνθρωπος αποτελούν την συνολική θερμότητα που εκλύεται στον χώρο του δωματίου από το εσωτερικό του  $\dot{Q}_{inn}$ , που απεικονίζεται στην εικόνα 5.4



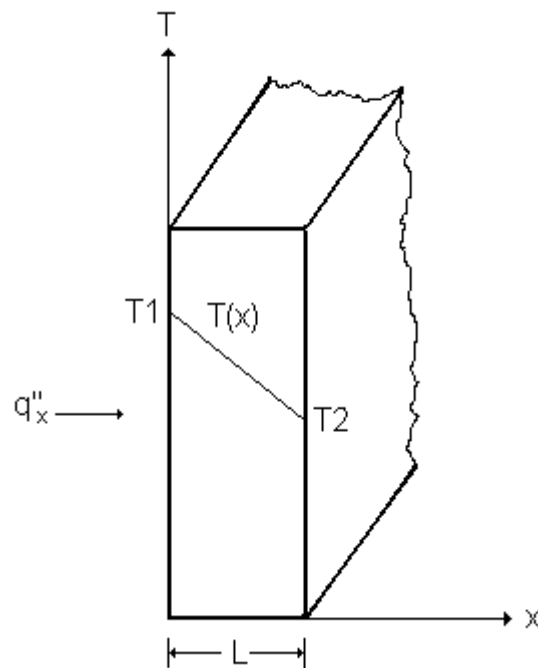
**Εικόνα 5.4 :** Συνολική μετάδοση θερμότητας στο δωμάτιο  
Από τις εσωτερικές πηγές θερμότητας.

## Κεφάλαιο 6

### Μετάδοση Θερμότητας μέσω των τοίχων

Είναι γνωστό από την θερμοδυναμική ότι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δύο χώρων στους οποίους παρεμβάλλεται κάποιο μέσο έχει ως αποτέλεσμα την μετάδοση θερμότητας από τον χώρο με την υψηλότερη θερμοκρασία προς εκείνον με την χαμηλότερη. Η θερμοκρασία του υπό εξέταση δωματίου διαφέρει τόσο από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος όσο και από την θερμοκρασία των υπόλοιπων δωματίων του διαμερίσματος. Επομένως, υπάρχει μετάδοση θερμότητας από και προς το δωμάτιο, μέσω των τοίχων, της οροφής και του δαπέδου εξαιτίας της συγκεκριμένης διαφοράς, και οι μηχανισμοί με τους οποίους αυτή συντελείται περιγράφεται ακολούθως.

#### 6.1 Μετάδοση θερμότητας με επαφή (conduction).



**Εικόνα 6.1:** Μετάδοση θερμότητας διά επαφής  
Σε επίπεδο τοίχο

Στην εικόνα ,παρουσιάζεται ένας επίπεδος τοίχος, με συνολικό εμβαδόν A, τα άκρα του οποίου, κατά τον άξονα των x, έχουν διαφορετική θερμοκρασία T1 για x=0 και T2 για x=L (T1>T2), με L το πάχος του τοίχου.

Έχει αποδειχθεί, πως στην περίπτωση μονοδιάστατης μετάδοσης θερμότητας με επαφή κατά την διεύθυνση των x, η θερμική ροή δίδεται από τον νόμο του Fourier :

$$q''_x = -k \frac{dT}{dx} \quad (6.1)$$

Όπου:

$q''_x$  Η ροή θερμότητας (W/m<sup>2</sup>), Ορίζεται ως ο ρυθμός μεταβολής της ενέργειας που μεταδίδεται υπό μορφή θερμότητας κατά την διεύθυνση του x, ανά μονάδα επιφάνειας κάθετης στην διεύθυνση της μετάδοσης.

$k$  Ορίζεται ως η θερμική αγωγιμότητα (W/m·K). Είναι χαρακτηριστική ιδιότητα των υλικών , και οι τιμές για κάθε υλικό είναι καταγεγραμμένες σε πίνακες.

Το αρνητικό πρόσημο στην σχέση (6.1), υποδηλώνει πως η μετάδοση της θερμότητας γίνεται προς την κατεύθυνση μειούμενης θερμοκρασίας.

Σε περίπτωση που θεωρηθούν συνθήκες σταθερής κατάστασης, η θερμοκρασία στο εσωτερικό του τοίχου μεταβάλλεται γραμμικά και η θερμική ροή δίδεται από την σχέση :

$$q''_x = k \frac{T1-T2}{L} \quad (6.2)$$

Επομένως, η θερμότητα  $q'_x$  (W) που μεταφέρεται μέσω του τοίχου με επαφή, λόγω της συγκεκριμένης ΔT δίδεται από την σχέση (6.2)πολλαπλασιασμένη με το συνολικό εμβαδόν της επιφάνειας του τοίχου A. Άρα :

$$q'_x = \frac{k \cdot A}{L} (T1-T2) \quad \Leftrightarrow \quad q'_x = \frac{1}{\left(\frac{L}{k \cdot A}\right)} (T1-T2) \quad (6.3)$$

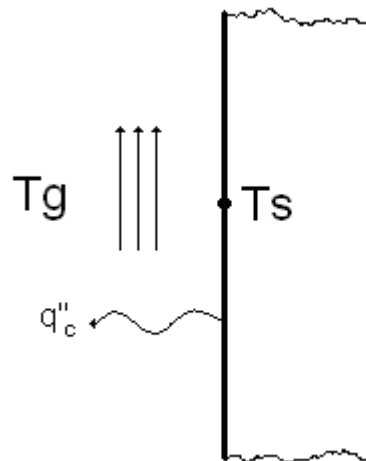
Σε αντιστοιχία με τον ηλεκτρισμό το μέγεθος  $R_x = \frac{L}{k \cdot A}$  (6.4) ορίζεται ως θερμική αντίσταση με διαστάσεις (K/W) και η σχέση (6.4) γίνεται ισοδύναμα :

$$q'_x = \frac{1}{R_x} (T1-T2) \quad (6.5)$$

Επομένως, ο υπολογισμός της ισοδύναμης θερμικής αντίστασης του τοίχου και η γνώση των διαφορετικών θερμοκρασιών των επιφανειών του, είναι αρκετά για τον υπολογισμό της θερμότητας που μεταδίδεται μέσω αυτού.

## 6.2 Μετάδοση θερμότητας με ρεύματα ρευστού πάνω σε στέρεα επιφάνεια με διαφορετική θερμοκρασία..

Θερμότητα μεταφέρεται όταν ρεύματα (αερίου ή υγρού) με θερμοκρασία  $T_g$  κινούνται πάνω σε μία στέρεα επιφάνεια με θερμοκρασία  $T_s$ .



**Εικόνα 6.2 :**Μετάδοση θερμότητας σε στερεά επιφάνεια  
Λόγω της κίνησης ρευμάτων ρευστού

Στην εικόνα , με βέλη παρουσιάζονται η κατεύθυνση των ρευμάτων του αερίου (ή υγρού) ενώ όταν  $T_s > T_g$  η κατεύθυνση στην οποία γίνεται η μεταφορά θερμότητας διακρίνεται όπως στο σχήμα. Η μεταφορά θερμότητας με ρεύματα, οφείλεται τόσο στην μετάδοση θερμότητας με επαφή των μορίων της στέρεας επιφάνειας και του αέριου (ή υγρού) μέσου, όσο και στην ίδια την μαζική κίνηση του μέσου.

Η θερμική ροή  $q_c''$  ( $W/m^2$ ) λόγω ρευμάτων περιγράφεται από τον νόμο του Newton για την ψύξη ως:

$$q_c'' = h \cdot (T_s - T_g) \quad (6.6)$$

Με το σύμβολο  $h$  ορίζεται ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας λόγω ρευμάτων, με μονάδες  $(W/m^2 \cdot K)$ . Δεν πρόκειται για κάποια θερμοδυναμική σταθερά, και η τιμή του εξαρτάται από τις συνθήκες που επικρατούν στο όριο της επαφής του μέσου με την στέρεα επιφάνεια, που επηρεάζονται από την γεωμετρία της επιφάνειας, από τις θερμοδυναμικές ιδιότητες του ρευστού μέσου και από την φύση της κίνησής του (δηλαδή αν η δεδομένη κίνηση γίνεται ελεύθερα ή με διάφορα τεχνητά μέσα όπως ανεμιστήρες, αντλίες κλπ).

Η συνολική θερμότητα  $q'_c$  (W) που μεταφέρεται μέσω ρευμάτων ρευστού στην επιφάνεια, προκύπτει από την θερμική ροή που περιγράφηκε πολλαπλασιασμένη με το συνολικό εμβαδόν της στερεάς επιφάνειας  $A_s$ . Επομένως :

$$q'_c = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_g) \quad \Leftrightarrow \quad q'_c = \frac{1}{\left(\frac{1}{h \cdot A_s}\right)} (T_s - T_g) \quad (6.7)$$

Το μέγεθος  $R_c = \frac{1}{h \cdot A_s}$ , σε αντιστοιχία με τον ηλεκτρισμό ορίζεται ως θερμική αντίσταση

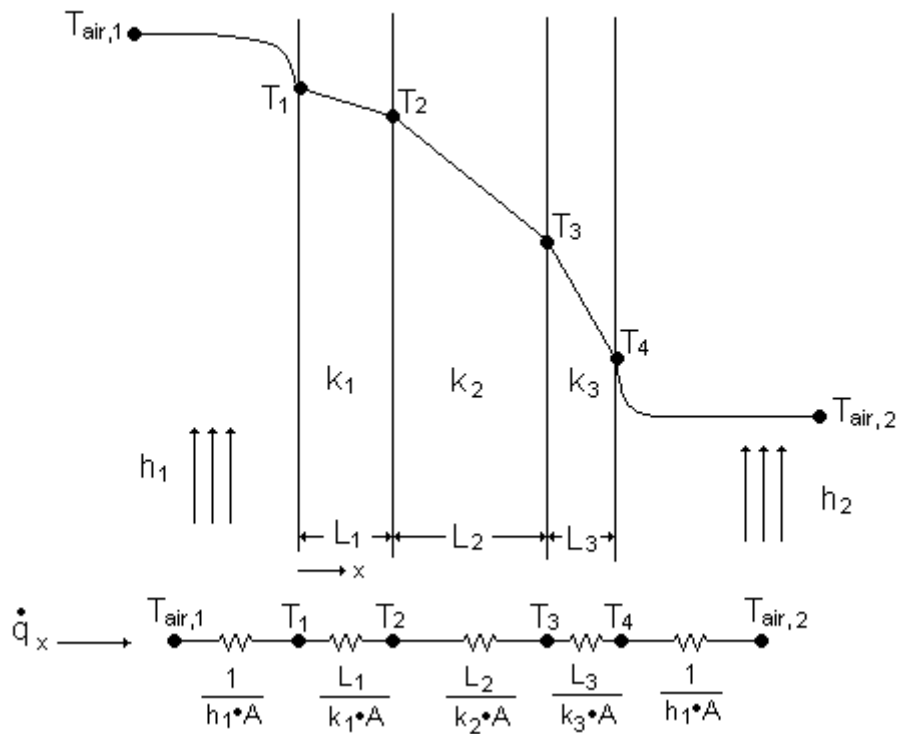
σε (K/W), και η σχέση (6.7) γίνεται ισοδύναμα :

$$q'_c = \frac{1}{R_c} (T_s - T_g) \quad (6.8)$$

### **6.3 Μετάδοση θερμότητας μέσω σύνθετου τοίχου**

Στις περισσότερες εφαρμογές, όπως ισχύει και στην περίπτωση που εξετάζεται, οι μετρήσεις των θερμοκρασιών αφορούν στην θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα, που "παίζει" τον ρόλο του ρευστού μέσου που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Ακόμα, είναι σύνηθες, το εσωτερικό των τοίχων να αποτελείται από περισσότερα από ένα υλικά, σε αντίθεση με την περίπτωση που εξετάστηκε στην μετάδοση θερμότητας με επαφή.

Μια τέτοια κατάσταση φαίνεται στην εικόνα (6.3), όπου παρουσιάζεται η τομή ενός τοίχου εμβαδού  $A$  που αποτελείται από τρία διαφορετικά υλικά με αντίστοιχα πάχη  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  και θερμικές αγωγιμότητες  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  αντίστοιχα. Στα δύο άκρα του τοίχου υπάρχει κινούμενος αέρας με  $T_{air,1} > T_{air,2}$  και αντίστοιχους συντελεστές μετάδοσης θερμότητας λόγω ροής αέρα  $h_1$  και  $h_2$ .



**Εικόνα 6.3:** Ισοδύναμο θερμικό κύκλωμα σύνθετου τοίχου

Εφόσον θεωρηθεί μονοδιάστατη μετάδοση θερμότητας λόγω επαφής και ρευμάτων αέρα κατά την διεύθυνση του  $x$ , οι θερμοκρασίες στο εσωτερικό του τοίχου μεταβάλλονται γραμμικά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, όπως φαίνεται στο ισοδύναμο θερμικό κύκλωμα, την συνολική μετάδοση θερμότητας μέσω του τοίχου να ισούται με :

$$\dot{q}_x = \frac{1}{R_{tot}} \cdot (T_{air,1} - T_{air,2})$$

$$\text{Με } R_{tot} = \frac{1}{h_1 \cdot A} + \frac{L_1}{k_1 \cdot A} + \frac{L_2}{k_2 \cdot A} + \frac{L_3}{k_3 \cdot A} + \frac{1}{h_2 \cdot A} \quad (6.9) \quad \text{σε (K/W).}$$

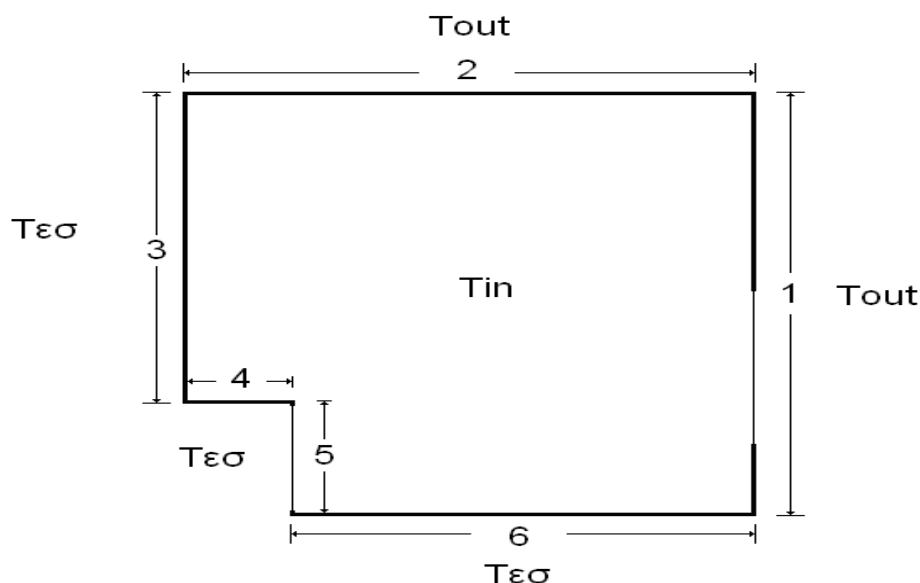
## 6.4 Θερμοδυναμικό μοντέλο του υπό εξέταση δωματίου.

Οι υπολογισμοί τόσο για την μετάδοση της θερμότητας προς το δωμάτιο από το περιβάλλον μέσω των τοίχων, όσο και για την πρόβλεψη της θερμοκρασίας του δωματίου που παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο, πραγματοποιούνται εφόσον έχουν ισχύουν οι ακόλουθες παραδοχές :

- Θεωρείται μονοδιάστατη μετάδοση θερμότητας κατά την διεύθυνση που είναι κάθετη στους τοίχους, το δάπεδο και την οροφή.
- Το θερμοδυναμικό σύστημα βρίσκεται σε συνθήκες σταθερής κατάστασης.
- Αγνοείται τυχόν υπάρχουσα αποθήκευση ενέργειας στους τοίχους.
- Οι θερμοκρασίες που εμπλέκονται στους υπολογισμούς έχουν ενιαία τιμή σε ολόκληρο τον χώρο ύπαρξής τους για κάθε χρονική στιγμή  $t$ .
- Η θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων, εκτός του υπό εξέταση δωματίου, θεωρείται σταθερή καθόλη την διάρκεια του εικοσιτετραώρου και ίση με  $T_{\epsilon\sigma}=298 \text{ }^{\circ}\text{K}$  ( $=25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ).
- Ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας λόγω των ρευμάτων αέρα για τους εσωτερικούς χώρους έχει τιμή ίση με  $h_{in}=8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . [4]
- Ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας λόγω των ρευμάτων αέρα για τους εξωτερικούς χώρους έχει τιμή ίση με  $h_{out}=25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . [4]

### **6.5 Συνολική μετάδοση θερμότητας στον υπό εξέταση χώρο λόγω διαφοράς θερμοκρασίας με το περιβάλλον.**

Στην εικόνα παρουσιάζεται η κάτοψη του δωματίου με τις θερμοκρασίες που επικρατούν στον χώρο.



**Εικόνα 6.4 :** Κάτοψη δωματίου- Επικρατούσες Θερμοκρασίες στον χώρο.

Οι τοίχοι του δωματίου έχουν αριθμηθεί για την διευκόλυνση των υπολογισμών, με τον τοίχο (1) να είναι ο νοτιοδυτικός εξωτερικός τοίχος, ο (2) ο βορειοανατολικός εξωτερικός τοίχος, ενώ (3)-(6) είναι οι εσωτερικοί τοίχοι του δωματίου.

Ως εξωτερική περιγράφεται κάθε επιφάνεια του δωματίου που βρίσκεται εν μέσω των θερμοκρασιών  $T_{in}$  και  $T_{out}$ , ενώ ως εσωτερική εκείνη που βρίσκεται εν μέσω θερμοκρασιών  $T_{in}$  και  $T_{es}$ .

Όπως έχει αναφερθεί, το δωμάτιο βρίσκεται στον τελευταίο όροφο τριώροφης πολυκατοικίας, επομένως η οροφή του βρίσκεται μεταξύ των θερμοκρασιών  $T_{out}$  και  $T_{in}$ , και θεωρείται εξωτερική επιφάνεια, ενώ το δάπεδο, που βρίσκεται μεταξύ των θερμοκρασιών  $T_{in}$  και  $T_{es}$  (που είναι η θερμοκρασία του διαμερίσματος του δεύτερου ορόφου) εσωτερική.

Η φορά μετάδοσης της θερμότητας, θεωρείται πως συντελείται προς το περιβάλλον, ουσιαστικά δηλαδή ( $T_{es} > T_{in}$ ) και ( $T_{out} > T_{in}$ ). Η σωστή φορά προκύπτει από την αλγεβρικά όταν γίνει ο υπολογισμός της  $T_{in}$ .

Επομένως, η θερμότητα που προσλαμβάνεται από το δωμάτιο, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας με το εξωτερικό περιβάλλον  $\dot{q}_{T_{out}}$  (W), δίδεται από την σχέση :

$$\dot{q}_{T_{out}} = \dot{q}_1 + \dot{q}_2 + \dot{q}_{roof} \quad (6.10)$$

$\dot{q}_1$  : Η θερμότητα από το εξωτερικό περιβάλλον στο δωμάτιο μέσω της επιφάνειας (1) ανά μονάδα χρόνου, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας  $T_{in}$  και  $T_{out}$ .

$\dot{q}_2$  : Η θερμότητα από το εξωτερικό περιβάλλον στο δωμάτιο μέσω της επιφάνειας (2) ανά μονάδα χρόνου, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας  $T_{in}$  και  $T_{out}$ .

$\dot{q}_{roof}$  : Η θερμότητα από το εξωτερικό περιβάλλον στο δωμάτιο μέσω της οροφής ανά μονάδα χρόνου, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας  $T_{in}$  και  $T_{out}$ .

Η σχέση (6.10), σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν για την μετάδοση θερμότητας μέσω σύνθετου τοίχου γίνεται :



$$\dot{q}_{T_{out}} = \frac{1}{R_1} \cdot (T_{out} - T_{in}) + \frac{1}{R_2} \cdot (T_{out} - T_{in}) + \frac{1}{R_{roof}} \cdot (T_{out} - T_{in}) \Leftrightarrow$$

$$\dot{q}_{T_{out}} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{roof}} \right) \cdot (T_{out} - T_{in}) \quad (6.11)$$

Με  $R_1$ ,  $R_2$  και  $R_{roof}$  οι αντίστοιχες θερμικές αντιστάσεις των τοίχων(1),(2) και της οροφής.

Η θερμότητα που εισέρχεται στο δωμάτιο από τους υπόλοιπους εσωτερικούς χώρους

$\dot{q}_{T_{\varepsilon\sigma}}$  (W), λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας  $T_{in}$  και  $T_{\varepsilon\sigma}$  είναι ίση με :

$$\dot{q}_{T_{\varepsilon\sigma}} = \dot{q}_3 + \dot{q}_4 + \dot{q}_5 + \dot{q}_6 + \dot{q}_{floor}$$

$\dot{q}_i$  : Η εισερχόμενη θερμότητα στο δωμάτιο από την επιφάνεια (i),  $i=3,4,5,6$ ,

$\dot{q}_{floor}$  : Η εισερχόμενη θερμότητα στο δωμάτιο από το δάπεδο.

Όμοια υπολογίζεται πως :

$$\dot{q}_{T_{\varepsilon\sigma}} = \left( \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_{floor}} \right) \cdot (T_{\varepsilon\sigma} - T_{in}) \quad (6.12)$$

Με  $R_i$  η αντίστοιχη θερμική αντίσταση του τοίχου (i) ( $i=3,4,5,6$ ) και  $R_{floor}$  την θερμική αντίσταση του δαπέδου.

Στο παράρτημα Α έχει γίνει ο αναλυτικός υπολογισμός των θερμικών αντιστάσεων και τα αποτελέσματα εμφανίζονται στον πίνακα .

Αντίσταση	(K/W)	Αντίσταση	(K/W)
$R_1$	0.0423	$R_3$	0.082
$R_2$	0.124	$R_4$	0.520
$R_{roof}$	0.211	$R_5$	0.230
$R_{floor}$	0.048	$R_6$	0.075

**Πίνακας 6.1 :** Θερμικές αντιστάσεις των επιφανειών του δωματίου.

## Κεφάλαιο 7

### Επίδραση της χρήσης περσίδων στην θερμοκρασία του δωματίου.

#### 7.1 Πρόβλεψη Της Θερμοκρασίας Του Δωματίου.

Το δωμάτιο από την πλευρά της θερμοδυναμικής θεωρείται κλειστό σύστημα, με τα όριά του την εξωτερική πλευρά των τοίχων. Για την πρόβλεψη της εσωτερικής θερμοκρασίας του δωματίου ακολουθείται μια διαδικασία που στηρίζεται στον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο, στην μορφή ρυθμών μεταβολής όπως περιγράφεται στα [3],[5] και παρουσιάζεται ακολούθως :

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} \quad (7.2)$$

Όπου :

$\frac{dE}{dt}$  : Ο ρυθμός μεταβολής της ενέργειας του συστήματος την χρονική στιγμή  $t$ .

$\dot{Q}$  : Ο ρυθμός μεταβολής της ενέργειας του μεταφέρεται στο σύστημα υπό μορφή θερμότητας την χρονική στιγμή  $t$ .

$\dot{W}$  : Ο ρυθμός μεταβολής του μηχανικού έργου που παράγεται από το σύστημα την χρονική στιγμή  $t$ .

Όσον αφορά την συνολική ενέργεια του συστήματος για κάθε χρονική στιγμή ισούται με:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{dPE}{dt} + \frac{dKE}{dt} + \frac{dU}{dt} \quad (7.3)$$

Όπου  $PE$  συμβολίζεται η δυναμική ενέργεια του συστήματος,  $KE$  η κινητική ενέργεια του συστήματος και  $U$  η εσωτερική ενέργεια. Θεωρώντας πως δεν υπάρχουν μεταβολές στην κινητική και δυναμική ενέργεια, δηλαδή  $dPE = dKE = 0$ , η σχέση (7.3) γίνεται:

$$\frac{dU}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} \quad (7.4)$$

Εφόσον το δωμάτιο είναι κλειστό σύστημα, η μάζα του αέρα που περικλείεται σε αυτό παραμένει σταθερή για κάθε χρονική στιγμή, επομένως ισχύει :

$$\frac{dU}{dt} = \frac{d(m \cdot u)}{dt} = m \cdot \frac{du}{dt} \quad (7.5)$$

όπου  $u$  η ειδική εσωτερική ενέργεια.

Σύμφωνα με τον κανόνα της αλυσίδας :

$$\frac{du}{dt} = \frac{du}{dT} \cdot \frac{dT}{dt} \quad (7.6)$$

Για την ειδική θερμότητα του αέρα  $c$  ισχύει ότι  $c = \frac{du}{dT}$  και η σχέση (7.6) γίνεται :

$$m \cdot c \cdot \frac{dT}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} \quad (7.7),$$

με  $T$  η εσωτερική θερμοκρασία του δωματίου.

Στο εσωτερικό του δωματίου θεωρείται ότι δεν υπάρχει παραγωγή ή κατανάλωση μηχανικού έργου, σύμφωνα και με τις καταναλώσεις που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο

(6). Επομένως, ισχύει ότι  $\dot{W} = 0$ , και τελικά από την σχέση (7,7) προκύπτει :

$$m \cdot c \cdot \frac{dT}{dt} = \dot{Q}, \quad (7.8)$$

που αποτελεί την εξίσωση της ισορροπίας του συστήματος που εξετάζεται.

Η συνολική θερμότητα του συστήματος την χρονική στιγμή  $n$  είναι ίση με :

$$\begin{aligned} \dot{Q} = & \sum_{i=1}^2 \frac{1}{R_i} \cdot (T_{out}^n - T_n^n) + \frac{1}{R_{roof}} \cdot (T_{out}^n - T_n^n) + \\ & + \sum_{j=3}^6 \frac{1}{R_j} \cdot (T_{\varepsilon\sigma}^n - T_n^n) + \frac{1}{R_{floor}} \cdot (T_{\varepsilon\sigma}^n - T_n^n) + \dot{Q}_{inn}^n + \dot{Q}_{sol}^n \end{aligned} \quad (7.9)$$

Όπου :

$\sum_{i=1}^2 \frac{1}{R_i} \cdot (T_{out}^n - T_n^n)$ : Ο ρυθμός μεταβολής της ενέργειας που μεταφέρεται στο σύστημα

από τους τοίχους (1) και (2), λόγω της μετάδοσης θερμότητας μέσω επαφής και ρευμάτων αέρα, εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας  $T_{out}$  και  $T_{in}$ , την χρονική στιγμή  $n$ .

$\frac{1}{R_{roof}} \cdot (T_{out}^n - T_n^n)$  : Ο ρυθμός μεταβολής της ενέργειας που μεταφέρεται στο σύστημα

από την οροφή , λόγω της μετάδοσης θερμότητας μέσω επαφής και ρευμάτων αέρα, εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας  $T_{out}$  και  $T_n$ , την χρονική στιγμή  $n$ .

$\sum_{j=3}^6 \frac{1}{R_j} \cdot (T_{\varepsilon\sigma}^n - T_n^n)$  : Ο ρυθμός μεταβολής της ενέργειας που μεταφέρεται στο σύστημα

από τους τοίχους (3), (4), (5) και (6) λόγω της μετάδοσης θερμότητας μέσω επαφής και ρευμάτων αέρα, εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας  $T_{out}$  και  $T_n$ , την χρονική στιγμή  $n$ .

$\frac{1}{R_{floor}} \cdot (T_{\varepsilon\sigma}^n - T_n^n)$  : Ο ρυθμός μεταβολής της ενέργειας που μεταφέρεται στο σύστημα

από το δάπεδο, λόγω της μετάδοσης θερμότητας μέσω επαφής και ρευμάτων αέρα, εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας  $T_{out}$  και  $T_n$ , την χρονική στιγμή  $n$ .

$\dot{Q}_{el}^n$  : Ο ρυθμός μεταβολής της θερμότητας που μεταφέρεται στο σύστημα, λόγω μετάδοσης της θερμότητας μέσω ακτινοβολίας, εξαιτίας των εσωτερικών πηγών θερμότητας, την χρονική στιγμή  $n$ .

$\dot{Q}_{inn}^n$  : Ο ρυθμός μεταβολής της ενέργειας που μεταφέρεται στο σύστημα, λόγω μετάδοσης της θερμότητας μέσω ακτινοβολίας, εξαιτίας των εσωτερικών πηγών θερμότητας, την χρονική στιγμή  $n$ .

$\dot{Q}_{sol}^n$  : Ο ρυθμός μεταβολής της ενέργειας που μεταφέρεται στο σύστημα, λόγω μετάδοσης της θερμότητας μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, την χρονική στιγμή  $n$ .

Ενώ στο πρώτο μέλος της εξίσωσης :

$\frac{dT}{dt} \equiv \frac{d\bar{T}_{in}}{dt}$  : Ο ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του δωματίου κατά

τη χρονική στιγμή  $n$ , και η εξίσωση (7.8) γίνεται :

$$m \cdot c \cdot \frac{d\bar{T}_{in}}{dt} = \sum_{i=1}^2 \frac{1}{R_i} \cdot (T_{out}^n - T_n^n) + \frac{1}{R_{roof}} \cdot (T_{out}^n - T_n^n) + \sum_{j=3}^6 \frac{1}{R_j} \cdot (T_{\varepsilon\sigma}^n - T_n^n) + \frac{1}{R_{floor}} \cdot (T_{\varepsilon\sigma}^n - T_n^n) + \dot{Q}_{inn}^n + \dot{Q}_{sol}^n \quad (7.9)$$

Από την επίλυση της διαφορικής εξίσωσης (7.9), τελικά προκύπτει η αναδρομική σχέση για την εσωτερική θερμοκρασία του δωματίου :

$$\begin{aligned}
 \dot{T}_{in}^{n+1} = \dot{T}_{in}^n \times e^{-\left[ \frac{\sum_{i=1}^2 \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_{roof}} + \sum_{j=3}^6 \frac{1}{R_j} + \frac{1}{R_{floor}} \right] \cdot t} + \\
 + \frac{\sum_{i=1}^2 \frac{1}{R_i} \cdot T_{out}^n + \frac{1}{R_{roof}} \cdot T_{out}^n + \sum_{j=3}^6 \frac{1}{R_j} \cdot T_{\varepsilon\sigma}^n + \frac{1}{R_{floor}} \cdot T_{\varepsilon\sigma}^n + \dot{Q}_{inn}^n + \dot{Q}_{sol}^n}{\sum_{i=1}^2 \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_{roof}} + \sum_{j=3}^6 \frac{1}{R_j} + \frac{1}{R_{floor}}} \times \\
 \times \left( 1 - e^{-\left[ \frac{\sum_{i=1}^2 \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_{roof}} + \sum_{j=3}^6 \frac{1}{R_j} + \frac{1}{R_{floor}} \right] \cdot t} \right)
 \end{aligned} \tag{7.10}$$

Τα παραπάνω ισχύουν υπό την προϋπόθεση ότι ισχύουν οι παραδοχές που έγιναν για την μετάδοση της θερμότητας, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας του στο συστήματος με τους περιβάλλοντες χώρους.

Η σχέση (7.10) αναδεικνύει το γεγονός ότι η θερμοκρασία του δωματίου - την χρονική στιγμή  $t_{n+1}$  -  $\dot{T}_{in}^{n+1}$ , εξαρτάται κατά ένα ποσοστό από την θερμοκρασία του δωματίου - την χρονική στιγμή  $t_n$  -  $\dot{T}_{in}^n$  και κατά ένα δεύτερο ποσοστό από τις θερμοκρασίες που επικρατούσαν στον χώρο κατά την χρονική στιγμή  $t_n$  και την θερμότητα που εισήχθη στο σύστημα κατά το χρονικό διάστημα  $t=t_{n+1}-t_n$ .

## 7.2 Αποτελέσματα Προσομοίωσης για την εβδομάδα

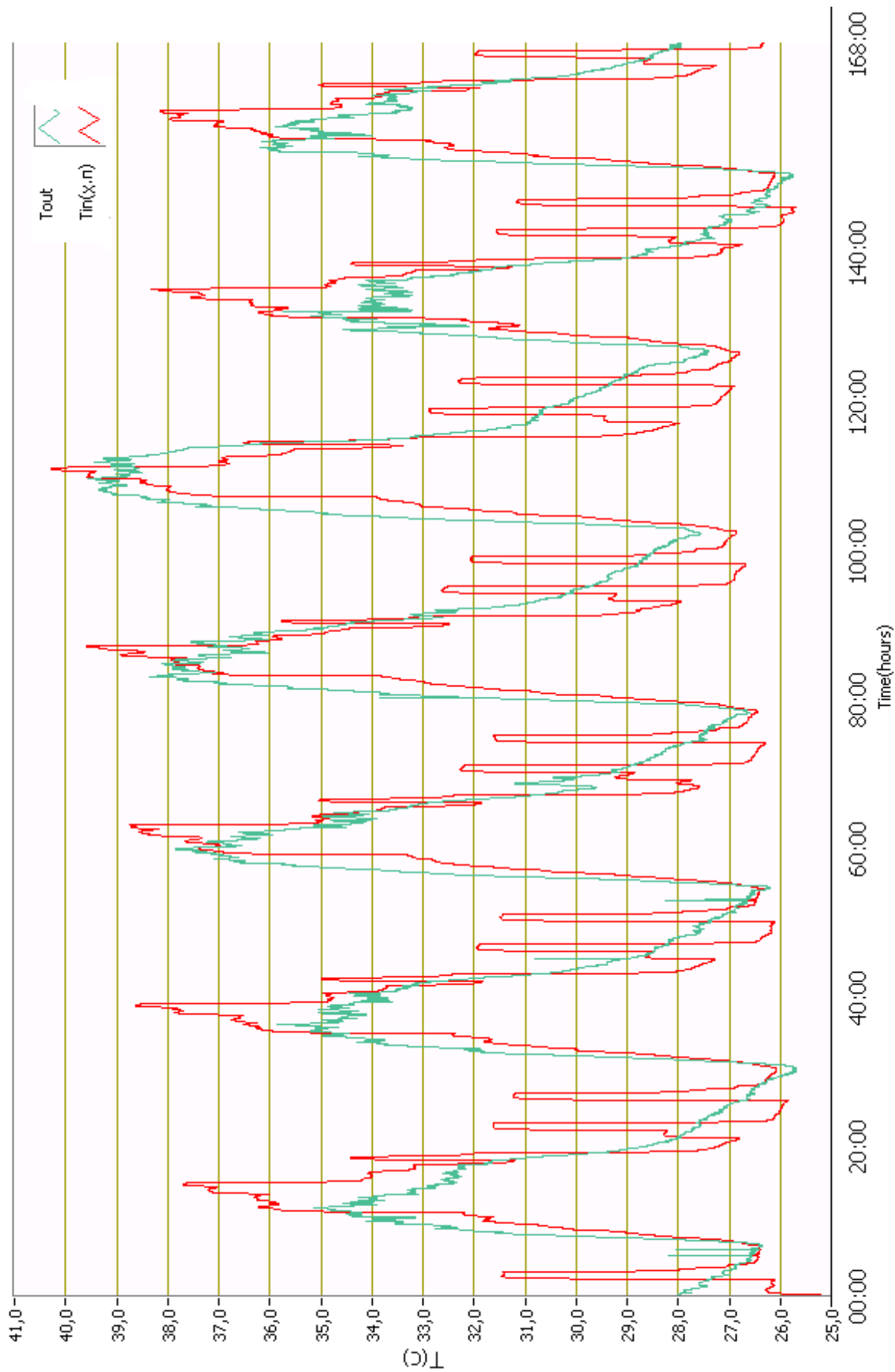
01/07/06 - 07/07/06

Οι μετρήσεις έχουν καταγραφεί από τον αισθητήρα που βρίσκεται στο κτίριο του Γέρακα Αττικής για την εβδομάδα 01/07/06-07/07/06, σε αρχείο excel. Η χρονική διαφορά μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων είναι  $t = 47 \text{ sec}$ . Όπως έχει διατυπωθεί, η θερμοκρασία των υπόλοιπων δωματίων του διαμερίσματος καθώς και του διαμερίσματος του δεύτερου ορόφου θεωρείται σταθερή και ίση με  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $T_{\text{εσ}} = 298 \text{ K}$ ). Για την έναρξη της αναδρομής ορίζονται ως αρχικές συνθήκες, στις 01/07/06 και ώρα 00:00, όπως στον πίνακα

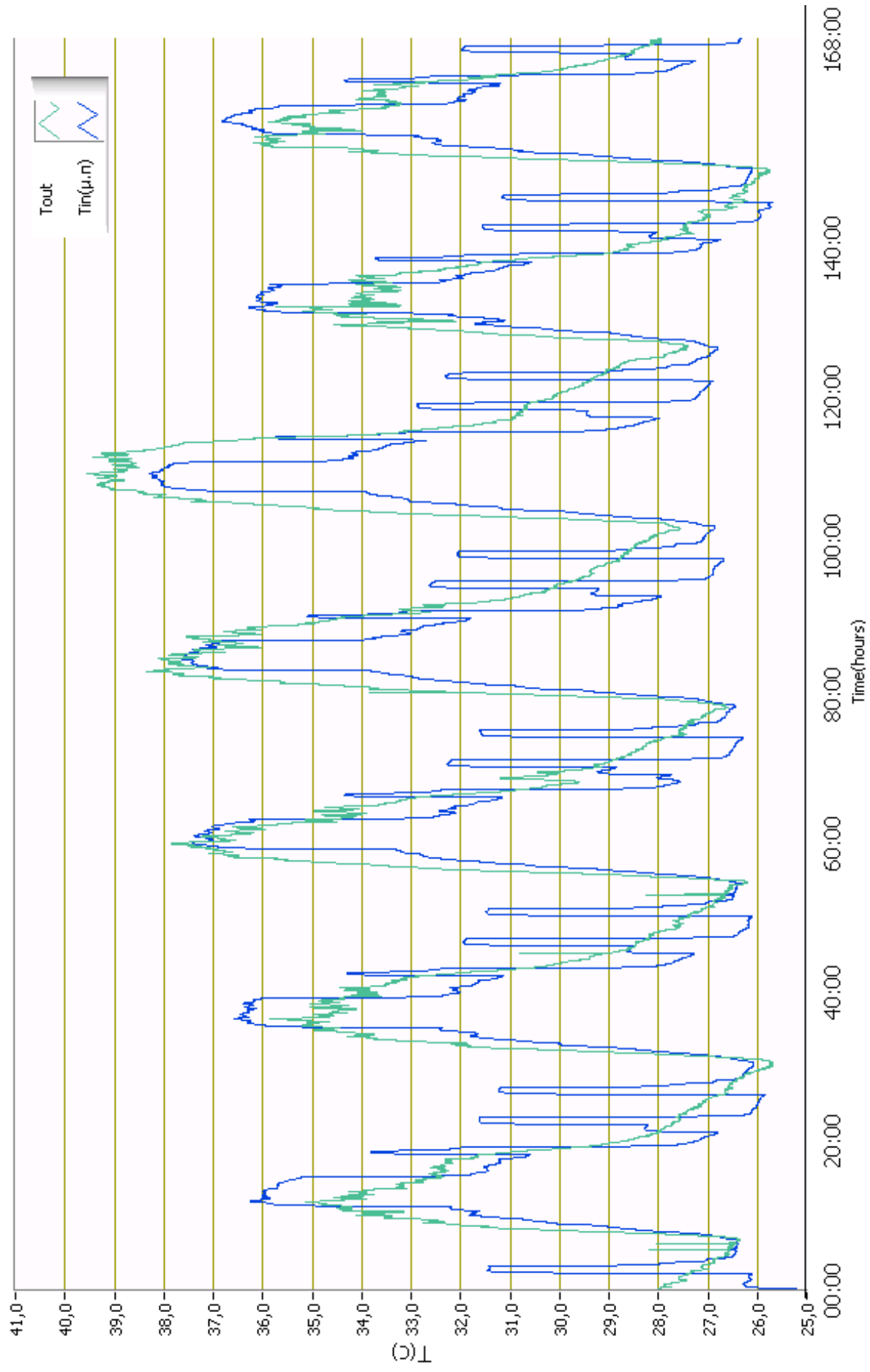
Αρχικές συνθήκες για την έναρξη της αναδρομής				
$T_{in}^0$	$T_{out}^0$	$T_{\text{εσ}}^0$	$\dot{Q}_{inn}^0$	$\dot{Q}_{sol}^0$
298 $^\circ\text{K}$	301 $^\circ\text{K}$	298 $^\circ\text{K}$	10 W	0 W

**Πίνακας 7.1:** Αρχικές συνθήκες για τις θερμοκρασίες στον χώρο και τις πηγές θερμότητας.

Πλέον όλοι οι όροι της (7.10) είναι γνωστοί, και οι προσομοίωση με την χρήση του λογισμικού Labview 7.1 τα αποτελέσματα για την εκτίμηση της θερμοκρασίας του δωματίου  $T_{in}$  χωρίς την χρήση των αυτόματα ελεγχόμενων περσίδων παρουσιάζονται στην εικόνα . Κατά τις απογευματινές ώρες, όπου τόσο η θερμότητα που απορροφάται από τον ήλιο ( $\dot{Q}_{sol}$ ) όσο και οι εσωτερικές θερμότητες έχουν μέγιστη τιμή, η  $T_{in}$  αναμένεται να είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος  $T_{out}$ . Ακόμα γίνεται αντιληπτό το γεγονός της εξάρτησης της  $T_{in}$  με την  $T_{out}$ , αφού μία γραφική “ακολουθεί” την άλλη.



**Εικόνα 7.1 :**  $T_{out}$  : Εβδομαδιαία μετρούμενη εξωτερική θερμοκρασία ( °C )  
 $T_{in}(χ,π)$  : Εβδομαδιαία εκτιμώμενη εσωτερική θερμοκρασία του δωματίου ( °C ), χωρίς την  
 Χρήση των αυτόματα ελεγχόμενων περσίδων.



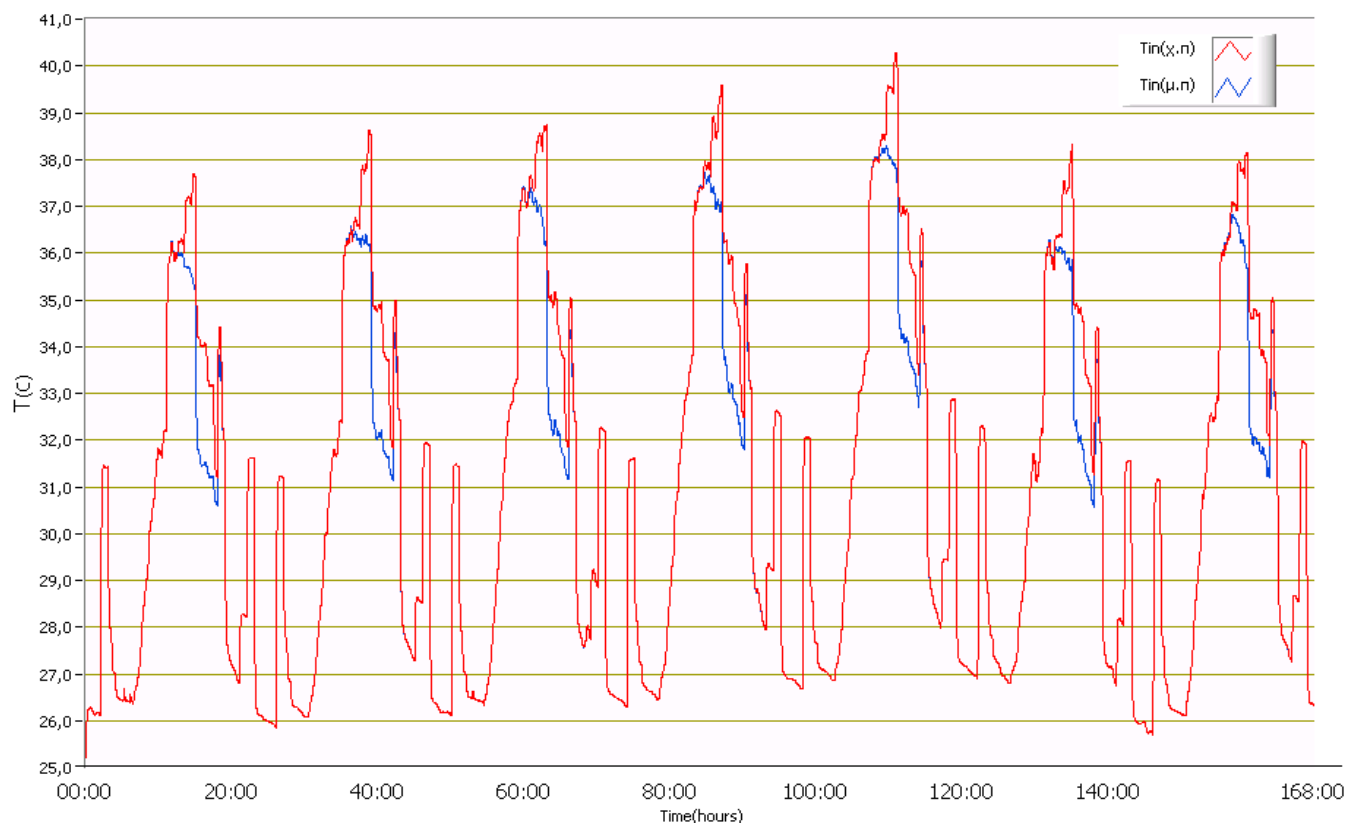
**Εικόνα 7.2:**  $T_{out}$  : Εβδομαδιαία μετρούμενη εξωτερική θερμοκρασία ( °C )  
 $T_{in}(\mu.n)$  : Εβδομαδιαία εκτιμώμενη εσωτερική θερμοκρασία του δωματίου ( °C ), με την χρήση των αυτόματα ελεγχόμενων περσίδων.



Στην εικόνα παρουσιάζεται η προσομοίωση για την εσωτερική θερμοκρασία, με τις αυτόματα ελεγχόμενες περσίδες σε λειτουργία, καθώς και η εβδομαδιαία Tout σε αντιπαράθεση. Η ενεργοποίηση των περσίδων επιφέρει αποτέλεσμα στην θερμότητα που μεταφέρεται στο δωμάτιο από τον ήλιο, και συγκεκριμένα την μειώνει από  $\left(\dot{Q}_{sol}\right)$  σε  $\left(\dot{Q}_{sol_{g.p}}\right)$ , όπως αυτές υπολογίστηκαν.

Καθώς η εκτιμώμενη θερμοκρασία του δωματίου εξακολουθεί να έχει παρόμοια μονοτονία με την εξωτερική θερμοκρασία, η μείωση αυτή έχει ανάλογο αποτέλεσμα στην εκτιμώμενη Tin όπως γίνεται αντιληπτό από την εικόνα, αφού παρατηρείται αισθητή μείωση της Tin ειδικά κατά τις ώρες της μέγιστης απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας.

Με Tin(χ.π) και Tin(μ.π) παρουσιάζονται στην εικόνα η εκτιμώμενη θερμοκρασία του δωματίου χωρίς την χρήση των περσίδων και με την χρήση αυτών αντίστοιχα, σε αντιπαράβολή.



**Εικόνα 7.3:** Εκτιμώμενη εβδομαδιαία Θερμοκρασία του δωματίου  
Με την χρήση περσίδων Tin(μ.π) και χωρίς Tin(χ.π)

Όπως γίνεται αντιληπτό από την εικόνα , η χρήση των αυτόματα ελεγχόμενων περσίδων, είναι ικανή να επιφέρει από μόνη της μια μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας ακόμα και ως 3 °C, κατά την διάρκεια της ηλιοφάνειας. Τις υπόλοιπες ώρες της ημέρας οι δύο εκτιμήσεις για την Tin δίνουν ταυτόσημα αποτελέσματα, όπως ήταν αναμενόμενο.

Οι απότομες μεταβολές στην τιμή της προβλεπόμενης θερμοκρασίας που παρουσιάζονται στα προηγούμενα διαγράμματα, κατά την στιγμή υψηλής μεταβολής στις καταναλώσεις, οφείλονται στις παραδοχές που έχουν υιοθετηθεί στο συγκεκριμένο μοντέλο, με κυριότερες την αγνόηση των μεταβατικών φαινομένων και την θεώρηση της μη αποθήκευσης ενέργειας στους τοίχους του δωματίου.

## Κεφάλαιο 8

### Επίδραση των περσίδων στην κατανάλωση του κλιματιστικού.

#### 8.1 Πρόβλεψη θερμοκρασίας δωματίου με τη χρήση κλιματιστικού

Για την ψύξη του δωματίου κατά τους θερινούς μήνες, είναι εγκατεστημένο ένα κλιματιστικό με ψυκτική ικανότητα  $Q_{cap} = 2,63 \text{ kW}$  ( $=9000 \text{ Btu/h}$ ) και καταναλισκόμενη (ηλεκτρική) ισχύ  $650 \text{ W}$ , όταν η εξωτερική θερμοκρασία ισούται με  $35^\circ\text{C}$  ενώ η εσωτερική  $27^\circ\text{C}$ . Το κλιματιστικό είναι μια αντλία θερμότητας, δηλαδή αποβάλλει θερμότητα από έναν ψυχρό χώρο προς ένα θερμό, καταναλώνοντας έργο. Επομένως, όταν το κλιματιστικό είναι σε λειτουργία, ο ρυθμός μεταβολής της ενέργειας που αποβάλλεται από το εσωτερικό του δωματίου υπό μορφή θερμότητας την χρονική στιγμή  $t$ , ισούται με την ψυκτική ικανότητα του κλιματιστικού  $|Q_{cap}| = 2630 \text{ W}$ .

Το κλιματιστικό λειτουργεί τις ώρες παρουσίας ανθρώπου στο υπό εξέταση δωμάτιο, με στόχο την διατήρηση της θερμοκρασίας του δωματίου  $T_{in}$  με επιθυμητή θερμοκρασία τους  $25^\circ\text{C}$ .

Η συνολική θερμότητα που εισέρχεται στο δωμάτιο, παρουσία του κλιματιστικού, την χρονική στιγμή  $t_n$  επομένως είναι :

$$\begin{aligned} \dot{Q} = & \sum_{i=1}^2 \frac{1}{R_i} \cdot (T_{out}^n - T_n^n) + \frac{1}{R_{roof}} \cdot (T_{out}^n - T_n^n) + \\ & + \sum_{j=3}^6 \frac{1}{R_j} \cdot (T_{\varepsilon\sigma}^n - T_n^n) + \frac{1}{R_{floor}} \cdot (T_{\varepsilon\sigma}^n - T_n^n) + \dot{Q}_{inn}^n + \dot{Q}_{sol}^n - \dot{Q}_{cap}^n \end{aligned}$$

#### **(8.1)**

Με τους όρους όπως έχουν οριστεί και υπολογιστεί στην προηγούμενη παράγραφο, ενώ  $\dot{Q}_{cap}^n$  (W) η θερμότητα που αποβάλλεται εξαιτίας του κλιματιστικού ίση με την ψυκτική του ικανότητα.

Επομένως, η επίλυση της διαφορικής εξίσωσης  $m \cdot c \cdot \frac{dT}{dt} = \dot{Q}$ , δίδεται από την

εξίσωση

(8.2).

$$\begin{aligned}
 T_{in}^{n+1} = T_{in}^n \times e^{-\left[ \frac{\sum_{i=1}^2 \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_{roof}} + \sum_{j=3}^6 \frac{1}{R_j} + \frac{1}{R_{floor}} \right]_t \cdot mc} + \\
 + \frac{\sum_{i=1}^2 \frac{1}{R_i} \cdot T_{out}^n + \frac{1}{R_{roof}} \cdot T_{out}^n + \sum_{j=3}^6 \frac{1}{R_j} \cdot T_{\varepsilon\sigma}^n + \frac{1}{R_{floor}} \cdot T_{\varepsilon\sigma}^n + \dot{Q}_{inn}^n + \dot{Q}_{sol}^n - \dot{Q}_c^n}{\sum_{i=1}^2 \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_{roof}} + \sum_{j=3}^6 \frac{1}{R_j} + \frac{1}{R_{floor}}} \times \\
 \times \left( 1 - e^{-\left[ \frac{\sum_{i=1}^2 \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_{roof}} + \sum_{j=3}^6 \frac{1}{R_j} + \frac{1}{R_{floor}} \right]_t \cdot mc} \right)
 \end{aligned} \tag{8.2}$$

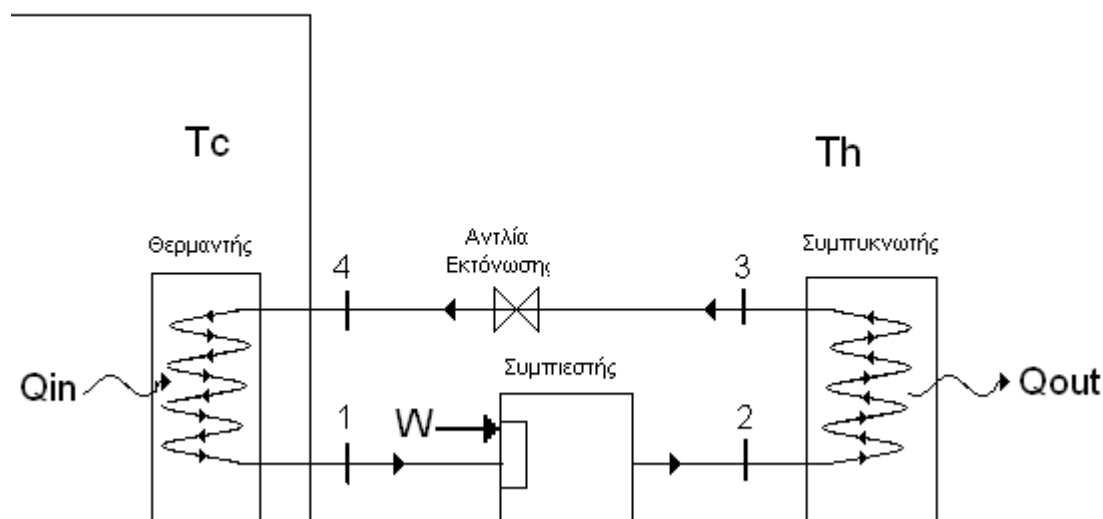
## 8.2 Υπολογισμός Της Κατανάλωσης του κλιματιστικού.

Το κλιματιστικό είναι αντλία θερμότητας σε λειτουργία ψύξης. Καταναλώνει ηλεκτρική ισχύ για να μεταφέρει ένα ποσό θερμότητας  $Q_c$  από ένα ψυχρότερο χώρο με θερμοκρασία  $T_c$  προς ένα θερμότερο με θερμοκρασία  $T_H$  ( $T_H > T_c$ ). Για τον υπολογισμό της καταναλισκόμενης ενέργειας είναι απαραίτητη η γνώση της τιμής του βαθμού απόδοσης, που περιγράφεται και υπολογίζεται ακολούθως.

### 8.3 Βαθμός Απόδοσης Κλιματιστικού σε λειτουργία ψύξης

#### (COP<sub>cool</sub>)

Στην εικόνα (8.1) παρουσιάζεται ο θερμοδυναμικός κύκλος που εκτελεί το ψυκτικό μέσο του κλιματιστικού κατά την λειτουργία του.



**Εικόνα 8.1 :** Θερμοδυναμικός κύκλος Αντλίας Θερμότητας.

Ακολουθεί η ανάλυση των επιμέρους μεταβολών ξεκινώντας από την κατάσταση 4:

**Μεταβολή 1-4 :** Το ψυκτικό μέσο του κλιματιστικού εισέρχεται στον θερμαντή σε θερμοκρασία  $T_c' < T_c$  σε μείγμα υγρής και αέριας κατάστασης. Ένα μέρος του υγρού αλλάζει κατάσταση από υγρή σε αέρια μέσα στον θερμαντήρα, λόγω της μετάδοσης θερμότητας  $\dot{Q}_{in}$ , λόγω επαφής που οφείλεται στην διαφορά θερμοκρασίας του δωματίου και του μέσου. Ακολούθως, εξέρχεται από τον θερμαντήρα σε θερμοκρασία  $T_c$ .

**Μεταβολή 1-2 :** Προσδίδεται (ηλεκτρική) ισχύς  $\dot{W}_c$  στον συμπιεστή, με αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης του μέσου και της θερμοκρασίας του σε  $T_H$  κατά την έξοδο από τον συμπιεστή (κατάσταση 2). Το ψυκτικό μέσο εξέρχεται από τον συμπιεστή σε κατάσταση υπέρθερμου ατμού.

**Μεταβολή 2-3 :** Το ψυκτικό μέσο εισέρχεται σε μορφή υπέρθερμου ατμού στον συμπυκνωτή, και ένα μέρος του υγροποιείται λόγω της μετάδοσης θερμότητας από το ψυκτικό μέσο με θερμοκρασία  $T_H$  στο εξωτερικό περιβάλλον που έχει

θερμοκρασία  $T_H$ . Η πίεση και η θερμοκρασία παραμένουν σταθερές μέσα στο συμπυκνωτή.

**Μεταβολή 3-4** : Το ψυκτικό μέσο εισέρχεται στην αντλία εκτόνωσης σε μείγμα αέρις και υγρής κατάστασης από τον συμπυκνωτή. Μέσα στην αντλία εκτονώνεται και η θερμοκρασία του πέφτει πάλι στους  $T_C$ .

Ο βαθμός απόδοσης της αντλίας θερμότητας, όταν λειτουργεί για την ψύξη ενός χώρου ορίζεται ως το πηλίκο της θερμότητας που απορροφάται από τον ψυχρό χώρο διά την (ηλεκτρική) ισχύ που καταναλώθηκε στον συμπιεστή του κλιματιστικού :

$$COP_{cooling} = \frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{W}_c} \quad (8.3)$$

Όπως έχει αναφερθεί, κάθε χρονική στιγμή το κλιματιστικό έχει την δυνατότητα να απάγει ανά μονάδα χρόνου ίση με την ψυκτική του ικανότητα. Επομένως, ο συντελεστής απόδοσης του κλιματιστικού γίνεται ίσος με :

$$COP_{cooling} = \frac{\dot{Q}_{cap}}{\dot{W}_c} \quad (8.4)$$

Η θεωρητική μέγιστη απόδοση για μια αντλία θερμότητας, προκύπτει όταν το ψυκτικό μέσο διαγράφει τον θερμοδυναμικό κύκλο Carnot, δηλαδή όταν ακολουθεί τον κύκλο της εικόνας (), με όλες τις μεταβολές εσωτερικά αντιστρεπτές και τις μεταβολές 1-2 και 3-4 αδιαβατικές. Η απόδοση μιας αντλίας θερμότητας, της οποίας το ψυκτικό μέσο διαγράφει τον κύκλο Carnot μεταξύ των θερμοκρασιών  $T_C$  και  $T_H$  δίδεται από την σχέση:

$$COP_{Carnot} = \frac{T_C}{T_H - T_C} \quad (8.5).$$

Παρατηρείται λοιπόν, πως ο βαθμός απόδοσης Carnot, εξαρτάται αποκλειστικά από τις θερμοκρασίες  $T_C$  και  $T_H$ , μεταξύ των οποίων γίνονται όλες οι μεταβολές.

Ενώ ο βαθμός απόδοσης των πραγματικών αντλιών θερμότητας είναι πάντα μικρότερος από τον βαθμό απόδοσης Carnot, η μεταβολές μεταξύ των δύο συντελεστών, όταν μεταβάλλονται οι  $T_C$  και  $T_H$ , είναι ανάλογες.

## 8.4 Υπολογισμός Κατανάλωσης Κλιματιστικού

Για κάθε χρονική στιγμή  $t_n$  όπου το κλιματιστικό λειτουργεί, υπολογίζεται μέσω του

Labview ο βαθμός απόδοσης Carnot με  $T_C = T_{in}^n$  και  $T_H = T_{out}^n$  ως

$$COP_{Carnot}^n = \frac{T_{in}^n}{T_{out}^n - T_{in}^n} \quad (8.6).$$

Ο ονομαστικός συντελεστής απόδοσης του κλιματιστικού δίδεται ίσως με

$COP_{cooling}^{nom} = 4$  (εφόσον  $\dot{Q}_{in} = 2630W$  και  $\dot{W}_c^{nom} = 650W$ ) όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι ίση με  $35^\circ C$  και η εσωτερική  $27^\circ C$ .

Με άλλα λόγια, ισχύει ότι  $COP_{cooling}^{nom} = 4$  όταν  $COP_{Carnot}^{on} = 38.5$  (8.7), όπου  $COP_{Carnot}^{on}$  ο συντελεστής απόδοσης Carnot για λειτουργία στις ονομαστικές συνθήκες.

Επομένως, ο συντελεστής απόδοσης του κλιματιστικού την χρονική στιγμή  $t_n$  προκύπτει από τον συνδυασμό των (8.4), (8.6) και (8.7), ίσως με :

$$COP_{cooling}^n = COP_{cooling}^{nom} \cdot \frac{COP_{Carnot}^n}{COP_{Carnot}^{nom}} \Leftrightarrow \frac{\dot{Q}_{cap}}{\dot{W}_c^n} = \frac{\dot{Q}_{cap}}{\dot{W}_c^{nom}} \cdot \frac{COP_{Carnot}^n}{COP_{Carnot}^{nom}} \Leftrightarrow$$

$$\dot{W}_c^n = \dot{W}_c^{nom} \frac{COP_{Carnot}^n}{COP_{Carnot}^{nom}} \quad (8.8)$$

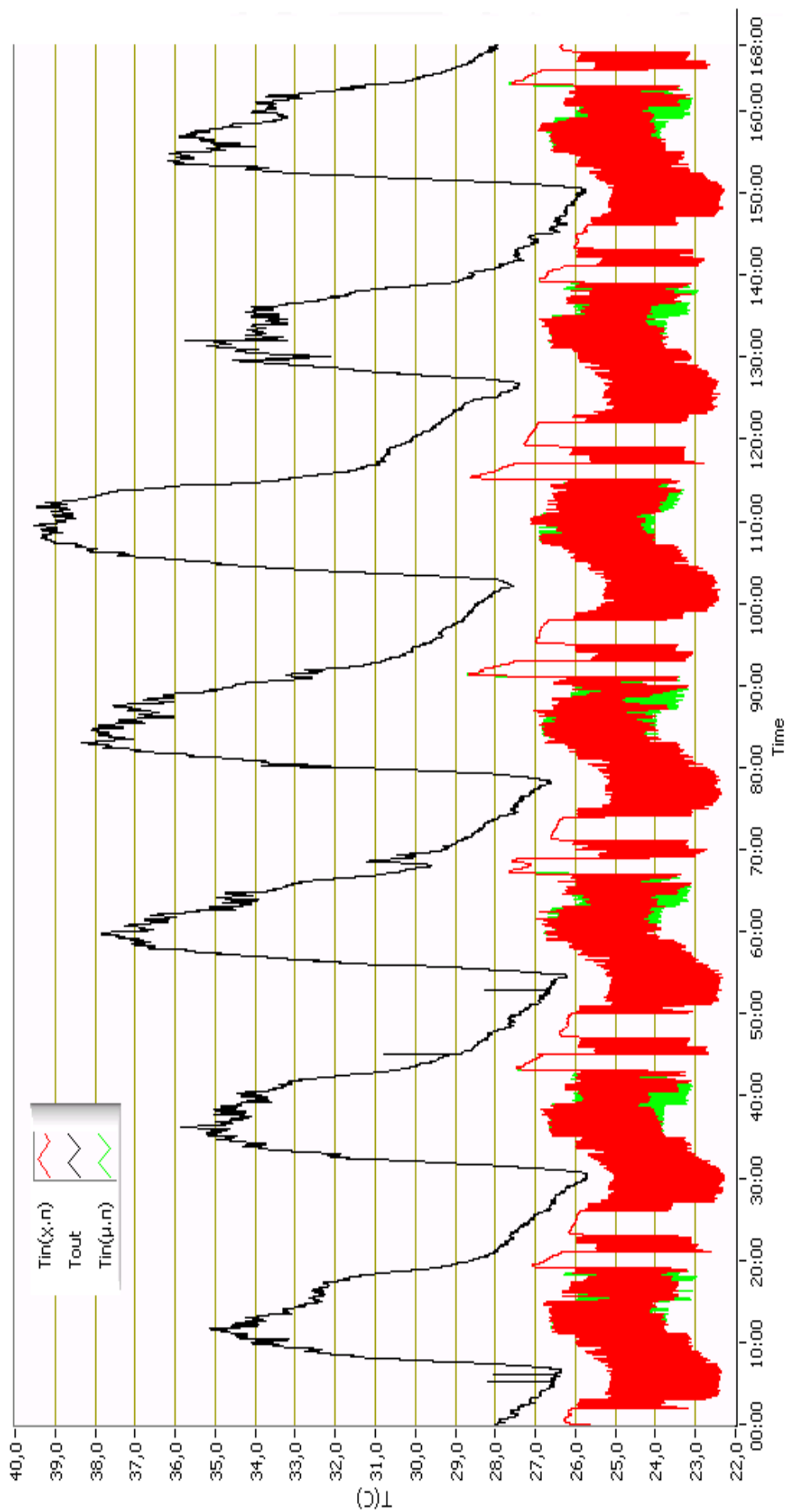
Αντικαθιστώντας στην σχέση (8.8) τις αριθμητικές τιμές για τα  $COP_{Carnot}^{nom} = 38.5$  και

$\dot{W}_c^{nom} = 650 W$  προκύπτει η καταναλισκόμενη ηλεκτρική ισχύς του κλιματιστικού για κάθε χρονική στιγμή  $t_n$ .

Η συνολική ενέργεια που καταναλώνεται εξαιτίας του κλιματιστικού, εφόσον η εκτιμώμενη θερμοκρασία υπολογίζεται ανά διαστήματα των  $t_n=47 \text{ sec}$ , προκύπτει από την ακόλουθη σχέση σε kWh :

$$E_{el} = \frac{47 \cdot \sum_{i=1}^n \dot{W}_c^n}{3600 \times 1000} \text{ kWh}.$$

Με την χρήση του λογισμικού Labview 7.1 γίνονται οι παραπάνω υπολογισμοί για την εκτιμώμενη θερμοκρασία του δωματίου και την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στις εικόνες (8.2) και (8.3),



**Εικόνα 8.2** Tout : Εβδομαδιαία μετρούμενη εξωτερική θερμοκρασία ( °C )  
 Tin(χ.π) : Εβδομαδιαία εκτιμώμενη εσωτερική θερμοκρασία του δωματίου ( °C ), χωρίς την  
 Χρήση των αυτόματα ελεγχόμενων περσίδων.



kWh(a/c) Χωρίς Περσίδες	kWh(a/c) Με Περσίδες	Εξοικονόμηση Ενέργειας(kWh)	Εξοικονόμηση Ενέργειας(%)
22,478	21,15	1,328	5,91

**Εικόνα 8.3:** Κατανάλωση κλιματιστικού

Από την εικόνα (8.2), παρατηρείται το φαινόμενο της σχεδόν άμεσης πτώσης της θερμοκρασίας του δωματίου. Αυτό συμβαίνει λόγω της υπόθεσης της μη αποθήκευσης ενέργειας από τους τοίχους του δωματίου και εξαιτίας των συνθηκών σταθερής κατάστασης που έχουν θεωρηθεί. Ακόμα, η μεγάλη διακύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας, τόσο με όσο και χωρίς την χρήση των περσίδων, αποτελεί ένδειξη πιθανής υπερδιαστασιολόγησης του κλιματιστικού για τον συγκεκριμένο χώρο.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του Labview για την κατανάλωση του κλιματιστικού παρουσιάζονται στην εικόνα (8.3). Όπως φαίνεται, με την χρήση των περσίδων αναμένεται μια εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 5,91%, ποσοστό που κρίνεται αρκετά ικανοποιητικό για την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου.

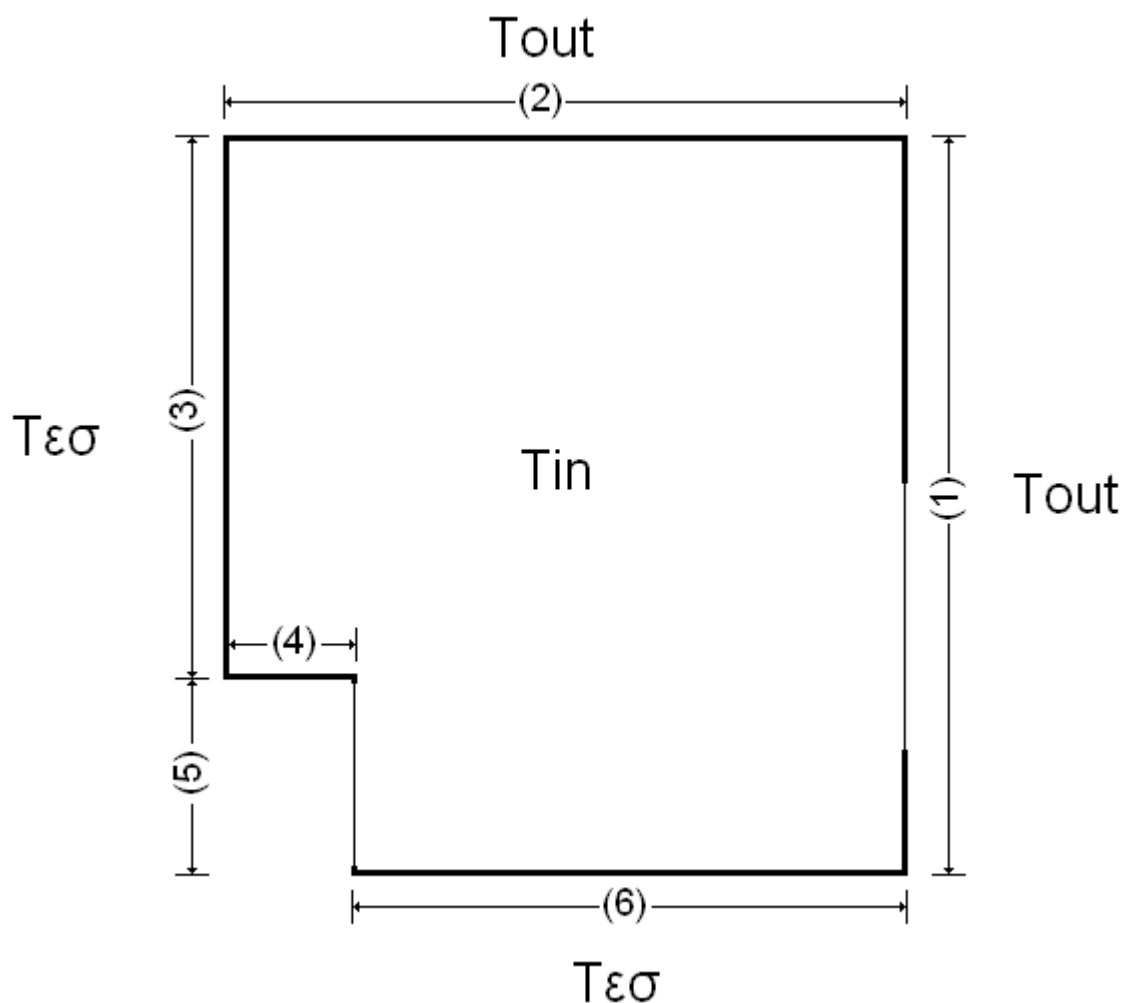
## **9 Συμπεράσματα**

Σε αυτήν την αναφορά παρουσιάστηκε η εξάρτηση της θερμοκρασίας ενός δωματίου από την ηλιακή ακτινοβολία. Διαπιστώθηκε ότι εφόσον χρησιμοποιηθούν αυτόματα ελεγχόμενες περσίδες εξωτερικού χώρου. οι οποίες “ακολουθώντας” την κίνηση του ήλιου και αποκόπτουν την άμεσα προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα την σε μεγάλο βαθμό μείωση της αναμενόμενης θερμοκρασίας του δωματίου όταν δεν λειτουργεί το κλιματιστικό. Από την άλλη, σε περίπτωση που χρησιμοποιείται ο κλιματισμός στον χώρο, είδαμε πως διαφορά θερμοκρασίας του δωματίου με και χωρίς την χρήση των περσίδων είναι μικρή, κάτι που ήταν αναμενόμενο εφόσον η θερμοκρασία ρυθμίζεται από το κλιματιστικό. Εν τούτοις, η μείωση της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας, που θερμαίνει τον χώρο, με τις περσίδες είχε αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα στην εξοικονόμηση της καταναλισκόμενης ενέργειας του κλιματιστικού, αφού για την υπό εξέταση εβδομάδα προέκυψε μείωση της κατανάλωσης κατά 5,9%. Ωστόσο, λόγω των παραδοχών που έχουν υιοθετηθεί, η ακρίβεια του μοντέλου είναι αμφίβολη.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

### Υπολογισμός Θερμικών Αντιστάσεων Εξωτερικών Επιφανειών.

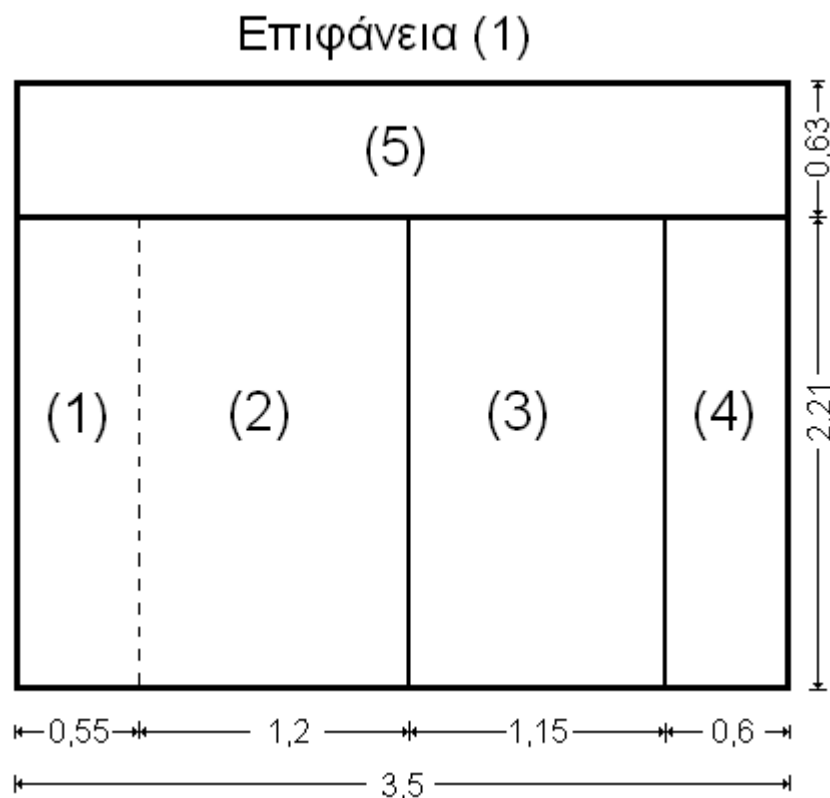
Στην εικόνα Α1, παρουσιάζεται η κάτοψη του δωματίου με αριθμημένα τα όρια του(τοίχοι) καθώς και τις θερμοκρασίες που επικρατούν εκτός αυτών.



**Εικόνα Α1 :** Κάτοψη δωματίου και οι διάφορες θερμοκρασίες που επικρατούν στον χώρο.

Το δωμάτιο βρίσκεται στον τελευταίο όροφο, επομένως η οροφή βρίσκεται μεταξύ των θερμοκρασιών  $T_{in}$  και  $T_{out}$ . Το δάπεδο βρίσκεται μεταξύ των θερμοκρασιών  $T_{in}$  και  $T_{εσ}$ , αφού ο κάτω όροφος θεωρείται ότι έχει θερμοκρασία ίση με  $T_{εσ}$ , όση και η θερμοκρασία των υπόλοιπων δωματίων του σπιτιού.

Στην εικόνα A2 παρουσιάζεται η πρόσοψη της επιφάνειας (1), με τις διαστάσεις εκφρασμένες σε μέτρα (m). Τα τμήματα (1), (2), (3), (4) και (5) διακρίνονται λόγω των διαφορετικών υλικών που αποτελούνται και περιγράφονται αναλυτικά στις τομές τους που ακολουθούν.



**Εικόνα A2:** Πρόσοψη επιφάνειας (1).

Για την συνολική ροή θερμότητας ανά μονάδα χρόνου από την επιφάνεια (1), ισχύει

$$\text{η σχέση } \dot{q}_1 = \dot{q}_{11} + \dot{q}_{12} + \dot{q}_{13} + \dot{q}_{14} + \dot{q}_{15} \quad (\text{A1}).$$

Με  $\dot{q}_{1i} = \frac{1}{R_{1i}} \cdot (T_{out} - T_{in})$  (A2), η θερμότητα που μεταφέρεται στο δωμάτιο από το

αντίστοιχο τμήμα του τοίχου 1 ( $i=1,2,3,4,5$ ).

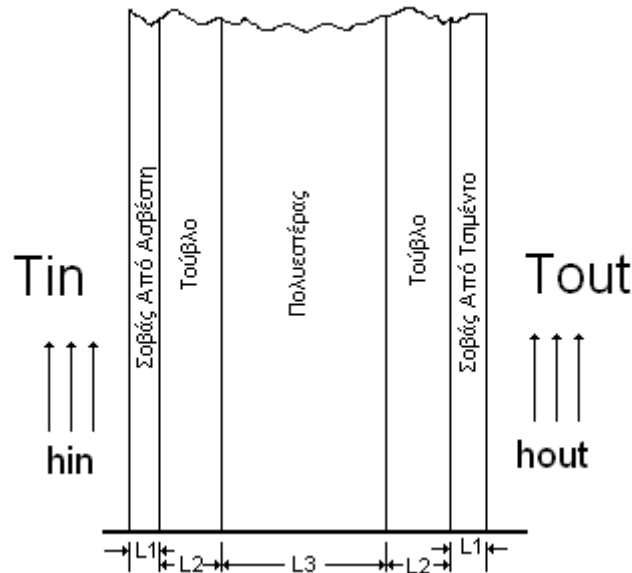
Η θερμότητα από τον τοίχο (1) ισούται  $\dot{q}_1 = \frac{1}{R_1} \cdot (T_{out} - T_{in})$  (A3), με  $R_1$  την συνολική

θερμική αντίσταση του τοίχου (1).

Από τον συνδυασμό των (A1) και (A3) προκύπτει :

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_{11}} + \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_{13}} + \frac{1}{R_{14}} + \frac{1}{R_{15}} \quad (\text{A4})$$

Τα τμήματα (1) και (4) του τοίχου (1) αποτελούνται από τα ίδια υλικά στο εσωτερικό τους και η τομή τους παρουσιάζεται στην εικόνα A3.



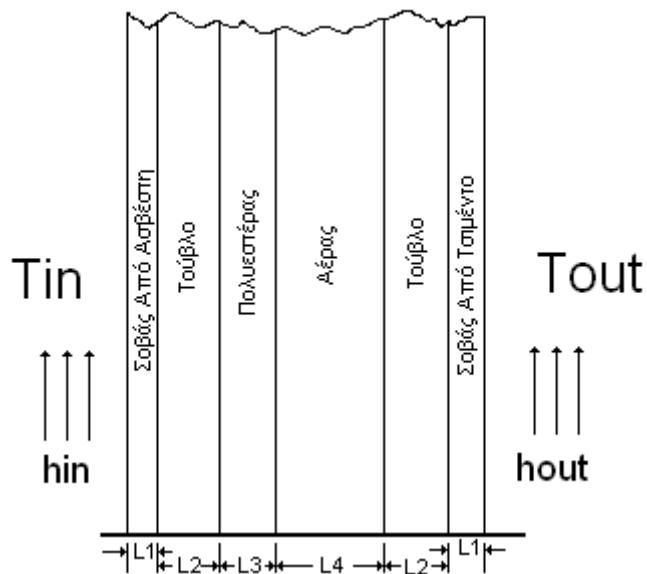
**Εικόνα A3:** Τομή των τμημάτων (1),(4) της Επιφάνειας (1).

Τα υλικά που βρίσκονται στο εσωτερικό του τοίχου (1,1) και (1,4) περιγράφονται αναλυτικά στην εικόνα A3, με τα βάθη  $L_1=0.03\text{m}$ ,  $L_2=0.06\text{m}$  και  $L_3=0.14\text{m}$ .

Τα τμήματα του τοίχου (1) και (4) έχουν εμβαδόν, όπως φαίνεται στην εικόνα A2,  $A_{11}=1,2155 \text{ m}^2$  και  $A_{14}=1,326\text{m}^2$  αντιστοίχως. Σύμφωνα με την θεωρία για την μετάδοση της θερμότητας και λαμβάνοντας υπ όψιν τα στοιχεία του πίνακα B1 για την θερμική αγωγιμότητα των υλικών οι, οι θερμικές αντιστάσεις  $R_{11}$  και  $R_{14}$  υπολογίζονται ως:

$$R_{11} = \frac{1}{h_{in}A_{11}} + \frac{L_1}{k_{ap}A_{11}} + \frac{L_2}{k_{br}A_{11}} + \frac{L_3}{k_{pol}A_{11}} + \frac{L_2}{k_{br}A_{11}} + \frac{L_1}{k_{cp}A_{11}} + \frac{1}{h_{out}A_{11}} = 4.685 \text{ (}^\circ\text{K/W)}$$

$$R_{14} = \frac{1}{h_{in}A_{14}} + \frac{L_1}{k_{ap}A_{14}} + \frac{L_2}{k_{br}A_{14}} + \frac{L_3}{k_{pol}A_{14}} + \frac{L_2}{k_{br}A_{14}} + \frac{L_1}{k_{cp}A_{14}} + \frac{1}{h_{out}A_{14}} = 4.295 \text{ (}^\circ\text{K/W)}$$



**Εικόνα A3:** Τομή του τμήματος (2) της Επιφάνειας (1),

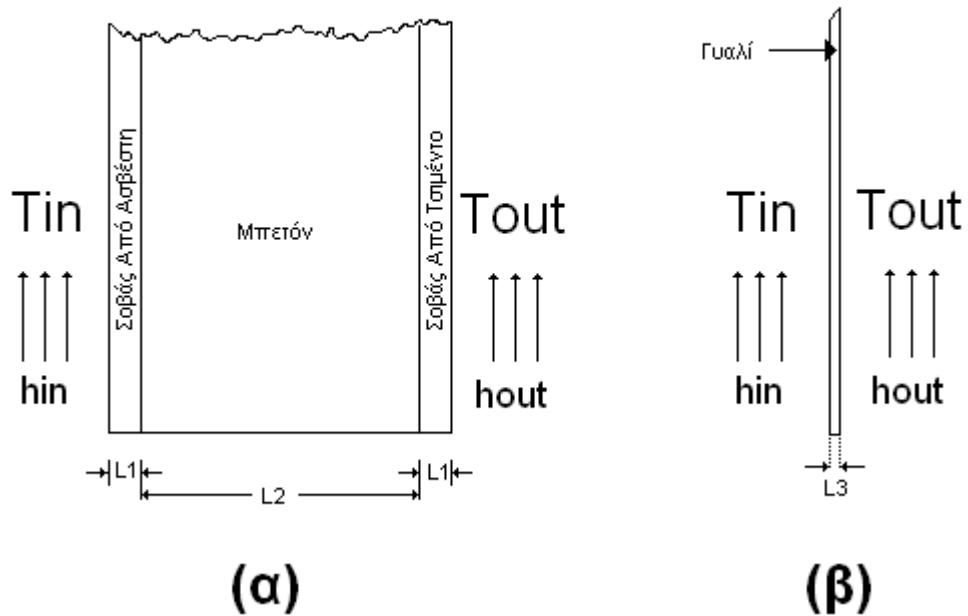
Στην εικόνα A3 παρουσιάζεται η τομή του τμήματος (2). Διαφοροποιείται από το τμήμα (1) και (4) ως προς το γεγονός ότι για ένα βάθος  $L_4$  στην θέση της μόνωσης (πολυεστέρας) υπάρχει ένα κενό ώστε να εισέρχεται η γυάλινη συρόμενη μπαλκονόπορτα όταν αυτή ανοίγει. Στο διάστημα αυτό ( $L_4$ ) η μετάδοση της θερμότητας γίνεται με επαφή των μορίων του ατμοσφαιρικού αέρα, αφού ο χώρος είναι κλειστός, όταν η μπαλκονόπορτα είναι κλειστή όπως στην περίπτωση που εξετάζεται, και δεν δημιουργούνται ρεύματα αέρα.

Το βάθος κάθε υλικού ισούται με :  $L_1=0.03\text{m}$ ,  $L_2=0.06\text{m}$ ,  $L_3=0.05\text{m}$ ,  $L_4=0.09\text{m}$ .

Όπως φαίνεται στην εικόνα (A1), το εμβαδόν του τμήματος (2) είναι ίσο με  $A_{12}=2,652\text{ m}^2$ .

Η θερμική αντίσταση του τμήματος (2) επομένως, θα ισούται με:

$$R_{12} = \frac{1}{h_{in} A_{12}} + \frac{L_1}{k_{ap} A_{12}} + \frac{L_2}{k_{br} A_{12}} + \frac{L_3}{k_{pol} A_{12}} + \frac{L_4}{k_{air} A_{12}} + \frac{L_2}{k_{br} A_{12}} + \frac{L_1}{k_{cp} A_{12}} + \frac{1}{h_{out} A_{12}} = 0.9147 \text{ (K/W)}$$



**Εικόνα A4:** (α) Τομή του τμήματος (5) της επιφάνειας (1).

(β) Τομή του τμήματος (3) -Μπαλκονόπορτα- της επιφάνειας (1).

Στην εικόνα A4 παρουσιάζεται η τομή των τμημάτων (5) και (3), που ουσιαστικά πρόκειται για την γυάλινη εξώπορτα, της επιφάνειας (1).

Το τμήμα (5) έχει συνολικό εμβαδόν (Εικόνα A2), ίσο με  $A_{15}=2,205 \text{ m}^2$ , ενώ τα αντίστοιχα βάθη των υλικών  $L_1=0.03\text{m}$ ,  $L_2=0.26\text{m}$ .

Επομένως, η θερμική αντίσταση του τμήματος είναι ίση με :

$$R_{15} = \frac{1}{h_{in} A_{15}} + \frac{L_1}{k_{ap} A_{15}} + \frac{L_2}{k_{con} A_{15}} + \frac{L_1}{k_{cp} A_{15}} + \frac{1}{h_{out} A_{15}} = 0.137 \text{ (K/W)}$$

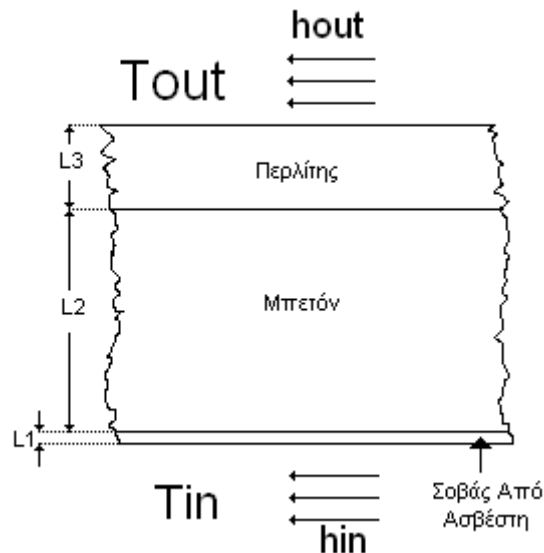
Το τμήμα (3) είναι η εξωτερική γυάλινη πόρτα που οδηγεί στο μπαλκόνι, με συνολικό εμβαδόν (Εικόνα A2)  $A_{13}=2,542 \text{ m}^2$ , και το αντίστοιχο βάθος του γυαλιού  $L_3=0,01\text{m}$ .

Η θερμική αντίσταση του τμήματος (3) ισούται με :

$$R_{13} = \frac{1}{h_{in} A_{13}} + \frac{L_1}{k_{gla} A_{13}} + \frac{1}{h_{out} A_{13}} = 0.068 \text{ (K/W)}$$

Έχοντας γίνει οι παραπάνω υπολογισμοί, η συνολική θερμική αντίσταση του τοίχου (1) – Επιφάνεια (1) – δίδεται από την σχέση (A4) ίση με

$$R_1 = 0.0423 \text{ (K/W)},$$



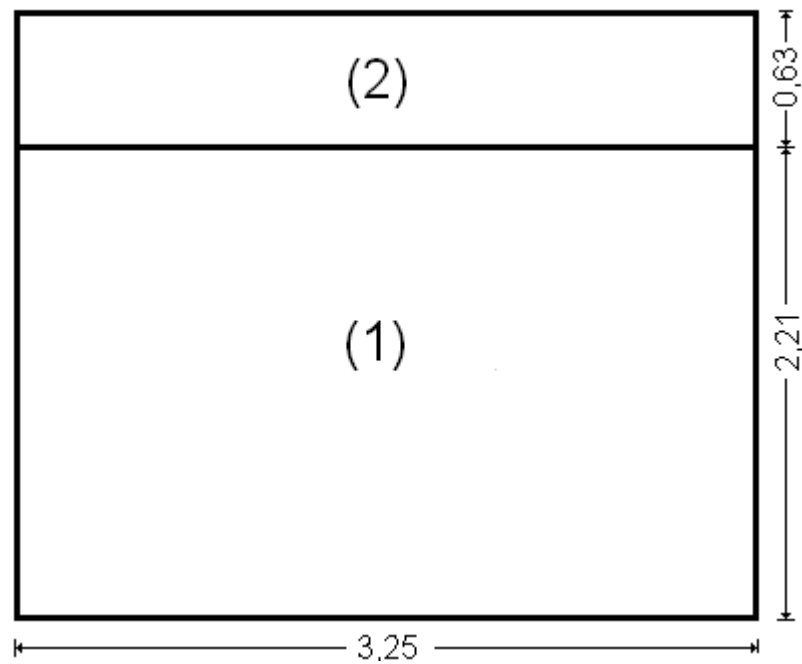
**Εικόνα A5 :** Κάθετη τομή της Οροφής του δωματίου.

Στην εικόνα A5 παρουσιάζεται η κάθετη τομή της οροφής. Το συνολικό εμβαδόν της επιφάνειας είναι ίση με τα τετραγωνικά μέτρα του δωματίου  $A_{roof} = 11 \text{ m}^2$ . Τα αντίστοιχα βάρη των υλικών είναι  $L_1 = 0.01 \text{ m}$ ,  $L_2 = 0.15 \text{ m}$  και  $L_3 = 0.07 \text{ m}$ . Ο περλίτης είναι η εξωτερική μόνωση της οροφής της πολυκατοικίας, αφού το διαμέρισμα βρίσκεται στον τελευταίο όροφο.

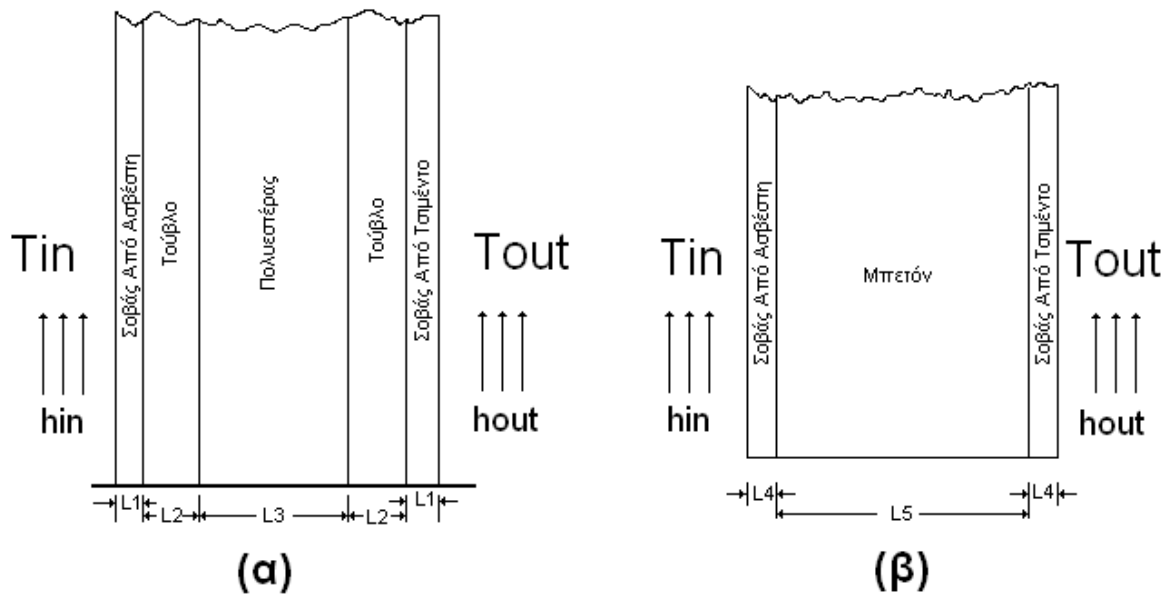
Η θερμική αντίσταση της οροφής επομένως ισούται με :

$$R_{roof} = \frac{1}{h_{in} A_{roof}} + \frac{L_1}{k_{ap} A_{roof}} + \frac{L_2}{k_{con} A_{roof}} + \frac{L_3}{k_{cp} A_{roof}} + \frac{1}{h_{out} A_{roof}} = 0.211 \text{ (K/W)}$$

## Επιφάνεια (2)



**Εικόνα Α6 :** Πρόσψη του Τοίχου (2).



**Εικόνα Α7 :** (α) Τομή του τμήματος (1) του τοίχου (2).

(β) Τομή του τμήματος (2) του τοίχου (2).



Στην εικόνα Α6 παρουσιάζεται η πρόσοψη του τοίχου (2) που είναι η επιφάνεια (2) της εικόνας Α1. Όπως φαίνεται, αποτελείται στο εσωτερικό του από δύο διαφορετικά τμήματα το (1), που είναι μονωμένος εξωτερικός τοίχος (Εικόνα Α7.α), και το (2) που είναι δοκάρι από μπετόν (Εικόνα Α7.β).

Το τμήμα (1) καλύπτει συνολική επιφάνεια (Εικόνα Α6)  $A_{21}= 7,183 \text{ m}^2$  και αποτελείται από τα υλικά της εικόνας Α6, τα βάθη των οποίων είναι  $L_1=0.03 \text{ m}$ ,  $L_2=0.06 \text{ m}$  και  $L_3=0.14 \text{ m}$ .

Η ροή θερμότητας από το τμήμα (1) ισούται με :

$$\dot{q}_{21} = \frac{T_{out} - T_{in}}{R_{21}} \quad (\text{A5}), \text{ όπου}$$

$$R_{21} = \frac{1}{h_{in} A_{21}} + \frac{L_1}{k_{ap} A_{21}} + \frac{L_2}{k_{br} A_{21}} + \frac{L_3}{k_{pol} A_{21}} + \frac{L_2}{k_{br} A_{21}} + \frac{L_1}{k_{cp} A_{21}} + \frac{1}{h_{out} A_{21}} = 0.793 \text{ (K/W)}.$$

Το τμήμα (2) καλύπτει συνολική επιφάνεια (Εικόνα Α6)  $A_{22}=2,05 \text{ m}^2$ , ενώ τα υλικά που τον αποτελούν παρουσιάζονται στην εικόνα (Α7.β) με τα βάθη  $L_4=0.03 \text{ m}$ ,  $L_5=0.26 \text{ m}$ .

Η ροή θερμότητας από το περιβάλλον προς το δωμάτιο από το τμήμα (2) ισούται με :

$$\dot{q}_{22} = \frac{T_{out} - T_{in}}{R_{22}} \quad (\text{A6}), \text{ όπου}$$

$$R_{22} = \frac{1}{h_{in} A_{22}} + \frac{L_4}{k_{ap} A_{22}} + \frac{L_5}{k_{con} A_{22}} + \frac{L_4}{k_{cp} A_{22}} + \frac{1}{h_{out} A_{22}} = 0.147 \text{ (K/W)}.$$

Η συνολική ροή θερμότητας από την επιφάνεια (2), είναι ίση με

$$\dot{q}_2 = \dot{q}_{21} + \dot{q}_{22}.$$

Όμως επίσης  $\dot{q}_2 = \frac{T_{out} - T_{in}}{R_2}$  (A7) , όπου  $R_2$  η συνολική θερμική αντίσταση της επιφάνειας (2).

Από την ισότητα των παραπάνω σχέσεων και τις (A5) , (A6) και (A7) προκύπτει

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_{21}} + \frac{1}{R_{22}} \Rightarrow R_2 = 0.124 \text{ (K/W)}$$

## Υπολογισμός θερμικών αντιστάσεων εσωτερικών επιφανειών.

Η μοναδική διαφορά θερμοκρασίας, που εντοπίζεται στον χώρο που περιβάλλει το δωμάτιο, και βρίσκεται σε θερμοκρασία  $T_{in}$ , είναι η θερμοκρασία των υπόλοιπων δωματίων του σπιτιού μέσω των επιφανειών – τοίχων – (3), (4), (5), (6) που παρουσιάζονται στην εικόνα A1, καθώς και επίσης και η θερμοκρασία του διαμερίσματος του κάτω ορόφου, μέσω του δαπέδου. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή υιοθετείται σταθερή θερμοκρασία για υπόλοιπα δωμάτια του διαμερίσματος, καθώς και το διαμέρισμα του κάτω ορόφου ίση με  $T_{εσ} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $298 \text{ }^\circ\text{K}$ ).

Επομένως, υπάρχει μετάδοση θερμότητας λόγω διαφοράς θερμοκρασίας προς το

δωμάτιο ίση με :  $\dot{q}_{in} = \dot{q}_3 + \dot{q}_4 + \dot{q}_5 + \dot{q}_6 + \dot{q}_{floor}$  (A7), όπου

•  
 $\dot{q}_i$  : Η μετάδοση της θερμότητας στο δωμάτιο από την επιφάνεια (i),  $i=3,4,5,6$ .

•  
 $\dot{q}_{floor}$  : Η μετάδοση της θερμότητας στο δωμάτιο από το δάπεδο.

Σύμφωνα με τον νόμο μετάδοσης της θερμότητας του Fourier, ισχύει :

$$\dot{q}_{in} = \frac{T_{εσ} - T_{in}}{R_{in}} \quad (\text{A8}),$$

με  $R_{in}$  την συνολική θερμική αντίσταση των επιφανειών (3)-(6) και του δαπέδου.

Για κάθε επιφάνεια ισχύει  $\dot{q}_i = \frac{T_{εσ} - T_{in}}{R_i}$  (A9),

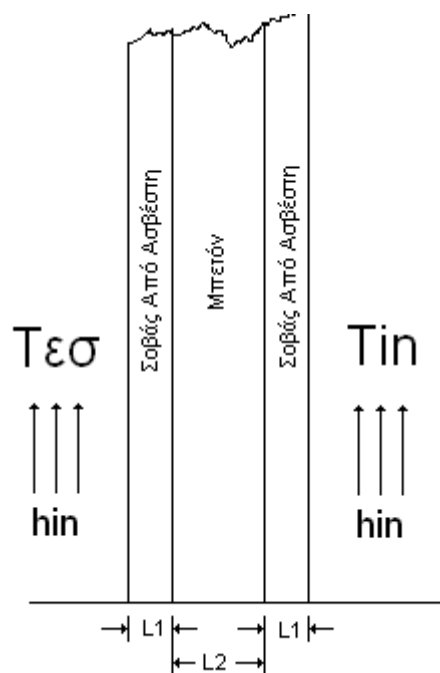
Από το σύστημα των σχέσεων (A7), (A8) και (A9) προκύπτει :

$$\frac{1}{R_{in}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_{floor}} \quad (\text{A10}),$$

Ακολουθεί ο υπολογισμός των θερμικών αντιστάσεων των τοίχων (3), (4), (5), (6) και του δαπέδου .

Όπως φαίνεται στην εικόνα A1, ο τοίχος (3) έχει διαστάσεις  $2.6 \text{ m} \times 2.84 \text{ m}$  και επομένως συνολικό εμβαδόν  $A_3= 7.384 \text{ m}^2$ , ο τοίχος (4)  $0.4 \text{ m} \times 2.84 \text{ m}$  και  $A_4=1,136 \text{ m}^2$ , ενώ ο τοίχος (6)  $2.84 \text{ m} \times 2.84 \text{ m}$  με  $A_6=8,066 \text{ m}^2$ .

Οι τρεις αυτές επιφάνειες είναι οι εσωτερικοί τοίχοι του διαμερίσματος που αποτελούνται από τα ίδια υλικά σε ολόκληρη την έκταση. Τα διάφορα υλικά των εσωτερικών τοίχων απεικονίζονται στην εικόνα A8, με το βάθος των υλικών  $L_1= 0.03 \text{ m}$ ,  $L_2=0.06 \text{ m}$ .



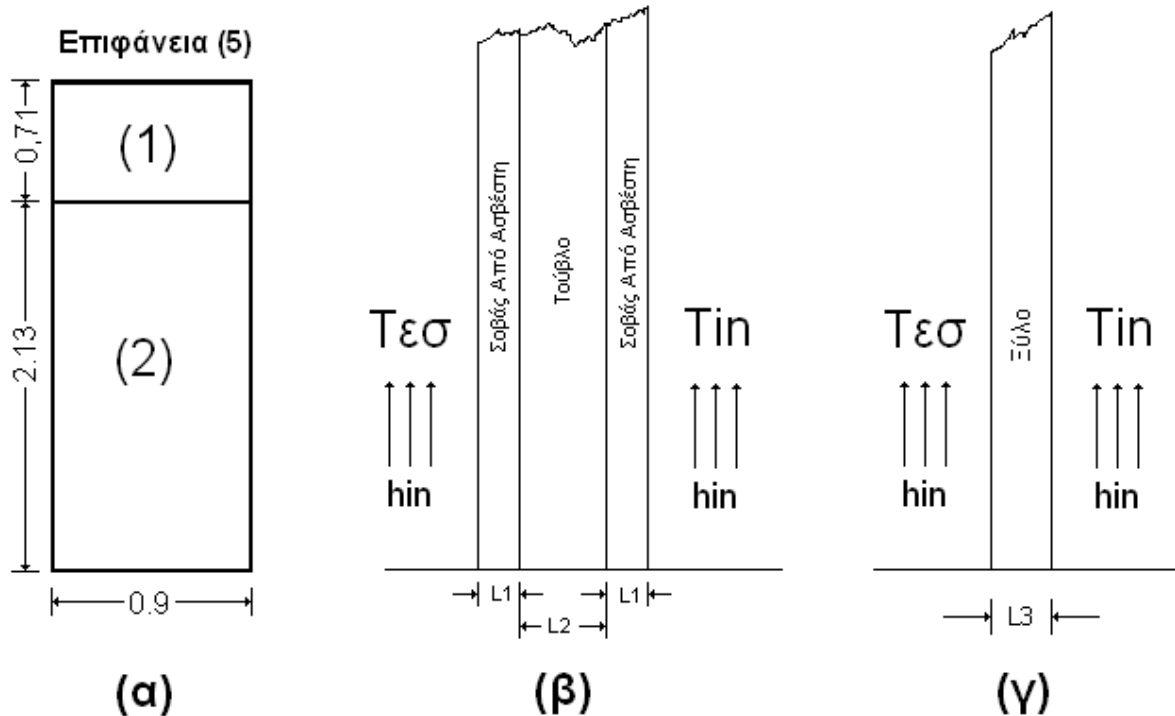
**Εικόνα A8 :** Τομή των εσωτερικών τοίχων  
– επιφανειών – (3), (4),(6)

Επομένως οι θερμικές αντιστάσεις των επιφανειών (3), (4),(6) είναι ίσες με :

$$R_3 = \frac{1}{h_{in} A_3} + \frac{L_1}{k_{ap} A_3} + \frac{L_2}{k_{con} A_3} + \frac{L_1}{k_{ap} A_3} + \frac{1}{h_{in} A_3} = 0.082 \text{ (K/W)}$$

$$R_4 = \frac{1}{h_{in} A_4} + \frac{L_1}{k_{ap} A_4} + \frac{L_2}{k_{con} A_4} + \frac{L_1}{k_{ap} A_4} + \frac{1}{h_{in} A_4} = 0.520 \text{ (K/W)}$$

$$R_6 = \frac{1}{h_{in}A_6} + \frac{L_1}{k_{ap}A_6} + \frac{L_2}{k_{con}A_6} + \frac{L_1}{k_{ap}A_6} + \frac{1}{h_{in}A_6} = 0.075 \text{ (K/W)}$$



**Εικόνα Α9 :** (α) Πρόσωση επιφάνειας (5). Διαστάσεις σε m  
 (β) Τομή του τμήματος (1) της επιφάνειας (5)  
 (γ) Τομή του τμήματος (2) της επιφάνειας (5)

Το τμήμα (1) της επιφάνειας (5), είναι ένας εσωτερικός τοίχος με διαστάσεις όπως φαίνονται στην εικόνα (Α9.α), επομένως  $A_{51}=0,369 \text{ m}^2$ . Τα υλικά που τον αποτελούν παρουσιάζονται στην εικόνα (Α9.β), με τα αντίστοιχα βάρη των υλικών  $L1=0,03 \text{ m}$  και  $L2=0,06 \text{ m}$ . Επομένως :

$$R_{51} = \frac{1}{h_{in}A_{51}} + \frac{L_1}{k_{ap}A_{51}} + \frac{L_2}{k_{br}A_{51}} + \frac{L_1}{k_{ap}A_{51}} + \frac{1}{h_{in}A_{51}} = 0.082 \text{ (K/W)}.$$

Το τμήμα (2) της επιφάνειας (5), είναι η εσωτερική ξύλινη πόρτα που συνδέει το δωμάτιο με το υπόλοιπο διαμέρισμα. Οι διαστάσεις της παρουσιάζονται στην εικόνα (Α9.β), επομένως  $A_{52}=1,92 \text{ m}^2$ , ενώ το πάχος της πόρτας  $L4=0,04 \text{ m}$ .

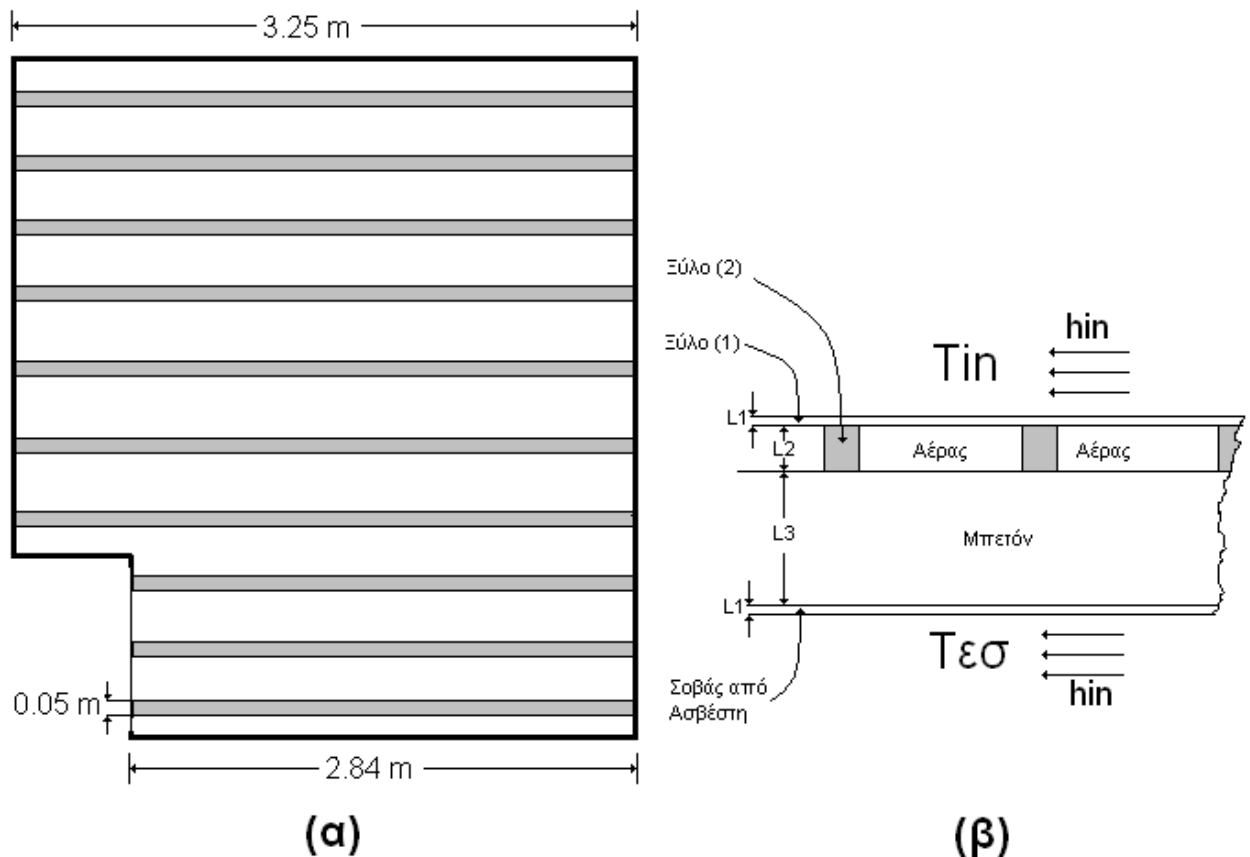
Άρα :

$$R_{51} = \frac{1}{h_{in}A_{51}} + \frac{L_4}{k_{wd}A_{51}} + \frac{1}{h_{in}A_{51}} = 0.082 \text{ (K/W)}.$$

Η συνολική θερμική αντίσταση της επιφάνειας (5) είναι ίση με :

$$\frac{1}{R_5} = \frac{1}{R_{S1}} + \frac{1}{R_{S2}} \Rightarrow R_5 = 0.230(K/W)$$

Το δάπεδο του δωματίου είναι ξύλινο και η κάτοψη του παρουσιάζεται στην εικόνα (A10.α).

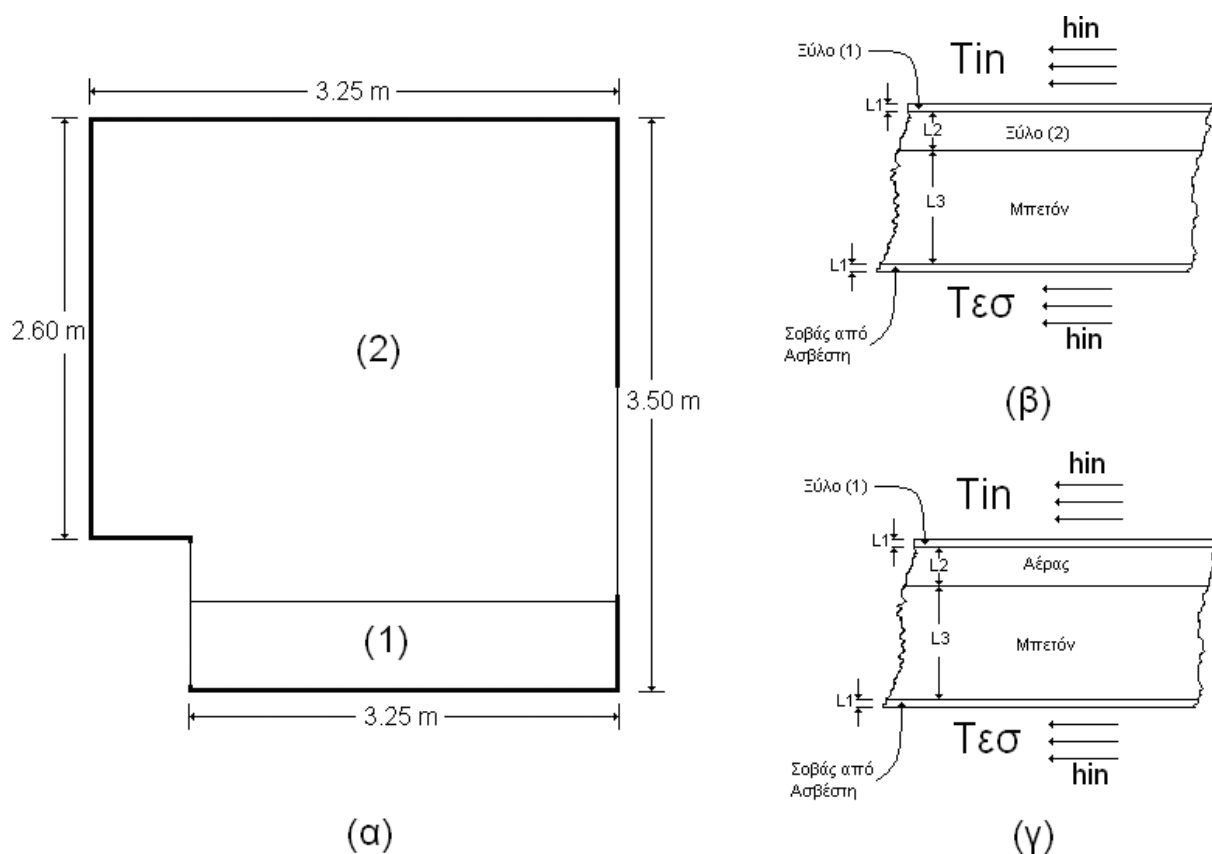


**Εικόνα A10 :** (α) Η κάτοψη του δαπέδου του δωματίου.

(β) Η τομή του δαπέδου του δωματίου.

Το δάπεδο είναι καλυμμένο με ένα στρώμα μαλακού ξύλου (Ξύλο (1), Εικόνα (A,β)). Κάτω από το ξύλινο δάπεδο υπάρχουν τοποθετημένα ξύλινα δοκάρια, που παρουσιάζονται στην εικόνα (A10.α) και (A10.β) ως τα γραμμοσκιασμένα τμήματα. Στην Εικόνα A10.β απεικονίζεται η τομή του δαπέδου με τα διάφορα υλικά που το αποτελούν και την διάταξή τους στον χώρο. Τα βάθη των υλικών είναι  $L1=0.01$  m,  $L2=0.05$  m,  $L3=0.15$  m.

Για τον ευκολότερο υπολογισμό της  $R_{\text{floor}}$ , θεωρείται πως τα ξύλινα δοκάρια εφάπτονται δημιουργώντας μια ενιαία επιφάνεια που καλύπτει  $A_{\text{floor},1} = 1.564 \text{ m}^2$ . Στην εικόνα A11, παρουσιάζεται η κάτοψη του ισοδύναμου, ως προς την μετάδοση της θερμότητας, δαπέδου.



**Εικόνα A11 :** (α) Η κάτοψη του ισοδύναμου, ως προς την θερμική αντίσταση, δαπέδου.

(β) Τομή του τμήματος (1) του ισοδύναμου δαπέδου.

(γ) Τομή του τμήματος (2) του ισοδύναμου δαπέδου.

Όπως έχει αναφερθεί, το τμήμα (1) που αποτελείται από τα υλικά της εικόνας (A11.β), καλύπτει συνολική επιφάνεια  $A_{\text{floor},1} = 1.564 \text{ m}^2$ . Τα αντίστοιχα βάθη των υλικών είναι  $L1=0.01 \text{ m}$ ,  $L2=0.05 \text{ m}$ ,  $L3=0.15 \text{ m}$ ,

Επομένως η συνολική θερμική αντίσταση του τμήματος (1) του δαπέδου ισούται με :

$$R_{floor,1} = \frac{1}{h_{in} A_{floor,1}} + \frac{L_1}{k_{sw} A_{floor,1}} + \frac{L_2}{k_{hw} A_{floor,1}} + \frac{L_3}{k_{con} A_{floor,1}} + \frac{L_1}{k_{ap} A_{floor,1}} + \frac{1}{h_{in} A_{floor,1}} = 0.510 (K/W)$$

Το υπόλοιπο της επιφάνειας του δαπέδου, τμήμα (2) Εικόνα Α11.α, έχει συνολικό εμβαδόν  $A_{floor,2} = 9,436 \text{ m}^2$  ( $11 \text{ m}^2 - 1.564 \text{ m}^2$ ), και αποτελείται από τα υλικά που παρουσιάζονται στην εικόνα (Α11.γ), με τα αντίστοιχα βάρη  $L_1=0.01 \text{ m}$ ,  $L_2=0.05\text{m}$  και  $L_3=0.15 \text{ m}$ .

Επομένως η θερμική αντίσταση του τμήματος (2) του δαπέδου είναι ίση με :

$$R_{floor,2} = \frac{1}{h_{in} A_{floor,2}} + \frac{L_1}{k_{sw} A_{floor,2}} + \frac{L_2}{k_{air} A_{floor,2}} + \frac{L_3}{k_{con} A_{floor,2}} + \frac{L_1}{k_{ap} A_{floor,2}} + \frac{1}{h_{in} A_{floor,2}} = 0.052 (K/W)$$

Η συνολική θερμική αντίσταση του δαπέδου επομένως είναι ίση με :

$$\frac{1}{R_{floor}} = \frac{1}{R_{floor,1}} + \frac{1}{R_{floor,2}} \Rightarrow R_{floor} = 0.048 (K/W).$$

## Παράρτημα Β

Θερμικές αγωγιμότητες των υλικών του δωματίου.

Υλικό	k(W/K)
Μαλακο Ξύλο	0,01
Σκληρό Ξύλο	0,05
Μπετόν	0,15
Τούβλο	0,72
Σοβάς Από Ασβέστη	0,22
Σοβάς Από Τσιμέντο	0,72
Αέρας	1,4
Πολυεστέρας	0,027
Περλίτης	0,07
Γυαλί	1,4

## **Βιβλιογραφία**

- [1] Duffie, J.A., Beckaman, W. A. : Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley & Sons. U.S.A 1999
- [2] ASHRAE (American Society of heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.): Fundamentals, ASHREA HANDBOOK. 2001
- [3] Moran, M. J., Shapiro, N. H : Fundamentals of Engineering Thermodynamics. John Wiley & Sons. U.S.A. 1999.
- [4] Panayiotis Romanos, Thermal Model Predictive Control for Demand Side management Cooling Strategies, Kassel 2007.
- [5] Incropera, F.P. , De Witt, D., P. : Fundamentals of heat and mass transfer. John Wiley & Sons, U.S.A 2002
- [7] National Instruments : Labview Users Manual, U.S.A. 2003.
- [6] National Instruments : Labview Basics 1, Introduction course manual, U.S.A. 2003.