



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

---

**«ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΣΤΗΝ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΓΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗ  
ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΤΥΠΙΚΟΥ ΕΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ»**

---

Όνοματεπώνυμο: **ΦΩΤΙΟΥ ΘΕΟΦΑΝΩ**  
Επιβλέπων Καθηγητής: **ΚΙΜΩΝ Α. ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ**

ΑΘΗΝΑ 2012

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Κ. Αντωνόπουλο για την βοήθεια του κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας αλλά και την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την υποστήριξή τους όλον αυτό τον καιρό.

## Περίληψη

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία μελετάται η επίδραση των χαρακτηριστικών του κτιριακού κελύφους στην ενεργειακή κατανάλωση για την επίτευξη θερμικής άνεσης στην περιοχή της Αθήνας. Η Διπλωματική Εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη: το 1<sup>ο</sup> μέρος είναι βιβλιογραφικό και στο 2<sup>ο</sup> μέρος γίνεται εφαρμογή πάνω σε ένα μοντέλο προσομοίωσης.

Στο βιβλιογραφικό μέρος αναπτύσσεται το απαραίτητο γνωστικό υπόβαθρο προκειμένου να γίνει κατανοητή η θερμική συμπεριφορά των κύριων χαρακτηριστικών του κτιριακού κελύφους (μόνωση, υαλοπίνακες). Επίσης, παρουσιάζονται τα φορτία που λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης .

Στο μοντέλο προσομοίωσης γίνεται υπολογισμός της ενεργειακής κατανάλωσης για ένα τυπικό κτίριο αναφοράς, σε συνάρτηση με τις παραμέτρους που χαρακτηρίζουν τη μόνωση και τους υαλοπίνακες, αρχικά για τον Ιανουάριο και έπειτα για το τυπικό έτος. Ενδιαφέρον παρουσίασαν τα παρακάτω αποτελέσματα: οι συνδυασμοί των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τη μόνωση και τους υαλοπίνακες για τους οποίους επιτυγχάνεται «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος τον Ιανουάριο και οι συνδυασμοί των ίδιων παραμέτρων που εξασφαλίζουν ενεργειακή εξοικονόμηση σε ετήσια βάση. Στηριζόμενοι σε αυτά τα ευρήματα καταλήξαμε σε συμπεράσματα και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με εκείνα που έχουν προκύψει με τη χρήση της μεθόδου πεπερασμένων διαφορών.

## **Abstract**

The present diploma thesis examines the effect of buildings envelope characteristics on the energy consumption for thermal comfort in the Athens area. The diploma thesis is divided in two parts: the first one is a literature review and in the second, applications are made on a simulation model.

The first part offers the basic knowledge, which is required so that the thermal behavior of the essential buildings envelope characteristics (insulation, fenestration) can be understood. Moreover, the loads that are taken into consideration on the calculation of energy consumption are presented.

In the simulation model, the energy consumption of a typical reference building, as a function of the insulation and fenestration parameters is calculated, firstly for January and then for the typical year. Of great interest were the following results: the combinations of the insulation and fenestration parameters, for which a “quasi-adiabatic” or “pseudo-adiabatic” envelope, for January, is obtained and the combinations of the same parameters, for which energy saving on a daily basis can be achieved. These results gave us the opportunity to make some comments on the subject and we finally compared our conclusions with those derived from a numerical procedure.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

## ΠΡΩΤΟ ΜΕΡΟΣ

Εισαγωγή.....	9
1. Κτιριακό κέλυφος.....	10
1.1. Ορισμός.....	11
1.2. Παράμετροι.....	13
2. Μεταφορά θερμότητας.....	14
2.1. Μεταφορά θερμότητας δι' αγωγής.....	16
2.1.1. Ειδική θερμική αγωγιμότητα.....	16
2.2. Μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής.....	20
2.2.1. Συντελεστές συναγωγής.....	21
2.3. Μεταφορά θερμότητας δι' ακτινοβολίας.....	22
2.3.1. Συντελεστές ακτινοβολίας.....	23
2.4. Ολικός συντελεστής θερμικής διαπερατότητας.....	26
3. Συνθήκες Εσωτερικού Περιβάλλοντος.....	28
3.1. Θερμική Άνεση.....	29
3.2. Συνθήκες θερμικής άνεσης.....	31
4. Συνθήκες Εξωτερικού Περιβάλλοντος.....	33
4.1. Κλίμα.....	34
4.1.1. Ηλιακή Ακτινοβολία.....	35
4.1.1.1. Βασικές Έννοιες.....	37
4.2. Μικρόκλιμα.....	41
5. Κύριες Παράμετροι κτιριακού κελύφους.....	43
5.1. Αδιαφανή στοιχεία κτιριακού κελύφους.....	45
5.1.1. Τοίχοι – Οροφή – Δάπεδο.....	46
5.1.2. Κατασκευή αδιαφανών στοιχείων κτιριακού κελύφους.....	47

5.1.2.1.	Μόνωση.....	52
5.1.2.1.1.	Συνήθη μονωτικά υλικά.....	54
5.1.2.1.2.	Θέση και πάχος μόνωσης.....	60
5.1.2.2.	PCMs.....	62
5.1.2.2.1.	Γενικά.....	62
5.1.2.2.2.	Κατηγοριοποίηση PCMs.....	63
5.1.2.2.3.	Εφαρμογές.....	64
5.2.	Διαφανή στοιχεία κτιριακού κελύφους.....	66
5.2.1.	Υαλοπίνακες .....	66
5.2.1.1.	Τυπικές μορφές υαλοπινάκων.....	68
5.2.2.	Σκιάστρα υαλοπινάκων.....	71
5.2.2.1.	Εσωτερικά σκιάστρα.....	72
5.2.2.2.	Εξωτερικά σκιάστρα.....	73
5.3.	Συνδυασμένη επίδραση κύριων παραμέτρων κτιριακού κελύφους.....	74
6.	Ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και κλιματισμό των κτιρίων.....	77
6.1.	Θερμικό κέρδος χώρου.....	79
6.2.	Ψυκτικό φορτίο χώρου.....	80
6.2.1.	Ψυκτικό φορτίο που προκύπτει από το θερμικό κέρδος διά αγωγής μέσω εξωτερικών τοίχων και οροφών.....	81
6.2.2.	Ψυκτικό φορτίο που προκύπτει από το θερμικό κέρδος διά αγωγής και ηλιακής ακτινοβολίας μέσω υαλοπινάκων.....	82
6.2.3.	Ψυκτικό φορτίο από το θερμικό κέρδος λόγω φωτισμού.....	83
6.2.4.	Ψυκτικό φορτίο που προκύπτει από το θερμικό κέρδος από ανθρώπους.....	85
6.2.5.	Ψυκτικό φορτίο που προκύπτει από το θερμικό κέρδος από συσκευές.....	86
6.2.6.	Ψυκτικό φορτίο λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρα.....	86
6.3.	Σύνοψη.....	88

7. Ενεργειακή Εξοικονόμηση.....	89
7.1. Κ.ΕΝ.Α.Κ – Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων.....	90
7.1.1. Θεσμικό πλαίσιο.....	90
7.1.2. Σκοπός του Κ.ΕΝ.Α.Κ.....	90
7.1.3. Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές συντελεστών θερμικής διαπερατότητας δομικών στοιχείων.....	90
7.1.4. Απαιτήσεις ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίων.....	92
7.1.5. Ενεργειακοί Επιθεωρητές.....	94

## ΔΕΥΤΕΡΟ ΜΕΡΟΣ

Εισαγωγή.....	95
8. Θερμική συμπεριφορά του κτιρίου αναφοράς στην περιοχή της Αθήνας για την 21 <sup>η</sup> Ιανουαρίου.....	96
8.1. Υπολογισμός προσπίπτουσας στιγμιαίας ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου , Gt.....	97
8.1.1. Υπολογισμός στιγμιαίας αμέσου και διαχύτου ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου, Gb και Gd.....	98
8.1.2. Υπολογισμός του λόγου της αμέσου ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου, Rb.....	101
8.2. Ηλιακό θερμικό κέρδος υαλοπινάκων.....	107
8.3. Θερμικό φορτίο υαλοπινάκων δι' αγωγής.....	112
8.4. Συνολικό φορτίο που διέρχεται μέσω των τοίχων.....	118
8.5. Συνολικό φορτίο που διέρχεται μέσω της οροφής.....	126
8.6. Ψυκτικό φορτίο λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρα.....	132
8.7. Συνολικό φορτίο κελύφους για την 21 <sup>η</sup> Ιανουαρίου.....	136
9. Συνδυασμός των τιμών των παραμέτρων του κτιριακού κελύφους αναφοράς στην περιοχή της Αθήνας, για τις οποίες λαμβάνεται «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος κατά την 21 <sup>η</sup> Ιανουαρίου.....	139
9.1. Εισαγωγή στην έννοια του «ψευδοαδιαβατικού» κελύφους.....	140

9.2. «Ψευδοδιαβητικό» κέλυφος για την 21 <sup>η</sup> Ιανουαρίου στην περιοχή της Αθήνας.....	142
9.3. Συμπεράσματα.....	156
10. Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση για εξασφάλιση θερμικής άνεσης στο κτίριο αναφοράς στην περιοχή της Αθήνας.....	159
10.1. Διαδικασία υπολογισμού της ετήσια ενεργειακής κατανάλωσης.....	160
10.2. Συμπεράσματα.....	168
11. Μελλοντικοί στόχοι.....	169
Βιβλιογραφία.....	170



## ΠΡΩΤΟ ΜΕΡΟΣ

### Εισαγωγή

Στο πρώτο μέρος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας γίνεται βιβλιογραφική προσέγγιση του θέματος. Για τον σκοπό αυτό μελετήθηκαν επιστημονικά άρθρα και βιβλία και αντλήθηκαν οι πιο χρήσιμες πληροφορίες.

Στο κομμάτι αυτό δίνεται αρχικά η έννοια του κτιριακού κελύφους. Έπειτα περιγράφονται όλοι οι μηχανισμοί μεταφοράς θερμότητας, δεδομένου ότι η γνώση τους είναι αναγκαία για την κατανόηση της μετακίνησης των φορτίων από και προς το κέλυφος. Στη συνέχεια προσδιορίζονται οι συνθήκες του εσωτερικού περιβάλλοντος που εξασφαλίζουν «θερμική άνεση» και διερευνώνται οι βασικές έννοιες που σχετίζονται με το εξωτερικό περιβάλλον.

Τα τρία τελευταία κεφάλαια είναι αυτά που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον καθώς πάνω σε αυτά βασίζονται οι υπολογισμοί του 2<sup>ου</sup> μέρους : Στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο περιγράφονται τα κύρια δομικά στοιχεία του κτιριακού κελύφους και δίνονται πληροφορίες πάνω στη δομή, τα χαρακτηριστικά και τη συμπεριφορά τους. Το 6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο επικεντρώνεται στην ενεργειακή κατανάλωση και παρουσιάζονται όλα τα φορτία που την καθορίζουν. Στο 7<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναλύονται οι απαιτήσεις ενεργειακής αποδοτικότητας βάσει του Κ.ΕΝ.Α.Κ.

## 1. Κτιριακό Κέλυφος

## 1.1. Ορισμός

Το κτιριακό κέλυφος (building envelope) διαχωρίζει το εσωτερικό από το εξωτερικό περιβάλλον του κτιρίου. Πιο συγκεκριμένα στο κτιριακό κέλυφος περιλαμβάνονται τα τμήματα του κτιρίου που παρεμβάλλονται μεταξύ ενός κλιματιζόμενου και ενός μη κλιματιζόμενου χώρου ή του εξωτερικού περιβάλλοντος. Για τον λόγο αυτό μάλιστα μπορεί στην βιβλιογραφία να συναντήσουμε την έννοια αυτή και ως «Περίβλημα Κτιρίου» (Building Enclosure) [1,2].

Σκοπός της ύπαρξης του κτιριακού κελύφους είναι η εξασφάλιση συνθηκών άνεσης εντός του κτιρίου. Σε αυτήν την κατεύθυνση κινούνται και τα διάφορα συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού που χρησιμοποιούνται στις κτιριακές εγκαταστάσεις. Συνεπώς ένα λειτουργικό κτιριακό κέλυφος συμβάλλει στην οικονομικότερη, και από άποψη χρημάτων και από άποψη ενέργειας, και αποδοτικότερη λειτουργία αυτών των συστημάτων [1].

Το κτιριακό κέλυφος εκτελεί ουσιαστικά τρεις λειτουργίες :

- Μεταφέρει τα μηχανικά φορτία που εμφανίζονται στο κτίριο
- Καλύπτει τις αισθητικές απαιτήσεις των ενοίκων του αναφορικά με την εμφάνιση τόσο των εξωτερικών όσο και των εσωτερικών επιφανειών του κτιρίου
- Ελέγχει τη ροή ύλης και ενέργειας από και προς το εσωτερικό του κτιρίου. Αυτή είναι και η πιο σπουδαία λειτουργία του, η οποία εστιάζει, με σειρά προτεραιότητας, στον έλεγχο :
  - της αναπτυσσόμενης ή εισερχόμενης υγρασίας,
  - της μεταφερόμενης θερμότητας και
  - της κυκλοφορίας του αέρα [1].

Για την επίτευξη κατά το δυνατό αδιάβροχου κελύφους μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες στρατηγικές όπως perfect barriers, drained screens, mass/storage systems [1].

Η μεταφερόμενη θερμότητα μέσω του κελύφους επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Σε αυτούς περιλαμβάνονται αφενός τα θερμικά χαρακτηριστικά των στοιχείων του κελύφους, αφετέρου ο προσανατολισμός και η θέση του κτιρίου.

Η εξασφάλιση της αεροστεγανότητας του κελύφους συμβάλλει στην ελεγχόμενη κατανάλωση ενέργειας και στην αποφυγή της ανάπτυξης υγρασίας, η οποία με τη σειρά της μπορεί να έχει ανεπιθύμητες συνέπειες τόσο για το ίδιο το

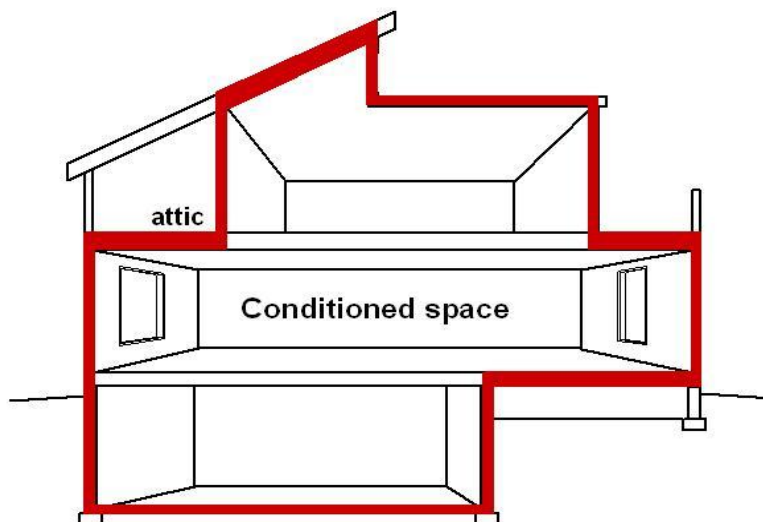
κέλυφος όσο και για τους ενοίκους. Η αεροστεγανότητα εξασφαλίζεται με τον ελεγχόμενο αερισμό, που συμβαίνει συνήθως με μηχανικά μέσα και με την τυχαία εισροή αέρα από τα σημεία του κελύφους τα οποία επιτρέπουν διαρροές [3].

## 1.2. Παράμετροι

Τα στοιχεία του κτιρίου που συνθέτουν το κτιριακό κέλυφος είναι βασικά οι εξωτερικοί τοίχοι, τα θεμέλια, η οροφή, οι θύρες και τα παράθυρα. Οι διαστάσεις, τα χρησιμοποιούμενα υλικά και οι συνδέσεις μεταξύ αυτών των στοιχείων είναι οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιριακού κελύφους [1].

Εδώ και σύμφωνα με όσα αναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα, πρέπει να τονίσουμε ότι αυτά τα στοιχεία αποτελούν το κτιριακό κέλυφος μόνο εφόσον περιβάλλουν κλιματιζόμενους χώρους, δηλαδή χώρους στους οποίους χρησιμοποιείται κάποια εγκατάσταση θέρμανσης ή κλιματισμού. Αυτό σημαίνει ότι για παράδειγμα, τοίχοι και πόρτες που βρίσκονται ανάμεσα σε ένα μη θερμαινόμενο γκαράζ και ένα καθιστικό αποτελούν τμήμα του κτιριακού κελύφους, ενώ οι τοίχοι που διαχωρίζουν το μη-θερμαινόμενο γκαράζ από το εξωτερικό περιβάλλον δεν εντάσσονται στο κτιριακό κέλυφος. Το σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 1.2.1) καθιστά πιο κατανοητή την έννοια του κτιριακού κελύφους [2].

Στη συνέχεια που θα αναλύσουμε καθένα από αυτά τα στοιχεία διεξοδικά, θα γίνει κατανοητός στον αναγνώστη ο τρόπος με τον οποίο αυτά επηρεάζουν την επίτευξη της θερμικής άνεσης, στην οποία στοχεύει το κέλυφος.



*Σχήμα 1.2.1. Το κτιριακό κέλυφος ενός κτιρίου [2]*

## 2. Μεταφορά Θερμότητας

Το κτιριακό κέλυφος πρέπει να ελέγχει τη ροή θερμότητας μέσω των στοιχείων που το αποτελούν, αφενός για την επίτευξη και διατήρηση συνθηκών άνεσης στο εσωτερικό του και αφετέρου για την ελάττωση όλων των εξόδων που σχετίζονται με τον μηχανολογικό εξοπλισμό που εξασφαλίζει την απαιτούμενη θέρμανση ή ψύξη του κτιρίου [4].

Επιπλέον, δεδομένου ότι η ροή θερμότητας επηρεάζει και τη μεταφορά υγρού ατμού μέσω των διαφόρων υλικών που αποτελούν το κέλυφος και μπορεί να οδηγήσει στη συμπύκνωση αυτού και στη διαστολή ή συστολή των οικοδομικών υλικών – που οφείλεται στην αλλαγή της θερμοκρασίας τους - πρέπει να γίνεται εκτεταμένη μελέτη, ήδη κατά τη φάση σχεδίασης του κτιρίου, πάνω στα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας που πρόκειται να εξελιχθούν. Και αυτό γιατί αν δεν δοθεί η πέπουσα σημασία στα φαινόμενα που μπορεί να προκύψουν από μια ανεξέλεγκτη ροή θερμότητας, είναι πιθανό να παρατηρηθεί αστοχία των υλικών και το κτιριακό κέλυφος να πάψει να είναι λειτουργικό [4].

Στο σημείο αυτό κρίνουμε αναγκαίο για λόγους πληρότητας να προσδιορίσουμε την έννοια της θερμότητας. Η θερμότητα είναι μία μορφή ενέργειας και συνεπώς είναι μετρήσιμη ποσότητα. Μονάδα μέτρησης της θερμότητας στο αγγλοσαξονικό σύστημα είναι το *Btu*, που είναι η ποσότητα της θερμότητας που απαιτείται για να αυξήσει τη θερμοκρασία *1pound* νερού που βρίσκεται στους  $60^{\circ}F$  κατά  $1^{\circ}F$ . Στο μετρικό σύστημα μονάδα μέτρησης της θερμότητας είναι η θερμίδα (*cal*). Προσδιορίζεται ως η ποσότητα της θερμότητας που απαιτείται για να αυξήσει τη θερμοκρασία *1gram* νερού που βρίσκεται στους  $15^{\circ}C$  κατά  $1^{\circ}C$ . Για την μετατροπή από το ένα σύστημα στο άλλο, ισχύει η σχέση  $1Btu = 252cal$  [5].

Η θερμότητα μπορεί να εμφανιστεί με δύο μορφές. Έτσι υπάρχει η αισθητή θερμότητα και η λανθάνουσα θερμότητα. Η πρώτη, όπως άλλωστε υπονοείται και από την ονομασία της είναι αντιληπτή από τις αισθήσεις. Αυτό συμβαίνει διότι οποιαδήποτε μεταφορά (αποβολή ή πρόσληψη) αισθητής θερμότητας συνοδεύεται από αλλαγή της θερμοκρασίας της ουσίας διαμέσου της οποίας μεταφέρεται. Η λανθάνουσα θερμότητα είναι η θερμική ενέργεια που εμφανίζεται (αποβάλλεται ή προσλαμβάνεται) κατά την αλλαγή της κατάστασης μιας ουσίας (από στερεή σε υγρή,

από υγρή σε αέρια κλπ). Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει καμία αλλαγή στην θερμοκρασία [5].

Όταν αναφερόμαστε σε θέρμανση ή ψύξη, εννοούμε ότι θερμότητα μεταφέρεται από μια περιοχή σε μία άλλη. Πιο συγκεκριμένα έχουμε μεταφορά θερμότητας από την θερμότερη στην ψυχρότερη περιοχή ενός σώματος ή για σώματα με διαφορετική θερμοκρασία, από το θερμότερο στο ψυχρότερο σώμα [5].

Σε ό, τι αφορά τη ροή θερμότητας στα κτίρια, υπάρχουν παράγοντες του εξωτερικού περιβάλλοντος που επηρεάζουν την ένταση και το ρυθμό της. Τέτοιοι είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η θερμοκρασία του αέρα, η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου καθώς και η περιεχόμενη στον αέρα υγρασία [4].

Η μεταφορά θερμότητας μπορεί να γίνει με τρεις μηχανισμούς, με αγωγή, με συναγωγή και με ακτινοβολία, οι οποίοι περιγράφονται παρακάτω.

## **2.1. Μεταφορά θερμότητας δι' αγωγής**

Η μεταφορά θερμότητας δι' αγωγής προκύπτει στο ίδιο σώμα ή μεταξύ σωμάτων, όταν αυτά βρίσκονται σε φυσική επαφή μεταξύ τους και οφείλεται κυρίως στη μεταφορά ενέργειας μεταξύ των ατόμων ή των μορίων [5,6]. Τα σωματίδια αυτά (άτομα, μόρια) βρίσκονται σε διαρκή κίνηση και άρα έχουν κινητική ενέργεια. Αυτή η κινητική ενέργεια είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας των σωμάτων και μάλιστα όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία τόσο εντονότερη είναι και η κίνηση των σωματιδίων. Τα μόρια λοιπόν στη θερμότερη περιοχή ενός σώματος ταλαντώνονται εντονότερα από εκείνα που βρίσκονται στην ψυχρότερη, με αποτέλεσμα, συγκρουόμενα με αυτά, να τα αναγκάζουν να αποκτήσουν υψηλότερη ταχύτητα. Με αυτόν τον τρόπο θερμότητα μεταφέρεται από την θερμότερη στην ψυχρότερη περιοχή του σώματος μέχρι όλο το σώμα να έχει την ίδια θερμοκρασία παντού. Προφανώς όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασιακή διαφορά τόσο ταχύτερος είναι ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας δι' αγωγής [5].

### **2.1.1. Ειδική θερμική αγωγιμότητα**

Όλα τα υλικά (στερεά, υγρά, αέρια) άγουν θερμότητα. Η παράμετρος που καθορίζει το πόσο γρήγορα το κάθε σώμα μεταφέρει θερμότητα δι' αγωγής είναι η ειδική θερμική αγωγιμότητα του υλικού  $k$   $W/mK$  που αποτελεί το σώμα και είναι μια χαρακτηριστική ιδιότητα του υλικού [5,6].

Δεδομένου ότι πρόκειται για μια ιδιαίτερα σημαντική ιδιότητα, η τιμή της καθορίζει και την καταλληλότητα κάποιου υλικού για δεδομένη χρήση. Στα αέρια η ειδική θερμική αγωγιμότητα  $k$  αυξάνεται με αυξανόμενη τη θερμοκρασία. Η ειδική θερμική αγωγιμότητα των μη μεταλλικών υγρών ελαττώνεται όταν μειώνεται η θερμοκρασία με μοναδική εξαίρεση τη γλυκερίνη και το νερό. Η πίεση επηρεάζει την ειδική θερμική αγωγιμότητα  $k$  όταν γίνεται κρίσιμη ενώ υγρά με αυξανόμενο μοριακό βάρος παρουσιάζουν μικρό  $k$ . Στα στερεά σώματα η ειδική θερμική αγωγιμότητα εξαρτάται τόσο από τις ιδιότητες του σώματος όσο και από την εσωτερική δομή του αλλά και από τις συνθήκες υπό τις οποίες διεξάγονται οι μετρήσεις [6].



Κατατάσσοντας τα διάφορα σώματα ως προς την τιμή της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας, έχουμε : την μεγαλύτερη ειδική θερμική αγωγιμότητα έχουν τα καθαρά μέταλλα και ακολουθούν τα μεταλλικά κράματα. Μικρότερη τιμή έχουν τα υγρά μέταλλα ενώ ακόμα παρακάτω βρίσκονται τα μη μεταλλικά στερεά και τα μη μεταλλικά υγρά. Στο τέλος της κατάταξης συναντάμε τα στερεά μονωτικά σώματα και τα αέρια.

Η βασική σχέση που παρέχει την μονοδιάστατη αγωγή θερμότητας σε επίπεδο σώμα είναι :

$$q_x = -k \frac{dT}{dx} = -k \frac{T_{s2} - T_{s1}}{L} = k \frac{T_{s1} - T_{s2}}{L} = k \frac{\Delta T}{L}$$

όπου  $q_x [kJ/m^2h], [W/m^2]$ : η πυκνότητα παροχής θερμότητας που μεταφέρεται με αγωγή παράλληλα προς τον  $x$  άξονα στη μονάδα του χρόνου και της επιφάνειας και η οποία είναι κάθετη στον  $x$  άξονα.

$\frac{dT}{dx}$  : η κατανομή της θερμοκρασίας στο επίπεδο σώμα που καθορίζει και το

$q_x$  και είναι γραμμική

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_{s2} - T_{s1}}{L}$$

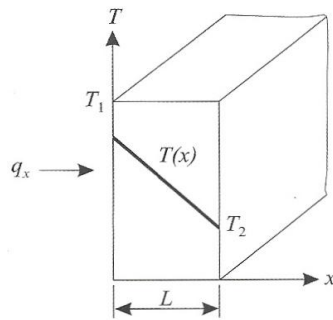
$L$   $m$  : το πάχος του σώματος

$\Delta T [^{\circ}C]$  : η διαφορά θερμοκρασίας

το πρόσημο – (πλην) εμφανίζεται διότι οι δυο ποσότητες  $T$  και  $x$  μεταβάλλονται αντίστροφα , δηλ. με αυξανόμενη την απόσταση  $x$  ελαττώνεται η θερμοκρασία [6].

Γνωρίζοντας και την επιφάνεια  $A [m^2]$  κάθετα προς την οποία εμφανίζεται η αγωγή θερμότητας, υπολογίζουμε το ρεύμα θερμότητας  $Q_x$   $kJ/h$  ,  $W$

$$Q_x = A \cdot q_x = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{L} \quad [7].$$



Σχήμα 2.1.1.1 Αγωγή θερμότητας σε στερεό επίπεδο σώμα [6].

Να μην παραλείψουμε εδώ να αναφέρουμε ότι η τελευταία αυτή εξίσωση αφορά την ιδανική περίπτωση στην οποία οι θερμοκρασίες εκατέρωθεν του επίπεδου σώματος παραμένουν αμετάβλητες με τον χρόνο, έτσι ώστε όλη η θερμότητα που διέρχεται από μια επιφάνεια, να εξέρχεται από την απέναντι της. Αυτό φυσικά σχετικά και με την μελέτη που εκτελούμε εδώ, πάνω στο κτιριακό κέλυφος, απέχει από την πραγματικότητα αφού τουλάχιστον οι συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος μεταβάλλονται διαρκώς και η μεταφορά θερμότητας μέσω των στοιχείων του κτιρίου είναι ασταθής. Στην πραγματικότητα λοιπόν ένα τμήμα του θερμικού κέρδους στην μία επιφάνεια απορροφάται από το σώμα και αποθηκεύεται σε αυτό, αυξάνοντας παράλληλα την θερμοκρασία του, ενώ μόνο το υπόλοιπο φτάνει στην απέναντι επιφάνεια. Το ποσό της θερμότητας που μπορεί μια ουσία να αποθηκεύσει καθορίζεται από την ικανότητα θερμικής αποθήκευσης αυτής (heat-storing capacity), η οποία με τη σειρά της είναι συνάρτηση της μάζας και της ειδικής θερμότητας του υλικού. Το ποσό αυτό πρέπει να το λαμβάνουμε υπόψη μας κατά τον υπολογισμό της μεταφερόμενης θερμότητας μέσω των κτιριακών παραμέτρων [5].

Η ειδική θερμική αγωγιμότητα ενός υλικού επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες μεταξύ των οποίων η περιεχόμενη σε αυτό υγρασία, η θερμοκρασία, η πυκνότητα, και το πορώδες του υλικού [5]. Θα αναλύσουμε ακολούθως καθέναν από αυτούς τους παράγοντες γιατί είναι σημαντικό να γνωρίζουμε υπό ποιες συνθήκες ένα υλικό παύει να είναι λειτουργικό.

Το νερό είναι γνωστό ότι έχει 25 φορές μεγαλύτερη ειδική θερμική αγωγιμότητα από τον αέρα. Συνεπώς όταν στα διάφορα οικοδομικά υλικά παγιδεύεται υγρασία ή σχηματίζεται, λόγω της ύπαρξης θερμοκρασιακών διαφορών

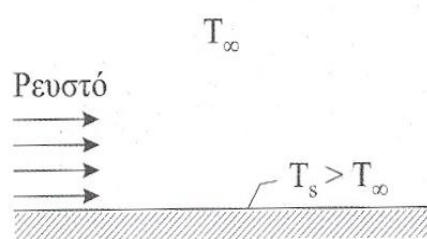
στο εσωτερικό τους, η θερμότητα που μεταφέρεται μέσω του νερού ή του υγρού ατμού που υπάρχει στα υλικά είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι αν τα υλικά ήταν σε ξηρή κατάσταση. Σχετικά με οργανικά υλικά (ξύλο, προϊόντα κυτταρίνης) η επίδραση της υγρασίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από τις υδροφιλικές ιδιότητες των υλικών αυτών. Σε ό,τι αφορά τα μη-οργανικά οικοδομικά υλικά ( προϊόντα ψημένου πηλού ή μπετόν, σκυρόδεμα) η επίδραση της υγρασίας στην ειδική θερμική τους αγωγιμότητα επηρεάζεται από το αν οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν είναι ευνοϊκές, μέτριες ή μη ευνοϊκές [5].

Σε γενικές γραμμές αυξάνοντας τη θερμοκρασία ενός υλικού παρατηρείται και αύξηση της ειδικής θερμικής αγωγιμότητάς τους. Αυτό ωστόσο είναι πιο αισθητό σε light – weight materials που έχουν μεγάλη ποσότητα αέρα στους πόρους τους. Χαρακτηριστικά μπορούμε να αναφέρουμε ότι η ειδική θερμική αγωγιμότητα του polystyrene plastic foam αυξάνεται κατά 21% όταν η θερμοκρασία αυξάνεται από 40° F στους 120° F [5].

Η ειδική θερμική αγωγιμότητα των υλικών εξαρτάται σημαντικά από την πυκνότητα τους, η οποία όμως με τη σειρά της είναι συνάρτηση του πορώδους αυτών. Γενικά ένα υλικό με χαμηλή πυκνότητα, περιέχει σημαντική ποσότητα αέρα ανάμεσα στους πόρους του και έτσι παρουσιάζει μικρή τιμή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας. Συχνά παρατηρούνται διαφορές στις ειδικές θερμικές αγωγιμότητες υλικών με την ίδια πυκνότητα. Αυτές οφείλονται στις διαφορετικές δομές που μπορεί αυτά να έχουν, συμπεριλαμβανομένου του μεγέθους καθώς και της διασύνδεσης των πόρων και των διακένων τους [5].

## 2.2. Μεταφορά θερμότητας διά συναγωγής

Στην μεταφορά θερμότητας με συναγωγή, θερμική ενέργεια μεταφέρεται μέσω της ανάμιξης μιας ποσότητας ρευστού με άλλη. Αυτός ο μηχανισμός λοιπόν σχετίζεται με την μακροσκοπική κίνηση του ρευστού [5,6]. Μεταφορά θερμότητας με συναγωγή εμφανίζεται μεταξύ της επιφάνειας ενός σώματος και του ρευστού που το συνορεύει όταν αυτά έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες [6].



Σχήμα 2.2.1. Συναγωγή θερμότητας [6]

Για να καταλάβουμε καλύτερα πως λειτουργεί ο μηχανισμός αυτός αναφέρουμε εδώ ότι όταν μια ποσότητα ρευστού θερμαίνεται γίνεται ελαφρότερη και κινείται προς τα ανώτερα στρώματα, ενώ την θέση της παίρνει μια άλλη ψυχρότερη ποσότητα η οποία παρασύρεται προς το θερμαντικό σώμα για να ακολουθήσει κι αυτή στη συνέχεια την πορεία του θερμού ρευστού. Για να συμβεί αυτή η μετακίνηση θα πρέπει στο ρευστό να ασκείται μία δύναμη. Όταν αυτή η δύναμη δημιουργείται από την μεταβολή της πυκνότητας, λόγω ύπαρξης θερμοκρασιακών διαφορών στο ρευστό, έχουμε την περίπτωση της φυσικής συναγωγής. Όταν η κίνηση του ρευστού οφείλεται στη χρήση τεχνικών μέσων (αντλία, στροβιλοσυμπιεστής, ανεμιστήρας) έχουμε το φαινόμενο της εξαναγκασμένης συναγωγής [5,6]. Πρακτικά η εξαναγκασμένη συναγωγή παίζει σημαντικότερο ρόλο από την φυσική συναγωγή [5].

Στο μηχανισμό της συναγωγής οφείλεται και το φαινόμενο της καμινάδας που συναντάμε στα κτίρια. Σε αυτό, ο θερμός αέρας ανέρχεται στα ψηλότερα σημεία του κτιρίου μέσω διαφόρων περασμάτων, όπως είναι τα κλιμακοστάσια και το φρέαρ του ανελκυστήρα, και αντικαθίσταται στα χαμηλότερα σημεία του κτιρίου από ψυχρότερο αέρα. Το φαινόμενο αυτό χρήζει ιδιαίτερης προσοχής διότι χωρίς τον σωστό έλεγχο της ροής του αέρα μέσω του κελύφους και την απαραίτητα εξαγωγή

αέρα στα ανώτερα επίπεδα με ταυτόχρονη εισαγωγή στα κατώτερα, είναι πολύ πιθανό να ανακύψουν σοβαρά προβλήματα ανάπτυξης υγρασίας [4].

Συνοψίζοντας, βλέπουμε ότι η μεταφορά θερμότητας με συναγωγή είναι ένας μηχανισμός ο οποίος οφείλεται στον συνδυασμό της αγωγής και της κίνησης του ρευστού [6]. Η πραγματική ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ μιας επιφάνειας και του γειτονικού σε αυτήν ρευστού συμβαίνει με αγωγή, μόλις όμως το ρευστό θερμανθεί (ή ψυχθεί) απομακρύνεται με συναγωγή. Αυξάνοντας την ταχύτητα του ρευστού, αυξάνουμε και τον ρυθμό μεταφοράς θερμότητας. Σε ότι αφορά όμως την κατεύθυνση της ροής θερμότητας, αυτή εξαρτάται αποκλειστικά από τις σχετικές θερμοκρασίες. Έτσι εάν το ρευστό είναι θερμότερο από την επιφάνεια, η θερμότητα θα μεταφέρεται από το ρευστό προς την επιφάνεια με αγωγή και αντιστρόφως [4].

### 2.2.1. Συντελεστής συναγωγής

Υπολογίζουμε την πυκνότητα παροχής θερμότητας  $q [W/m^2]$  χρησιμοποιώντας τη σχέση Newton και έχουμε :

$$q = h T_s - T_\infty$$

όπου :  $T_s [^\circ C]$  : η θερμοκρασία της επιφάνειας

$T_\infty [^\circ C]$  : η θερμοκρασία του ρευστού

$h [W/m^2K]$  : η ειδική συναγωγιμότητα [6].

Η ειδική συναγωγιμότητα δεν είναι σταθερά και εξαρτάται από μια σειρά παραμέτρων που περιλαμβάνουν το είδος του ρευστού και της ροής του, το μέγεθος και τις διαστάσεις της επιφάνειας καθώς και τις εμπλεκόμενες θερμοκρασίες [5]. Συμπεραίνουμε δηλαδή ότι η ειδική συναγωγιμότητα είναι μια συνάρτηση :

$$h = h(u, k, \eta, \rho, c_p, \text{γεωμ.συνθηκες})$$

όπου :  $u$  η ταχύτητα του ρευστού

$k$  η ειδική θερμική αγωγιμότητα

$\eta$  το δυναμικό ιξώδες

$\rho$  η πυκνότητα του ρευστού

$c_p$  η ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση [6].

### **2.3. Μεταφορά θερμότητας δι' ακτινοβολίας**

Ακτινοβολία είναι η ροή ενέργειας υπό μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που έχουν διάφορα μήκη [4]. Η ακτινοβολία ανάλογα με το μήκος κύματος που την χαρακτηρίζει παίρνει και μια ορισμένη ονομασία. Έτσι έχουμε την θερμική ακτινοβολία, τις ακτίνες  $\gamma$ , τα μικροκύματα ακτίνες κλπ. Περισσότερο ενδιαφέρον για εμάς παρουσιάζει η θερμική ακτινοβολία της οποίας το μήκος κύματος κυμαίνεται από 0,1 έως 100  $\mu\text{m}$ . Έξω από την περιοχή αυτή η ακτινοβολία δεν εκδηλώνεται ως θερμότητα. Η θερμική ακτινοβολία διακρίνεται επί μέρους στην υπεριώδη, στην ορατή και στη υπέρυθη ακτινοβολία [6].

Η ακτινοβολία ενός συγκεκριμένου μήκους κύματος ονομάζεται μονοχρωματική και η εξάρτησή της από το μήκος κύματος ονομάζεται φασματική. Η θερμοκρασία και οι ιδιότητες της επιφάνειας του σώματος που ακτινοβολεί καθορίζουν και την φασματική κατανομή της ακτινοβολίας [6].

Τα στερεά σώματα, τα περισσότερα υγρά και αρκετά αέρια ακτινοβολούν θερμότητα, ενώ παράλληλα απορροφούν τη θερμότητα που εκπέμπουν άλλα σώματα γύρω τους [6]. Η μεταφορά θερμότητας δι' ακτινοβολίας γίνεται στο κενό χωρίς να θερμαίνει τον αέρα που περιέχεται σε αυτό. Εδώ εντοπίζεται και η διαφορά αυτού του μηχανισμού μεταφοράς θερμότητας σε σχέση με αυτούς που αναλύσαμε προηγουμένως. Η μεταφορά θερμότητας δι' ακτινοβολίας εμποδίζεται από οποιοδήποτε μέσο βρίσκεται μεταξύ της πηγής και του αντικειμένου [4].

Ενδιαφέρον εδώ σχετικά αφενός με την φασματική κατανομή της ακτινοβολίας, αφετέρου με τον τρόπο μεταφοράς της έχει το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ο ήλιος λοιπόν έχοντας μια πολύ υψηλή θερμοκρασία στην επιφάνειά του (6000K) εκπέμπει μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία (short wave radiation) (μήκη κύματος μικρότερα από 3 $\mu\text{m}$ ). Η ακτινοβολία αυτή διαπερνά τις διαφανείς επιφάνειες, καταλήγει στο εσωτερικό και προσπίπτουσα πάνω σε αντικείμενα του εσωτερικού χώρου αυξάνει την θερμοκρασία τους. Τα αντικείμενα αυτά θερμαινόμενα εκπέμπουν με τη σειρά τους ακτινοβολία η οποία όμως είναι μεγάλου μήκους κύματος (long-wave radiation) (μήκη κύματος πάνω από 3 $\mu\text{m}$ ) διότι τα αντικείμενα είναι σαφώς ψυχρότερα από τον ήλιο. Αυτού του είδους η ακτινοβολία δεν μπορεί να διαφύγει προς τα έξω διότι οι διαφανείς επιφάνειες συμπεριφέρονται σαν αδιαφανή σώματα για αυτού του μήκους κύματος ακτινοβολίας. Τελικά η

ακτινοβολία εγκλωβίζεται στο εσωτερικό αυξάνοντας την θερμοκρασία του χώρου [4,6].

### 2.3.1. Συντελεστές ακτινοβολίας

Η πυκνότητα παροχής θερμότητας  $q [W/m^2K]$  η οποία εκπέμπεται από ένα μέλαν σώμα δίνεται από τη σχέση Stefan – Boltzmann :

$$q = \sigma T_s^4$$

όπου :  $T_s \text{ K}$  : η θερμοκρασία του σώματος

$\sigma$  : η σταθερά ακτινοβολίας του μέλανος σώματος ή η σταθερά Boltzmann η οποία ισούται με  $5,6697 \cdot 10^{-8} W/m^2K^4$  [6].

Η ακτινοβολούμενη θερμότητα από ένα πραγματικό μη μέλαν σώμα υπολογίζεται από τη σχέση :

$$q = \varepsilon \sigma T_s^4$$

όπου :  $\varepsilon$  : ο συντελεστής εκπομπής του πραγματικού σώματος, του οποίου οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως 1 για το μέλαν σώμα [6].

Το ρεύμα θερμότητας  $Q \text{ W}$ ,  $kJ/h$  το οποίο ακτινοβολείται από ένα μικρό σώμα προς ένα που το περιβάλλει προκύπτει :

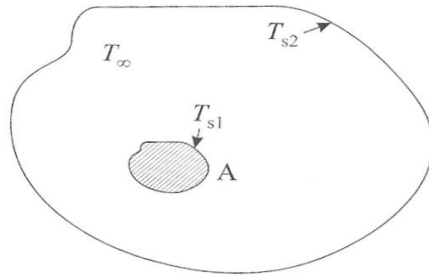
$$Q = \varepsilon A \sigma T_{s1}^4 - T_{s2}^4$$

όπου :  $A [m^2]$  : η επιφάνεια του μικρού σώματος

$\varepsilon$  : ο συντελεστής εκπομπής του

$T_{s1} \text{ K}$  : η θερμοκρασία του

$T_{s2} \text{ K}$  : η θερμοκρασία του μεγάλου σώματος [7].



Σχήμα 2.3.1.1. Μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία μεταξύ δύο σωμάτων εκ των οποίων το ένα είναι πολύ μεγαλύτερο και περιβάλλει εξ ολοκλήρου το άλλο [6].

Όταν σε ένα πραγματικό σώμα προσπίπτει ακτινοβολία, ένα τμήμα αυτής απορροφάται από το σώμα, ένα άλλο ανακλάται από αυτό ενώ υπάρχει και ένα μέρος που διέρχεται δια του σώματος και διαφεύγει [6].

Ορίζουμε λοιπόν για ένα σώμα τους ακόλουθους συντελεστές :

- Συντελεστής απορρόφησης,  $a$  : το κλάσμα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που απορροφάται από την επιφάνεια
- Συντελεστής ανάκλασης,  $\rho$  : το κλάσμα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που ανακλάται από την επιφάνεια
- Συντελεστής διάβασης,  $\tau$  : το κλάσμα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που διέρχεται από την επιφάνεια και διαφεύγει [4].

Ας δούμε όμως πως συναντάμε αυτά και στην καθημερινότητα. Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια αδιαφανή επιφάνεια ενός κτιρίου εν μέρει απορροφάται από αυτήν και εν μέρει ανακλάται. Είναι επομένως :

$$a + \rho = 1$$

Οι διαφανείς επιφάνειες από την άλλη επιτρέπουν και σε ένα τμήμα της ακτινοβολίας να διέρθει αυτούσια διά μέσου τους. Στην περίπτωση αυτή είναι :

$$a + \rho + \tau = 1 \text{ [4].}$$

Το ποσό της ακτινοβολίας που απορροφά ένα σώμα (η απορροφητικότητα - absorptivity του σώματος) και αυτό που στην συνέχεια το σώμα με τη σειρά του εκπέμπει (η εκπεμπιμότητα - emissivity του σώματος) σχετίζεται με τη φύση και τη θερμοκρασία του σώματος, ενώ είναι συνάρτηση της προσπίπτουσας σε αυτό ακτινοβολίας [5]. Έτσι για παράδειγμα τα ιδανικά μέλανα σώματα απορροφούν όλη την ποσότητα της ακτινοβολίας που πέφτει στην επιφάνειά τους. Φυσικά στις κτιριακές εφαρμογές καμία επιφάνεια δεν είναι ιδανικά μελανή ακόμα και αυτές που



φαίνονται σκούρες. Τα περισσότερα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των κτιρίων είναι καλοί απορροφητές και καλοί ανακλαστές [4].

Το καθαρό ποσό θερμότητας που μεταφέρεται μεταξύ δύο σωμάτων δι' ακτινοβολίας εξαρτάται από το σχήμα τους, τη σχετική θέση μεταξύ τους και την απορροφητικότητα και εκπεμπιμότητα αυτών και δίνεται από τη σχέση :

$$q_{m} = F_c F_e A T_1^4 - T_2^4$$

όπου :  $F_c$  : παράγοντας διαμόρφωσης (configuration factor), αδιάστατη ποσότητα, μικρότερη της μονάδας που λαμβάνει υπόψη το σχήμα και τη σχετική θέση των δύο επιφανειών.

$F_e$  : παράγοντας εκπομπής (emissivity factor), αδιάστατη ποσότητα που λαμβάνει υπόψη την απορροφητικότητα και την εκπεμπιμότητα των επιφανειών. Είναι :  $F_e = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$  με  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  τους συντελεστές εκπομπής

των δύο επιφανειών [5].

## 2.4. Ολικός Συντελεστής Θερμικής Διαπερατότητας

Μέχρι τώρα είδαμε τους διαφορετικούς μηχανισμούς με τους οποίους είναι δυνατόν να μεταφέρεται η θερμότητα. Στην παρούσα μελέτη όμως, που εξετάζουμε τα θερμικά κέρδη και τις απώλειες μέσω των διαφόρων στοιχείων του κελύφους, η θερμότητα μεταφέρεται με συνδυασμό των παραπάνω μηχανισμών.

Προκειμένου να μπορούμε να υπολογίσουμε το συνολικό ρεύμα θερμότητας που διέρχεται από ένα στερεό σώμα εκατέρωθεν του οποίου υπάρχουν ρευστά διαφορετικών θερμοκρασιών χρησιμοποιούμε έναν συντελεστή που ονομάζεται ειδική θερμική διαπερατότητα [6].

Για να εξηγήσουμε τη σημασία της ειδικής θερμικής διαπερατότητας πρέπει πρώτα να καθορίσουμε έναν άλλο συντελεστή.

Έτσι έχουμε την θερμική αντίσταση  $R \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$  η οποία εκφράζει την θερμοκρασιακή διαφορά που απαιτείται να υπάρχει στις εκατέρωθεν πλευρές ενός υλικού (σε βαθμούς  $K$ ) προκειμένου  $1W$  θερμότητας να μεταφερθεί διαμέσου μιας επιφάνειας  $1m^2$  αυτού. Είναι :

$$R = \frac{L}{k}$$

όπου :  $L \text{ m}$  : το πάχος του υλικού

$k \text{ W/mK}$  : η ειδική αγωγιμότητα του υλικού [4].

Στις κτιριακές εφαρμογές όμως οι τοίχοι, οι οροφές κλπ δεν αποτελούνται από ένα μόνο υλικό αλλά συντίθενται από στρώματα διαφορετικών υλικών, με διαφορετικά πάχη και ειδικές αγωγιμότητες το καθένα. Για να υπολογίσουμε λοιπόν την ολική θερμική αντίσταση ενός ολόκληρου τμήματος του κτιριακού κελύφους που έχει διαστρωματική σύνθεση ( $n$  διαφορετικά υλικά) και η θερμότητα μεταφέρεται με τη σειρά διαμέσου κάθε διαφορετικού υλικού πρέπει να αθροίσουμε τις θερμικές αντιστάσεις των υλικών που το αποτελούν.

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Γνωρίζοντας έπειτα την θερμική αντίσταση του τμήματος αυτού μπορούμε να κρίνουμε και την θερμική του απόδοση. Γενικά η θερμική αντίσταση εξαρτάται από

την πυκνότητα του υλικού. Όσο πιο πυκνό είναι ένα υλικό, τόσο αυξάνει και η θερμική αντίσταση αυτού [4].

Λαμβάνοντας υπόψη και την θερμική αντίσταση των στρωμάτων αέρα που γειτνιάζουν με τις οριακές επιφάνειες του υλικού, στα οποία η θερμότητα μεταφέρεται με συναγωγή υπολογίζουμε τον ολικό συντελεστή θερμικής διαπερατότητας  $U$  [ $W/m^2K$ ] από την σχέση :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i A} + \frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A} + \dots + \frac{L_n}{k_n A} + \frac{1}{h_{out} A}}$$

όπου :  $h_i, h_{out}$  : η ειδική συναγωγιμότητα στην εσωτερική και εξωτερική επιφάνεια του τμήματος που εξετάζουμε

$A$  [ $m^2$ ] : το εμβαδόν της επιφάνειας διαμέσου της οποίας μεταφέρεται η θερμότητα [6].

Μπορούμε έτσι να υπολογίσουμε τη ολική θερμότητα που μεταφέρεται μέσω ενός τμήματος τους κελύφους, εκατέρωθεν του οποίου υπάρχει μια θερμοκρασιακή διαφορά  $\Delta T$ , χρησιμοποιώντας τη σχέση :

$$Q = UA\Delta T$$

Όταν εκτός από την αγωγή και τη συναγωγή εμφανίζεται και θερμική ακτινοβολία, η σχέση για την ειδική θερμική διαπερατότητα περιέχει και τους αντίστοιχους όρους [6].

### **3. Συνθήκες Εσωτερικού Περιβάλλοντος**

Στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων είναι αναγκαίο να επικρατούν ικανοποιητικές συνθήκες, τέτοιες που να επιτρέπουν στους ενοίκους να ζουν άνετα και να μπορούν να πραγματοποιούν τις εργασίες τους. Για την επίτευξη των συνθηκών αυτών χρησιμοποιούνται συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού (HVAC systems) τα οποία όμως καταναλώνουν μεγάλα ποσά ενέργειας και κατ' επέκταση κοστίζουν πολύ. Η επιθυμία για εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων καθιστά αναγκαία την ύπαρξη ενός λειτουργικού κτιριακού κελύφους διότι έτσι περιορίζονται τα έξοδα από τη λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού.

Στο παρόν Κεφάλαιο θα καθορίσουμε αυτές τις ικανοποιητικές συνθήκες που απαιτείται να επικρατούν στους εσωτερικούς χώρους, εισάγοντας την έννοια της θερμικής άνεσης.

### **3.1. Θερμική Άνεση**

Ως «θερμική άνεση» αποδίδουμε τη νοητική διεργασία που αφορά στην κατάσταση εκείνη στην οποία ένας άνθρωπος μπορεί να εκφράσει ικανοποίηση για τον χώρο στον οποίο βρίσκεται δεδομένου ότι έχει εξασφαλίσει θερμική ισορροπία με το περιβάλλον του [7]. Τον όρο αυτό χρησιμοποιεί η ASHRAE [8].

Η μη επίτευξη θερμικής άνεσης μπορεί να προκαλέσει σε πρώτο επίπεδο δυσφορία. Μπορεί όμως να οδηγήσει και στο SBS (Sick Building Syndrome). Αυτό το σύνδρομο πρόκειται για ένα συνδυασμό παθήσεων που σχετίζεται άμεσα με τον χώρο στον οποίο ένα άτομο κατοικεί ή ζει. Σύμφωνα με μια έκθεση της World Health Organization (WHO) που συντάχθηκε το 1984, το 30% των νέων ή ανακαινισμένων κτιρίων σε παγκόσμια κλίμακα μπορούν να συσχετισθούν με την εμφάνιση του SBS. Αίτια που οδηγούν στο Σύνδρομο αυτό έχουν να κάνουν συνήθως με την ελαττωματική λειτουργία των HVAC συστημάτων, που δεν εξασφαλίζουν την κατάλληλα ποιότητα του αέρα στο εσωτερικό περιβάλλον ή με αναθυμιάσεις που προέρχονται από υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά την κατασκευή. Η ανυπαρξία θερμικής άνεσης εμποδίζει ακόμα τα άτομα να εκτελούν τις εργασίες τους. Έχει παρατηρηθεί ότι υπό thermal stress οι επιδόσεις των ατόμων είναι 11% χαμηλότερες από τις αντίστοιχες στις κανονικές θερμικές συνθήκες [9].

Η θερμική άνεση εξαρτάται από διάφορους παράγοντες και γι' αυτό αποτελεί και μια έννοια που είναι δύσκολο να καθοριστεί με καθαρά αντικειμενικά κριτήρια.

Υπάρχουν λοιπόν ατομικοί παράγοντες. Σε αυτούς περιλαμβάνονται η μεταβολική δραστηριότητα του κάθε ανθρώπου σε συνδυασμό με το είδος της δραστηριότητας που κάθε φορά εκτελείται (Met rate) και ο επιλεγμένος ρουχισμός (Clo Value) [8]. Ο μεταβολισμός είναι μια λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού, ο ρυθμός του οποίου διαφέρει από άνθρωπο σε άνθρωπο και αυξάνει με αναλογικούς ρυθμούς σε σχέση με την ένταση της δραστηριότητας. Λόγω της λειτουργίας αυτής το ανθρώπινο σώμα οδηγείται σε έκλυση θερμότητας, η οποία στη συνέχεια διοχετεύεται στο περιβάλλον. Έτσι ρυθμίζεται η θερμοκρασία του σώματος σε επιτρεπτά επίπεδα. Η επιδερμική θερμοκρασία για την επίτευξη θερμικής άνεσης σε περιπτώσεις καθιστικής εργασίας είναι 33 με 34°C με τιμές που ελαττώνονται αυξανόμενης της δραστηριότητας. Αντιθέτως η εσωτερική θερμοκρασία αυξάνει όσο αυξάνεται η δραστηριότητα [7]. Η απαραίτητη ποσότητα ρουχισμού για άτομο σε

ακινησία σε χώρο θερμοκρασίας  $21,1^{\circ}C$  προκειμένου να μην αισθάνεται δυσφορία είναι  $IClo\left(=0,155\frac{m^2K}{W}\right)$ . Αυτή η μονάδα μέτρησης εκφράζει την μονωτική λειτουργία που εμφανίζουν τα ρούχα [8].

Την θερμική άνεση καθορίζουν και γενικοί παράγοντες. Σε αυτούς περιλαμβάνονται η θερμοκρασία του αέρα και η σχετική του υγρασία, η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (mean radiant temperature) και οι πιθανές διακυμάνσεις της λειτουργικής θερμοκρασίας (operative temperature). Όλα αυτά σε συνδυασμό και στα κατάλληλα επίπεδα προσδιορίζουν το ιδανικό πρότυπο θερμικής άνεσης. Η σχετική υγρασία καθορίζει το εάν το εσωτερικό περιβάλλον είναι ξηρό ή υγρό και το επιθυμητό ποσοστό αυτής επί του συνολικού όγκου του αέρα είναι 30–60% [8]. Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας θα μπορούσε να περιγραφεί ως η θερμοκρασία που θα είχε μια υποθετική επιφάνεια που θα περιέβαλε το ανθρώπινο σώμα, στην οποία η μεταφορά θερμότητας λόγω ακτινοβολίας προς τον άνθρωπο, θα ήταν ισοδύναμη με αυτή της πραγματικής κατάστασης [7]. Η λειτουργική θερμοκρασία προκύπτει ουσιαστικά ως η μέση τιμή της θερμοκρασίας ξηρής σφαίρας του αέρα και της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας σε ορισμένη θέση μέσα σε ένα δωμάτιο [8].

Στον προσδιορισμό της θερμικής άνεσης παίζουν ρόλο και εντοπισμένοι παράγοντες. Τέτοιοι είναι η μετακίνηση του αέρα, η ασυμμετρία της ακτινοβολίας, η θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους και η διαστρωμάτωση της θερμοκρασίας του αέρα [8].

Υπάρχουν δύο μοντέλα για τον προσδιορισμό της θερμικής άνεσης. Το στατικό μοντέλο και το προσαρμοστικό μοντέλο. Σύμφωνα με το προσαρμοστικό μοντέλο υπάρχει μια ιδανική θερμοκρασία για το εσωτερικό περιβάλλον η οποία εξαρτάται από την θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος. Αυτό το μοντέλο βασίζεται στην υπόθεση ότι ο ανθρώπινος οργανισμός μπορεί να αντέξει και να προσαρμοστεί σε διαφορετικές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χρόνου. Αυτή η ιδανική θερμοκρασία προσδιορίζεται για κάθε μήνα του έτους με βάση την μέση θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος για τον εκάστοτε μήνα. Το στατικό μοντέλο από την άλλη στηρίζει ότι η εσωτερική θερμοκρασία δεν πρέπει να αλλάζει σύμφωνα με τις εποχές και έτσι η θερμική άνεση χαρακτηρίζεται από μια μόνο θερμοκρασία για όλο το χρόνο [8].

### 3.2. Συνθήκες θερμικής άνεσης [7]

Σύμφωνα με τον πίνακα που ακολουθεί και ο οποίος περιέχει αποτελέσματα μελέτης που έγινε από την ASHRAE οι γυναίκες παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία αναφορικά με την θερμοκρασία και μικρότερη αναφορικά με την υγρασία σε σχέση με τους άντρες (για περίοδο έκθεσης ανώτερη των δύο ωρών). Στον πίνακα αυτό εισάγεται και ο συντελεστής  $Y$ , ο οποίος χαρακτηρίζει την κλίμακα θερμικής αίσθησης. Γενικά αλλαγή της θερμοκρασίας κατά 3K ή της μερικής πίεσης του υγρού κατά 3kPa αρκεί για να αλλάξει η τιμή του  $Y$  και άρα να υπάρξει μετακίνηση στην κλίμακα θερμικής αίσθησης .

+3	hot
+2	warm
+1	slightly warm
0	neutral
-1	slightly cool
-2	cool
-3	cold

Σχήμα 3.2.1. Κλίμακα θερμικής αίσθησης  $Y$  κατά ASHRAE [7]

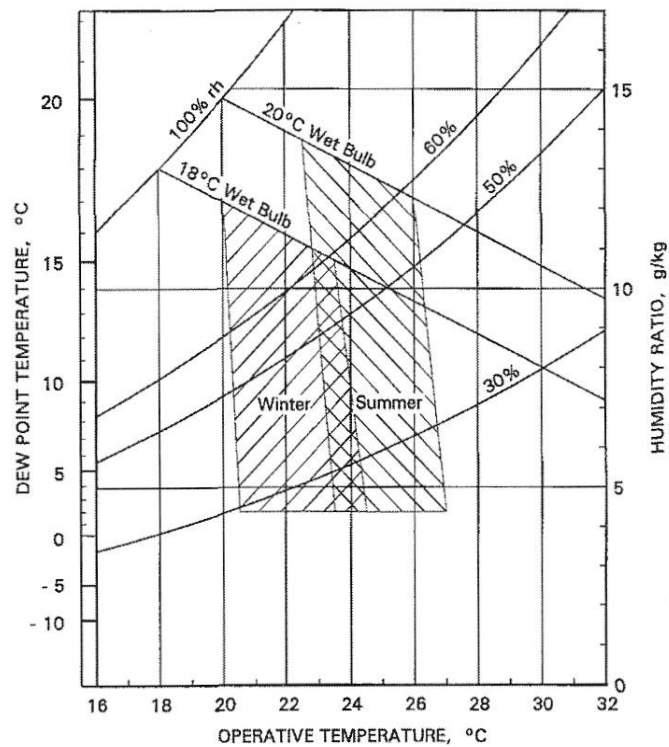
Exposure Period, h	Subjects	Regression Equations <sup>a, b</sup>
		$t = \text{dry-bulb temperature, } ^\circ\text{C}$ $p = \text{vapor pressure, kPa}$
1.0	Men	$Y = 0.220 t + 0.233 p - 5.673$
	Women	$Y = 0.272 t + 0.248 p - 7.245$
	Both	$Y = 0.245 t + 0.248 p - 6.475$
2.0	Men	$Y = 0.221 t + 0.270 p - 6.024$
	Women	$Y = 0.283 t + 0.210 p - 7.694$
	Both	$Y = 0.252 t + 0.240 p - 6.859$
3.0	Men	$Y = 0.212 t + 0.293 p - 5.949$
	Women	$Y = 0.275 t + 0.255 p - 8.622$
	Both	$Y = 0.243 t + 0.278 p - 6.802$

<sup>a</sup>Y values refer to the ASHRAE thermal sensation scale.  
<sup>b</sup>For young adult subjects with sedentary activity and wearing clothing with a thermal resistance of approximately 0.5 clo,  $t_r \approx t_a$  and air velocities < 0.2 m/s.

Πίνακας 3.2.2. Προσεγγιστικός υπολογισμός του συντελεστή  $Y$  για διάφορες περιπτώσεις [7].

Ακόμα σύμφωνα με την ASHRAE ρούχα των οποίων η μονωτική ιδιότητα δίνεται από τις τιμές 0,5 και 0,9 καθορίζουν τις περιοχές θερινής και χειμερινής άνεσης αντίστοιχα.

Παρατηρώντας το διάγραμμα που ακολουθεί, βλέπουμε ότι όταν κάποιος βρίσκεται στο κέντρο της περιοχής άνεσης με τον ρουχισμό που προαναφέρθηκε τότε θα μπορούσε να ενταχθεί στην κατηγορία  $Y = 0$  (ουδέτερη κατάσταση) της θερμικής αίσθησης.



Σχήμα 3.2.3. Περιοχές θερμικής άνεσης κατά ASHRAE [7].



#### **4. Συνθήκες Εξωτερικού Περιβάλλοντος**

Στο προηγούμενο Κεφάλαιο αναλύσαμε τις συνθήκες που αφορούν το εσωτερικό περιβάλλον μιας κατασκευής και ορίσαμε αυτές που προσφέρουν την αναγκαία για τους ενοίκους θερμική άνεση. Οι συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος όμως είναι αυτές που καθορίζουν την κατανάλωση ενέργειας, που απαιτείται προκειμένου να επιτευχθούν οι συνθήκες άνεσης.

#### 4.1. Κλίμα

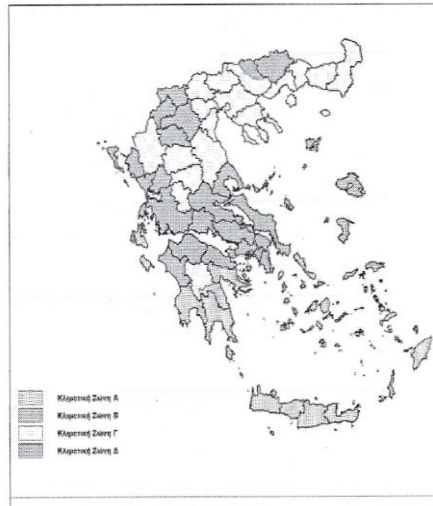
Ο σχεδιασμός κτιρίων πρέπει να λαμβάνει υπόψη το κλίμα και γενικά τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή όπου το κτίριο πρόκειται να κατασκευασθεί [5].

Τα διαφορετικά κλίματα που συναντώνται στην επιφάνεια της Γης μπορούν να διαχωριστούν και να ταξινομηθούν σε ζώνες με διαφόρους τρόπους. Έτσι για παράδειγμα η ταξινόμηση που προτείνεται από τον Köppen χρησιμοποιεί σαν κριτήριο τη βλάστηση που εμφανίζεται στις διάφορες περιοχές [5].

Για την Ελλάδα αναφέρεται στο ΦΕΚ Β' 407, που περιλαμβάνει τις αποφάσεις για την έγκριση του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων : «η ελληνική επικράτεια διαιρείται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες με βάση τις βαθμομέρες θέρμανσης. Στον Πίνακα που ακολουθεί προσδιορίζονται οι νομοί που υπάγονται στις τέσσερις κλιματικές ζώνες (από την θερμότερη στην ψυχρότερη) και ακολουθεί σχηματική απεικόνιση των παραπάνω ζωνών στον Χάρτη. Σε κάθε νομό, οι περιοχές που βρίσκονται σε υψόμετρο άνω των 500 μέτρων, εντάσσονται στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη από εκείνη στην οποία ανήκουν σύμφωνα με τα παραπάνω» [10].

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	NOMOI
ZΩΝΗ Α	Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή)
ZΩΝΗ Β	Αττικής (εκτός Κυθήρων και νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας
ZΩΝΗ Γ	Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλης, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου
ZΩΝΗ Δ	Γρεβενά, Κοζάνη, Καστοριά, Φλώρινα, Σέρρες(ΒΑ τμήμα), Δράμας

Πίνακας 4.1.1. Νομοί ελληνικής επικράτειας ανά κλιματική ζώνη [10].

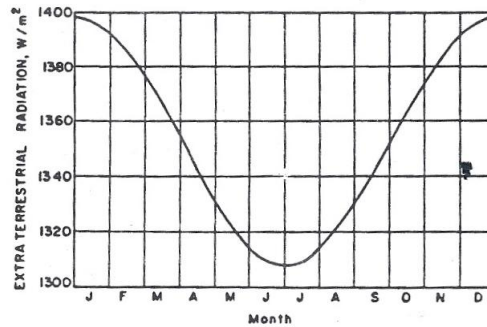


Σχήμα 4.1.2. Σχηματική απεικόνιση κλιματικών ζωνών ελληνική επικράτεια [10].

Η ταξινόμηση αυτή συμβάλλει στη διευκόλυνση κατά των σχεδιασμό κτιρίων που προορίζονται για περιοχή που ανήκει σε ορισμένη ζώνη. Αυτό συμβαίνει διότι όλα τα κτίρια θα πρέπει να διέπονται από ορισμένα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά, τα οποία υπαγορεύονται από τις κλιματικές συνθήκες της κάθε ζώνης [5]. Όπως θα δούμε και παρακάτω στις αντίστοιχες ενότητες ο ΚΕΝΑΚ προσδιορίζει, ανάλογα με την ζώνη στην οποία βρίσκεται το κάθε κτίριο, τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές των συντελεστών θερμικής διαπερατότητας των δομικών του στοιχείων.

#### **4.1.1. Ηλιακή ακτινοβολία**

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης δεν έχει μια σταθερή τιμή, διότι επηρεάζεται από την απόσταση γης-ηλίου. Η απόσταση αυτή μεταβάλλεται λόγω της ελλειπτικής τροχιάς της γης γύρω από τον ήλιο κατά  $\pm 1,7\%$  περί τη μέση απόστασή τους, η οποία είναι  $1,495 \times 10^{11} m$ . Η μέγιστη ακτινοβολία που δέχεται επίπεδο εκτός ατμοσφαιράς κάθετο στις ακτίνες προκύπτει την 21<sup>η</sup> Δεκεμβρίου, που η απόσταση γης-ηλίου είναι η ελάχιστη και είναι ίση με  $G_{on} = 1398 W/m^2$ , ενώ η ελάχιστη τιμή της εντοπίζεται την 21<sup>η</sup> Ιουνίου όπου η απόστασή τους είναι η μέγιστη δυνατή και είναι  $G_{on} = 1308 W/m^2$  [11].



Σχήμα 4.1.1.1. Μεταβολή της ακτινοβολίας καθέτου επιπέδου εκτός ατμοσφαιράς συναρτήσει των ημερών του έτους [11].

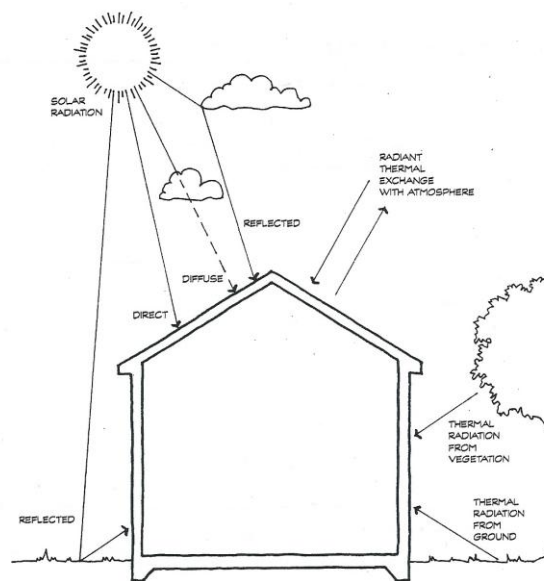
Προκειμένου να συνδέσουμε τις γνώσεις αυτές με την παρούσα μελέτη, θα συσχετίσουμε την ηλιακή ακτινοβολία με το κτιριακό κέλυφος.

Το γεγονός ότι η ακτινοβολία μεταφέρεται στο κενό μπορεί πρακτικά να γίνει κατανοητό από το ότι οι εξωτερικές επιφάνειες των κτιρίων που εκτίθενται στην ηλιακή ακτινοβολία θερμαίνονται. Συνεπώς έχουμε μεταφορά θερμικής ακτινοβολίας από τον ήλιο προς το κτιριακό κέλυφος ανεξάρτητα από την θερμοκρασιακή διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στην επιφάνεια και τον αέρα που την περιβάλλει.

Η συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στην επιφάνεια ενός κτιρίου αποτελείται από:

- Άμεση ακτινοβολία: είναι το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην γη κατευθείαν από τον ήλιο, υπό μορφή παράλληλων ακτινών, χωρίς να μεσολαβήσει διασκορπισμός μέσα στην ατμόσφαιρα [11]
- Διαχύτη ακτινοβολία: είναι το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη γη ύστερα από διασκορπισμό υπό των μορίων του αέρα, του υδρατμού και της σκόνης, απορρόφησης υπό του  $O_3$ ,  $H_2O$  και  $CO_2$  και άρα αλλαγή κατεύθυνσης κατά την διαδρομή μέσα στην ατμόσφαιρα [11].
- Ανακλώμενη ακτινοβολία: είναι το μέρος της αμέσου ακτινοβολίας που ανακλάται σε οροφές, τοίχους, άλλα κτίρια ή αντικείμενα που γειτνιάζουν με την επιφάνεια [4].

Το άθροισμα της άμεσης και της διαχύτου ακτινοβολίας συμπεριλαμβανομένης και της ανακλώμενης ακτινοβολίας από παρακείμενες επιφάνειες είναι η ολική ακτινοβολία.



Σχήμα 4.1.1.2. Ολική ακτινοβολία που προσπίπτει στην εξωτερική επιφάνεια ενός κτιρίου [4].

Σημασία φυσικά έχει και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτή έχει τη μεγαλύτερη τιμή όταν ο ήλιος βρίσκεται στο ψηλότερο σημείο και ελαττώνεται όσο η ανύψωση του ήλιου πάνω από τον ορίζοντα μειώνεται. Επομένως, η προσπίπτουσα σε ένα κτίριο ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από :

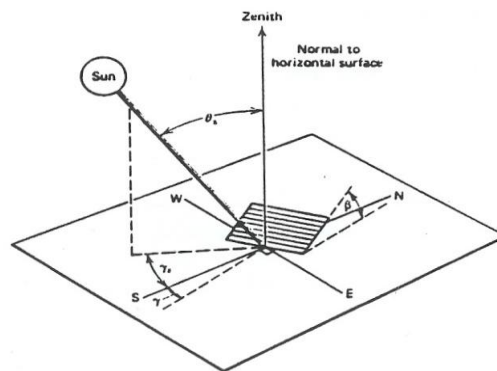
- το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται το κτίριο
- την εποχή του χρόνου την οποία εξετάζουμε
- την κλίση της επιφάνειας
- τον προσανατολισμό της επιφάνειας [4].

#### 4.1.1.1. Βασικές Έννοιες [11]

Στο σημείο αυτό θα περιγράψουμε τις βασικές έννοιες που σχετίζονται με την ηλιακή ακτινοβολία.

- Γωνία ζενίθ,  $\theta_z$  : η γωνία που σχηματίζεται από την κατακόρυφο και την ευθεία όρασης του ηλίου. Για  $\theta_z = 0^\circ$  ο ήλιος βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο.
- Ηλιακό ύψος,  $90^\circ - \theta_z$  : η γωνία που σχηματίζεται από την ευθεία όρασης του ηλίου και την προβολή της στο οριζόντιο επίπεδο. Το μέγεθος αυτό μας εκφράζει ουσιαστικά πόσο ψηλά βρίσκεται ο ήλιος σε σχέση με τον ορίζοντα.

- Αζιμούθιο επιφάνειας,  $\gamma$  : η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της καθέτου στην επιφάνεια πάνω στο οριζόντιο επίπεδο και τη νότια κατεύθυνση. Είναι  $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$  με  $\gamma = 0^\circ$  στο νότο,  $\gamma = 90^\circ$  στη δύση,  $\gamma = 180^\circ$  στο βορρά και  $\gamma = -90^\circ$  στην ανατολή.
- Αζιμούθιο ηλίου,  $\gamma_s$  : η γωνία μεταξύ της προβολής της ευθείας όρασης του ηλίου στο οριζόντιο επίπεδο και της νότιας κατεύθυνσης.
- Κλίση επιπέδου,  $\beta$  : η γωνία που σχηματίζει μια επίπεδη επιφάνεια με το οριζόντιο επίπεδο. Είναι  $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ . Για το οριζόντιο επίπεδο είναι  $\beta = 0^\circ$ , για το κατακόρυφο  $\beta = 90^\circ$ . Για  $\beta > 90^\circ$  το επίπεδο βλέπει προς τα κάτω.



Σχήμα 4.1.1.1.1 Βασικά μεγέθη ηλιακής ακτινοβολίας [11].

- Ωριαία γωνία,  $\omega$  : η γωνιακή μετατόπιση του ηλίου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού λόγω της περιστροφής της γης περί τον άξονά της με ρυθμό  $15^\circ/h = 0,25^\circ/\text{min}$ . Προφανώς ισχύει :

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

Λαμβάνεται  $\omega > 0$  για μμ. και  $\omega < 0$  για πμ.

- Ηλιακή απόκλιση,  $\delta$  : η γωνιακή θέση του ήλιου κατά το ηλιακό μεσημέρι ως προς το επίπεδο του ισημερινού. Ισχύει  $-23,45 \leq \delta \leq 23,45$ , με θετικές τιμές προς τον βορρά. Η μεταβολή αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την εναλλαγή των εποχών του έτους και την άνιση διάρκεια ημέρας και νύχτας. Υπολογίζεται από τη σχέση :

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

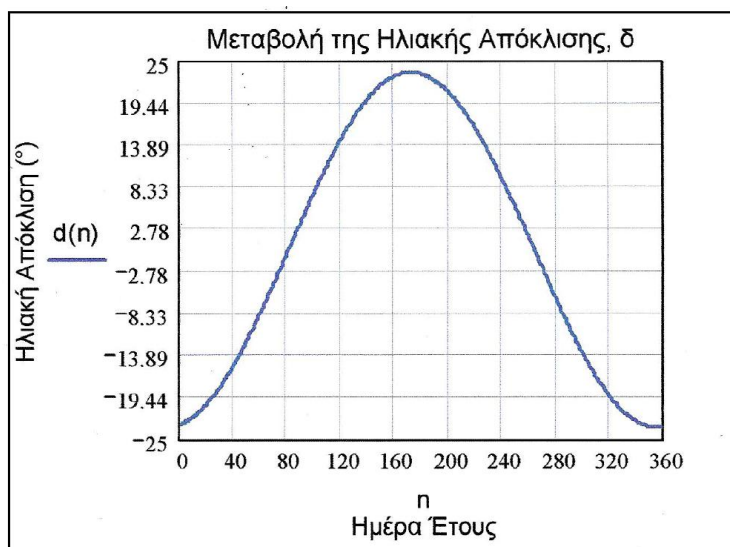
όπου  $n = 1 \div 365$ , είναι ο αύξων αριθμός της μέρας του έτους.

Ο πίνακας (Πίνακας 4.1.1.1.2) που ακολουθεί δίνει έναν εύκολο τρόπο υπολογισμού του  $n$  και της τυπικής απόκλισης,  $\delta$ , κατά τη μέση μέρα κάθε μήνα, δηλαδή εκείνη τη μέρα που έχει ηλιακή ακτινοβολία εκτός ατμοσφαιρας περίπου ίση με τη μέση ημερήσια του μηνός.

Μήνες του χρόνου	Μέρα του χρόνου	Για τη μέση μέρα του μήνα		
		Ημερομηνία	n	Απόκλιση $\delta$
Ιανουάριος	i	17	17	-20,9
Φεβρουάριος	31 + i	16	47	-13,0
Μάρτιος	59 + i	16	75	-2,4
Απρίλιος	90 + i	15	105	9,4
Μάιος	120 + i	15	135	18,8
Ιούνιος	151 + i	11	162	23,1
Ιούλιος	181 + i	17	198	21,2
Αύγουστος	212 + i	16	228	13,5
Σεπτέμβριος	243 + i	15	258	2,2
Οκτώβριος	273 + i	15	288	-9,6
Νοέμβριος	304 + i	14	318	-18,9
Δεκέμβριος	334 + i	10	344	-23,0

Πίνακας 4.1.1.1.2 Αριθμός ημέρας του έτους, μέση μέρα του μήνα και η ηλιακή της απόκλιση.

Στο Σχήμα (Σχήμα 4.1.1.1.3) που ακολουθεί φαίνεται η μεταβολή της ηλιακής απόκλισης κατά την διάρκεια του έτους.



Σχήμα 4.1.1.1.3. Μεταβολή της ηλιακής απόκλισης  $\delta$  συναρτήσει των ημερών του έτους.

- Γεωμετρικό πλάτος τόπου,  $\phi$  : είναι  $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$  και για την Αθήνα είναι  $\phi = 37.97^\circ$
- Γωνία πρόσπτωσης της αμέσου ακτινοβολίας πάνω σε μια επιφάνεια,  $\theta$  : η γωνία μεταξύ των προσπιπτουσών ηλιακών ακτινών και της καθέτου στην επιφάνεια.

Υπολογίζεται από τη σχέση :

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \Phi \cos \beta - \sin \delta \cos \Phi \sin \beta \cos \gamma \\ & + \cos \delta \cos \Phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \Phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned}$$

Για κατακόρυφες επιφάνειες ( $\beta = 90^\circ$ ) η σχέση αυτή γίνεται :

$$\begin{aligned} \cos \theta = & -\sin \delta \cos \Phi \cos \gamma + \cos \delta \sin \Phi \cos \gamma \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned}$$

ενώ για οριζόντιες επιφάνειες ( $\beta = 0^\circ$ ) η γωνία πρόσπτωσης ταυτίζεται με τη γωνία ζενίθ,  $\theta_z$ , και η εξίσωση υπολογισμού της είναι :

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \Phi + \cos \delta \cos \Phi \cos \omega$$



## 4.2. Μικρόκλιμα

Τη θερμική συμπεριφορά των κτιρίων επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό, εκτός από το κλίμα και το μικρόκλιμα τους. Το μικρόκλιμα ενός κτιρίου είναι το κλίμα που επικρατεί στο άμεσο κοντινό του περιβάλλον [13]. Αυτό που είναι ιδιαίτερα σημαντικό είναι ότι μπορούμε να επεμβαίνουμε στο μικρόκλιμα, προσαρμόζοντάς το έτσι ώστε να έχουμε τις καλύτερες δυνατές συνθήκες.

Στα αστικά κέντρα, όπου ζουν σήμερα οι περισσότεροι άνθρωποι και συνεπώς χτίζονται τα περισσότερα κτίρια, μπορεί να επικρατούν από περιοχή σε περιοχή σημαντικά διαφορετικές συνθήκες ανάλογα με την διαμόρφωση και την τοπογραφία που τις χαρακτηρίζει.

Οι κύριες παράμετροι που καθορίζουν το μικρόκλιμα ενός κτιρίου είναι οι ακόλουθες και πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά:

- Στοιχεία υγρασίας: Η περιεχόμενη υγρασία στον αέρα των πόλεων διαφέρει σημαντικά από αυτήν που εντοπίζεται στην ατμόσφαιρα της εξοχής. Σε αυτό παίζει ρόλο και το γεγονός ότι στην εξοχή είναι συνήθης η ύπαρξη κάποιου υγρού στοιχείου (βάλτος, λίμνη, ποτάμι) [5].
- Καπνός και αέρια απόβλητα από εργοστάσια και βιομηχανίες: Η ύπαρξη τέτοιων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα των πόλεων μπορεί να περιορίσει σε σημαντικό βαθμό το ηλιακό φως και κατ' επέκταση τη διάρκεια της ημέρας. Ακόμα, η αυξημένη περιεκτικότητα του αέρα σε σωματίδια σκόνης αυξάνει την πιθανότητα βροχόπτωσης [5].
- Απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας: Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται γενικά πιο αποτελεσματικά στα αστικά κέντρα απ' την ύπαιθρο. Αυτό σχετίζεται κυρίως με την ύπαρξη εκτεταμένων σκούρων επιφανειών κατασκευασμένων με θερμοαπορροφητικά υλικά (άσφαλτος των δρόμων, χώροι στάθμευσης, οροφές κτιρίων, έλλειψη περιοχών πρασίνου-όπως πάρκα κλπ.). Αυτό, σε συνδυασμό με την υψηλή κατανάλωση ενέργειας και την καύση υλών (με ταυτόχρονη μόλυνση του ατμοσφαιρικού αέρα) συνεισφέρουν στην υπερθέρμανση των πόλεων και την αυξανόμενη ένταση του φαινομένου της θερμικής νησίδας (heat-island effect) [5]. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι πολυετείς μετρήσεις στην Αθήνα έχουν δείξει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας στο κέντρο της πόλης φτάνει έως και 10 °C στη διάρκεια

του καλοκαιριού. Αυτό φυσικά συνεπάγεται και αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας για τον κλιματισμό των κτιρίων [12].

° Ταχύτητα ανέμου: Η ταχύτητα του ανέμου είναι σημαντικά χαμηλότερη στα αστικά κέντρα σε σχέση με την ύπαιθρο, γεγονός που οφείλεται στην αυξημένη τραχύτητα του εδάφους λόγω της ύπαρξης πολλών και διαφορετικού ύψους κτιρίων [5].

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως μπορούμε με διάφορους τρόπους να επεμβούμε στο μικρόκλιμα ενός κτιρίου με φυσικά και τεχνητά μέσα ώστε να δημιουργήσουμε ένα ευνοϊκό περιβάλλον γύρω από το κτίριο. Κινήσεις που γίνονται σε αυτή την κατεύθυνση περιλαμβάνουν την φύτευση στεγών και δωματίων για την χειμερινή και θερινή προστασία και μόνωση. Συχνά τοποθετούνται αναρριχόμενα φυτά σε τοίχους και πέργκολες για τον σκιασμό και τη διατήρηση δροσερού αέρα γύρω από τα κτίρια [13]. Προτείνεται βέβαια τέτοιου είδους αναρριχόμενα φυτά να αποφεύγονται σε βορεινούς τοίχους. Εκεί είναι περισσότερο πιθανό να αναπτυχθεί μούχλα γιατί ένα αναρριχόμενο φυτό συγκρατεί την υγρασία στην επιφάνεια του τοίχου και καθυστερεί την εξάτμισή της από αυτήν [4].

Το μικρόκλιμα ενός κτιρίου μπορεί ακόμα να βελτιωθεί με αλλαγές που αφορούν όχι μόνο στο κτίριο αυτό κάθε αυτό αλλά στην ευρύτερη περιοχή που αυτό είναι τοποθετημένο. Έτσι η αύξηση του αστικού πρασίνου και η χρήση ψυχρών υλικών που δεν έχουν μεγάλη θερμοαπορροφητικότητα αποτελούν τεχνικές που αφενός μπορούν να περιορίσουν το φαινόμενο της θερμικής νησίδας και αφετέρου να προσφέρουν ένα κατάλληλο μικρόκλιμα [13].

Οι κλιματικοί παράγοντες, που παρεμβαίνοντας στο μικρόκλιμα του κτιρίου, μεταβάλλονται άμεσα είναι, η θερμοκρασία του αέρα, η ταχύτητα και η κατεύθυνσή του καθώς και η περιεχόμενη σε αυτόν υγρασία [5].

## 5. Κύριες παράμετροι κτιριακού κελύφους

Στο Κεφάλαιο αυτό θα εστιάσουμε στα χαρακτηριστικά του κτιριακού κελύφους που επιδρούν στην κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση ή ψύξη του κτιρίου προκειμένου οι ένοικοί του να απολαμβάνουν συνθήκες θερμικής άνεσης.

Θα εστιάσουμε κυρίως στη μόνωση (με χαρακτηριστικά στοιχεία το πάχος και την ειδική θερμική αγωγιμότητα του μονωτικού υλικού) και στους υαλοπίνακες (με χαρακτηριστικά στοιχεία τον συντελεστή μετάδοσης θερμότητας του υλικού, το ποσοστό επί της συνολικής επιφάνειας του κελύφους, τον προσανατολισμό και τον συντελεστή σκίασης), δηλαδή στα τμήματα του κελύφους που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη και τη μικρότερη θερμική αντίσταση αντίστοιχα [15].

Όλες οι επιφάνειες του κελύφους που εκτίθενται στην ηλιακή ακτινοβολία απορροφούν σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό θερμότητα ανάλογα με την απορροφητικότητά τους. Για το λόγο αυτό στους υπολογισμούς θα πρέπει να χρησιμοποιούμε μια θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος, η οποία να συνδυάζει τα αποτελέσματα τόσο της θερμοκρασίας του αέρα όσο και της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στον ρυθμό μεταφοράς θερμότητας μέσω αυτών των υλικών. Η θερμοκρασία αυτή ονομάζεται θερμοκρασία ηλίου – αέρος ή ισοδύναμη θερμοκρασία,  $t_e$  (sol-air temperature) [5].

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία [15], η  $t_e$  είναι «η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα η οποία σε απουσία όλων των θερμικών συναλλαγών διά ακτινοβολίας, δίνει σε μια επιφάνεια την ίδια εισερχόμενη θερμοροή με αυτήν που προκύπτει με τον πραγματικό συνδυασμό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, με την συναλλαγή θερμότητας διά ακτινοβολίας με τον ουρανό και τα πέριξ και με την συναλλαγή δια συναγωγής με τον εξωτερικό αέρα» και δίνεται από τη σχέση :

$$t_e = t_o + \frac{aI_t}{h_o} - \frac{\varepsilon\Delta R}{h_o}$$

όπου :

ο η ποσότητα  $\frac{\varepsilon\Delta R}{h_o}$  λαμβάνεται ίση προς  $1 \times 63W/m^2 / 16,3W/m^2C = 3,9^\circ C$  για

οριζόντια επιφάνεια και 0 για κατακόρυφη.

- η προσπίπτουσα ολική ηλιακή ακτινοβολία,  $I_t$ , περιλαμβάνει την άμεση ακτινοβολία καθώς και τη διάχυτη εξ ουρανού και εξ ανακλάσεως στο έδαφος, δεν λαμβάνεται όμως υπόψη η ανάκλαση σε παρακείμενες επιφάνειες (τοίχους).
- ο λόγος  $\frac{a}{h_o}$  λαμβάνει την τιμή 0,026 για ανοιχτόχρωμες επιφάνειες και 0,052 για σκούρες..
- η ποσότητα  $t_o$  προσδιορίζει την θερμοκρασία του περιβάλλοντος και οι τιμές της δίνονται σε πίνακες που υπάρχουν στην βιβλιογραφία για διάφορα γεωγραφικά πλάτη και ορισμένες μέρες του χρόνου.

## 5.1. Αδιαφανή στοιχεία του κτιριακού κελύφους

Έχουμε ήδη αναφέρει σε προηγούμενη ενότητα ότι η θερμική συμπεριφορά των διαφόρων στοιχείων του κελύφους καθορίζεται από την ειδική θερμική διαπερατότητα τους  $U [W/m^2K]$  η οποία περιλαμβάνει τις θερμικές αντιστάσεις όλως των επιμέρους στρωμάτων που τα αποτελούν.

Στην περίπτωση όμως που εξετάζουμε βαριές ή ελαφριές κατασκευές, εκτεθειμένες σε διαρκώς μεταβαλλόμενες εξωτερικές συνθήκες, που οφείλονται στην ύπαρξη διακυμάνσεων της θερμοκρασίας ξηρής σφαίρας ή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας, πρέπει κατά την μελέτη της μεταφοράς θερμότητας δια μέσου αυτών να λαμβάνουμε υπόψη και την ικανότητα θερμικής αποθήκευσης των εν λόγω κατασκευών [5].

Για να εξηγήσουμε καλύτερα τι εννοούμε με αυτό θα προσδιορίσουμε εδώ δύο ιδιότητες των οικοδομικών (και όχι μόνο) υλικών.

Θερμοχωρητικότητα ενός υλικού ή ενός δομικού στοιχείου  $C J/K$  ονομάζεται η ικανότητά του να αποθηκεύει θερμότητα που δέχεται από το περιβάλλον, μέσα στη μάζα του και να την αποδίδει βαθμιαία με σημαντική χρονική υστέρηση. Η θερμότητα που αποθηκεύει είναι ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας του υλικού, της θερμοκρασίας του αέρα που το περιβάλλει, της ειδικής θερμοχωρητικότητας του υλικού και της μάζας του.

Ειδική θερμοχωρητικότητα ενός υλικού  $C_p \left[ \frac{kcal}{kg^{\circ}C} \right]$  καλείται το ποσό της ενέργειας που απαιτείται για να ανυψωθεί η θερμοκρασία 1kg από το υλικό κατά 1°C.

Σε αυτό το σημείο θα εξηγήσουμε ένα ενδιαφέρον φαινόμενο που συμβαίνει στις κατασκευές, σχετίζεται άμεσα με την ικανότητα θερμικής αποθήκευσης τους και επηρεάζει τον ρυθμό μεταφοράς θερμότητας στο εσωτερικό των κτιρίων. Στην εξωτερική επιφάνεια των αδιαφανών στοιχείων του κελύφους (τοιχοί, οροφές) παρατηρείται κατά τη διάρκεια της ημέρας ένα θερμικό κέρδος το οποίο μάλιστα για κάποια ώρα της μέρας παίρνει μια μέγιστη τιμή. Ένα μεγάλο μέρος αυτού συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας της εξωτερικής επιφανείας, καθώς αποθηκεύεται στην κατασκευή και ένα άλλο, μικρότερο τμήμα του θερμικού κέρδους μεταφέρεται στην εσωτερική επιφάνεια της κατασκευής και άρα στο εσωτερικό της περιβάλλον.

Παρατηρείται δηλαδή μια χρονική υστέρηση μεταξύ της στιγμής που η εξωτερική επιφάνεια έχει το μέγιστο θερμικό κέρδος και άρα πετυχαίνει τη μέγιστη θερμοκρασία της και της στιγμής που εμφανίζεται η μέγιστη απώλεια θερμότητας από την εσωτερική επιφάνεια της κατασκευής προς το εσωτερικό περιβάλλον [5].

Η ποσότητα της θερμότητας που μπορεί να αποθηκεύσει μια κατασκευή εξαρτάται από το βάρος της. Συνεπώς όσο βαρύτερη είναι η κατασκευή που εξετάζεται, τόσο περισσότερη θερμότητα μπορεί να αποθηκεύσει και άρα τόσο λιγότερη θερμότητα φτάνει στο εσωτερικό περιβάλλον, κατά τη διάρκεια της ημέρας [5].

Στα αδιαφανή στοιχεία του κτιριακού κελύφους περιλαμβάνονται οι τοίχοι, οι οροφές (και τα πιθανά δώματα) και το δάπεδο. Για καθένα από αυτά τα τμήματα του κελύφους θα περιγραφούν παρακάτω οι συνηθισμένες δομές, όπως αυτές συναντώνται συνήθως και έχουν καταχωρηθεί στη βιβλιογραφία ενώ θα προσδιοριστεί και η συνεισφορά τους στην μεταφορά θερμότητας μέσω του κελύφους.

### **5.1.1. Τοίχοι – Οροφή – Δάπεδο**

Οι τοίχοι περιβάλλουν τα κτίρια και συνεπώς μεγάλα ποσά θερμότητας συναλλάσσονται μέσω της επιφάνειάς τους. Η θερμική συμπεριφορά τους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Σε αυτούς περιλαμβάνονται ο προσανατολισμός τους, το εμβαδόν της επιφάνειάς τους, ο τύπος της κατασκευής τους και άρα ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας που τους χαρακτηρίζει και το χρώμα της εξωτερικής τους επιφάνειας [16].

Η επίδραση καθενός από τους παραπάνω παράγοντες θα αναλυθεί στη συνέχεια λαμβάνοντας πάντα υπόψη ότι η θερμότητα μεταφέρεται δι' αγωγής μέσω των τοίχων.

Η οροφή αποτελεί εκείνο το τμήμα του κτιριακού κελύφους το οποίο είναι καθόλη τη διάρκεια της μέρας εκτεθειμένο στην ηλιακή ακτινοβολία. Ακόμα τους χειμερινούς μήνες κυρίως, η βροχή και το χιόνι επιβαρύνουν την κατασκευή των οροφών και αν το υγρό στοιχείο συσσωρεύεται μπορεί τα υλικά που τις αποτελούν να καταστραφούν και να πάψουν να είναι λειτουργικές. Δεδομένου λοιπόν ότι μέσω της οροφής συναλλάσσονται σημαντικά ποσά θερμότητας, όπως συμβαίνει και με τους

τοιχούς, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερο βάρος κατά τον σχεδιασμό και την κατασκευή τους.

Τα δάπεδα των κτιρίων συμπεριφέρονται διαφορετικά ανάλογα με την σχέση τους με τους υποκείμενους χώρους. Έτσι λοιπόν μπορεί να έχουμε δάπεδο επί εδάφους, αεριζόμενο δάπεδο, δάπεδο επί θερμαινόμενου χώρου, δάπεδο επί μη θερμαινόμενου χώρου ή δάπεδο επί μερικώς θερμαινόμενου χώρου, όπως άλλωστε προτείνεται και από την βιβλιογραφία [16].

### 5.1.2. Κατασκευή αδιαφανών στοιχείων κτιριακού κελύφους

Παρακάτω δίνονται σε πίνακες (Πίνακας 5.1.2.1) η ονομασία και η περιγραφή των τυπικών εξωτερικών τοίχων για την Ελλάδα συμπεριλαμβανομένου και του ολικού συντελεστή θερμοπερατότητας για καθεμιά από τις κατασκευές αυτές. Ο κοινότερος ελληνικός τοίχος βέβαια είναι ο διπλός δρομικός με μόνωση 4cm και  $U = 0,650 W/m^2 \cdot ^\circ C$  που είναι και αυτός που θα μελετήσουμε αργότερα και στο 2<sup>ο</sup> μέρος της παρούσας εργασίας.

Κ/Α	Ονομασία	Περιγραφή	$U \text{ } W/m^2 \cdot ^\circ C$
G1	Διπλός δρομικός με μόνωση 4 cm	Επίχρισμα 2 cm Δρομικός 9 cm Μόνωση 4 cm Δρομικός 9 cm Επίχρισμα 2 cm	0,650
G2	Διπλός δρομικός	Επίχρισμα 2 cm Δρομικός 9 cm Δρομικός 9 cm Επίχρισμα 2 cm	1,802
G3	Διπλός δρομικός με στρώμα αέρος 6cm	Επίχρισμα 2 cm Δρομικός 9 cm Αέρας 6 cm Δρομικός 9 cm Επίχρισμα 2 cm	1,364
G4	Διπλός ορθοδρομικός με μόνωση 5cm	Επίχρισμα 2 cm Ορθοδρομικός 6 cm Μόνωση 5 cm Ορθοδρομικός 6 cm Επίχρισμα 2 cm	0,703
G5	Διπλός ορθοδρομικός με στρώμα αέρος 6cm	Επίχρισμα 2 cm Ορθοδρομικός 6 cm Αέρας 6 cm Ορθοδρομικός 6 cm Επίχρισμα 2 cm	1,619

G6	Δρομικός και ορθοδρομικός με μόνωση 4cm	Επίχρισμα 2 cm Δρομικός 9 cm Μόνωση 4 cm Ορθοδρομικός 6 cm Επίχρισμα 2 cm	0,676
G7	Δρομικός και ορθοδρομικός με στρώμα αέρος 6cm	Επίχρισμα 2 cm Δρομικός 9 cm Αέρας 6 cm Ορθοδρομικός 1,4456 cm Επίχρισμα 2 cm	1,481
G8	Διπλό δρομικός με μόνωση 5cm και αερισμό	Τούβλο Διακ. 9 cm Αέρας 2 cm Μόνωση 5 cm Δρομικός 9 cm Επίχρισμα 2 cm	0,521
G9	Διακοσμ. τούβλα με στρώμα αέρος 2 cm και δρομικό	Τούβλο Διακ. 9 cm Αέρας 2 cm Δρομικός 9 cm Επίχρισμα 2 cm	1,445
G10	Τοίχος συρομένων με μόνωση 5 cm	Επίχρισμα 2 cm Ορθοδρομικός 9 cm Κενό 13 cm Μόνωση 5 cm Ορθοδρομικός 9 cm Επίχρισμα 2 cm	0,546
G11	Τοίχος συρομένων χωρίς μόνωση	Επίχρισμα 2 cm Ορθοδρομικός 6 cm Κενό 13 cm Ορθοδρομικός 6 cm Επίχρισμα 2 cm	1,657
G12	Τοίχος συρομένων με γυψοσανίδες και μόνωση 5 cm	Επίχρισμα 2 cm Ορθοδρομικός 6 cm Κενό 13 cm Γυψοσανίδα 1 cm Μόνωση 2 cm Γυψοσανιδ. 1,25 cm	0,577
G13	Δοκός 19 cm με μόνωση 5 cm	Επίχρισμα 2 cm Δοκός 19 cm Μόνωση 5 cm Επίχρισμα 2 cm	0,653
G14	Δοκός 19 cm χωρίς μόνωση	Επίχρισμα 2 cm Δοκός 19 cm Επίχρισμα 2 cm	0,306
G15	Δοκός 25 cm με μόνωση 5 cm και γυψοσανίδες	Επίχρισμα 2 cm Δοκός 25 cm Μόνωση 5 cm Γυψοσανιδ. 1,25 cm	0,641
G16	Δοκός 19 cm με μόνωση 5 cm και ορθοδρομικό	Επίχρισμα 2 cm Δοκός 19 cm Μόνωση 5 cm Ορθοδρομικός 6 cm Επίχρισμα 2 cm	0,607
G17	Δοκός 19 cm ορθοδρομικό	Επίχρισμα 2 cm Δοκός 19 cm Ορθοδρομικός 6 cm Επίχρισμα 2 cm	2,393
G18	Λιθοδομή 60 cm	Επίχρισμα 2 cm Λιθοδομή 60 cm Επίχρισμα 2 cm	2,338

*Πίνακας 5.1.2.1. Περιγραφή τυπικών εξωτερικών τοίχων[15]*



Παρατηρώντας τον παραπάνω πίνακα βλέπουμε ότι συχνά εντός της κατασκευής περιλαμβάνεται ένα στρώμα αέρα ή κενό. Όπως είναι γνωστό, η θερμική αγωγιμότητα του σταθερού αέρα είναι πολύ χαμηλή. Για τον λόγο αυτό, θεωρείται συχνά ότι τα διάκενα αέρος παρουσιάζουν μεγάλη θερμική αντίσταση στη ροή θερμότητας. Η σκέψη όμως αυτή είναι στην πραγματικότητα λανθασμένη και αυτό γιατί η ροή θερμότητας μέσα από τα διάκενα αέρος γίνεται κατά 60-65% με ακτινοβολία και η υπόλοιπη γίνεται σε μεγάλο βαθμό με συναγωγή. Συνεπώς η μεταφορά θερμότητας με αγωγή είναι σχεδόν αμελητέα για διάκενα αέρος πάχους μεγαλύτερου από  $3/4\text{ in}$  [5].

Όπως έγινε με την τοιχοποιία, ο πίνακας που ακολουθεί περιέχει την ονομασία, την περιγραφή και τους ολικούς συντελεστές θερμοπερατότητας των τυπικών οροφών.

<b>K/A</b>	<b>Ονομασία</b>	<b>Περιγραφή</b>	<b><math>k \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}</math></b>
1	Ταράτσα με μόνωση 6 cm και γαρμπιλόδεμα	Γαρμπιλόδεμα 7 cm Στεγανοποίηση 1cm Μόνωση 6 cm Μπετόν κλίσεως 7 cm Οπλ. σκυρόδεμα 14 cm Επίχρισμα 1,5 cm	0,446
2	Οροφή και σκυρόδεμα 14 cm χωρίς μόνωση	Οπλ. σκυρόδεμα 14 cm Επίχρισμα 2 cm	3,323
3	Οροφή και κισσηρόδεμα και κυψελωτό μπετόν	Κυψελωτό μπετόν 10 cm Κισσηρόδεμα (μπ. κλ.) 10 cm Οπλ. σκυρόδεμα 14 cm Επίχρισμα 1,5 cm	1,005
4	Οροφή με πλάκες ταράτσας	Πλάκες ταράτσας 4 cm Ασβεστοτσιμεντοκον. 2 cm Οπλ. σκυρόδεμα 14 cm Επίχρισμα 1,5 cm	3,223
5	Οροφή με κισσηρόδεμα και γαρμπιλόδεμα	Γαρμπιλόδεμα 7 cm Κισσηρόδεμα 10 cm Οπλ. σκυρόδεμα 14 cm Επίχρισμα 1,5 cm	1,422

6	Οροφή με κισσηρόδεμα και στεγανοποίηση	Στεγανοποίηση 1 cm Κισσηρόδεμα 10 cm Οπλ. σκυρόδεμα 14 cm Επίχρισμα 1,5 cm	1,532
7	Οροφή με κισσηρόδεμα, στεγανοποίηση και πλάκες ταρατσών	Πλάκες ταρατσας 4 cm Ασβεστοτσιμεντοκον. 2 cm Στεγανοποίηση 1 cm Κισσηρόδεμα 10 cm Οπλ. σκυρόδεμα 14 cm Επίχρισμα 1,5 cm	1,401
8	Μονωμένη στέγη με κεραμμύδια γαλλ. τύπου	Κεραμίδι γαλλ. Τύπου Ξύλινος σκελετός 4 cm Μόνωση 8 cm Οπλ. σκυρόδεμα 14 cm Επίχρισμα 1,5 cm	0,447
9	Στέγη με κεραμίδια γαλλ. τύπου χωρίς μόνωση	Κεραμίδι γαλλ. Τύπου Κενόν (Ξύλ. σκελ. 8 cm) Μόνωση 8 cm Οπλ. σκυρόδεμα 14 cm Επίχρισμα 1,5 cm	2,215
10	Μονωμένη ταρατσα με μπετόν κλίσεως πάνω από μόνωση	Γαρμπιλόδεμα 7 cm Μόνωση 6 cm Οπλ. σκυρόδεμα 14 cm Επίχρισμα 2 cm	0,544

*Πίνακας 5.1.2.2. Περιγραφή τυπικών οροφών[15]*

Τέλος παρέχονται υπό μορφή πινάκων οι τυπικές κατασκευές (Πίνακες 5.1.2.3. – 5.1.2.5) των δαπέδων ενώ δίνονται και τα χαρακτηριστικά στοιχεία των συνήθων τύπων εδάφους. Τα στοιχεία αυτά τα παραθέτουμε εδώ για πληρότητα. Αυτό που μας ενδιαφέρει ωστόσο είναι αυτό που προτείνεται από την ASHRAE, ότι δηλαδή δάπεδο επί μη αεριζόμενου υπογείου ή επί εδάφους, λειτουργεί αδιαβατικά και άρα θεωρούμε ότι συμβαίνει μηδενική μεταφορά θερμότητας διαμέσου αυτού. Δεν θα λαμβάνεται επομένως υπόψη κατά τον υπολογισμό του θερμικού ισοζυγίου.

<b>Τύπος Δαπέδου</b>
Δάπεδο επί του εδάφους
Αεριζόμενο δάπεδο
Δάπεδο επί θερμαινόμενου χώρου
Δάπεδο επί μη θερμαινόμενου χώρου
Δάπεδο επί μερικώς θερμαινόμενου χώρου

Πίνακας 5.1.2.3. Τύπος δαπέδου – Σχέση δαπέδου με τους υποκείμενους χώρους [16].

<b>Τύπος κατασκευής δαπέδου</b>
Πλάκες μαρμάρου, τσιμεντοκονία, πλάκα σκυροδέματος
Πλάκες μαρμάρου, τσιμεντοκονία, θερμομόνωση, πλάκα σκυροδέματος
Παρκέ, στρώμα αέρος, πλάκα σκυροδέματος
Ξύλινο δάπεδο, θερμομόνωση στο διάκενο, πλάκα σκυροδέματος
Πάνω από μη θερμαινόμενο χώρο

Πίνακας 5.1.2.4 Τύπος κατασκευής δαπέδου [16]

<b>Τύπος εδάφους</b>	<b>Θερμική αγωγιμότητα, <math>k \text{ W/mK}</math></b>	<b>Θερμοχωρητικότητα, <math>C_p \text{ J/kg} \cdot \text{K}</math></b>
Άργιλος ή ιλύς	1,5	$3,0 \cdot 10^6$
Άμμος ή χαλίκι	2,0	$2,0 \cdot 10^6$
Ομοιογενής βράχος	3,5	$2,0 \cdot 10^6$
Άγνωστος	2,0	$2,0 \cdot 10^6$

Πίνακας 5.1.2.5. Χαρακτηριστικά μεγέθη τυπικών εδαφών

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η θερμική συμπεριφορά των αδιαφανών στοιχείων του κελύφους εξαρτάται από το χρώμα της εξωτερικής τους επιφάνειας, γιατί υπεισέρχεται στους υπολογισμούς απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας από αυτές. Για τον λόγο αυτό παραθέτουμε ακολούθως (Πίνακας 5.1.2.6) την απορροφητικότητα,  $\alpha_{s,c}$  και την ικανότητα εκπομπής της επιφάνειας,  $\varepsilon$ , των συνηθών δομικών υλικών.

Υλικό και χρώμα επιφάνειας	Απορροφητικότητα, $\alpha_{s,c}$	Ικανότητα εκπομπής, $\epsilon$
Σκυρόδεμα φυσικού χρώματος	0,65	0,92
Σκυρόδεμα χρώματος μαύρου	0,91	0,95
Οπτόπλινθος, χρώματος κόκκινου	0,88	0,92
Οπτόπλινθος κίτρινος	0,55	0,72
Επίχρισμα, χρώματος λευκού	0,10	0,91
Μαύρη βαφή	0,90	0,96
Σκούρα γκριζα βαφή	0,91	0,87
Σκούρα καφέ βαφή	0,88	0,86
Μέτρια καφέ βαφή	0,84	
Μέτρια πράσινη βαφή	0,59	0,91
Μέτρια κίτρινη βαφή	0,57	0,90
Γαρμπίλι	0,29	0,28
Άμμος	0,76	0,76
Πηλός (ξηρή μορφή)	0,86	0,75
Μάρμαρο, λευκό	0,58	0,93
Φύτευση	0,70	0,94
Πλάκες πεζοδρομίου	0,82	0,83
Άσφαλτος	0,83 (παλαιά) – 0,95 (καινούρια)	0,93
Ξύλο, λείο, φυσικού χρώματος	0,78	0,87
Αλουμίνιο χωρίς επικάλυψη	0,27	0,20

Πίνακας 5.1.2.6. Απορροφητικότητα και ικανότητα εκπομπής επιφάνειας συνηθών δομικών υλικών [16].

### 5.1.2.1. Μόνωση

Τα χαρακτηριστικά της μόνωσης (χρησιμοποιούμενο μονωτικό υλικό, πάχος, θέση) είναι αυτά που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον κατά την μελέτη που αφορά στα αδιαφανή στοιχεία του κτιριακού κελύφους.

Δεν υπάρχει ακριβής ορισμός για την έννοια της μόνωσης. Ωστόσο μπορεί απλά να θεωρηθεί σαν το μέσο εκείνο που καθυστερεί την μεταφορά θερμότητας. Τα θερμομονωτικά υλικά λόγω της χαμηλής τους πυκνότητας έχουν μικρή ειδική αγωγιμότητα  $k [W/m^2K]$ , η τιμή της οποίας δεν ξεπερνάει συνήθως τα  $k \leq 0,5 Btu / ft^2 \cdot h \cdot F$  per in. thickness και μεγάλη θερμική αντίσταση [4,5].

Η μόνωση χρησιμοποιείται γιατί βελτιώνει την θερμική συμπεριφορά των στοιχείων στα οποία εφαρμόζεται. Η επιλογή του κατάλληλου μονωτικού υλικού δεν εξαρτάται μόνο από την θερμική αντίσταση του υλικού. Σημαντικά χαρακτηριστικά που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι τα ακόλουθα :

- Η διατήρηση σταθερής τιμής της θερμικής αντίστασης (R-Value) με την πάροδο του χρόνου. Όπως ήδη αναφέραμε η θερμική αγωγιμότητα των μονωτικών υλικών είναι πολύ χαμηλή, γεγονός που οφείλεται στην ύπαρξη αέρα ή κάποιου ορισμένου αερίου στους πόρους που τα αποτελούν. Είναι ωστόσο πιθανό ο αέρας ή το αέριο αυτό να διαχέονται και να χάνονται με την πάροδο του χρόνου κάτι που μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της ειδικής αγωγιμότητας των μονωτικών υλικών [5].
- Η διατήρηση σταθερών διαστάσεων του μονωτικού υλικού παρά την έκθεση του σε διάφορες θερμοκρασίες και υγρασίες.
- Αντίσταση στη φθορά [4].

Η κύρια λειτουργία της μόνωσης όπως είδαμε είναι να καθυστερεί τη ροή θερμότητας. Με την εφαρμογή της στις κτιριακές εγκαταστάσεις επιτυγχάνονται και τα ακόλουθα :

- I. Συντηρεί τις συνθήκες στο εσωτερικό των χώρων, διατηρώντας την επιθυμητή θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος. Συμβάλλει έτσι στην μείωση των λειτουργικών εξόδων που σχετίζονται με τα συστήματα κλιματισμού.
  - II. Ελαχιστοποιεί τις επιπτώσεις της πρόσπτωσης στις οροφές της αμέσου ακτινοβολίας όταν παρατηρείται μεγάλη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας.
  - III. Προφυλάσσει τους ενοίκους από ακτινοβολίες που προέρχονται από υψηλής θερμοκρασίας πηγές
  - IV. Ελέγχει την θερμική μετακίνηση των δομικών στοιχείων.
- Ένα θερμομονωτικό υλικό μπορεί παράλληλα να παρέχει ηχητική μόνωση καθώς και αντιπυρική και αντισεισμική προστασία [5].

### 5.1.2.1.1. Συνήθη μονωτικά υλικά

Τα μονωτικά υλικά μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορα κριτήρια. Εδώ θα αναφέρουμε δύο τυπικούς διαχωρισμούς που μπορούν να γίνουν και θα περιγράψουμε τα συνήθη μονωτικά υλικά.

Με γνώμονα την προέλευσή τους, τα μονωτικά υλικά μπορούν να διαχωριστούν στις ακόλουθες ομάδες :

- Ζωικά: Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν το ζωικό τρίχωμα και το μαλλί. Η χρήση τους όμως στις κτιριακές εφαρμογές είναι περιορισμένη.
- Ορυκτά: Τα πιο γνωστά υλικά που εμπίπτουν σε αυτή την κατηγορία είναι ο υαλοβάμβακας (glass wool), ο πετροβάμβακας (rock wool), η σκουριά υψικαμίνων (slag wool), ο ασβέστης, ο βερμικουλίτης (vermiculite) και bright metal foils.
- Τεχνητά: Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει το συνθετικό καουτσούκ (synthetic rubber) και αφρώδη πλαστικά (foam plastics). Τα τελευταία είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα τα τελευταία χρόνια και μάλιστα αυτά που χρησιμοποιούνται κυρίως είναι polystyrene και polyurethane foams.
- Φυτικά: Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει ινώδη και κυτταρικά φυτικά είδη, όπως το ζαχαροκάλαμο, το άχυρο, η αχυροσκεπή, το βαμβάκι και ο φελλός [5].

Λαμβάνοντας υπόψη την φυσική τους μορφή τα μονωτικά υλικά μπορούν να διαχωριστούν ακόλουθως :

- Loose-fill insulation (μόνωση χαλαρής πλήρωσης): Τα υλικά αυτά είναι κατασκευασμένα από ίνες , κόκκους ή θραύσματα, τα οποία διαχέονται σε κοιλότητες τοίχων ή εμφυσούνται σε σοφίτες. Τα περισσότερα μονωτικά υλικά χαλαρής πλήρωσης φτιάχνονται από αδρανή ορυκτά ή οργανικές ίνες κυτταρίνης.
- Rigid insulation (άκαμπτη μόνωση): Αυτού του είδους η μόνωση περιλαμβάνει ξυλόμαλλο (wood fiber), αφρώδη πλαστικά (plastic foam), περλίτη (perlite), υαλοβάμβακα (fiberglass) και κυψελωτό γυαλί (cellular glass) υπό μορφή πλακών.
- Formed-in-place insulation: Στα μονωτικά αυτά περιλαμβάνονται υλικά πολυουρεθάνης και πολυισοκυανικά.

- Flexible and semi-rigid insulation (εύκαμπτη και ελαστομερής μόνωση) : Αυτού του είδους η μόνωση διατίθεται είτε υπό μορφή batts μήκους 48in είτε υπό μορφή κουβέρτας (blankets) τυλιγμένη σε ρολό, ενώ φτιάχνεται από ορυκτοβάμβακα (mineral wool) ή υαλοβάμβακα (fiberglass). Αυτού του είδους η μόνωση αναστέλλει τη μεταφορά θερμότητας διά' αγωγής παγιδεύοντας αέρα ανάμεσα στις ίνες που την αποτελούν. Η θερμική της αντίσταση (R-Value) αυξάνει με το πάχος της και μέχρι ένα βαθμό και με την πυκνότητα. Αν όμως οι ίνες είναι πολύ πυκνές ή η μόνωση συμπιέζεται, λιγότερος αέρας παγιδεύεται και έτσι η θερμική αντίσταση μειώνεται [4].

Τα σπουδαιότερα θερμομονωτικά υλικά είναι τα ακόλουθα :

- **Ορυκτοβάμβακας [17]**

Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για τα ινώδη μονωτικά υλικά, κοινό χαρακτηριστικό των οποίων είναι η ανόργανη σύσταση των ινών τους και η ακαυστότητα, που προκύπτει ως αποτέλεσμα αυτής της σύστασης. Ανάμεσα στα υλικά αυτά βρίσκονται τα ακόλουθα :

- ♦ **Υαλοβάμβακας [18,19]**

Μονωτικό υλικό που αποτελείται από πολύ λεπτές ίνες γυαλιού. Αυτές διαμορφώνονται όταν λεπτές λωρίδες πυριτικού (ή άλλης σύστασης) γυαλιού εξωθούνται, παράγοντας πολλές ίνες με μικρή διάμετρο, κατάλληλες για ύφανση.

Εξασφαλίζει ταυτόχρονα θερμομόνωση, ηχομόνωση και αντιπυρική προστασία. Διατηρεί εξαιρετική χημική συμπεριφορά, έχει μηχανικές αντοχές και αντιπαρασιτικές ιδιότητες. Παρουσιάζει ακόμα σταθερότητα των ιδιοτήτων στο χρόνο.

Τα προϊόντα υαλοβάμβακα παράγονται σε τυποποιημένες μορφές, πυκνότητες και διαστάσεις (πλάκες, παπλώματα, με ή χωρίς επικάλυψη), έχει ελαστικότητα, προσαρμόζεται σε όλες τις διαστάσεις και προσφύεται σε ιδιαίτερα τραχιές επιφάνειες.

- ♦ **Πετροβάμβακας [20]**

Ινώδες μονωτικό υλικό, το οποίο χρησιμοποιείται στις οικοδομές αλλά και σε τεχνικές εφαρμογές. Αποτελείται από ίνες οξειδίου πυριτίου-αλουμινίου και παράγεται με τήξη πετρωμάτων στους 1550-1600°C. Με τη βοήθεια ειδικών

διατάξεων παίρνει τη μορφή ινών με διάμετρο 6-20μm. Παρουσιάζει καλές ηχομονωτικές ιδιότητες και είναι άκαυστος.

- **Διογκωμένος περλίτης [5]**

Πρόκειται για ελαφρύ και κοκκώδες μονωτικό υλικό, το οποίο προέρχεται από τη θραύση ηφαιστειακών πυριτικών πετρωμάτων (volcanic siliceous rock), διογκωμένων 20 φορές σε σχέση με τον αρχικό τους όγκο, μέσω κατάλληλης θερμικής επεξεργασίας. Εκτός από θερμομονωτικές έχει και ηχομονωτικές ιδιότητες, είναι άκαυστος, πυράντοχος, χημικά αδρανής και απρόσβλητος από μύκητες.

- **Μονωτικά σκυροδέματα [21]**

Παράγονται από την ανάμιξη τσιμέντου με νερό και ειδικά αδρανή υλικά. Τα σπουδαιότερα μονωτικά σκυροδέματα είναι το ελαφρομετόν και το περλομετόν.

- **Ξυλόμαλλο [22]**

Το ξυλόμαλλο είναι ένα ελαφρύ οικοδομικό υλικό με θερμομονωτικές και ηχομονωτικές ιδιότητες, το οποίο παρέχεται υπό μορφή πλακών. Αυτές προκύπτουν από την ανάμιξη ινών ξύλου (μεγέθους 1-4mm) με μικρή ποσότητα μίγματος τσιμέντου ή μαγνησίτη. Τα προϊόντα που παράγονται με ξυλόμαλλο μπορεί να είναι απλές συμπαγείς πλάκες ή πλάκες με ενδιάμεσο μονωτικό υλικό (διογκωμένη πολυστερίνη ή πετροβάμβακα). Έχει πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες και είναι ανθεκτικό σε περιβάλλον υψηλής υγρασίας. Κατηγοριοποιείται ως δύσκολα αναφλέξιμο.

- **Πολυουρεθάνη [23]**

Η πολυουρεθάνη είναι η ένωση δύο στοιχείων, της πολυόλης και του ισοκυανικού και ανήκει στην ευρύτερη οικογένεια των πλαστικών. Χρησιμοποιείται ως μονωτικό υλικό υπό τη μορφή πάνελ πολυουρεθάνης. Αυτά είναι σταθερά συμπαγή μονωτικά υλικά, τα οποία αποτελούνται από δυο διαμορφωμένα, μεταλλικά γαλβανισμένα, ηλεκτροστατικά βαμμένα, ελασματόφυλλα μεταξύ των οποίων υπάρχει σκληρός αφρός από πολυουρεθάνη. Το πάχος του στρώματος πολυουρεθάνης συνήθως είναι από 3-8cm, αλλά



διαμορφώνεται ανάλογα με τις απαιτήσεις της αγοράς. Προσφέρει ηχομόνωση και υγρομόνωση και έχει μεγάλο συντελεστή αντοχής. Τα πάνελ πολυουρεθάνης χρησιμοποιούνται στην κάλυψη μεταλλικών κτιρίων, ιδιαίτερα σε βιομηχανικά κτίρια αλλά και μεταλλικά προκάτ σπίτια και φορητούς οικισμούς.

- **Διογκωμένη πολυστερίνη (EPS) [24]**

Είναι ελαφρύ, αφρώδες μονωτικό υλικό. Είναι γνωστή στην Ελλάδα και σα φελιζόλ. Παράγεται από κόκκους πολυστυρελίου, οι οποίοι είναι θερμοπλαστικοί. Με τη διόγκωση τους οι κόκκοι μεγαλώνουν και γίνονται σφαιρίδια, τα οποία διογκώνονται περισσότερο και κολλούν μεταξύ τους. Η διογκωμένη πολυστερίνη παράγεται σε μεγάλα μπλοκ, τα οποία κόβονται σε πλάκες. Χρησιμοποιείται στην οικοδομή και σε άλλες εφαρμογές.

- **Εξηλασμένη πολυστερίνη (XEPS) [25]**

Η εξηλασμένη πολυστερίνη είναι ελαφρύ, θερμομονωτικό υλικό με βάση την πολυστερίνη. Παράγεται σε πλάκες με τη μέθοδο της εξέλασης, κατά τη διάρκεια της οποίας γίνεται πολυμερισμός της θερμοπλαστικής πολυστερίνης. Σημαντικό μέρος του προϊόντος αποτελεί προωθητικό αέριο (χλωροφθοράνθρακας HCFC 142b) με χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, το οποίο προσφέρει και επιβραδυντική επίδραση στη φωτιά.

Ένα κύριο χαρακτηριστικό της είναι οι κλειστοί πόροι και η μη απορρόφηση νερού, κάτι που κάνει την εξηλασμένη πολυστερίνη κατάλληλη για εφαρμογές σε υψηλή υγρασία. Είναι υλικό συγγενές με τη διογκωμένη πολυστερίνη αλλά έχει μεγαλύτερη θερμική αντίσταση από αυτή.

- **Armaflex [26]**

Εύκαμπτη ελαστομερής μόνωση σε σωλήνες και φύλλα με αντιμικροβιακή προστασία.

Στα πιο εξελιγμένα θερμομονωτικά υλικά ανήκουν τα:

- **Vacuum insulation panel (VIP) [27]**

Τα VIPs αποτελούνται από:

- τοιχώματα μεμβράνης, που χρησιμοποιούνται για να αποτρέπουν τον αέρα από το να εισέρχεται στον πυρήνα του πάνελ,
- τον πυρήνα του πάνελ, από τον οποίο έχει εκκενωθεί ο αέρας και ο οποίος κατασκευάζεται από άκαμπτο, πορώδες υλικό, όπως το πυρογενές πυρίτιο ή ο υαλοβάμβακας,
- χημικά (γνωστά σαν δεσμευτές (getters)), τα οποία συλλέγουν τα αέρια, τα οποία διαρρέουν μέσω των τοιχωμάτων μεμβράνης ή εκλύονται από τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των τοιχωμάτων μεμβράνης. Αυτά τα χημικά προσθέτονται σε VIPs, των οποίων οι πυρήνες έχουν κατασκευασθεί από υαλοβάμβακα ή αφρώδη υλικά, διότι πυρήνες με μεγάλο μέγεθος πόρων απαιτούν υψηλή εκκένωση για την διάρκεια ζωής τους.

Η καλή θερμική συμπεριφορά των υλικών αυτών, που τα καθιστά ένα από τα εξελιγμένα θερμομονωτικά υλικά βασίζεται στα ακόλουθα:

Η ύπαρξη κενού αέρος στον πυρήνα του πάνελ εμποδίζει τη μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής και περιορίζει τη μεταφορά θερμότητας δι' αγωγής.

Ο πυρήνας των VIPs έχει παρόμοια θερμικά χαρακτηριστικά με τα συνήθη μονωτικά υλικά, η ιδιέταιρη κατασκευή τους όμως, τα καθιστά υλικά με μικρή τιμή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας.

Τυπικές τιμές της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας για VIPs που συναντώνται στο εμπόριο είναι  $0,004 W/mK$  (τιμή μετρούμενη στο κέντρο του πυρήνα του πάνελ) ή  $0,006-0,008 W/mK$  (τιμή που μπορεί να οφείλεται στην ύπαρξη θερμογεφύρων ή στην εισχώρηση υδρατμών και αέρα μέσα στο πορώδες του πυρήνα, ύστερα από κάποια χρόνια χρήσης του πάνελ).

Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι τιμές της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας για συνήθη μονωτικά υλικά, όπως ο ορυκτοβάμβακας και τα πάνελ πολυουρεθάνης είναι  $0,044 W/mK$  και  $0,024 W/mK$  αντίστοιχα, διαπιστώνουμε ότι η τιμή αυτή για τα VIPs είναι το 1/5 αυτής. Αυτό καθιστά τα VIPs πιο αποδοτικά με γνώμονα αυτό το κριτήριο.

Από την άλλη τα VIPs έχουν πιο λεπτομερή και άρα πιο ακριβή κατασκευή από τα συνήθη μονωτικά υλικά. Επιπλέον, τα προϊόντα VIP δεν μπορούν να κοπούν και να πάρουν ό,τι διαστάσεις επιθυμούμε, γιατί αυτό μπορεί να καταστρέψει την κένωση του πυρήνα τους. Συνεπώς VIPs με ορισμένες διαστάσεις

πρέπει να γίνονται κατά παραγγελία, κάτι που επίσης αυξάνει το κόστος τους. Το μεγάλο κόστος των VIPs τα έχει εμποδίσει να χρησιμοποιούνται εύκολα σε εφαρμογές σε σπίτια.

- **Aerogels [28]**

Τα aerogels είναι συνθετικά, πορώδη υλικά που προέρχονται από gel, των οποίων το υγρό στοιχείο έχει αντικατασταθεί από αέριο. Το αποτέλεσμα αυτής της διεργασίας είναι ένα στερεό υλικό με πολύ χαμηλή πυκνότητα και θερμική αγωγιμότητα.

Τα aerogels μπορούν να παραχθούν ως διαφανή, αδιαφανή ή ημιδιαφανή υλικά, επιτρέποντας ένα μεγάλο εύρος πιθανών εφαρμογών.

Τα silica aerogels είναι ο πιο συνήθης τύπος της οικογένειας των aerogels και αυτός που έχει μελετηθεί και χρησιμοποιηθεί περισσότερο. Έχει πολύ καλές μονωτικές ιδιότητες αφού έχει πολύ χαμηλή ειδική θερμική αγωγιμότητα (από  $0,03 W/mK$  έως  $0,004 W/mK$ ).

Έως το 2011 το υλικό αυτό είχε μπει 15 φορές στο βιβλίο Guinness για τις ιδιότητές του, μεταξύ των οποίων συμπεριλαμβάνονται αυτή του καλύτερου μονωτή και αυτή του στερεού με την μικρότερη πυκνότητα.

Το κόστος της παραγωγής των aerogels θεωρείται ακόμα πολύ υψηλό.

#### **5.1.2.1.2. Θέση και πάχος της μόνωσης**

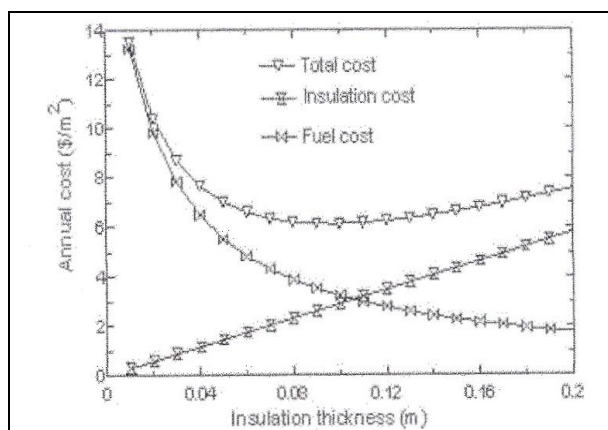
Η επίδραση της μόνωσης στις κτιριακές εφαρμογές είναι ένα θέμα που εγείρει συχνά το ενδιαφέρον των ερευνητών και προς αυτή την κατεύθυνση πραγματοποιούν σημαντικές μελέτες. Ωστόσο δεν έχει τόση πρακτική σημασία να ερευνήσουμε μεμονωμένα την μόνωση, καθώς η θερμική συμπεριφορά των κτιρίων καθορίζεται από την συνδυασμένη επίδραση μιας σειράς παραγόντων. Στην ενότητα αυτή ωστόσο θα δούμε τι οφέλη ή ζημίες μπορεί να προκύπτουν μεταβάλλοντας την θέση ή το πάχος της μόνωσης αποκλειστικά. Φυσικά στην αποδοτικότητα ή μη ενός μονωτικού υλικού σημασία έχει και η θερμική του αγωγιμότητα και κατ' επέκταση η ολική θερμική διαπερατότητα όλης της κατασκευής στην οποία η μόνωση εφαρμόζεται. Παραθέσαμε όμως τα στοιχεία που αφορούν αυτήν την παράμετρο της μόνωσης σε προηγούμενη ενότητα.

Αναφορικά με το πάχος της μόνωσης πολλές μελέτες έχουν γίνει στο παρελθόν αναζητώντας το βέλτιστο πάχος μόνωσης, σε σχέση με διάφορες παραμέτρους.

Παραθέτουμε εδώ ενδεικτικά τα αποτελέσματα προηγούμενων μελετών [29-32] όπου το βέλτιστο πάχος μόνωσης υπολογίστηκε μέσω της ανάλυσης του κύκλου ζωής των εξόδων (L.C.C.A. – Life Cycle Cost Analysis) που προκύπτουν από την ετήσια κατανάλωση ενέργειας στις κλιματιστικές εγκαταστάσεις και την τοποθέτηση της μόνωσης κατά την κατασκευή ενός κτιρίου. Στην ανάλυση αυτή λαμβάνεται υπόψη ότι η διάρκεια ζωής των συνήθων κλιματιστικών εγκαταστάσεων είναι περίπου 15 χρόνια. Γίνεται μάλιστα αναγωγή των εξόδων στην παρούσα αξία χρήματος ώστε να μπορεί να γίνει σωστή κρίση των αποτελεσμάτων. Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας προκύπτει με βάση τις ετήσιες απαιτήσεις για θέρμανση του κτιρίου (D.D. – Degree Days). Εξετάζοντας τα αποτελέσματα των μελετών εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα.

Σε κτίρια στα οποία έχει εφαρμοστεί αυξημένο πάχος μόνωσης μειώνονται οι απώλειες θερμότητας. Αύξηση του πάχους της μόνωσης συνεπάγεται μείωση του θερμικού φορτίου και μείωση των εξόδων για καύσιμο (κόστους καυσίμου), δεδομένου ότι η κλιματιστική εγκατάσταση απαιτείται να λειτουργεί είτε λιγότερες μέρες το χρόνο είτε λιγότερες ώρες μέσα στην ημέρα. Αυτό είναι εξάλλου και το όφελος που προσφέρει η εφαρμογή της μόνωσης. Από την άλλη όμως, όπως είναι

άλλωστε και πολύ λογικό το κόστος της μόνωσης αυξάνεται γραμμικά με το πάχος της. Προκείμενου οι ερευνητές των μελετών που εξετάζουμε να βγάλουν ένα χρήσιμο συμπέρασμα από αυτά τα δεδομένα, υπολογίζουν το συνολικό ετήσιο κόστος που περιλαμβάνει το κόστος του καυσίμου και το κόστος της μόνωσης. Αυτό λοιπόν, αυξανόμενου του πάχους της μόνωσης  $W_i$  μειώνεται. Υπάρχει ωστόσο μια τιμή του  $W_i$  για κάθε τύπο μονωτικού υλικού, πέρα από την οποία, η εξοικονόμηση που προκύπτει από την περιορισμένη κατανάλωση ενέργειας (μείωση κόστους καυσίμου) να μην μπορεί να αντισταθμίσει το κόστος της μόνωσης. Η οριακή αυτή τιμή του  $W_i$  αποτελεί το βέλτιστο πάχος της μόνωσης. Στο διάγραμμα που ακολουθεί (Σχήμα 5.1.2.1.2.1) δίνεται παραστατικά ο τρόπος επιλογής του βέλτιστου πάχους μόνωσης.



*Σχήμα 5.1.2.1.2.1. Ετήσια έξοδα για θέρμανση ως συνάρτηση του πάχους της μόνωσης για μια περιοχή της Τουρκίας [33].*

Αναφορικά με τη θέση της μόνωσης, αυτή δεν επηρεάζει ούτε την ποσότητα της θερμότητας που διέρχεται από μια επιφάνεια ούτε την θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας. Αυτά που επηρεάζει είναι ο ρυθμός απώλειας θερμότητας μέσω των θερμογεφύρων, η θερμική διαστολή και συστολή των οικοδομικών υλικών και η συμπύκνωση πάνω και μέσα στο κέλυφος [4].

### **5.1.2.2. PCMs [7]**

#### **5.1.2.2.1. Γενικά**

Παρόλο που στην Εργασία αυτή δεν θα ληφθούν υπόψη εφαρμογές στις οποίες έχει γίνει χρήση PCM, για λόγους πληρότητας και επειδή τα οφέλη που προκύπτουν από την ένταξη τέτοιων υλικών στις κατασκευές είναι μεγάλα (δομικά υλικά που έχουν εμποτιστεί με PCM ή δομικές κατασκευές που εμπεριέχουν PCM, μπορούν να αποθηκεύσουν 5-14 φορές περισσότερη ενέργεια ανά μονάδα όγκου σε σχέση με τα συμβατικά οικοδομικά υλικά), θα γίνει παρακάτω μια αναφορά σε αυτά.

PCMs (Phase Change Materials) ονομάζονται στη διεθνή βιβλιογραφία τα υλικά που αλλάζουν φάση στο εύρος των θερμοκρασιών που χρησιμοποιούνται. Ως τέτοια θεωρούνται συνήθως υλικά που αλλάζουν μεταξύ στερεής και υγρής φάσης. Το ιδανικό PCM θα ήταν ένα υλικό που θα παρουσίαζε μεγάλη τιμή λανθάνουσας θερμότητας, υψηλή αγωγιμότητα, θερμοκρασία τήξης σύμφωνα με το θερμοκρασιακό εύρος της εφαρμογής και γενικότερα τήξη με την ελάχιστη εμφάνιση supercooling, χημική σταθερότητα. Στα χαρακτηριστικά του ιδανικού PCM περιλαμβάνονται ακόμα το να είναι φτηνό στην παραγωγή του καθώς και να μην είναι τοξικό, διαβρωτικό και εύφλεκτο. Τα υλικά που έχουν μελετηθεί τα τελευταία 40 χρόνια είναι τα ένυδρα άλατα, οι παραφίνες, τα λιπαρά οξέα και εύτηκτα μίγματα οργανικών και μη οργανικών συστατικών.

Το πλέον γνωστό PCM είναι το νερό που κατά την αλλαγή φάσης του σε πάγο μπορεί να αποθηκεύσει πολύ μεγάλα ποσά θερμότητας. Επειδή όμως η χρήση του πάγου ως PCM δημιουργεί προβλήματα λόγω των ιδιοτήτων του νερού, δημιουργήθηκαν τα πρώτα PCMs που είναι τα ένυδρα άλατα και τα οποία εκμεταλλεύονται μόνο τα πλεονεκτήματα του νερού. Τα ένυδρα άλατα είναι σχετικά ασταθείς ενώσεις αλάτων με μόρια νερού που ανάλογα με την πρόσδωση ή απορρόφηση θερμότητας από το σύστημα, αποβάλλουν ή προσλαμβάνουν μόρια νερού.

Τα PCMs συσκευάζονται με διάφορους τρόπους προκειμένου να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές. Αυτό εξυπηρετεί αφενός την προφύλαξη του υλικού από την επίδραση των συνθηκών του περιβάλλοντος, αφετέρου τη διευκόλυνση της μετάδοσης της αποθηκευμένης θερμότητας. Τα είδη διαθέσιμης

συσκευασίας περιλαμβάνουν την τοποθέτηση σε κάψουλες ή σακούλες, την ενσωμάτωση στο πορώδες άλλων υλικών (με τον φόβο όμως να διαφύγει όταν θα βρεθεί σε υγρή κατάσταση) και την χρήση εναλλακτών θερμότητας ενισχυμένων με PCMs.

Ένα σοβαρό πρόβλημα που συναντάται στα PCMs είναι το φαινόμενο του supercooling. Η ύπαρξη αυτού οδηγεί στη μείωση της θερμοκρασίας κρυστάλλωσης, συνεπώς η λανθάνουσα θερμότητα αποδίδεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία από την επιθυμητή ή σε μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών.

#### **5.1.2.2.2. Κατηγοριοποίηση PCMs**

Τα PCMs μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τη σύσταση τους σε οργανικά και ανόργανα υλικά. Θα παραθέσουμε στην συνέχεια τα βασικά γνωρίσματα της κάθε μίας από τις προαναφερθείσες κατηγορίες.

- **Οργανικά PCMs :**

Κύριοι αντιπρόσωποι της κατηγορίας αυτής είναι οι παραφίνες και τα μικροκρυσταλλικά γυαλιά (μίγματα παραφινών με αριθμό ατόμων άνθρακα από 19 έως 25). Οργανικά PCMs είναι ακόμα τα λιπαρά οξέα, οι εστέρες και αλκοόλες των λιπαρών οξέων ή και μίγματα αυτών. Στα πλεονεκτήματα των υλικών αυτών περιλαμβάνονται συνοπτικά το ότι είναι μη διαβρωτικά με τα περισσότερα υλικά, υπάρχει μικρός κίνδυνος ρύπανσης του νερού, είναι χημικά και θερμικά σταθερά, έχουν χαμηλό κόστος αγοράς σε σχέση με άλλες κατηγορίες PCMs. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα όμως είναι ότι η εμφάνιση supercooling είναι αμελητέα. Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν και μειονεκτήματα. Τέτοια είναι ότι οι τιμές της λανθάνουσας θερμότητας υγροποίησης, της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας και της πυκνότητας είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες για τα ανόργανα. Είναι ακόμα αναφλέξιμα σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες.

- **Ανόργανα PCMs :**

Τα ένυδρα άλατα είναι ο κύριος εκπρόσωπος των ανόργανων υλικών και παρουσιάζουν αρκετά καλές ιδιότητες. Τα βασικά τους πλεονεκτήματα εστιάζονται στο ότι παρουσιάζουν μεγαλύτερη τιμή λανθάνουσας θερμότητας υγροποίησης και

πυκνότητας από τα οργανικά ενώ είναι και μη αναφλέξιμα. Τα μειονεκτήματα τους ωστόσο είναι αρκετά με κυριότερο την εμφάνιση supercooling. Ακόμα είναι διαβρωτικά και γι' αυτό απαιτείται η αποθήκευσή τους σε ενισχυμένη συσκευασία, είναι δυνατή η δημιουργία ιζήματος λόγω διαχωρισμού των φάσεων, έχουν αρκετά μεγάλο κόστος αγοράς ενώ πρόκειται και για υδροσκοπικά υλικά με αποτέλεσμα να εκφυλίζονται οι ιδιότητες τους σε βάθος χρόνου αν μένουν εκτεθειμένα σε περιβάλλον με υγρασία.

### **5.1.2.2.3. Εφαρμογές**

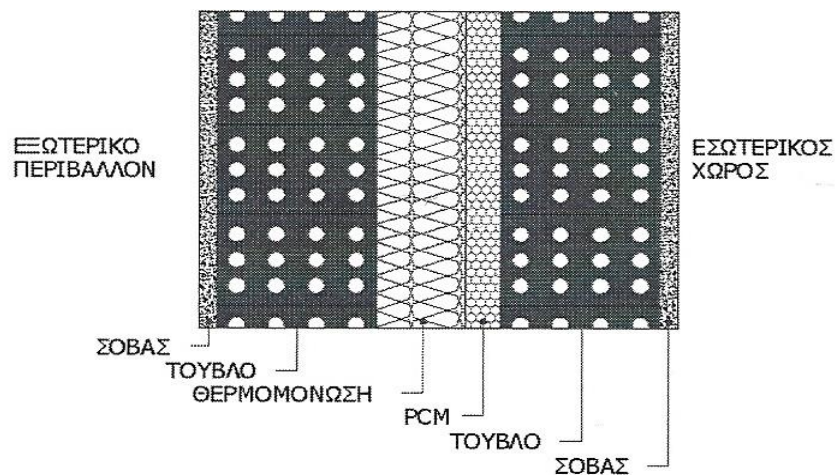
Τα δομικά υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των κτιρίων παραμένουν στη στερεή κατάσταση σε όλο το εύρος των θερμοκρασιών χρήσης τους. Με παρόμοιο τρόπο συμπεριφέρονται και τα μονωτικά υλικά, τα οποία όπως έχουμε δει επιβραδύνουν τη μεταφορά θερμότητας δια μέσου τους. Αντίθετα με αυτό το σκεπτικό μόνωσης των κτιρίων θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τα υλικά που περιγράφουμε σε αυτό το Κεφάλαιο, τα οποία αποθηκεύουν την εισερχόμενη προς το κέλυφος θερμότητα (θερινή περίοδος) ώστε να μην αυξηθεί η θερμοκρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος ή τη θερμότητα που προσπίπτει στο κτίριο με μορφή ηλιακής ακτινοβολίας ώστε να μην σημειώνονται απώλειες θερμότητας (χειμερινή περίοδος).

Η χρήση PCMs στις κτιριακές εφαρμογές συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας. Αυτό συμβαίνει καθώς οι μέγιστες ενεργειακές απαιτήσεις της εγκατάστασης μετατοπίζονται σε ώρες εκτός των περιόδων μέγιστης ζήτησης του συστήματος διανομής ενέργειας με αποτέλεσμα να εξομαλύνεται η καμπύλη ενεργειακής ζήτησης της εγκατάστασης και να εκλείπουν σημεία αιχμής κατά την εικοσιτετράωρη λειτουργία.

Τα PCMs μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε αυτούσια ως στρώμα υλικού μέσα στην τοιχοποιία ή σαν συστατικό σύνθετου υλικού με κύριο συστατικό το γύψο ή το τσιμέντο (πχ γυψοσανίδα με πρόσθετο συστατικό το PCM σε αναλογία 20-30% PCM κατά βάρος ή σοβάς με PCM). Ενσωματώνοντας το PCM σε τέτοια υλικά εξασφαλίζεται η συγκράτηση του υλικού ακόμη και μετά την πλήρη υγροποίηση του και η αποφυγή πρόσληψης υγρασίας από τον αέρα του περιβάλλοντος.



Θα περιγράψουμε εδώ την λειτουργία των PCMs κατά την εφαρμογή τους στην τοιχοποιία. Κατά την θερινή περίοδο η θερμότητα που εισέρχεται μέσω του κελύφους διατρέχει όλα τα στρώματα του τοίχου (σοβάς, τούβλο) και αναχαιτίζεται από την μόνωση. Όση θερμότητα καταφέρει να διασχίσει το στρώμα της μόνωσης εισέρχεται στο εσωτερικό περιβάλλον. Με την τοποθέτηση όμως PCMs αμέσως μετά την μόνωση, το ρεύμα θερμότητας που διαρρέει το μονωτικό υλικό, αποθηκεύεται στο PCM και δεν περνά προς τον εσωτερικό χώρο. Αντίστοιχα, κατά την χειμερινή περίοδο που η θερμότητα μεταφέρεται προς την αντίθετη κατεύθυνση (από το εσωτερικό προς το εξωτερικό περιβάλλον), εγκλωβίζεται από το PCM και δεν υπάρχουν θερμικές απώλειες.



Σχήμα 5.1.2.2.3.1. Εφαρμογή PCMs στην τοιχοποιία [7]

## 5.2. Διαφανή στοιχεία κτιριακού κελύφους

Το γυαλί και άλλα αδιαφανή υλικά που έχουν περιορισμένη μονωτική ικανότητα και επιτρέπουν στην ηλιακή και σε άλλες μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίες να διέρχονται από το σώμα τους, δεν πρέπει να εφαρμόζονται στις κτιριακές εγκαταστάσεις αλόγιστα, λαμβάνοντας μόνο υπόψη το αισθητικό αποτέλεσμα που προσφέρουν, διότι κάτι τέτοιο μπορεί να καταστήσει τα κτίρια λίγο έως καθόλου λειτουργικά [5]

Δεν μπορούμε να αγνοήσουμε βέβαια από την άλλη ότι το γυαλί αποτελεί ένα αξιόλογο οικοδομικό υλικό, καθώς παρά το γεγονός ότι κατασκευαστικά δεν έχει μεγάλη αντοχή, παραμένει αναλλοίωτο στο πέρασμα των χρόνων και μεταδίδει το ορατό φως εξασφαλίζοντας παράλληλα ορατότητα στους ενοίκους [5].

### 5.2.1. Υαλοπίνακες

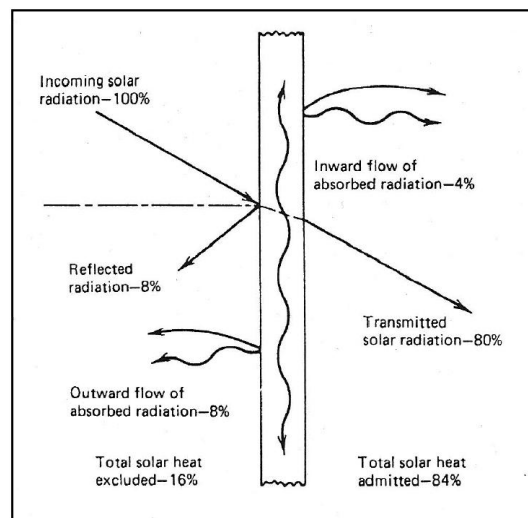
Η μεταφορά θερμότητας μέσω των υαλοπινάκων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως οι συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος, η ύπαρξη σκιάστρων, ο προσανατολισμός του κτιρίου, το είδος του γυαλιού, η επιφάνεια που ο υαλοπίνακας καλύπτει και το είδος του υαλοπίνακα [33].

Η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στις διαφανείς επιφάνειες του κελύφους εξαρτάται από το μήκος κύματος και την γωνία πρόσπτωσης αυτής. Ακόμα σημαντικό ρόλο παίζει η χημική σύσταση και το πάχος των επιφανειών αυτών. Το γυαλί επιτρέπει την διέλευση διαφόρων τιμών μήκους κύματος ακτινοβολίας δια μέσου αυτού, σε μια περιοχή τιμών από 0,3 έως 4,8  $\mu m$  ενώ είναι αδιαπέραστο από την ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος (από την εκπεμπόμενη, δηλαδή, από σώματα θερμοκρασίας μικρότερης των 120°C) [15].

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει στην σχετική ενότητα (Μεταφορά θερμότητας δι' ακτινοβολίας), η ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε έναν υαλοπίνακα είναι ίση με το άθροισμα της απορροφούμενης,  $\alpha I_t$ , της ανακλώμενης,  $\rho I_t$  και της διερχόμενης δια του υαλοπίνακα ακτινοβολίας,  $\tau I_t$ . Είναι δηλαδή :

$$\alpha I_t + \rho I_t + \tau I_t = I_t$$

Έχουμε άλλωστε ήδη επισημάνει τη σχέση που συνδέει τις τρεις αυτές οπτικές ιδιότητες των αδιαφανών υλικών, ότι δηλ.  $\alpha + \rho + \tau = 1$  ενώ έχουμε τονίσει ότι η τιμή τους εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες του υλικού, από το είδος της επιφανειακής επίστρωσης που ενδέχεται να υπάρχει και από την γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας [15]



*Σχήμα 5.2.1.1 Διανομή της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια ενός υαλοπίνακα [15]*

Παρακολουθώντας λοιπόν την πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω των υαλοπινάκων, προκύπτει εύκολα ότι το τμήμα αυτό της ακτινοβολίας που εισέρχεται στους χώρους, προσπίπτει σε επιφάνειες εντός του χώρου αυξάνοντας την θερμοκρασία τους. Αυτές με τη σειρά τους ακτινοβολούν θερμότητα, η οποία όμως επειδή είναι μεγάλου μήκους κύματος δεν είναι δυνατόν να διέλθει από τους υαλοπίνακες και να βρεθεί στο εξωτερικό περιβάλλον. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας των χώρων [15].

Η μεταφορά θερμότητας μέσω των υαλοπινάκων συμβαίνει λοιπόν σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση, δι' ακτινοβολίας ακόμα και όταν ο υαλοπίνακας δεν είναι εκτεθειμένος στον ήλιο και άρα δεν δέχεται άμεση ακτινοβολία καθώς θερμικό κέρδος μπορεί να προκύψει από την προσπίπτουσα σε αυτόν διάχυτη ή ανακλώμενη από γειτονικές επιφάνειες ακτινοβολία. Ταυτόχρονα σημειώνεται στις δύο πλευρές του υαλοπίνακα, την εξωτερική και την εσωτερική, θερμοκρασιακή διαφορά. Αυτή η θερμοκρασιακή διαφορά οφείλεται για την μεταφορά θερμότητας δι' αγωγής μέσω

του υαλοπίνακα. Η μεταφορά αυτή έχει πάντα κατεύθυνση από την πλευρά με την μεγαλύτερη προς την πλευρά με τη μικρότερη θερμοκρασία [15].

Συμπεραίνουμε επομένως ότι το συνολικό θερμικό κέρδος μέσω ενός υαλοπίνακα αναλύεται σε δύο συνιστώσες, το θερμικό κέρδος δι' αγωγής και το ηλιακό θερμικό κέρδος [15].

Γενικά οι υαλοπίνακες έχουν μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας από κέρδη και αυτό εξηγεί το ότι ένα ενεργειακό σπίτι (low energy house) θα έχει λιγότερα παράθυρα από ένα μέσο σπίτι. Κατά τον σχεδιασμό ενός τέτοιου σπιτιού στόχος είναι να κυριαρχούν τα ηλιακά θερμικά κέρδη μέσω των παραθύρων τον χειμώνα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί πολύ απλά εξασφαλίζοντας ότι τα παράθυρα με προσανατολισμό προς νότο θα έχουν μια ανενόχλητη θέα προς τον χαμηλό χειμερινό ήλιο στο μέσον της ημέρας [33].

#### **5.2.1.1. Τυπικές μορφές υαλοπινάκων**

Στον Πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5.2.1.1.1.) δίνονται οι τιμές της ολικής θερμικής διαπερατότητας  $U$  για διάφορα είδη και συστήματα εξωτερικών κατακόρυφων υαλοπινάκων .

Οι τιμές του  $U$  του παρακάτω Πίνακα που αντιστοιχούν στο χειμώνα, αναφέρονται σε ταχύτητα εξωτερικού ανέμου  $24 \text{ km/h}$  , εξωτερική θερμοκρασία  $-18^\circ\text{C}$  και εσωτερική  $21^\circ\text{C}$  με φυσική συναγωγή στην εσωτερική επιφάνεια του υαλοπίνακα. Οι τιμές που αντιστοιχούν στο καλοκαίρι, αναφέρονται σε εξωτερικές συνθήκες  $12 \text{ km/h}$  ,  $32^\circ\text{C}$  , ηλιακή ακτινοβολία  $782 \text{ W/m}^2$  με εσωτερική θερμοκρασία  $24^\circ\text{C}$  και φυσική συναγωγή [15].

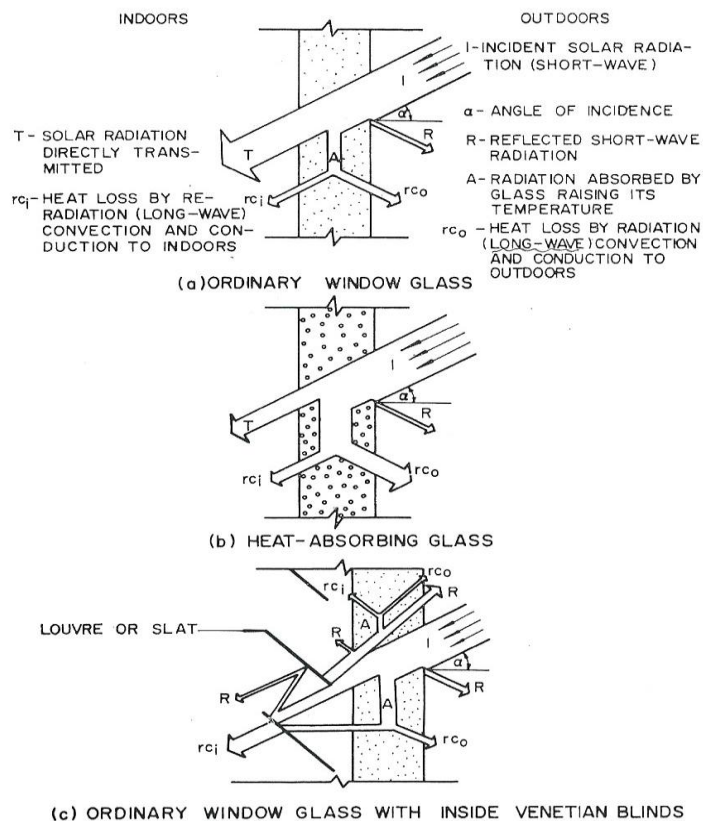
	No storm sash			
	No shade		Indoor shade	
	Winter	Summer	Winter	Summer
<b>Flat Glass</b>				
Single Glass, Clear	6.2	5.9	4.7	4.6
Single Glass, Low Emittance Coating				
e=0,60	5.8	5.7	4.3	4.5
e=0,40	5.2	5.1	3.9	4.0
e=0,20	4.5	4.3	3.3	3.1
<b>Insulating Glass, Double</b>				
5 mm air space	3.5	3.7	3.0	3.3
6 mm air space	3.3	3.5	2.7	3.1
13 mm air space	2.8	3.2	2.4	3.0
low emittance coating				
e=0,60	2.4	3.0	2.2	2.8
e=0,40	2.2	2.7	2.0	2.4
e=0,20	1.8	2.2	1.7	2.0
<b>Insulating Glass, Triple</b>				
6 mm air space	2.2	2.5	1.8	2.3
13 mm air space	1.8	2.2	1.5	2.0

*Πίνακας 5.2.1.1.1. : Ολική θερμική διαπερατότητα, U σε  $W / m^2 \text{ } ^\circ C$ , για εξωτερικούς κατακόρυφους υαλοπίνακες. Οι τιμές αναφέρονται στην κεντρική περιοχή του υαλοπίνακα και δεν περιλαμβάνουν τις επιδράσεις των άκρων στήριξης [15].*

Η ανάγκη της ελάττωσης των θερμικών κερδών από τους υαλοπίνακες, τα οποία είναι επιθυμητά μόνο κατά τις περιόδους θέρμανσης, είναι ο λόγος που έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη πολλών μορφών υαλοπινάκων. Θα συγκρίνουμε εδώ κάποιες συνήθεις μορφές υαλοπινάκων: Η επιλογή διπλού υαλοπίνακα κατασκευασμένου από καθαρό γυαλί (double glazing with ordinary glass) δεν αποτελεί ένα πολύ αποτελεσματικό μέσον μείωσης των θερμικών κερδών καθώς είναι μόλις 10% πιο αποτελεσματικό σε σχέση με το μονό υαλοπίνακα από καθαρό γυαλί (single ordinary glazing). Το μονό θερμοαπορροφητικό γυαλί (single heat-absorbing glass) περιορίζει τα θερμικά κέρδη κατά 50%, ενώ το θερμοανακλαστικό γυαλί (heat – reflecting glass) είναι ακόμα πιο αποτελεσματικό, παρά το γεγονός ότι οι

θερμοκρασίες και στις δύο πλευρές του γυαλιού αυξάνονται σημαντικά σε σχέση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος λόγω της θερμότητας που απορροφάται [5]

Συνδυάζοντας θερμοαπορροφητικό γυαλί στην εξωτερική πλευρά του υαλοπίνακα και καθαρό γυαλί στην εσωτερική επιτυγχάνεται μείωση του ηλιακού θερμικού κέρδους κατά 40%. Ακόμα πιο αποτελεσματικός (με 80% μείωση στο ηλιακό θερμικό κέρδος) είναι ο συνδυασμός θερμοανακλαστικού γυαλιού έξω με καθαρό γυαλί μέσα. Η επιτυχία του διπλού αυτού υαλοπίνακα έγκειται στο ότι το εσωτερικό γυαλί προφυλάσσει τους ενοίκους από την υψηλή θερμοκρασία του εξωτερικού γυαλιού και έτσι περιορίζει τις ζημιογόνες επιπτώσεις της αμέσου ακτινοβολίας [5]. Ενδεικτικά στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 5.2.1.1.) παρουσιάζεται η πορεία της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε διάφορους τύπους υαλοπινάκων.



Σχήμα 5.2.1.1.2. Σχηματική απεικόνιση του μηχανισμού μεταφοράς της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα από τα διάφορους τύπους παραθύρων [5].

### 5.2.2. Σκίαστρα υαλοπινάκων

Η χρήση των σκιάστρων καθίσταται αναγκαία διότι μέσω των υαλοπινάκων παρατηρούνται μεγάλα ηλιακά θερμικά κέρδη. Σε αυτή την κατεύθυνση λειτουργούν τα σκίαστρα καθώς συμβάλλουν στον περιορισμό των κερδών αυτών. Τα σκίαστρα διακρίνονται σε σταθερά και κινητά καθώς και σε εσωτερικά και εξωτερικά.

Θα εισάγουμε στο σημείο αυτό έναν συντελεστή ο οποίος υπεισέρχεται στους υπολογισμούς του θερμικού κέρδους μέσω των υαλοπινάκων και ο οποίος αφορά την παράμετρο της σκίασης. Ο συντελεστής σκίασης λοιπόν, SC (Shading Coefficient) είναι ο λόγος του ηλιακού θερμικού κέρδους μέσω ενός δεδομένου συστήματος υαλοπινάκων (με ή χωρίς εξωτερικό ή εσωτερικό σύστημα σκίασης) υπό δεδομένες συνθήκες, προς το ηλιακό θερμικό κέρδος μέσω του υαλοπίνακα αναφοράς, DSA, υπό τις ίδιες συνθήκες. Η τιμή του SC χαρακτηρίζει απολύτως κάθε τύπο υαλοπίνακα ή συστήματος υαλοπινάκων [16].

Στον Πίνακα που ακολουθεί δίνεται ο συντελεστής σκίασης των συνηθέστερων κινητών σκιάστρων.

<b>Κινητά σκίαστρα</b>	<b>Συντελεστής σκίασης, SC</b>
Κουρτίνες	0,95 Λευκές 0,6 Έγχρωμες
Βενετικά Στόρια	0,45
Τέντες	0,6
Περσιδωτά ρολλά	0,3 ημίκλειστα
Συρόμενα περσιδωτά παραθυρόφυλλα	0,3 ημίκλειστα

Πίνακας 5.2.2.1 Συντελεστής σκίασης κινητών σκιάστρων [16]

### 5.2.2.1. Εσωτερικά σκίαστρα [15]

Οι συνηθέστεροι τύποι εσωτερικών σκιάστρων είναι τα ενετικά στορ, τα εσωτερικά ρολά και οι κουρτίνες. Ο ρόλος τους είναι τριπλός, καθώς ελέγχουν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, συμβάλλουν στην αισθητική του χώρου και στην απομόνωση από το εξωτερικό περιβάλλον. Αναφορικά με τον περιορισμό του ηλιακού θερμικού κέρδους, οι συσκευές εσωτερική σκίασης ανακλούν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία προς τον υαλοπίνακα έτσι ώστε αυτή να εξέρχεται από τον χώρο πριν απορροφηθεί και μετατραπεί σε θερμότητα μέσα στο χώρο. Και αυτό διότι όπως έχουμε αναφέρει και προηγούμενα, μια τέτοιου είδους θερμότητα η οποία έχει πια τη μορφή μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας αδυνατεί να διαφύγει από τον χώρο, εγκλωβίζεται και αυξάνει τη θερμοκρασία του .

Στον Πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι οπτικές ιδιότητες των αντιπροσωπευτικών συσκευών εσωτερικής σκίασης.

Indoor shade	Solar – optical Properties (Normal Incidence)		
	Transmittance	Reflectance	Absorptivity
Venetian blinds (ratio of slat width to slat spacing 1.2, slat angle 45 deg)			
Light Colored Slat	0,05	0,55	0,40
Medium Colored Slat	0,05	0,35	0,60
Vertical Blinds			
White Louvers	0,00	0,77	0,23
Roller Shades			
Light Shades (Translucent)	0,25	0,60	0,15
White Shade (Opaque)	0,00	0,80	0,20
Dark Colored Shade (Opaque)	0,00	0,12	0,88

*Πίνακας 5.2.2.1.1. Διαπερατότητα, ανακλαστικότητα και απορροφητικότητα αντιπροσωπευτικών συσκευών εσωτερικής σκίασης [15].*



### **5.2.2.2. Εξωτερικά σκίαστρα [15]**

Τα εξωτερικά σκίαστρα αποτελούν τον αποτελεσματικότερο τρόπο ελέγχου του ηλιακού θερμικού κέρδους μέσω των υαλοπινάκων. Παρόλα αυτά πολλοί αρχιτέκτονες αντιτίθενται στην χρήση τους στην κατασκευή των κτιρίων για αισθητικούς λόγους.

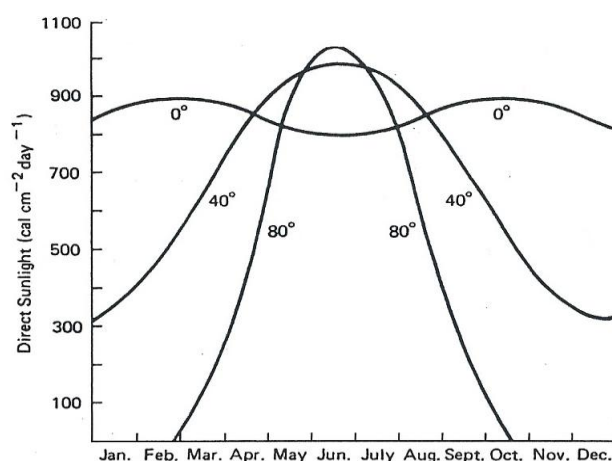
Η αποτελεσματικότητά τους έγκειται στο ότι εμποδίζουν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία πριν αυτή να φτάσει στον υαλοπίνακα. Ταυτόχρονα, σημαντικό ρολό παίζει η εξασφάλιση καλής κυκλοφορίας αέρα μεταξύ του υαλοπίνακα και του εξωτερικού μέσου σκίασης, ώστε να γίνεται απαγωγή της απορροφούμενης θερμότητας. Η εξωτερική σκίαση μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους. Τέτοιοι είναι οι προεξοχές της στέγης, οι κατακόρυφες ή οριζόντιες προεξοχές δομικών στοιχείων, οι τέντες, οι γρίλιες, τα λεπτά πλέγματα καθώς επίσης και τα γειτονικά κτίρια.

Δεδομένου ότι τα εξωτερικά σκίαστρα δεσμεύουν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, ο υαλοπίνακας δέχεται μόνο διάχυτη ακτινοβολία και έτσι είναι δυνατή η μείωση του ηλιακού θερμικού κέρδους μέχρι και 80%.

### 5.3. Συνδυασμένη επίδραση κύριων παραμέτρων κτιριακού κελύφους

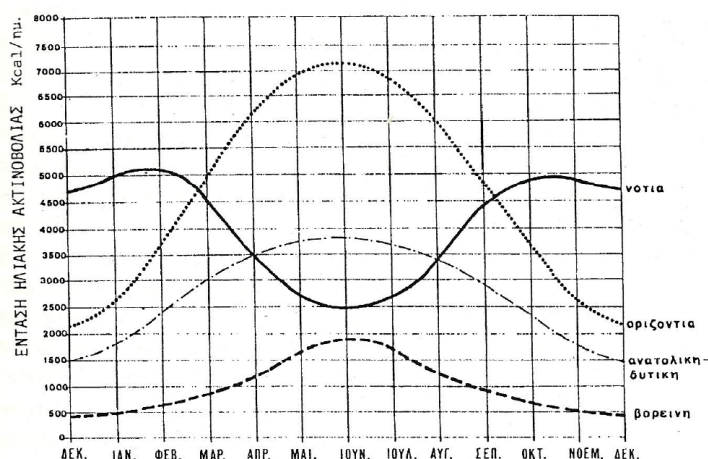
Οι υαλοπίνακες του κτιριακού κελύφους και σε μικρότερο βαθμό η μόνωση συνεισφέρουν θετικά και αρνητικά στην κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση, καθώς επιτρέπουν την είσοδο θετικών (ηλιακή ακτινοβολία) και αρνητικών (αγωγή θερμότητας λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς) φορτίων (κατά την περίοδο θέρμανσης). Με βάση τον κάθε φορά επιλεγμένο συνδυασμό των χαρακτηριστικών που προσδιορίζουν τόσο την μόνωση (πάχος  $W_i$  και ειδική θερμική αγωγιμότητα  $k_i$ ) όσο και τους υαλοπίνακες (συντελεστής θερμικής διαπερατότητας  $U_f$ , ποσοστό επί της συνολικής επιφάνειας του κελύφους  $P_f$ , προσανατολισμός και συντελεστής σκίασης  $E_f$ ), το άθροισμα των φορτίων αυτών μπορεί να είναι αρνητικό, θετικό ή μηδέν. Σκοπός βέβαια των μηχανικών που εργάζονται στην κατασκευή κτιρίων είναι ο συνδυασμός των παραμέτρων των χαρακτηριστικών του κτιρίου να είναι τέτοιος που θα ελαχιστοποιεί την καταναλισκόμενη ενέργεια [14].

Ο προσανατολισμός μιας επιφάνειας  $\gamma$  καθώς και το γεωγραφικό πλάτος στο οποίο αυτή βρίσκεται επηρεάζουν άμεσα την ποσότητα της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε αυτό. Ο βέλτιστος προσανατολισμός μιας επιφάνειας είναι ο νότιος για το βόρειο ημισφαίριο και ο βόρειος για το νότιο. Αποκλίσεις το πολύ 20% από τα όρια αυτά προκαλούν πολύ μικρές μειώσεις της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.



*Σχήμα 5.3.1. Άμεση ακτινοβολία προσπίπτουσα στην εξωτερική οριζόντια επιφάνεια κτιρίου σαν συνάρτηση των ημερών του χρόνου για διάφορα γεωγραφικά πλάτη [4].*

Όπως φαίνεται και στο σχήμα (Σχήμα 5.3.2.) που ακολουθεί, το οποίο αφορά συγκεκριμένα κατακόρυφες επιφάνειες (τοίχοι, υαλοπίνακες), ο νότιος προσανατολισμός κρίνεται ο βέλτιστος και τον χειμώνα και το καλοκαίρι. Κατά τους χειμερινούς μήνες η προσπίπτουσα στις επιφάνειες ηλιακή ακτινοβολία είναι υπερδιπλάσια σε σχέση με αυτή που προσπίπτει σε επιφάνειες προσανατολισμένες προς την ανατολή ή τη δύση. Ταυτόχρονα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες προσπίπτει στις νότιες επιφάνειες πολύ λιγότερη ακτινοβολία σε σχέση με ανατολικές ή δυτικές.



*Σχήμα 5.3.2. Ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας για διαφόρους προσανατολισμούς της καθέτου επιφάνειας σε 40° Β.Γ.Π. [34].*

Συγκεκριμένα, σύμφωνα με μελέτη που έχει ήδη δημοσιευθεί [33] σχετικά με την επίδραση των υαλοπινάκων στην ενεργειακή κατανάλωση προέκυψε όπως είναι άλλωστε αναμενόμενο ότι ο νότιος προσανατολισμός είναι αυτός που προσφέρει τα περισσότερα οφέλη σε ότι αφορά την ενεργειακή εξοικονόμηση για διαφόρους τύπους υαλοπινάκων. Σε αντιδιαστολή κρίνεται ότι ο βόρειος προσανατολισμός είναι πολύ επιζήμιος κυρίως κατά τις περιόδους που απαιτείται η θέρμανση των κτιρίων. Αυξανόμενη μάλιστα της επιφάνειας που καλύπτουν οι υαλοπίνακες στο βορρά αυξάνουν οι ενεργειακές απώλειες.

Σύμφωνα με μία άλλη μελέτη που είχε γίνει για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου στη περιοχή της Αθήνας [14] παρατηρήθηκε ότι για ορισμένο πάχος μόνωσης, αυξανόμενου του ποσοστού των υαλοπινάκων επί της συνολικής επιφάνειας του κελύφους η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση μειώνεται. Αυτό φυσικά είναι αναμενόμενο δεδομένου ότι αυξάνονται τα ηλιακά θερμικά κέρδη. Επίσης αναμενόμενο είναι ότι αυξανόμενου του πάχους της μόνωσης και για ποσοστό

υαλοπινάκων μεγαλύτερο μιας τιμής,  $P_f > P_{fo}$ , παρατηρήθηκε μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας. Από την άλλη αυξανόμενου του πάχους της μόνωσης και για ποσοστό υαλοπινάκων μικρότερο αυτής της τιμής,  $P_f < P_{fo}$ , η απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση παρουσίασε αύξηση. Αυτό συμβαίνει διότι λόγω του μεγάλου πάχους της μόνωσης, μειώνεται η ηλιακή ακτινοβολία που μεταφέρεται με αγωγή διαμέσου της και έτσι δεν επωφελούμαστε από την ύπαρξη της. Υπάρχει λοιπόν ένα ποσοστό  $P_{fo}$ , για το οποίο η ενεργειακή κατανάλωση είναι ανεξάρτητη του πάχους της μόνωσης.

## **6. Ενεργειακή Κατανάλωση για θέρμανση και κλιματισμό των κτιρίων [15]**

Για την επίτευξη των αναγκαίων συνθηκών άνεσης στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων, όπως αυτές έχουν παρουσιαστεί στην αντίστοιχη ενότητα, χρησιμοποιούνται στις κτιριακές εφαρμογές συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού.

Η εγκατάσταση θέρμανσης μπορεί να είναι ενιαία για όλο το κτίριο και τους χώρους του (κεντρική), ξεχωριστή για κάθε χώρο (τζάκια, σόμπες, συσσωρευτές), ή και ενιαία για ολόκληρη την πόλη σε κάθε κατοικία (αέριο εδάφους).

Η θέρμανση των κτιρίων μπορεί να επιτευχθεί με χρήση είτε ενεργητικών είτε ενεργητικών και παθητικών συστημάτων. Όταν αναφερόμαστε σε ενεργητικά συστήματα εννοούμε οποιαδήποτε εγκατάσταση θέρμανσης η οποία προφανώς περιλαμβάνει συνδυασμό μηχανικών μέσων. Χρησιμοποιώντας ενεργητικά μέσα είναι δυνατό να διατηρούμε την θερμοκρασία στο εσωτερικό των χώρων σε μια σταθερή τιμή, πχ  $20^{\circ}C$ , κάτι που δεν συμβαίνει όταν χρησιμοποιούνται και παθητικά μέσα. Προφανώς η λειτουργία των ενεργητικών συστημάτων συνεπάγεται κατανάλωση ενέργειας για την λειτουργία των εγκαταστάσεων.

Ας διαλευκάνουμε στο σημείο αυτό και κάτι ακόμα. Είναι συνήθης στην καθημερινότητα ο συσχετισμός της έννοιας του «Κλιματισμού» αποκλειστικά με την ψύξη των χώρων. Μια κλιματιστική εγκατάσταση ωστόσο χρησιμεύει τόσο για την θέρμανση όσο και για την ψύξη του εσωτερικού των κτιρίων καθώς στο εσωτερικό των εγκαταστάσεων υπάρχει όχι μόνο ψυκτικό αλλά και θερμαντικό μέσο. Ανάλογα λοιπόν με τις απαιτήσεις του χώρου λειτουργεί και η κλιματιστική εγκατάσταση. Ο λόγος για τον οποίο κρίνεται αναγκαίο να γίνει εδώ αυτή η επισήμανση είναι ότι έννοιες που θα χρησιμοποιηθούν παρακάτω έχουν εισαχθεί από την ASHRAE και προσδιορίζονται με βάση την θερινή λειτουργία των κλιματιστικών εγκαταστάσεων, για ψύξη δηλαδή των κτιρίων. Οι ίδιες έννοιες όμως, οι οποίες έχουν να κάνουν με μεγέθη που καθορίζουν την κατανάλωση ενέργειας, έχουν σημασία και για την χειμερινή λειτουργία των κλιματιστικών εγκαταστάσεων, για θέρμανση δηλαδή των χώρων.

Το μέγεθος και το είδος της κλιματιστικής συσκευής που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί καθορίζεται από τέσσερις ρυθμούς ροής θερμότητας οι οποίοι μεταβάλλονται με τον χρόνο και συσχετίζονται μεταξύ τους. Αυτοί είναι :

- Το θερμικό κέρδος του χώρου (heat gain)
- Το ψυκτικό φορτίο του χώρου (cooling load)
- Ο ρυθμός απομάκρυνσης θερμότητας του χώρου (heat extraction rate). Το μέγεθος αυτό είναι ίσο προς το ψυκτικό φορτίο μόνο όταν η θερμοκρασία αέρα του χώρου διατηρείται σταθερή.
- Το φορτίο ψυκτικού στοιχείου (cooling coil load ) είναι ο ρυθμός με τον οποίο η θερμότητα απάγεται από το ψυκτικό στοιχείο , το οποίο εξυπηρετεί έναν ή περισσότερους χώρους σε εγκατάσταση κλιματισμού.

Η διαρκώς μεταβαλλόμενη τιμή των μεγεθών αυτών κατά την διάρκεια του 24ωρου καθιστά πιθανό οι διάφορες ζώνες του ίδιου κτιρίου να απαιτούν διαφορετικά ποσά θερμότητας την ίδια χρονική στιγμή.

## **6.1. Θερμικό κέρδος χώρου**

Ο ρυθμός με τον οποίο η θερμότητα εισέρχεται ή παράγεται σε έναν χώρο μια δεδομένη χρονική στιγμή καλείται θερμικό κέρδος χώρου. Αυτό διαχωρίζεται σε αισθητό και λανθάνον κέρδος, με το αισθητό να αφορά την άμεση προσθήκη θερμότητας στο χώρο δι' αγωγής, συναγωγής ή ακτινοβολίας και το λανθάνον να αναφέρεται στη μεταφορά θερμότητας στο χώρο λόγω της μεταφοράς υδρατμού.

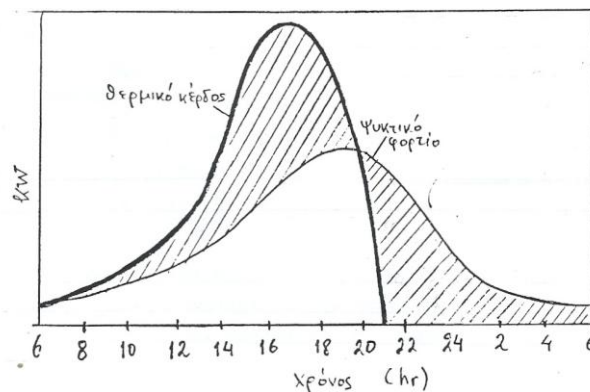
Το θερμικό κέρδος προέρχεται από :

- Ηλιακή ακτινοβολία μέσω διαφανών επιφανειών
- Αγωγή θερμότητας δια των εξωτερικών τοίχων και οροφών
- Αγωγή θερμότητας δια εσωτερικών χωρισμάτων
- Παραγωγή θερμότητας μέσα στο χώρο
- Ανανέωση και διείσδυση εξωτερικού αέρα.

## 6.2. Ψυκτικό φορτίο χώρου

Ο ρυθμός με τον οποίο η θερμότητα πρέπει να απομακρύνεται από τον χώρο ώστε η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα να διατηρεί μια σταθερή τιμή καλείται ψυκτικό φορτίο χώρου.

Το ψυκτικό φορτίο χώρου προκύπτει από το θερμικό κέρδος. Μεταξύ των δύο όμως αυτών μεγεθών υπάρχει διαφορά φάσης, όπως αποτυπώνεται και στο σχήμα που ακολουθεί.



*Σχήμα 6.2.1. Έτεροχρονισμός μεταξύ θερμικού κέρδους και ψυκτικού φορτίου για βόρεια κατασκευή και δυτικό προσανατολισμό.*

Αυτός ο προσδιορισμός του ψυκτικού φορτίου φαίνεται να συσχετίζεται με την λειτουργία των κλιματιστικών εγκαταστάσεων για ψύξη των κτιρίων καθώς σκοπός της κλιματιστικής εγκατάστασης κατά τους θερινούς μήνες είναι ακριβώς αυτός : να απομακρύνεται η θερμότητα που δημιουργεί δυσάρεστη αίσθηση στους ενοίκους. Και κατά τους χειμερινούς μήνες όμως θα μπορούσαμε να ορίσουμε ένα «αρνητικό» ψυκτικό φορτίο.

Για τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων απαιτείται η γνώση των ακόλουθων δεδομένων :

1. Χαρακτηριστικά του κτιρίου. Σε αυτά περιλαμβάνονται το σχέδιο, τα υλικά και τα χρώματα.
2. Θέση, προσανατολισμός και εξωτερική σκίαση του κτιρίου.
3. Συνήθως επικρατούντες μετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής οι οποίες καθορίζουν κα τις εξωτερικές συνθήκες μελέτης.



4. Απαιτούμενες εσωτερικές συνθήκες. Σε αυτές περιλαμβάνονται η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία και ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα.
5. Προοριζόμενη λειτουργία των χώρων. Αυτό το δεδομένο απαιτείται διότι διαφορετικές λειτουργίες συνεπάγονται διαφορετικά ωράρια λειτουργίας του φωτισμού και άλλων συσκευών, πλήθος ατόμων κλπ, παράμετροι που συμβάλλουν στην παραγωγή θερμικών κερδών εντός των χώρων.
6. Μήνας, ημέρα και ώρα που πρόκειται να γίνουν οι υπολογισμοί καθώς το θερμικό κέρδος και κατ' επέκταση το ψυκτικό φορτίο κυμαίνονται σημαντικά όχι μόνο μέσα στον χρόνο αλλά και κατά την διάρκεια μιας ολόκληρης μέρας.
7. Τέλος το ψυκτικό φορτίο ενός χώρου είναι η συνισταμένη των παρακάτω ξεχωριστών ψυκτικών φορτίων.

### **6.2.1. Ψυκτικό φορτίο που προκύπτει από το θερμικό κέρδος δι' αγωγής μέσω εξωτερικών τοίχων και οροφών.**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα η μεταφορά θερμότητας μέσα από το σώμα των τοίχων και των οροφών συμβαίνει αποκλειστικά με αγωγή.

Χρησιμοποιώντας τη δημοσιευμένη από την ASHRAE Μέθοδο της θερμοκρασιακής Διαφοράς Ψυκτικού Φορτίου (Cooling Load Temperature Difference, CLTD), η τιμή του ψυκτικού φορτίου,  $\dot{q}$  σε  $W$ , εξωτερικών τοίχων και οροφών δίνεται από τη σχέση :

$$\dot{q} = UA \text{ CLTD}$$

όπου :  $U [W / m^2 \text{ } ^\circ C]$  : η θερμική διαπερατότητα του τοίχου ή της οροφής

$A [m^2]$  : η επιφάνεια του τοίχου ή της οροφής

$CLTD [^\circ C]$  : η θερμοκρασιακή διαφορά του ψυκτικού φορτίου.

Αυτό το μέγεθος πρόκειται ουσιαστικά για μία «ψεύτικη» θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής επιφάνειας του τοίχου ή της οροφής.

Σε Πίνακες που δίνονται στην βιβλιογραφία [15] παρέχονται οι τιμές για το μέγεθος CLTD. Ωστόσο αυτές οι τιμές ισχύουν κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις. Εάν οι προϋποθέσεις αυτές δεν πληρούνται τότε θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας διορθωτικός συντελεστής.

### **6.2.2. Ψυκτικό φορτίο που προκύπτει από το θερμικό κέρδος δι' αγωγής και ηλιακής ακτινοβολίας μέσω υαλοπινάκων.**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο σχετικό κεφάλαιο, η μεταφορά θερμότητας μέσα από το σώμα των υαλοπινάκων συμβαίνει με αγωγή και με ακτινοβολία. Στο εσωτερικό των χώρων λοιπόν υπάρχει ένα θερμικό κέρδος προερχόμενο από την αγωγή θερμότητας και ένα ηλιακό θερμικό κέρδος.

Το θερμικό κέρδος υαλοπίνακα δι' αγωγής,  $HG$  σε  $W$ , δίνεται από τη σχέση :

$$HG = UA (t_o - t_i)$$

όπου :  $U [W/m^2 \cdot ^\circ C]$ : η ολική θερμική διαπερατότητα του υαλοπίνακα

$A [m^2]$ : η επιφάνεια του υαλοπίνακα

$t_o, t_i [^\circ C]$ : η εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία αντιστοίχως.

Το ηλιακό θερμικό κέρδος υαλοπίνακα (Solar Heat Gain, SHG) οφείλεται στη διερχόμενη και απορροφούμενη ηλιακή ενέργεια και συνεπώς λαμβάνεται υπ' όψιν στους υπολογισμούς εφόσον ο υαλοπίνακας δέχεται ηλιακή ακτινοβολία. Για τον υπολογισμό του μεγέθους αυτού χρησιμοποιούμε τη σχέση που υπολογίζει τον συντελεστή σκίασης (Shading Coefficient, SC) όπως αυτή προσδιορίστηκε στη σχετική ενότητα. Είναι δηλαδή :

$$SC = \frac{SHG}{SHGF}$$

όπου :  $SHGF$ : Παράγων Ηλιακού Θερμικού Κέρδους (Solar Heat Gain Factor), και είναι ουσιαστικά το ηλιακό θερμικό κέρδος του υαλοπίνακα αναφοράς.

Η μέγιστη τιμή του παράγοντα αυτού δίνεται σε Πίνακες συναρτήσεως του γεωγραφικού πλάτους και του προσανατολισμού.

Έχοντας υπολογίσει τα θερμικά κέρδη των υαλοπινάκων μπορούμε τώρα να προσδιορίσουμε το ψυκτικό φορτίο που αντιστοιχεί σε καθένα από αυτά.

Σύμφωνα με τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε και για τους εξωτερικούς τοίχους και τις οροφές, το ψυκτικό φορτίο που αντιστοιχεί στο θερμικό κέρδος των υαλοπινάκων δι' αγωγής δίνεται από τη σχέση :

$$\dot{q} = UA CLTD \quad [W]$$

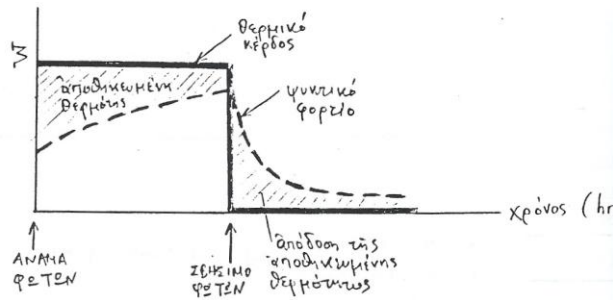
Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, εφόσον στην μελέτη που εκτελούμε δεν πληρούνται οι προϋποθέσεις υπό τις οποίες δίνεται σε πίνακες το *CLTD*, θα πρέπει να γίνεται χρήση μιας διορθωτικής εξίσωσης.

Χρησιμοποιώντας τώρα τον Παράγοντα Ψυκτικού Φορτίου (Cooling Load Factor, CLF) μπορούμε να υπολογίσουμε το ψυκτικό φορτίο του υαλοπίνακα που οφείλεται στο ηλιακό θερμικό κέρδος. Ο παράγων αυτός λαμβάνει υπόψη τη συσσώρευση της θερμότητας στα δομικά υλικά και την επίπλωση του δωματίου. Είναι :

$$\dot{q} = A \cdot SC \cdot SHGF_{\max} \cdot CLF \quad [W]$$

### **6.2.3. Ψυκτικό φορτίο που προκύπτει από το θερμικό κέρδος λόγω φωτισμού.**

Όπως συμβαίνει και με την ακτινοβολία που φτάνει στο εσωτερικό των χώρων από το εξωτερικό περιβάλλον και η οποία προσπίπτουσα στις διάφορες επιφάνειες αυξάνει την θερμοκρασία τους, έτσι συμβαίνει και με την ακτινοβολία που προέρχεται από τον ηλεκτροφωτισμό. Κατά τα γνωστά, όταν η θερμοκρασία των επιφανειών αυτών γίνει μεγαλύτερη από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος σε αυτές αέρα, θερμότητα μεταφέρεται από αυτές προς τον εσωτερικό χώρο με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία του. Για τον λόγο αυτό το θερμικό κέρδος που προέρχεται από τον ηλεκτροφωτισμό επιδρά στο ψυκτικό φορτίο. Όπως έχει ήδη αναφερθεί υπάρχει χρονική υστέρηση ανάμεσα στα δύο αυτά μεγέθη, με αποτέλεσμα η επίδραση του θερμικού κέρδους επί του ψυκτικού φορτίου να υπάρχει και μετά τη διακοπή του φωτισμού. Η χρονική αυτή υστέρηση απεικονίζεται και στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 6.2.3.1. Επίδραση θερμικής συσσώρευσης στο ψυκτικό φορτίο λόγω φωτισμού [15].

Το ψυκτικό φορτίο υπολογίζεται από τη σχέση :

$$\dot{q} = HG \ CLF$$

όπου :  $HG \ W = P f_u f_s$  το στιγμιαίο θερμικό κέρδος λόγω ηλεκτροφωτισμού

όπου :  $P \ W$  : η ηλεκτρική ισχύς όλων των εγκατεστημένων φωτιστικών στον χώρο

$f_u$  : το κλάσμα των εγκατεστημένων φωτιστικών που λειτουργούν υπό τις συνθήκες υπολογισμού και ονομάζεται συντελεστής χρήσης. Συνήθως στους υπολογισμούς ο συντελεστής αυτός παίρνει την τιμή  $f_u = 1$ .

$f_s$  : ο συντελεστής που καθορίζει για ειδικούς τύπους φωτιστικών και για λαμπτήρες φθορισμού την συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας που απαιτούν για την λειτουργία τους και η οποία είναι μεγαλύτερη από την ονομαστική. Για τον λόγο αυτό ονομάζεται ειδικός συντελεστής. Για λαμπτήρες φθορισμού ο συντελεστής αυτός παίρνει την τιμή  $f_s = 1.2$ , ενώ για λαμπτήρες πυρακτώσεως παίρνει την τιμή  $f_s = 1$ .

$CLF$  : Παράγων ψυκτικού φορτίου του οποίου η τιμή εξαρτάται από μια σειρά παραμέτρων που αφορούν το είδος και τη θέση του φωτιστικού, τον αερισμό του χώρου, το είδος της επίπλωσης, τα θερμικά χαρακτηριστικά των υλικών του χώρου καθώς και τις ώρες λειτουργίας του φωτισμού. Η τιμή του δίνεται σε Πίνακες, αλλά μπορούμε να δώσουμε δύο ενδεικτικές τιμές που αφορούν ορισμένες καταστάσεις.

Έτσι  $CLF=1$  είτε η κλιματιστική εγκατάσταση λειτουργεί κατά τις ώρες λειτουργίας του κτιρίου, είτε αν ο φωτισμός λειτουργεί όλο το 24ωρο.

#### **6.2.4. Ψυκτικό φορτίο που προκύπτει από το θερμικό κέρδος από ανθρώπους.**

Το ανθρώπινο σώμα παράγει θερμότητα την οποία μεταφέρει στο περιβάλλον. Ο ρυθμός μεταφοράς της θερμότητας αυτής εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται το είδος της εργασίας που πραγματοποιείται (όσο πιο έντονη είναι η εργασία τόσο ταχύτερος είναι ο ρυθμός θερμότητας), το είδος της ενδυμασίας και τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Ο συσχετισμός και η σημασία των παραγόντων αυτών έχει αναπτυχθεί και στην ενότητα που αφορούσε την θερμική άνεση. Αυτή η ροή θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα προς τον χώρο αποτελεί θερμικό κέρδος για τον χώρο. Διαχωρίζεται ωστόσο σε λανθάνον και αισθητό θερμικό κέρδος.

Το λανθάνον θερμικό κέρδος,  $\dot{q}_l$  σε W, θεωρείται ως στιγμιαίο ψυκτικό φορτίο και υπολογίζεται από τη σχέση :

$$\dot{q}_l = N \cdot HG_l$$

Το αισθητό θερμικό κέρδος, από την άλλη, δεν μετατρέπεται εξ' ολοκλήρου αμέσως σε ψυκτικό φορτίο καθώς ένα μεγάλο ποσοστό αυτού απορροφάται από το περίβλημα του χώρου, μια και μεταφέρεται υπό μορφή ακτινοβολίας και μεταφέρεται στη συνέχεια μέσω συναγωγής στον χώρο. Για τον λόγο αυτό, το ψυκτικό φορτίο,  $\dot{q}_s$  σε W, που προκύπτει από το αισθητό θερμικό κέρδος δίνεται από την παρακάτω σχέση, όπου γίνεται χρήση του Παράγοντα Ψυκτικού Φορτίου (CLF):

$$\dot{q}_s = N \cdot HG_s \cdot CLF$$

όπου και για τις δύο σχέσεις είναι :

$HG_l$ ,  $HG_s$  [W]: το λανθάνον και αισθητό θερμικό κέρδος ανά άνθρωπο. Η τιμή του δίνεται σε Πίνακες με βάση την δραστηριότητα που εκτελεί ο άνθρωπος.

$N$  : το πλήθος των ατόμων που βρίσκονται σε έναν χώρο

$CLF$  : ο παράγων αυτός παίρνει την τιμή  $CLF=1$  στην περίπτωση που είτε η ψυκτική εγκατάσταση δεν λειτουργεί επί 24ώρου βάσης είτε για χώρους όπου συναθροίζονται πολλοί άνθρωποι.

#### **6.2.5. Ψυκτικό φορτίο που προκύπτει από το θερμικό κέρδος από συσκευές.**

Σε ό, τι αφορά στις ηλεκτρικές συσκευές μπορούν να γίνουν διάφοροι διαχωρισμοί και κατ' επέκταση υπολογισμοί ανάλογα με το είδος της ηλεκτρικής συσκευής. Γενικά όμως μπορούμε να πούμε όπως και στην περίπτωση της ανθρώπινης παρουσίας ότι το εσωτερικό κέρδος λόγω λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών χωρίζεται σε λανθάνον και αισθητό. Σχετικά με το αισθητό κέρδος, όταν η ηλεκτρική συσκευή λειτουργεί με απορροφητήρα όπως π.χ. οι μαγειρικές συσκευές τότε το διά συναγωγής αποδιδόμενο θερμικό κέρδος θεωρείται αμελητέο. Το ίδιο ισχύει και για το λανθάνον θερμικό κέρδος. Επίσης το αισθητό θερμικό κέρδος που μεταδίδεται διά ακτινοβολίας καθυστερεί να επιδράσει στο ψυκτικό φορτίο και έτσι θεωρούμε προσεγγιστικά ότι το ψυκτικό φορτίο λόγω ηλεκτρικών συσκευών δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$q = PCLF$$

Όπου:  $P$   $W$  : η ισχύς που αποδίδει η ηλεκτρική μηχανή

$CLF$  : ο παράγοντας ψυκτικού φορτίου, ο οποίος λαμβάνεται από πίνακες συναρτήσεως των ωρών λειτουργίας της συσκευής και της ύπαρξης ή μη απορροφητήρα.

#### **6.2.6. Ψυκτικό φορτίο λόγω ανανέωσης και διεύδυσης αέρα.**

Η εισαγωγή του εξωτερικού αέρα στο εσωτερικό των χώρων είναι αναγκαία για λόγους υγιεινής, για την ανανέωση της ποιότητάς του, για την απομάκρυνση των οσμών, του καπνού και άλλων παραγώγων που προέρχονται από τις δραστηριότητες των ενοίκων. Η εισαγωγή αυτή συμβαίνει με δύο τρόπους, είτε μέσω της ανανέωσης του αέρα του χώρου είτε λόγω της διεύδυσης του αέρα από διάκενα θυρών και παραθύρων ή κατά το άνοιγμα των θυρών. Ενώ η ανανέωση του αέρα

πραγματοποιείται συνήθως μέσω της κλιματιστικής εγκατάστασης, είναι ελεγχόμενη και επιθυμητή, η διείσδυση του αέρα μέσω του κελύφους είναι στοχαστική και συμβαίνει με φυσικό τρόπο.

Κατά την πρόσδοση θερμότητας σε ένα χώρο λόγω ανανέωσης ή διείσδυσης αέρα, δεν παρατηρείται η ήδη αναφερθείσα χρονική υστέρηση μεταξύ θερμικού κέρδους και ψυκτικού φορτίου όπως έχει διαπιστωθεί σε προηγούμενες περιπτώσεις, δεδομένου ότι η προσδιδόμενη θερμότητα παραλαμβάνεται αμέσως από τον αέρα του χώρου. Συνεπώς το ψυκτικό φορτίο ταυτίζεται με το θερμικό κέρδος.

Για τους υπολογισμούς των ψυκτικών φορτίων λόγω διείσδυσης εξωτερικού αέρα καθώς και λόγω ανανέωσης, υπό συνήθεις συνθήκες και κανονική ατμοσφαιρική πίεση και υπό τον όρο ότι ο εξωτερικός αέρας προσάγεται απευθείας στο χώρο έχουμε τις παρακάτω σχέσεις :

$$\dot{q}_s = 1.23Q \Delta t$$

$$\dot{q}_l = 3010Q \Delta W$$

$$\dot{q}_t = 1.2Q \Delta h$$

όπου :  $\dot{q}_s$ ,  $\dot{q}_l$ ,  $\dot{q}_t$  : το αισθητό, το λανθάνον και το ολικό ψυκτικό φορτίο

$Q \text{ L/s}$  : η παροχή του εξωτερικού αέρα

$\Delta t [^{\circ}\text{C}]$  : η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εισερχόμενου και εξερχόμενου αέρα.

$\Delta W [kg_{υγρ.} / kg_{ξ.a.}]$  : η διαφορά λόγω υγρασίας μεταξύ εισερχόμενου και εξερχόμενου αέρα.

$\Delta h [kJ / kg_{ξ.a.}]$  : η διαφορά ενθαλπίας μεταξύ εισερχόμενου και εξερχόμενου αέρα.

### **6.3. Σύνοψη**

Συνοψίζοντας την ανάλυση που προηγήθηκε σε ότι αφορά τα ψυκτικά φορτία χώρου, αναφέρουμε εδώ ότι κατά τις περιόδους θέρμανσης, θερμικές απώλειες παρατηρούνται λόγω της αγωγής θερμότητας μέσω των τοίχων, των οροφών και των υαλοπινάκων, καθώς θερμότητα μεταφέρεται από το θερμό εσωτερικό περιβάλλον στο ψυχρό εξωτερικό περιβάλλον, και λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρα όπου ο ζεστός εσωτερικός αέρας διαφεύγει στο περιβάλλον.

Από την άλλη, τα θερμικά κέρδη λόγω φωτισμού, ανθρώπινης παρουσίας, ηλεκτρικών συσκευών συνεισφέρουν θετικά καθώς ζεσταίνουν τον εσωτερικό χώρο. Σε πρακτικές εφαρμογές ωστόσο που συμβαίνουν καθημερινά, δεν υπολογίζονται τα θερμικά αυτά κέρδη και παρέχονται ως συντελεστής ασφαλείας.



## **7. Ενεργειακή Εξοικονόμηση**

Η ενεργειακή εξοικονόμηση είναι καθοριστικής σημασίας για όλες τις χώρες του κόσμου και κυρίως για εκείνες που καλύπτουν τις ενεργειακές τους ανάγκες εισάγοντας ενέργεια (πχ Παλαιστίνη). Για τον λόγο αυτό, οι διάφορες χώρες θεσπίζουν νόμους και κανονισμούς που αφορούν στη σωστή ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων και συνήθως απαιτούν να ικανοποιούνται από τα κτίρια κάποια στάνταρ [32].

Η σωστή επιλογή του πάχους και του είδους της μόνωσης (ειδική θερμική αγωγιμότητα μονωτικού υλικού), η βέλτιστη τοποθέτηση υαλοστασίων ώστε να γίνεται η καλύτερη κατά το δυνατόν εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας και άλλες μέθοδοι, συμβάλλουν στην ελάττωση των λειτουργικών εξόδων των κτιρίων. Υπάρχει βέβαια πάντα μια αρχική οικονομική επιβάρυνση που συμβαίνει κατά την κατασκευαστική φάση [32].

Οι κλιματιστικές συσκευές καταναλώνουν μεγάλα ποσά ενέργειας, τα οποία προκύπτουν από το ψυκτικό φορτίο του χώρου ή των χώρων που πρέπει να εξυπηρετήσουν. Οι διάφορες μέθοδοι λοιπόν που χρησιμοποιούνται, στοχεύουν στην ελάττωση ακριβώς αυτού του ψυκτικού φορτίου, η οποία με τη σειρά της θα εξασφαλίσει και εξοικονόμηση ενέργειας [35].

Η ενεργειακή εξοικονόμηση συνεπάγεται και μείωση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων, των οποίων τα αποθέματα στη φύση δεν είναι ανεξάντλητα. Αυτό συμβαίνει λόγω των περιορισμένων ωρών που απαιτείται να λειτουργούν οι κλιματιστικές εγκαταστάσεις. Κατ' επέκταση η μειωμένη χρήση ορυκτών καυσίμων συμβάλλει και στην προστασία του περιβάλλοντος δεδομένου ότι επιβαρύνεται η ατμόσφαιρα με μικρότερη ποσότητα παραγώγων καύσης (διοξείδιο του άνθρακα, σωματίδια κλπ.) [32].

## **7.1. Κ.ΕΝ.Α.Κ. – Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων**

### **7.1.1. Θεσμικό Πλαίσιο [16]**

*Με τον Νόμο 3661 – ‘Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων’ ΦΕΚ 89/19 Μαΐου 2008, εναρμονίζεται η ελληνική νομοθεσία με την Οδηγία 2002/91/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2001 «Για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων» (ΕΕ L 1 της 4.1.2003).*

### **7.1.2. Σκοπός του Κ.ΕΝ.Α.Κ. [10]**

Η θέσπιση του Κανονισμού αυτού έχει σαν στόχο τη μείωση της κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας για θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό (ΘΨΚ), φωτισμό και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ΖΝΧ) με την ταυτόχρονη διασφάλιση συνθηκών άνεσης στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων. Ο σκοπός αυτός επιτυγχάνεται μέσω του ενεργειακά αποδοτικού σχεδιασμού του κελύφους, της χρήσης ενεργειακά αποδοτικών οικοδομικών υλικών και ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων (Η/Μ), ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ).

### **7.1.3. Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές συντελεστών θερμικής διαπερατότητας δομικών στοιχείων [16]**

*Στους πίνακες που ακολουθούν, δίνονται τα όρια των συντελεστών θερμικής διαπερατότητας δομικών διατάξεων του κτιριακού κελύφους, για κάθε κλιματική ζώνη και για κάθε δομική διάταξη (τοιχοποιία, οροφή, δάπεδο, ανοίγματα).*

Τοιχοποιία	
	$U_T$ ( $Wm^{-2}K^{-1}$ )
A κλιματική ζώνη	$\leq 0,7$
B κλιματική ζώνη	$\leq 0,6$
Γ κλιματική ζώνη	$\leq 0,5$
Δ κλιματική ζώνη	$\leq 0,4$

*Πίνακας 7.1.3.1 Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές συντελεστών θερμικής διαπερατότητας τοιχοποιίας για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες*

Οροφή	
	$U_O$ ( $Wm^{-2}K^{-1}$ )
A κλιματική ζώνη	$\leq 0,5$
B κλιματική ζώνη	$\leq 0,5$
Γ κλιματική ζώνη	$\leq 0,4$
Δ κλιματική ζώνη	$\leq 0,35$

*Πίνακας 7.1.3.2 Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές συντελεστών θερμικής διαπερατότητας οροφής για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες*

Δάπεδο	
	$U_{\Delta}$ ( $Wm^{-2}K^{-1}$ )
A κλιματική ζώνη	$\leq 2,0$
B κλιματική ζώνη	$\leq 1,5$
Γ κλιματική ζώνη	$\leq 0,7$
Δ κλιματική ζώνη	$\leq 0,5$

*Πίνακας 7.1.3.3 Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές συντελεστών θερμικής διαπερατότητας δαπέδου και εσωτερικής τοιχοποιίας ή δαπέδου που διαχωρίζει κλιματιζόμενο με μη κλιματιζόμενο χώρο για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες*

Ανοίγματα	
	$U_{YA}$ ( $Wm^{-2}K^{-1}$ )
Α κλιματική ζώνη	$U_{YA} \leq 3,8$
Β κλιματική ζώνη	$U_{YA} \leq 3,2$
Γ κλιματική ζώνη	$U_{YA} \leq 2,8$
Δ κλιματική ζώνη	$U_{YA} \leq 2,8$

*Πίνακας 7.1.3.4 Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές συντελεστών θερμικής διαπερατότητας ανοιγμάτων για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες*

#### **7.1.4. Απαιτήσεις ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίων [16]**

Για τον καθορισμό των απαιτήσεων ενεργειακής κατανάλωσης για τα νέα και τα ανακαινιζόμενα κτίρια και των κατηγοριών για την κατάταξη των κτιρίων, βάσει της ενεργειακής τους κατανάλωσης, χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία που δίδεται στο πρότυπο prEN 15217:2006.

Σύμφωνα με το πρότυπο, βάσει της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου ("EK"), για θέρμανση, ψύξη, ζεστό νερό χρήσης (ZNX) και φωτισμό, εκφρασμένης σε  $\frac{kWh}{m^2 \times \text{έτος}}$ , ορίζονται κατηγορίες ενεργειακών ορίων, από το A έως το H,

συναρτήσσει:

- α) του δείκτη ενεργειακής κατανάλωσης του κτιριακού αποθέματος ( $R_s$ ), οποίος αντιστοιχεί στην ενεργειακή κατανάλωση του 50% του κτιριακού αποθέματος,
- β) του δείκτη ενεργειακής κατανάλωσης αναφοράς του κανονισμού ( $R_r$ ), δηλαδή τη μέγιστη επιτρεπόμενη, από τον κανονισμό, ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων.

Οι δείκτες  $R_r$  και  $R_s$  αφορούν στο σύνολο των ενεργειακών απαιτήσεων (θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και ζεστό νερό χρήσης). Και οι δύο δείκτες είναι εκφρασμένοι σε .

Βάσει του προτύπου, το μέγιστο όριο της κατηγορίας B είναι ο δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης αναφοράς του κανονισμού ( $R_r$ ), ενώ το μέγιστο όριο της κατηγορίας Δ είναι ο δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης του κτιριακού αποθέματος ( $R_s$ ).

Για την περαιτέρω βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων που κατατάσσονται στις κατηγορίες A και B, θεσπίστηκαν οι κατηγορίες A+ και B+. Έτσι, τα όρια των ενεργειακών κατηγοριών που προκύπτουν, ακολουθούν στον επόμενο πίνακα και έχουν ως εξής:

Ενεργειακή Κατηγορία	Όρια κατηγορίας
A+	Για $EK \leq 0.33R_r$
A	Για $0.50R_r \leq EK \leq 0.33R_r$
B+	Για $0.50R_r \leq EK \leq 0.75R_r$
B	Για $0.75R_r \leq EK \leq R_r$
Γ	Για $R_r \leq EK \leq 0.50 (R_r + R_s)$
Δ	Για $0.50 (R_r + R_s) \leq EK < R_s$
E	Για $R_s \leq EK \leq 1.25 R_s$
Z	Για $1.25R_s \leq EK \leq 1.50R_s$
H	Για $1.50R_s \leq EK$

Πίνακας 7.1.4.1 Όρια ενεργειακών κατηγοριών Κ.ΕΝ.Α.Κ

Προκειμένου να ορισθούν τα όρια των ενεργειακών κατηγοριών (σε απόλυτες τιμές) ανά χρήση κτιρίου και ανά κλιματική ζώνη, συλλέχθηκαν στοιχεία από υπάρχουσες ενεργειακές μελέτες, επιθεωρήσεις και καταγραφές, από τις οποίες προέκυψε ο δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης του κτιριακού αποθέματος ( $R_s$ ) της χώρας, ανά χρήση κτιρίων και κλιματική ζώνη. Ο δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης αναφοράς του κανονισμού ( $R_r$ ) λήφθηκε ως το 75% του  $R_s$ .

Οι κατηγορίες χρήσης κτιρίων που λήφθηκαν υπόψη, βάσει του Νόμου 3661, φαίνονται στον πίνακα 7.1.4.2 που ακολουθεί.

No	Χρήση κτιρίου
1	Γραφείο
2	Εκπαιδευτικό κτίριο Πρωτοβάθμιας ή/και Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης
3	Εκπαιδευτικό κτίριο Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης
4	Νοσοκομείο - Κλινική
5	Διαγνωστικό κέντρο - Ιατρείο
6	Ξενοδοχείο
7	Εμπορικό κατάστημα
8	Αθλητική εγκατάσταση: Κλειστό γυμναστήριο
9	Αθλητική εγκατάσταση: Κλειστό κολυμβητήριο
10	Μονοκατοικία
11	Πολυκατοικία
12	Αεροδρόμιο

Πίνακας 7.1.4.2 Χρήσεις κτιρίων

Στο έντυπο του Κανονισμού περιλαμβάνονται πίνακες που δίνουν την κλίμακα ενεργειακής βαθμολόγησης, ανά κατηγορία χρήσης κτιρίου και ανά

κλιματική ζώνη. Εδώ απλά θα αναφέρουμε ότι, όλα τα νέα κτίρια, καθώς και τα υφιστάμενα άνω των 1000 τ.μ. που υφίστανται ριζική ανακαίνιση, θα πρέπει να βρίσκονται –κατ’ ελάχιστον- εντός του εύρους ενεργειακής κατανάλωσης της κατηγορίας B.

#### **7.1.5. Ενεργειακοί Επιθεωρητές [16]**

*Η πιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και η επιθεώρηση των λεβήτων και εγκαταστάσεων κλιματισμού διεξάγονται από ειδικευμένους και για τον σκοπό αυτό διαπιστευμένους ενεργειακούς επιθεωρητές.*

*Η ιδιότητα του Ενεργειακού Επιθεωρητή αποκτάται με την εγγραφή και ένταξή του στο Μητρώο Ενεργειακών Επιθεωρητών και της χορήγησης αντίστοιχης άδειας για τη διενέργεια ενεργειακών επιθεωρήσεων κτιρίων ή λεβήτων-εγκαταστάσεων θέρμανσης και/ή εγκαταστάσεων κλιματισμού.*

*Την ιδιότητα του Ενεργειακού Επιθεωρητή μπορεί να αποκτήσει κάθε φυσικό ή νομικό πρόσωπο που πληροί τα απαιτούμενα προσόντα, όρους και προϋποθέσεις μετά από αίτησή του και εγγραφή στο Μητρώο.*

## ΔΕΥΤΕΡΟ ΜΕΡΟΣ

### Εισαγωγή

Στο δεύτερο μέρος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας μελετάμε την επίδραση των κύριων χαρακτηριστικών του κτιριακού κελύφους στην ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων. Σε αυτά ανήκουν οι παράμετροι που προσδιορίζουν τη μόνωση και τους υαλοπίνακες, διότι τα συγκεκριμένα δομικά στοιχεία παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη και τη μικρότερη, αντίστοιχα, θερμική αντίσταση. Κατά την περίοδο θέρμανσης επίσης, επιτρέπουν την είσοδο θετικών και αρνητικών φορτίων στο κέλυφος.

Όλοι οι υπολογισμοί αφορούν στο τυπικό κτίριο αναφοράς στην περιοχή της Αθήνας. Τα φορτία που λαμβάνουμε υπόψη μας είναι : το ηλιακό θερμικό κέρδος μέσω των υαλοπινάκων, το φορτίο των υαλοπινάκων δι' αγωγής, το συνολικό φορτίο των τοίχων και της οροφής και το φορτίο λόγω διεύδυσης αέρα.

Αρχικά υπολογίζεται το συνολικό φορτίο του κτιριακού κελύφους αναφοράς για την 21η Ιανουαρίου. Έπειτα αναζητούνται για την ίδια τυπική μέρα, οι συνδυασμοί των παραμέτρων της μόνωσης (πάχος μόνωσης, ειδική θερμική αγωγιμότητα του υλικού) και των υαλοπινάκων (συντελεστής θερμικής διαπερατότητας, ποσοστό υαλοπινάκων επί της συνολικής επιφάνειας του κελύφους), που καθιστούν το κέλυφος «ψευδοαδιαβατικό», αφού προηγουμένως γίνεται προσδιορισμός της έννοιας αυτής. Ταυτόχρονα υπολογίζεται για τους συγκεκριμένους συνδυασμούς των παραμέτρων, η ενεργειακή κατανάλωση για την 21η Ιανουαρίου. Τέλος υπολογισμοί γίνονται σε ετήσια βάση και προκύπτουν αποτελέσματα σχετικά με την επίδραση του συνδυασμού των παραμέτρων της μόνωσης και των υαλοπινάκων στην ετήσια ενεργειακή κατανάλωση για εξασφάλιση συνθηκών άνεσης.

## **8. Θερμική συμπεριφορά του κτιρίου αναφοράς στην περιοχή της Αθήνας για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου.**

Στο Κεφάλαιο αυτό υπολογίζουμε το συνολικό φορτίο του κτιρίου αναφοράς στην περιοχή της Αθήνας για την 21η Ιανουαρίου. Γίνεται λεπτομερής παρουσίαση των βημάτων που ακολουθούμε για να υπολογιστούν τα φορτία που πρέπει να λάβουμε υπόψη μας. Αυτό κρίνεται αναγκαίο, διότι η ίδια διαδικασία ακολουθείται και στα επόμενα Κεφάλαια αλλά τότε παραθέτονται μόνο τα τελικά διαγράμματα, μια και λεπτομερέστερη παρουσίαση των δεδομένων θα καθιστούσε την Εργασία ογκώδη.



### **8.1. Υπολογισμός προσπίπτουσας στιγμιαίας ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου, $G_t$ [11].**

Η προσπίπτουσα στιγμιαία ηλιακή ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου υπολογίζεται από τη σχέση :

$$G_t = G_b R_b + G_d \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + G_b + G_d \rho \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \left[ \frac{kW}{m^2} \right] \quad (1)$$

όπου :  $G_b \left[ \frac{kW}{m^2} \right]$  : η άμεση στιγμιαία ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου,

$G_d \left[ \frac{kW}{m^2} \right]$  : η διάχυτη στιγμιαία ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου,

$R_b$  : ο λόγος της άμεσου ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου

$\rho = 0,2$  : τυπική τιμή για ανακλαστικότητα συνηθισμένου εδάφους

$\beta$  : η κλίση του επιπέδου και εφόσον οι υαλοπίνακες είναι κάθετοι στο οριζόντιο επίπεδο, είναι  $\beta = 90^\circ$ .

$\left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right)$ ,  $\left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right)$  οι παράγοντες όρασης ουρανού και εδάφους αντιστοίχως για το κεκλιμένο επίπεδο.

Στις ενότητες που ακολουθούν θα υπολογίσουμε καθέναν από τους συντελεστές της εξίσωσης (1) ξεχωριστά ( $G_b$ ,  $G_d$ ,  $R_b$ ), προκειμένου μετά να μπορούμε να υπολογίσουμε την προσπίπτουσα στιγμιαία ακτινοβολία κατακόρυφου επιπέδου,  $G_t$ .

**8.1.1. Υπολογισμός στιγμιαίας άμεσου και διάχυτου ηλιακής ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου,  $G_b$  και  $G_d$  [11].**

Υπολογίζουμε τη στιγμιαία άμεσο και διάχυτο ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου για κάθε ώρα της ημέρας που υπάρχει ηλιοφάνεια, δηλαδή από τις 7:00 πμ έως τις 18:00 μμ. (  $t = 7, 8, \dots, 18$  ). Χρησιμοποιούμε τις σχέσεις :

$$G_b = M_t + A_t \sin\left(\frac{360}{365} D - P_t\right) \left[\frac{kW}{m^2}\right] \quad (2)$$

$$G_d = m_t + a_t \sin\left(\frac{360}{365} D - p_t\right) \left[\frac{kW}{m^2}\right] \quad (3)$$

όπου οι συντελεστές  $M_t, A_t, P_t, m_t, a_t, p_t$  δίνονται για κάθε ώρα  $t$  στον Πίνακα που ακολουθεί.

Time $h$	$M_t \left[\frac{kW}{m^2}\right]$	$A_t \left[\frac{kW}{m^2}\right]$	$P_t$ degrees	$m_t \left[\frac{kW}{m^2}\right]$	$a_t \left[\frac{kW}{m^2}\right]$	$p_t$ degrees
7:00	0,007	0,046	86,18	0,048	0,111	81,23
8:00	0,057	0,068	87,31	0,134	0,127	82,45
9:00	0,119	0,104	87,94	0,208	0,133	83,94
10:00	0,191	0,129	88,31	0,261	0,129	85,6
11:00	0,258	0,153	89,35	0,283	0,117	86,05
12:00	0,319	-0,181	-88,88	0,271	0,095	82,71
13:00	0,342	-0,194	-89,18	0,243	0,081	81,95
14:00	0,325	0,183	87,21	0,21	0,083	87,23
15:00	0,269	0,166	86,22	0,176	0,087	89,53
16:00	0,183	0,147	82,1	0,141	-0,085	-88,19
17:00	0,078	0,131	79,85	0,104	-0,079	-88,97
18:00	-0,025	0,114	77,36	0,051	0,091	86,79

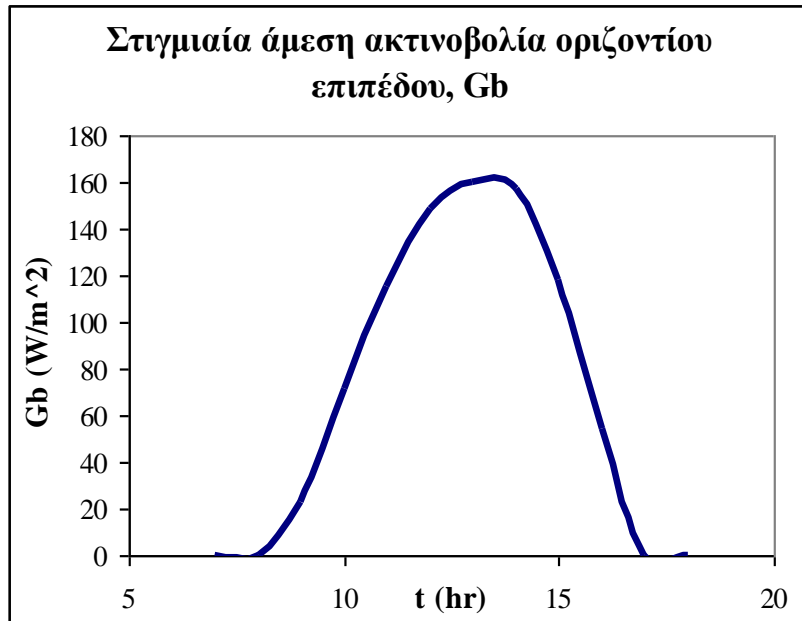
Πίνακας 8.1.1.1. Τιμές των συντελεστών των εξισώσεων (2) και (3).

Για καλύτερη εποπτεία των τιμών, δίνονται στον Πίνακα που ακολουθεί τα  $G_b$ ,  $G_d$  σε  $\frac{W}{m^2}$ . Για τους υπολογισμούς, δεδομένου ότι σε αυτό το Κεφάλαιο μελετάμε την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου, πήραμε  $D=21$ , αφού  $D=1\div 365$  ο αύξων αριθμός της ημέρας του έτους.

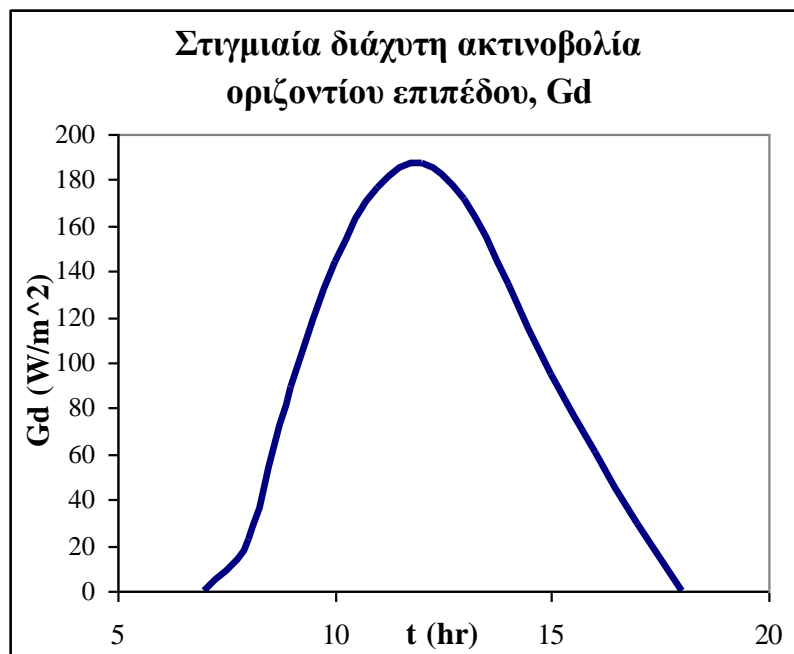
Time, t hrs	$G_b \left[ \frac{W}{m^2} \right]$	$G_d \left[ \frac{W}{m^2} \right]$
7:00	0,00	0,00
8:00	0,00	22,14
9:00	23,11	89,26
10:00	71,74	144,19
11:00	115,51	176,67
12:00	148,48	187,12
13:00	159,58	171,99
14:00	157,18	133,87
15:00	117,94	94,88
16:00	53,95	60,58
17:00	0,00	29,62
18:00	0,00	0,00

Πίνακας 8.1.1.2. Τιμές των  $G_b$ ,  $G_d$  για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου .

Ακολουθεί αποτύπωση των τιμών αυτών και διαγραμματικά, όπου φαίνεται, όπως είναι άλλωστε και λογικό, ότι οι μέγιστες τιμές της στιγμιαίας αμέσου και διάχτου ακτινοβολίας εντοπίζονται το μεσημέρι, δηλαδή στις 12:00 και 13:00 αντίστοιχα. Εκείνες τις ώρες η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη.



Διάγραμμα 8.1.1.1. Διακύμανση της στιγμιαίας άμεσου ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου  $G_b$  ανά ώρα για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου.



Διάγραμμα 8.1.1.2. Διακύμανση της στιγμιαίας διάχυτης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου  $G_d$  ανά ώρα για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου.

**8.1.2. Υπολογισμός του λόγου της αμέσου ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου,  $R_b$  [11].**

Η σχέση που χρησιμοποιούμε για να υπολογίσουμε τον λόγο της αμέσου ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου,  $R_b$ , είναι η ακόλουθη:

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (4)$$

όπου, για κατακόρυφες επιφάνειες και  $\beta = 90^\circ$  είναι :

$$\cos \theta = -\sin \delta \cos \varphi \cos \gamma + \cos \delta \sin \varphi \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \gamma \sin \omega \quad (5)$$

και

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega \quad (6).$$

Επαναλαμβάνουμε εδώ, αν και έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο στο βιβλιογραφικό κομμάτι της Εργασίας τι αντιπροσωπεύουν οι γωνίες που συναντάμε στις εξισώσεις (5) και (6).

- $\theta$  : η γωνία πρόσπτωσης της αμέσου ακτινοβολίας πάνω σε μια επιφάνεια.
- $\theta_z$  : η γωνία ζενίθ, η οποία σχηματίζεται από την κατακόρυφο και την ευθεία όρασης του ηλίου
- $\varphi = 38^\circ$  : το γεωγραφικό πλάτος της Αθήνας
- $\omega$  : η ωριαία γωνία, η οποία δίνεται από την σχέση  $\omega = 0.25 \times (\text{min from solar poun})$  και είναι  $\omega > 0$  για μμ. και  $\omega < 0$  για πμ.
- $\delta$ : η ηλιακή απόκλιση, η οποία υπολογίζεται από τη σχέση 
$$\delta = 23.45 \sin \left( \frac{360}{365} (284 + n) \right)$$
 και  $n = 21$  για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου.
- $\gamma$  : το αζιμούθιο της επιφάνειας, το οποίο εκφράζει τον προσανατολισμό και είναι  $\gamma = 0^\circ$  στον νότο,  $\gamma = 90^\circ$  στη δύση,  $\gamma = 180^\circ$  στο βορρά και  $\gamma = -90^\circ$  στην ανατολή.

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω δεδομένα στις εξισώσεις (5) , (6) και έπειτα στην (4) υπολογίζουμε το  $R_b$  για κάθε προσανατολισμό για τις ώρες  $t = 7, 8, \dots, 18$ . Τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα που ακολουθεί.

<b>Time, t</b> <i>hrs</i>	$R_b$ <b>Νότος</b>	$R_b$ <b>Ανατολή</b>	$R_b$ <b>Δύση</b>	$R_b$ <b>Βορράς</b>
7:00	0	0	0	0
8:00	3,54724	5,147499	0	0
9:00	2,185291	2,13341	0	0
10:00	1,800283	1,094873	0	0
11:00	1,650454	0,483416	0	0
12:00	1,608946	0	0	0
13:00	1,650454	0	0,483416	0
14:00	1,800283	0	1,094873	0
15:00	2,185291	0	2,13341	0
16:00	3,54724	0	5,147499	0
17:00	0	0	0	0
18:00	0	0	0	0

Πίνακας 8.1.2.1. Τιμές του λόγου  $R_b$  για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου για όλους τους προσανατολισμούς.

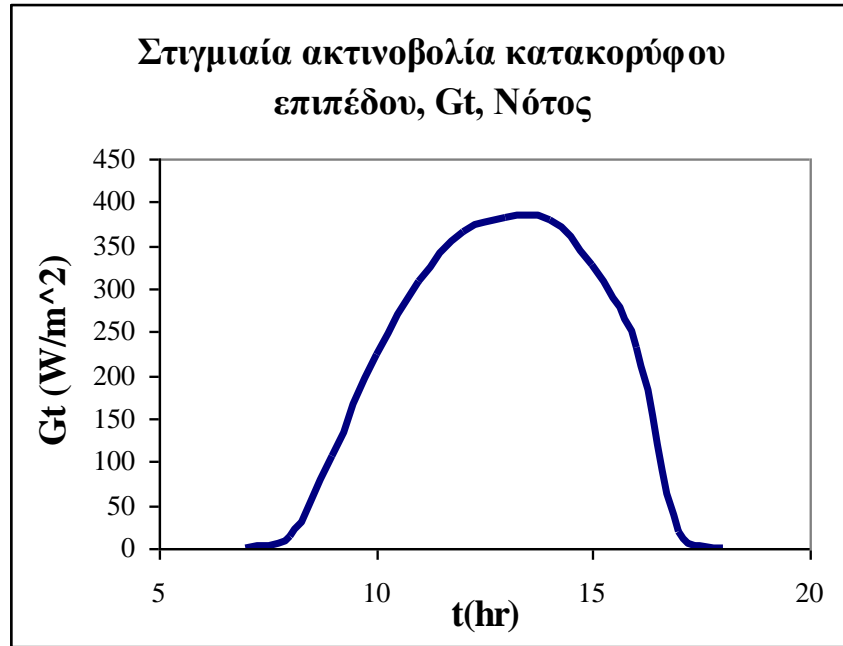
Τις ώρες που ο λόγος  $R_b$  έπαιρνε τιμή μικρότερη του μηδενός αντικαταστήθηκε αυτή η τιμή με 0.

Ήδη από τον ορισμό του  $R_b$  αντιλαμβανόμαστε γιατί στη βόεια πλευρά οι τιμές του  $R_b$  είναι για όλες τις ώρες μηδενικές: σε αυτή την πλευρά δεν προσπίπτει καθόλου άμεση ακτινοβολία στη διάρκεια της ημέρας. Ομοίως, στον δυτικό προσανατολισμό έχουμε απουσία άμεσου ακτινοβολίας τις πολύ πρωινές ώρες και στον ανατολικό τις απογευματινές. Εκείνες τις ώρες είναι  $R_b=0$  για τους συγκεκριμένους προσανατολισμούς.

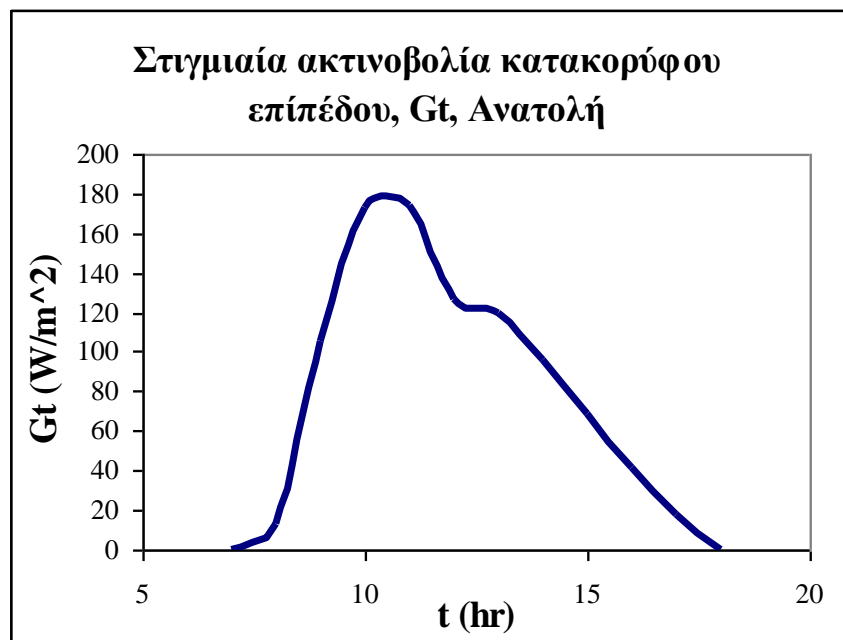
Έχοντας υπολογίσει όλα τα δεδομένα που απαιτούνται για την επίλυση της εξίσωσης (1), υπολογίζουμε την προσπίπτουσα στιγμιαία ακτινοβολία κατακόρυφου επιπέδου για τις ώρες  $t = 7, 8, \dots, 18$  και για κάθε προσανατολισμό. Τα αποτελέσματα προκύπτουν σε  $\frac{W}{m^2}$  και δίνονται αρχικά σε μορφή πίνακα και ακολούθως διαγραμματικά.

<b>Time, t</b> <i>hrs</i>	$G_t \left[ \frac{W}{m^2} \right]$ <b>Νότος</b>	$G_t \left[ \frac{W}{m^2} \right]$ <b>Ανατολή</b>	$G_t \left[ \frac{W}{m^2} \right]$ <b>Δύση</b>	$G_t \left[ \frac{W}{m^2} \right]$ <b>Βορράς</b>
7:00	0	0	0	0
8:00	13,28389	13,28389	13,28389	13,28389
9:00	106,36	105,1612	55,86496	55,86496
10:00	222,8339	172,2309	93,6896	93,6896
11:00	308,2015	173,3948	117,5546	117,5546
12:00	366,0164	127,121	127,121	127,121
13:00	382,5253	119,1536	196,2948	119,1536
14:00	379,0127	96,04238	268,1356	96,04238
15:00	326,4477	68,7206	320,3291	68,7206
16:00	233,1249	41,74548	319,4615	41,74548
17:00	17,76937	17,76937	17,76937	17,76937
18:00	0	0	0	0

Πίνακας 8.1.2.2. Τιμές της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου ( $G_t$ ) για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου και όλους τους προσανατολισμούς.

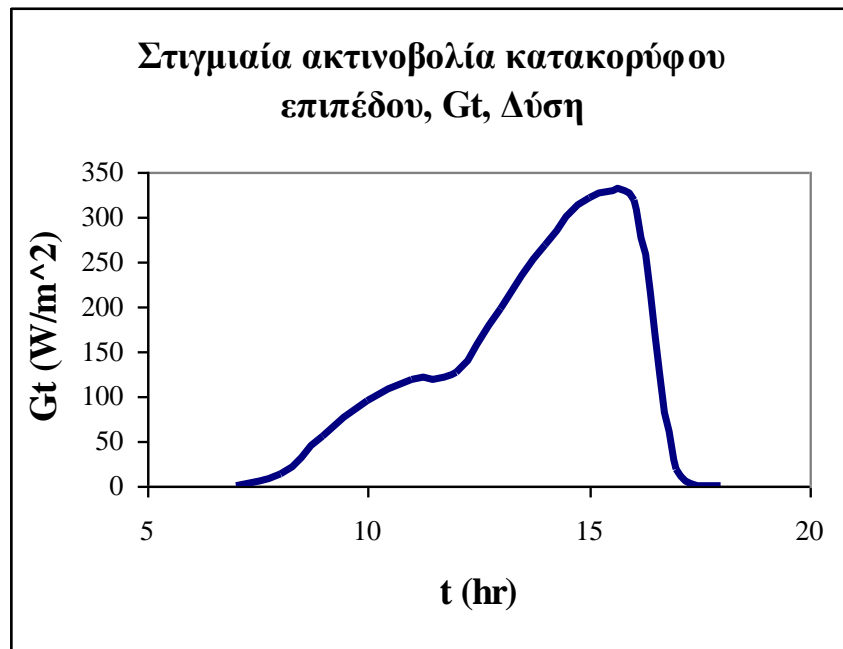


*Διάγραμμα 8.1.2.1 Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου  $G_t$  ανά ώρα για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου και νότιο προσανατολισμό.*

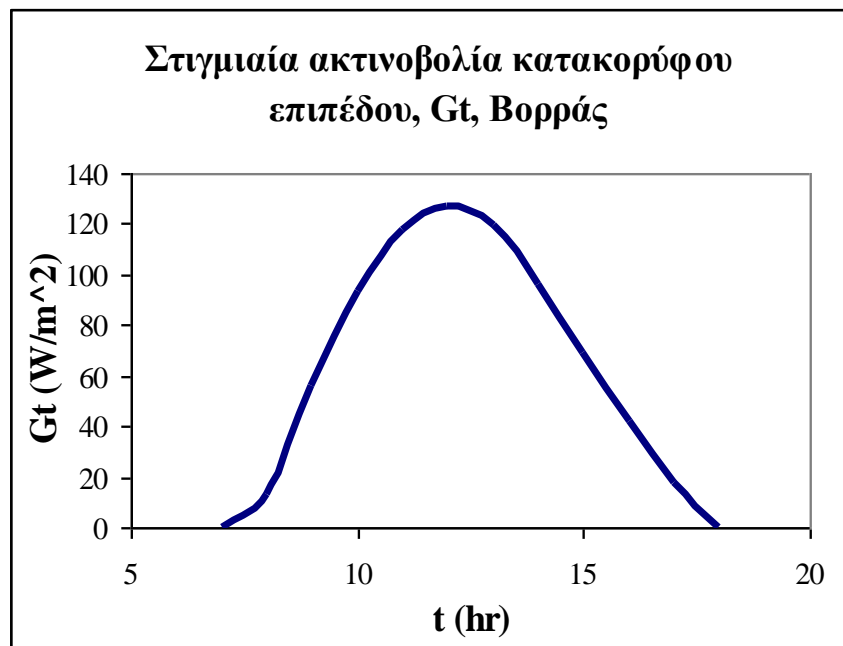


*Διάγραμμα 8.1.2.2 Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου  $G_t$  ανά ώρα για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου και ανατολικό προσανατολισμό.*





*Διάγραμμα 8.1.2.3. Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου  $G_t$  ανά ώρα για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου και δυτικό προσανατολισμό.*



*Διάγραμμα 8.1.2.4. Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου  $G_t$  ανά ώρα για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου και βόρειο προσανατολισμό.*

Παρατηρώντας τα διαγράμματα του  $G$ , βλέπουμε ότι ενώ τα διαγράμματα του βορρά και του νότου είναι ομαλά, τα διαγράμματα της δύσης και της ανατολής παρουσιάζουν μια ανωμαλία στις 12:00. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι τιμές του  $R_b$  για τους συγκεκριμένους προσανατολισμούς είναι 0 εκείνη την ώρα. Ακόμα η μέγιστη τιμή του  $G$  για τον νότο εντοπίζεται στις 13:00 και για τον βορρά στις 12:00.

## 8.2. Ηλιακό θερμικό κέρδος υαλοπινάκων [15].

Το ηλιακό θερμικό κέρδος των υαλοπινάκων οφείλεται στην διερχόμενη και την απορροφούμενη ηλιακή ενέργεια. Για τον υπολογισμό του χρησιμοποιούμε την παρακάτω σχέση για τις ώρες της ημέρας που υπάρχει ηλιοφάνεια (για  $t = 7, 8, \dots, 18$ ), σε διαστήματα μιας ώρας :

$$SHG = 0,9 \cdot 3600 \cdot G_t \cdot A_f \left[ \frac{J}{h} \right] \quad (7)$$

όπου :  $G_t \left[ \frac{W}{m^2} \right]$  : η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στους υαλοπίνακες

$A_f \left[ m^2 \right]$  : το εμβαδόν του υαλοπίνακα

0,9 : συντελεστής που εκφράζει ότι 10% της ηλιακής ακτινοβολίας δεν διέρχεται μέσω του υαλοπίνακα. Το ποσοστό αυτό προκύπτει ως εξής: 5% της απορροφούμενης από τον υαλοπίνακα ηλιακής ακτινοβολίας εξέρχεται στο εξωτερικό περιβάλλον και 5% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στον υαλοπίνακα εξαρχής ανακλάται από αυτόν.

Πολλαπλασιάζουμε με 3600s διότι αναζητούμε το θερμικό κέρδος μέσω των υαλοπινάκων σε διάστημα 1 ώρας.

Το κτίριο αναφοράς που μελετάμε στην παρούσα εργασία έχει τετραγωνικό δάπεδο εμβαδού  $100m^2$ . Όλοι οι τοίχοι, καθένας εκ των οποίων είναι προσανατολισμένος στα τέσσερα κύρια σημεία του ορίζοντα, έχουν ύψος  $3m$ . Η επιφάνεια του κελύφους (πλην του αδαβατικού δαπέδου) είναι  $F = 220m^2$  και το κτίριο έχει συνολικό όγκο  $V = 300m^3$ . Οι υαλοπίνακες καλύπτουν το 25% της συνολικής επιφάνειας του κελύφους ( $P_f = 25\%$ ) και το ποσοστό αυτό μοιράζεται εξίσου και στους τέσσερις προσανατολισμούς. Επομένως σε κάθε τοίχο (νότος, ανατολή, δύση, βορράς) οι υαλοπίνακες καλύπτουν το 25% της επιφάνειάς του τοίχου. Τελικά το εμβαδό των υαλοπινάκων για κάθε πλευρά του κτιρίου θα είναι ίσο με:

$$A_f = 30m^2 \times 0,25 = 7,5m^2,$$

ενώ το συνολικό εμβαδό των υαλοπινάκων θα είναι:

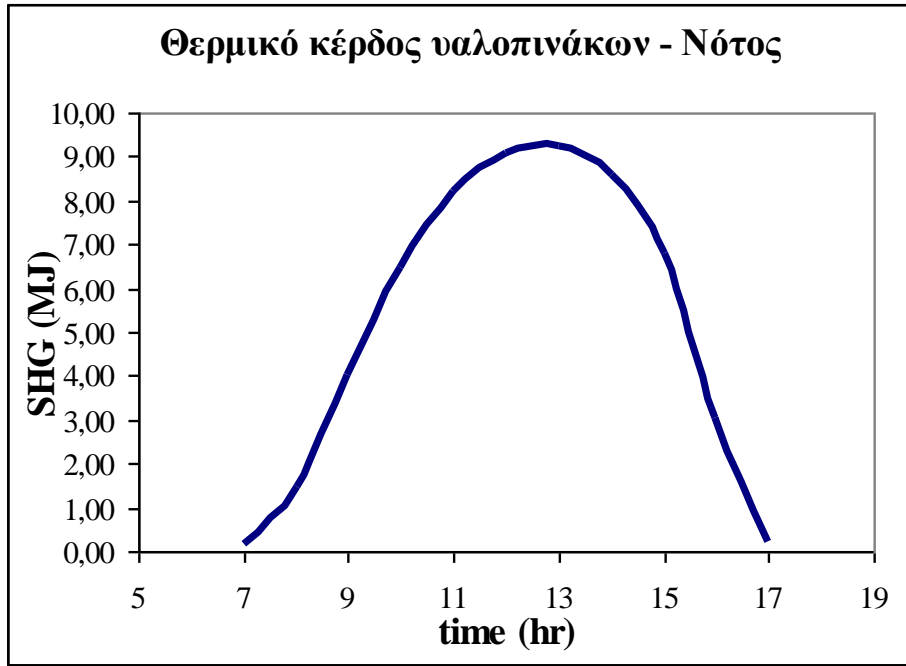
$$A_{tot} = 120m^2 \times 0,25 = 30m^2 .$$

Κάνοντας χρήση των παραπάνω δεδομένων μπορούμε να υπολογίσουμε το ηλιακό θερμικό κέρδος των υαλοπινάκων για κάθε προσανατολισμό στη διάρκεια ενός 24ώρου (ουσιαστικά για  $t = 7,8, \dots, 18$  που υπάρχει ηλιοφάνεια) σύμφωνα με την εξίσωση (7). Αθροίζουμε έπειτα τις τιμές που προκύπτουν για κάθε διάστημα μιας ώρας εντός του 24ώρου, προκειμένου να βρούμε το ημερήσιο ηλιακό θερμικό κέρδος των υαλοπινάκων για κάθε προσανατολισμό. Για λόγους καλύτερης εποπτείας μετατρέπουμε τις μονάδες από  $\left[ \frac{J}{h} \right]$  σε  $\left[ \frac{MJ}{h} \right]$ .

<b>Time, t hrs</b>	<b>SHG <math>\left[ \frac{MJ}{h} \right]</math></b> <b>Νότος</b>	<b>SHG <math>\left[ \frac{MJ}{h} \right]</math></b> <b>Ανατολή</b>	<b>SHG <math>\left[ \frac{MJ}{h} \right]</math></b> <b>Δύση</b>	<b>SHG <math>\left[ \frac{MJ}{h} \right]</math></b> <b>Βορράς</b>
7:00-8:00	0,161	0,161	0,161	0,161
8:00-9:00	1,454	1,439	0,840	0,840
9:00-10:00	4,000	3,370	1,817	1,817
10:00-11:00	6,452	4,199	2,567	2,567
11:00-12:00	8,192	3,651	2,973	2,973
12:00-13:00	9,095	2,992	3,930	2,992
13:00-14:00	9,253	2,615	5,643	2,615
14:00-15:00	8,571	2,002	7,150	2,002
15:00-16:00	6,799	1,342	7,773	1,342
16:00-17:00	3,048	0,723	4,097	0,723
17:00-18:00	0,216	0,216	0,216	0,216
<b>Ημερήσιο SHG</b> <b><math>\left[ \frac{MJ}{day} \right]</math></b>	<b>57,240</b>	<b>22,711</b>	<b>37,167</b>	<b>18,248</b>

*Πίνακας 8.2.1. Θετικά φορτία υαλοπινάκων SHG για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου και για κάθε προσανατολισμό.*

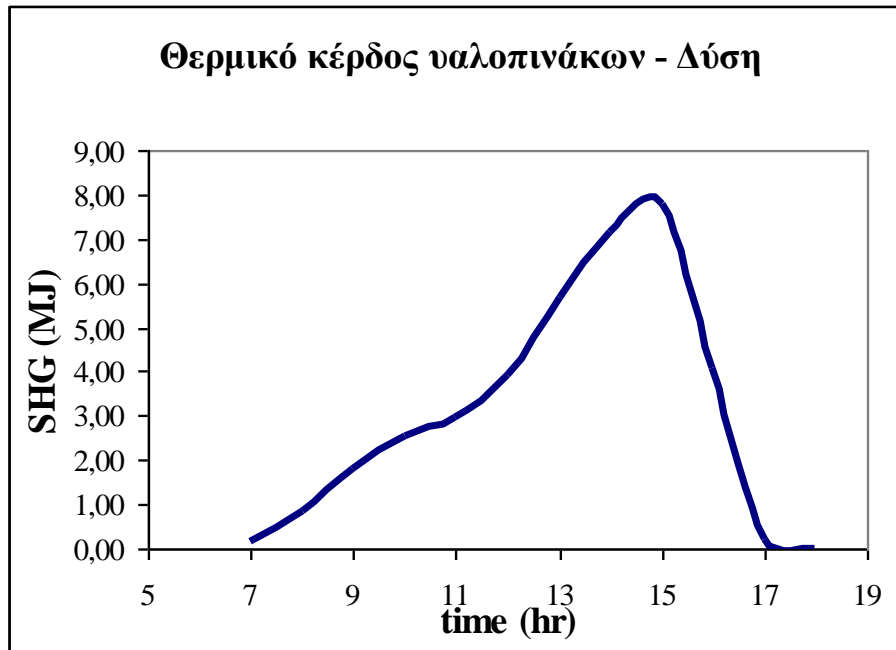
Ακολουθεί διαγραμματική απεικόνιση των ανωτέρω.



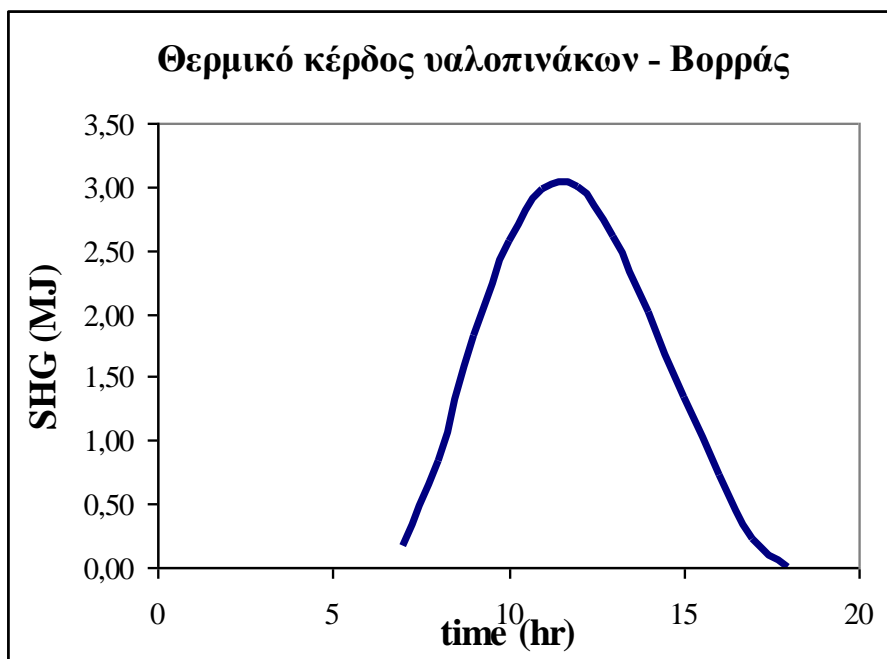
*Διάγραμμα 8.2.1. Κέρδη υαλοπινάκων για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου και για νότιο προσανατολισμό .*



*Διάγραμμα 8.2.2. Κέρδη υαλοπινάκων για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου και για ανατολικό προσανατολισμό .*



*Διάγραμμα 8.2.3. Κέρδη υαλοπινάκων για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου και για δυτικό προσανατολισμό.*



*Διάγραμμα 8.2.4. Κέρδη υαλοπινάκων για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου και για βόρειο προσανατολισμό*

Παρατηρώντας τα διαγράμματα προκύπτουν τα ίδια συμπεράσματα με αυτά που προέκυψαν από τα διαγράμματα του  $G_i$  συναρτήσει της ώρας της ημέρας. Αυτό είναι λογικό αφού τα Διαγράμματα 8.2.1.-8.2.4. προέκυψαν από την εξίσωση (7), η οποία περιέχει τον όρο  $G_i$ . Είναι ενδιαφέρον να σημειώσουμε ότι το ημερήσιο θερμικό κέρδος μέσω του βόρειου υαλοπίνακα ( 18,248  $MJ/day$ ) είναι αισθητά μικρότερο σε σχέση με τα ημερήσια θερμικά κέρδη μέσω των υαλοπινάκων που έχουν ανατολικό (22,711  $MJ/day$ ), δυτικό ( 37,167  $MJ/day$ ) και πολύ περισσότερο νότιο ( 57,240  $MJ/day$ ) προσανατολισμό. Η διαπίστωση αυτή ενισχύει ακόμα περισσότερο και τα όσα αναφέρθηκαν και στο βιβλιογραφικό κομμάτι της Εργασίας, ότι δηλαδή ο βόρειος προσανατολισμός κρίνεται ζημιογόνος από ενεργειακής άποψης, καθώς τα οφέλη από αυτόν είναι πολύ μικρότερα συγκρινόμενα με τα οφέλη από την ύπαρξη υαλοπινάκων στους λοιπούς προσανατολισμούς,

### 8.3. Θερμικό φορτίο υαλοπινάκων δι' αγωγής [15].

Το θερμικό φορτίο υαλοπινάκων δι' αγωγής, προκύπτει εξαιτίας της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος και για τον μήνα Ιανουάριο αποτελεί απώλεια για το κέλυφος. Υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση για όλη την ημέρα (για  $t = 1, 8, \dots, 24$ ), σε διαστήματα μιας ώρας:

$$L_f = -3600 \cdot A_f \cdot U_f \cdot T_{in} - T_{out} \left[ \frac{J}{h} \right] \quad (8)$$

όπου :  $A_f \left[ m^2 \right]$  : το εμβαδόν των υαλοπινάκων,

$U_f \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$  : ο ολικός συντελεστής θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων, ο

οποίος για το κτίριο αναφοράς λαμβάνεται  $3.5 \frac{W}{m^2 K}$ ,

$T_{in} - T_{out} \quad K$  η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος

Πολλαπλασιάζουμε με  $3600s$  διότι αναζητούμε το θερμικό φορτίο μέσω των υαλοπινάκων σε διάστημα 1 ώρας.

Στην παραπάνω σχέση δεν χρησιμοποιούμε την ισοδύναμη θερμοκρασία  $T_e$ , διότι αυτή περιλαμβάνει και την ηλιακή ακτινοβολία, την επίδραση της οποίας την υπολογίσαμε ξεχωριστά στην προηγούμενη ενότητα.

Το φορτίο που υπολογίζουμε εδώ είναι κοινό για όλους τους προσανατολισμούς. Αυτό οφείλεται αφενός στο ότι το φορτίο αυτό εξαρτάται από την θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, η οποία είναι ίδια, ανεξαρτήτως του προσανατολισμού και αφετέρου στο ότι οι υαλοπίνακες καλύπτουν το 25% της επιφάνειας του κελύφους, ποσοστό το οποίο μοιράζεται εξίσου στους τέσσερις προσανατολισμούς (25% στο νότο, 25% στην ανατολή, 25% στη δύση, 25% στο βορρά).



Για το κτίριο αναφοράς θεωρούμε ότι η εσωτερική θερμοκρασία διατηρείται σταθερή την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου στους 20°C. Επομένως είναι  $T_{in} = 293K$ . Ως θερμοκρασίες εξωτερικού περιβάλλοντος ελήφθησαν οι τιμές της μέσης θερμοκρασίας ξηρής σφαίρας,  $T_{out}[K]$  στην περιοχή των Αθηνών. Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω σχέση, για όλο το 24ωρο και τα αποτελέσματα δίνονται σε Πίνακα και διαγραμματικά:

$$T_{out} H = M + \sum_{i=1}^3 C_i \cos \left[ i \frac{360}{24} H - 0.5 \right] + \sum_{i=1}^3 S_i \sin \left[ i \frac{360}{24} H - 0.5 \right] \quad [^{\circ}C] \quad (9)$$

όπου :  $M, C_i, S_i$  : συντελεστές που δίνονται παρακάτω για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου

$H$  : η ώρα της ημέρας,  $H = 1 \div 24$ .

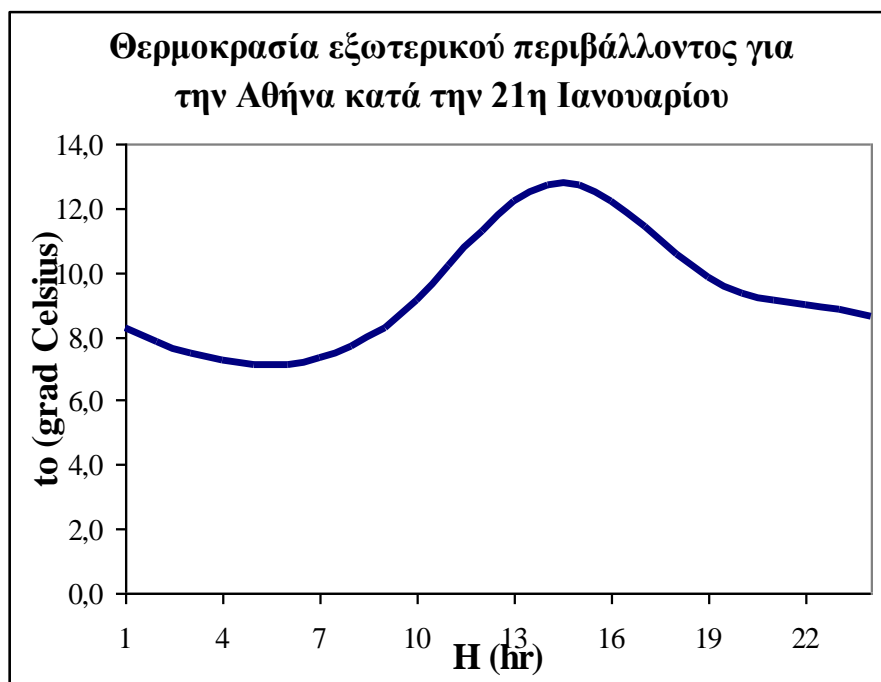
21 <sup>η</sup> Ιανουαρίου						
M	C1	C2	C3	S1	S2	S3
9,384	-1,673	0,711	0,0085	-1,723	0,524	-0,241

Πίνακας 8.3.1. Τιμές των συντελεστών της συνάρτησης (9)

<b>Time, H</b> <i>hrs</i>	$T_{out}$ [ $^{\circ}C$ ] <b>με χρήση της (9)</b>	$T_{out}$ [K]	$T_{out}$ [ $^{\circ}C$ ] <b>με στατιστική επεξεργασία</b>
1	8,2	281,2	8,3
2	7,8	280,8	8,1
3	7,5	280,5	7,7
4	7,2	280,2	7,3
5	7,1	280,1	7,0
6	7,1	280,1	6,9
7	7,3	280,3	7,1
8	7,7	280,7	7,6
9	8,3	281,3	8,3
10	9,1	282,1	9,3
11	10,2	283,2	10,4
12	11,3	284,3	11,4
13	12,2	285,2	12,1
14	12,7	285,7	12,5
15	12,7	285,7	12,4
16	12,2	285,2	12,1
17	11,4	284,4	11,5
18	10,5	283,5	10,8
19	9,8	282,8	10,1
20	9,4	282,4	9,5
21	9,1	282,1	9,0
22	9,0	282,0	8,8
23	8,9	281,9	8,6
24	8,6	281,6	8,5

*Πίνακας 8.3.2. Τιμές της εξωτερικής θερμοκρασίας  $T_{out}$  για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου και την περιοχή των Αθηνών.*

Στην τελευταία στήλη δίνονται οι τιμές της εξωτερικής θερμοκρασίας στην περιοχή των Αθηνών οι οποίες προέκυψαν με στατιστική επεξεργασία ωριαίων μετρήσεων αυτής για διάστημα 20 ετών κατά την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου, για επιφάνεια κελύφους ανοιχτού χρώματος. Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις από τις τιμές που υπολογίσαμε με χρήση της (9), ωστόσο η μέθοδος μας υστερεί σε ακρίβεια.

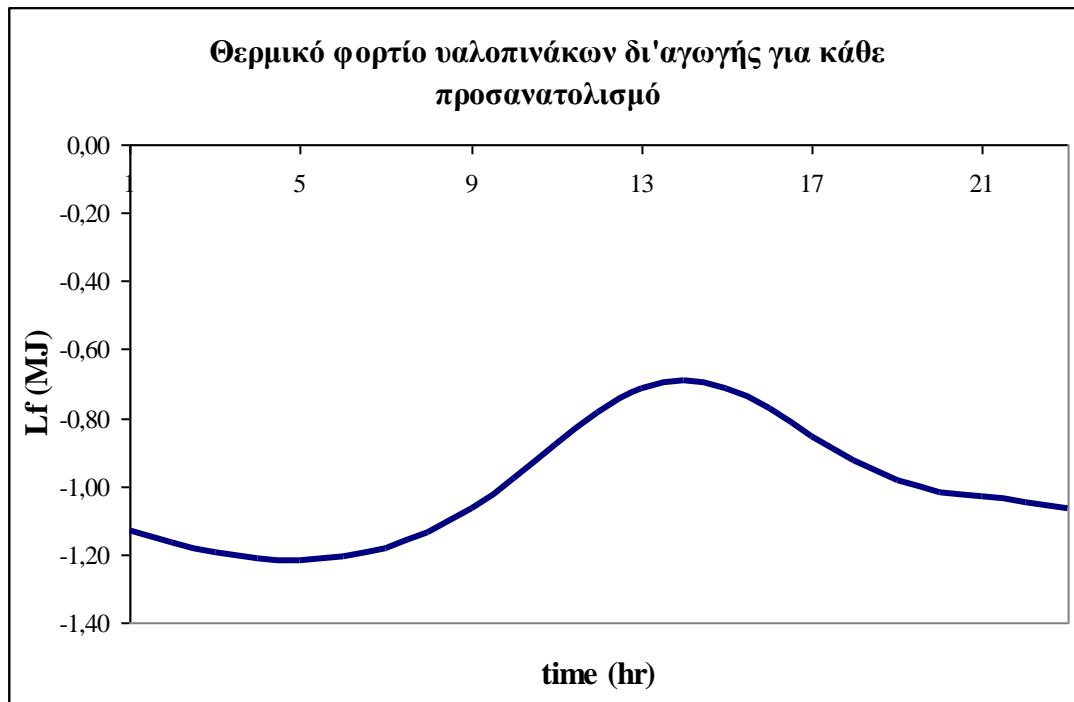


Διάγραμμα 8.3.1. Θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος για την Αθήνα.

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω δεδομένα στην εξίσωση (8) υπολογίζουμε το θερμικό φορτίο των υαλοπινάκων δι' αγωγής σε  $\left[ \frac{J}{h} \right]$  για όλο το 24ωρο σε διαστήματα μίας ώρας. Υπολογίζουμε ακόμα το ημερήσιο θερμικό φορτίο των υαλοπινάκων για κάθε προσανατολισμό. Για καλύτερη εποπτεία των αποτελεσμάτων δίνονται οι τιμές σε  $\left[ \frac{MJ}{h} \right]$ , ενώ τα αποτελέσματα παρουσιάζονται και με την μορφή διαγράμματος.

Time, t hrs	$T_{in} - T_{out}$ K	$L_f \left[ \frac{MJ}{h} \right]$
1:00-2:00	12,0	-1,131
2:00-3:00	12,3	-1,167
3:00-4:00	12,7	-1,196
4:00-5:00	12,8	-1,213
5:00-6:00	12,9	-1,218
6:00-7:00	12,8	-1,209
7:00-8:00	12,5	-1,183
8:00-9:00	12,0	-1,138
9:00-10:00	11,3	-1,069
10:00-11:00	10,4	-0,978
11:00-12:00	9,3	-0,877
12:00-13:00	8,3	-0,782
13:00-14:00	7,6	-0,716
14:00-15:00	7,3	-0,692
15:00-16:00	7,6	-0,715
16:00-17:00	8,2	-0,775
17:00-18:00	9,0	-0,853
18:00-19:00	9,8	-0,928
19:00-20:00	10,4	-0,983
20:00-21:00	10,8	-1,016
21:00-22:00	10,9	-1,033
22:00-23:00	11,1	-1,046
23:00-24:00	11,3	-1,065
<b>Ημερήσιο <math>L_f \left[ \frac{MJ}{day} \right]</math> για κάθε προσανατολισμό</b>		<b>-22,983</b>

Πίνακας 8.3.3. Διακύμανση του θερμικού φορτίου υαλοπινάκων δι' αγωγής για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου, κοινό για κάθε προσανατολισμό.



Διάγραμμα 8.3.2. Απώλειες των υαλοπινάκων για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου ανά ώρα για κάθε προσανατολισμό

#### 8.4. Συνολικό φορτίο που διέρχεται μέσω των τοίχων [15].

Το συνολικό φορτίο που διέρχεται μέσω των τοίχων υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :

$$K_w = -3600 \cdot A_w \cdot U_w \cdot (T_{in} - T_e) \left[ \frac{J}{h} \right] \quad (10)$$

όπου :  $A_w [m^2]$  : το εμβαδόν του τοίχου,

$U_w \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$  : ο ολικός συντελεστής θερμικής διαπερατότητας του τοίχου,

$T_{in} - T_e [K]$  : η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος.

Πολλαπλασιάζουμε με  $3600s$  διότι αναζητούμε το φορτίο μέσω των τοίχων σε διάστημα 1 ώρα.

Το εμβαδό κάθε πλευράς του κτιρίου αναφοράς είναι  $3m \times 10m = 30m^2$ . Σε κάθε πλευρά του κτιρίου οι υαλοπίνακες καλύπτουν το 25% της επιφάνειας της. Είναι δηλαδή  $A_f = 7,5m^2$ . Άρα  $A_w = 30m^2 - A_f = 22,5m^2$  για κάθε πλευρά και άρα για κάθε προσανατολισμό.

Οι εξωτερικοί τοίχοι του κτιρίου αναφοράς είναι τύπου G1 (βλ. Ενότητα 5.1.2. – 1<sup>ο</sup> μέρος) και έχουν την παρακάτω σύνθεση :

- εξωτερικό επίχρισμα πάχους  $0.02 m$  και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας  $1.200 \frac{W}{mK}$ ,
- δρομική οπτοπλινθοδομή πάχους  $0.09 m$  και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας  $0.720 \frac{W}{mK}$ ,
- μόνωση πάχους  $0.040 m$  και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας  $0.038 \frac{W}{mK}$ ,
- δρομική οπτοπλινθοδομή πάχους  $0.09 m$  και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας  $0.720 \frac{W}{mK}$ ,

- εσωτερικό επίχρισμα πάχους  $0.020\text{ m}$  και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας  $1.200 \frac{W}{mK}$  και
- ο εξωτερικός και εσωτερικός συντελεστής συναγωγής είναι  $16 \frac{W}{m^2K}$  και  $8 \frac{W}{m^2K}$  αντίστοιχα.

Όπως έχει ορισθεί και στο βιβλιογραφικό κομμάτι, στο σχετικό κεφάλαιο, ο ολικός συντελεστής θερμικής διαπερατότητας του τοίχου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\frac{1}{U_w} = \frac{1}{h_i} + \frac{w_1}{k_1} + \frac{w_2}{k_2} + \frac{w_3}{k_3} + \frac{w_4}{k_4} + \frac{w_5}{k_5} + \frac{1}{h_0} \left[ \frac{m^2K}{W} \right] \quad (11)$$

όπου :  $U_w \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$  : ο ολικός συντελεστής θερμικής διαπερατότητας του τοίχου,

$h_i \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$  : ο εσωτερικός συντελεστής συναγωγής,

$h_0 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$  : ο εξωτερικός συντελεστής συναγωγής,

$\frac{w_i}{k_i} \left[ \frac{m^2K}{W} \right]$  : ο λόγος του πάχους προς την αντίστοιχη ειδική θερμική αγωγιμότητα κάθε στρώματος του τοίχου.

Αντικαθιστώντας τα δεδομένα στην (11) προκύπτει ότι η τιμή του ολικού συντελεστή θερμικής διαπερατότητας για τους τοίχους του κτιρίου αναφοράς είναι

$$U_w = 0,6736 \frac{m^2K}{W}.$$

Επειδή το φορτίο που διέρχεται μέσω των τοίχων προκύπτει εξαιτίας της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος και για τον Ιανουάριο (όπου λαμβάνουμε  $T_m = 293K$ ) η εσωτερική θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη της ισοδύναμης θερμοκρασίας  $T_e$  τις περισσότερες ώρες του 24ώρου, το φορτίο αυτό αποτελεί απώλεια για το κέλυφος. Οι τιμές του  $T_e$  λαμβάνονται από Πίνακες [15] για κέλυφος ανοιχτού χρώματος, για όλο το 24ωρο και είναι

διαφορετικές για κάθε προσανατολισμό. Οι τιμές αυτές παρατίθενται στον Πίνακα που ακολουθεί σε  $K$  :

<b>Time, t hrs</b>	$T_e K$ <b>Νότος</b>	$T_e K$ <b>Ανατολή</b>	$T_e K$ <b>Δύση</b>	$T_e K$ <b>Βορράς</b>
1	281,3	281,3	281,3	281,3
2	281,1	281,1	281,1	281,1
3	280,7	280,7	280,7	280,7
4	280,3	280,3	280,3	280,3
5	280	280	280	280
6	279,9	279,9	279,9	279,9
7	280,1	280,1	280,1	280,1
8	289	292,5	281,5	281,5
9	296,3	296	283	283
10	301,2	294,7	284,5	284,5
11	304,5	291,3	285,8	285,8
12	306,2	286,9	286,9	286,9
13	306,2	287,5	293	287,5
14	304,3	287,6	297,8	287,6
15	300,4	287,2	300,1	287,2
16	293,6	286,1	297	286,1
17	284,5	284,5	284,5	284,5
18	283,8	283,8	283,8	283,8
19	283,1	283,1	283,1	283,1
20	282,5	282,5	282,5	282,5
21	282	282	282	282
22	281,8	281,8	281,8	281,8
23	281,6	281,6	281,6	281,6
24	281,5	281,5	281,5	281,5

Πίνακας 8.4.1 Τιμές της ισοδύναμης θερμοκρασίας των Αθηνών κατά την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου, για επιφάνεια κελύφους ανοιχτού χρώματος και για κάθε προσανατολισμό.



Στον παρακάτω Πίνακα δίνονται για διαστήματα μιας ώρας κατά τη διάρκεια του 24ωρου οι τιμές της διαφοράς  $T_{in} - T_e$  K :

Time, t hrs	$T_{in} - T_e$ K Νότος	$T_{in} - T_e$ K Ανατολή	$T_{in} - T_e$ K Δύση	$T_{in} - T_e$ K Βορράς
1:00-2:00	11,8	11,8	11,8	11,8
2:00-3:00	12,1	12,1	12,1	12,1
3:00-4:00	12,5	12,5	12,5	12,5
4:00-5:00	12,85	12,85	12,85	12,85
5:00-6:00	13,05	13,05	13,05	13,05
6:00-7:00	13	13	13	13
7:00-8:00	8,45	6,7	12,2	12,2
8:00-9:00	0,35	-1,25	10,75	10,75
9:00-10:00	-5,75	-2,35	9,25	9,25
10:00-11:00	-9,85	0	7,85	7,85
11:00-12:00	-12,35	3,9	6,65	6,65
12:00-13:00	-13,2	5,8	3,05	5,8
13:00-14:00	-12,25	5,45	-2,4	5,45
14:00-15:00	-9,35	5,6	-5,95	5,6
15:00-16:00	-4	6,35	-5,55	6,35
16:00-17:00	3,95	7,7	2,25	7,7
17:00-18:00	8,85	8,85	8,85	8,85
18:00-19:00	9,55	9,55	9,55	9,55
19:00-20:00	10,2	10,2	10,2	10,2
20:00-21:00	10,75	10,75	10,75	10,75
21:00-22:00	11,1	11,1	11,1	11,1
22:00-23:00	11,3	11,3	11,3	11,3
23:00-24:00	11,45	11,45	11,45	11,45

Πίνακας 8.4.2 Τιμές της διαφοράς θερμοκρασίας εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος των Αθηνών κατά την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου, για επιφάνεια κελύφους ανοιχτού χρώματος και για κάθε προσανατολισμό.

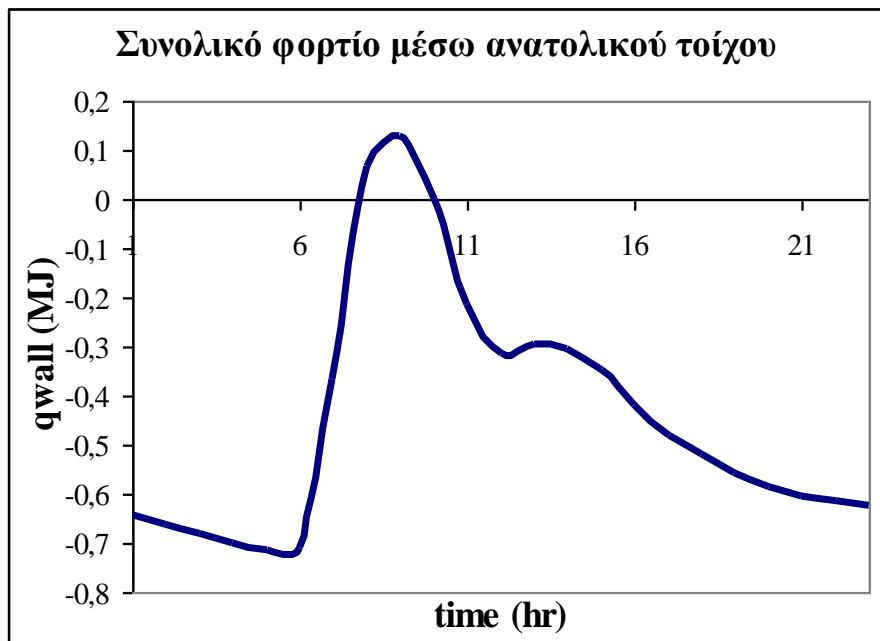
Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω δεδομένα στη σχέση (11) υπολογίζουμε το συνολικό φορτίο μέσω των τοίχων για όλο το 24ωρο, σε διαστήματα μίας ώρας και για κάθε προσανατολισμό σε  $\left[ \frac{J}{h} \right]$ . Τα αποτελέσματα δίνονται ωστόσο σε  $\left[ \frac{MJ}{h} \right]$  για καλύτερη εποπτεία σε Πίνακα αλλά και σε διάγραμμα. Υπολογίζουμε ακόμα το ημερήσιο φορτίο που διέρχεται μέσω κάθε τοίχου.

<b>Time, t hrs</b>	$q_w \left[ \frac{MJ}{h} \right]$ <b>Νότος</b>	$q_w \left[ \frac{MJ}{h} \right]$ <b>Ανατολή</b>	$q_w \left[ \frac{MJ}{h} \right]$ <b>Δύση</b>	$q_w \left[ \frac{MJ}{h} \right]$ <b>Βορράς</b>
1:00-2:00	-0,64382	-0,64382	-0,64382	-0,64382
2:00-3:00	-0,66019	-0,66019	-0,66019	-0,66019
3:00-4:00	-0,68201	-0,68201	-0,68201	-0,68201
4:00-5:00	-0,70111	-0,70111	-0,70111	-0,70111
5:00-6:00	-0,71202	-0,71202	-0,71202	-0,71202
6:00-7:00	-0,70929	-0,70929	-0,70929	-0,70929
7:00-8:00	-0,46104	-0,36556	-0,66564	-0,66564
8:00-9:00	-0,0191	0,068201	-0,58653	-0,58653
9:00-10:00	0,313726	0,128218	-0,50469	-0,50469
10:00-11:00	0,537426	0	-0,4283	-0,4283
11:00-12:00	0,673829	-0,21279	-0,36283	-0,36283
12:00-13:00	0,720206	-0,31645	-0,16641	-0,31645
13:00-14:00	0,668373	-0,29736	0,130946	-0,29736
14:00-15:00	0,510146	-0,30554	0,324638	-0,30554
15:00-16:00	0,218244	-0,34646	0,302814	-0,34646
16:00-17:00	-0,21552	-0,42012	-0,12276	-0,42012
17:00-18:00	-0,48287	-0,48287	-0,48287	-0,48287
18:00-19:00	-0,52106	-0,52106	-0,52106	-0,52106
19:00-20:00	-0,55652	-0,55652	-0,55652	-0,55652
20:00-21:00	-0,58653	-0,58653	-0,58653	-0,58653
21:00-22:00	-0,60563	-0,60563	-0,60563	-0,60563
22:00-23:00	-0,61654	-0,61654	-0,61654	-0,61654
23:00-24:00	-0,62472	-0,62472	-0,62472	-0,62472
<b>Ημερήσιο</b> $q_w \left[ \frac{MJ}{day} \right]$	<b>-5,15602</b>	<b>-10,1702</b>	<b>-10,1811</b>	<b>-12,3362</b>

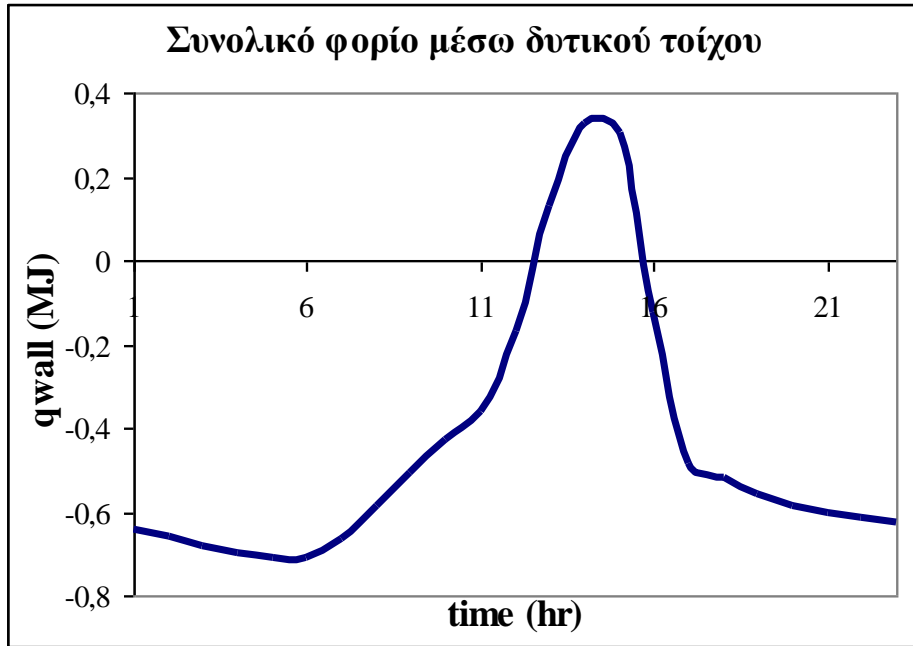
*Πίνακας 8.4.3. Συνολικά φορτία τοίχων για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου και για κάθε προσανατολισμό.*



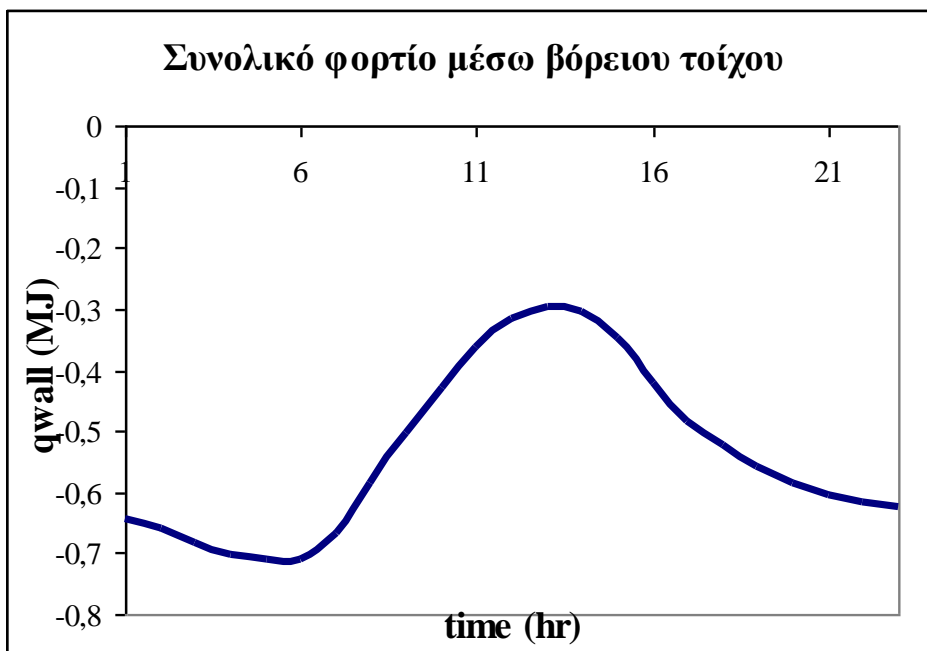
*Διάγραμμα 8.4.1. Συνολικό φορτίο τοίχου ανά ώρα για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου και για νότιο προσανατολισμό.*



*Διάγραμμα 8.4.2. Συνολικό φορτίο τοίχου ανά ώρα για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου και για ανατολικό προσανατολισμό.*



*Διάγραμμα 8.4.3. Συνολικό φορτίο τοίχου ανά ώρα για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου και για δυτικό προσανατολισμό.*



*Διάγραμμα 8.4.4. Συνολικό φορτίο τοίχου ανά ώρα για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου και για βόρειο προσανατολισμό.*

Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε ότι τις περισσότερες ώρες του 24ώρου σημειώνονται απώλειες μέσω των τοίχων. Κατά τις πρωινές-μεσημεριανές ώρες ωστόσο και ειδικά για τον νότιο, τον ανατολικό και το δυτικό προσανατολισμό, όπου η ισοδύναμη θερμοκρασία  $T_e$  είναι λίγο μεγαλύτερη από την σταθερή εσωτερική θερμοκρασία  $T_{in} = 293K$ , το φορτίο μέσω των τοίχων αποτελεί κέρδος για το κέλυφος, δεδομένου ότι έχουμε ροή θερμότητας από το εξωτερικό προς το εσωτερικό περιβάλλον.

Συγκεκριμένα, για το νότιο προσανατολισμό, για τον οποίο το ημερήσιο φορτίο μέσω του τοίχου (απώλειες) είναι το ελάχιστο, συγκρινόμενο με τους άλλους προσανατολισμούς ( $-5,15602 MJ/day$ ), τις ώρες από 9:00πμ έως 16:00μμ, η θερμότητα εισέρχεται στο εσωτερικό του κτιρίου. Αντίθετα, ο βόρειος τοίχος έχει τις μέγιστες ημερήσιες απώλειες ( $-12,3362 MJ/day$ ) αφού και καθόλη τη διάρκεια του 24ώρου η θερμότητα ακολουθεί πορεία από το εσωτερικό προς το εξωτερικό περιβάλλον. Για τον ανατολικό προσανατολισμό εντοπίζεται κέρδος μέσω του τοίχου κατά τις πρωινές ώρες (8:00-11:00πμ) ενώ για τον δυτικό κατά τις μεσημεριανές (13:00-16:00μμ). Το ημερήσιο φορτίο μέσω των τοίχων αυτών είναι παραπλήσιο με τιμές  $-10,1702 MJ/day$  για την ανατολή και  $-10,1811 MJ/day$  για τη δύση.

### 8.5. Συνολικό φορτίο που διέρχεται μέσω της οροφής [15].

Το συνολικό φορτίο που διέρχεται μέσω της οροφής υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :

$$K_{hor} = -3600 \cdot A_{hor} \cdot U_{hor} \cdot (T_{in} - T_e) \quad \left[ \frac{J}{h} \right] \quad (12)$$

όπου :  $A_{hor} [m^2]$  το εμβαδόν της οροφής,

$U_{hor} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$  ο ολικός συντελεστής θερμικής διαπερατότητας της οροφής,

$T_{in} - T_e$  η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος.

Πολλαπλασιάζουμε με 3600s διότι αναζητούμε το φορτίο μέσω της οροφής σε διάστημα 1 ώρα.

Το εμβαδόν της οροφής για το κτίριο αναφοράς είναι  $A_{hor} = 100m^2$ .

Η οροφή του κτιρίου αναφοράς είναι τύπου 1 (βλ. Ενότητα 5.1.2. – 1<sup>ο</sup> μέρος) και έχουν την παρακάτω σύνθεση :

- γαρμπιλόδεμα πάχους 0.07 m και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας  $2.200 \frac{W}{mK}$ ,
- στεγανωτική στρώση πάχους 0.01 m και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας  $0.038 \frac{W}{mK}$ ,
- μόνωση πάχους 0.060 m και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας  $0.038 \frac{W}{mK}$ ,
- σκυρόδεμα πάχους 0.07 m και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας  $2.200 \frac{W}{mK}$ ,
- οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 0.14 m και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας  $2.200 \frac{W}{mK}$ ,
- επίχρισμα πάχους 0.015 m και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας  $1.2 \frac{W}{mK}$ ,

- εξωτερικός και εσωτερικός συντελεστής συναγωγής  $16 \frac{W}{m^2 K}$  και  $8 \frac{W}{m^2 K}$  αντίστοιχα.

Όπως και στην περίπτωση των τοίχων ο ολικός συντελεστής θερμικής διαπερατότητας της οροφής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\frac{1}{U_{hor}} = \frac{1}{h_i} + \frac{w_1}{k_1} + \frac{w_2}{k_2} + \frac{w_3}{k_3} + \frac{w_4}{k_4} + \frac{w_5}{k_5} + \frac{w_6}{k_6} + \frac{1}{h_0} \left[ \frac{m^2 K}{W} \right] \quad (13)$$

όπου :  $U_{hor} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$  : ο ολικός συντελεστής θερμικής διαπερατότητας της οροφής,

$h_i \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$  : ο εσωτερικός συντελεστής συναγωγής,

$h_0 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$  : ο εξωτερικός συντελεστής συναγωγής,

$\frac{w_i}{k_i} \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$  : ο λόγος του πάχους προς την αντίστοιχη ειδική θερμική αγωγιμότητα κάθε στρώματος της οροφής.

Αντικαθιστώντας τα δεδομένα στην (13) προκύπτει ότι η τιμή του ολικού συντελεστή θερμικής διαπερατότητας για την οροφή του κτιρίου αναφοράς είναι

$$U_{hor} = 0,461 \frac{m^2 K}{W}.$$

Επειδή το φορτίο που διέρχεται μέσω της οροφής προκύπτει εξαιτίας της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος και για τον Ιανουάριο (όπου λαμβάνουμε  $T_m = 293K$ ) η εσωτερική θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη της ισοδύναμης θερμοκρασίας  $T_e$  τις περισσότερες ώρες του 24ώρου, το φορτίο αυτό αποτελεί απώλεια για το κέλυφος. Οι τιμές του  $T_e$  λαμβάνονται από Πίνακες [15] για κέλυφος ανοιχτού χρώματος, για όλο το 24ωρο για την περιοχή της Αθήνας. Οι τιμές αυτές παρατίθενται στον Πίνακα που ακολουθεί σε  $K$  :

<b>Time, H</b> <i>hrs</i>	$T_e$ K <b>Οροφή</b>
1	281,3
2	281,1
3	280,7
4	280,3
5	280
6	279,9
7	280,1
8	280,1
9	285,4
10	289,9
11	293,1
12	294,8
13	294,8
14	293
15	289,5
16	284,6
17	284,5
18	283,8
19	283,1
20	282,5
21	282
22	281,8
23	281,6
24	281,5

*Πίνακας 8.5.1 Τιμές της ισοδύναμης θερμοκρασίας των Αθηνών κατά την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου, για επιφάνεια κελύφους ανοιχτού χρώματος και για οριζόντια επιφάνεια.*

Στον παρακάτω Πίνακα δίνονται για διαστήματα μιας ώρας κατά τη διάρκεια του 24ωρου οι τιμές της διαφοράς  $T_{in} - T_e$  K :



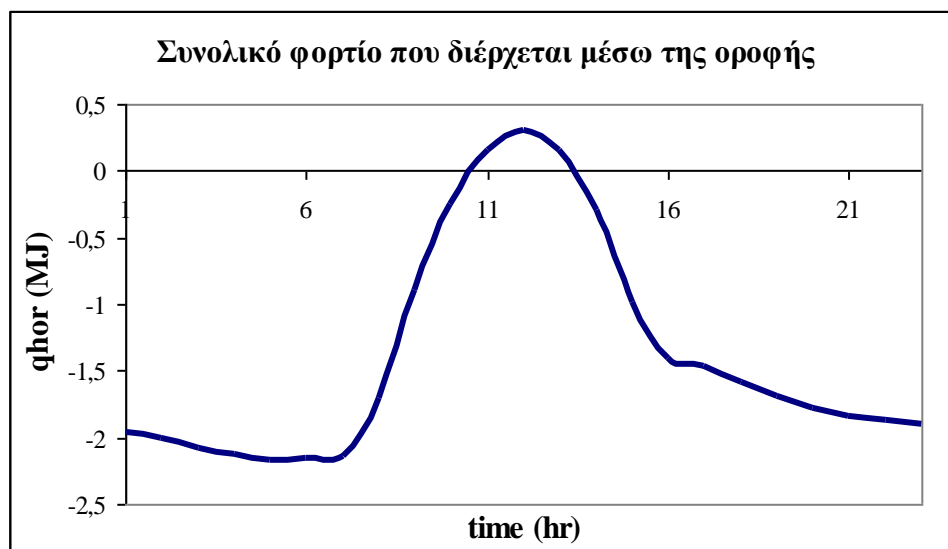
<b>Time, H</b> <i>hrs</i>	$T_e$ K <b>Οροφή</b>
1:00-2:00	11,8
2:00-3:00	12,1
3:00-4:00	12,5
4:00-5:00	12,85
5:00-6:00	13,05
6:00-7:00	13
7:00-8:00	12,9
8:00-9:00	10,25
9:00-10:00	5,35
10:00-11:00	1,5
11:00-12:00	-0,95
12:00-13:00	-1,8
13:00-14:00	-0,9
14:00-15:00	1,75
15:00-16:00	5,95
16:00-17:00	8,45
17:00-18:00	8,85
18:00-19:00	9,55
19:00-20:00	10,2
20:00-21:00	10,75
21:00-22:00	11,1
22:00-23:00	11,3
23:00-24:00	11,45

Πίνακας 8.5.2. Τιμές της διαφοράς θερμοκρασίας εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος των Αθηνών κατά την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου, για την οροφή και επιφάνεια κελύφους ανοιχτού χρώματος.

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω δεδομένα στην εξίσωση (12), υπολογίζουμε το συνολικό φορτίο που διέρχεται στο κτίριο μέσω της οροφής για όλο το 24ωρο, σε διαστήματα μιας ώρας σε  $\left[ \frac{J}{h} \right]$ . Τα αποτελέσματα δίνονται ωστόσο σε  $\left[ \frac{MJ}{h} \right]$  για καλύτερη εποπτεία σε Πίνακα αλλά και σε διάγραμμα. Υπολογίζουμε ακόμα το ημερήσιο φορτίο που διέρχεται μέσω της οροφής.

Time, t hrs	$q_{hor} \left[ \frac{MJ}{h} \right]$
1:00-2:00	-1,95816
2:00-3:00	-2,00795
3:00-4:00	-2,07433
4:00-5:00	-2,13241
5:00-6:00	-2,1656
6:00-7:00	-2,1573
7:00-8:00	-2,14071
8:00-9:00	-1,70095
9:00-10:00	-0,88781
10:00-11:00	-0,24892
11:00-12:00	0,157649
12:00-13:00	0,298703
13:00-14:00	0,149352
14:00-15:00	-0,29041
15:00-16:00	-0,98738
16:00-17:00	-1,40225
17:00-18:00	-1,46862
18:00-19:00	-1,58479
19:00-20:00	-1,69265
20:00-21:00	-1,78392
21:00-22:00	-1,842
22:00-23:00	-1,87519
23:00-24:00	-1,90008
<b>Ημερήσιο <math>q_{hor} \left[ \frac{MJ}{day} \right]</math></b>	<b>-31,6957</b>

Πίνακας 8.5.3. Συνολικό φορτίο οροφής για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου.



Διάγραμμα 8.5.1. Συνολικό φορτίο οροφής για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου.

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα διαπιστώνουμε ότι το φορτίο μέσω της οροφής αποτελεί τις περισσότερες ώρες του 24ώρου απώλεια για το κέλυφος κατά την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου, αφού στην διάρκεια του 24ώρου η θερμότητα εισέρχεται στο εσωτερικό του κελύφους μόνο από τις 11:00πμ έως τις 14:00μμ. Τις υπόλοιπες ώρες και επειδή  $T_m > T_e$ , η θερμότητα ακολουθεί αντίθετη πορεία.

Το ημερήσιο φορτίο μέσω της οροφής (-31,6957 MJ/day) είναι σημαντικά μεγαλύτερο τόσο από το ημερήσιο φορτίο μέσω του βόρειου τοίχου (που ήταν επίσης μεγάλο, -12,3362 MJ/day) όσο και από το ημερήσιο φορτίο δι' αγωγής μέσω των υαλοπινάκων (-22,983 MJ/day). Η οροφή εξάλλου όντας εκτενής οριζόντια επιφάνεια επιτρέπει την συναλλαγή μεγάλων ποσών θερμότητας διαμέσου της.

## 8.6. Ψυκτικό φορτίο λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρα [15].

Ανανέωση του αέρα ενός χώρου είναι η ηθελημένη προσαγωγή αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος στον κλιματιζόμενο χώρο, είτε αμέσως είτε μέσω της κλιματιστικής συσκευής. Από την άλλη, διείσδυση αέρα είναι η είσοδος του εξωτερικού αέρα από τα διάκενα θυρών και παραθύρων ή κατά το άνοιγμα των θυρών.

Για συνήθεις συνθήκες και κανονική ατμοσφαιρική πίεση (101,325 kPa και υψόμετρο 0 m) γίνεται χρήση της παρακάτω σχέσης για τον υπολογισμό του ψυκτικού φορτίου λόγω διείσδυσης αέρα (απευθείας όχι μέσω κλιματιστικής συσκευής):

$$Q_t = 1,2 \cdot Q \Delta h \cdot 3600 \left[ \frac{J}{h} \right] \quad (14)$$

όπου:  $Q_t \left[ \frac{J}{h} \right]$ : το ολικό ψυκτικό φορτίο,

$Q \left[ \frac{L}{s} \right]$ : η παροχή εξωτερικού αέρα,

$\Delta h \left[ \frac{KJ}{Kg} \xi.α. \right]$ : η διαφορά ενθαλπίας μεταξύ εισερχόμενου και εξερχόμενου αέρα.

Πολλαπλασιάζουμε με 3600s διότι αναζητούμε το φορτίο λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρα σε διάστημα 1 ώρας.

Για το κτίριο αναφοράς που μελετάμε θεωρούμε ότι γίνονται 2 αλλαγές αέρα κάθε ώρα. Ο όγκος του κτιρίου αναφοράς είναι  $V = 100m^2 \times 3m = 300m^3$ . Επομένως υπολογίζουμε ότι η παροχή εξωτερικού αέρα είναι:

$$Q = 2 \times V = 2 \frac{changes}{h} \times 300m^3 = 600 \frac{m^3}{h} = \frac{600.000lt}{3600s} = 166,67 \frac{L}{s}.$$

Για να υπολογίσουμε την ενθαλπία τόσο του εισερχόμενου όσο και του εξερχόμενου αέρα, προκειμένου στη συνέχεια να μπορούμε να υπολογίσουμε το  $\Delta h \left[ \frac{KJ}{Kg} \xi.a. \right]$ , χρησιμοποιούμε τον ψυχομετρικό χάρτη, έχοντας σαν δεδομένα την θερμοκρασία ξηρής σφαίρας  $Tdb [^{\circ}C]$  και την σχετική υγρασία  $\varphi \%$ .

Σε ότι αφορά στο εσωτερικό περιβάλλον, λαμβάνουμε από τον ψυχομετρικό χάρτη για  $Tdb = 20^{\circ}C$  ( η σταθερή εσωτερική θερμοκρασία ) και  $\varphi_{in} = 50\%$ ,  $h_{in} = 38,54 \frac{kJ}{kg} \xi.a.$

Σε ότι αφορά στο εξωτερικό περιβάλλον, λαμβάνουμε από τον ψυχομετρικό χάρτη τις τιμές της ενθαλπίας του εξωτερικού περιβάλλοντος  $h_{out} \left[ \frac{kJ}{kg} \xi.a. \right]$ , οι οποίες δίνονται ακολούθως σε Πίνακα, για  $Tdb [^{\circ}C] \equiv T_{out} [^{\circ}C]$  όπως αυτές υπολογίστηκαν στην Ενότητα 8.3. με χρήση της εξίσωσης (9) και  $\varphi_{out} \%$ , που προκύπτουν από την σχέση :

$$\varphi_0 H = m \sum_{i=1}^2 c_i \cos \left[ i \frac{360}{24} H - 0,5 \right] + \sum_{i=1}^2 s_i \sin \left[ i \frac{360}{24} H - 0,5 \right] \quad (15)$$

για κάθε ώρα της ημέρας ( $H = 1 \div 24$ ), για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου. Οι συντελεστές  $m, c_i, s_i$  δίνονται παρακάτω για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου.

21 <sup>η</sup> Ιανουαρίου				
m	c1	c2	s1	s2
70,132	8,1020	-2,7170	3,8240	-4,1640

Πίνακας 8.6.1 Τιμές των συντελεστών της συνάρτησης (15) για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου.

Στον Πίνακα που ακολουθεί δίνονται για διαστήματα μιας ώρας εντός του 24ωρου, οι τιμές της  $Tdb [^{\circ}C] \equiv T_{out} [^{\circ}C]$ , της  $\varphi_{out} \%$ , όπως προέκυψαν από την (15) με χρήση των τιμών του Πίνακα 8.6.1., της  $h_{out} \left[ \frac{kJ}{kg} \xi.a. \right]$  για τον αντίστοιχο συνδυασμό των τιμών της θερμοκρασίας ξηρής σφαίρας και της σχετικής υγρασίας καθώς και της  $\Delta h \left[ \frac{KJ}{Kg} \xi.a. \right]$  μεταξύ εισερχόμενου και εξερχόμενου αέρα.

Time, t hrs	$T_{db} [^{\circ}C]$	$\varphi_{out} \%$	$h_{out} \left[ \frac{kJ}{kg} \xi.a. \right]$	$\Delta h \left[ \frac{KJ}{Kg} \xi.a. \right]$
1:00-2:00	8,04	75%	20,66	17,88
2:00-3:00	7,65	74%	19,77	18,77
3:00-4:00	7,35	74%	19,22	19,32
4:00-5:00	7,16	75%	19,04	19,5
5:00-6:00	7,11	76%	19,1	19,44
6:00-7:00	7,21	77%	19,44	19,1
7:00-8:00	7,48	76%	19,79	18,75
8:00-9:00	7,96	74%	20,35	18,19
9:00-10:00	8,69	71%	21,19	17,35
10:00-11:00	9,65	67%	22,25	16,29
11:00-12:00	10,72	63%	23,46	15,08
12:00-13:00	11,72	59%	24,48	14,06
13:00-14:00	12,43	57%	25,36	13,18
14:00-15:00	12,68	56%	25,6	12,94
15:00-16:00	12,43	58%	25,6	12,94
16:00-17:00	11,80	61%	25,07	13,47
17:00-18:00	10,97	65%	24,33	14,21
18:00-19:00	10,18	69%	23,63	14,91
19:00-20:00	9,59	73%	23,26	15,28
20:00-21:00	9,24	76%	23,14	15,4
21:00-22:00	9,06	77%	22,97	15,57
22:00-23:00	8,93	77%	22,71	15,83
23:00-24:00	8,73	77%	22,32	16,22

*Πίνακας 8.6.2 Τιμές σχετικής υγρασίας για διαστήματα μιας ώρας, η αντίστοιχη ενθαλπία εξερχόμενου αέρα και η αντίστοιχη διαφορά ενθαλπίας για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου.*

Να αναφέρουμε εδώ ότι στον παραπάνω Πίνακα οι τιμές της δεύτερης στήλης, διαφέρουν λίγο από αυτές που παρουσιάσαμε νωρίτερα με χρήση της εξίσωσης (9) διότι εδώ έχουμε βάλει τις τιμές για το διάστημα μίας ώρας και όχι τις στιγμιαίες τιμές της εξωτερική θερμοκρασίας.

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω δεδομένα στην (14), υπολογίζουμε το ψυκτικό φορτίο λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρα για όλο το 24ωρο για διαστήματα μιας ώρας σε  $\left[ \frac{J}{h} \right]$ . Για λόγους καλύτερης εποπτείας, οι τιμές δίνονται σε  $\left[ \frac{MJ}{h} \right]$  ενώ υπολογίζεται και το ημερήσιο ψυκτικό φορτίο λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρα για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου.

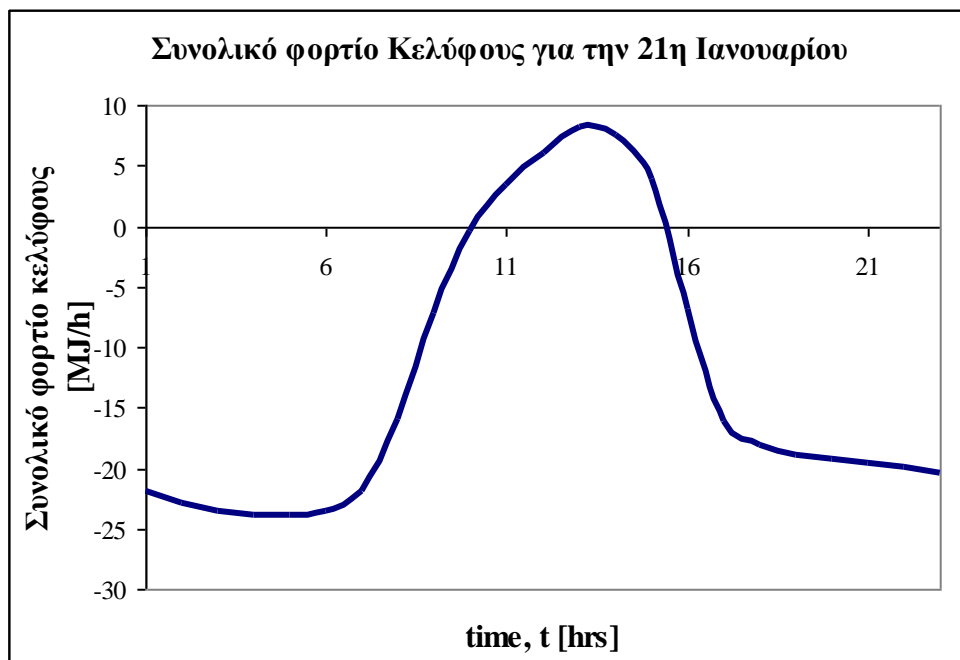
<b>Time, t hrs</b>	$Q_t \left[ \frac{MJ}{h} \right]$
1:00-2:00	-12,87
2:00-3:00	-13,51
3:00-4:00	-13,91
4:00-5:00	-14,04
5:00-6:00	-14,00
6:00-7:00	-13,75
7:00-8:00	-13,50
8:00-9:00	-13,10
9:00-10:00	-12,49
10:00-11:00	-11,73
11:00-12:00	-10,86
12:00-13:00	-10,12
13:00-14:00	-9,49
14:00-15:00	-9,32
15:00-16:00	-9,32
16:00-17:00	-9,70
17:00-18:00	-10,23
18:00-19:00	-10,74
19:00-20:00	-11,00
20:00-21:00	-11,09
21:00-22:00	-11,21
22:00-23:00	-11,40
23:00-24:00	-11,68
<b>Ημερήσιο</b> $Q_t \left[ \frac{MJ}{day} \right]$	-269,05

*Πίνακας 8.6.3 Ψυκτικό φορτίο λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρα για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου.*

### 8.7. Συνολικό φορτίο κελύφους για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου.

Προκειμένου να μπορούμε να κρίνουμε τη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου αναφοράς για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου, πρέπει στο σημείο αυτό να υπολογίσουμε το συνολικό φορτίο που συναλλάσσεται μεταξύ του κελύφους και του περιβάλλοντος.

Μέχρι στιγμής έχουμε υπολογίσει τα ακόλουθα φορτία για διαστήματα μιας ώρας εντός του 24ώρου : ηλιακό θερμικό κέρδος μέσω υαλοπινάκων, θερμικό φορτίο υαλοπινάκων δι' αγωγής, συνολικό φορτίο τοίχων και οροφής και ψυκτικό φορτίο λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρα. Αθροίζουμε αλγεβρικά τα παραπάνω φορτία για κάθε διάστημα μιας ώρας και βρίσκουμε το συνολικό φορτίο του κελύφους για όλες τις ώρες της 21<sup>ης</sup> Ιανουαρίου. Αθροίζοντας έπειτα τις τιμές που προέκυψαν για κάθε ώρα, υπολογίζουμε το ημερήσιο φορτίο του κελύφους για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου. Τα αποτελέσματα δίνονται ακολούθως σε Πίνακα και Διάγραμμα



Διάγραμμα 8.7.1. Συνολικό φορτίο κελύφους για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου για κτίριο αναφοράς στην περιοχή της Αθήνας.

Το Διάγραμμα 8.7.1 προέκυψε από τον ακόλουθο Πίνακα.



Time, t hrs	Φορτίο Νότου $\left[ \frac{MJ}{h} \right]$	Φορτίο Ανατολής $\left[ \frac{MJ}{h} \right]$	Φορτίο Δύσης $\left[ \frac{MJ}{h} \right]$	Φορτίο Βορρά $\left[ \frac{MJ}{h} \right]$	Φορτίο οροφής $\left[ \frac{MJ}{h} \right]$	Φορτίο ανανέωσης/ διείσδυσης $\left[ \frac{MJ}{h} \right]$	Σύνολο $\left[ \frac{MJ}{h} \right]$
1:00-2:00	-1,774	-1,774	-1,774	-1,774	-1,958	-12,874	<b>-21,930</b>
2:00-3:00	-1,827	-1,827	-1,827	-1,827	-2,008	-13,515	<b>-22,831</b>
3:00-4:00	-1,878	-1,878	-1,878	-1,878	-2,074	-13,911	<b>-23,496</b>
4:00-5:00	-1,914	-1,914	-1,914	-1,914	-2,132	-14,040	<b>-23,830</b>
5:00-6:00	-1,930	-1,930	-1,930	-1,930	-2,166	-13,997	<b>-23,881</b>
6:00-7:00	-1,918	-1,918	-1,918	-1,918	-2,157	-13,752	<b>-23,581</b>
7:00-8:00	-1,483	-1,387	-1,688	-1,688	-2,141	-13,500	<b>-21,886</b>
8:00-9:00	0,297	0,370	-0,884	-0,884	-1,701	-13,097	<b>-15,900</b>
9:00-10:00	3,245	2,430	0,244	0,244	-0,888	-12,492	<b>-7,218</b>
10:00-11:00	6,011	3,221	1,160	1,160	-0,249	-11,729	<b>-0,425</b>
11:00-12:00	7,989	2,562	1,733	1,733	0,158	-10,858	<b>3,317</b>
12:00-13:00	9,033	1,893	2,981	1,893	0,299	-10,123	<b>5,976</b>
13:00-14:00	9,206	1,602	5,058	1,602	0,149	-9,490	<b>8,127</b>
14:00-15:00	8,390	1,004	6,783	1,004	-0,290	-9,317	<b>7,574</b>
15:00-16:00	6,302	0,281	7,361	0,281	-0,987	-9,317	<b>3,920</b>
16:00-17:00	2,058	-0,472	3,199	-0,472	-1,402	-9,699	<b>-6,789</b>
17:00-18:00	-1,120	-1,120	-1,120	-1,120	-1,469	-10,231	<b>-16,181</b>
18:00-19:00	-1,449	-1,449	-1,449	-1,449	-1,585	-10,735	<b>-18,115</b>
19:00-20:00	-1,540	-1,540	-1,540	-1,540	-1,693	-11,002	<b>-18,854</b>
20:00-21:00	-1,603	-1,603	-1,603	-1,603	-1,784	-11,088	<b>-19,284</b>
21:00-22:00	-1,639	-1,639	-1,639	-1,639	-1,842	-11,211	<b>-19,609</b>
22:00-23:00	-1,663	-1,663	-1,663	-1,663	-1,875	-11,398	<b>-19,924</b>
23:00-24:00	-1,690	-1,690	-1,690	-1,690	-1,900	-11,679	<b>-20,338</b>
<b>Ημερήσιο Φορτίο Κελύφους για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου</b>						$\left[ \frac{MJ}{day} \right]$	<b>-295,159</b>

*Πίνακας 8.7.1. Συνολικό φορτίο κελύφους για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου στην περιοχή της Αθήνας για το κτίριο αναφοράς.*

Προτού σχολιάσουμε τα παραπάνω αποτελέσματα πρέπει να τονίσουμε το εξής. Δεν είναι σωστό να βασιστούμε στις ωριαίες τιμές για εξαγωγή συμπερασμάτων, διότι έχουμε θεωρήσει το φαινόμενο ως μόνιμο και συνεπώς δεν έχουμε λάβει υπόψη στους υπολογισμούς τη χρονική υστέρηση των υλικών. Θεωρούμε δηλαδή ότι δεν παρέρχεται κανένα χρονικό διάστημα από τη στιγμή που η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στην εξωτερική επιφάνεια του κελύφους μέχρι την είσοδό της στο εσωτερικό του κελύφους και την θέρμανση του αέρα του χώρου. Αυτό

στην πραγματικότητα δεν συμβαίνει. Οι ημερήσιες τιμές ωστόσο, δεδομένου ότι προκύπτουν από ολόκληρο το 24ωρο περιλαμβάνουν την εν λόγω χρονική υστέρηση.

Για τα χαρακτηριστικά της μόνωσης ( $k_i = 0,038W/mK$  και  $w_i = 0,04m$ ) και των υαλοπινάκων ( $U_f = 3,5W/m^2K$  και  $Pf = 25\%$ ) του κτιρίου αναφοράς που μελετάμε εδώ, προκύπτει ότι το συνολικό φορτίο του κελύφους για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου είναι  $-295,159MJ/day$ . Άρα αυτός ο συνδυασμός των παραμέτρων καθιστά το κτίριο ασύμφορο από ενεργειακής άποψης καθώς σημειώνονται τόσο μεγάλες απώλειες για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου.

Για όλες τις ώρες της ημέρας, οι απώλειες (από τους υαλοπίνακες, από τους τοίχους, από την οροφή, από τη διείσδυση αέρα) υπερσχύουν του ηλιακού θερμικού κέρδους μέσω των υαλοπινάκων. Κατά τις μεσημεριανές ώρες μόνο (από τις 11:00πμ έως τις 16:00μμ) έχουμε θετικές τιμές του συνολικού φορτίου του κελύφους.

9. Συνδυασμός των τιμών των παραμέτρων του κτιριακού κελύφους αναφοράς στην περιοχή της Αθήνας, για τις οποίες λαμβάνεται «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος κατά την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου.

### 9.1. Εισαγωγή στην έννοια του «ψευδοαδιαβατικού» κελύφους [14].

Κατά τις περιόδους όπου η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια γίνεται για θέρμανση, όπως ο Ιανουάριος, τα χαρακτηριστικά του κελύφους που καθορίζουν κατά κύριο λόγο την τιμή της κατανάλωσης αυτής, είναι η μόνωση ( $k_i, w_i$ ) και οι υαλοπίνακες ( $U_f, P_f$ ). Οι λόγοι για τους οποίους, τα χαρακτηριστικά αυτά επικρατούν είναι :

- i. Η μόνωση και οι υαλοπίνακες παρουσιάζουν την μεγαλύτερη και τη μικρότερη θερμική αντίσταση αντίστοιχα.
- ii. Οι τιμές ενός μεγάλου αριθμού των υπολοίπων χαρακτηριστικών που αποτελούν το κτιριακό κέλυφος καθορίζονται από τη Νομοθεσία (πχ ΚΕΝΑΚ) και είναι δεδομένες και σταθερές για φυσικούς, τεχνικούς ή κατασκευαστικούς λόγους. Άρα η επίδρασή τους στην κατανάλωση ενέργειας είναι δεδομένη και πάντα η ίδια.

Οι υαλοπίνακες και η μόνωση επιτρέπουν την είσοδο θετικών (ηλιακή ακτινοβολία) και αρνητικών (αγωγή θερμότητας λόγω διαφοράς θερμοκρασίας) φορτίων στο κέλυφος. Το άθροισμα αυτών των φορτίων μπορεί να είναι θετικό, αρνητικό ή μηδέν, κάτι που εξαρτάται από τον συνδυασμό των τιμών των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τους υαλοπίνακες ( $U_f, P_f$ ) και τη μόνωση ( $k_i, w_i$ ).

Στο Κεφάλαιο 8 είδαμε πως ο συνδυασμός των παραμέτρων για το κτίριο αναφοράς ( $k_i = 0,038 W/mK$ ,  $w_i = 0,04m$ ,  $U_f = 3,5 W/m^2 K$  και  $P_f = 25\%$ ) έδινε κέλυφος με απώλειες για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου.

Στο Κεφάλαιο αυτό θα αναζητήσουμε τους συνδυασμούς των τιμών των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τους υαλοπίνακες και τη μόνωση, για τους οποίους το άθροισμα των φορτίων (θετικών και αρνητικών) που εισέρχονται στο κέλυφος την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου είναι μηδέν. Όταν συμβαίνει αυτό θεωρούμε ότι το κέλυφος συμπεριφέρεται αδιαβατικά και αναφέρεται ως «ψευδοαδιαβατικό κέλυφος» (“quasi-adiabatic”, “pseudo-adiabatic” envelope).

Η ημερήσια ροή θερμότητας μέσω του κελύφους αποτελείται από :

- i. Το ηλιακό θερμικό κέρδος μέσω των υαλοπινάκων,  $F_s \text{ MJ/day}$
- ii. Την αγωγή θερμότητας διαμέσου του κελύφους λόγω,  $E_c \text{ MJ/day}$  η οποία με τη σειρά της αποτελείται από το ηλιακό θερμικό κέρδος μέσω του κελύφους (εκτός των υαλοπινάκων)  $E_{cs} \text{ MJ/day}$  και την απώλεια θερμότητας λόγω αγωγής μέσω του κελύφους (συμπεριλαμβανομένων των υαλοπινάκων)  $E_{ct} \text{ MJ/day}$  , η οποία οφείλεται στην ύπαρξη θερμοκρασιακής διαφοράς.

Επομένως η καθαρή ροή θερμότητας μέσω του κελύφους δίνεται από τη σχέση :

$$F_s + E_{cs} - E_{ct} \tag{16}$$

και η συνθήκη για το «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος γράφεται :

$$F_s + E_{cs} - E_{ct} = 0 \tag{17}$$

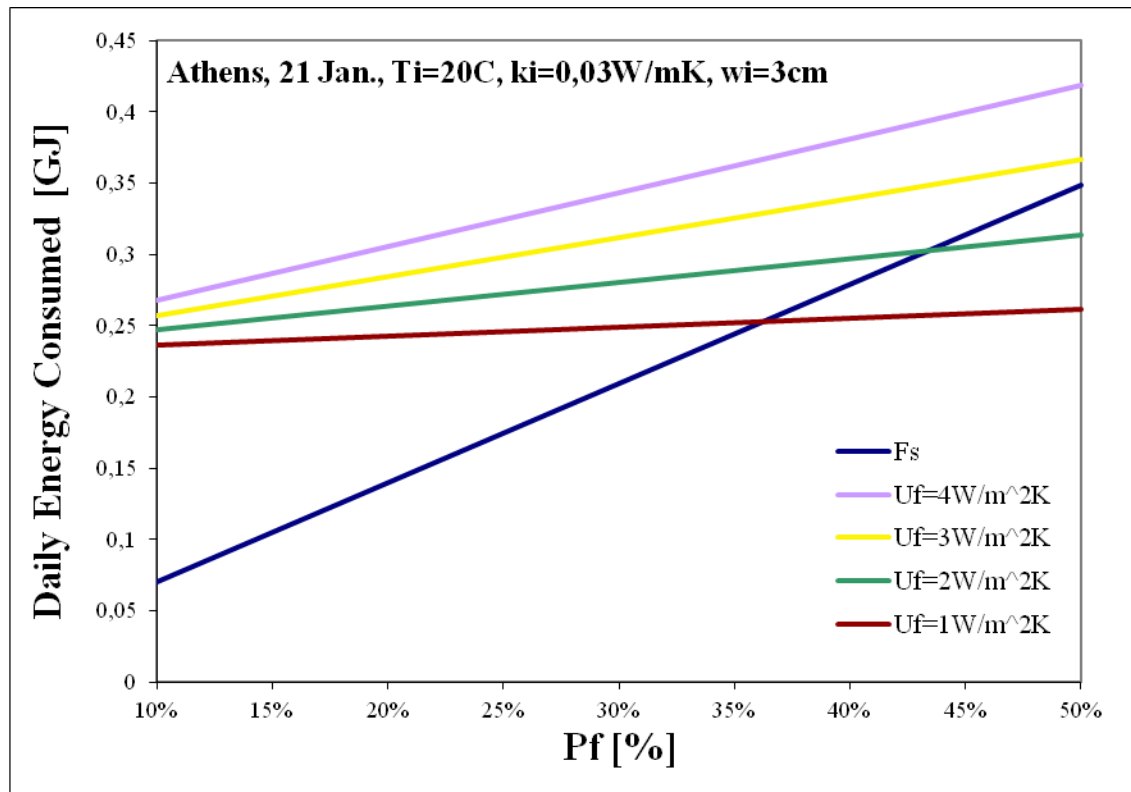
εφόσον οι παραπάνω ποσότητες είναι μεγαλύτερες του μηδενός.

## 9.2. «Ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου στην περιοχή της Αθήνας [14].

Για να γίνει περισσότερο κατανοητό τι εννοούμε όταν λέμε «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος, ακολουθεί διάγραμμα, στο οποίο απεικονίζονται το ημερήσιο ηλιακό θερμικό κέρδος μέσω των υαλοπινάκων,  $F_s$  και η ημερήσια απώλεια θερμότητας δι' αγωγής,  $E_c$ , για τέσσερις διαφορετικούς συντελεστές θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων ( $U_f = 1W/m^2K$ ,  $U_f = 2W/m^2K$ ,  $U_f = 3W/m^2K$  και  $U_f = 4W/m^2K$ ) συναρτήσει του ποσοστού των υαλοπινάκων επί της συνολικής επιφάνειας του κελύφους  $P_f$ . Τα σημεία στα οποία η καμπύλη του κέρδους τέμνει τις καμπύλες των απωλειών, αντιστοιχούν σε «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος, διότι τότε ικανοποιείται η εξίσωση (17) (τα κέρδη εξισώνονται με τις απώλειες).

Το διάγραμμα αυτό αφορά και πάλι στο κτίριο αναφοράς, μόνο που εδώ το πάχος της μόνωσης είναι  $w_i = 0,03m$  και η ειδική θερμική αγωγιμότητά της  $k_i = 0,03W/mK$ , ενώ το ποσοστό των υαλοπινάκων επί της συνολικής επιφάνειας του κελύφους  $P_f$  δεν μοιράζεται εξίσου στους τέσσερις προσανατολισμούς αλλά χωρίζεται σε 50% στον νότο, 25% στην δύση, 25% στην ανατολή και 0% στον βορρά. Η εσωτερική θερμοκρασία διατηρείται σταθερή στους  $20^\circ C$ .

Από το διάγραμμα βλέπουμε ότι για  $U_f = 1W/m^2K$  και  $U_f = 2W/m^2K$  λαμβάνεται «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος για ποσοστό υαλοπινάκων  $P_f = 36\%$  και  $P_f = 44\%$  αντίστοιχα. Αντίθετα για κανένα  $P_f$  και την δεδομένη μόνωση ( $k_i = 0,03W/mK$  και  $w_i = 0,03m$ ) δεν προκύπτει «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος για  $U_f = 3W/m^2K$  και  $U_f = 4W/m^2K$ .



Διάγραμμα 9.2.1. Προβλεπόμενο ημερήσιο ηλιακό θερμικό κέρδος και ημερήσιες απώλειες δι' αγωγής μέσω του κελύφους για διάφορα  $U_f$ , για το κτίριο αναφοράς με  $k_i = 0,03W/mK$  και  $w_i = 0,03m$ , για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου. Τα σημεία τομής των καμπυλών αντιστοιχούν σε «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος.

Μέχρι το σημείο αυτό αναφέραμε και θεωρήσαμε ότι για τον προσδιορισμό του «ψευδοαδιαβατικού» κελύφους λαμβάνουμε αποκλειστικά υπόψη μας τα παρακάτω φορτία : ηλιακό θερμικό κέρδος μέσω υαλοπινάκων, φορτίο λόγω αγωγής θερμότητας διαμέσου υαλοπινάκων, φορτίο τοίχων και οροφής. Θεωρώντας όμως ότι και η διείσδυση αέρα μέσω των κουφωμάτων αποτελεί φορτίο του κελύφους, πρέπει να λάβουμε και αυτήν υπόψη μας στην αναζήτηση των τιμών των παραμέτρων που εξασφαλίζουν «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος. Το φορτίο της διείσδυσης για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου στο κτίριο αναφοράς στο οποίο η εσωτερική θερμοκρασία διατηρείται σταθερή στους  $20^{\circ}C$  υπολογίζεται σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην Ενότητα 8.6., είναι  $Q_i = -0,135 MJ/day$ , αποτελεί απώλεια για το κέλυφος και αντιστοιχεί σε μία αλλαγή αέρα την ώρα.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζεται η ενεργειακή κατανάλωση  $E_{jan} MJ/day$  για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου ( $T_{in} = 20^{\circ}C$ ) συναρτήσει του ποσοστού  $P_f$  % των υαλοπινάκων, όπως αυτή υπολογίζεται με παράμετρο το συντελεστή θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων  $U_f$  για συγκεκριμένους συνδυασμούς των τιμών των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν την μόνωση ( $k_i, w_i$ ). Επιπλέον, το ποσοστό των υαλοπινάκων επί της συνολικής επιφάνειας του κελύφους  $P_f$  μοιράζεται σε 50% στον νότο, 25% στην δύση, 25% στην ανατολή και 0% στον βορρά. Συγκεκριμένα εξετάστηκαν οι παρακάτω τιμές των παραμέτρων της μόνωσης και των υαλοπινάκων:

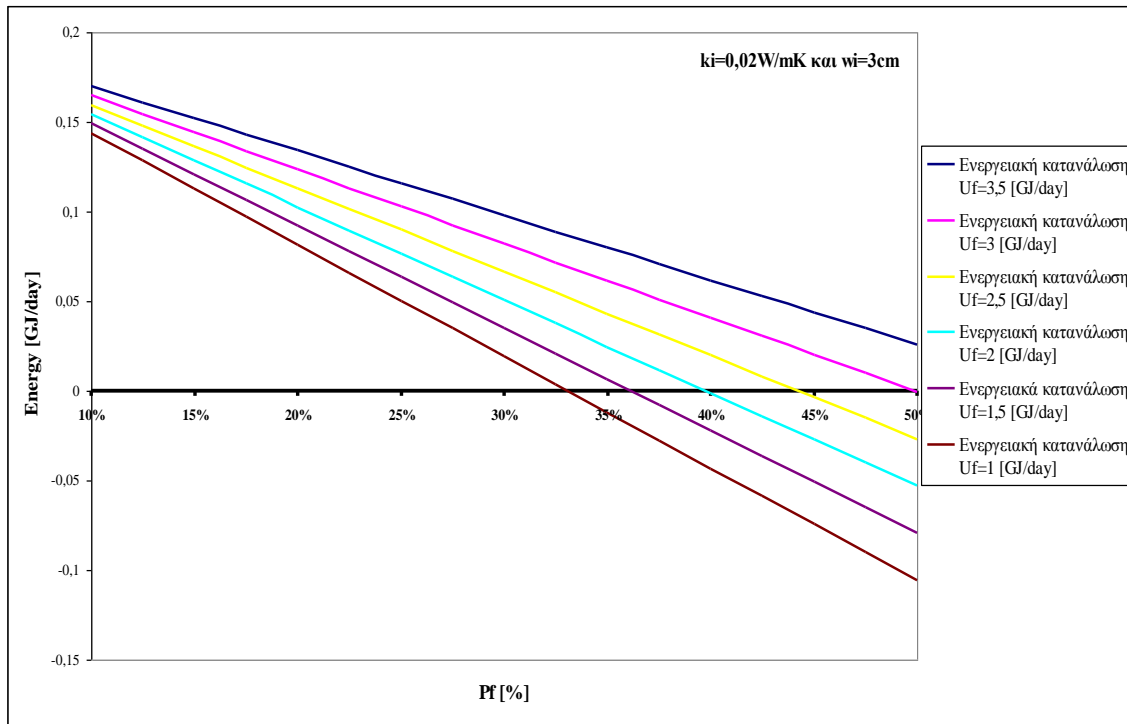
Παράμετροι Μόνωσης	
$k_i \left[ \frac{W}{mK} \right] = 0,02, 0,03, 0,04, 0,05$	$w_i \text{ cm} = 3, 4, 5$

Παράμετροι Υαλοπινάκων	
$U_f \left[ \frac{W}{m^2K} \right] = 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5$	$P_f = 10\% \div 50\%$

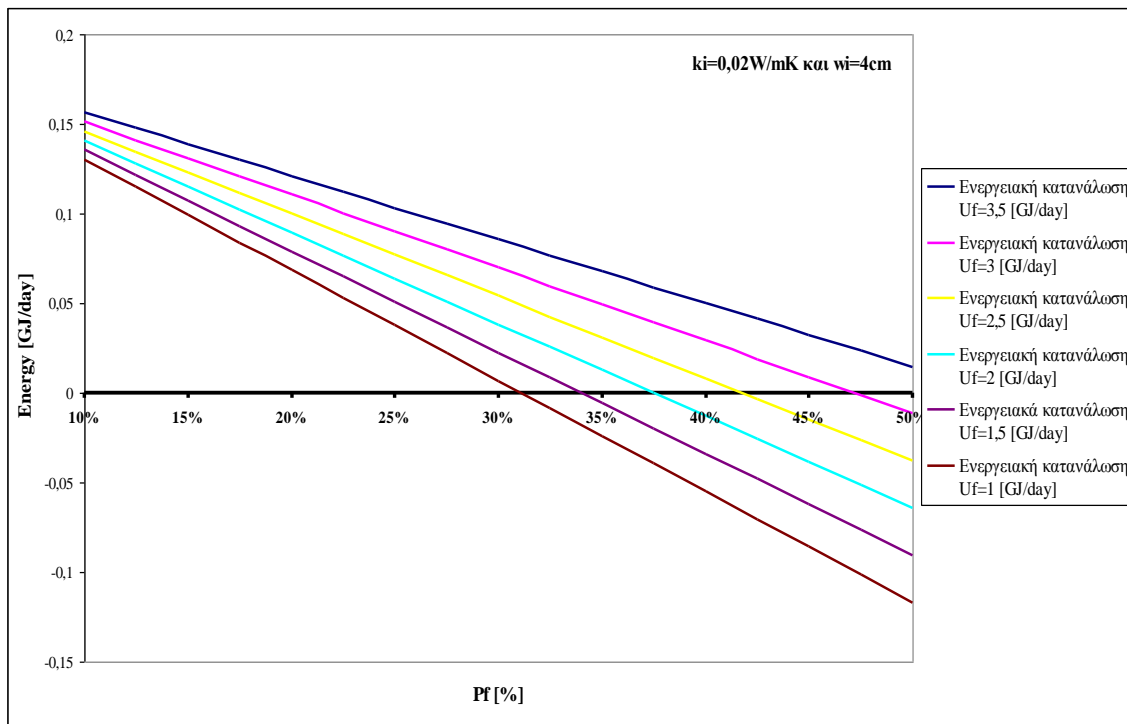
Με τον όρο ενεργειακή κατανάλωση εννοούμε την ποσότητα ενέργειας που απαιτείται να καταναλωθεί προκειμένου να επιτυγχάνονται συνθήκες άνεσης στο εσωτερικό ενός κτιρίου. Αυτό συμβαίνει όταν οι απώλειες από το κέλυφος είναι μεγαλύτερες από το κέρδος προς του κελύφους, με αποτέλεσμα οι συνθήκες στο εσωτερικό του κελύφους να μην είναι οι επιθυμητές. Η ενεργειακή κατανάλωση συνεπάγεται και κατανάλωση χρημάτων και γι' αυτό απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή η μελέτη της διακύμανσης της κατά τη διάρκεια ενός μήνα αλλά και ολόκληρου του έτους.

Σύμφωνα και με όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως, σαν απώλειες για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου θεωρούμε την μεταφορά θερμότητας δι' αγωγής μέσω των υαλοπινάκων, το φορτίο των τοίχων και της οροφής και το φορτίο λόγω διείσδυσης αέρα. Το μοναδικό κέρδος του κελύφους για την τυπική ημέρα του Ιανουαρίου είναι το ηλιακό θερμικό κέρδος μέσω των υαλοπινάκων.

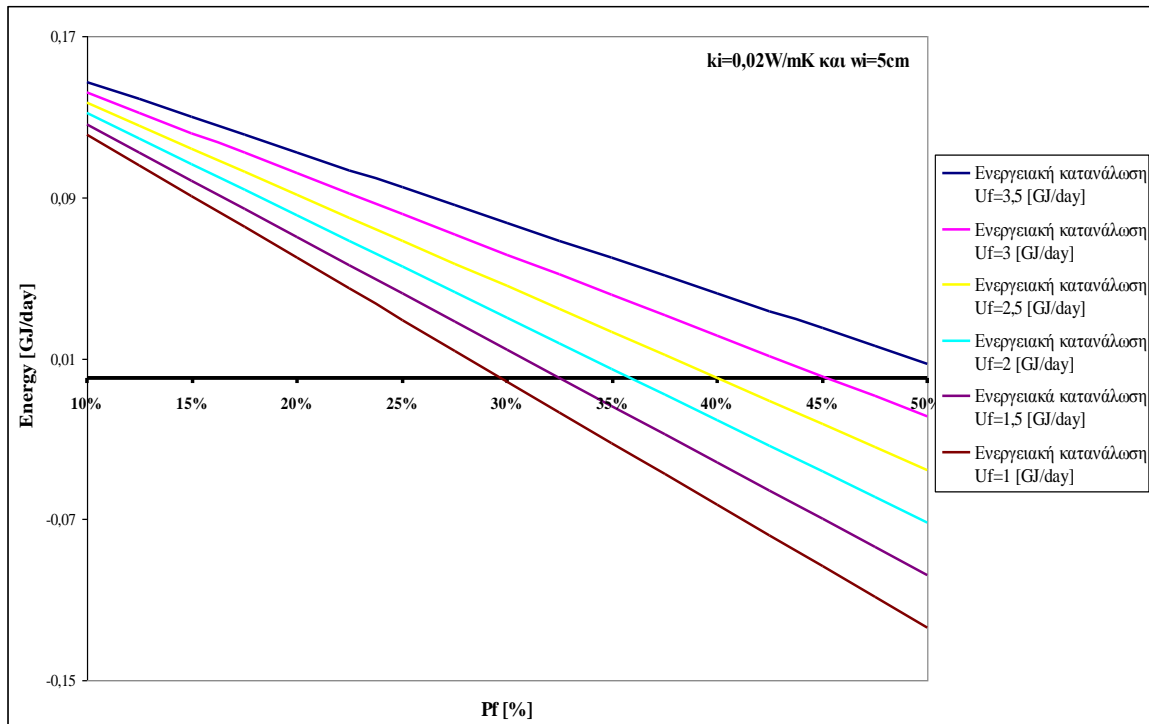




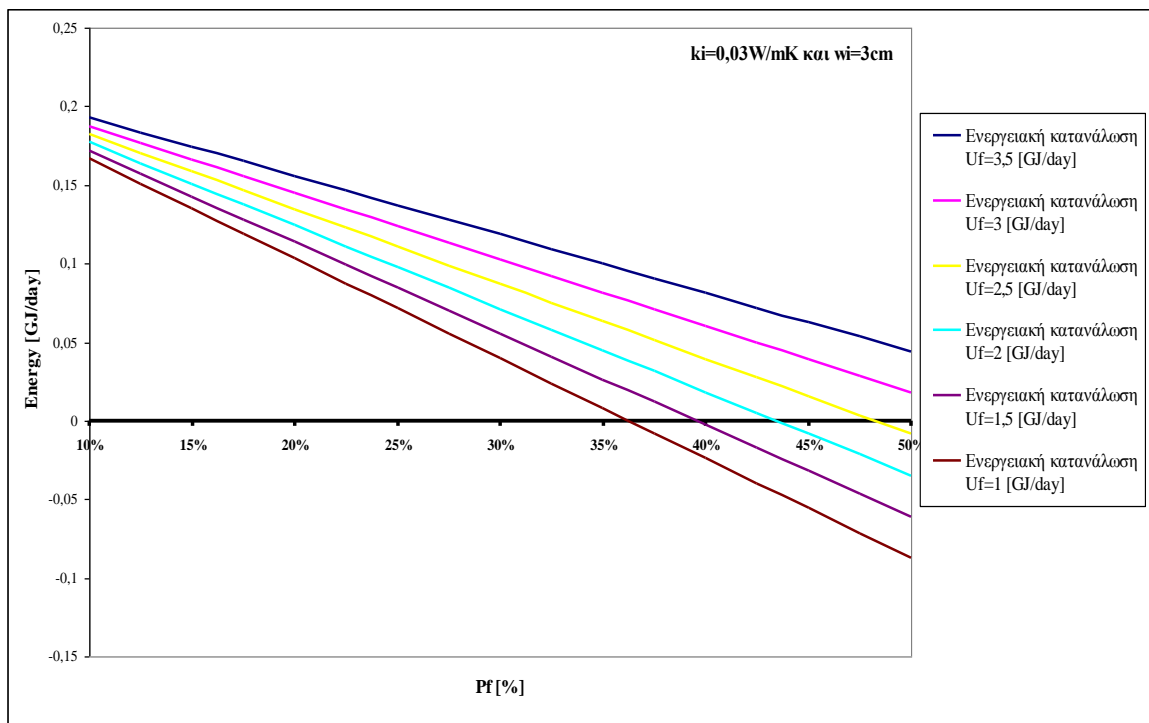
Διάγραμμα 9.2.2. Ενεργειακή κατανάλωση για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου για το κτίριο αναφοράς, με χαρακτηριστικά μόνωσης  $k_i = 0,02W / mK$ ,  $w_i = 3cm$  και διάφορα  $U_f$ .



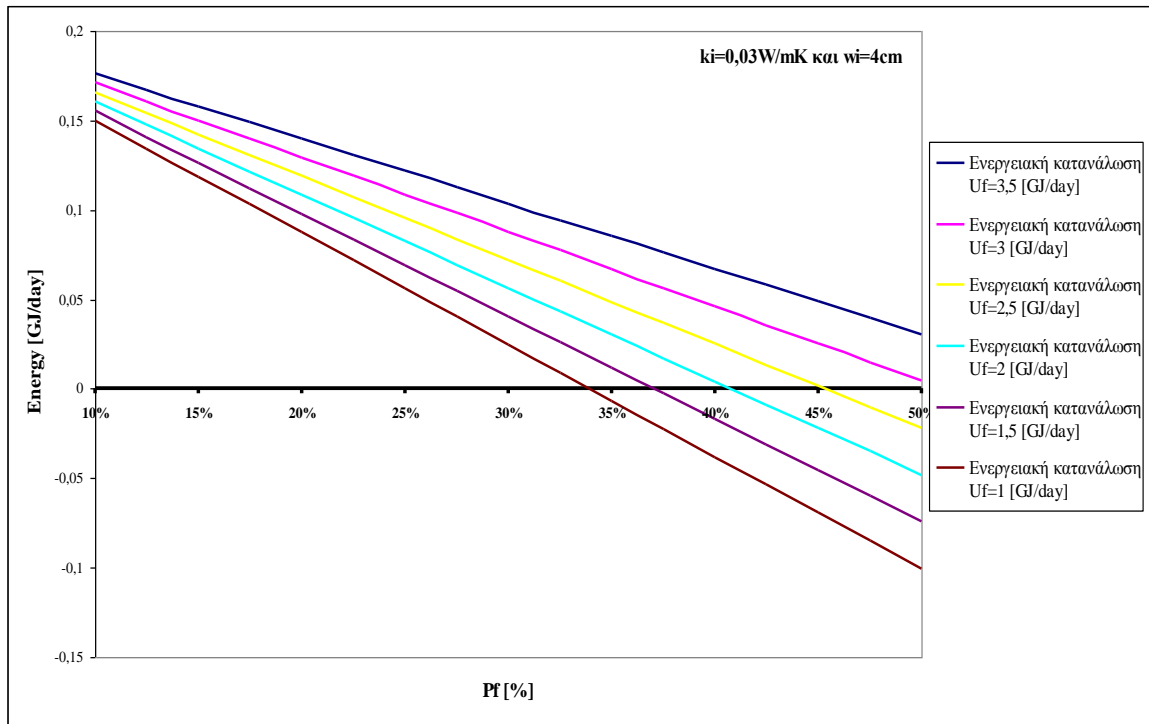
Διάγραμμα 9.2.3. Ενεργειακή κατανάλωση για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου για το κτίριο αναφοράς, με χαρακτηριστικά μόνωσης  $k_i = 0,02W / mK$ ,  $w_i = 4cm$  και διάφορα  $U_f$ .



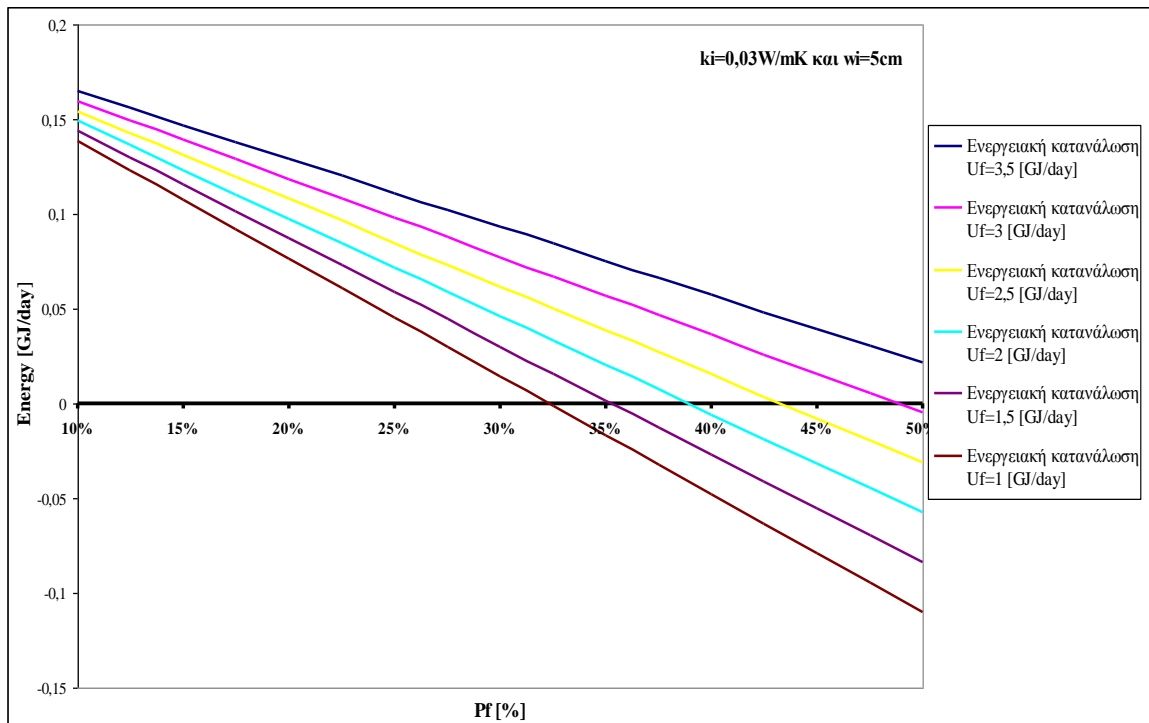
Διάγραμμα 9.2.5. Ενεργειακή κατανάλωση για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου για το κτίριο αναφοράς, με χαρακτηριστικά μόνωσης  $k_i = 0,02W / mK$ ,  $w_i = 5cm$  και διάφορα  $U_f$ .



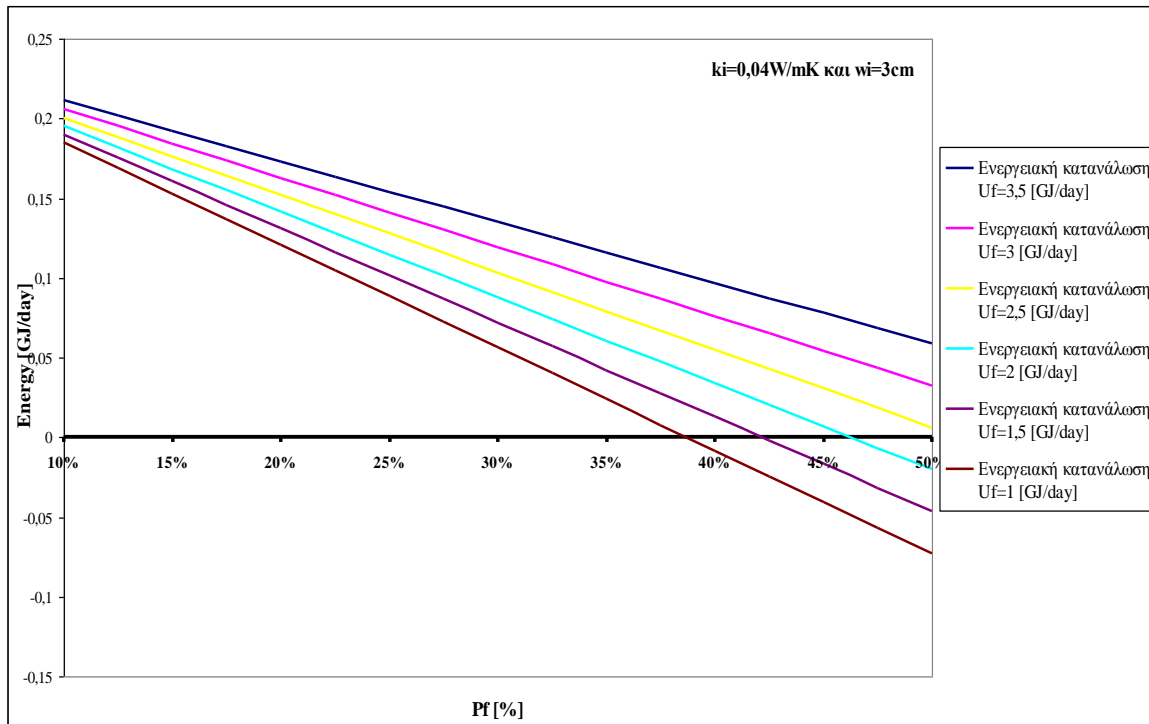
Διάγραμμα 9.2.6. Ενεργειακή κατανάλωση για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου για το κτίριο αναφοράς, με χαρακτηριστικά μόνωσης  $k_i = 0,03W / mK$ ,  $w_i = 3cm$  και διάφορα  $U_f$ .



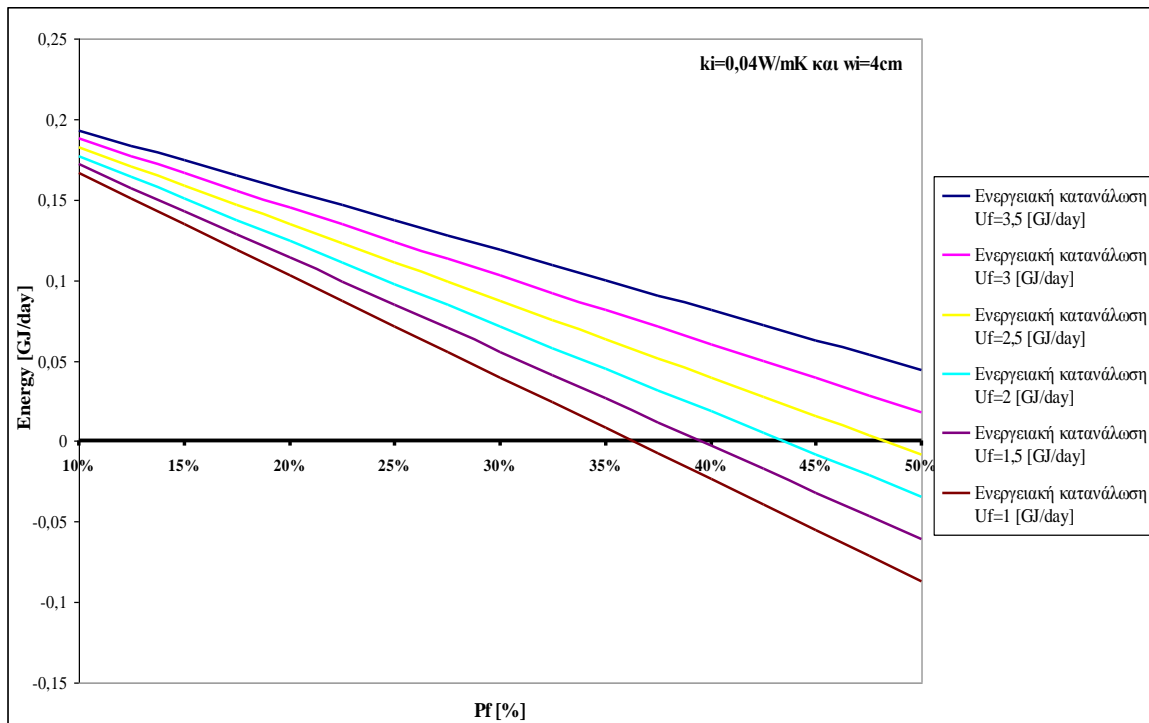
Διάγραμμα 9.2.7. Ενεργειακή κατανάλωση για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου για το κτίριο αναφοράς, με χαρακτηριστικά μόνωσης  $k_i = 0,03W / mK$ ,  $w_i = 4cm$  και διάφορα  $U_f$ .



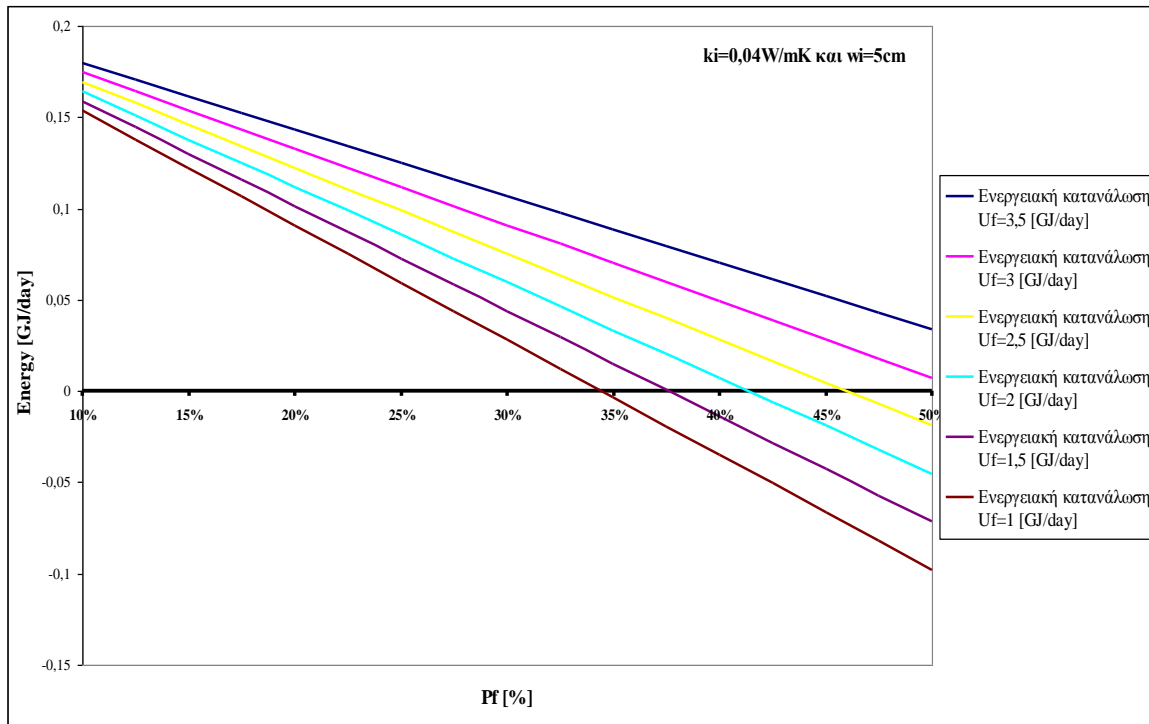
Διάγραμμα 9.2.8. Ενεργειακή κατανάλωση για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου για το κτίριο αναφοράς, με χαρακτηριστικά μόνωσης  $k_i = 0,03W / mK$ ,  $w_i = 5cm$  και διάφορα  $U_f$ .



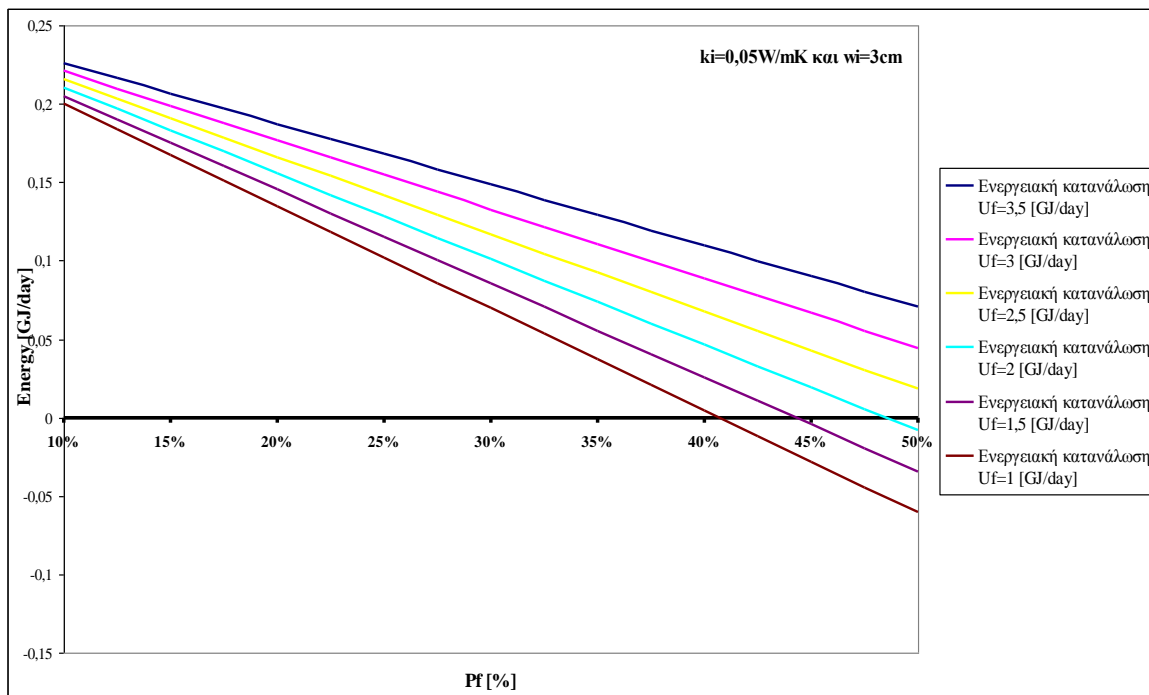
Διάγραμμα 9.2.9. Ενεργειακή κατανάλωση για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου για το κτίριο αναφοράς, με χαρακτηριστικά μόνωσης  $k_i = 0,04W / mK$ ,  $w_i = 3cm$  και διάφορα  $U_f$ .



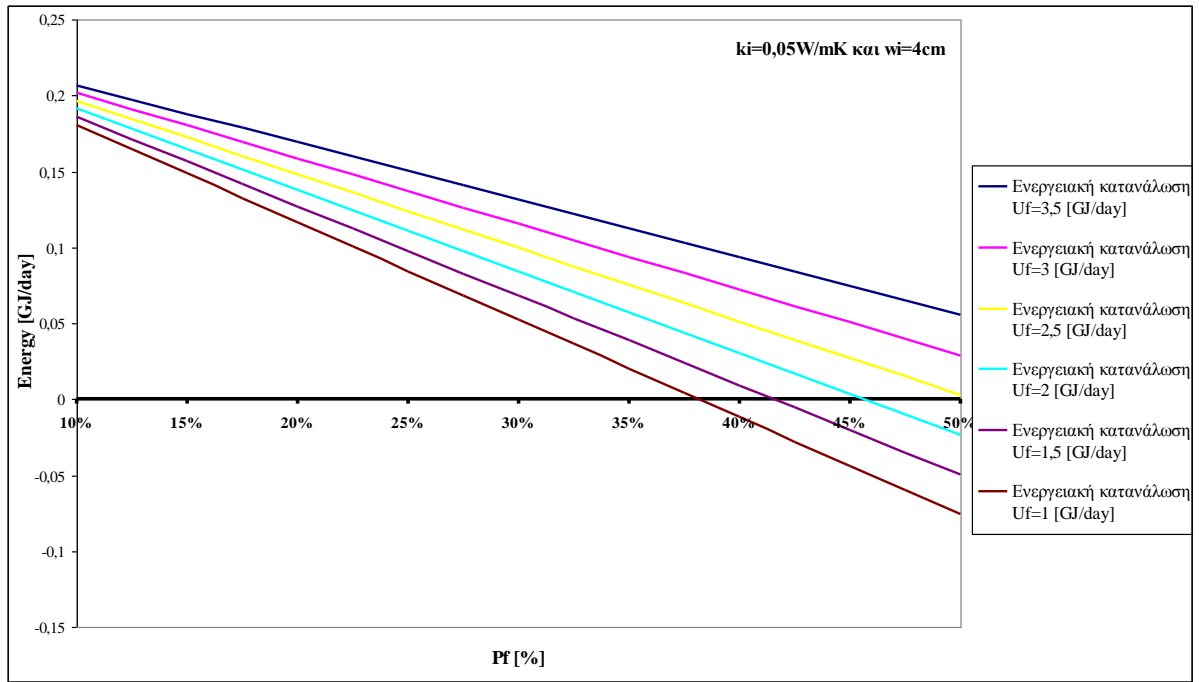
Διάγραμμα 9.2.10. Ενεργειακή κατανάλωση για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου για το κτίριο αναφοράς, με χαρακτηριστικά μόνωσης  $k_i = 0,04W / mK$ ,  $w_i = 4cm$  και διάφορα  $U_f$ .



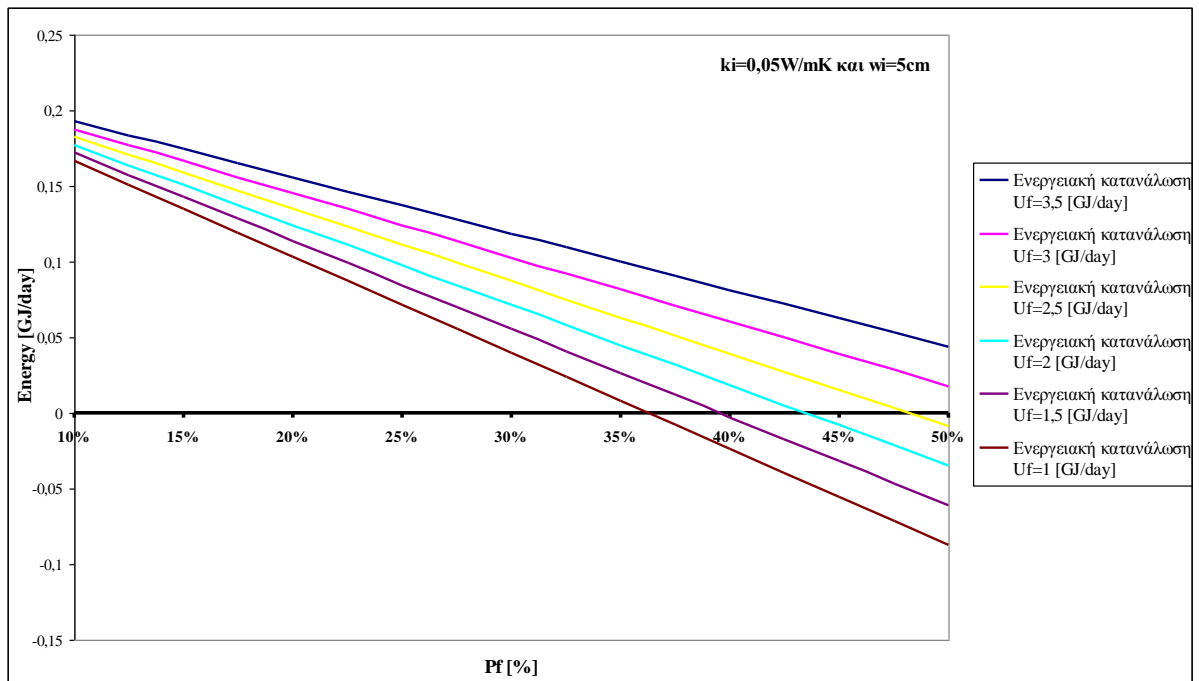
Διάγραμμα 9.2.11. Ενεργειακή κατανάλωση για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου για το κτίριο αναφοράς, με χαρακτηριστικά μόνωσης  $k_i = 0,04W / mK$ ,  $w_i = 5cm$  και διάφορα  $U_f$ .



Διάγραμμα 9.2.12. Ενεργειακή κατανάλωση για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου για το κτίριο αναφοράς, με χαρακτηριστικά μόνωσης  $k_i = 0,05W / mK$ ,  $w_i = 3cm$  και διάφορα  $U_f$ .



Διάγραμμα 9.2.13. Ενεργειακή κατανάλωση για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου για το κτίριο αναφοράς, με χαρακτηριστικά μόνωσης  $k_i = 0,05W / mK$ ,  $w_i = 4cm$  και διάφορα  $U_f$ .

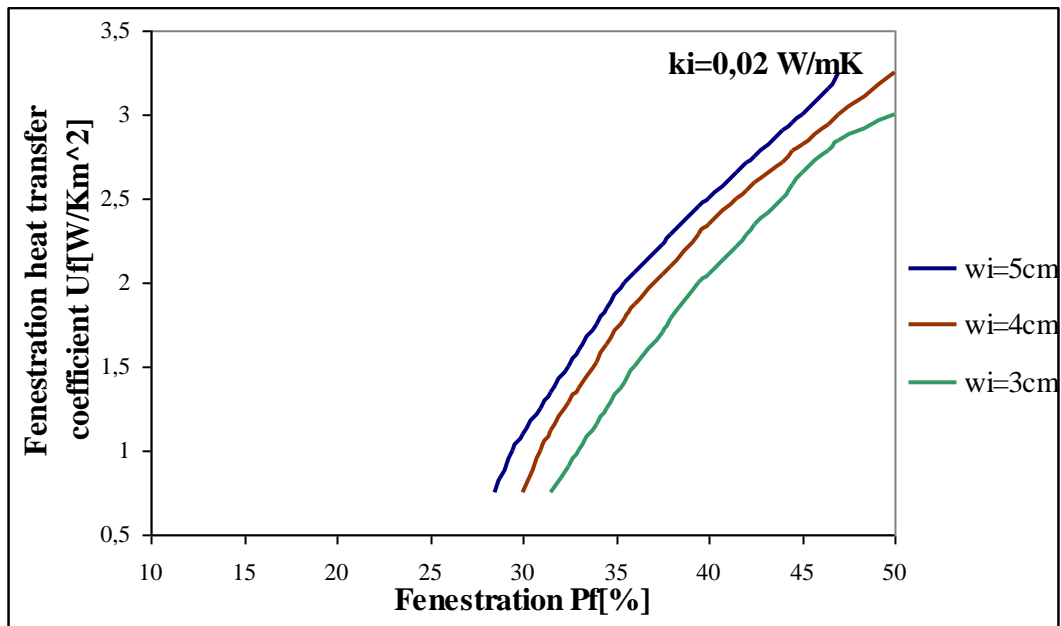


Διάγραμμα 9.2.14. Ενεργειακή κατανάλωση για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου για το κτίριο αναφοράς, με χαρακτηριστικά μόνωσης  $k_i = 0,05W / mK$ ,  $w_i = 5cm$  και διάφορα  $U_f$ .

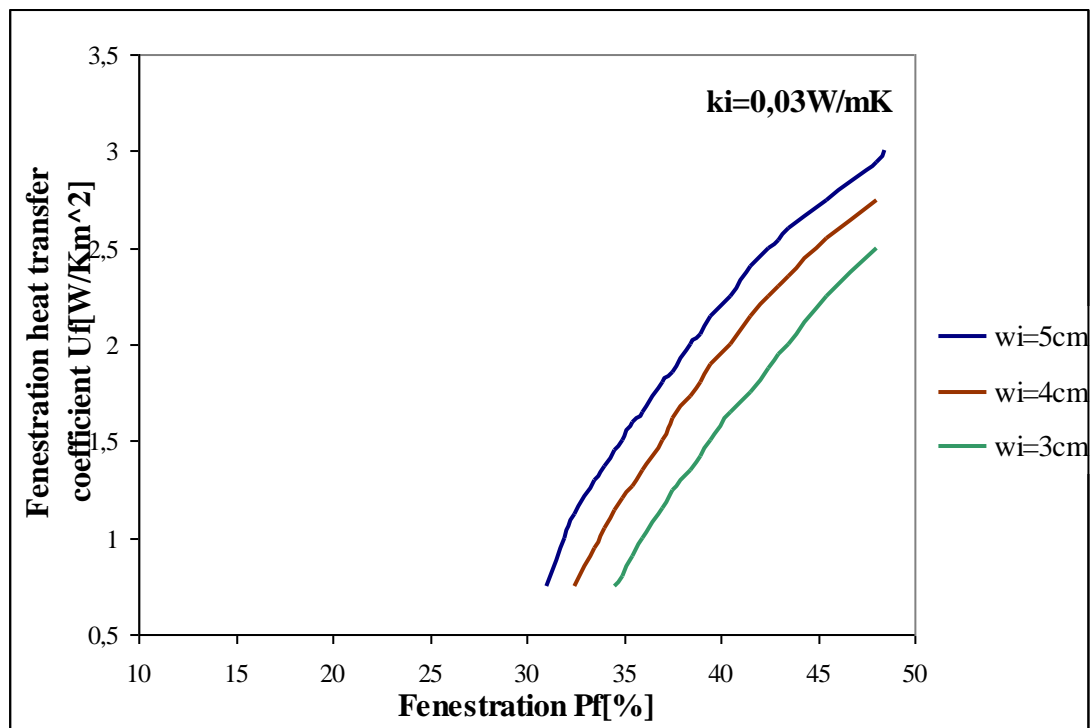
Παρατηρώντας τα *Διαγράμματα 9.2.2.-9.2.14.* βλέπουμε ότι αυξανόμενου του ποσοστού  $P_f$ , οι καμπύλες της ενεργειακής κατανάλωσης που αντιστοιχούν σε μικρές κυρίως τιμές του  $U_f$ , παίρνουν θετικές τιμές για μικρά ποσοστά  $P_f$  και αρνητικές τιμές για μεγαλύτερα ποσοστά  $P_f$ . Για τις καμπύλες για τις οποίες παρατηρείται αυτού του είδους η διακύμανση, υπάρχει και κάποια τιμή του  $P_f$  για την οποία η τιμή της ενεργειακής κατανάλωσης είναι μηδέν.

Τιμές ενεργειακής κατανάλωσης μεγαλύτερες του μηδενός, σημαίνει ότι οι απώλειες από το κέλυφος υπερσχύουν του κέρδους προς αυτό, με αποτέλεσμα να πρέπει να καταναλωθεί ενέργεια για θέρμανση. Τιμές ενεργειακής κατανάλωσης μικρότερες του μηδενός, σημαίνει ότι το κέρδος προς το κέλυφος είναι μεγαλύτερο από τις απώλειες από αυτό, με αποτέλεσμα να έχουμε κέρδος θερμότητας και να μην απαιτείται καμία κατανάλωση ενέργειας. Το ενδιαφέρον για εμάς έγκειται στα σημεία στα οποία οι καμπύλες της ενεργειακής κατανάλωσης τέμνουν τον οριζόντιο άξονα. Τότε τα κέρδη προς το κέλυφος εξισώνονται με τις απώλειες και η ενεργειακή κατανάλωση είναι μηδέν. Αυτό συμβαίνει όταν το κέλυφος που εξετάζουμε είναι «ψευδοαδιαβατικό».

Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζεται ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας των παραθύρων  $U_f [W/m^2K]$  συναρτήσει του ποσοστού  $P_f$  %, το οποίο μοιράζεται σε 50% στον νότο, 25% στην δύση, 25% στην ανατολή και 0% στον βορρά, με παράμετρο το πάχος της μόνωσης  $w_i$  για μόνωση ειδικής θερμικής αγωγιμότητας  $k_i = 0,02W/mK$ ,  $k_i = 0,03W/mK$ ,  $k_i = 0,04W/mK$  και  $k_i = 0,05W/mK$ . Οι καμπύλες που τα αποτελούν παρέχουν τους συνδυασμούς των τιμών για τις οποίες λαμβάνεται «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου ( $T_{in} = 20^\circ C$ ), όπως αυτοί προκύπτουν από τα *Διαγράμματα 9.2.2.-9.2.14.*

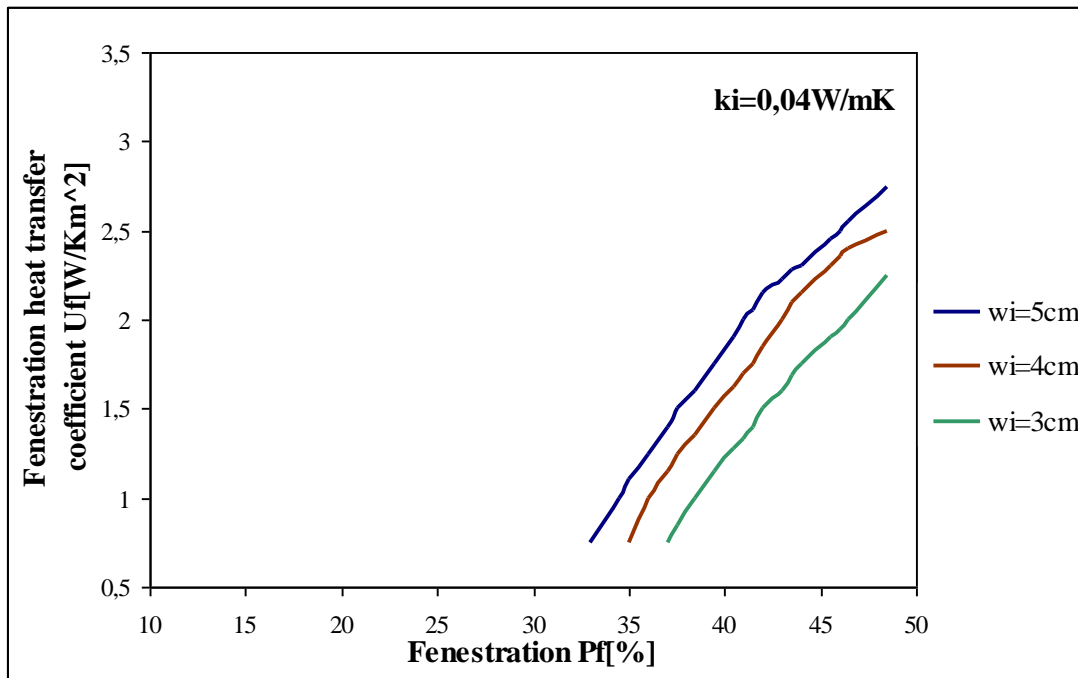


Διάγραμμα 9.2.15. Συνδυασμοί των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τους υαλοπίνακες και τη μόνωση ( $k_i = 0,02W/mK$ ) για τους οποίους λαμβάνεται «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου στην περιοχή της Αθήνας.

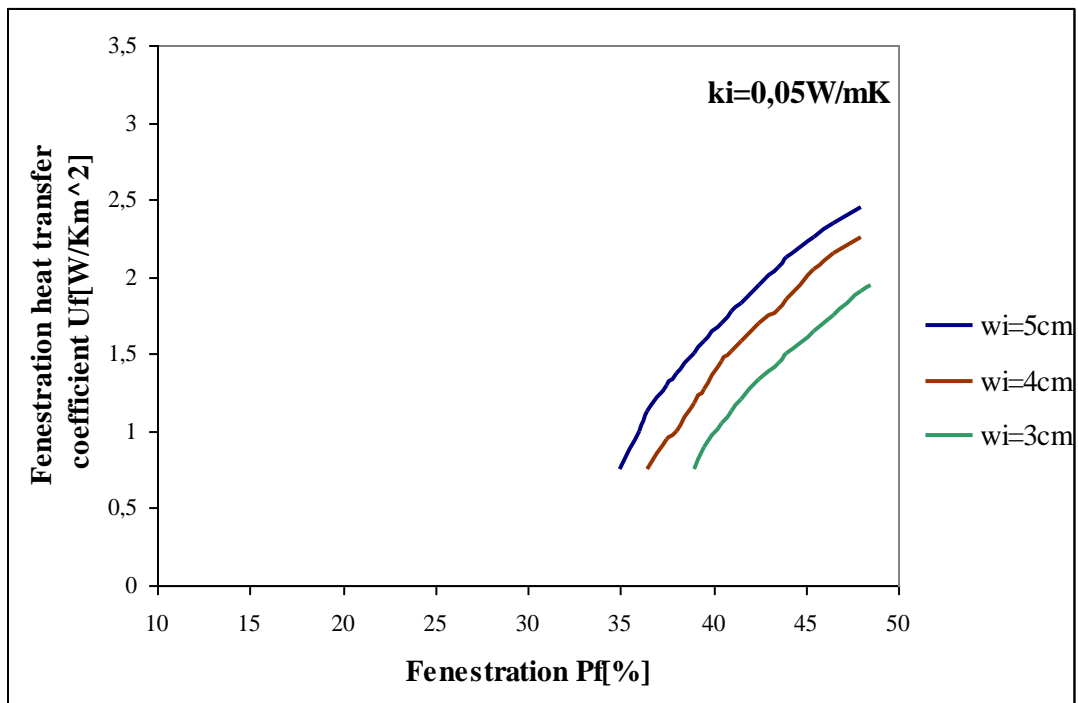


Διάγραμμα 9.2.16. Συνδυασμοί των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τους υαλοπίνακες και τη μόνωση ( $k_i = 0,03W/mK$ ) για τους οποίους λαμβάνεται «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου στην περιοχή της Αθήνας.



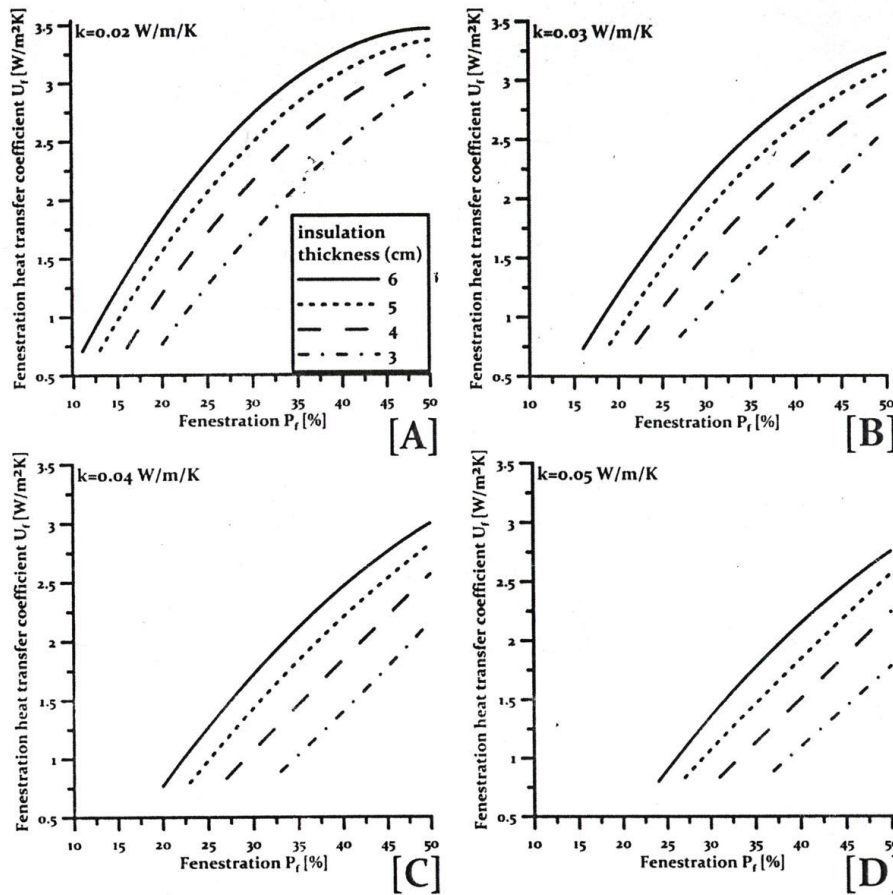


*Διάγραμμα 9.2.17. Συνδυασμοί των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τους υαλοπίνακες και τη μόνωση ( $k_i = 0,04W / mK$ ) για τους οποίους λαμβάνεται «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου στην περιοχή της Αθήνας.*



*Διάγραμμα 9.2.18. Συνδυασμοί των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τους υαλοπίνακες και τη μόνωση ( $k_i = 0,05W / mK$ ) για τους οποίους λαμβάνεται «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου στην περιοχή της Αθήνας.*

Προκειμένου να ελέγξουμε την ακρίβεια της μεθόδου που χρησιμοποιούμε και την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων, συγκρίνουμε τα *Διαγράμματα 9.2.15.-9.2.18.* με τα αντίστοιχα που προέκυψαν με χρήση της αριθμητικής μεθόδου πεπερασμένων διαφορών (για επίλυση μιας σειράς διαφορικών εξισώσεων που περιγράφουν τη μεταβατική θερμική συμπεριφορά των κτιρίων), τα οποία δίνονται στη Δημοσίευση [14].



*Διάγραμμα 9.2.19. Συνδυασμοί των σημαντικότερων παραμέτρων του κτηριακού κελύφους, για τους οποίους επιτυγχάνεται ψευδοαδιαβατικό κέλυφος, για εσωτερική θερμοκρασία  $20^{\circ}C$  και ποσοστό υαλοπινάκων βόρειου, ανατολικού, δυτικού και νότιου προσανατολισμού, 0%, 25%, 25% και 50% αντίστοιχα και για συγκεκριμένες τιμές της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας μόνωσης [A] 0,02 W/mK, [B] 0,03 W/mK, [C] 0,04 W/mK, [D] 0,05 W/mK, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο πεπερασμένων διαφορών.*

Συγκρίνοντας τα *Διαγράμματα 9.2.15.-9.2.18.* με αυτά της μεθόδου πεπερασμένων διαφορών, παρατηρούμε ότι οι καμπύλες των διαγραμμάτων της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι μετατοπισμένες δεξιά, παράλληλα στον οριζόντιο άξονα κατά περίπου 10% σε σχέση με αυτές των διαγραμμάτων της Δημοσίευσης [14]. Αυτή η διαπίστωση είναι λογική δεδομένου ότι η μέθοδος πεπερασμένων διαφορών είναι σαφώς ακριβέστερη από τη δική μας.

### 9.3. Συμπεράσματα.

Από τα διαγράμματα της προηγούμενης Ενότητας, τα οποία δίνουν τους συνδυασμούς των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τους υαλοπίνακες και τη μόνωση για τους οποίους το κτιριακό κέλυφος χαρακτηρίζεται «ψευδοαδιαβατικό», καταλήγουμε στα παρακάτω συμπεράσματα αναφορικά με την εξάρτηση μεταξύ τους:

- i. Όταν μειώνεται η αποδοτικότητα της μόνωσης (είτε λόγω αύξησης του  $k_i$ , είτε λόγω μείωσης του  $w_i$ ) αυξάνεται η θερμότητα που μεταφέρεται στο εσωτερικό του κελύφους μέσω των τοίχων και της οροφής. Τότε απαιτείται αύξηση του ποσοστού  $P_f$  των υαλοπινάκων, προκειμένου να αυξάνεται το ηλιακό θερμικό κέρδος προς το κέλυφος και να εξισορροπούνται οι αυξημένες απώλειες. Έτσι τελικά εξασφαλίζεται «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος.
- ii. Όταν αυξάνεται ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων  $U_f$  και για σταθερές τιμές των παραμέτρων της μόνωσης ( $k_i, w_i$ ), αυξάνεται η απώλεια θερμότητας δι' αγωγής μέσω των υαλοπινάκων. Για την επίτευξη «ψευδοαδιαβατικού» κελύφους σε αυτήν την περίπτωση, πρέπει να αυξηθεί το ποσοστό  $P_f$  των υαλοπινάκων, προκειμένου να αυξάνεται το ηλιακό θερμικό κέρδος προς το κέλυφος.
- iii. Όταν μειώνεται η αποδοτικότητα της μόνωσης, για σταθερή τιμή του ποσοστού  $P_f$  των υαλοπινάκων, αυξάνονται οι απώλειες του κελύφους λόγω μεταφοράς θερμότητας δι' αγωγής μέσω της οροφής και των τοίχων. Για να μπορούμε σε αυτήν την περίπτωση να έχουμε «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος, πρέπει να μειωθούν και οι απώλειες δι' αγωγής μέσω των παραθύρων. Αυτό επιτυγχάνεται με ελάττωση του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας αυτών,  $U_f$ .
- iv. Όταν μειώνεται το ποσοστό  $P_f$  των υαλοπινάκων, μειώνεται το ηλιακό θερμικό κέρδος διαμέσου αυτών. Προκειμένου να ικανοποιείται η συνθήκη για το «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος πρέπει να μειώνονται και οι απώλειες από το κέλυφος που οφείλονται σε αγωγή θερμότητας, λόγω διαφοράς θερμοκρασίας. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με βελτίωση της αποδοτικότητας της μόνωσης (αύξηση

του  $w_i$  ή μείωση του  $k_i$ ) είτε με ελάττωση του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων  $U_f$ .

- v. Το γεγονός ότι αναζητήσαμε «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος θεωρώντας ότι το ποσοστό  $P_f$  των υαλοπινάκων επί της συνολικής επιφάνειας δεν κατανέμεται εξίσου στους τέσσερις προσανατολισμούς αλλά μοιράζεται σε 50% στον νότο, 25% στην δύση, 25% στην ανατολή και 0% στον βορρά, συνέβαλλε στην εύρεση συνδυασμών παραμέτρων του κτιριακού κελύφους, για τις οποίες να ικανοποιείται η συνθήκη για το «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει μέσω των εξής παρατηρήσεων :

- στο Κεφάλαιο 8 που θεωρούσαμε ισοκατανομή του ποσοστού  $P_f$ , λάβαμε κτίριο με απώλειες θερμότητας
- στο ίδιο Κεφάλαιο διαπιστώσαμε ότι το θερμικό φορτίο των υαλοπινάκων δι' αγωγής για τον βόρειο προσανατολισμό είναι σαφώς μεγαλύτερο σε σχέση με αυτό που προέκυπτε για τους άλλους προσανατολισμούς.

Συνεπώς, αποφεύγοντας την τοποθέτηση υαλοπινάκων στον βόρειο προσανατολισμό και ενισχύοντας ταυτόχρονα το ποσοστό αυτών στον νότιο προσανατολισμό, επιτυγχάνεται ευνοϊκότερη, από ενεργειακής και κατ' επέκταση οικονομικής άποψης, συμπεριφορά του κτιρίου.

- vi. Κατά την αναζήτηση του συνδυασμού των παραμέτρων του κτιριακού κελύφους που εξασφαλίζουν «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος, όπως αυτή παρουσιάστηκε προηγουμένως, θεωρήσαμε ότι και η διείσδυση αέρα μέσω των κουφωμάτων αποτελεί απώλεια του κελύφους και την λάβαμε υπόψη στους υπολογισμούς, παρά το γεγονός ότι το φορτίο αυτό δεν συμπεριλαμβάνεται στην εξίσωση (17). Σχετικά με αυτό παραθέτουμε τις ακόλουθες παρατηρήσεις :

- Εάν στους υπολογισμούς συμπεριλάβουμε φορτίο διείσδυσης αέρα, το οποίο να αντιστοιχεί σε δύο αλλαγές αέρα την ώρα (όπως έγινε στον υπολογισμό του συνολικού φορτίου κελύφους για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου στο Κεφάλαιο 8), κανένας συνδυασμός των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τους υαλοπίνακες και την μόνωση, δεν εξασφαλίζει «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος. Όταν έγινε η συγκεκριμένη παραμετρική μελέτη, όλοι οι συνδυασμοί των παραμέτρων έδιναν ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση μεγαλύτερη του μηδενός, δηλαδή καμία καμπύλη των αντίστοιχων διαγραμμάτων 9.2.2.-9.2.14 δεν έτεμνε τον οριζόντιο άξονα. Αυτό σημαίνει ότι για όλους τους συνδυασμούς των

σημαντικών παραμέτρων του κτιριακού κελύφους, οι απώλειες από το κέλυφος υπερίσχυαν του κέρδους προς το κέλυφος.

- Από την άλλη, για υπολογισμούς που έγιναν προκειμένου να ικανοποιείται ακριβώς η συνθήκη για το «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος (εξίσωση (17)), δηλαδή να μην λαμβάνεται καθόλου υπόψη το φορτίο της διείσδυσης σαν παράμετρος καθορισμού της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου, προέκυψαν μεν συνδυασμοί εξασφάλισης «ψευδοαδιαβατικού» κελύφους, τα διαγράμματα όμως τα αντίστοιχα των 9.2.15.-9.2.18. ήταν μετατοπισμένα αριστερά ως προς τον οριζόντια άξονα κατά 20% σε σχέση με αυτά.

**10. Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση για εξασφάλιση θερμικής άνεσης στο κτίριο αναφοράς στην περιοχή της Αθήνας.**

### **10.1. Διαδικασία υπολογισμού της ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης.**

Στο Κεφάλαιο 9 υπολογίσαμε τους συνδυασμούς των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν την μόνωση  $(k_i, w_i)$  και τους υαλοπίνακες  $(U_f, P_f)$  του κτιρίου αναφοράς, για τους οποίους εξασφαλίζεται «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος για την 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου στην περιοχή της Αθήνας. Ακόμα υπολογίσαμε την ημερήσια (21<sup>η</sup> Ιανουαρίου) ενεργειακή κατανάλωση για τους ίδιους συνδυασμούς των παραμέτρων του κελύφους, προκειμένου στο εσωτερικό του κτιρίου να επιτυγχάνεται θερμική άνεση.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν όμως, έχουν πρακτική σημασία μόνον εφόσον μιλάμε για κτίριο του οποίου η λειτουργία προορίζεται για τον μήνα Ιανουάριο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι οι συνδυασμοί των παραμέτρων, που βρέθηκαν, εξαρτώνται από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, οι οποίες κατά τη διάρκεια του έτους μεταβάλλονται σημαντικά. Ένα κτίριο λοιπόν, που κατασκευάζεται με τέτοιον τρόπο, ώστε να συμπεριφέρεται αδιαβατικά τον Ιανουάριο, δεν σημαίνει ότι θα έχει την ίδια ικανοποιητική συμπεριφορά καθόλη τη διάρκεια του έτους. Συνεπώς, για κτίρια, τα οποία πρόκειται να λειτουργούν και να παρέχουν θερμική άνεση στους ενοίκους τους καθόλη τη διάρκεια του έτους, πρέπει να υπολογίζεται η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση.

Στο Κεφάλαιο αυτό θα υπολογιστεί η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση για διάφορους συνδυασμούς των σημαντικών παραμέτρων του κτιριακού κελύφους. Τα αποτελέσματα που θα προκύψουν θα είναι χρήσιμα, ώστε να μπορεί ένα κτίριο να είναι ενεργειακά και οικονομικά αποδοτικό, πληρώντας ταυτόχρονα και τις αισθητικές απαιτήσεις των κατασκευαστών και των ιδιοκτητών του.

Με την έννοια «ετήσια ενεργειακή κατανάλωση» εννοούμε το άθροισμα της ενεργειακής κατανάλωσης που απαιτείται για θέρμανση και αυτής που απαιτείται για κλιματισμό. Το ύψος των καταναλώσεων αυτών καθορίζεται αφενός από τις συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος και αφετέρου από τις συνθήκες θερμικής άνεσης που απαιτείται να επικρατούν στο εσωτερικό των κτιρίων. Για τις περιόδους θέρμανσης ( Νοέμβριος – Μάρτιος ), η εσωτερική θερμοκρασία πρέπει να έχει την τιμή  $T_{in} = 20^{\circ} C$ , ενώ για τις περιόδους ψύξης ( Απρίλιος – Οκτώβριος ), πρέπει να είναι  $T_{in} = 26^{\circ} C$ .



Για να υπολογίσουμε την ετήσια ενεργειακή κατανάλωση, υπολογίσαμε για την τυπική μέρα (21<sup>η</sup>) κάθε μήνα του έτους την ενεργειακή κατανάλωση για το κτίριο αναφοράς, για διάφορους συνδυασμούς που χαρακτηρίζουν την μόνωση και τους υαλοπίνακες. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα πολλαπλασιάστηκαν επί 30 και βρέθηκε η μηνιαία ενεργειακή κατανάλωση. Οι τιμές των παραμέτρων που εξετάστηκαν ήταν :

Παράμετροι Μόνωσης	
$k_i \left[ \frac{W}{mK} \right] = 0,02 , 0,03 , 0,04$	$w_i \text{ cm} = 3 , 4$

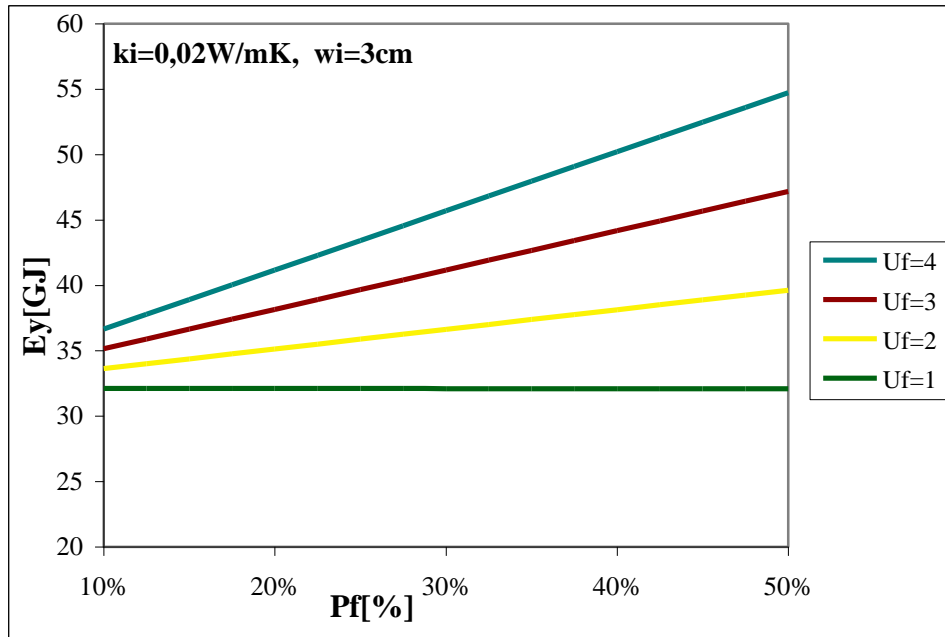
Παράμετροι Υαλοπινάκων	
$U_f \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] = 1 , 2 , 3 , 4$	$P_f = 10\% \div 50\%$

Η ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση για την τυπική μέρα κάθε μήνα του έτους υπολογίστηκε αφαιρώντας από τις απώλειες από το κέλυφος τα κέρδη προς το κέλυφος. Η πράξη αυτή έγινε με θετικές και τις δύο ποσότητες, ώστε να έχει νόημα. Τα φορτία που λάβαμε υπόψη είναι τα : ηλιακό θερμικό κέρδος μέσω υαλοπινάκων, θερμικό φορτίο υαλοπινάκων δι' αγωγής, συνολικό φορτίο τοίχων και οροφής και ψυκτικό φορτίο λόγω διείσδυσης αέρα (1 αλλαγή αέρα την ώρα).

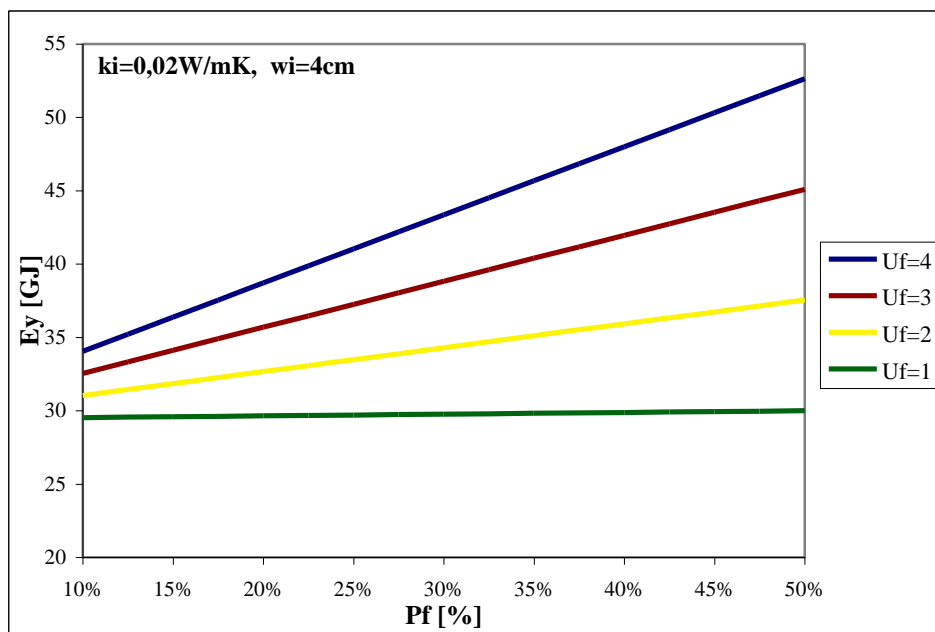
Σημαντικό εδώ είναι να αναφέρουμε ότι τα θερμικά κέρδη από τους υαλοπίνακες είναι επιθυμητά μόνο τους χειμερινούς μήνες. Τους καλοκαιρινούς μήνες, τόσο αυτή η ποσότητα όσο και το φορτίο λόγω μεταφοράς θερμότητας δι' αγωγής μέσω των υαλοπινάκων, το φορτίο των τοίχων και της οροφής και το φορτίο της διείσδυσης αέρα αποτελούν απώλεια για το κέλυφος.

Τα διαγράμματα που ακολουθούν παρέχουν την ετήσια ενεργειακή κατανάλωση  $E_y$ ,  $GJ$  σαν συνάρτηση του ποσοστού  $P_f$  των υαλοπινάκων επί της συνολικής επιφάνειας του κελύφους, με παράμετρο τιμές του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας των παραθύρων  $U_f = 1,2,3,4 W/m^2 K$  για ορισμένους συνδυασμούς των παραμέτρων της μόνωσης ( $k_i$  σε  $W/mK$ ,  $w_i$  σε  $cm$ ). Οι συνδυασμοί αυτοί είναι : (0,02 , 3) , (0,02 , 4) , (0,03 , 3) , (0,03 , 4) , (0,04 , 3) , (0,04 , 4). Και εδώ όπως και

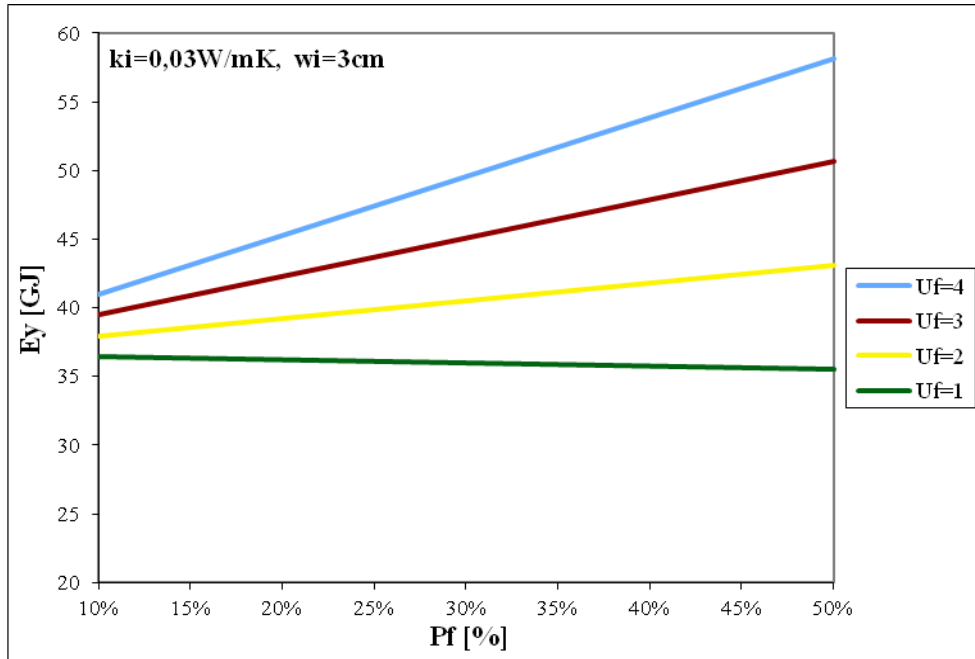
στο Κεφάλαιο 9 το ποσοστό  $P_f$  των υαλοπινάκων επί της συνολικής επιφάνειας του κελύφους, κατανέμεται σε 50% στην ανατολή, 25% στη δύση, 25% στην ανατολή και 0% στο βορρά.



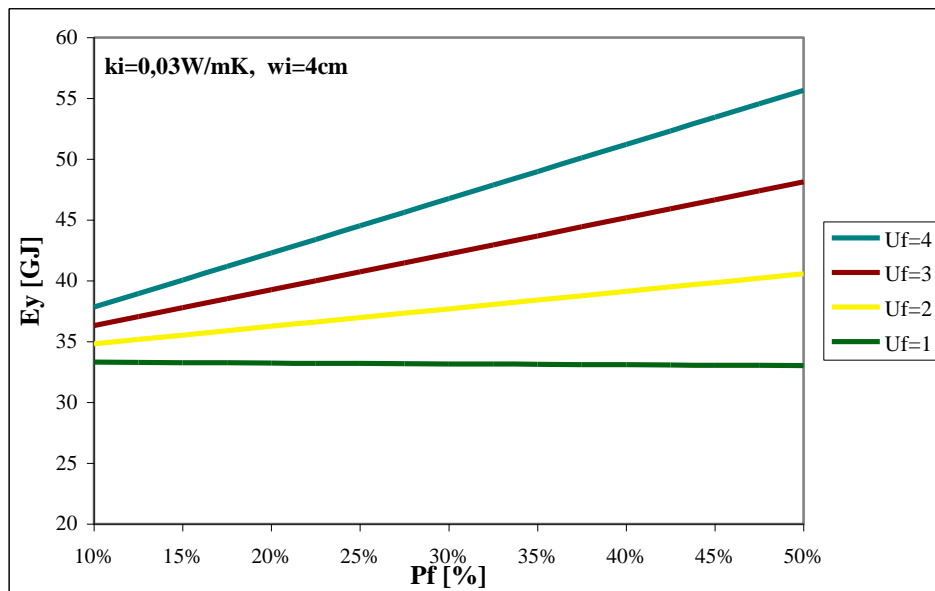
*Διάγραμμα 10.1.* Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου αναφοράς για την Αθήνα κατά τη διάρκεια του τυπικού έτους, συναρτήσεως του  $P_f$  για διάφορα  $U_f$  και μόνωση με παραμέτρους  $k_i = 0,02W / mK$  και  $w_i = 3cm$ .



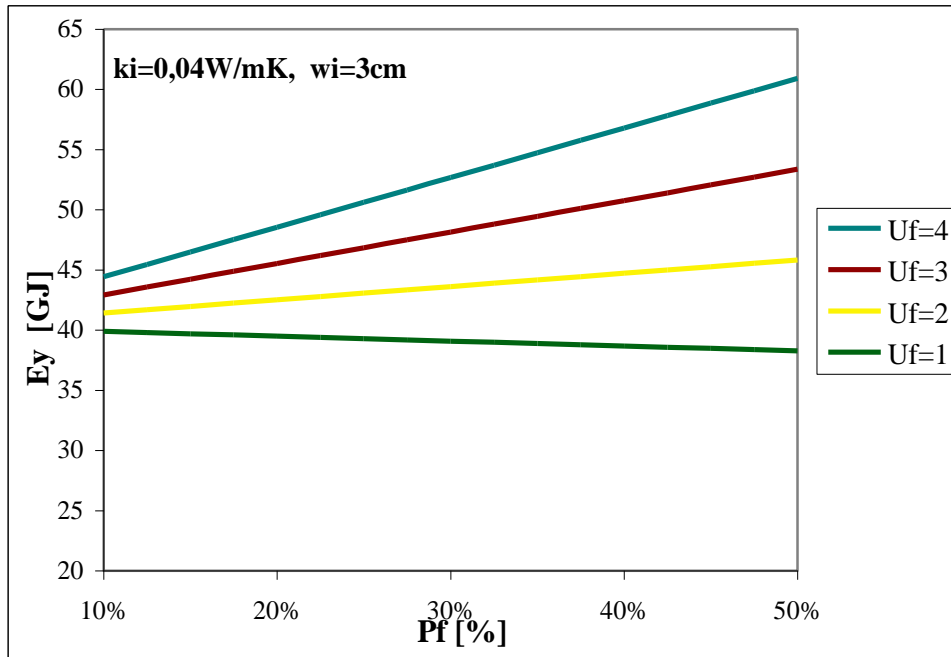
*Διάγραμμα 10.2.* Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου αναφοράς για την Αθήνα κατά τη διάρκεια του τυπικού έτους, συναρτήσεως του  $P_f$  για διάφορα  $U_f$  και μόνωση με παραμέτρους  $k_i = 0,02W / mK$  και  $w_i = 4cm$ .



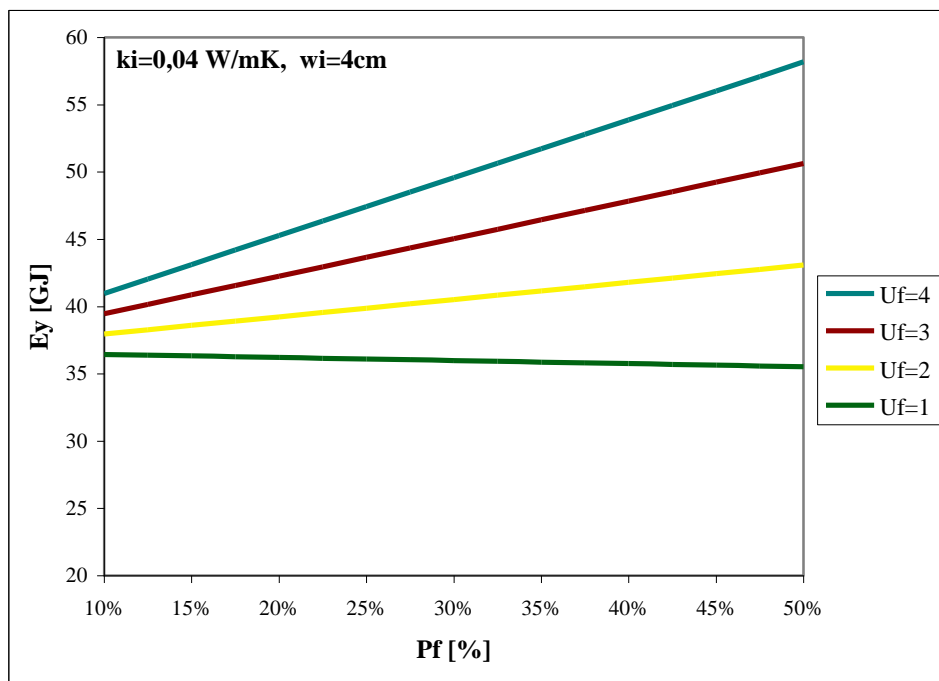
*Διάγραμμα 10.3.* Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου αναφοράς για την Αθήνα κατά τη διάρκεια του τυπικού έτους, συναρτήσεως του  $P_f$  για διάφορα  $U_f$  και μόνωση με παραμέτρους  $k_i = 0,03W / mK$  και  $w_i = 3cm$ .



*Διάγραμμα 10.4.* Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου αναφοράς για την Αθήνα κατά τη διάρκεια του τυπικού έτους, συναρτήσεως του  $P_f$  για διάφορα  $U_f$  και μόνωση με παραμέτρους  $k_i = 0,03W / mK$  και  $w_i = 4cm$ .



*Διάγραμμα 10.5. Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου αναφοράς για την Αθήνα κατά τη διάρκεια του τυπικού έτους, συναρτήσει του  $P_f$  για διάφορα  $U_f$  και μόνωση με παραμέτρους  $k_i = 0,04W / mK$  και  $w_i = 3cm$ .*



*Διάγραμμα 10.6. Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου αναφοράς για την Αθήνα κατά τη διάρκεια του τυπικού έτους, συναρτήσει του  $P_f$  για διάφορα  $U_f$  και μόνωση με παραμέτρους  $k_i = 0,04W / mK$  και  $w_i = 4cm$ .*

## 10.2. Συμπεράσματα.

Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να καταλήξουμε στα ακόλουθα συμπεράσματα αναφορικά με την επίδραση των βασικών παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το κτιριακό κέλυφος πάνω στην ετήσια ενεργειακή κατανάλωση για επίτευξη συνθηκών άνεσης εντός του κελύφους :

- i. Για τις μεγάλες τιμές του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων  $U_f$ , παρατηρείται αύξηση της ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης  $E_y$ , αυξανόμενου του ποσοστού (επί της συνολικής επιφάνειας του κελύφους)  $P_f$  των υαλοπινάκων. Από την άλλη, για τις μικρές τιμές του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων  $U_f$ , μειώνεται η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση  $E_y$ , αυξανόμενου του ποσοστού  $P_f$  των υαλοπινάκων. Αυτό εξηγείται από το ότι το ηλιακό θερμικό κέρδος μέσω των υαλοπινάκων, το οποίο είναι άμεσα συνδεδεμένο με το ποσοστό  $P_f$  είναι επιθυμητό μόνο κατά τους χειμερινούς μήνες.
- ii. Η παραπάνω συμπεριφορά του  $U_f$ , εξηγεί την ύπαρξη μιας τιμής  $U_{f0}$  του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας, για την οποία η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση  $E_y$  είναι ανεξάρτητη του ποσοστού  $P_f$  των υαλοπινάκων. Υπάρχει επομένως, για κάθε συνδυασμό των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν την μόνωση  $(k_i, w_i)$ , μια τιμή  $U_{f0}$  του  $U_f$  για την οποία η  $E_y$  παραμένει σταθερή για οποιοδήποτε ποσοστό  $P_f$  των υαλοπινάκων. Αυτό το εύρημα δίνει τέλος στις διενέξεις των μηχανολόγων με τους αρχιτέκτονες, συχνό θέμα των οποίων είναι η ορθή επιλογή του ποσοστού  $P_f$  των υαλοπινάκων για ένα κτίριο. Επιλέγοντας λοιπόν να τοποθετηθούν σε ένα κτίριο υαλοπίνακες με συντελεστή θερμικής διαπερατότητας  $U_{f0}$ , η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση θα είναι ανεξάρτητη του ποσοστού που καλύπτουν οι υαλοπίνακες επί της συνολικής επιφάνειας του κελύφους. Μπορεί έτσι να ικανοποιείται η επιθυμία των αρχιτεκτόνων να τοποθετούν πολλούς υαλοπίνακες στα κτίρια ώστε αφενός να πετυχαίνουν καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα και αφετέρου να αξιοποιείται ο φυσικός φωτισμός. Επιπλέον η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού συνεπάγεται και ελάττωση της ενεργειακής κατανάλωσης, αφού περιορίζεται η ανάγκη χρήσης

τεχνητού φωτισμού. Σημαντικό είναι ότι η τιμή του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας  $U_{fo}$  δεν είναι κάποια ακραία τιμή (συνήθως  $U_{fo} = 1W/m^2K$  ή  $U_{fo} = 2W/m^2K$ , είτε κάποια ενδιάμεση) που να καθιστά το κτιριακό κέλυφος ενεργειακά φιλικό αλλά οικονομικά απαγορευτικό.

- iii. Για τις μεγάλες τιμές του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας  $U_f$  των υαλοπινάκων, ο ρυθμός αύξησης της ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης  $E_y$ , αυξανόμενου του ποσοστού  $P_f$  είναι μεγάλος. Από την άλλη, για τις μικρές τιμές του  $U_f$ , ο ρυθμός μείωσης της  $E_y$ , αυξανόμενου του ποσοστού  $P_f$  των υαλοπινάκων είναι μικρός.
- iv. Καθώς η αποδοτικότητα της μόνωσης περιορίζεται (είτε λόγω αύξησης του  $k_i$ , είτε λόγω μείωσης του  $w_i$ ), όλες οι καμπύλες της  $U_f$  κινούνται σε μεγαλύτερες τιμές της ενεργειακής κατανάλωσης  $E_y$ . Παρατηρώντας μια συγκεκριμένη καμπύλη  $U_f$  σε δύο διαφορετικά διαγράμματα (σε ένα με περισσότερο αποδοτική μόνωση και σε άλλο με λιγότερο αποδοτική μόνωση) βλέπουμε ότι για μεγάλα  $U_f$  η κλίση της καμπύλης μένει περίπου σταθερή ενώ για μικρά  $U_f$  η κλίση της καμπύλης αυξάνεται καθώς πηγαίνουμε σε διαγράμματα που αντιστοιχούν σε λιγότερο αποδοτική μόνωση.
- v. Οι καμπύλες των μεγάλων τιμών του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας  $U_f$  αντιστοιχούν σε μεγαλύτερες τιμές ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης σε σχέση με αυτές μικρών τιμών  $U_f$ , δηλαδή οι καμπύλες των μεγάλων  $U_f$  είναι πάνω από τις καμπύλες των μικρών  $U_f$ . Αυτό είναι άλλωστε αναμενόμενο, μια και μεγάλες τιμές  $U_f$  συνεπάγονται και μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας δι' αγωγής μέσω των υαλοπινάκων.

Τα συμπεράσματα, στα οποία καταλήξαμε αναφορικά με την επίδραση των κύριων χαρακτηριστικών του κτιριακού κελύφους στην ετήσια ενεργειακή κατανάλωση, έχουν όχι μόνο θεωρητικό αλλά και πρακτικό ενδιαφέρον. Τα Διαγράμματα που παραθέσαμε στο Κεφάλαιο αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν από μηχανικούς, ώστε να κάνουν εκτιμήσεις πάνω στην ετήσια ενεργειακή κατανάλωση που προσδοκείται από την επιλογή οποιουδήποτε από τους συνδυασμούς των παραμέτρων σε ένα κτιριακό κέλυφος. Έτσι δίνεται η δυνατότητα στον μηχανικό να προτείνει την κατασκευή ενός κτιριακού κελύφους το οποίο όχι μόνο να εξοικονομεί ενέργεια κατά τα χρόνια λειτουργίας του, αλλά και να έχει χαμηλά αρχικά έξοδα καθώς και να είναι καλαίσθητο.

Τα αποτελέσματα της παραμετρικής μελέτης που έγιναν στο κεφάλαιο αυτό συγκρίνονται με τα αντίστοιχα που προέκυψαν με χρήση της μεθόδου πεπερασμένων διαφορών και τα οποία περιλαμβάνονται στο άρθρο «Adjustment of envelopes characteristics to climatic conditions for saving heating and cooling energy in buildings» το οποίο πρόκειται να παρουσιασθεί στο συνέδριο ECOS, τον Ιούνιο 2012 [36]. Φυσικά εντοπίζονται κάποιες αποκλίσεις, οι οποίες όμως μας επιτρέπουν να σχολιάσουμε ότι η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία υστερεί σε ακρίβεια αλλά δεν δίνει αναληθή αποτελέσματα.



## 11. Μελλοντικοί Στόχοι

Φτάνοντας στο τέλος της εργασίας, θεωρούμε σκόπιμο να προτείνουμε τρόπους μελλοντικής προσέγγισης του θέματος, γιατί οι μελέτες πάνω στην ενεργειακή κατανάλωση έχουν μεγάλο θεωρητικό αλλά και πρακτικό ενδιαφέρον.

Ως θέματα που θα μπορούσαν να μελετηθούν, προτείνουμε την επίδραση του συνδυασμού των βασικών παραμέτρων του κτιριακού κελύφους (τις οποίες εξετάσαμε εδώ) και άλλων λιγότερο ή περισσότερο σημαντικών, στην ενεργειακή κατανάλωση για εξασφάλιση θερμικής άνεσης. Στις παραμέτρους αυτές συμπεριλαμβάνουμε ενδεικτικά τις ακόλουθες:

- το συντελεστή σκίασης του κελύφους από παρακείμενα κτίρια αλλά και από το ίδιο το κέλυφος (πχ από τα μπαλκόνια των υψηλότερων ορόφων για πολυκατοικίες),
- τη μείωση του βαθμού έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας λόγω νέφωσης (εξωτερικές συνθήκες μελέτης),
- τη τιμή της εσωτερικής θερμοκρασίας (αντί για  $T_{in} = 20^{\circ}C$  που θεωρήσαμε εδώ για την περίοδο θέρμανσης, θα μπορούσαμε να λάβουμε  $T_{in} = 22^{\circ}C$  για την ίδια περίοδο).
- το φορτίο λόγω φωτισμού των κτιρίων (λειτουργική παράμετρος), για το οποίο ενδιαφέροντα αποτελέσματα θα μπορούσαν να προκύψουν από το συσχετισμό του προσανατολισμού των υαλοπινάκων με το φωτισμό. Ακόμα, αναφορικά και με την προοριζόμενη χρήση του κτιρίου, είναι γνωστό ότι στα κτίρια που λειτουργούν σαν επαγγελματικές στέγες, η πολύωρη λειτουργία του φωτισμού παίζει σημαντικό ρόλο στην ενεργειακή κατανάλωση σε αυτά.
- το φορτίο λόγω ανανέωσης και διεύδυσης αέρα (λειτουργική παράμετρος), αύξηση ή μείωση του οποίου επιδρά στο συνολικό φορτίο του κελύφους και άρα στην τιμή της ενεργειακής κατανάλωσης.

## **Βιβλιογραφία**

- [1] [en.wikipedia.org/wiki/Building-envelope](http://en.wikipedia.org/wiki/Building-envelope), Ανακτ. 5/3/2012
- [2] [resourcecenter.pnl.gov/cocoon/morf/ResourceCenter/article/114](http://resourcecenter.pnl.gov/cocoon/morf/ResourceCenter/article/114), Ανακτ.5/3/2012
- [3] Pensily A.K., (1999), “Myths About Building Envelopes”, *Ashrae Journal*
- [4] Beall C., (1999), *Thermal and moisture protection manual for architects, engineers and contractors*
- [5] Van Straaten J.F., (1967), *Thermal Performance of Buildings*
- [6] Κακάτσιος Ξ., (2006), *Αρχές Μεταφοράς Θερμότητας και Μάζας*
- [7] Τζιβανίδης Χ., *Θερμική Συμπεριφορά Κτιρίων*
- [8] [en.wikipedia.org/wiki/Thermal-comfort](http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal-comfort), Ανακτ. 5/3/2012
- [9] [en.wikipedia.org/wiki/Sick-Building-Syndrome](http://en.wikipedia.org/wiki/Sick-Building-Syndrome), Ανακτ. 5/3/2012
- [10] ΦΕΚ 407/ 9-4-2010, “Έγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων”
- [11] Αντωνόπουλος Κ.Α., (2008), *Θερμικά-Ηλιακά Συστήματα*
- [12] [archive.enet.gr/online/online\\_obj?pid=191&tp=T&id=65678904](http://archive.enet.gr/online/online_obj?pid=191&tp=T&id=65678904)
- [13] [anelixi.org/index.php?cid=2](http://anelixi.org/index.php?cid=2), Ανακτ. 5/3/2012
- [14] Tzivanidis C., Antonopoulos K.A., Gioti F., (2011), “Computational analysis of the envelope parameters effects on the transient heating energy consumption of buildings”, *24th Int. Conf. ECOS*, p.p. 1894-1908
- [15] Αντωνόπουλος Κ.Α., (2008), *Κλιματισμός*
- [16] Κ.ΕΝ.Α.Κ.
- [17] [el.wikipedia.org/wiki/Ορυκτοβάμβακας](http://el.wikipedia.org/wiki/Ορυκτοβάμβακας), Ανακτ. 9/3/2012
- [18] [el.wikipedia.org/wiki/Υαλοβάμβακας](http://el.wikipedia.org/wiki/Υαλοβάμβακας), Ανακτ. 9/3/2012
- [19] [www.protectivo.gr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=168isover-&catid=75:-eco&Itemid=187](http://www.protectivo.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=168isover-&catid=75:-eco&Itemid=187), Ανακτ. 9/3/2012
- [20] [el.wikipedia.org/wiki/Πετροβάμβακας](http://el.wikipedia.org/wiki/Πετροβάμβακας), Ανακτ. 9/3/2012
- [21] [www.all4me.gr/2011/02/16/θερμομονωτικά-υλικά](http://www.all4me.gr/2011/02/16/θερμομονωτικά-υλικά), Ανακτ.9/3/2012
- [22] [el.wikipedia.org/wiki/Ξυλόμαλλο](http://el.wikipedia.org/wiki/Ξυλόμαλλο), Ανακτ. 9/3/2012
- [23] [el.wikipedia.org/wiki/Πάνελ\\_πολυουρεθάνης](http://el.wikipedia.org/wiki/Πάνελ_πολυουρεθάνης), Ανακτ. 9/3/2012
- [24] [el.wikipedia.org/wiki/Διογκωμένη\\_πολυστερίνη](http://el.wikipedia.org/wiki/Διογκωμένη_πολυστερίνη), Ανακτ. 9/3/2012
- [25] [el.wikipedia.org/wiki/Εξηλασμένη\\_πολυστερίνη](http://el.wikipedia.org/wiki/Εξηλασμένη_πολυστερίνη), Ανακτ. 9/3/2012
- [26] [www.monopan.gr/view\\_cat.php?cat\\_id=53](http://www.monopan.gr/view_cat.php?cat_id=53), Ανακτ. 9/3/2012

- [27] [en.wikipedia.org/wiki/Vacuum\\_insulated\\_panel](http://en.wikipedia.org/wiki/Vacuum_insulated_panel), Ανακτ. 9/3/2012
- [28] [en.wikipedia.org/wiki/Aerogel](http://en.wikipedia.org/wiki/Aerogel), Ανακτ. 9/3/2012
- [29] Aktacir M.A., Buyukalaca O., Yilmaz T., (2010), “A case study for influence of building thermal insulation on cooling load and air-conditioning system in the hot and humid regions”, *Applied Energy* 87, p. 599-607
- [30] Dombayci O.A., Golcu M., Panca Y., (2006), “Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources”, *Applied Energy* 83, p. 921-928
- [31] Al-Sanea S.A., Zedan M.F., Al-Ajlan S.A., (2005), “Effect of electricity tariff on the optimum insulation-thickness in building walls as determined by a dynamic heat-transfer model”, *Applied Energy* 82, p. 313-330
- [32] Hasan A., (1999), “Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost”, *Applied Energy* 63, p.115-124
- [33] Hasouneh K., Alshboul A., Al-Salaymeh A., (2010), “Influence of windows on the energy balance of apartment building in Amman”, *Energy Conversion and Management* 52, p. 1583-1591
- [34] Πέδριος Σ.Δ., (2007), *Επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια-αθλητικά κέντρα-βιομηχανίες-μεταφορές*
- [35] Mahlia T.M.I., Toufiq B.N., Ismail, Masjuki H.H., (2007), “Correlation between thermal conductivity and the thickness of selected insulation materials for building wall”, *Energy and Buildings* 39, p. 182-187
- [36] Tzivanidis C., Antonopoulos K.A., Gioti F., (under publication 2012), “Adjustment of envelopes characteristics to climatic conditions for saving heating and cooling energy in buildings”