



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

*Επίδραση του συνδυασμού τιμών
των κυριότερων παραμέτρων του κτιριακού
κελύφους στις συνθήκες θερμικής άνεσης
κατά τους χειμερινούς μήνες*

Διπλωματική εργασία:

ΑΔΑΜΟΠΟΥΛΟΥ ΕΛΕΝΗ

Επιβλέπων: ΚΙΜΩΝ Α. ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ
Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ 2013

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η επίδραση του συνδυασμού τιμών των κυριότερων παραμέτρων του κτιριακού κελύφους στις συνθήκες θερμικής άνεσης κατά τους χειμερινούς μήνες.

Αρχικά στο βιβλιογραφικό πρώτο μέρος περιγράφονται τα δομικά στοιχεία του κτιριακού κελύφους ,τα βασικά χαρακτηριστικά τους και ο τρόπος που αυτά επιδρούν στην ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου. Επιπλέον αναπτύσσονται οι έννοιες που είναι απαραίτητες για την κατανόηση της θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου καθώς και το θεσμικό πλαίσιο που εφαρμόζεται για τη μείωση και τον έλεγχο της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιριακού τομέα.

Στο δεύτερο μέρος, υπολογίζεται η ενεργειακή κατανάλωση συγκεκριμένου κτιρίου αναφοράς κατά τους χειμερινούς μήνες και μελετάται η διακύμανση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου λόγω της επίδρασης του συνδυασμού των κυριότερων παραμέτρων της μόνωσης και των υαλοπινάκων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι καμπύλες ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου αναφοράς για διάφορους συνδυασμούς των παραμέτρων και τέλος προσεγγίζονται οι τιμές των παραμέτρων μόνωσης και υαλοπινάκων με τις οποίες επιτυγχάνεται ψευδοαδιαβατικό κέλυφος για κάθε χειμερινό μήνα.

Λέξεις κλειδιά: «κτιριακό κέλυφος», «ενεργειακή κατανάλωση θέρμανσης», «ψευδοαδιαβατικό κέλυφος», «θερμομόνωση», «υαλοπίνακες»

Abstract

The present thesis examines the effect of the combinations of values of the main envelope parameters on building's thermal comfort during winter.

Initially in the bibliographic first part the elements of the building envelope, their basic characteristics and their effect on the energy consumption of the building are described. Moreover, a review is developed about the necessary terms for understanding the thermal behavior of a building and the state laws applied to reduce and control the energy consumption of the building sector.

In the second part, the energy consumption of a typical reference building during the winter months is calculated and the heating energy consumption's variation of the building due to the effect of the combination of the most important parameters of insulation and fenestration is examined. Afterwards, there is a presentation of the contours of the daily heating energy consumption of the reference building calculated for various combinations of parameters, and finally there is an approach of the values of insulation and fenestration parameters for which a quasi-adiabatic envelope is achieved for each winter month.

Keywords: "building envelope", "heating energy consumption", "quasi-adiabatic envelope", "insulation", "fenestration"

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου και επιβλέποντα κ. Κίμωνα Α. Αντωνόπουλο για την βοήθεια και καθοδήγηση του καθώς και για το χρόνο που μου διέθεσε για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Ακόμα, θέλω να ευχαριστήσω πολύ την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την βοήθεια και συμπαράσταση τους όλο αυτό τον καιρό.

Περιεχόμενα

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ: ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

| | |
|---|-----------|
| 1.Ενεργειακό πρόβλημα και κτιριακός τομέας..... | 13 |
| 1.1 Εισαγωγή..... | 13 |
| 1.2 Βιοκλιματικός σχεδιασμός | 15 |
| 1.3 Κ.ΕΝ.Α.Κ. | 17 |
| 2. Εσώκλιμα και θερμική άνεση | 23 |
| 2.1 Εισαγωγή..... | 23 |
| 2.2 Θερμική άνεση | 25 |
| 2.3. Οπτική άνεση..... | 29 |
| 2.4 Ποιότητα αέρα..... | 31 |
| 3. “Εξώκλιμα” | 33 |
| 3.1 Κλίμα | 33 |
| 3.2 Ηλιακή ακτινοβολία | 34 |
| 3.2.1 Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία | 34 |
| 3.2.2 Επίδραση της θέσης του ήλιου και της επιφάνειας | 35 |
| 3.3 Το κτίριο ως ηλιακός συλλέκτης | 38 |
| 4. Κτιριακό κέλυφος | 41 |
| 4.1 Εισαγωγή-Ορισμός..... | 41 |
| 4.2 Βασικά στοιχεία οικοδομικής | 41 |
| 4.2.1 Τοιχοποιία | 41 |
| 4.2.2 Κονιάματα | 45 |
| 4.2.3 Επιχρίσματα..... | 46 |
| 4.2.4 Σκυρόδεμα | 46 |
| 4.2.5 Φέροντα στοιχεία..... | 47 |
| 4.3 Οροφές | 47 |
| 4.4 Δάπεδα | 50 |
| 4.5 Θερμομόνωση | 51 |
| 4.5.1 Εισαγωγή | 51 |
| 4.5.2 Ιδιότητες μονωτικών υλικών | 53 |
| 4.5.3 Μονωτικά υλικά | 55 |
| 4.5.3.1 Οικολογικά θερμομονωτικά υλικά..... | 63 |

| | |
|--|------------|
| 4.5.3.2 Νέες τεχνολογίες | 66 |
| 4.5.4. Τρόποι θερμομόνωσης..... | 70 |
| 4.6. Υαλοπίνακες | 77 |
| 4.6.1 Βασικές ιδιότητες υαλοπινάκων | 77 |
| 4.6.2. Είδη υαλοπινάκων και νέες τεχνολογίες..... | 79 |
| 4.7 Πλαίσια –Κουφώματα | 86 |
| 4.8.Σκίαστρα | 87 |
| 5. Θερμικά χαρακτηριστικά δομικών στοιχείων κτιριακού κελύφους | 91 |
| 5.1 Βασικές έννοιες..... | 91 |
| 5.2 Βασικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κελύφους | 98 |
| 5.3 Επίδραση των παραμέτρων των αδιαφανών στοιχείων κτιριακού κελύφους στη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου | 101 |
| 5.4 Επίδραση των παραμέτρων διάφανων δομικών στοιχείων κτιριακού κελύφους στη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου..... | 105 |
| 5.5 Συνδυασμός παραμέτρων..... | 112 |
| <i>ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ: ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ</i> | |
| 6. Θερμική συμπεριφορά κτιρίου αναφοράς κατά τους χειμερινούς μήνες | 119 |
| 6.1 Εισαγωγή..... | 119 |
| 6.2 Υπολογισμός προσπίπτουσας στιγμιαίας ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου G_t | 120 |
| 6.2.1 Υπολογισμός άμεσης και διάχυτης στιγμιαίας ηλιακής ακτινοβολίας οριζόντιου επιπέδου G_b, G_d | 121 |
| 6.2.2 Υπολογισμός του λόγου της άμεσης ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου προς την άμεση οριζόντιου επιπέδου R_b | 124 |
| 6.2.3 Υπολογισμός προσπίπτουσας στιγμιαίας ηλιακής ακτινοβολίας | 128 |
| 6.3 Υπολογισμός συνολικού φορτίου κελύφους | 134 |
| 6.3.1 Κτίριο αναφοράς..... | 134 |
| 6.3.2. Υπολογισμός θερμικού ηλιακού κέρδους υαλοπινάκων | 135 |
| 6.3.3 Υπολογισμός θερμικού φορτίου υαλοπινάκων διάγωγής..... | 137 |
| 6.3.4 Υπολογισμός φορτίου εξωτερικών τοίχων | 140 |
| 6.3.5 Υπολογισμός φορτίου διαμέσου οροφής | 152 |
| 6.3.6 Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρα | 155 |
| 6.3.7 Υπολογισμός συνολικού φορτίου κελύφους..... | 156 |
| 7. Διακύμανση της ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης για διάφορους συνδυασμούς των παραμέτρων μόνωσης και υαλοπινάκων | 161 |
| 8. Καμπύλες ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης..... | 187 |

| | |
|--|------------|
| 8.1 Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης για το κτίριο αναφοράς | 187 |
| 8.2 Καμπύλες ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης με διαφορετική κατανομή του ποσοστού υαλοπινάκων στο κτίριο αναφοράς για την 21 ^η Ιανουαρίου | 211 |
| 9. Ψευδοαδιαβατικό κέλυφος | 215 |
| 9.1 Ψευδοαδιαβατικό κέλυφος για το κτίριο αναφοράς | 215 |
| 9.2 Προσέγγιση ψευδοαδιαβατικού κελύφους για διαφορετική κατανομή του ποσοστού υαλοπινάκων στο κτίριο αναφοράς | 224 |
| Βιβλιογραφία..... | 232 |

1.Ενεργειακό πρόβλημα και κτιριακός τομέας

1.1 Εισαγωγή

Σε παγκόσμιο επίπεδο η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται διαρκώς με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η ατμοσφαιρική ρύπανση κυρίως λόγω της εκπομπής αερίων από καύσιμα (δημιουργία ρύπων που συμβάλλουν στην ανάπτυξη του φαινομένου του θερμοκηπίου). Στις μέρες μας το πρόβλημα αυτό έχει αποσπάσει πια την προσοχή που του αρμόζει και έχει πια καταστεί σαφής η ανάγκη για επίλυση του. Οι οροί «πράσινη ανάπτυξη», «ενεργειακή πολιτική» συναντώνται πλέον σε μεγάλο βαθμό καθώς τα περισσότερα κράτη εφαρμόζουν μέτρα για την εξοικονόμηση ενέργειας και ταυτόχρονα την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος, στοχεύοντας στην εξεύρεση και σωστή διαχείριση των ενεργειακών πόρων και τη μείωση της ρύπανσης καθώς και των συνεπειών της στη δημόσια υγεία.

Στα πλαίσια αυτά, έχει δοθεί ιδιαίτερη σημασία στον κατασκευαστικό τομέα καθώς τα κτίρια αποτελούν ένα μεγάλο ενεργειακό καταναλωτή που ταυτόχρονα διαθέτει υψηλό δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας.

Ο κτιριακός τομέας είναι υπεύθυνος για το 40% περίπου της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο. Η κατανάλωση αυτή, είτε σε μορφή θερμικής (κυρίως πετρέλαιο) είτε σε μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, έχει ως αποτέλεσμα, εκτός της σημαντικής οικονομικής επιβάρυνσης λόγω του υψηλού κόστους της, τη μεγάλη επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με ρύπους, κυρίως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), που ευθύνεται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Στην Ελλάδα τα κτίρια ευθύνονται περίπου για το 36% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης και για το 22% των εκπομπών CO₂, υπερβαίνοντας έτσι τις εκπομπές της βιομηχανίας. Κατά την περίοδο 2000–2005, τα κτίρια αύξησαν την ενεργειακή τους κατανάλωση κατά περίπου 24%, μία από τις μεγαλύτερες αυξήσεις στην Ευρώπη, κυρίως λόγω της αύξησης της χρήσης κλιματιστικών και μικροσυσκευών. Οι ανάγκες για θέρμανση των κτιρίων ανέρχονται περίπου στο 70% της συνολικής ενεργειακής τους κατανάλωσης. Η κατανάλωση ενέργειας για

τις οικιακές συσκευές, το φωτισμό και τον κλιματισμό ανέρχεται στο 18% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου. Το υπόλοιπο 64% είναι αυτόνομα θερμαινόμενες κατοικίες που χρησιμοποιούν σε ποσοστό 25% πετρέλαιο, 12% ηλεκτρισμό και 18% καυσόξυλα [1].

Για τις ενεργειακές απώλειες των κτιρίων υπεύθυνοι είναι σε μεγάλο βαθμό το κέλυφος και τα παράθυρα καθώς αποτελούν τις επιφάνειες στις οποίες οφείλεται το 70% των απωλειών αυτών. Πιο συγκεκριμένα οι λόγοι για τους οποίους τα ελληνικά κτίρια είναι τόσο ενεργοβόρα είναι η μερική ή παντελή έλλειψη θερμομόνωσης, τα παλαιάς τεχνολογίας κουφώματα (πλαίσια / μονοί υαλοπίνακες), η ελλιπής ηλιοπροστασία των νότιων και δυτικών όψεών τους, η ανεπαρκής συντήρηση των συστημάτων θέρμανσης/κλιματισμού με αποτέλεσμα τη χαμηλή απόδοση τους [2]. Κυρίως δηλαδή για την αυξητική κίόλας τάση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων ευθύνεται η μη επαρκής αξιοποίηση του υψηλού ηλιακού δυναμικού της χώρας και η, για χρόνια, έλλειψη σχετικής νομοθεσίας (ο κανονισμός θερμομόνωσης νομοθετήθηκε το 1979).

Γίνεται λοιπόν σαφές ότι οι παρεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα είναι απολύτως απαραίτητες. Οι παρεμβάσεις αυτές μπορεί να αφορούν το κτιριακό κέλυφος (χρήση ενεργειακά αποδοτικών δομικών στοιχείων), τον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου ,τις εγκαταστάσεις θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού, ζεστού νερού και τις ηλεκτρικές συσκευές καθώς και την ορθολογική χρήση του κτιρίου και την αξιοποίηση των δομικών του στοιχείων (π.χ. ενεργειακή διαχείριση, φυσικός αερισμός, αξιοποίηση της θερμικής μάζας) [1].

Επιπλέον για την επίτευξη εξοικονόμηση ενέργειας θα πρέπει να γίνεται και σωστή ενημέρωση των χρηστών των κτιρίων σε θέματα ορθολογικής χρήσης και διαχείρισης της ενέργειας, ώστε να αποφεύγονται οι σπατάλες. Απλές πράξεις όπως το σβήσιμο των φώτων βγαίνοντας από ένα χώρο εξοικονομούν επιπλέον ενέργεια και θα έπρεπε να γίνου συνήθεια των χρηστών των κτιρίων.

Στην επίλυση των ζητημάτων αυτών ,σε εθνικό επίπεδο, καθοριστικό ρόλο παίζει το θεσμικό πλαίσιο που θεσπίστηκε στην Ελλάδα, δηλαδή ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων ο οποίος βασίζεται και στις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού και έχει στόχο την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.

1.2 Βιοκλιματικός σχεδιασμός [1]

Με τον όρο «βιοκλιματικός σχεδιασμός» περιγράφεται ο σχεδιασμός, ο οποίος, λαμβάνοντας υπόψη το τοπικό κλίμα (μικρόκλιμα) της περιοχής, επιδιώκει την επίτευξη των βέλτιστων συνθηκών εσωτερικής άνεσης (θερμικής, οπτικής, ποιότητα αέρα) αξιοποιώντας τις διαθέσιμες φυσικές πηγές, ελαχιστοποιώντας την κατανάλωση ενέργειας και μειώνοντας την ρύπανση της ατμόσφαιρας.

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός χρησιμοποιεί τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (κυρίως την αδάπανη ηλιακή ενέργεια) για τη θέρμανση και τον φυσικό φωτισμό των κτιρίων, περιορίζει την κατανάλωση συμβατικών καυσίμων και αποφεύγει τη χρήση κλιματιστικών συσκευών για την ψύξη του κτιρίου. Γίνεται αντιληπτό λοιπόν ότι η βιοκλιματική λογική στοχεύει άμεσα στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην προσαρμογή των κτιρίων στο περιβάλλον τους ενώ ταυτόχρονα συμβάλλει σημαντικά στην προστασία του περιβάλλοντος αποτελώντας έτσι μια λύση για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιριακού τομέα ο οποίος όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό για την ενεργειακή κρίση.

Βασικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι η λειτουργία του κτιρίου ως:

- ηλιακός συλλέκτης τον χειμώνα,
- αποθήκη θερμότητας,
- παγίδα θερμότητας,
- παγίδα φυσικού δροσισμού.

Για την επίτευξη των αρχών αυτών, είναι απαραίτητη η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση των κτιρίων το χειμώνα μέσω της κατάλληλης χωροθέτησης και προσανατολισμού του κτιρίου καθώς και των ανοιγμάτων του και η προσεχτική επιλογή δομικών υλικών και μονωτικών για την εξασφάλιση της σωστής θερμομόνωσης του κτιρίου. Επιπλέον, η ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων τους καλοκαιρινούς μήνες (με σκίαστρα κυρίως), η απομάκρυνση της θερμότητας που συσσωρεύεται μέσα στο κτίριο με συστήματα και τεχνικές παθητικού δροσισμού και η εξασφάλιση φυσικού φωτισμού και ελέγχου της ηλιακής ακτινοβολίες αποτελούν βασικούς στόχους του βιοκλιματικού σχεδιασμού [2].

Οι βασικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται στα πλαίσια του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι η *θερμική προστασία του κελύφους* κυρίως με τη σωστή θερμομόνωση και επιλογή υαλοπινάκων (ζητήματα τα οποία θα αναπτυχθούν

αναλυτικότερα στα επόμενα κεφάλαια), η *χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων* θέρμανσης και δροσισμού και η *χρήση συστημάτων φυσικού φωτισμού* [3].

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι δομικά στοιχεία του κτιρίου, που λειτουργούν χωρίς μηχανολογικά εξαρτήματα ή πρόσθετη παροχή ενέργειας και με φυσικό τρόπο θερμαίνουν ή δροσίζουν τα κτίρια. Η λειτουργία τους βασίζεται στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου» για τη δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας και τη μετατροπή της σε θερμότητα, στη θερμοχωρητικότητα των υλικών για την αποθήκευση της θερμότητας και στους βασικούς νόμους της θερμοδυναμικής για τη μεταφορά της θερμότητας από το χώρο της συλλογής στην αποθήκη θερμότητας ή και στο χώρο που θα θερμανθεί.

Χωρίζονται σε συστήματα άμεσου κέρδους και έμμεσου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα άμεσου παθητικού ηλιακού συστήματος είναι η τοποθέτηση παραθύρων με σωστό προσανατολισμό (κυρίως στο νότο) ώστε να αξιοποιείται άμεσα η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην πλευρά αυτή. Στα συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους περιλαμβάνονται οι ηλιακοί τοίχοι ή τοίχοι θερμικής αποθήκευσης (απλοί τοίχοι μάζας ή τοίχοι μάζας θερμοσιφωνικής ροής – *trombe*), τα θερμοσιφωνικά πανέλα, τα θερμοκήπια (ή ηλιακός χώρος), οι ηλιακοί χώροι (αίθρια) καθώς και η τοιχοποιία με διαφανή μόνωση.

Οι *ηλιακοί τοίχοι* αποτελούνται από τοιχοποιίες συνδυαζόμενες με υαλοστάσιο, τοποθετημένο εξωτερικά, σε απόσταση 5-15 cm. Η τοιχοποιία μπορεί να είναι ή αμόνωντος τοίχος μεγάλης θερμικής μάζας, είτε θερμομονωμένη κατασκευή. Το υαλοστάσιο μπορεί να είναι σταθερό ή ανοιγόμενο και να φέρει μονούς ή διπλούς υαλοπίνακες.

Οι *τοίχοι θερμικής αποθήκευσης* αποτελούνται από τοίχο κατασκευασμένο από υλικά υψηλής θερμοχωρητικότητας όπως σκυρόδεμα, πέτρα, συμπαγή τούβλα, ή δοχεία που περιέχουν νερό ή άλλο υλικό (υλικό αλλαγής φάσης). Η εξωτερική τους επιφάνεια είναι σκούρου χρώματος για αύξηση της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απορροφούμενη ακτινοβολία μεταδίδεται με αγωγή, ακτινοβολία και συναγωγή (μεταφορά μέσω του αέρα) στον εσωτερικό χώρο. Στον *τοίχο Trombe* μέρος της συλλεγόμενης θερμότητας στο διάκενο μεταξύ τοίχου και υαλοπίνακα μεταφέρεται μέσω θυρίδων στον εσωτερικό χώρο και αυτή είναι κι η διαφορά του με τους απλούς τοίχους μάζας.

Τα *θερμοσυφωνικά πανέλα* είναι παρόμοιας κατασκευής με τον τοίχο trombe με τη διαφορά ότι σε αυτά ο τοίχος του πανέλου απομονώνεται θερμικά από το διάκενο με χρήση θερμομόνωσης και η μεταφορά θερμότητας γίνεται μόνο με συναγωγή (μεταφορά) από τον αέρα του διακένου, ο οποίος μεταφέρεται στον εσωτερικό χώρο μέσω των θυρίδων ή αγωγών.

Τα ηλιακά αίθρια είναι ουσιαστικά τα αίθρια ενός κτιρίου επικαλυμμένα με υαλοστάσια τα οποία επιτρέπουν καλύτερη εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας και βοηθούν στο σωστό φωτισμό του χώρου.

Τέλος οι ηλιακοί χώροι ή αλλιώς θερμοκήπια είναι κλειστοί χώροι με μεγάλο ποσοστό γυάλινης επιφάνειας που προσαρτάται ή ενσωματώνεται στο κτιριακό κέλυφος κυρίως στην πλευρά με νότιο προσανατολισμό.

1.3 Κ.ΕΝ.Α.Κ. [4]

Με βάση την οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης 2002/91/ΕΚ, τα κράτη μέλη οφείλουν να εφαρμόσουν προγράμματα και να λάβουν ειδικά μέτρα για την ενεργειακή απόδοση στον κτιριακό τομέα στα πλαίσια της εξοικονόμησης ενέργειας που περιγράψαμε και παραπάνω.

Βάση αυτής, στην Ελλάδα θεσπίστηκε ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.ΕΝ.Α.Κ.) τον Απρίλιο του 2010. Ο Κ.ΕΝ.Α.Κ. διαμορφώνει τους όρους και τις προϋποθέσεις βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Σκοπός του είναι η μείωση της κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας για θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό (ΘΨΚ), φωτισμό και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ΖΝΧ) εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα συνθήκες άνεσης στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων.

Για την επίτευξη των στόχων, καθορίζεται μέσω του κανονισμού:

- η μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων,
- οι ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση,
- οι κατηγορίες για την ενεργειακή κατάταξη των κτιρίων,
- οι ελάχιστες προδιαγραφές για τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό των κτιρίων, τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους

και οι προδιαγραφές των H//M εγκαταστάσεων των νέων κτιρίων και των ριζικά ανακαινιζόμενων,

- η μορφή του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίου και τα στοιχεία που αυτό θα περιλαμβάνει,
- η διαδικασία των ενεργειακών επιθεωρήσεων των κτιρίων και η διαδικασία των επιθεωρήσεων λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού.

Βασικές παράμετροι που περιλαμβάνονται στον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης κάθε κτιρίου και αφορούν το κτιριακό κέλυφος είναι τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κελύφους (σχήμα, μορφή κτιρίου, διαφανείς και μη επιφάνειες, σκιάστρα) σε σχέση με τον προσανατολισμό τους και τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων όπως η θερμοπερατότητα, η θερμική μάζα, η απορροφητικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας κτλ. Επιπλέον στον υπολογισμό λαμβάνονται υπόψη και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των εγκαταστάσεων θέρμανσης, ψύξης, αερισμού, φωτισμού καθώς και τα παθητικά ηλιακά συστήματα.

Οι ελάχιστες προδιαγραφές που πρέπει να πληρούν τα κτίρια σύμφωνα με τον Κ.ΕΝ.Α.Κ. όσο αναφορά το σχεδιασμό και το κέλυφός τους είναι οι εξής:

✓ *Σχεδιασμός κτιρίου*

Θα πρέπει να γίνεται κατάλληλη χωροθέτηση και προσανατολισμός του κτιρίου ώστε να αξιοποιούνται οι τοπικές κλιματικές συνθήκες όσο το δυνατόν περισσότερο. Πιο συγκεκριμένα τα ανοίγματα θα πρέπει να είναι κατάλληλα σχεδιασμένα και χωροθετημένα ανάλογα με τις απαιτήσεις ηλιασμού, φωτισμού και αερισμού. Για τη χωροθέτηση των λειτουργιών θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η χρήση και οι απαιτήσεις θερμικής και οπτικής άνεσης ενώ απαιτείται και διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου για βελτίωση του μικροκλίματος. Τέλος, απαραίτητη κρίνεται η ενσωμάτωση τουλάχιστον ενός εκ των παθητικών ηλιακών συστημάτων άμεσου ή έμμεσου ηλιακού κέρδους καθώς και η ηλιοπροστασία, η ένταξη τεχνικών φυσικού αερισμού και η εξασφάλιση της θερμικής και οπτικής άνεσης σε όλο το εσωτερικό του κτιρίου.

✓ *Κτιριακό κέλυφος*

Όσο αναφορά τα χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κελύφους ο Κ.ΕΝ.Α.Κ. θέτει περιορισμούς στη θερμομόνωση τους καθώς καθορίζει τον μέγιστο επιτρεπόμενο συντελεστή θερμοπερατότητας των επιμέρους δομικών

στοιχείων του κελύφους ανά κλιματική ζώνη καθώς και την τιμή του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας κάθε νέου ή ριζικά ανακατασκευασμένου κτιρίου ανά κλιματική ζώνη και κατά λόγου επιφάνειας προς όγκο κτιρίου. Οι μέγιστες αυτές επιτρεπόμενες τιμές φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 1.3.1 : Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων κατά κλιματική ζώνη [4]

| Δομικό στοιχείο | Σύμβολο | Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας [W/(m ² ·K)] | | | |
|---|-----------------|---|--------|--------|--------|
| | | Ζώνη Α | Ζώνη Β | Ζώνη Γ | Ζώνη Δ |
| Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές) | U _R | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,35 |
| Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα | U _T | 0,60 | 0,50 | 0,45 | 0,40 |
| Δάπεδα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πιλοτές) | U _{FA} | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,35 |
| Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με μη θερμαινόμενους χώρους | U _{TU} | 1,50 | 1,00 | 0,80 | 0,70 |
| Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με το έδαφος | U _{TB} | 1,50 | 1,00 | 0,80 | 0,70 |
| Δάπεδα σε επαφή με κλειστούς μη θερμαινόμενους χώρους | U _{FU} | 1,20 | 0,90 | 0,75 | 0,70 |
| Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος | U _{FB} | 1,20 | 0,90 | 0,75 | 0,70 |
| Κουφώματα ανοιγμάτων | U _W | 3,20 | 3,00 | 2,80 | 2,60 |
| Γυάλινες προσόψεις κτηρίων μη ανοιγόμενες ή μερικώς ανοιγόμενες | U _{GF} | 2,20 | 2,00 | 1,80 | 1,80 |

Πίνακας 1.3.2 : Μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας κατά κλιματική ζώνη [4]

| Λόγος A/V [m ⁻¹] | Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας U _m [W/(m ² ·K)] | | | |
|----------------------------------|---|--------|--------|--------|
| | Ζώνη Α | Ζώνη Β | Ζώνη Γ | Ζώνη Δ |
| ≤ 0,2 | 1,26 | 1,14 | 1,05 | 0,96 |
| 0,3 | 1,20 | 1,09 | 1,00 | 0,92 |
| 0,4 | 1,15 | 1,03 | 0,95 | 0,87 |
| 0,5 | 1,09 | 0,98 | 0,90 | 0,83 |
| 0,6 | 1,03 | 0,93 | 0,86 | 0,78 |
| 0,7 | 0,98 | 0,88 | 0,81 | 0,73 |
| 0,8 | 0,92 | 0,83 | 0,76 | 0,69 |
| 0,9 | 0,86 | 0,78 | 0,71 | 0,64 |
| ≥ 1,0 | 0,81 | 0,73 | 0,66 | 0,60 |

Τέλος η διαδικασία υπολογισμού των συντελεστών θερμοπερατότητας, σκίασης, γραμμικής θερμοπερατότητας και του μέγιστου μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας του κτιρίου καθορίζεται από την αντίστοιχη τεχνική οδηγία του για τις εθνικές προδιαγραφές των παραμέτρων .

Κάθε νέο κτίριο καθώς και κάθε υφιστάμενο κτίριο που ανακαινίζεται ριζικά, πρέπει να πληροί τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης οι οποίες ικανοποιούνται όταν το κτίριο πληροί όλες τις ελάχιστες προδιαγραφές και ταυτόχρονα:

- είτε η συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του εξεταζόμενου κτιρίου είναι μικρότερη ή ίση από τη συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς,
- είτε το εξεταζόμενο κτίριο έχει τα ίδια τεχνικά χαρακτηριστικά με το κτίριο αναφοράς τόσο ως προς το κτιριακό κέλυφος όσο και ως προς τις ηλεκτρομηχανολογικές του εγκαταστάσεις στο σύνολό τους.

Οι κατηγορίες για την ενεργειακή ταξινόμηση των κτιρίων διακρίνονται στον πίνακα 1.3.3 όπου γίνεται αντιληπτό ότι για τον καθορισμό τους λαμβάνονται υπόψη δύο παράμετροι ο δείκτης R και ο λόγος T.

Πίνακας 1.3.3 : Κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτιρίων[4]

| Κατηγορία | Όρια κατηγορίας | Όρια κατηγορίας |
|-----------|-----------------------------|----------------------|
| A+ | $EP \leq 0,33R_R$ | $T \leq 0,33$ |
| A | $0,33R_R < EP \leq 0,50R_R$ | $0,33 < T \leq 0,50$ |
| B+ | $0,50R_R < EP \leq 0,75R_R$ | $0,50 < T \leq 0,75$ |
| B | $0,75R_R < EP \leq 1,00R_R$ | $0,75 < T \leq 1,00$ |
| Γ | $1,00R_R < EP \leq 1,41R_R$ | $1,00 < T \leq 1,41$ |
| Δ | $1,41R_R < EP \leq 1,82R_R$ | $1,41 < T \leq 1,82$ |
| E | $1,82R_R < EP \leq 2,27R_R$ | $1,82 < T \leq 2,27$ |
| Z | $2,27R_R < EP \leq 2,73R_R$ | $2,27 < T \leq 2,73$ |
| H | $2,73R_R < EP$ | $2,73 < T$ |

Ο δείκτης R λαμβάνεται ίσος με την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς. Ο λόγος T είναι το πηλίκο της υπολογιζόμενης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του εξεταζόμενου κτιρίου (EP) προς την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς και αποτελεί τη βάση για τον καθορισμό των κατηγοριών ενεργειακής απόδοσης. Η ετήσια συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς

αντιστοιχεί στο άνω όριο της κατηγορίας ενεργειακής απόδοσης B. Κτίρια με χαμηλότερη ή υψηλότερη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κατατάσσονται στην αντίστοιχη ενεργειακή κατηγορία.

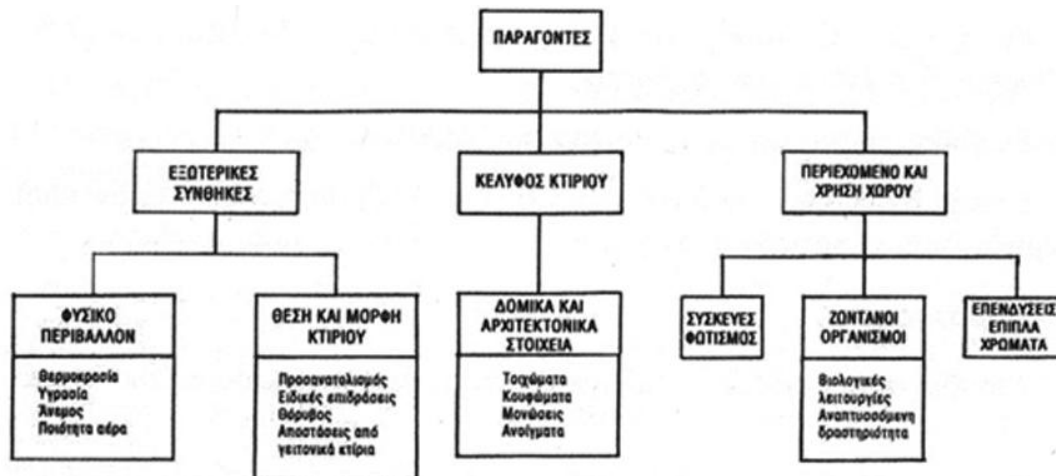
2. Εσώκλιμα και θερμική άνεση

2.1 Εισαγωγή

Ο ρόλος του κτιρίου είναι να υποβοηθήσει την ανθρώπινη δραστηριότητα και να παρέχει προστασία από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες. Πρέπει λοιπόν ένα κτίριο να προσφέρει το καλύτερο δυνατό εσωτερικό περιβάλλον στους χρήστες του είτε αυτό χρησιμοποιείται ως κατοικία είτε ως χώρος εργασίας.

Το σύνολο των περιβαλλοντικών παραμέτρων των εσωτερικών χώρων ενός κτιρίου ονομάζεται *εσώκλιμα* [2]. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το εσώκλιμα ενός χώρου είναι:

- οι εξωτερικές συνθήκες (εξωτερικό περιβάλλον, θέση και μορφή του κτιρίου),
- το κέλυφος του κτιρίου (δομικά στοιχεία) και
- το περιεχόμενο και η χρήση του κτιρίου (παρουσία ανθρώπων, φωτισμός, συσκευές κ.λπ.).



Εικόνα 2.1.1 Παράγοντες που επηρεάζουν το εσώκλιμα ενός κτιρίου [2]

Όπως φαίνεται και από τα παραπάνω η έννοια της θερμικής άνεσης είναι άκρως συνδεδεμένη με τα χαρακτηριστικά κατασκευής και λειτουργίας του κτιρίου, καθώς κάθε κτίριο αποτελεί ένα υποσύστημα του εξωτερικού περιβάλλοντος και η αλληλεπίδραση μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος είναι δεδομένη.

Οι εσωτερικοί χώροι ενός κτιρίου θα πρέπει να εξασφαλίζουν τις απαιτούμενες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας, αερισμού καθώς και τα κατάλληλα επίπεδα

φωτισμού, χρωμάτων, ακουστικής, ποιότητας αέρα. Η επίτευξη καλής ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος στα κτίρια προσφέρει πλήρη άνεση στους χρήστες, η οποία αναλύεται σε θερμική, οπτική και ακουστική και τους εξασφαλίζει ένα υγιεινό περιβάλλον. Εκτός από τις παραπάνω παραμέτρους αξίζει να σημειωθεί ότι στη δημιουργία επιθυμητού εσωκλίματος παίζει κάποιο ρόλο και ο ανθρώπινος παράγοντας. Η χρήση ενός κτιρίου από τους χρήστες του μπορεί να οδηγήσει είτε σε βελτίωση του εσωτερικού περιβάλλοντος είτε σε υποβάθμισή του [5].

Ένα ακατάλληλο εσωκλίμα μπορεί να δημιουργήσει πολλά προβλήματα στους χρήστες ενός κτιρίου καθώς οι επιπτώσεις έχουν άμεσο αντίκτυπο τόσο στις συνθήκες άνετης διαβίωσης μέσα στο κτίριο όσο και στην υγεία και την απόδοση των χρηστών του. Μπορεί να οδηγήσει απλά σε εμφάνιση φαινομένων δυσaréσκειας και δυσφορίας των χρηστών αλλά μπορεί ακόμα να οδηγήσει και στο σύνδρομο του “άρρωστου κτιρίου”(sick building syndrome) .

Ο όρος «άρρωστο κτίριο» αναφέρεται σε ένα κτίριο που δημιουργεί ένα νοσηρό και βλαβερό περιβάλλον για τους χρήστες του, καθώς παρουσιάζει προβλήματα εσωτερικής ρύπανσης λόγω μη επιθυμητών περιβαλλοντικών παραμέτρων στο



εσωτερικό του. Συμπτώματα όπως πονοκέφαλος, δύσπνοια, ίλιγγος, εξάντληση, λήθαργος, αδυναμία συγκέντρωσης σχετίζονται άμεσα με την παραμονή σε ένα τέτοιο περιβάλλον και αποτελούν το λεγόμενο σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου [6]. Δεδομένου ότι ο άνθρωπος σήμερα περνάει το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας μέσα σε κτίρια γίνεται αντιληπτή η σημασία που πρέπει να δίνεται στο θέμα του εσωκλίματος και της

θερμικής άνεσης.

Καθίσταται λοιπόν προφανές ότι ο ολοκληρωμένος σχεδιασμός ενός κτιρίου θα πρέπει να έχει ως στόχο τη βελτιστοποίηση των περιβαλλοντικών παραμέτρων του εσωκλιματός του. Θα πρέπει επίσης να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στα μέσα και συστήματα που χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίσουν τις επιθυμητές συνθήκες ώστε να λειτουργούν με τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας και την ελάχιστη επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

2.2 Θερμική άνεση [5,7]

Με τον όρο **θερμική άνεση** αναφερόμαστε στις συνθήκες εκείνες στις οποίες όταν βρίσκεται ένα άτομο δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή του εσωτερικού περιβάλλοντος. Είναι δηλαδή η κατάσταση ικανοποίησης που εκφράζει ένα άτομο όταν βρίσκεται σε θερμική ισορροπία με το περιβάλλον του και τις επικρατούσες θερμικές συνθήκες.

Η θερμική άνεση είναι μια νοητική κατάσταση, σχετικά υποκειμενική η οποία καθορίζεται από πολλούς παράγοντες. Οι σημαντικότεροι παράγοντες μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες, τους *φυσικούς-περιβαλλοντικούς*, τους *βιολογικούς* και τους *προσωπικούς* που σχετίζονται με τον άνθρωπο.

Φυσικοί παράγοντες

Είναι η θερμοκρασία του αέρα, η μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία των εσωτερικών επιφανειών, η υγρασία και η σχετική υγρασία του αέρα και η ταχύτητα του αέρα.

- *Θερμοκρασία αέρα*

Η θερμοκρασία του αέρα είναι καθοριστικός παράγοντας καθώς επηρεάζει την θερμική άνεση με πολλούς τρόπους και σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες παίζει το βασικότερο ρόλο για το ενεργειακό ισοζύγιο του ανθρώπου. Οι παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμοκρασία στο εσωτερικό των κτιρίων είναι κυρίως το εξωτερικό περιβάλλον, ο σχεδιασμός του κτιρίου (προσανατολισμός, υλικά κατασκευής δομικών στοιχείων) και τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης, αερισμού (ο τρόπος σχεδιασμού και λειτουργία τους) καθώς και τα διάφορα μηχανήματα και ηλεκτρικές συσκευές.

Το σώμα μας αντιλαμβάνεται τη θερμοκρασία του αέρα από τα αισθητήρια όργανα του δέρματος και του υποθαλάμου ρυθμίζοντας τη θερμοκρασία του. Πιο συγκεκριμένα, η θερμοκρασία επηρεάζει το ανθρώπινο σώμα και τις λειτουργίες ανταλλαγής ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας με το περιβάλλον. Η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα τείνει να μειώσει τις απώλειες θερμότητας με αγωγή και ακτινοβολία, ενώ αυξάνονται οι απώλειες θερμότητας λόγω εφίδρωσης. Η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζει και τη μέση θερμοκρασία του δέρματος.

- *Μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία των εσωτερικών επιφανειών*

Στη διαμόρφωση της ακτινοβολούμενης θερμοκρασίας σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν τα υλικά των επιφανειών (συγκεκριμένα οι συντελεστές εκπομπής τους στο μεγάλο μήκος κύματος), η εγκατεστημένη ενεργή ηλεκτρική ισχύ εξοπλισμού και ο πληθυσμός.

Η θερμική επίδραση στο ανθρώπινο σώμα της μέσης ακτινοβολούμενης θερμοκρασίας είναι παρόμοια με αυτή της θερμοκρασίας του αέρα. Σε χαμηλές ταχύτητες αέρα κοντά στα 0,1 m/s, η αύξηση της θερμοκρασία του αέρα κατά 1°C προκαλεί το ίδιο θερμικό αποτέλεσμα με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας κατά 1°C. Η βασική διαφορά της μέσης θερμοκρασία ακτινοβολίας από τη θερμοκρασία του αέρα είναι ότι η πρώτη ευθύνεται κυρίως για τις χωροταξικές διαφορές της θερμοκρασίας σε ένα χώρο και τη δημιουργία τοπικής δυσφορίας.

- *Σχετική υγρασία του αέρα*

Η υγρασία είναι το ποσό των υδρατμών που υπάρχει στον αέρα. Η σχετική υγρασία, που χρησιμοποιείται στην αξιολόγηση της θερμικής άνεσης, εκφράζεται ως ποσοστό του κορεσμένου αέρα σε υδρατμούς.

Η σχετική υγρασία συμβάλει στην εξάτμιση του νερού από την επιδερμίδα μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία του δέρματος και επηρεάζοντας το θερμικό ισοζύγιο του σώματος. Πιο συγκεκριμένα επηρεάζει το μηχανισμό διάχυσης των υγρών υπό τη μορφή αερίων του σώματός μας μέσω του δέρματος, το μηχανισμό εξάτμισης του ιδρώτα από την επιφάνεια του δέρματος και το μηχανισμό ύγρανσης του εισπνεόμενου αέρα. Τα αποδεκτά όρια σχετικής υγρασίας του αέρα είναι λιγότερο σαφή από αυτά της θερμοκρασίας και το ανώτερο επιτρεπτό επίπεδο της εξακολουθεί ακόμη να βρίσκεται υπό μελέτη.

- *Ταχύτητα εσωτερικών ρευμάτων αέρα*

Η κίνηση του αέρα χαρακτηρίζεται από την ταχύτητά του και τη μορφή της ροής του (στρωτή η τυρβώδης) .

Το ανθρώπινο σώμα δε διαθέτει ειδικά αισθητήρια για την ταχύτητα του αέρα. Αυτή προσδιορίζεται έμμεσα από τον ανθρώπινο εγκέφαλο. Η ταχύτητα του αέρα μεταβάλλει τις απώλειες θερμότητας του σώματος. Αύξηση της ταχύτητας του αέρα προσφέρει αυξημένες απώλειες θερμότητας με αποτέλεσμα ισορροπημένο θερμικό ισοζύγιο όταν έχουμε υψηλές θερμοκρασίες και υψηλή σχετική υγρασία.

Αντίθετα για χαμηλή θερμοκρασία, αύξηση της ταχύτητας του αέρα επιταχύνει τις απώλειες θερμότητας από το σώμα, σε σημείο που να προκαλεί την δυσφορία. Οι μεταβολές στη θερμοκρασία του σώματος από την ταχύτητα του αέρα είναι σε γενικές γραμμές απότομες, καθώς ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας δεν είναι γραμμικός.

Όσο αναφορά στον τύπο της ροής του αέρα, γενικά η περιοδικά μεταβαλλόμενη ροή του αέρα (που υπάρχει κυρίως στα κεντρικά κλιματιζόμενα κτίρια) προκαλεί συναισθήματα δυσφορίας, συγκρίνοντάς τη με τη στρωτή ροή.

Για τον υπολογισμό της ταχύτητας του αέρα χρησιμοποιούνται κυρίως δύο μέθοδοι ανάλογα με τον τρόπο που αερίζεται το κτίριο. Στα φυσικά αεριζόμενα κτίρια χρησιμοποιείται μια μονάδα που σχετίζεται με τον αριθμό αλλαγών του αέρα ενός χώρου. Η μονάδα αυτή περιγράφει πόσες φορές της ημέρας είναι απαραίτητο να ανανεωθεί πλήρως ο αέρας ενός χώρου.

Ο αριθμός των αλλαγών του αέρα εξαρτάται από τον αριθμό των ατόμων ενός χώρου, την επιφάνεια του χώρου και την ταχύτητα του αέρα, η οποία εξαρτάται από το είδος και το μέγεθος των ανοιγμάτων του χώρου και από τον τρόπο που ο χρήστης του χώρου τα χειρίζεται. Αντίθετα, στα μηχανικά αεριζόμενα κτίρια η ταχύτητα του αέρα μετράται σε m/s.

Βιολογικοί παράγοντες

Τους βιολογικούς παράγοντες αποτελούν το φύλο των χρηστών του χώρου, η ηλικία, η κατάσταση της υγείας τους και οι συνήθειες τους.

Προσωπικοί παράγοντες

Είναι κυρίως δύο: ο μεταβολισμός των χρηστών ο οποίος σχετίζεται με το είδος των δραστηριοτήτων τους (μεταβολική δραστηριότητα) και ο βαθμός ένδυσης τους και ο τύπος του ρουχισμού τους.

Ο μεταβολισμός και γενικά οι δραστηριότητες του ανθρώπινου σώματος οδηγούν σε έκλυση θερμότητας η οποία στη συνέχεια διοχετεύεται στο περιβάλλον ώστε να παραμένει η θερμοκρασία του σώματος σε επιτρεπτά επίπεδα.

Για καθιστική εργασία η θερμοκρασία του δέρματος για την επίτευξη θερμικής άνεσης είναι 33- 34°C και ελαττώνεται όσο αυξάνεται η δραστηριότητα. Αντίθετα με την επιδερμική, η εσωτερική θερμοκρασία αυξάνει όσο αυξάνεται η

δραστηριότητα. Η φυσιολογική θερμοκρασία ενός ανθρώπου που αναπαύεται είναι 36,8 °C και διαφέρει αισθητά από τις συνηθισμένες θερμοκρασίες των εσωτερικών χώρων, αυξάνει στους 37.4°C για ελαφρύ περπάτημα και φτάνει τους 37.9°C για τρέξιμο. Επειδή το μεγαλύτερο ποσοστό της θερμότητας μεταφέρεται προς το περιβάλλον διαμέσου του δέρματος συχνά χαρακτηρίζουμε τη μεταβολική δραστηριότητα με όρους παραγωγής θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας του δέρματος (met). Η θερμότητα που παράγεται από κάποιο ενήλικα σε κατάσταση ανάπαυσης είναι περίπου 100W και θεωρώντας ότι ένας μέσος ενήλικας έχει επιφάνεια δέρματος 1,8 m² (1,6 m² για τις γυναίκες) καταλήγουμε σε μεταβολική παραγωγή θερμότητας της τάξης των 58W/m² (1 met) σε κατάσταση ακινησίας/ανάπαυσης. Υψηλότεροι μεταβολικοί ρυθμοί υπολογίζονται σχεδόν πάντα σε σχέση με τη μονάδα met και τη κατάσταση ανάπαυσης.

Η μονάδα μέτρησης που χρησιμοποιείται για να εκφράσει τη μόνωση που παρέχει ο ρουχισμός στο ανθρώπινο σώμα είναι 1 clo. Το 1 clo είναι η απαραίτητη ποσότητα ρουχισμού ώστε να διατηρηθεί σε συνθήκες ευεξίας ένα άτομο σε χώρο θερμοκρασίας 21,1°C [8].

Προκειμένου να καθοριστούν οι τυπικές συνθήκες σχεδιασμού συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού θεωρούνται, ανάλογα με τη χρήση κάθε κτιρίου, σχεδόν σταθερές οι παράμετροι ένδυσης και δραστηριότητας των χρηστών, καθώς και οι ταχύτητες εσωτερικών ρευμάτων αέρα (που πρέπει να διατηρούνται στα επιβαλλόμενα όρια, προκειμένου να μην υπάρχει δυσφορία εκ μέρους των χρηστών). Έτσι, οι απομένουσες παράμετροι που θα διαμορφώσουν τη θερμική άνεση σε ένα χώρο είναι η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του αέρα καθώς και η θερμοκρασία των εσωτερικών επιφανειών.

Οι τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας εσωτερικών χώρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων είναι καθορισμένες και δίνονται από το TEE σε πίνακες ανάλογα με τη χρήση του χώρου όπως στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 2.2.1) που δίνονται οι τιμές για ενδεικτικές χρήσεις ενός χώρου.

Πίνακας 2.2.1 Τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας για εσωτερικούς χώρους[9]

| Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών | Θερμοκρασία [°C] | | Σχετική υγρασία [%] | | |
|--|------------------------|----------------|---------------------|----------------|----|
| | Χειμερινή περίοδο | Θερινή περίοδο | Χειμερινή περίοδο | Θερινή περίοδο | |
| Μονοκατοικία, πολυκατοικία (περισσότερα του ενός διαμερίσματα) | 20 | 26 | 40 | 45 | |
| Ξενοδοχείο ετήσιας λειτουργίας | 20 | 26 | 35 | 45 | |
| | θερινής λειτουργίας | 20 | 26 | 35 | 45 |
| | χειμερινής λειτουργίας | 20 | 26 | 35 | 45 |
| Ξενώνας ετήσιας λειτουργίας | 20 | 26 | 35 | 45 | |
| | θερινής λειτουργίας | 20 | 26 | 35 | 45 |
| | χειμερινής λειτουργίας | 20 | 26 | 35 | 45 |
| Οικοτροφείο και κοιτώνας | 20 | 26 | 40 | 45 | |
| Υπνοδωμάτιο ξενοδοχείου, οικοτροφείου κ.ά. | 20 | 26 | 40 | 45 | |
| Εστιατόριο | 20 | 26 | 35 | 50 | |
| Ζαχαροπλαστείο, καφενείο | 20 | 26 | 35 | 50 | |
| Νυχτερινό κέντρο διασκέδασης, μουσική σκηνή | 20 | 26 | 35 | 50 | |
| Θέατρο, κινηματογράφος | 20 | 26 | 35 | 50 | |
| Χώρος συναυλιών | 20 | 26 | 35 | 50 | |
| Χώρος εκθέσεων, μουσείο | 20 | 26 | 35 | 50 | |
| Χώρος συνεδρίων, αμφιθέατρο, αίθουσα δικαστηρίων | 20 | 26 | 35 | 45 | |
| Τράπεζα | 20 | 26 | 35 | 45 | |
| Αίθουσα πολλαπλών χρήσεων | 20 | 26 | 35 | 50 | |
| Κλειστό γυμναστήριο, κλειστό καλυμβητήριο | 18 | 25 | 35 | 45 | |
| Λουτρό (κοινόχρηστο) | 22 | 26 | 40 | 50 | |
| Νηπιαγωγείο | 20 | 26 | 35 | 45 | |
| Πρωτοβάθμια εκπαίδευση, δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης | 20 | 26 | 35 | 45 | |

2.3. Οπτική άνεση [2]

Η οπτική άνεση σε ένα χώρο καθορίζεται κυρίως από τις παρακάτω παραμέτρους:

- την ποσότητα του φυσικού φωτισμού,
- την κατανομή του στο χώρο και
- την ύπαρξη ή απουσία θάμβωσης.

Η οπτική άνεση στο εσωτερικό ενός κτιρίου εξαρτάται από ανάγκες του χώρου σε φωτισμό συνδυασμένες με τη χρήση του κτιρίου και τις λειτουργικές απαιτήσεις του. Ανάλογα με τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό ενός κτιρίου, απαιτείται ο κατάλληλος σχεδιασμός του συστήματος φωτισμού ώστε να

εξασφαλίζονται τα επιθυμητά αποτελέσματα, δηλαδή ένα περιβάλλον με την απαιτούμενη ποσότητα και ποιότητα φωτισμού, που να επιτρέπει την ευχάριστη διαμονή και την εκτέλεση εργασιών, χωρίς φαινόμενα που δημιουργούν οπτική δυσφορία και κόπωση.

Ποσότητα και κατανομή φυσικού φωτισμού

Το πηλίκο της λαμπρότητας στο εσωτερικό ενός κτιρίου, όπως μετράται σε ένα καθορισμένο ύψος εργασίας (συνήθως 0,8 - 1 m πάνω από το έδαφος), προς τη λαμπρότητα στο εξωτερικό του κτιρίου υπό συνθήκες πλήρως νεφοσκεπούς ουρανού, ονομάζεται παράγοντας φυσικού φωτισμού (ΠΦΦ). Εκτός από τις ελάχιστες ή μέγιστες τιμές του ΠΦΦ, που πρέπει να επικρατούν σε συγκεκριμένα σημεία ενός χώρου για να υπάρχουν αποδεκτά επίπεδα φωτισμού, σημασία για την οπτική άνεση έχει η όσο γίνεται πιο *ομοιογενής κατανομή* των τιμών του παράγοντα φυσικού φωτισμού σε όλο τον χώρο. Η ομοιόμορφη κατανομή του φωτισμού στο χώρο μειώνει τις αντιθέσεις σε φωτεινότητα αλλά επιπλέον προσφέρει τη δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας, αφού ισχύει ότι ένας χώρος φαίνεται στους χρήστες φωτεινότερος, όταν είναι ομοιόμορφα φωτισμένος, ακόμα κι όταν ποσοτικά το φως είναι λιγότερο.

Το *επίπεδο φωτισμού (ένταση ή στάθμη φωτισμού lx)* στο εσωτερικό ενός κτιρίου, το οποίο εξασφαλίζει την οπτική άνεση, εξαρτάται από τις απαιτήσεις των εργασιών που εκτελούνται στους χώρους αυτούς και αναφέρεται κυρίως σαν μέγεθος για τον τεχνητό φωτισμό. Οι ελάχιστες τιμές, που δίνονται από το ΤΕΕ για την ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου με βάση τα πρότυπα ΕΛΟΤ EN 12464.1:2002, επιτρεπόμενης εγκατεστημένης φωτιστικής (γενικής) ισχύος είναι $3,6 \text{ W/m}^2$ για κατοικίες και $5,5 \text{ W/m}^2$ για ξενοδοχεία και νοσοκομεία .

Θάμβωση

Το ανθρώπινο μάτι δεχόμενο το άμεσο φως, που εκπέμπεται από τις φωτεινές πηγές και το έμμεσο φως, που προέρχεται από την ανάκλαση του φωτός στις διάφορες επιφάνειες, τελικά προσαρμόζεται στη μέση ένταση φωτισμού του οπτικού του πεδίου. Όταν το μάτι δεχθεί φως από μια πηγή με ένταση φωτισμού πολύ μεγαλύτερη από τη μέση ένταση, χρειάζεται χρόνο για να προσαρμοστεί και το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **θάμβωση**. Το φαινόμενο της θάμβωσης προκαλεί δυσφορία, γιατί η εικόνα του χώρου γίνεται προσωρινά θολή και κατά συνέπεια επηρεάζει αρνητικά την οπτική άνεση. Τέλος, θάμβωση προκαλεί και η ανάκλαση

του φωτός από φωτεινές επιφάνειες. Το πρόβλημα αυτό εμφανίζεται όταν πολύ έντονο φως προσπίπτει σε οθόνες υπολογιστών, οπότε η ανάκλαση του φωτός κάνει σχεδόν αδύνατη την εργασία.

2.4 Ποιότητα αέρα

Η ποιότητα του αέρα στους εσωτερικούς χώρους παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη δημιουργία συνθηκών άνεσης καθώς κακή ποιότητα μπορεί να προκαλέσει ακόμα και το σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή. Η ποιότητα του εσωτερικού αέρα επηρεάζεται από την ποιότητα του εξωτερικού αέρα και την εσωτερική παραγωγή ρύπων, οι οποίοι οφείλονται στα δομικά υλικά, τα έπιπλα, τα χρώματα και τις ανθρώπινες δραστηριότητες (π.χ. μαγείρεμα, καθαρισμός χώρου, κάπνισμα).

Τέτοιοι ρύποι είναι για παράδειγμα η φορμαλδεΐδη η οποία βρίσκεται στα συνθετικά υλικά των δαπέδων, μοκετών, καθώς και σε μονωτικά υλικά, σε έπιπλα με επικίνδυνες κόλλες, καθώς και στα τσιγάρα, το διοξείδιο άνθρακα που παράγεται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων (πετρελαίου), το μονοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια αζώτου, ο αμιάντος που θεωρείται και καρκινογόνο και βρίσκεται σε πολλά μονωτικά υλικά, τεχνητές ορυκτές ίνες τις οποίες περιέχουν κυρίως μονωτικά υλικά όπως ο πετροβάμβακας και υαλοβάμβακας ,τα αιωρούμενα στερεά σωματίδια. Εκτός από τους παραπάνω ρύπους που είναι χημικοί υπάρχουν και οι βιολογικοί ρύποι όπως οι μύκητες, ιοί, βακτηρίδια (ασθένεια των λεγεωνάριων) καθώς και οι φυσικοί όπως το ραδόνιο που έχει καρκινογόνο δράση, βρίσκεται στο έδαφος και εισχωρεί στους εσωτερικού χώρους μέσω των υπόγειων χώρων ή εκπέμπεται από διάφορα δομικά υλικά [6].

Για να εξασφαλιστεί καλής ποιότητας αέρας στους εσωτερικούς χώρους, θα πρέπει να γίνεται ανανέωση του αέρα σε ποσότητες ανάλογα με τη χρήση των χώρων (αριθμός ατόμων, ωράριο παρουσίας). Η ανανέωση του αέρα γίνεται είτε από τα ανοίγματα, είτε από ανεμιστήρες ή εγκαταστάσεις αερισμού. Επίσης η μέση ταχύτητα του αέρα σε κατοικίες και γραφεία σε γενικές γραμμές πρέπει να είναι μικρότερη από 0,15 m/s τον χειμώνα και 0,25 m/s το καλοκαίρι. Στους παρακάτω πίνακες, δίνονται οι προτεινόμενες ανανεώσεις αέρα και καθορίζονται επίσης ο αριθμός ατόμων ανά 100 m² μεικτής δομημένης επιφάνειας, ο

απαιτούμενος νωπός αέρας ανά άτομο($m^3/h/άτομο$) και ο απαιτούμενος νωπός αέρας ανά επιφάνεια δαπέδου ($m^3/h/m^2$) για ορισμένα κτίρια ανάλογα με τη χρήση τους όπως αυτές λαμβάνονται για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης κτιρίου σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ EN15251:2007 [9].

Πίνακας 2.4.1 Απαιτούμενος νωπός αέρας[9]

| Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών | Άτομα / 100 m^2 επιφ. δαπέδου | Νωπός αέρας [$m^3/h/άτομο$] | Νωπός αέρας [$m^3/h/m^2$] |
|--|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Μονοκατοικία, πολυκατοικία (περισσότερα του ενός διαμερίσματα) | 5 | 15 | 0,75 |
| Ξενοδοχείο ετήσιας λειτουργίας | 15 | 30 | 4,50 |
| θερινής λειτουργίας | 15 | 30 | 4,50 |
| χειμερινής λειτουργίας | 15 | 30 | 4,50 |
| Ξενώνας ετήσιας λειτουργίας | 15 | 30 | 4,50 |
| θερινής λειτουργίας | 15 | 30 | 4,50 |
| χειμερινής λειτουργίας | 15 | 30 | 4,50 |
| Οικοτροφείο και κοιτώνας | 10 | 15 | 1,50 |
| Υπνοδωμάτιο ξενοδοχείου, οικοτροφείου κ.ά. | 8 | 15 | 1,20 |
| Κοινόχρηστος χώρος ξενοδοχείου, οικοτροφείου κ.ά | 30 | 30 | 9,00 |
| Εστιατόριο | 80 | 70 | 56,00 |
| Ζαχαροπλαστείο, καφενείο | 80 | 70 | 56,00 |
| Νυχτερινό κέντρο διασκέδασης, μουσική σκηνή | 100 | 70 | 70,00 |
| Θέατρο, κινηματογράφος | 100 | 30 | 30,00 |
| Χώρος συναυλιών | 100 | 22 | 22,00 |
| Χώρος εκθέσεων, μουσείο | 80 | 22 | 17,60 |
| Χώρος συνεδρίων, αμφιθέατρο, αίθουσα δικαστηρίων | 110 | 30 | 33,00 |
| Τράπεζα | 40 | 30 | 12,00 |
| Αίθουσα πολλαπλών χρήσεων | 75 | 30 | 22,50 |
| Κλειστό γυμναστήριο, κλειστό κολυμβητήριο | 75 | 45 | 33,75 |
| Λουτρό (κοινόχρηστο) | 10 | 60 | 6,00 |
| Νηπιαγωγείο | 50 | 22 | 11,00 |
| Πρωτοβάθμια εκπαίδευση, δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης | 50 | 22 | 11,00 |

3. “Εξώκλιμα”

3.1 Κλίμα

Κλίμα ονομάζεται η μέση καιρική κατάσταση μιας περιοχής, που προκύπτει από τις μακροχρόνιες παρατηρήσεις των διάφορων μετεωρολογικών στοιχείων [10]. Το σύνολο των μετεωρολογικών στοιχείων που συνθέτει το κλίμα κάθε περιοχής επηρεάζει την ανταλλαγή θερμότητας ανάμεσα στο κτίριο και το εξωτερικό περιβάλλον (άρα και το εσωκλίμα του) και όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, παίζει σημαντικό ρόλο στην εξασφάλιση της θερμικής και οπτικής άνεσης των χρηστών του κτιρίου.

Τα βασικά μετεωρολογικά στοιχεία του κλίματος που επιδρούν στο εσωκλίμα του κτιρίου και κατά συνέπεια και στην ενεργειακή κατανάλωσή του είναι:

- Η θερμοκρασία του αέρα (μέση μηνιαία, μέγιστη, ελάχιστη) και οι διακυμάνσεις της χειμώνα και καλοκαίρι,
- Η ηλιακή ακτινοβολία, ηλιοφάνεια και ένταση σε μηνιαία βάση,
- Οι άνεμοι (χειμερινοί, ψυχροί θερινοί, δροσεροί κατεύθυνση και ένταση, ταχύτητα),
- Η σχετική υγρασία (μέση μηνιαία, μέγιστη, ελάχιστη) και οι διακυμάνσεις της για χειμώνα και καλοκαίρι [10] .

Για την μελέτη της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου με βάση τον Κ.ΕΝ.Α.Κ. χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς οι μέσες μηνιαίες τιμές των παραπάνω στοιχείων όπως αυτές προκύπτουν από κλιματολογικά δεδομένα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ) επεξεργασμένα με την χρήση κατάλληλων εμπειρικών και θεωρητικών μαθηματικών μοντέλων.

Για την καλύτερη και ευκολότερη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου, σύμφωνα με τον Κ.ΕΝ.Α.Κ. η ελληνική επικράτεια διαιρείται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες με βάση τις βαθμομέρες θέρμανσης. Οι νομοί που υπάγονται σε κάθε μια από τις τέσσερις κλιματικές ζώνες (από τη θερμότερη στην ψυχρότερη) αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Επίσης 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. Για την Δ ζώνη όλες οι περιοχές ανεξαρτήτως υψομέτρου περιλαμβάνονται στην ζώνη Δ [4].

Πίνακας 3.1.1 Νομοί της ελληνικής επικράτειας ανά κλιματική ζώνη [4]

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

3.2 Ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία έχει σημαντική επίδραση στη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου καθώς επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το θερμικό κέρδος και τις θερμικές απώλειες του κελύφους. Οι σημαντικότεροι παράμετροι που παίζουν ουσιαστικό ρόλο στην επίδραση αυτή είναι η ποσότητα και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η θέση του ήλιου, η καθαρότητα της ατμόσφαιρας καθώς και χαρακτηριστικά του κτιρίου όπως ο προσανατολισμός του, το γεωγραφικό πλάτος και η φύση του και θα αναλυθούν στις παρακάτω ενότητες.

3.2.1 Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελείται από ευρείες κατηγορίες ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας οι οποίες έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά αλλά διαφέρουν ως προς το αποτέλεσμα που παράγουν λόγω του μήκος κύματός τους. Η φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας περιλαμβάνει την υπεριώδη ,την ορατή και την υπέρυθη ακτινοβολία. Το ορατό φως αποτελεί το 46% της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας και εμπεριέχει όλο το φάσμα των χρωμάτων, το 49% της ακτινοβολίας ανήκει στην υπέρυθη, την οποία αισθανόμαστε ως θερμότητα, ενώ η υπόλοιπη ποσότητα ανήκει στην υπεριώδη και κοσμική ακτινοβολία, την οποία δεν αντιλαμβανόμαστε. Ολόκληρο το ορατό, το μεγαλύτερο μέρος του υπέρυθρου

και μέρος του υπεριώδους φάσματος αποτελούν την θερμική ακτινοβολία αφού συνιστούν το μέρος του φάσματος που αντιλαμβανόμαστε ως θέρμανση [11].

Η ηλιακή ακτινοβολία υφίσταται ανακλάσεις, διασκορπισμό και απορρόφηση από διάφορα σωματίδια όπως σκόνη, όζον υδρατμό και μόρια των διάφορων αερίων της ατμόσφαιρας όταν διέρχεται μέσα από την ατμόσφαιρα και εξασθενεί. Το μπλε χρώμα του ουρανού είναι αποτέλεσμα σκέδασης των μικρότερων μήκων κύματος του ορατού φάσματος [12] .Η εξασθένιση της αυξάνεται με την αύξηση της διαδρομής της μέσα στην ατμόσφαιρα γι'αυτό και η ένταση της ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα είναι πάντα πολύ μικρότερη από τη σταθερή τιμή της εκτός ατμόσφαιρας η οποία είναι $G_{sc}=1353 \text{ W/m}^2$.

Το τμήμα της ακτινοβολίας που δεν διασκορπίζεται και δεν απορροφάται και που φτάνει τελικά στην επιφάνεια της γης ονομάζεται *άμεση ακτινοβολία* ,το τμήμα της ακτινοβολίας που έχει διασκορπιστεί από τα μόρια του αέρα και τα σωματίδια της ατμόσφαιρας ονομάζεται *διάχυτη ακτινοβολία* ενώ υπάρχει κι ένα ακόμα τμήμα της ακτινοβολίας το οποίο μπορεί να ανακλασθεί σε μια επιφάνεια από γειτονικές επιφάνειες. Η ολική ακτινοβολία ,επομένως , που δέχεται μια επιφάνεια στη γη αποτελείται από την άμεση ,διάχυτη και ανακλώμενη ακτινοβολία και ισούται με το άθροισμα τους [12].

3.2.2 Επίδραση της θέσης του ήλιου και της επιφάνειας [13]

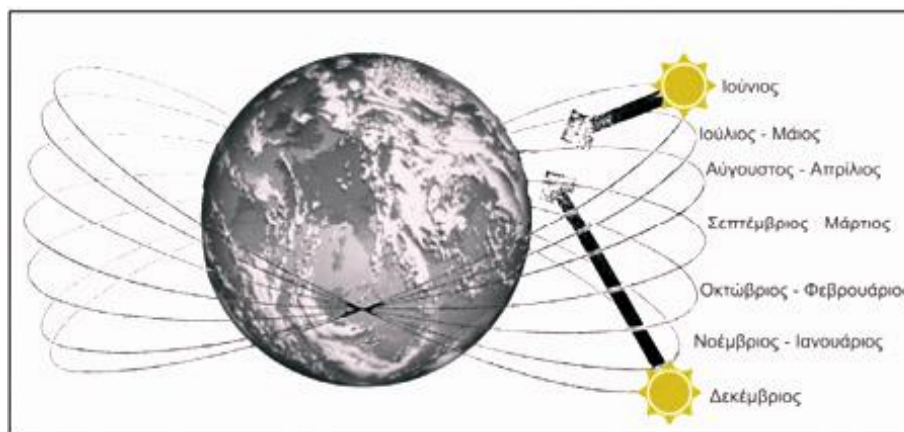
Για τον προσδιορισμό της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε ένα κτίριο σημαντικό ρόλο παίζουν η θέση του ήλιου στον ουρανό και στον ορίζοντα, ο προσανατολισμός της επιφάνειας καθώς και ο χρόνος (ηλιακός και τοπικός).

Θέση του ήλιου

Η θέση του ήλιου στον ουρανό αποτελεί κύριο παράγοντα της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στο κτιριακό κέλυφος.

Για τον ευκολότερο προσδιορισμό της υιοθετείται η παραδοχή των φαινόμενων τροχιών του ήλιου. Οι φαινόμενες τροχιές του ήλιου ταυτίζονται ανά δύο μήνες εκτός του Δεκεμβρίου και του Ιουνίου. Ο μήνας Δεκέμβριος έχει τη χαμηλότερη τροχιά (21η Δεκεμβρίου έχουμε τη μικρότερη μέρα του έτους), ενώ ο Ιούνιος την υψηλότερη (21^η Ιουνίου έχουμε τη μεγαλύτερη μέρα του έτους) [10]. Αξίζει εδώ να σημειώσουμε ότι στις 21 Μαρτίου και 23 Σεπτεμβρίου η φαινόμενη τροχιά του

ήλιου ξεκινά ακριβώς από την ανατολή και καταλήγει ακριβώς στη δύση γι'αυτό και τότε έχουμε την εαρινή και φθινοπωρινή ισημερία αντίστοιχα .



Εικόνα 3.2.2.1 Φαινόμενες τροχιές ηλίου [10]

Η θέση του ήλιου καθορίζεται από τις παρακάτω γωνίες :

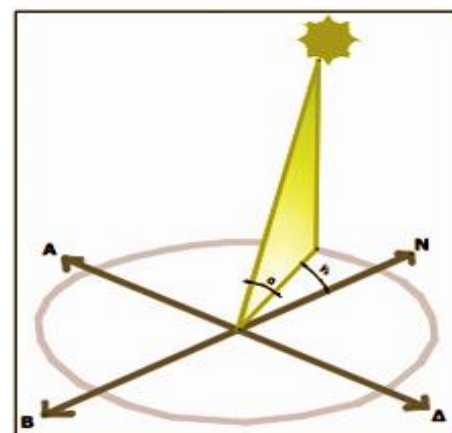
- Ηλιακό ύψος (β)

Ορίζεται από τη θέση του ήλιου στον ουρανό ως προς το οριζόντιο επίπεδο ,είναι δηλαδή η γωνία μεταξύ της ευθείας όρασης του ήλιου και της προβολής της στο οριζόντιο επίπεδο.

- Ηλιακό αζιμούθιο (γ_s)

Είναι η γωνία μεταξύ της προβολής της ευθείας όρασης του ήλιου στο οριζόντιο επίπεδο και της νότιας κατεύθυνσης.

Για τον υπολογισμό των δύο αυτών μεγεθών είναι απαραίτητη η γνώση του γεωγραφικού πλάτους της περιοχής που βρίσκεται το κτίριο που εξετάζεται, της ηλιακής απόκλισης και της ωριαίας γωνίας .



Εικόνα 3.2.2.2 Ηλιακό αζιμούθιο [10]

Γεωγραφικό πλάτος (φ) : είναι η γωνία που σχηματίζεται από τη διεύθυνση της κατακόρυφου του τόπου και το γήινο ισημερινό (στον οποίο έχουμε $\varphi=0^\circ$).Παίρνει τιμές από 90° βόρεια ως 90° νότια του ισημερινού. Για τη Αθήνα παίρνουμε $\varphi=37,97^\circ$.

Ωριαία γωνία (ω): είναι η γωνιακή μετατόπιση του ήλιου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού λόγω της περιστροφής της γης γύρω από τον άξονά της με ρυθμό $0,25^\circ/\text{min}$ και δίνεται από την εξίσωση :

$\omega = 0,25^\circ \cdot$ (min από το ηλιακό μεσημέρι) με τιμές $\omega > 0$ για μ.μ και $\omega < 0$ για π.μ.

Ηλιακή απόκλιση (δ): είναι η γωνιακή θέση του ήλιου κατά το ηλιακό μεσημέρι ως προς το επίπεδο του ισημερινού. Υπολογίζεται από την σχέση :

$\delta = 23,45 \sin \left(\frac{2\pi n}{365} \right)$, όπου $n = 1 \div 365$ η ημέρα του έτους

και παίρνει τιμές από $-23,45$ ως $23,45$ με θετικές τιμές προς το βορρά.

Θέση της επιφάνειας

Πέρα του γεωγραφικού πλάτους του τόπου στον οποίο βρίσκεται γενικά μια επιφάνεια ,για τον υπολογισμό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε αυτή σημαντική επίδραση έχουν ο προσανατολισμός και η κλίση της επιφάνειας τα οποία περιγράφονται με τα εξής μεγέθη:

- **Αζιμούθιο (γ) επιφάνειας**

Είναι η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της καθέτου στην επιφάνεια πάνω στο οριζόντιο επίπεδο και τη νότια κατεύθυνση. Παίρνει τιμές από $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$, με $\gamma = 0^\circ$ στο νότο, $\gamma = 180^\circ$ στο βορρά, $\gamma = 90^\circ$ στη δύση και $\gamma = -90^\circ$ στην ανατολή. Ο βέλτιστος προσανατολισμός επιφάνειας είναι ο νότιος για το βόρειο ημισφαίριο ενώ για το νότιο ημισφαίριο είναι ο βόρειος.

- **Κλίση επιφάνειας (β)**

Είναι η γωνία που σχηματίζει μια επίπεδη επιφάνεια με το οριζόντιο επίπεδο. Παίρνει τιμές από 0° ως 180° . Για το οριζόντιο επίπεδο είναι $\beta = 0$, για τον κατακόρυφο $\beta = 90^\circ$. Για τιμές β πάνω από 90° το επίπεδο βλέπει προς τα κάτω. Σε γενικές γραμμές, μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία δέχεται επιφάνεια με κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος. Μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία θέρους δέχεται η επιφάνεια με κλίση μικρότερη κατά 15° από το γεωγραφικό πλάτος ενώ μέγιστη την χειμερινή περίοδο δέχεται επιφάνεια με κλίση μεγαλύτερη κατά 15° του γεωγραφικού πλάτους.

Γωνία πρόσπτωσης

Εκτός από τη θέση ήλιου και επιφάνειας σημαντικό μέγεθος είναι και η γωνία πρόσπτωσης (θ). Ως γωνία πρόσπτωσης ορίζεται η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ των προσπίπτουσα ηλιακών ακτινών και της καθέτου στην επιφάνεια. Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιούνται σχεδόν όλες οι γωνίες που περιγράψαμε παραπάνω καθώς υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\cos\theta = \sin\delta \sin\varphi \cos\beta - \sin\delta \cos\varphi \sin\beta \cos\gamma + \cos\delta \cos\varphi \cos\beta \cos\omega + \cos\delta \sin\varphi \sin\beta \cos\gamma \cos\omega + \cos\beta \sin\beta \sin\gamma \sin\omega.$$

Για οριζόντιες επιφάνειες με ($\beta=0^\circ$) η γωνία πρόσπτωσης ταυτίζεται με τη γωνία ζενίθ θ_z η οποία είναι η γωνία που σχηματίζεται από την κατακόρυφο και την ευθεία όρασης του ήλιου.

3.3 Το κτίριο ως ηλιακός συλλέκτης

Η ηλιακή ακτινοβολία την οποία δέχεται ένα κτίριο επιδρά στη θερμική του συμπεριφορά. Στόχος της σωστής κατασκευής του κελύφους του κτιρίου είναι να αξιοποιήσει αυτή την ακτινοβολία με σκοπό να δημιουργηθούν συνθήκες άνεσης στο εσωτερικό του μεγιστοποιώντας ή ελαχιστοποιώντας την προσπίπτουσα ακτινοβολία ανάλογα με τις απαιτήσεις της εποχής. Ειδικά στα πλαίσια του βιοκλιματικού σχεδιασμού η λειτουργία του κτιρίου ως ηλιακού συλλέκτη θα πρέπει να αξιοποιείται όσο το δυνατόν καλύτερα.

Στη λειτουργία του κτιρίου ως ηλιακού συλλέκτη παίζουν καθοριστικό ρόλο και τα χαρακτηριστικά του μικροκλίματος του. Με τον όρο *μικρόκλιμα* εννοούμε το κλίμα που επικρατεί στο άμεσα κοντινό περιβάλλον ενός κτιρίου και περιλαμβάνει το ανάγλυφο του εδάφους, τη γειννίαση με άλλα κτίρια ,τη βλάστηση της γύρω περιοχής-χώροι πρασίνου ,το τοπίο-θέα κ.λ.π [10].

Με βάση τα παραπάνω ,για τον καλύτερο σχεδιασμό ενός κτιρίου θα πρέπει να δίνεται σημασία στις παρακάτω σημαντικότερες παραμέτρους :

➤ Χωροθέτηση

Σημαντική επίδραση στο ποσό της ηλιακή ακτινοβολίας που προσπίπτει στο κτίριο έχει το ανάγλυφο του περιβάλλοντος για τη συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, ο σκιασμός του χώρου από δέντρα, λόφους και κτίρια όπως και αντίθετα ο ελεύθερος χώρος γύρω απ το κτίριο που επιτρέπει τον ανεμπόδιστο ηλιασμό του κτιρίου (το μικρόκλιμά του δηλαδή). Τα στοιχεία αυτά καθορίζονται με κατάλληλους ηλιακούς χάρτες .Για τους χειμερινούς μήνες επαρκής θεωρείται ο ηλιασμός από τις 9πμ ως τις 3μμ καθώς προσφέρει την αναγκαία θερμότητα που χρειάζεται το κτίριο .

Τα κτίρια που είναι πανταχόθεν ελεύθερα έχουν μεγαλύτερες απώλειες σε σχέση με άλλα που γειτνιάζουν στη μεγαλύτερη επιφάνεια τους με άλλα κτίρια. Επίσης κτίρια σε άμεση επαφή με το έδαφος έχουν καλύτερη θερμική συμπεριφορά από κτίρια με πυλωτή, γεγονός που οφείλεται στη μεγάλη θερμοχωρητικότητα του εδάφους που κάνει το έδαφος πιο θερμό από τον ατμοσφαιρικό αέρα το χειμώνα και πιο ψυχρό το καλοκαίρι [2].

➤ *Σχήμα, μορφή και προσανατολισμός του κτιρίου [2,10]*

Καταλληλότερο *σχήμα* ειδικά για το μεσογειακό κλίμα είναι το επιμήκες κατά τον άξονα Ανατολής -Δύσης καθώς η μεγαλύτερη επιφάνεια του βρίσκεται προς το νότο και εξασφαλίζεται έτσι η ηλιακή ακτινοβολία για τους χειμερινούς μήνες. Το επιμήκες κτίριο στον άξονα βορρά-νότου καθώς και το κτίριο κύβος λειτουργούν λιγότερο αποτελεσματικά και ειδικά η αποτελεσματικότητα του κτιρίου «κύβος» εξαρτάται από την τόπο και τις εκάστοτε συνθήκες.

Ο *προσανατολισμός* του κτιρίου πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να επιτυγχάνεται πλήρης ηλιασμός κατά την χειμερινή περίοδο και σκίαση τους καλοκαιρινούς μήνες. Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα σχετικά με τον προσανατολισμό της επιφάνειας, βέλτιστος προσανατολισμός συλλέκτη στο βόρειο ημισφαίριο είναι ο νότιος με αποκλίσεις 20° - 30° να μην προκαλούν μεγάλες διαφορές. Αυτό συμβαίνει γιατί η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο νότιο είναι σχεδόν τριπλάσια την χειμερινή περίοδο σε σχέση με τον ανατολικό ή το δυτικό προσανατολισμό και γίνεται ακόμα μεγαλύτερη για γεωγραφικά πλάτη χαμηλότερα από αυτό των Αθηνών. Επίσης το καλοκαίρι η ακτινοβολία του νότιου γίνεται η μισή.

Σε σχέση με τη *μορφή* ένα κτίριο μπορεί να είναι κλειστό ή ανοιχτό. Κλειστό θεωρείται το κτίριο όταν η επιφάνεια των αδιάφανων στοιχείων του είναι αρκετά μεγαλύτερη από αυτή των διάφανων (παράθυρα, γενικά ανοίγματα). Η μορφή αυτή περιορίζει τα θερμικά κέρδη λόγω ακτινοβολίας αλλά μπορούν να γίνουν βελτιώσεις με την κατάλληλη θερμομόνωση. Αντίθετα ανοιχτό είναι το κτίριο με συγκρίσιμες επιφάνειες διάφανων και αδιάφανων στοιχείων. Όταν το κτίριο έχει νότιο προσανατολισμό, μια τέτοια μορφή εξασφαλίζει την καλύτερη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας αν βέβαια και η χωροθέτηση του κτιρίου το επιτρέπει.

➤ *Εξωτερικός χρωματισμός, ανοίγματα*

Αν και οι παράμετροι αυτοί θα αναλυθούν καλύτερα σε παρακάτω κεφάλαια αξίζει να αναφέρουμε ότι νότια ανοίγματα εξασφαλίζουν περισσότερα θερμικά κέρδη και ότι στα θερμά κλίματα καλό είναι να επιλέγονται ανοιχτά χρώματα για τις εξωτερικές επιφάνειες ενώ στα ψυχρά που η ανάγκη για θέρμανση είναι μεγαλύτερη, σκούρα χρώματα [2].

Για τη βελτίωση της λειτουργίας του κτιρίου ως ηλιακού συλλέκτη αλλά και όχι μόνο, ειδικά σε μεγάλες πόλεις όπου το μικρόκλιμα των κτιρίων δεν ευνοεί τον επαρκή ηλιασμό τους, συνεισφέρουν αρκετά τα φυτά και τα δέντρα. Η κατασκευή παρασόκηπων ή αλλιώς φυτεμένων δωματίων και στεγών αυξάνεται συνεχώς. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού όπου η ατμόσφαιρα μπορεί να είναι αποπνικτική, η πράσινη κάλυψη των οροφών επηρεάζει θετικά το μικροκλίμα και μειώνει την κατανάλωση ενέργειας για ψύξη. Ακόμα και η φύτευση δέντρων σε κοντινή απόσταση από το κτίριο βελτιώνει το μικρόκλιμα και προστατεύει μεγάλη επιφάνεια του κελύφους από την ανεπιθύμητη κάποιες περιόδους ηλιακή ακτινοβολία [2]. Προτείνονται κυρίως φυλλοβόλα δέντρα έτσι ώστε να μην εμποδίζουν την ηλιακή ακτινοβολία τους χειμερινούς μήνες να φτάσει στο κέλυφος [10].

4. Κτιριακό κέλυφος

4.1 Εισαγωγή-Ορισμός

Κέλυφος εννοούμε το σύνολο των διαφανών και αδιαφανών στοιχείων τα οποία καθορίζουν το εξωτερικό περίγραμμα του κτιρίου. Τα δομικά αυτά στοιχεία είναι συγκεκριμένα οι τοίχοι, οι οροφές, τα δάπεδα και τα ανοίγματα (παράθυρα, πόρτες) [2].

Το κτιριακό κέλυφος αποτελεί το φυσικό διαχωριστικό μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος ενός κτιρίου. Είναι αυτό που προστατεύει το κτίριο καθώς είναι αυτό που δέχεται την επίδραση ενός πλήθους εξωγενών παραγόντων (θερμοκρασίας, υγρασίας, θορύβων, ηλιακής ακτινοβολίας, ανέμων) και παίζει ένα ρυθμιστικό ρόλο στη διαμόρφωση του εσωκλίματος του και στη δημιουργία αισθήματος θερμικής άνεσης στους χρήστες του κτιρίου. Προκειμένου να ανταποκρίνεται ικανοποιητικά σ' αυτό το ρόλο του, οφείλει να διασφαλίζει επαρκή προστασία έναντι όλων αυτών των παραγόντων.

Ο τρόπος της κατασκευής του καθορίζει τη θερμική, ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου. Η διαμόρφωση του κελύφους του κτιρίου πρέπει να είναι τέτοια, που να επιτρέπει τη μέγιστη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας, τη μέγιστη δυνατότητα για την αποθήκευση της θερμικής ενέργειας και τις ελάχιστες θερμικές απώλειες προς το εξωτερικό περιβάλλον. Όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια του κελύφους, τόσο περισσότερη θερμική ενέργεια χάνει το κτίριο [2]. Η θερμική ενέργεια που χάνεται μπορεί να περιοριστεί κυρίως με την χρήση θερμομονωτικών υλικών και την χρήση σωστών υαλοπινάκων.

4.2 Βασικά στοιχεία οικοδομικής

4.2.1 Τοιχοποιία [14,2]

Οι τοιχοποιίες ανάλογα με το υλικό δόμησης διακρίνονται στις παρακάτω κυριότερες κατηγορίες:

- Λιθοδομές
- Πλινθοδομές

- Μικτές τοιχοποιίες
- Μεταλλικές

Λιθοδομές

Οι τοίχοι κατασκευάζονται από φυσικούς λίθους (πέτρες), που προέρχονται από εξόρυξη και περαιτέρω επεξεργασία πετρωμάτων. Στην Ελλάδα ο πιο διαδεδομένος λίθος είναι ο ασβεστόλιθος αν και η δόμηση κτιρίων με λιθοδομές είναι σχετικά σπάνια πια εξαιτίας του μεγάλου βάρους και του κόστους επεξεργασίας.

Οι λίθοι ονομάζονται αργοί όταν έχουν υποστεί πολύ μικρή ή καθόλου επεξεργασία, ημίξεστοι όταν έχουν υποστεί μια μεγαλύτερη επεξεργασία και ξεστοί όταν έχουν πάρει κανονικά σχήματα μετά από πλήρη επεξεργασία.

Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής υπάρχουν τέσσερα είδη λιθοδομής:

❖ Ξηρολιθοδομή ή ξερολιθιά

Η δόμηση γίνεται χωρίς κονίαμα (μόνο με ξερό χώμα) με μικρή κατεργασία των λίθων και με σωστή συνδεσμολογία ώστε να προκύπτουν λεπτοί αρμοί και μικρά κενά. Τα κενά γεμίζονται με μικρές λαξευτές πέτρες, που ονομάζονται λατύπες (τσιβίκια). Είναι η παλαιότερη μέθοδος λιθοδομής που πια τείνει να εξαφανιστεί.

❖ Αργολιθοδομή

Στις αργολιθιές η δόμηση γίνεται με κονίαμα και μικρή κατεργασία των λίθων.

❖ Ημιλαξευτή λιθοδομή

Η δόμηση γίνεται με κονίαμα και έχει ημίξεστους λίθους στην εξωτερική πλευρά και αργούς λίθους στην εσωτερική.

Δεν κατασκευάζεται πλέον σε τοίχους χώρων κατοικίας γιατί παρουσιάζει έντονο πρόβλημα θερμομόνωσης αφού η θερμοχωρητικότητα της είναι η μισή της αντίστοιχης οπτοπλινθοδομής.

❖ Λαξευτή λιθοδομή

Η δόμηση γίνεται με κονίαμα και ξεστούς λίθους. Είναι από τα αρχαιότερα συστήματα λιθοδομών αλλά σήμερα σπάνια χρησιμοποιείται κυρίως λόγω του μεγάλου κόστους της.

Πλινθοδομές

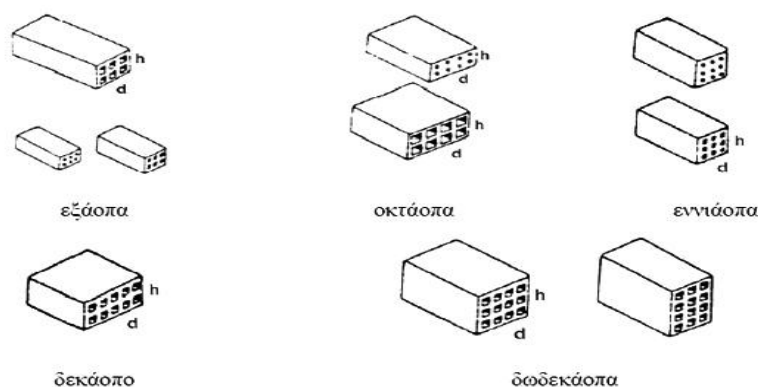
Κατασκευάζεται από τεχνητούς λίθους (πλίνθες), που συνδέονται μεταξύ τους με κονίαμα. Υπάρχουν δυο βασικά είδη πλινθοδομής, η οπτοπλινθοδομή και η τσιμεντολιθοδομή.

- Οπτοπλινθοδομή

Η δόμηση γίνεται με οπτόπλινθους (τούβλα), οι οποίοι κατασκευάζονται με την όπτηση (ψήσιμο) μίγματος αργίλου, άμμου και νερού, σε διάφορους τύπους ως προς τις διαστάσεις και τη μορφή .

Η οπτοπλινθοδομή αποτελεί σήμερα την κύρια μορφή τοιχοποιίας καθώς τα υλικά (τούβλα) της έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα στο χρόνο και σε υψηλές θερμοκρασίες, προσφέρουν τις απαραίτητες ιδιότητες υγραμόνωσης, ηχομόνωσης, θερμομόνωσης και συμβάλλουν στην αντισεισμική συμπεριφορά των κτιρίων.

Διακρίνονται σε συμπαγή τούβλα, διάτρητα με κατακόρυφες οπές, διάτρητα με οριζόντιες οπές και τούβλα διάφορων σχημάτων με ειδικές χρήσεις.



Εικόνα 4.2.1.1 Τύποι τούβλων[2]

Διαστάσεις των τούβλων

Η επιλογή του σχήματος και των διαστάσεων των τούβλων αποβλέπει στη σωστή, εύκολη και γρήγορη δόμηση των τοίχων. Αποδείχτηκε ότι καταλληλότερο σχήμα είναι το ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο με πλάτος ίσο με το άνοιγμα της παλάμης ανθρώπου.

Στα τούβλα για λόγους τυποποίησης οι άλλες διαστάσεις συνδέονται με το πλάτος και ισχύουν οι εξής σχέσεις:

$$\mu = 2\pi + \alpha \text{ και } \upsilon = 2\pi - \alpha ,$$

όπου είναι : μ το μήκος του τούβλου
 π το πλάτος του τούβλου,
 υ το ύψος του τούβλου και
 α το πάχος του αρμού

Ο κανόνας για τις διαστάσεις χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλους τους κανονισμούς. Εξαίρεση παρατηρείται στα ειδικά τούβλα και στα μπλόκια.

Από τις διαστάσεις των τούβλων καθορίζονται τα πάχη των τοίχων, που είναι πολλαπλάσια του πλάτους των τούβλων.

Το πάχος, Π , του τοίχου, ανάλογα με την κατασκευή του, δίνεται από τη σχέση:

$$\Pi = K\Pi + (K - 1) \alpha, \text{ όπου είναι,}$$

$K=1$ για δρομικό τοίχο,

$K=2$ για μπατικό τοίχο και

$K=3$ για υπερμπατικό τοίχο

Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι ο πιο συνηθισμένος τοίχος είναι ο διπλός δρομικός με πάχος μόνωσης 4cm και συντελεστή θερμοπερατότητας $U=4W/m^2k$.

- Τσιμεντοπλινθοδομές

Η δόμηση γίνεται με τσιμεντόλιθους που κατασκευάζονται από τσιμέντο και αμμοχάλικο σε αναλογία 1:2.

Μεταλλικές τοιχοποιίες

Αυτό το είδος τοιχοποιίας χρησιμοποιείται κυρίως στην κατασκευή βιομηχανικών και εμπορικών κτιρίων και αποθηκών.

Πίνακας 4.2.2.1 Τυποποιημένες διαστάσεις τούβλων[18]

| Τύπος | Μήκος Πλάτος Ύψος (mm) | | | Εφαρμογή |
|-----------------------|---------------------------|-----|-----|--------------------------------|
| | | | | |
| 60ο | 190 | 90 | 60 | Εσωτερική τοιχοποιία |
| 90ο | 190 | 90 | 90 | Εξωτερική τοιχοποιία |
| 120ο | 190 | 120 | 90 | Εξωτερική τοιχοποιία |
| Πλάκα οριζόντιων οπών | 350 | 90 | 150 | Εξωτερική τοιχοποιία με μόνωση |
| Πλάκα οριζόντιων οπών | 350 | 75 | 150 | Εξωτερική διπλή τοιχοποιία |
| Πλάκα κατακ. οπών | 230 | 90 | 180 | Εξωτερική τοιχοποιία |
| Συμπαγές | 170 | 80 | 40 | Εμφανή εξωτερική τοιχοποιία |
| Συμπαγές | 250 | 120 | 60 | Εμφανή εξωτερική τοιχοποιία |
| Συμπαγές | 210 | 100 | 35 | Εμφανή εξωτερική τοιχοποιία |
| Συμπαγές | 210 | 50 | 35 | Εμφανή εξωτερική τοιχοποιία |
| Μπλόκιο οριζ.οπών | 350 | 180 | 150 | Εξωτερική τοιχοποιία |
| Μπλόκιο οριζ.οπών | 300 | 200 | 150 | Εξωτερική τοιχοποιία με μόνωση |
| Μπλόκιο οριζ.οπών | 250 | 280 | 150 | Εξωτερική τοιχοποιία με μόνωση |
| Μπλόκιο οριζ.οπών | 250 | 225 | 150 | Εξωτερική τοιχοποιία με μόνωση |
| Μπλόκιο οριζ.οπών | 300 | 225 | 150 | Εξωτερική τοιχοποιία με μόνωση |
| Μπλόκιο οριζ.οπών | 300 | 250 | 150 | Εξωτερική τοιχοποιία με μόνωση |
| Μπλόκιο οριζ.οπών | 350 | 170 | 150 | Εξωτερική τοιχοποιία |
| Μπλόκιο οριζ.οπών | 350 | 200 | 180 | Εξωτερική τοιχοποιία |
| Μπλόκιο κατακ.οπών | 330 | 190 | 190 | Εξωτερική τοιχοποιία με μόνωση |

4.2.2 Κονιάματα [2]

Τα κονιάματα αποτελούν μόνο το 7% περίπου του όγκου της συνολικής τοιχοποιίας ενός κτιρίου. Παρόλα αυτά έχουν ιδιαίτερα σημαντική λειτουργία που αφορά να μεν στη σύνδεση των διάφορων τούβλων αλλά και στην αντίσταση διείσδυσης τη θερμότητας και της υγρασίας.

Κονίες ονομάζονται τα συνδετικά υλικά (π.χ. τσιμέντο, ασβέστης, γύψος, πηλός), τα οποία μετά την ανάμιξη και κατεργασία τους με ένα ρευστό μέσο (συνήθως νερό), γίνονται εύπλαστα και αποκτούν συγκολλητικές ιδιότητες.

Κονίαμα σύνδεσης ονομάζεται το μίγμα, που αποτελείται από κονίες, λεπτόκοκκα αδρανή υλικά (π.χ. άμμος) και νερό, το οποίο χρησιμοποιείται για τη σύνδεση των στοιχείων της τοιχοποιίας. Το κονίαμα, που συχνά ονομάζεται λάσπη, κατά τη διάρκεια της δόμησης έχει ρευστή μορφή και στη συνέχεια σκληρύνεται με το χρόνο. Τα συνηθέστερα κονιάματα είναι τα ακόλουθα:

- Τσιμεντοκονίαμα: Μίγμα τσιμέντου, άμμου και νερού.
- Ασβεστοκονίαμα: Μίγμα τσιμέντου, ασβέστη, άμμου και νερού.
- Μαρμαροκονίαμα: Μίγμα μαρμαρόσκονης, ασβέστη και νερού.

4.2.3 Επιχρίσματα [2]

Επίχρισμα (σοβάς) ονομάζεται το δομικό στοιχείο που αποτελείται κυρίως από κονίαμα και χρησιμοποιείται για την επικάλυψη τοίχων και οροφών. Ο σκοπός τους είναι διπλός. Λειτουργούν ως προστατευτικό σώμα από την υγρασία, το ψύχος, τη φωτιά και τον θόρυβο και ως ισοπεδωτική στρώση για αισθητικούς λόγους.

Τα τελευταία χρόνια άρχισαν να χρησιμοποιούνται τα οικολογικά επιχρίσματα. Τα επιχρίσματα αυτά είναι ένας συνδυασμός ασβέστη και κεραμικών προϊόντων, είναι δηλαδή φυσικά προϊόντα, χωρίς χημικές προσμίξεις, τα οποία αντέχουν στο χρόνο, δεν χρειάζονται συντήρηση, έχουν μεγαλύτερη αντοχή από τα κοινά επιχρίσματα και καταργούν το βάψιμο χρωματίζοντας τις όψεις ενός κτιρίου σε διάφορες φυσικές αποχρώσεις.

Τα κεραμικά προϊόντα, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι η θηραϊκή γη, η ποζολάνη Μήλου και το κεραμάλευρο. Πολλές φορές στο μίγμα του επιχρίσματος προστίθεται μικρή ποσότητα ρητίνης για αύξηση της αντοχής του.

4.2.4 Σκυρόδεμα [2]

Το σκυρόδεμα (μπετόν) παρασκευάζεται από τσιμέντο, αδρανή υλικά (άμμος, χαλίκια), πρόσθετα υλικά και νερό. Τα πρόσθετα είναι ουσίες, που προστίθενται σε μικρά ποσοστά και επηρεάζουν σημαντικά τις ιδιότητες του σκυροδέματος (ρευσιμότητα, χρόνο πήξης κλπ). Το τσιμέντο παρασκευάζεται από ασβεστόλιθους και αργιλούχα πετρώματα, τα οποία αναμιγνύονται σε προκαθορισμένη αναλογία και υφίστανται ειδική επεξεργασία. Η περίσσεια τσιμέντου δημιουργεί κακές μηχανικές ιδιότητες (μεγάλη συστολή κατά την πήξη, μικρό μέτρο ελαστικότητας, μεταβολές όγκου με την αυξομείωση της θερμοκρασίας). Η μειωμένη ποσότητα τσιμέντου και η περίσσεια νερού προκαλούν μείωση της αντοχής του σκυροδέματος. Ο χειρότερος όμως συνδυασμός, που οδηγεί στην καταστροφή του σκυροδέματος, είναι η μειωμένη ποσότητα τσιμέντου και νερού.

Το σκυρόδεμα που φέρει χαλύβδινο οπλισμό ονομάζεται οπλισμένο σκυρόδεμα (μπετόν αρμέ) και χρησιμοποιείται στην κατασκευή πολλών δομικών στοιχείων (κολώνες, πλάκες, δοκοί).

4.2.5 Φέροντα στοιχεία

Είναι τα στοιχεία του κτιρίου, που παραλαμβάνουν τα μόνιμα και πρόσθετα φορτία, τα οποία μεταβιβάζουν σε άλλα στοιχεία χαμηλότερα και, τελικά, μέσω της θεμελίωσης τα φορτία φθάνουν στο έδαφος. Φέροντα στοιχεία είναι τα υποστυλώματα (κολώνες), οι δοκοί, οι πλάκες, οι τοίχοι, τα ανώφλια [2].

Οι *δοκοί (δοκάρια)* είναι δύσκαμπτα οικοδομικά στοιχεία, που στηρίζουν τις πλάκες και κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα. Τα *ανώφλια (πρέκια)* είναι τα πάνω οριζόντια επίπεδα των ανοιγμάτων ενός κτιρίου, που φέρουν φορτία. Τα κάτω οριζόντια επίπεδα και οι κατακόρυφες επιφάνειες ονομάζονται *κατώφλια (πρεβάζια)* και *παραστάδες (λαμπάδες)* αντίστοιχα [2].

4.3 Οροφές

Μία οροφή μπορεί να είναι κατασκευασμένη από κεραμίδια, πλάκες ή μέταλλο. Τα πιο συνηθισμένα είδη οροφής είναι οι στέγες με κεραμίδια, στέγες με πλάκες, μεταλλικές οροφές και οι συμβατικές οριζόντιες οροφές.

Οι πιο κοινοί τύποι οροφών περιγράφονται στον πίνακα 4.3.1.

Υπάρχουν επίσης και κάποια ακόμη είδη που κατασκευάζονται στις μέρες μας στα πλαίσια και του βιοκλιματικού σχεδιασμού όπως:

- αεριζόμενες οροφές,
- οροφές με ακτινοβολητή νερού ή αέρα,
- οροφές με συστήματα εξαμιστικής ψύξης
- οροφές με φυτεμένα δώματα
- οροφές με ενσωματωμένα θερμικά ηλιακά συστήματα ή φωτοβολταϊκά.

Αεριζόμενες οροφές [2]

Η αεριζόμενη οροφή είναι κατασκευή διπλού κελύφους στην οροφή του κτιρίου, μέσα στην οποία κυκλοφορεί ο αέρας του εξωτερικού χώρου.

Η χρήση της ελαχιστοποιεί τις θερμογέφυρες στο περίβλημα του κτιρίου, εξασφαλίζει συνθήκες άνεσης στο εσωτερικό του κελύφους και ομοιόμορφη κατανομή της εσωτερικής θερμοκρασίας ώστε να αποφεύγεται η εμφάνιση επιφανειακών συμπυκνωμάτων υδρατμών και επιπλέον συμβάλει ώστε οι

εσωτερικές συνθήκες να παραμένουν ανεπηρέαστες από τις απότομες καιρικές αλλαγές για αρκετό χρόνο αφού αξιοποιεί τη θερμοχωρητικότητα του κτιριακού κελύφους

Πίνακας 4.3.1 Τύποι οροφών [12]

| ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ | ΟΝΟΜΑΣΙΑ | ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ |
|-------------|---|---|
| 1 | Ταράτσα με μόνωση 6 cm και γορμπιλόδεμα | Γαρμπιλόδεμα 7 cm Στεγανοποίηση 1 cm Μόνωση 6 cm Μπετόν κλίσεως 7 cm Οπλ.σκυρόδεμα 14 cm Επίχρισμα 1.5 cm |
| 2 | Οροφή από σκυρόδεμα 14 cm χωρίς μόνωση | Οπλ.σκυρόδεμα 14 cm Επίχρισμα 2 cm |
| 3 | Οροφή με κισσηρόδεμα και κυψελωτό μπετόν | Κυψελωτό μπετόν 10 cm Κισσηρόδεμα(μπ.κλ.10 cm) Οπλ.σκυρόδεμα 14 cm Επίχρισμα 1.5 cm |
| 4 | Οροφή με πλάκες ταράτσας | Πλάκες ταράτσας 4 cm Ασβεστοτσιμεντοκ. 2 cm Οπλ.σκυρόδεμα 14 cm Επίχρισμα 1.5 cm |
| 5 | Οροφή με κισσηρόδεμα και γαρμπιλόδεμα | Γαρμπιλόδεμα 7 cm Κισσηρόδεμα 10 cm Οπλ.σκυρόδεμα 14 cm Επίχρισμα 1.5cm |
| 6 | Οροφή με κισσηρόδεμα και στεγανοποίηση | Στεγανοποίηση 1 cm Κισσηρόδεμα 10 cm Οπλ.σκυρόδεμα 14 cm Επίχρισμα 1.5 cm |
| 7 | Οροφή με κισσηρόδεμα, στεγανοποίηση και πλάκες ταρατσών | Πλάκες ταρατσών 4 cm Ασβεστοτσιμεντοκ. 2 cm Στεγανοποίηση 1 cm Κισσηρόδεμα 10 cm Οπλ.σκυρόδεμα 14 cm Επίχρισμα 1.5 |
| 8 | Μονωμένη στέγη με κεραμίδια γαλλ. τύπου | Κεραμίδι γαλλ. Τύπου Ξύλινος σκελετός 4 cm Μόνωση 8 cm Οπλ.σκυρόδεμα 14 cm Επίχρισμα 1.5 cm |
| 9 | Στέγη με κεραμίδια γαλλ. Τύπου χωρίς μόνωση | Κεραμίδι γαλλ. Τύπου Κενόν(ξυλ.σκελ. 8 cm) Οπλ.σκυρόδεμα 14 cm Επίχρισμα 1.5 cm |
| 10 | Μονωμένη ταράτσα με μπετόν κλίσεως πάνω από μόνωση | Γαρμπιλόδεμα 7 cm Μόνωση 6 cm Οπλ.σκυρόδεμα 14 cm Επίχρισμα 2 cm |

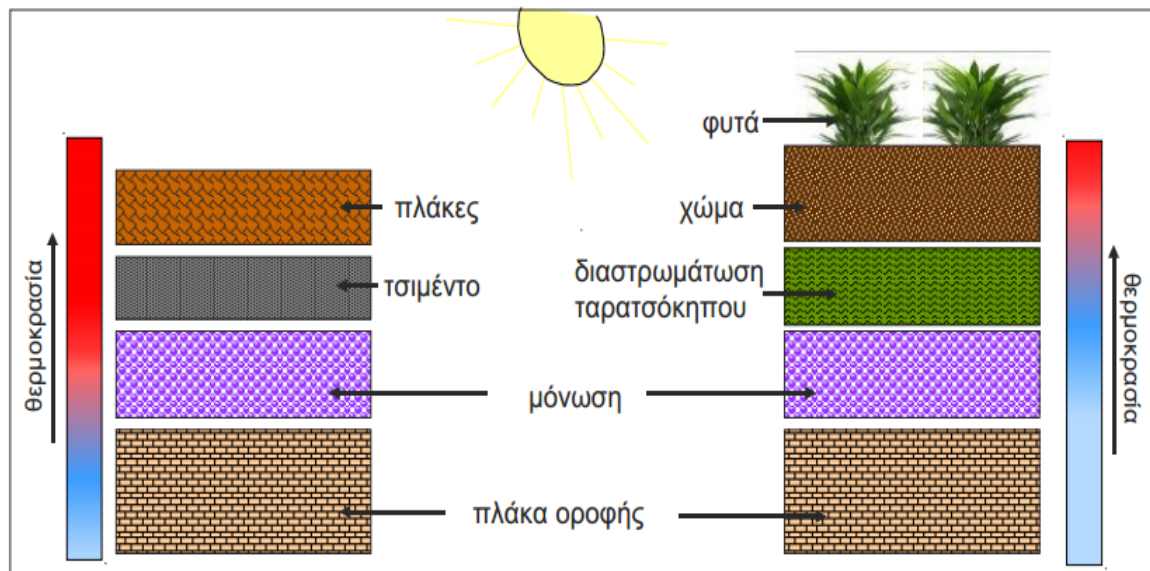
Οροφές με ακτινοβολητή νερού [2]

Η κατασκευή αυτή εκμεταλλεύεται την ακτινοβολία του ουρανού για μεταφορά θερμότητας από το εσωτερικό προς το εξωτερικό περιβάλλον και συμβάλει σημαντικά στη μείωση των φορτίων ψύξης της οροφής τους θερινούς μήνες.

Φυτεμένο δώμα (πράσινη στέγη ή ταρατσόκηπος) [1,2]

Το φυτεμένο δώμα αποτελεί τεχνική θερμικής προστασίας του κτιρίου τόσο το χειμώνα, όσο και το καλοκαίρι. Φυτεμένο δώμα είναι ένας χώρος πρασίνου πάνω στην οροφή ενός κτιρίου.

Είναι μια τεχνική αρκετά αποδεκτή πια καθώς εκτός απ' τη συμβολή της στην ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου, αποτελεί φυσική μονάδα οξυγόνου και μείωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης των αστικών περιοχών.



Εικόνα 4.3.1 Φυτεμένο δώμα

Λόγω των υλικών από τα οποία αποτελείται (χώμα ικανού πάχους και αέρας που εγκλωβίζεται μεταξύ των φυλλωμάτων των φυτών, συνδυαζόμενο με κατάλληλα θερμομονωμένη και υγρομονωμένη κατασκευή της οροφής) συνεισφέρει στη θερμομόνωση του κτιρίου. Το καλοκαίρι εμποδίζει την ηλιακή ακτινοβολία να φθάσει στο κτιριακό κέλυφος, μέσω της σκιάς που δημιουργούν τα φυτά στην επιφάνειά του. Επίσης τα φυτά συνεισφέρουν με την εξάτμιση από τα φύλλα τους στην ψύξη της οροφής. Πρακτικά μηδενίζει την επίδραση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην οροφή του κτιρίου. Λόγω των παραπάνω συνεισφέρει αρκετά στην εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια και στην καλή θερμική

συμπεριφορά του κτιρίου σε ακραίες καιρικές συνθήκες. Τόσο η κατασκευή του, όσο και η επιλογή των φυτών εξαρτάται από το είδος της οροφής, αλλά και από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής.

Εκτός της οροφής μπορεί να υπάρχουν φυτεμένοι τοίχοι, οι οποίοι επίσης συνεισφέρουν τόσο στο φυσικό δροσισμό του κτιρίου όσο και στη βελτίωση του μικροκλίματος.

Φράγμα ακτινοβολίας

Αποτελείται από λεπτά φύλλα αλουμινίου τα οποία τοποθετούνται κάτω από τη στέγη. Τα φύλλα αυτά έχουν υψηλό συντελεστή εκπομπής και ανακλαστικότητας με αποτέλεσμα να διαπερνώνται από ελάχιστα μόνον ποσοστά ακτινοβολίας. Έτσι η θερμική ακτινοβολία που απορροφάται από τη στέγη δεν εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο [16].

4.4 Δάπεδα [15]

Οι πιο κοινοί τύποι δαπέδων είναι οι εξής:

- δάπεδο επί του εδάφους
- αεριζόμενο δάπεδο
- δάπεδο επί θερμαινόμενου χώρου
- δάπεδο επί μη θερμαινόμενου χώρου
- δάπεδο επί μερικώς θερμαινόμενου χώρου

Οι πιο συνηθισμένοι τύποι κατασκευής δαπέδων δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4.4.1 Τύποι κατασκευής δαπέδων[9]

| <u>Τύπος κατασκευής δαπέδου</u> |
|---|
| 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 |

Η ροή θερμότητας από ένα δομικό στοιχείο που έρχεται σε επαφή με το έδαφος (δάπεδο) είναι ένα σύνθετο τρισδιάστατο φαινόμενο που εξαρτάται από πολλές παραμέτρους. Οι πιο βασικές είναι:

- η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους,
- το πάχος του στρώματος εδάφους που το διαχωρίζει από τον εξωτερικό αέρα,
- η γεωμετρία του κτιρίου,
- η ίδια η θερμική αντίσταση του δομικού στοιχείου.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά των πιο κοινών τύπων εδάφους :

Πίνακας 4.4.2 Τιμές θερμικής αγωγιμότητας και θερμοχωρητικότητας των κοινών τύπων εδαφών[9]

| Τύπος εδάφους | Θερμική αγωγιμότητα, $k \text{ W/mK}$ | Θερμοχωρητικότητα, $C_p \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ |
|-------------------|--|---|
| 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 | $2,0\cdot 10^6$ |

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειώσουμε ότι όταν το δάπεδο είναι επί εδάφους ή επί μη αεριζόμενου υπογείου δεν συμβαίνει μεταφορά θερμότητας μέσω αυτού, είναι δηλαδή το δάπεδο αδιαβατικό. Για το λόγο αυτό δε συμπεριλαμβάνεται και στους υπολογισμούς του συνολικού φορτίου του κτιρίου.

4.5 Θερμομόνωση

4.5.1 Εισαγωγή [2,16]

Θερμομόνωση ενός δομικού στοιχείου ονομάζεται το σύνολο των μεθόδων και των υλικών, που χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό της ροής θερμότητας μεταξύ των χώρων εκατέρωθεν του στοιχείου. Η επιτυχής θερμομόνωση εξασφαλίζει τη μείωση του συντελεστή θερμοπερατότητας U του δομικού στοιχείου δηλαδή, περιορίζει τη ροή θερμότητας διαμέσου του στοιχείου.

Οι θερμικές απώλειες προκαλούνται σε ένα κτίριο από τη μετάδοση της θερμότητας του αέρα ενός εσωτερικού χώρου προς την ατμόσφαιρα ή προς ψυχρότερους γειτονικούς χώρους ή/και αντίστροφα. Είναι γνωστό ότι, ανάμεσα σε δύο σώματα με διαφορετικές θερμοκρασίες, προκαλείται μία συνεχής ροή θερμότητας από το θερμότερο προς το ψυχρότερο, κάτι που συμβαίνει το χειμώνα από το εσωτερικό του κτιρίου προς τον εξωτερικό κρύο αέρα, αλλά και το καλοκαίρι, από τον εξωτερικό θερμό αέρα προς το δροσερότερο εσωτερικό του κτιρίου. Αυτή η ροή θερμότητας είναι αδύνατο να εμποδιστεί τελείως και μπορεί, μόνο, να περιοριστεί ως προς την ένταση και τη διάρκειά της. Αυτό γίνεται κατορθωτό με την **θερμομόνωση** του κτιρίου η οποία επιβραδύνει την ταχύτητα ανταλλαγής θερμότητας μέσα από τις επιφάνειες (τοιχούς, στέγες, πατώματα, κουφώματα) που χωρίζουν περιοχές ή χώρους διαφορετικής θερμοκρασίας.

Η σωστή θερμομόνωση ενός κτιρίου έχει ως αποτέλεσμα:

- Τη μεγαλύτερη θερμική άνεση στο εσωτερικό του κτιρίου.
- Τη μείωση της πιθανότητας εμφάνισης του φαινομένου της επιφανειακής συμπύκνωσης των υδρατμών ,καθώς εξαφανίζει τις θερμογέφυρες. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζονται ορισμένα ευπαθή σημεία, όπως ενώσεις δομικών στοιχείων, σωληνώσεις κλπ., ώστε να προστατεύονται ικανοποιητικά από τη θερμότητα και την υγρασία.
- Την παρεμπόδιση της διείσδυσης των νερών της βροχής, ώστε να μην επέλθουν ανεπανόρθωτες βλάβες στα υλικά με συνέπεια την απώλεια της θερμομονωτικής ικανότητας του.
- Τη μείωση των αρχικών δαπανών για την εγκατάσταση του συστήματος θέρμανσης, επειδή περιορίζει τις προβλεπόμενες απώλειες θερμότητας.
- Τη μείωση των λειτουργικών εξόδων του κτιρίου, επειδή περιορίζει την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη.
- Τη διατήρηση των θερμικών ηλιακών κερδών επί μεγάλο χρονικό διάστημα στο εσωτερικό του κτιρίου.

Η αύξηση της θερμομονωτικής ικανότητας του κτιριακού κελύφους περιλαμβάνει παρεμβάσεις:

- στους εξωτερικούς τοίχους,
- στο δώμα-οροφή,

- στο δάπεδο εφ' όσον συνορεύει με μη θερμαινόμενους χώρους (υπόγειο) ή με τον εξωτερικό αέρα (πυλωτή) και
- σε εσωτερικούς τοίχους, που συνορεύουν με μη θερμαινόμενους χώρους (π.χ. αποθήκες).

4.5.2 Ιδιότητες μονωτικών υλικών

Θερμομονωτικά υλικά ονομάζονται τα υλικά που έχουν μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ (συνήθως $\lambda < 0,1 \text{ W/mK}$) [2].

Η μονωτική τους ιδιότητα οφείλεται στην ύπαρξη σε αυτά μεγάλου αριθμού μικρών κυψελίδων (πόρων) που περιέχουν παγιδευμένο αέρα, ο οποίος (ακίνητος αέρας) παρουσιάζει τη μικρότερη γνωστή τιμή θερμικής αγωγιμότητας ($\lambda = 0,02 \text{ kcal/hm}^\circ\text{C}$). Η θερμομονωτική ικανότητα του υλικού εξαρτάται από το πορώδες του και είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο περισσότεροι και μικρότεροι σε μέγεθος είναι οι πόροι του. Η ύπαρξη αυτών των κυψελίδων αέρα έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση μικρού φαινόμενου βάρους, το οποίο είναι το δεύτερο κοινό χαρακτηριστικό των θερμομονωτικών υλικών [2].

Στην εκλογή θερμομονωτικού υλικού σημαντικό ρόλο παίζουν οι φυσικές ιδιότητες του καθώς και άλλες όπως η *μηχανική αντοχή*, *σταθερότητα στις διαστάσεις*, *αντίσταση στη φωτιά*, *ειδικό βάρος*, *η διάρκεια ζωής*, *η υδροαπορροφητικότητα*, *τα τριχοειδή αγγεία* καθώς επίσης και άλλοι παράγοντες όπως το κόστος (συνδυασμένο με τη διάρκεια ζωής), η διαθεσιμότητα και οι δυνατότητες μεταφοράς και τοποθέτησης.

Η θερμοκρασία και η υγρασία είναι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τις ιδιότητες των θερμομονωτικών υλικών. Ειδικά η υγρασία μπορεί να δημιουργήσει ιδιαίτερα σημαντικά προβλήματα καθώς μπορεί να αντικαταστήσει τον αέρα στους πόρους του υλικού με νερό με αποτέλεσμα την καταστροφή των μονωτικών του ιδιοτήτων. Για αυτό το λόγο πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη σημασία και σε ιδιότητες των υλικών όπως η *υδροαπορροφητικότητα* και η *υγροσκοπικότητα* [2].

Στη συνέχεια εξετάζουμε τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των μονωτικών υλικών καθώς και την επίδραση των δύο αυτών παραγόντων (θερμοκρασία, υγρασία) σε αυτά.

Σταθερότητα στις διαστάσεις (θερμοκρασιακός συντελεστής γραμμικής διαστολής)

Μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές έχουν ως αποτέλεσμα μια αξιόλογη γραμμική συρρίκνωση σε όλα τα στερεά μονωτικά υλικά. Ορισμένα θερμομονωτικά υλικά έχουν μεγάλους συντελεστές διαστολής, τους οποίους πρέπει να λάβει υπόψη του ο κατασκευαστής κατά την τοποθέτηση. Ακόμη πρέπει να ελέγχονται και οι ανοχές που μπορεί να εμφανίζουν οι διαστάσεις ώστε να ελέγχεται η συμπεριφορά τους. Σε θερμομονωτικές πλάκες που κατασκευάζονται με θερμικές διεργασίες μπορούν να διαφοροποιηθούν οι ονομαστικές διαστάσεις κατά το στάδιο της ψύξης και η κατάσταση να επιδεινωθεί εξαιτίας της γήρανσης. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με τεχνική γήρανση κατά τη φάση της παραγωγής έτσι ώστε να σταθεροποιηθούν οι διαστάσεις [2].

Μηχανική αντοχή

Η αντοχή των μονωτικών υλικών σε θλιπτικά ή εφελκυστικά φορτία είναι ιδιαίτερα σημαντική όταν η τοιχοποιία είναι φέρουσα και το μονωτικό υλικό ανήκει στα φέροντα στοιχεία της (θερμομονωτικά τούβλα) και όταν το μονωτικό υλικό τοποθετηθεί σε ψευδοροφές με μεγάλα ανοίγματα ή σε αυτοφερόμενες κατασκευές που καταπονούνται από τις καιρικές συνθήκες. Έτσι υλικά με μεγάλη μηχανική αντοχή μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αυτοφερόμενα, αλλά με μικρότερη αντοχή μπορούν να μπουν σε ένα φέρον πλέγμα και άλλα με πολύ μικρή ως υλικά πλήρωσης [2]. Η αντοχή σε συμπίεση είναι ένα καθοριστικό μέγεθος όταν πρόκειται για θερμομονώσεις δαπέδων.

Αντίσταση στη φωτιά

Παρά το αυξημένο κόστος τους, χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο θερμομονωτικά υλικά που δεν αναφλέγονται ή τουλάχιστο δύσκολα ή μέτρια αναφλεγόμενα. Γενικά την καλύτερη συμπεριφορά στη φωτιά έχουν τα ανόργανα μονωτικά υλικά σε αντίθεση με τα περισσότερα οργανικά υλικά [2].

Ειδικό βάρος

Το ειδικό βάρος αποτελεί μια ακόμη χρήσιμη ιδιότητα διότι ακόμη και στην ίδια κατηγορία υλικών μπορεί ένα ελαφρότερο υλικό να έχει χειρότερες

θερμομονωτικές ιδιότητες από βαρύτερο επειδή έχει μεγαλύτερες και πυκνότερες κυψέλες [2].

Ανακύκλωση

Η διαδικασία παραγωγής των υλικών, ο κύκλος ζωής τους και η τελική τους διάθεση (απόρριψη) έχει σημαντικές επιπτώσεις στο γενικότερο περιβάλλον. Στα νέα αναπτυσσόμενα υλικά, γίνεται προσπάθεια να μην έχουν αρνητική επίδραση στο περιβάλλον.

Η παραγωγή των συμβατικών μονωτικών υλικών (πολυστερίνης, αφρού πολυουρεθάνης) βασίζεται στην πετροχημική βιομηχανία και απαιτεί την εντατική χρήση πρώτων υλών που λαμβάνονται από την επεξεργασία ορυκτών καυσίμων. Αλλά και η παραγωγή του πετροβάμβακα και του υαλοβάμβακα αποτελεί εξαιρετικά ενεργοβόρα διαδικασία [17]. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, η σημασία της ανακύκλωσης στην περιβαλλοντική διαχείριση του κλάδου των μονωτικών υλικών είναι πολύ μεγάλη, χωρίς όμως να είναι επιθυμητή σε όλες ανεξαιρέτως τις περιπτώσεις, αφού πολλές διαδικασίες ανακύκλωσης μπορεί να απαιτούν εκτεταμένη θέρμανση του προϊόντος, προκειμένου αυτό να λιώσει και επομένως να καταναλώνονται μεγάλες ποσότητες ενέργειας.

4.5.3 Μονωτικά υλικά [2,18]

Τα μονωτικά υλικά χωρίζονται σε ανόργανα και οργανικά καθώς επίσης και σε φυσικά και τεχνητά.

Πίνακας 4.5.3.1 Κατηγορίες μονωτικών υλικών [16]

| Τύποι Θερμομονωτικών Υλικών | Υλικά |
|------------------------------------|---|
| Ανόργανα φυσικά | Αμίαντος, κίσηρης |
| Ανόργανα τεχνητά | Βερμικουλίτης, υαλοβάμβακας, σκωριόμαλλο, περλίτης, κυψελοειδές γυαλί, μονωτικά τούβλα, ορυκτοβάμβακας |
| Οργανικά φυσικά | Φυσικός φελλός, πλάκες τύρφης, καλάμια, πλάκες αχύρου, γιούτα |
| Οργανικά τεχνητά | Επεξεργασμένος φελλός, διογκωμένος φελλός, ξυλόμαλλο, καουτσούκ, συνθετικά πλαστικά, πολυουρεθάνη, πολυστερίνη, PVC, φαινολικά μονωτικά |
| Σκυροδέματα φυσικά | Κισσηρόδεμα, σκωριόδεμα, αμιαντοσκυροδέμα |
| Σκυροδέματα τεχνητά | Αερομπετόν, κυψελομπετόν |

Τα κυριότερα θερμομονωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται είναι τα παρακάτω:

Ανόργανα μονωτικά υλικά:

- **Αμίαντος**

Σερπεντίνη ή κεροσίλβη με τη μορφή λεπτών ινών. Παρουσιάζει μεγάλη ελαστικότητα και αντοχή σε εφελκυσμό. Είναι ανθεκτικός στη φωτιά και στην επίδραση των οξέων. Χρησιμοποιείται για άφλεκτες επενδύσεις με τη μορφή εύκαμπτων παπλωμάτων. Λόγω των πολύ καλών ιδιοτήτων του και του χαμηλού κόστους του για πολλές δεκαετίες αποτελούσε ιδανική λύση ως μονωτικό υλικό. Η χρήση του, όμως, έχει περιοριστεί σημαντικά πια γιατί έπειτα από επιδημιολογικές μελέτες που έγιναν, φάνηκε ότι είναι ένα πολύ επικίνδυνο υλικό καθώς η εισπνοή των μικροσκοπικών του ινών μπορεί να προκαλέσει μακροχρόνια πολύ σοβαρές ασθένειες.

- **Περλίτης (Perlomin)**

Βρίσκεται στη φύση με τη μορφή υαλώδους πετρώματος ηφαιστειακής προέλευσης. Αποτελείται από S_1O_2 κατά 75%. Χρησιμοποιείται ως αδρανές υλικό για την κατασκευή μονωτικών πλακών. Λόγω του αυξημένου πορώδους του και αναμεμιγμένος με τσιμέντο χρησιμοποιείται ως θερμομονωτική στρώση κάτω από τα δάπεδα.

Βρίσκεται σε μεγάλη διαθεσιμότητα στη φύση όμως είναι μη ανανεώσιμη πηγή κι η ανακύκλωση του είναι μερική.

Γενικά ο περλίτης δεν απελευθερώνει τοξικές ουσίες, κατά τη χρησιμοποίησή του ούτε απελευθερώνει τοξικά αέρια σε περίπτωση πυρκαγιάς. Πρέπει παρόλα αυτά όμως να δίνεται προσοχή κατά τη χρησιμοποίησή του σε σύνθετες κατασκευές με σιλικόνες και πολυουρεθάνη.

Γενικά θεωρείται ένα καλό θερμομονωτικό υλικό.

Σε θερμοκρασίες πάνω από 1000 °C διαστέλλεται, θρυμματίζεται σε μικρούς κόκκους, ο όγκος του αυξάνει κατά 15-25 φορές και λαμβάνεται ο **διογκωμένος περλίτης**.

Ο διογκωμένος περλίτης δεν προσβάλλει τα μέταλλα, αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες, δεν προσβάλλεται από την υγρασία και τους μύκητες και χρησιμοποιείται κυρίως στην παρασκευή μονωτικών επιχρισμάτων (περλιτικά επιχρίσματα).

- **Μονωτικά σκυροδέματα**

Έχουν σαν συνδετική ύλη το σκυροδέμα και ως αδρανή ειδικά υλικά .Τα υλικά αυτά εξασφαλίζουν την παρουσία φυσαλίδων αέρα κι έτσι αποκτούν θερμομονωτικές ιδιότητες. Τα πιο γνωστά μονωτικά σκυροδέματα είναι τα εξής:

Κυψελωτό μπετόν ή ελαφρομπετό (foam-mill)

Παράγεται από την εισαγωγή αέρα με μορφή αφρού κατά την ανάμειξη τσιμέντου και νερού.

Περλομπετόν

Παράγεται με την ανάμειξη σκυροδέματος ,διογκωμένου περλίτη ,αερακτικού και νερό. Το αερακτικό δημιουργεί πάρα πολλές κυψέλες αέρα βελτιώνοντας έτσι το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας.

Κίσσηρομπετον

Παράγεται από την ανάμειξη σκυροδέματος χαλικιών κίσσηρης και νερού. Η κίσσηρης ,κοινώς ελαφρόπετρα, έχει μεγάλη σκληρότητα και μικρό φαινόμενο βάρος κι έχει σημαντικές θερμομονωτικές ικανότητες.

- **Αφρώδες γυαλί**

Βασικό συστατικό του είναι η καθαρή άμμος και παρασκευάζεται με επεξεργασία διογκωτικού μέσου σε δύο τύπους με τη μορφή ανοικτών ή κλειστών πόρων. Είναι ανθεκτικό στη σήψη και στα παράσιτα. Πρέπει όμως να προστατεύεται από τη βροχή, γιατί μπορεί να διαβρωθεί από το στάσιμο νερό.

- **Υαλοβάμβακας (glasswool ή Fiberglas)**

Παράγεται από την ινοποίηση ρευστού πυριτικού γυαλιού και ανήκει στα ινώδη μονωτικά υλικά. Προσβάλλεται από την υγρασία (γι'αυτό και πρέπει να προστατεύεται) και το υδροχλωρικό οξύ και είναι άκαυστος. Έχει πολύ καλές ηχομονωτικές ιδιότητες και στο εμπόριο υπάρχει σε διάφορες μορφές (πάπλωμα με ή χωρίς επικάλυψη, πλάκες κοινές, πλάκες ενισχυμένες, πλάκες σκληρές). Χρησιμοποιείται στις οροφές, τα δάπεδα και τους τοίχους, καθώς και στη θερμομόνωση θερμοσιφώνων και ηλεκτρικών οικιακών συσκευών.

Τα υλικά από τα οποία παράγεται είναι μη ανανεώσιμα (εκτός της ύαλου) που βρίσκονται όμως σε αφθονία στη φύση (άμμος, βασάλτης κλπ).Ο υαλοβάμβακας και ο πετροβάμβακας είναι ανακυκλώσιμα.

Το I.A.R.C. (διεθνές κέντρο για την έρευνα του καρκίνου) που υπάγεται στον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, κατατάσσει τον υαλοβάμβακα στα εν δυνάμει καρκινογόνα υλικά που επιδρούν στον άνθρωπο μέσω της αναπνευστικής οδού και μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικές μολύνσεις, λαρυγγίτιδες, φαρυγγίτιδες. Σύμφωνα με το I.A.R.C. η επικινδυνότητά τους έγκειται στις διαστάσεις τους (μήκος ανώτερο των 5 μm και διάμετρος μικρότερη των 3 μm). Ακόμη, οι συνδετικές ουσίες που χρησιμοποιούνται και που έχουν βάση τη φορμόλη και την ουρία, απελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες τοξικής φορμαλδεΐδη.

- **Πετροβάμβακας**

Παρασκευάζεται από ορυκτά ασβεστολιθικής προέλευσης με ειδική κατεργασία και είναι κι αυτός ινώδης μονωτικό υλικό. Αντέχει σε θερμοκρασίες μέχρι 800°C, είναι άκαυστος και χρησιμοποιείται για μόνωση σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Πρέπει να προστατεύεται από την υγρασία.

- **Ορυκτοβάμβακας**

Παρασκευάζεται από ασβεστόλιθο, ο οποίος διαμορφώνεται σε λεπτές ίνες. Ανήκει κι αυτός στα ινώδη μονωτικά υλικά. Χρησιμοποιείται για μόνωση σωληνώσεων και στις οικοδομές (θερμικές και ακουστικές) είτε ως μονωτικό με τη μορφή πλακών, είτε εκτοξευόμενος για την κατασκευή μονωτικών στρώσεων. Πρέπει να προστατεύεται από την υγρασία.

- **Υαλομέταξα**

Είναι υλικό άφλεκτο και ανθεκτικό στην επίδραση των χημικών αντιδραστηρίων. Χρησιμοποιείται για την αύξηση της αντοχής των πλαστικών, όπως και για την κατασκευή άφλεκτων πετασμάτων και φίλτρων.

- **Θερμομονωτικά τούβλα**

Είναι τούβλα στη μάζα των οποίων έχουν δημιουργηθεί μικρές σφαιρικές κοιλότητες με αέρα. Αυτό γίνεται με την πρόσμιξη στην άργιλο (πριν ψηθεί) κόκκων διογκωμένης πολυστερίνης. Γενικά έχουν τη μορφή των κοινών τούβλων και είναι ελαφρύτερα από τα κοινά τούβλα κατά 25-40%.

Αντέχουν στις ακραίες θερμοκρασίες. Απορροφούν την υγρασία αλλά έχουν την ικανότητα να την αποδώσουν εύκολα πίσω στην ατμόσφαιρα και να στεγνώσουν. Άλλωστε έχουν μικρό συντελεστή αντίστασης στη διάχυση υδρατμών ($\mu=8-12$) γεγονός που επιτρέπει την αναπνοή του τοίχου.

Χρησιμοποιούνται στην κατασκευή εξωτερικών τοίχων χωρίς τη χρήση άλλου θερμομονωτικού υλικού.

- **Τούβλα με ενσωματωμένη μόνωση**

Είναι κοινά τούβλα στα οποία αφήνεται χώρος για την τοποθέτηση θερμομονωτικού υλικού (πιο συχνά πολυουρεθάνης).

Είναι άκαυστα, έχουν περίπου το ίδιο βάρος με τα κοινά τούβλα και η συμπεριφορά τους στην υγρασία μοιάζει με αυτή των θερμομονωτικών τούβλων.

Οργανικά μονωτικά υλικά

- **Ξύλο**

Χρησιμοποιείται ως μέτριο θερμομονωτικό υλικό με τη μορφή ελαφρών πλακών. Καλύτερη θερμομονωτική ικανότητα παρουσιάζουν πλάκες από ροκανίδια ή από ίνες ξύλου.

- **Φελλός**

Παράγεται από τον φλοιό των φελλόδεντρων. Χρησιμοποιείται διαμορφωμένος σε πλάκες ή φύλλα. Είναι υλικό ελαφρύ και επιπλέει στο νερό. Είναι αδιαπέραστος από το νερό και άλλα υγρά. Έχει μεγάλη συμπιεστότητα και ελαστικότητα και μεγάλη αντοχή σε αραιά διαλύματα οξέων.

Χρησιμοποιείται με τη μορφή φελλοψηφίδας (τρίμματα φελλού) και με τη μορφή φελλάλευρου (άλεσμα τριμμάτων φελλού). Επίσης, κατασκευάζονται πλάκες από διογκωμένα πεπιεσμένα τρίμματα φελλού με συνδετική ύλη από άργιλο, ρητίνη ή ασφαλτικά υλικά.

Το μονωτικό υλικό μπορεί να παραχθεί από καινούργιο φυσικό ή και από ανακυκλωμένο φελλό. Η συγκόλληση στη πρώτη περίπτωση γίνεται μέσω φυσικών συστατικών του υλικού. Ωστόσο, σε περιπτώσεις που ο φελλός είναι ανακυκλωμένος, η συγκόλληση μπορεί να γίνει και με συνθετικές κόλλες, οπότε τέτοιες πλάκες πρέπει να αποφεύγονται διότι περιέχουν τοξικές ουσίες.

Διογκωμένος φελλός

Προκύπτει με τη διόγκωση τριμμάτων φελλού με θέρμανση στους 400°C. Είναι 100% ανακυκλώσιμο υλικό. Δεν έχει καμία επίπτωση στην υγεία, είναι απόλυτα φιλικό και υγιεινό. Παρόλα αυτά όμως είναι αρκετά ακριβό σε σχέση με άλλα υλικά.

- **Πεπιεσμένο άχυρο**

Βρίσκεται με τη μορφή ελαφρών πλακών, οι οποίες έχουν μικρό κόστος. Παρουσιάζει και ηχομονωτικές ιδιότητες. Οι πλάκες πρέπει να ξηραθούν πλήρως και γρήγορα, γιατί είναι δυνατό να σαπίσουν.

- **Ξυλόμαλλο (Heraklith)**

Παρασκευάζεται από ίνες ξύλου ή ροκανίδια αλλά και από φύκια, καλάμια ή άλλα λεπτά οργανικά υλικά (μαγνησίτη) αναμεμιγμένα με τσιμέντο υψηλής αντοχής. Είναι απλές πλάκες συμπαγής οι οποίες και είναι εύκολες στη χρήση και τη μορφοποίηση τους. Παρουσιάζει υψηλή αντοχή σε κάμψη, θλίψη, γήρανση ,είναι ανθεκτικό στη φωτιά και δε κινδυνεύει από μύκητες ή άλλους μικροοργανισμούς .Πρέπει να προστατεύεται από την υγρασία. Παρουσιάζει μικρή, όμως αγωγιμότητα στα ηλεκτρικά πεδία, εξαιτίας του τσιμέντου γι'αυτό θα πρέπει να γίνονται σωστές γειώσεις του οπλισμού του σκυροδέματος. Καίγεται δύσκολα σε περίπτωση πυρκαγιάς και δεν απελευθερώνει τοξικές ουσίες.

Γενικά είναι αποδεκτό υλικό, σε γενικές γραμμές ανανεώσιμο και εύκολα ανακυκλώσιμο.

Στην Ευρώπη συναντάμε τρία υλικά από ξυλόμαλλο: το Heraklith, το Fibralith, και το Ecolith. Στην Ελλάδα έχουμε μόνο το πρώτο.

- **Διογκωμένη πολυστερίνη (EPS - Expanded polystyrene)**

Η Διογκωμένη πολυστερίνη γνωστή και σαν φελιζόλ, είναι ένα ελαφρύ, θερμομονωτικό υλικό το οποίο χρησιμοποιείται στην οικοδομή και σε άλλες εφαρμογές. Παράγεται από μονομερές στυρένιο με πολυμερισμό. Αποτελείται από μεγάλο αριθμό ομοιόμορφα κατανεμημένων κλειστών κυψελίδων και στην τελική μορφή η πολυστερίνη αποτελεί το 2-5% του υλικού ενώ το υπόλοιπο είναι αέρας. Η διογκωμένη πολυστερίνη παράγεται σε μεγάλα μπλοκ, τα οποία κόβονται σε πλάκες.

Είναι φτηνό υλικό και γενικά μαζί με την εξηλασμένη πολυστερίνη είναι τα πιο διαδεδομένα μονωτικά υλικά.

Είναι ευαίσθητη στην υγρασία, οι τιμές του συντελεστή διάχυσης υδρατμών κυμαίνονται από 20-70 ,αλλοιώνεται από οργανικούς διαλύτες και προσβάλλεται από έντομα και τρωκτικά.

Η διογκωμένη πολυστερίνη είναι ανακυκλώσιμη είτε μέσα από διεργασίες ανάπλασης, οπότε και χρησιμοποιείται αντί των πρωτογενών πολυμερών στην παραγωγή νέας διογκωμένης πολυστερίνης, είτε με το άλεσμά της και την μείξη της με τσιμέντο, οπότε χρησιμοποιείται ξανά ως μονωτικό υλικό. Η διογκωμένη πολυστερίνη μπορεί επίσης να ανακυκλωθεί για την παρασκευή άλλων ειδών προϊόντων, όπως επίπλων και κορνιζών.

- **Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη (Styrofoam)**

Παρασκευάζεται με πιο εξελιγμένη μέθοδο επεξεργασίας από ότι η διογκωμένη πολυστερίνη, με αποτέλεσμα το υλικό να αποτελείται από κλειστές κυψελίδες και να μην απορροφά υγρασία. Θεωρείται άριστο θερμομονωτικό υλικό αν και κάποιοι θεωρούν την διογκωμένη πολυστερίνη καλύτερη.

Προέρχεται από μη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (υδρογονάνθρακες) και μη ανακυκλώσιμη. Η εξηλασμένη πολυστερίνη μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί, εφόσον βρίσκεται σε καλή κατάσταση αλλά δεν ανακυκλώνεται λόγω της σύστασής της.

Γενικά η διαφυγή τοξικών πτητικών αερίων στο περιβάλλον, όπως CFC (χλωροφθοράνθρακες) και πεντανίου συμβάλλει στην καταστροφή της στρωβάδας του όζοντος και ενισχύουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Επιπλέον η διαφυγή στυρενίου στην ατμόσφαιρα το οποίο είναι μια ουσία νευροτοξική που είναι ένοχη για καρκινογενέσεις. Έχει μεγαλύτερο συντελεστή αντίστασης στη διάχυση υδρατμών από την διογκωμένη και άρα αναπνέει δυσκολότερα.

- **Πολυουρεθάνη**

Παρασκευάζεται από πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Είναι προϊόν πολυμερισμού και προσθήκης αλκοολών και ισοκυανικών ενώσεων που είναι επιβλαβής για την ανθρώπινη υγεία. Είναι αφρώδες μονωτικό υλικό. Όταν διογκώνεται παράγεται η διογκωμένη πολυουρεθάνη. Αποτελείται από κλειστές κυψελίδες. Εφαρμόζεται και επί τόπου στο έργο με ψεκάσμο. Δεν διαβρώνεται από τοξικές και χημικές ουσίες. Προέρχεται από μη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και μη ανακυκλώσιμη.

Οι ισοκυανάτες που προέρχονται από μια σύνθετη διαδικασία παραγωγής με βάση το χλώριο, απελευθερώνουν στο περιβάλλον αμίνες, ουσίες ιδιαίτερα επικίνδυνες για τους ανθρώπους ενώ σε περίπτωση πυρκαγιάς παράγεται κυάνιο, ουσία φοβερά τοξική.

- **Πολυστυρόλη**

Είναι ένα μονωτικό υλικό αποτελούμενο από πολύ μικρές ισομεγέθεις και ομοιόμορφα κατανεμημένες κυψελίδες .Παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση στην απορρόφηση υγρασίας και έχει μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ($\lambda=0,027-0,038$). Παράγεται σε σκληρές πλάκες γαλάζιου χρώματος και χρησιμοποιείται κυρίως σε οροφές , τοίχους, δάπεδα και στη βιομηχανία.

Ακολουθεί στους παρακάτω πίνακες μια συνοπτική παρουσίαση των βασικών θερμικών ιδιοτήτων των πιο συνηθισμένων μονωτικών υλικών:

Πίνακας 4.5.3.1 Θερμικές ιδιότητες οργανικών μονωτικών υλικών[19]

| Υλικό | Αφρώδη οργανικά | | |
|--------------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| | Διογκωμένη Πολυστερίνη | Εξηλασμένη Πολυστερίνη | Αφρός Πολυουρεθάνης |
| Θερμική αγωγιμότητα (W/mK) | 0,030 – 0,045 | 0,030 – 0,038 | 0,028 - 0,040 |
| Πυραντοχή | F - E | E | F (PIR E) |
| Αντοχή σε συμπίεση | Μέχρι 250 | Μέχρι 500 | Μέχρι 500 |
| Υδατοαπορρόφηση | Μέχρι 3% | Μέχρι 3% | Μέχρι 3% |
| Θερμοκρασίες εφαρμογής | -50 έως 75 C | -50 έως 75 C | -150 έως 120 C |
| Αντίσταση στη διάχυση υδρατμών | 10 - 20 | 50 - 80 | N.A. |

Πίνακας 4.5.3.2 Θερμικές ιδιότητες ανόργανων μονωτικών υλικών [19]

| Υλικό | Ινώδη ανόργανα | | | Αφρώδη ανόργανα |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------|-----------------|
| | Πετροβάμβακας | Γαλοβάμβακας | Ξυλόμαλλο | Αφρώδες γυαλί |
| Θερμική αγωγιμότητα (W/mK) | 0,032 – 0,045 | 0,033 – 0,040 | 0,070 – 0,090 | 0,035 – 0,040 |
| Πυραντοχή | A1 | A1 | B1 | A1 |
| Αντοχή σε συμπίεση | Μέχρι 250 | Μέχρι 200 | Μέχρι 500 | Μέχρι 700 |
| Υδατοαπορρόφηση | Μέχρι 3 kg/m ³ | Μέχρι 5 kg/m ³ | - | Μέχρι 1% |
| Θερμοκρασίες εφαρμογής | -20 έως 1000 C | -20 έως 350 C | - 50 έως 300 C | 800 C |
| Αντίσταση στη διάχυση υδρατμών | 1 - 3 | 1 - 3 | 2 - 5 | 700 |

4.5.3.1 Οικολογικά θερμομονωτικά υλικά [17,20,21]

Η εξάπλωση του γνωστού sick building syndrome (σύνδρομο των άρρωστων κτιρίων) και η διαπίστωση της σχέσης που υπάρχει ανάμεσα στην παρουσία υλικών πιθανώς βλαβερών για την υγεία του ανθρώπου στους χώρους κατοικίας βοήθησε και ενίσχυσε μια "οικολογική" στροφή στην οικοδομική.

Ένα μεγάλο μέρος των παθολογικών φαινομένων (αλλεργικές εκδηλώσεις, πονοκέφαλοι, δυσχέρεια συγκέντρωσης, εκνευρισμός κλπ.) που προσβάλλουν τους χρήστες του σύγχρονου κτιρίου, οφείλεται σε κάποιο βαθμό πράγματι στα ίδια τα υλικά κατασκευής, είτε λόγω της εσωτερικής τους σύνθεσης είτε λόγω των διαδικασιών παραγωγής τους είτε λόγω της τελικής επεξεργασίας στην οποία υποβάλλονται.

Πέρα από αυτό τα συμβατικά μονωτικά υλικά παράγονται από τη βιομηχανία κατά τις διαδικασίες παραγωγής τους καταναλώνονται μεγάλα ποσά ενέργειας (η λεγόμενη "γκρίζα ενέργεια") με επακόλουθες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Εκτός από τη χρήση ενέργειας, αυτά τα υλικά καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες πρωτογενών πόρων και στις περισσότερες περιπτώσεις παρασκευάζονται από συστατικά που δεν είναι ανανεώσιμα. Σταδιακά η χρήση αερίων που επιδρούν στην τρύπα του όζοντος απαγορεύεται μέσα από τη νομοθεσία, όμως ορισμένα συμβατικά μονωτικά υλικά συνεχίζουν να χρησιμοποιούν υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFC) και υδρογνοφθοράνθρακες (HFC) στην παραγωγή και στη σύστασή τους. Επίσης η ικανότητα ανακύκλωσης αυτών των προϊόντων αποτελεί ένα σημαντικό ζήτημα περιβαλλοντικής διαχείρισης. Γι αυτούς τους λόγους τα τελευταία χρόνια εμφανίζονται όλο και περισσότερα εναλλακτικά υλικά τα οποία θεωρούνται καλύτερα για το περιβάλλον αλλά και για την υγεία του ανθρώπου.

Τα θερμομονωτικά αυτά υλικά ονομάζονται οικολογικά. Για να θεωρηθεί ένα μονωτικό υλικό οικολογικό πρέπει να καλύπτει τα εξής κριτήρια:

- Να μην απαιτεί μεγάλη ενέργεια για την παραγωγή του.
- Να είναι ανακυκλώσιμο
- Να μη μολύνει το περιβάλλον κατά τη διάρκεια της παραγωγής του.
- Να μην περιέχει τοξικούς -καρκινογόνους ρύπους, επικίνδυνους για την υγεία του ανθρώπου [21] .

Από τα συμβατικά μονωτικά υλικά που αναφέραμε παραπάνω έχουν θεωρηθεί επικίνδυνα σύμφωνα με το Διεθνές Κέντρο Έρευνας για τον Καρκίνο η πολυουρεθάνη, η πολυστερίνη, ο υαλοβάμβακας και ο πετροβάμβακας[2].

Κάποια από τα οικολογικά υλικά είναι ο φελλός, το ξυλόμαλλο (τα οποία αναφέραμε και παραπάνω), η κυτταρίνη, ο διογκωμένος άργιλος, το λιναρόμαλλο (τζίβα), το βαμβάκι, η γιούτα και το ρολό από ίνες κοκοφοίνικα. Αξίζει να σημειώσουμε εδώ ότι τα περισσότερα από αυτά τα υλικά έχουν αρκετά χαμηλό κόστος (εκτός από τον διογκωμένο φελλό).

Τα πιο σημαντικά παρουσιάζονται παρακάτω:

- **Μαλλί προβάτου**

Το μονωτικό υλικό από μαλλί προβάτου παρασκευάζεται είτε από ανακυκλωμένο μαλλί είτε από καινούργιο μαλλί και παρέχεται σε μορφή ρολών ή πετασμάτων σε διαφορετικά μεγέθη και πάχη. Επειδή οι ίνες του μαλλιού έχουν τη δυνατότητα να απορροφούν μεγάλα ποσά υγρασίας. Είναι πιο κατάλληλο για διαπνέουσες κατασκευές και προσφέρει δροσισμό του χώρου το καλοκαίρι και θέρμανσή του το χειμώνα.



Εικόνα 4.5.3.1.1 Μονωτικό υλικό από μαλλί προβάτου

- **Λιναρόμαλλο**

Χρησιμοποιούνται οι κοντές ίνες του φυτού (λινάρι) ως μονωτικό υλικό. Η μόνωση από λινάρι παρέχεται σε μορφή ρολών και πετασμάτων σε ποικιλία μεγεθών. Έχει θερμική αγωγιμότητα $\lambda = 0,038 \text{ W/mK}$ και βρίσκει εφαρμογή σε τοίχους, δάπεδα, οροφές .

- **Κενάφ**

Το κενάφ (Hibiscus Canabinnus) είναι ετήσιο φυτό θερμών περιοχών, συγγενές με το βαμβάκι, την μπάμια και τον ιβίσκο[22].

Το πάνελ από κέναφ είναι θερμομονωτικό και ηχοαπορροφητικό ινώδες υλικό αποτελούμενο κατά το 85% από ίνες κέναφ και κατά το 15% από ίνες πολυεστέρα [23].

Χρησιμοποιείται στην οικοδομική, ανάμεσα ή πάνω από τα δοκάρια της στέγης, στα διάκενα των εσωτερικών και εξωτερικών τοίχων, των επενδύσεων και τοίχων από γυψοσανίδες ή από ξύλο, στις ψευδοροφές ή και κάτω από τα δάπεδα και πατώματα. Μετά την τοποθέτησή του δεν έχει ανάγκη από οποιαδήποτε συντήρηση. Είναι άριστο μονωτικό υλικό και απορροφητικό υγρασίας.

- **Βαμβάκι**

Το βαμβάκι είναι μια πρώτη ύλη που έχει ικανοποιητικές θερμομονωτικές ιδιότητες. Παρόλα αυτά η καλλιέργεια βαμβακιού είναι μια άκρως εντατική διαδικασία που χρησιμοποιεί παρασιτοκτόνα, λιπάσματα και μεγάλα ποσά νερού γι αυτό και η χρήση καινούργιου βαμβακιού δεν συνιστάται.

Οι ανακυκλωμένες ίνες βαμβακιού χρησιμοποιούνται στην παρασκευή μονωτικών υλικών και μπορούν να δώσουν συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας περίπου $\lambda = 0,03\text{W/mK}$.

- **Καλαμπόκι (biofiber)**

Ένα οικολογικό μονωτικό υλικό που παράγεται αποκλειστικά από οργανικές πρώτες ύλες είναι και το βιοπολυμερές από ίνες κόκκων καλαμποκιού. Το υλικό είναι 100% βιοδιασπώμενο και διατίθεται σε πλάκες διαφόρων παχών. Παράγεται μέσα από τη διαδικασία ελεγχόμενης ζύμωσης κόκκων καλαμποκιού και δεν είναι εύφλεκτο. Τα φύλλα από ίνες καλαμποκιού όταν ολοκληρώσουν τον κύκλο της ζωής τους μπορούν εύκολα να ανακυκλωθούν επειδή είναι πλήρως βιοαποδομήσιμα. Θαλασσινό νερό και χώμα που περιέχει μικροοργανισμούς το μετατρέπουν σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Μπορεί επίσης να μετατραπεί σε λίπασμα (compost) μαζί με τα οικιακά απορρίμματα.

- **Κυτταρίνη**

Οι ίνες κυτταρίνης είναι διαδεδομένο ανανεώσιμο μονωτικό υλικό κυρίως σε κάποιες ευρωπαϊκές χώρες. Το υλικό παρασκευάζεται από απορρίμματα χαρτιού και είναι διαθέσιμο σε πλάκες διαφορετικών παχών αλλά και σε μορφή συνδεδεμένου υλικού, σε σάκους για εφαρμογές γεμίσματος σε σοφίτες. Μπορεί ακόμη και να ψεκαστεί σε κατασκευές από ξύλο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα

τέτοιου υλικού είναι η μόνωση που παράγεται από *ανακυκλωμένες εφημερίδες* η οποία έχει θερμική αγωγιμότητα $\lambda = 0,040\text{W/mK}$.

4.5.3.2 Νέες τεχνολογίες

Πέρα από την εμφάνιση των φυσικών μονωτικών υλικών, υπάρχουν και πολλά παραδείγματα προϊόντων που παράγονται με τεχνικές υψηλής τεχνολογίας.

Αυτά τα υλικά χρησιμοποιούν καινοτόμες τεχνολογίες και παρέχουν υψηλά επίπεδα απόδοσης ως προς τις θερμικές τους ιδιότητες και τις περιβαλλοντικές τους επιδόσεις.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα *αεροτζέλ*, τα *μονωτικά πετάσματα κενού* αέρος, τα *μονωτικά υλικά με χρήση PCM*.

- **Αεροτζέλ (aerogel) [24]**

Το αεροτζέλ είναι ένα νέο υλικό με πολύ καλές θερμομονωτικές ιδιότητες αφού ουσιαστικά είναι τζελ από αεριούχο αφρό που αποτελείται σχεδόν από 100% αέρα (η ακριβή περιεκτικότητα κυμαίνεται από 95% έως 99.9%). Το υπόλοιπο υλικό του αφρού είναι πυρίτια (SiO_2). Είναι το πιο ελαφρύ στερεό υλικό και εμφανίζει πολύ μεγάλη θερμική αντίσταση και έχει θερμικό συντελεστή αγωγιμότητας που φτάνει την τιμή $0,018\text{W/mK}$.

Οι νανοδιαστάσεις των πόρων (μεγέθους 20nm) που σχηματίζονται καθώς σε αυτούς παγιδεύονται τα μόρια αέρα τα οποία αδυνατώντας να κινηθούν δίνουν στο υλικό τις άριστες θερμομονωτικές ιδιότητές του και για το λόγο αυτό έχουν μεγάλη σημασία για την ποιότητα του αεροτζέλ.

Χρησιμοποιείται σαν υλικό πλήρωσης σε διαφόρων τύπων κενά, όπως στους υαλοπίνακες αλλά καθώς το κόστος παρασκευής του μειώνεται, μπορεί να βρει εφαρμογή και σε άλλα δομικά στοιχεία.

Πέρα από τις θερμομονωτικές του ιδιότητες, λόγω της υδρόφοβης ιδιότητας του εμποδίζει τη διάδοση υγρασίας και λόγω της ημιδιαφανής μορφής του επιτρέπει την καλή διάδοση του φωτός και τη σωστή κατανομή του μέσα στο κτίριο.



Εικόνα 4.5.3.2.1 Αεροζέλ

- **Μονωτικοί πίνακες κενού (vacuum insulation panels VIPs) [24]**

Οι μονωτικοί πίνακες κενού παρέχουν πολύ καλή θερμομόνωση καθώς έχουν αρκετά χαμηλό συντελεστή αγωγιμότητας ($\lambda=0.005\text{W/mK}$ περίπου). Επίσης είναι ανακυκλώσιμοι και έχουν αρκετό χρόνο ζωής (20-50 χρόνια).

Η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα επιτυγχάνεται με την παντελή έλλειψη αέρα δηλαδή τη δημιουργία κενού. Οι πίνακες αυτοί είναι κατασκευασμένοι με τον εξής τρόπο. Το υλικό πλήρωσης σε κενό περιέχεται μέσα σε έναν περιβάλλον σκελετό ο οποίος είναι υπό μορφή φακέλου, κατασκευασμένος από πλαστικό (συνήθως καλύπτεται από αλουμίνιο) ή από ανοξειδωτο αστάλι. Το υλικό πλήρωσης έχει την μορφή αφρού, σκόνης, ή ινών (fibre glass) και πρέπει πάντα να είναι πορώδες, για να αντιστέκεται στην πίεση και να μπορεί να εκκενωθεί. Τα άκρα σφραγίζονται ερμητικά, τυλίγονται προς το εσωτερικό του φακέλου και κολλάνε σε αυτόν. Το περίβλημα του φακέλου πρέπει να μην έχει τρύπες. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι οι πίνακες δεν μπορούν να κοπούν και κατά συνέπεια δε μπορεί να μεταβληθεί το μέγεθος τους.

Σε σύγκριση με τα συμβατικά μονωτικά υλικά οι πίνακες αυτοί για ίδιο πάχος μόνωσης έχουν πολύ μεγαλύτερη θερμική αντίσταση και αντίστοιχα για ίδια θερμική αντίσταση χρησιμοποιείται μικρότερο πάχος μόνωσης. Δηλαδή μπορούμε να πετύχουμε μέγιστη θερμομόνωση με πολύ μικρό πάχος.

Γενικά η τεχνολογία αυτή υπάρχει αρκετά χρόνια όμως δεν ήταν ευρεία διαδεδομένη κυρίως λόγω του μεγάλου κόστους της. Η χρήση νέων υλικών και τρόπων επεξεργασίας οδήγησε σε σημαντική μείωση του κόστους και στη χρήση τους πια και στις κατασκευές.

- **PCM (Υλικά αλλαγής φάσης) [7]**

Τα υλικά που αλλάζουν φάση στο εύρος των θερμοκρασιών της εφαρμογής που χρησιμοποιούνται ονομάζονται PCMs (Phase Change Materials). Ως υποψήφια PCMs θεωρούνται συνήθως υλικά που αλλάζουν μεταξύ στερεής και υγρής φάσης, αν και έχουν χρησιμοποιηθεί σε ερευνητικό επίπεδο και υλικά που μεταβαίνουν από τη μια φάση σε άλλη με όλους τους δυνατούς συνδυασμούς. Τα υλικά που μεταπίπτουν σε αέρια κατάσταση κατά την αλλαγή φάσης δεν ενδιαφέρουν λόγω των πρακτικών δυσκολιών που παρουσιάζει η μεγάλη αλλαγή της πυκνότητας αλλά και της ίδιας της φύσης των αερίων.

Το ιδανικό PCM θα ήταν ένα υλικό που θα παρουσίαζε μεγάλη τιμή λανθάνουσας θερμότητας, υψηλή αγωγιμότητα, θερμοκρασία τήξης σύμφωνη με το θερμοκρασιακό εύρος της εφαρμογής, να τήκεται με την ελάχιστη εμφάνιση supercooling, να είναι χημικά σταθερό, φτηνό στην παραγωγή του, 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 τους. Το πλέον γνωστό PCM είναι το νερό που κατά την αλλαγή φάσης του σε πάγο μπορεί να αποθηκεύσει πολύ μεγάλα ποσά θερμότητας (περίπου 80 φορές περισσότερη αποθηκευμένη θερμότητα σε σχέση με την υγρή κατάσταση του νερού). Επειδή η χρήση του πάγου ως PCM παρουσιάζει ορισμένα προβλήματα που δημιουργούνται λόγω των ιδιοτήτων του νερού (θερμοκρασία πήξης 0 °C, μεγάλη μεταβολή της πυκνότητας με τη θερμοκρασία, χαμηλή θερμοκρασία προσαγωγής στο σύστημα αποθήκευσης κλπ) η ιδέα ήταν να αναπτυχθούν υλικά με βάση το νερό, ώστε να παρουσιάζουν τα πλεονεκτήματά του (μεγάλη τιμή του συντελεστή αγωγιμότητας, μεγάλη τιμή λανθάνουσας θερμότητας) αλλά να μην παρουσιάζουν τα υπόλοιπα προβλήματα της χρήσης του πάγου και κυρίως τη θερμοκρασία τήξης. Με βάση αυτή την σκέψη δημιουργήθηκαν τα πρώτα PCMs που είναι τα ένυδρα άλατα, μια κατηγορία υλικών που αναπτύσσεται και τελειοποιείται ακόμη και σήμερα.

Τα δομικά υλικά από τα οποία χρησιμοποιούνται στα κτίρια παραμένουν στη στερεή κατάσταση σε ολόκληρο το εύρος των θερμοκρασιών χρήσης τους. Ομοίως συμπεριφέρονται και τα συμβατικά μονωτικά υλικά. Αντίθετα με αυτή τη προσέγγιση μόνωσης των κτιρίων θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν υλικά που

θα αποθήκευαν τη θερμότητα που εισέρχεται στο κτίριο από το κέλυφος (περίοδος θέρους) ώστε να μην αυξηθεί η θερμοκρασία των χώρων ή να αποθηκεύουν τη θερμότητα που προσπίπτει στο κτίριο με μορφή ηλιακής ακτινοβολίας ώστε μην υπάρχουν απώλειες θερμότητας (περίοδος χειμώνα).

Η βασική ιδέα των συστημάτων αποθήκευσης ως μέσα εξοικονόμησης ενέργειας είναι η μετατόπιση των μεγίστων ενεργειακών απαιτήσεων της εγκατάστασης σε ώρες εκτός των περιόδων μέγιστης ζήτησης του συστήματος διανομής ενέργειας ή η εξομάλυνση της καμπύλης ενεργειακής απαίτησης της εγκατάστασης ώστε να μην παρουσιάζονται σημεία αιχμής κατά την εικοσιτετράωρη λειτουργία της.

Οι έρευνες που έχουν γίνει και γίνονται καθώς και οι εφαρμογές που έχουν πραγματοποιηθεί αποδεικνύουν ότι δομικά υλικά τα οποία έχουν εμποτιστεί με PCM ή δομικές κατασκευές που εμπεριέχουν PCM, μπορούν να αποθηκεύσουν 5 φορές περισσότερη ενέργεια ανά μονάδα όγκου σε σχέση με τα συμβατικά δομικά υλικά.

Η εφαρμογή τους στις κτιριακές εγκαταστάσεις μπορεί να γίνει είτε με χρήση των PCMs αυτούσια ως στρώμα υλικού μέσα στην τοιχοποιία ή σαν συστατικό σύνθετου υλικού με κύριο συστατικό το γύψο ή το τσιμέντο (π.χ. γυψοσανίδα με πρόσθετο συστατικό το PCM ή σοβάς με PCM). Η χρήση των PCMs σε συνδυασμό με γυψοσανίδα συνήθως γίνεται σε αναλογία 20-30% PCM κατά βάρος. Ειδικά όταν χρησιμοποιούνται οργανικά PCMs η ενσωμάτωσή τους σε υλικά με υψηλό δείκτη πυραντίστασης εξασφαλίζει εν μέρη τη μη ανάφλεξη των PCMs σε περίπτωση πυρκαγιάς. Η ενσωμάτωση των PCMs σε υλικά όπως ο γύψος ή το τσιμέντο εξασφαλίζει σε μεγάλο βαθμό τη συγκράτηση του υλικού ακόμη και μετά την πλήρη υγροποίησή του, καθώς και τη μη πρόσληψη υγρασίας από τον αέρα του περιβάλλοντος. Σε πολλές περιπτώσεις ανάλογα με την κατηγορία του υλικού (λιπαρά οξέα, ένυδρα άλατα) είναι απαραίτητη η ενσωμάτωση του PCM σε προστατευτικό κάλυμμα πριν την ενσωμάτωσή τους σε δομικό υλικό. Για την κατηγορία των παραφινών πειραματικά αποτελέσματα έχουν δείξει τη συμβατότητά τους με το γύψο, καθώς και με το τσιμέντο και γι' αυτό το λόγο έχουν χρησιμοποιηθεί δομικά υλικά εμποτισμένα με παραφίνες.

Το πλέον προσιτό δείγμα χρήσης των PCMs ώστε να γίνει κατανοητή η λειτουργία τους είναι η εφαρμογή τους στην τοιχοποιία.

Κατά την περίοδο του θέρους η θερμότητα από το εξωτερικό περιβάλλον εισέρχεται στο κέλυφος του κτιρίου διαπερνώντας τα στρώματα του σοβά και του τούβλου και αντιμετωπίζει τη θερμική αντίσταση της μόνωσης. Στη κοινή κατασκευή τοιχοποιίας όσο ποσό θερμότητας διαπεράσει το στρώμα της μόνωσης θα εισέλθει στο χώρο μέσω των στρωμάτων του τούβλου και του σοβά. Στην περίπτωση της ενισχυμένης τοιχοποιίας με PCM το επιπλέον ποσό θερμότητας αποθηκεύεται στο υλικό και δεν περνά προς τον εσωτερικό χώρο.

Κατά την περίοδο του χειμώνα ο αέρας του εσωτερικού χώρου έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία από το εξωτερικό περιβάλλον. Σ' αυτή την περίπτωση η θερμότητα από τον εσωτερικό χώρο διαπερνά τα στρώματα του σοβά και του τούβλου και εγκλωβίζεται στο PCM μην αφήνοντας να διαφύγει θερμότητα προς το περιβάλλον. Στη συμβατική περίπτωση όσο ποσό θερμότητας διαφεύγει από το στρώμα της μόνωσης καταλήγει στο περιβάλλον.

4.5.4. Τρόποι θερμομόνωσης

4.5.4.1. Τρόποι θερμομόνωσης τοιχοποιίας [2,25]

Ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους, το πάχος τους, τη χρήση και τις απαιτήσεις των χώρων που περικλείουν, οι τοιχοποιίες θερμομονώνονται με τους εξής τρόπους :

- εσωτερικά.
- Εξωτερικά
- Με τοποθέτηση θερμομονωτικού υλικού στον πυρήνα της (δικέλυφη τοιχοποιία)
- Με χρήση τούβλων με αυξημένες θερμομονωτικές ικανότητες.

Θερμομόνωση στην εσωτερική πλευρά της τοιχοποιίας

Στην περίπτωση αυτή το μονωτικό υλικό τοποθετείται από την εσωτερική πλευρά του τοίχου και προστατεύεται από φράγμα υδρατμών και κάποιο στερεό δομικό υλικό που λειτουργεί όπως και το επίχρισμα.

Γενικά αποτελεί την οικονομικότερη λύση, είναι απλή κατασκευή και ο χρόνος κατασκευής της είναι λίγος. Ο χώρος θερμαίνεται αρκετά γρήγορα κι επίσης δεν

απαιτείται ιδιαίτερη προστασία του μονωτικού υλικού από τις εξωτερικές επιδράσεις .

Έχει όμως τα εξής μειονεκτήματα :

- Περιορίζεται ο ωφέλιμος εσωτερικός χώρος.
- Μπορεί να θερμαίνεται γρήγορα ο χώρος όμως εξίσου γρήγορα ψύχεται καθώς μένει ανεκμετάλλευτη η θερμοχωρητικότητα του εξωτερικού τοίχου.
- Δε μπορεί να λύσει το πρόβλημα των θερμογεφυρών κι υπάρχει κίνδυνος επιφανειακής συμπύκνωσης των υδρατμών και δημιουργία επιφανειακής δρόσου.
- Τα δομικά στοιχεία κινδυνεύουν από συστολές και διαστολές από τις θερμοκρασιακές μεταβολές και υπάρχει κίνδυνος ρηγματώσεων και εισροής νερού της βροχής .
- Δημιουργούνται δυσκολίες στην τακτοποίηση των ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων.

Λόγω του απαιτούμενου μικρού χρόνου θέρμανσης αλλά και της γρήγορης ψύξης του χώρου είναι κατάλληλο σύστημα για χώρους με περιοδική χρήση (ναούς ,κινηματογράφους) αλλά και με απαίτηση γρήγορης θέρμανσης .

Εξωτερική θερμομόνωση

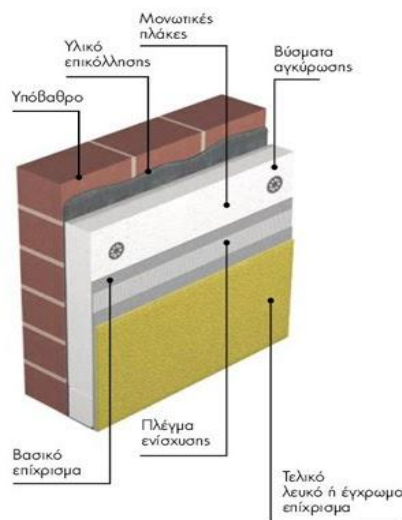
Εδώ το μονωτικό τοποθετείται στο εξωτερικό μέρος του τοίχου και προστατεύεται από τις καιρικές συνθήκες με επένδυση φύλλων αλουμινίου, ασβεστοτσιμέντο κ.α. Πλεονεκτήματα κατασκευής :

- Δεν μειώνεται ο ωφέλιμος εσωτερικός χώρος οπότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί και μεγαλύτερου πάχους θερμομονωτικό υλικό .
- Δεν παρεμποδίζεται η λειτουργία του χώρου κατά την κατασκευή της.
- Η θερμοχωρητικότητα του τοίχου είναι εκμεταλλεύσιμη κι έτσι ο χώρος διατηρεί τη θερμότητα του και ψύχεται με αργό ρυθμό.
- Στους νότιους ειδικά χώρους των κτιρίων διατηρείται η θερμότητα από το ηλιακό θερμικό κέρδος γιατί αποθηκεύεται στους βαρείς εσωτερικούς τοίχους.

- Οι εξωτερικές επιφάνειες των τοίχων προστατεύονται από τις συστολές και διαστολές.
- Εξασφαλίζεται κάλυψη των θερμογεφυρών ιδιαίτερα στις πλάκες σκυροδέματος, στα δοκάρια και στις κολώνες.
- Γενικά το κέλυφος προστατεύεται από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες.

Μειονεκτήματα κατασκευής:

- Η κατασκευή της είναι ακριβότερη σε σχέση με τη θερμομόνωση της εσωτερικής πλευράς του τοίχου και μάλλον ακριβότερη και από όλους τους άλλους τύπους θερμομόνωσης .
- Υπάρχει αδυναμία εφαρμογής της εξωτερικής θερμομόνωσης όταν οι τοίχοι έχουν πολλές αρχιτεκτονικές προεξοχές ή έντονο εξωτερικό μορφολογικό ενδιαφέρον όψεων.
- Η θέρμανση του χώρου γίνεται με αργό ρυθμό
- Απαιτείται ειδική προστασία των μονωτικών υλικών από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες .



Εικόνα 4.5.4.1.1 Εξωτερική θερμομόνωση τοιχοποιίας

Η απόδοση της εξωτερικής θερμομόνωσης εξαρτάται άμεσα, εκτός από το θερμομονωτικό υλικό, από τις ιδιότητες της κόλλας, του πλέγματος και των βυσμάτων και των επιχρισμάτων που χρησιμοποιούνται. Καθώς η μόνωση

τοποθετείται εξωτερικά απαιτούνται για την προστασία της επιχρίσματα με διαφορετικές ιδιότητες από τα συνηθισμένα.

Αποτελεί την οικονομικά καλύτερη και λειτουργικά πιο ορθολογική λύση για τα μη θερμομονωμένα, ή πλημμελώς μονωμένα, υφιστάμενα κτίρια που υπάρχουν λόγω της έλλειψης πρόνοιας στις κατασκευές ως και τα μέσα της δεκαετίας του 1980.

Θερμομόνωση με θερμομονωτικά τούβλα

Στην περίπτωση αυτή ο τοίχος χτίζεται με ειδικά θερμομονωτικά τούβλα (τα οποία περιγράψαμε και σε παραπάνω ενότητα) που με τον τρόπο κατασκευής τους, το σχήμα τους, τις διαστάσεις τους εξασφαλίζουν τις απαιτούμενες τιμές του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U . Αν απαιτείται να αυξηθεί ο συντελεστής αυτός προστίθεται μονωτικό που σε ορισμένες περιπτώσεις είναι εκ κατασκευής ενσωματωμένο στο θερμομονωτικό τούβλο.



Εικόνα 4.5.4.1.2.Θερμομονωτικό τούβλο

Η κατασκευή αυτή εμφανίζει πολλά πλεονεκτήματα αλλά θα πρέπει να γίνεται σωστή κατασκευή των επιχρισμάτων ώστε να μην υγραίνεται η μάζα των θερμομονωτικών τούβλων δηλαδή να προστατεύονται από την υγρασία.

Θερμομόνωση στον πυρήνα μεταξύ δύο τοίχων

Συνήθως το μονωτικό υλικό τοποθετείται στο ενδιάμεσο κενό ενός διπλού τοίχου συνήθως μεταξύ δύο δομικών τοίχων και αυτό ίσως αποτελεί το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου. Εξασφαλίζεται δηλαδή η θερμομόνωση, αλλά δεν είναι βέβαιο ότι εξασφαλίζεται επαρκώς και η στατική αντοχή του συστήματος και ιδιαίτερα η αντοχή που απαιτείται από τον αντισεισμικό κανονισμό. Η κατασκευή αυτού του τύπου θερμομόνωσης έχει περιθώρια βελτίωσης έστω και αν

δημιουργηθούν στη χειρότερη περίπτωση θερμογέφυρες από την κατασκευή των σενάζ. Μια συνηθισμένη παραλλαγή της είναι να προβλεφθεί στρώμα αέρα (πάχους 2εκ.) δίπλα στο μονωτικό υλικό που βρίσκεται ανάμεσα στους δύο τοίχους.

Αποτελεί μέθοδο τοποθέτησης θερμομόνωσης που χρησιμοποιείται πολύ στη χώρα μας και οικονομικά βρίσκεται μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής θερμομόνωσης .

Αεριζόμενη θερμομόνωση τοίχου

Στην περίπτωση αυτή τοποθετείται στην εξωτερική πλευρά του τοίχου το μονωτικό υλικό και στη συνέχεια αναρτάται η προκατασκευασμένη επιφάνεια. Οι «αεριζόμενες προσόψεις» πήραν το όνομά τους από το στρώμα αέρα μεταξύ του μονωτικού υλικού και της εξωτερικής διακοσμητικής επιφάνειας. Σήμερα η τεχνική αυτή αποτελεί μια από τις συχνές μεθόδους παγκοσμίως για την μόνωση κυρίως εμπορικών κτιρίων .

Έχει μικρότερο κόστος από την εξωτερική θερμομόνωση και μεγαλύτερο από τη θερμομόνωση στον πυρήνα της τοιχοποιίας.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της κατασκευής είναι τα παρακάτω:

- Εξασφαλίζει απόλυτη προστασία του τοίχου από το φαινόμενο της εσωτερικής συμπύκνωσης υδρατμών.
- Η σεισμική του συμπεριφορά εξαρτάται μόνο από την κατάσταση του φέροντος οργανισμού στον οποίο αναρτάται και όχι από την κατάσταση των τοίχων πλήρωσης, που είναι συνήθως σεισμικά ευαίσθητοι.
- Η προκατασκευασμένη επιφάνεια επιτρέπει τη διαμόρφωση αρχιτεκτονικών προεξοχών καθώς επίσης και τις επιφανειακές επιστρώσεις με μάρμαρα, πλακάκια, λιθόπλακες κ.α.
- Ελαχιστοποιεί τις θερμογέφυρες στο κέλυφος του κτιρίου, λόγω της δυνατότητας κάλυψης όλης της εξωτερικής επιφανείας του με θερμομονωτικό υλικό.
- Εκμεταλλεύεται τη θερμοχωρητικότητα του κελύφους, οπότε το εσωκλίμα παραμένει ανεπηρέαστο από απότομες αλλαγές του καιρού για σημαντικό χρόνο.

- Το διάκενο εξαερισμού προστατεύει τον τοίχο από τη νυχτερινή ψύξη τον χειμώνα, την υπερθέρμανση το καλοκαίρι και τις απώλειες λόγω υψηλής ταχύτητας του αέρα.

4.5.4.2.Θερμομόνωση οροφής [2]

Μια οροφή πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά :

- υδατοστεγανότητα για να προστατεύει το κτίριο από τη βροχή και την υγρασία.
- Σωστή κλίση για να ευνοείται η απομάκρυνση του νερού της βροχής.
- Θερμική προστασία στο εσωτερικό του κτιρίου, τόσο το χειμώνα όσο και το καλοκαίρι

Η σωστή θερμομόνωση της οροφής, κεκλιμένης ή επίπεδης, είναι σημαντική για τη καλή ενεργειακή συμπεριφορά όλου του κτιρίου.

Η θερμομόνωση της *επίπεδης οροφής* γίνεται με τέσσερις τρόπους:

- Δώμα με εσωτερική θερμομόνωση
- Συμβατικό δώμα
- Ανεστραμμένο δώμα
- Αεριζόμενη θερμομόνωση δώματος

Δώμα με εσωτερική θερμομόνωση

Η θερμομόνωση (π.χ. πλάκες εξηλασμένης πολυστερίνης) τοποθετείται κάτω από την πλάκα του δώματος και προστατεύεται από φράγμα υδρατμών και επίχρισμα με μεταλλικό σπλισμό .

Συμβατικό δώμα

Ένα δώμα ονομάζεται συμβατικό όταν η θερμομόνωση βρίσκεται κάτω από τις στεγανωτικές στρώσεις. Μία συνηθισμένη παραλλαγή του συμβατικού δώματος είναι να τοποθετηθεί η θερμομόνωση κάτω από το μπετόν ρύσεων.

Ανεστραμμένο δώμα

Ένα δώμα ονομάζεται ανεστραμμένο όταν η θερμομόνωση βρίσκεται πάνω από τις στεγανωτικές στρώσεις.

Αεριζόμενη θερμομόνωση δώματος

Το μονωτικό υλικό (π.χ. πλάκες πετροβάμβακα) τοποθετείται κατευθείαν πάνω στην πλάκα του δώματος, χωρίς την παρεμβολή στεγανωτικού υλικού για να είναι εφικτή η αναπνοή της. Πάνω στη θερμομόνωση τοποθετούνται έδρανα από κεραμικά και πάνω σε αυτά σκυροδετείται η προκατασκευασμένη πλάκα, η οποία στην περίμετρο των στηθαίων ή των άλλων κατακόρυφων στοιχείων (ανοιγμάτων φωταγωγών, αίθριων, καμινάδων κ.λπ.) διακόπτεται και εξελίσσεται κατακόρυφα σε υδατοστεγανό μικροτοιχείο ύψους 3 -10 cm, με κατακόρυφο διάκενο πάχους 3 - 4 cm. Το διάκενο αυτό λειτουργεί ταυτόχρονα σαν αρμός διαστολής και σαν άνοιγμα εξαερισμού του κυρίως διακένου της πλάκας, το οποίο έχει πάχος 6 -12 cm.

Με την κατασκευή αυτή ελαχιστοποιούνται οι θερμογέφυρες στο κέλυφος επειδή η θερμομόνωση γίνεται εξωτερικά. Εκμεταλλεύεται η θερμοχωρητικότητα της πλάκας του δώματος ενώ το διάκενο εξαερισμού προστατεύει την πλάκα του δώματος από τη νυχτερινή ψύξη τον χειμώνα, την υπερθέρμανση το καλοκαίρι και τις απώλειες λόγω υψηλής ταχύτητας του αέρα. Επιπλέον εξασφαλίζει απόλυτη προστασία της πλάκας του δώματος από το φαινόμενο της εσωτερικής συμπύκνωσης υδρατμών.

Η *θερμομόνωση της κεκλιμένης οροφής* γίνεται με την τοποθέτηση της θερμομόνωσης πάνω από την οπλισμένη πλάκα σκυροδέματος και αφού προηγηθεί το φράγμα υδρατμών. Στη συνέχεια, πάνω από τη θερμομόνωση, τοποθετείται η στεγανωτική στρώση (π.χ. ασφαλτική μεμβράνη) και ακολουθούν τα κεραμίδια .

4.5.4.3.Θερμομόνωση δαπέδου

Το δάπεδο ενός κτιρίου μπορεί να έρχεται σε επαφή με:

- το έδαφος,
- μη θερμαινόμενο χώρο (υπόγειο)
- το εξωτερικό περιβάλλον (πυλωτή)

Η μόνωση του δαπέδου, που έρχεται σε επαφή με το έδαφος δεν είναι συνήθως απαραίτητη, καθώς η θερμοκρασία του εδάφους μεταβάλλεται αργά και είναι μεγαλύτερη από την εξωτερική θερμοκρασία τον χειμώνα και μικρότερη από αυτή

το καλοκαίρι. Στα θερμά κλίματα η έλλειψη μόνωσης βοηθάει κιάλας στην απαγωγή της πλεονάζουσας θερμότητας στο έδαφος [2].

Απαραίτητη θεωρείται η μόνωση όταν το δάπεδο είναι σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο ή με πυλωτή. Το θερμομονωτικό υλικό είναι προτιμότερο να τοποθετείται στην εξωτερική πλευρά του δαπέδου, έτσι ώστε η θερμότητα να αποθηκεύεται στη μάζα του [2].

4.6. Υαλοπίνακες

4.6.1 Βασικές ιδιότητες υαλοπινάκων

Το γυαλί εδώ και πάρα πολλά χρόνια αποτελεί βασικό αρχιτεκτονικό στοιχείο των κατασκευών καθώς οι ιδιότητες του προσφέρουν στις κατασκευές προστασία από το θόρυβο, τον αέρα, τη σκόνη, το κρύο και τη ζέστη και βοηθούν στη δημιουργία αισθήματος θερμικής και οπτικής άνεσης στο εσωτερικό των κτιρίων.

Γυαλί και οπτική άνεση

Το γυαλί μας δίνει την δυνατότητα να ελέγχουμε και να χειριζόμαστε το φως προς όφελός μας. Η χρήση υαλοπινάκων θα πρέπει να μας εξασφαλίζει πιστή οπτική επαφή μεταξύ εσωτερικού χώρου και εξωτερικού περιβάλλοντος, να ενισχύει το φυσικό φωτισμό και αερισμό αλλά ταυτόχρονα να περιορίζει τον υπερβολικό φωτισμό συμβάλλοντας στη σωστή κατανομή και διάχυση του φυσικού φωτός στο χώρο.

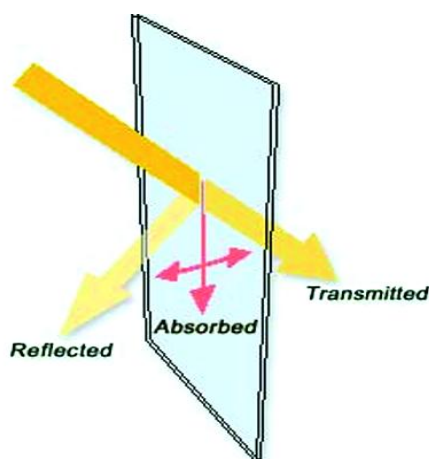
Γυαλί και θερμική άνεση

Βασική ιδιότητα του γυαλιού είναι ότι διαπερνάται από την ηλιακή ακτινοβολία. Έτσι η σωστή χρήση των υαλοπινάκων μπορεί να εξασφαλίσει την είσοδο της μέγιστης δυνατής ηλιακής ακτινοβολίας τους χειμερινούς μήνες και αντίστοιχα της ελάχιστης ηλιακής ακτινοβολίας τους θερινούς και ταυτόχρονα να μειώσει στο ελάχιστο τις θερμικές απώλειες κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

Η ιδιότητα αυτή των υαλοπινάκων εξαρτάται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας και τη γωνία πρόσπτωσης της, τη χημική σύσταση και το πάχος του υλικού. Τα περισσότερα είδη υαλοπινάκων που χρησιμοποιούνται στις μέρες μας είναι αδιαπέραστα από την ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος ενώ όσο πιο

μικρό είναι το πάχος του υλικού τόσο μεγαλύτερο ποσοστό της ολικής προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας διαπερνά των υαλοπίννακα. Επίσης προσμίξεις υλικών μειώνουν τη διαπερατότητα του υαλοπίννακα [12].

Από την ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε έναν υαλοπίννακα, ένα μέρος της ανακλάται άμεσα, ένα άλλο απορροφάται και το υπόλοιπο εισέρχεται στο χώρο και μετατρέπεται σε θερμότητα.



Εικόνα 4.6.1.1 Διαχωρισμός ολικής προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε υαλοπίννακα

Η ακτινοβολία που απορροφάται στη συνέχεια εκπέμπεται από τις επιφάνειες του εσωτερικού χώρου με μεγάλο μήκος κύματος κι έτσι δεν εξέρχεται με άμεσο τρόπο από τους υαλοπίννακες καθώς όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως δε διαπερνούνται από μήκη κύματος μεγαλύτερα των 3μm. Έτσι μόνο ένα μέρος της απορροφάται από τους υαλοπίννακες και το υπόλοιπο ανακλάται προς το εσωτερικό του χώρου.

Το μεγαλύτερο μέρος, τώρα, της ποσότητας της ακτινοβολίας που εισέρχεται στο χώρο και μετατρέπεται σε θερμότητα απορροφάται από το δάπεδο και εναποδίδεται σταδιακά στο χώρο ενώ το υπόλοιπο ανακλάται και κατευθύνεται προς τον τοίχο. Στον τοίχο, ένα μέρος αυτής της θερμότητας αποθηκεύεται σε αυτόν, ένα άλλο ανακλάται από αυτόν και το υπόλοιπο απορροφάται από αυτόν. Στη συνέχεια ένα μέρος αυτής της θερμότητας που απορροφάται από τον τοίχο μεταβιβάζεται προς άλλη κατεύθυνση με χαμηλότερη θερμοκρασία ενώ το υπόλοιπο εισέρχεται στο χώρο [2].

Από τη συνολική ποσότητα θερμότητας που συγκεντρώνεται τελικά στο χώρο, ένα τμήμα χάνεται μέσω του υαλοπίνακα (θερμικές απώλειες) ενώ το υπόλοιπο παραμένει μέσα στο χώρο και αποτελεί το πραγματικό ηλιακό κέρδος του υαλοπίνακα [2].

Οι κύριες παράμετροι για την επιλογή κατάλληλων υαλοπινάκων, οι οποίοι αναλύονται περαιτέρω στο επόμενο κεφάλαιο είναι:

- Συντελεστής Θερμοπερατότητας U

Η θερμική ισχύς ανά μονάδα επιφανείας, η οποία μεταδίδεται εντός / εκτός του κτιρίου και οφείλεται στη θερμοκρασιακή διαφορά ανά βαθμό (W/m^2K). Χαμηλές τιμές U εξασφαλίζουν σημαντική μείωση των θερμικών απωλειών κατά τη χειμερινή περίοδο [26].

- Συντελεστής ηλιακής ενέργειας g

Ο λόγος της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας προς την ενέργεια που μεταδίδεται στο εσωτερικό του κτιρίου. Χαμηλές τιμές g εξασφαλίζουν μείωση των ηλιακών κερδών [26].

- Συντελεστής Φωτοδιαπερατότητας T_v

Το ποσοστό της προσπίπτουσας φωτεινής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο κτίριο [26]. Υψηλές τιμές εξασφαλίζουν υψηλές στάθμες φυσικού φωτισμού στους εσωτερικούς χώρους.

4.6.2. Είδη υαλοπινάκων και νέες τεχνολογίες

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα βασικά είδη υαλοπινάκων που χρησιμοποιούνται σήμερα στις κατασκευές. Η επιλογή του καταλληλότερου υαλοπίνακα είναι διαφορετική για κάθε κατασκευή και εξαρτάται από τις απαιτήσεις του κτιρίου και το κλίμα της περιοχής .

Απλός μονός υαλοπίνακας [2]

Είναι το είδος υαλοπίνακα που χρησιμοποιούταν παλιότερα στις κατασκευές όμως πια οι περισσότεροι έχουν αντικατασταθεί με διπλούς.

Έχει το μεγαλύτερο συντελεστή θερμοπερατότητας ο οποίος βέβαια μπορεί να μειωθεί με το πάχος του γυαλιού , παρέχει μειωμένη προστασία από εξωτερικούς

θορύβους και λόγω της υψηλής αγωγιμότητας του δε συμβάλει στη σωστή θερμομόνωση του κτιρίου.

Απλός διπλός ή τριπλός υαλοπίνακας [2]

Αποτελείται από δύο φύλλα υαλοπίνακα ανάμεσα στα οποία υπάρχει κενό ξηρού αέρα. Όσο αυξάνεται το πλάτος του κενού (μέχρι 15-16mm) τόσο μειώνεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας και αυξάνεται έτσι η απόδοση του συστήματος. Πολύ μεγάλα πλάτη χρησιμοποιούνται κυρίως για υψηλές απαιτήσεις ηχομόνωσης.

Βελτίωση της απόδοσης διπλού υαλοπίνακα γίνεται με αντικατάσταση του ξηρού αέρα του κενού με αέριο χαμηλότερης θερμικής αγωγιμότητας (συνήθως αργό) ή με την τοποθέτηση ειδικών μονωτικών διάφανων υλικών μέσα στο κενό τα οποία εμποδίζουν την κίνηση του αέρα και έτσι δεν επιτρέπουν τη μετάδοση θερμότητας με μετάβαση. Οι υαλοπίνακες αυτοί ονομάζονται θερμομονωτικοί υαλοπίνακες και συνιστώνται σε κτίρια με μεγάλα ανοίγματα, όπου απαιτείται υψηλή θερμομόνωση του κελύφους.

Δίδυμος υαλοπίνακας

Δίδυμος υαλοπίνακας είναι η διάταξη εκείνη στην οποία στο ίδιο πλαίσιο στερεώνονται δύο υαλοπίνακες και ο αέρας που υπάρχει στο διάκενο που σχηματίζεται μεταξύ τους δεν είναι ξηρός. Αυτό αποτελεί και το βασικό μειονέκτημά τους καθώς ο αέρας αυτός υγροποιείται εύκολα και προκαλεί θάμβωση. Γενικά έχουν καλύτερες θερμομονωτικές ιδιότητες από τους μονούς ,χειρότερες από τους διπλούς αν και υπερτερούν ως προς το κόστος [2].

Διπλός υαλοπίνακας με επίστρωση

Η εξέλιξη της τεχνολογίας και η ανάγκη βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων λόγω της ενεργειακής κρίσης κατέστησε τους διπλούς απλούς υαλοπίνακες παρωχημένους και οδήγησε στην ανάπτυξη της τεχνολογίας των υαλοπινάκων. Έτσι σήμερα τοποθετούνται πια στους υαλοπίνακες :

- ανακλαστικές επιστρώσεις, που ελαττώνουν τα θερμικά κέρδη και τη θάμβωση,
- επιστρώσεις χαμηλού συντελεστή εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας που δεν επιτρέπουν τη διέλευση των υπέρυθρων ακτινών και

- επιστρώσεις με φασματική επιλεκτικότητα που έχουν μεγάλη διαπερατότητα στο οπτικό φάσμα και μικρή στο θερμικό
- συνδυασμός των παραπάνω επιστρώσεων.

Διπλός υαλοπίνακας ελέγχου ηλιακής ακτινοβολίας (solar control) [2,27]

Η θερμότητα που εισέρχεται σε ένα κτίριο (άμεσα ή έμμεσα), προέρχεται στο σύνολό της από την ηλιακή ακτινοβολία (ορατό φως, υπεριώδης ακτινοβολία και υπέρυθρες ακτίνες).

Οι υαλοπίνακες ηλιακού ελέγχου είναι προϊόντα υψηλής τεχνολογίας που αναπτύχθηκαν από την υαλοβιομηχανία ώστε να επιτρέπουν στο ηλιακό φως να διαπερνά ένα παράθυρο ή μια πρόσοψη ενώ ταυτόχρονα να διαχέουν και να αντανακλούν ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής θερμότητας. Ο εσωτερικός χώρος παραμένει φωτεινός και κατά πολύ δροσερότερος από ότι θα ήταν αν είχε χρησιμοποιηθεί κανονικό γυαλί.

Με τη μέθοδο αυτή επιτρέπεται η είσοδος του ορατού φωτός ,αποτρέπεται όμως η είσοδος της υπεριώδους και υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Οι υαλοπίνακες αυτοί διατίθενται σε δύο τύπους: απορροφητικοί υαλοπίνακες και επιστρωμένοι (coated) υαλοπίνακες.

Απορροφητικοί υαλοπίνακες

Απορροφούν σημαντικό μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας (περιορίζουν τη θερμοπερατότητα χωρίς να μειώνουν σημαντικά τη φωτοδιαπερατότητα) και συνιστώνται για τη μείωση των ηλιακών κερδών ενός χώρου. Έχουν το πλεονέκτημα, σε σχέση με τους ανακλαστικούς, ότι δεν δημιουργούν θάμβωση στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου [19] .

Τέτοιοι είναι οι έγχρωμοι υαλοπίνακες (μπρονζέ, φυμέ, πράσινοι, μπλε κλπ), οι οποίοι έχουν υψηλό συντελεστή απορρόφησης, με αποτέλεσμα να συγκρατούν μεγαλύτερο μέρος ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με τους κοινούς λευκούς υαλοπίνακες. Η συγκρατούμενη ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπεται σε θερμότητα η οποία οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας των υαλοπινάκων αυτών. Αποτέλεσμα της συγκράτησης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η μείωση του διερχόμενου φυσικού φωτός ώστε να περιοριστεί στα επιθυμητά επίπεδα, άρα και η μείωση της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας.

Στις διπλές υαλώσεις, τα χρωματιστά γυαλιά τοποθετούνται στην εξωτερική πλευρά, ώστε η θερμότητα που συσσωρεύουν να διαχέεται προς το εξωτερικό περιβάλλον. Οι απορροφητικοί αυτοί υαλοπίνακες δεν διαφέρουν από τους κοινούς υαλοπίνακες ως προς την ικανότητα θερμικής εκπομπής, κατά συνέπεια η χρήση τους μειώνεται συνεχώς, καθώς αντικαθίστανται με υαλοπίνακες οι οποίοι συνδυάζουν και χαρακτηριστικά χαμηλής εκπομπής [28].

Θερμοανακλαστικοί υαλοπίνακες

Οι διπλοί ανακλαστικοί υαλοπίνακες συνήθως αποτελούνται από ένα εξωτερικό διαφανές φύλλο υαλοπίνακα και ένα εσωτερικό φύλλο που φέρει ειδική επικάλυψη με αόρατα στρώματα μεταλλικών οξειδίων, ικανά να ανακλούν μεγάλο μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας μειώνοντας δραστικά το θερμικό κέρδος με την επιφάνεια που φέρει την επικάλυψη τοποθετημένη προς το διάκενο μεταξύ των υαλοπινάκων (οι επικαλύψεις απαιτούν προστασία και πρέπει να τοποθετούνται πάντοτε προς το διάκενο). Οι επικαλυπτικές στρώσεις μειώνουν τη θερμική ανταλλαγή δια ακτινοβολίας μεταξύ των φύλλων των υαλοπινάκων και έτσι επιτυγχάνεται μείωση της θερμοπερατότητας κατά περίπου 40%. Πρόσθετη μείωση της τάξης του περίπου 20% μπορεί να επιτευχθεί με πλήρωση του διακένου με μείγμα αέρα και ευγενών αερίων, όπως αργό ή κρυπτό, τα οποία έχουν χαμηλότερη αγωγιμότητα από τον αέρα [2]. Ανακλούν σημαντικό μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας και συνιστώνται για τη μείωση των ηλιακών κερδών, αλλά μπορεί να προκαλέσουν θάμβωση στον περιβάλλοντα χώρο και στα γύρω κτίρια.

Να προσθέσουμε εδώ ότι ανάλογα με την μέθοδο επίστρωσης, οι επιστρωμένοι υαλοπίνακες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Σε υαλοπίνακες *πυρολυτικής* επίστρωσης (ή σκληρής επίστρωσης)

Η επίστρωση γίνεται υπό θερμοκρασίες της τάξεως των 500C, κατά την διάρκεια της παραγωγής τους, εν σειρά, γι' αυτό και αποκαλούνται επίσης **on line**. Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι το ότι η ενσωματωμένη στην επιφάνεια του γυαλιού επίστρωση, είναι ανθεκτική σε μηχανικές καταπονήσεις, πράγμα το οποίο μας παρέχει την δυνατότητα να τοποθετούμε τα γυαλιά με την επιστρωμένη επιφάνεια στην θέση 1 (εξωτερική επιφάνεια του υαλοπίνακα που έρχεται άμεσα σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον) στην οποία το γυαλί

αποδίδει τις χρωματικές του ιδιότητες για τις οποίες το έχουμε άλλωστε επιλέξει [28].

- Σε υαλοπίνακες εν κενώ επίστρωσης (ή μαλακής επίστρωσης)

Η επίστρωση γίνεται σε χωριστή φάση από την παραγωγή, γι' αυτό και αποκαλούνται **off line**. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι η παραγωγή επιστρώσεων μη ανθεκτικών σε μηχανικές καταπονήσεις, κάτι που απαιτεί προσεκτικό χειρισμό των γυαλιών καθ' όλα τα στάδια της περαιτέρω επεξεργασίας των, την χρήση τους μόνο σε διπλές υαλώσεις και την τοποθέτηση της επιστρωμένης επιφάνειάς τους μόνο στις θέσεις 2 και 3 [28].

Μεγαλύτερη αποδοτικότητα επιτυγχάνεται με επικάλυψη με λεπτή στρώση από ψήγματα μετάλλων, η οποία συνδυάζεται με χαμηλή εκπομπή ($low e$) στην υπέρυθρη ακτινοβολία. Οι υαλοπίνακες αυτοί είναι οικονομικά αποδοτικοί ακόμη και στα ψυχρά κλίματα. Αντιθέτως, οι ανακλαστικοί υαλοπίνακες δεν συνιστάται να χρησιμοποιούνται σε κτίρια που παρουσιάζουν μόνο ανάγκες θέρμανσης [28,2].

Διπλός υαλοπίνακας με $low e$ επίστρωση [26,28]

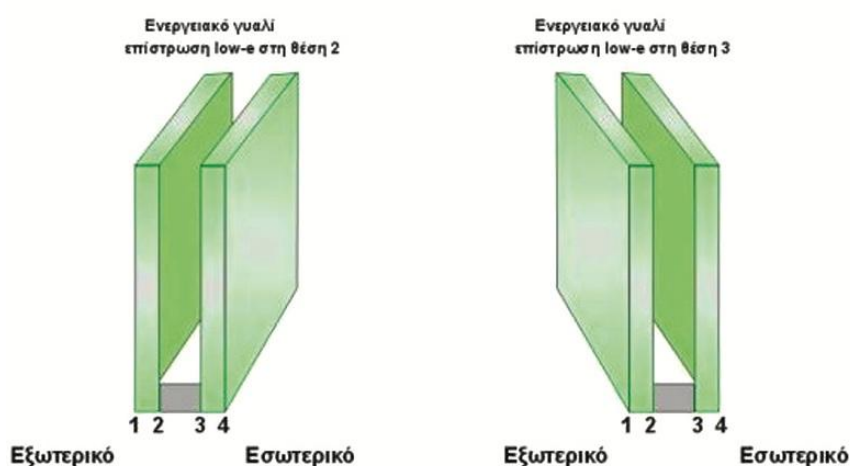
Τα αντικείμενα ενός χώρου επανεκπέμπουν την θερμότητα που αποκτούν, με την μορφή υπέρυθρης ακτινοβολία όπως περιγράψαμε και παραπάνω. Οι υαλοπίνακες μπορεί να μην αφήνουν αυτού του είδους την ακτινοβολία να περάσει και να διαφύγει προς τα έξω, όμως την απορροφούν, θερμαίνονται και επανεκπέμπουν την θερμότητα που απέκτησαν. Έτσι, ένας κοινός υαλοπίνακας επανεκπέμπει την θερμότητα που αποκτά, προς την ψυχρότερη περιοχή, π.χ. προς τα έξω τον χειμώνα, με αποτέλεσμα να χάνεται θερμότητα.

Η ιδιότητα αυτή λέγεται ικανότητα εκπομπής (emissivity) και εκφράζεται από τον συντελεστή εκπομπής e ο οποίος δηλώνει το ποσοστό (%) της επανεκπεμπόμενης ενέργειας. Όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής αυτός τόσο πιο αποδοτικός είναι ο υαλοπίνακας.

Η επίστρωση των υαλοπινάκων $low e$ είναι από ειδικά μεταλλικά στοιχεία (οξειδία) και τοποθετείται στην εσωτερική πλευρά του ενός από τους δύο υαλοπίνακες (θέση 2 ή 3 στο σχήμα). Τα μεταλλικά αυτά οξειδία βοηθούν ώστε να μη γίνεται μεταφορά θερμότητας από το εσωτερικό του χώρου στο εξωτερικό και το αντίστροφο.

Τους καλοκαιρινούς μήνες, ο υαλοπίνακας low e από την ενέργεια που έχει απορροφήσει (η οποία είναι σημαντικά λιγότερη από ό,τι ένα απλό γυαλί), εκπέμπει ένα μικρό μόνο μέρος προς τον δεύτερο υαλοπίνακα και κατά συνέπεια το εσωτερικό του κτιρίου.

Τους κρύους μήνες αντίστοιχα, το ίδιο συμβαίνει με τη θερμότητα που μεταδίδεται από το εσωτερικό του κτιρίου. Ο υαλοπίνακας low e απορροφά λιγότερη από αυτήν και εκπέμπει λιγότερη προς τον δεύτερο υαλοπίνακα και κατά συνέπεια το εξωτερικό του κτιρίου.



Εικόνα 4.6.2.1 Υαλοπίνακες low e

Έγχρωμοι υαλοπίνακες

Με τη βοήθεια χημικής επεξεργασίας παρουσιάζουν χαμηλή θερμοπερατότητα, αλλά και μειωμένη φωτοδιαπερατότητα και συνιστώνται για τη μείωση των ηλιακών κερδών ενός χώρου [1].

Υαλοπίνακες μεταβλητών ιδιοτήτων [2]

Είναι οι υαλοπίνακες που μεταβάλλουν τις ιδιότητες τους ανάλογα με την επίδραση κάποιου συγκεκριμένου παράγοντα. Διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

Ηλεκτροχρωμικοί

Είναι υαλοπίνακες, των οποίων οι ιδιότητες (οπτικά χαρακτηριστικά, διαπερατότητα) μεταβάλλονται ανάλογα με τη διοχέτευση ηλεκτρικού ρεύματος (εφαρμοζόμενη τάση 1-3 V).

Φωτοχρωμικοί

Είναι υαλοπίνακες των οποίων οι ιδιότητες μεταβάλλονται ανάλογα με το ποσό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Η φωτοδιαπερατότητά τους μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με την ένταση της φωτεινής ακτινοβολίας και έχουν άριστα αποτελέσματα στον έλεγχο της θάμβωσης.

Θερμοχρωμικοί

Είναι υαλοπίνακες των οποίων οι οπτικές ιδιότητες μεταβάλλονται ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία μεταβάλλονται από διαφανείς σε γαλακτόχρωμοι.

Αντιθαμβωτικοί υαλοπίνακες

Οι υαλοπίνακες αυτοί εξασφαλίζουν καλύτερη κατανομή του φυσικού φωτισμού και μειώνουν τα προβλήματα οπτικής θάμβωσης. Τα σημαντικότερα είδη είναι:

Διπλοί υαλοπίνακες με εσωτερικά σκίαστρα

Ανάμεσα στους υαλοπίνακες τοποθετούνται σκίαστρα τα οποία είτε είναι σταθερά είτε κινούνται με τη χρήση μαγνητικών ή ηλεκτρικών μέσων προσαρμόζοντας τη θέση τους ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες.

Με τον τρόπο αυτό ανακλάται το άμεσο ηλιακό φως ενώ το εισερχόμενο διάχυτο φως κατευθύνεται προς την οροφή κι έτσι βελτιώνεται η κατανομή του φυσικού φωτισμού στο χώρο.

Πρισματικός υαλοπίνακας

Το άμεσο ηλιακό φως ανακλάται από την πρισματική επιφάνεια κι έτσι επιτρέπει μόνο στο διάχυτο φως να εισέρχεται στο χώρο.

Διπλός υαλοπίνακας με ολογραφικό υμένιο στο εσωτερικό του

Επιτρέπει στο διάχυτο φως να εισέλθει στο χώρο και ανακλά τη θερμική ακτινοβολία μειώνοντας τα θερμικά κέρδη [2].

Triplex (laminated)

Triplex ή αλλιώς laminated υαλοπίνακες είναι αυτοί οι οποίοι δημιουργούνται από την συνένωση δυο ή περισσότερων γυαλιών με διάφανη ή έγχρωμη ζελατίνη-μεμβράνη (συνήθως με πολυβινυλοβουτυρικές μεμβράνες – PVB). Η συγκόλληση των υαλοπινάκων πραγματοποιείται με θέρμανση και μετέπειτα πίεση. Η συγκόλληση αυτή έχει ως αποτέλεσμα την μεγάλη ανθεκτικότητα του υαλοπίνακα στα χτυπήματα καθώς ακόμα και όταν προκληθεί θραύση σε έναν triplex υαλοπίνακα, δεν καταρρέει γιατί συγκρατείται από την εσωτερική μεμβράνη [29]. Το τελικό αποτέλεσμα μοιάζει με ένα μονό υαλοπίνακα ο οποίος όταν κολληθεί με έναν ακόμα έχοντας ενδιάμεσα την απαραίτητη μόνωση με αέρα ή κάποιο ευγενές αέριο, γίνεται ένας διπλός triplex υαλοπίνακας. Συνήθως τοποθετούνται στην εξωτερική πλευρά του διπλού υαλοπίνακα.

4.7 Πλαίσια –Κουφώματα [2,30]

Οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν την ποιότητα ενός πλαισίου είναι η αεροδιαπεροτότητα, η υδατοστεγανότητα, η αντοχή στην ανεμοπίεση και η θερμική αγωγιμότητα των υλικών από τα οποία είναι κατασκευασμένο. Η θερμοπερατότητα του πλαισίου επηρεάζει τη γενική θερμοπερατότητα του συστήματος του ανοίγματος (U) αναλόγως της σχέσης πλαισίου και υαλοπινάκων. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας για κάθε υλικό πλαίσιο.

Πίνακας 4.7.1 Τυπικές τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας πλαισίου [9]

| Υλικό πλαισίου | U_f (W/m ² K) |
|------------------------------|----------------------------|
| Αλουμίνιο χωρίς θερμοδιακοπή | 7,0 |
| Αλουμίνιο με θερμοδιακοπή | 3,5 |
| Πλαστικό | 2,5 |
| Ξύλο | 1,7 |

Τα πλαίσια των παραθύρων όταν πρωτοεμφανίστηκαν ήταν ξύλινα, στη συνέχεια εμφανίστηκαν τα σιδερένια και έπειτα τα πλαίσια αλουμινίου.

Το αλουμίνιο έχει εξαιρετική αντοχή στις καιρικές συνθήκες, προσφέρει επιπλέον αντοχή στην οξειδωση κι έτσι το υλικό γίνεται ακόμη πιο ανθεκτικό στην ατμοσφαιρική διάβρωση. Δεν απορροφά υγρασία, δεν διαστέλλεται, παραμένει

άκαυστο σε υψηλές θερμοκρασίες, εάν καεί δεν παράγεται καπνός, έχει χαμηλό ειδικό βάρος συγκριτικά με άλλα μέταλλα και επιπλέον είναι εύπλαστο. Επίσης βρίσκεται σε αφθονία και είναι ανακυκλώσιμο (έχει χαρακτηριστεί «πράσινο» μέταλλο) [30]. Σε γενικές γραμμές ικανοποιεί ταυτόχρονα τις τεχνολογικές αλλά και οικολογικές απαιτήσεις .

Το μεγάλο μειονέκτημα των πλαισίων αλουμινίου σε σχέση με τα ξύλινα είναι ότι δεν επιτρέπουν το φυσικό αερισμό του χώρου όπως τα ξύλινα μέσω των χαραμάδων. Επίσης το αλουμίνιο ως μέταλλο έχει υψηλή θερμική αγωγιμότητα. Για να μειώσουμε το λ του συνήθως παρεμβάλλουμε μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής επιφάνειας του μετάλλου ένα υλικό που θα έχει χαμηλή θερμική αγωγιμότητα και ισχυρές μηχανικές ιδιότητες και το οποίο συνήθως είναι το πολυαμίδιο (ένα είδος PVC). Τα πλαίσια αλουμινίου αυτά ονομάζονται πλαίσια με *θερμοδιακοπή* .

Σήμερα έχουν αρχίσει να εμφανίζονται τα πλαστικά πλαίσια (κυρίως από PVC), τα οποία συνδυάζουν τη χαμηλή αγωγιμότητα των ξύλινων και την ευκολία κατασκευής των πλαισίων αλουμινίου. Τα συνθετικά (πλαστικά) πλαίσια έχουν ανοδική πορεία στην αγορά γεγονός που οφείλεται και στη χαμηλότερη τιμή τους έναντι των άλλων υλικών. Το συνθετικό υλικό είναι κακός αγωγός της θερμότητας και γι' αυτό το λόγο από τη φύση του είναι θερμομονωτικό υλικό πράγμα που σημαίνει πολύ καλή θερμομόνωση.

Τέλος, αξίζει να σημειώσουμε ότι τα κουφώματα διακρίνονται σε συρόμενα (με τη σειρά τους χωρίζονται σε χωνευτά και επάλληλα) και ανοιγόμενα, με τα ανοιγόμενα να υπερτερούν ως προς την θερμομονωτική ικανότητα και την αποφυγή εφίδρωσης.

4.8. Σκίαστρα [26]

Τα σκίαστρα συμβάλλουν αρκετά στη προστασία του κτιρίου από την ηλιακή ακτινοβολία. Τα σκίαστρα πρέπει να τοποθετούνται με κατάλληλο προσανατολισμό, σωστή διαστασιολόγηση και χωροθέτηση και συνδυάζοντας τα με υποστυλώματα, εξώστες και προβόλους μπορούν να παρέχουν προστασία σε όλη την εξωτερική τοιχοποιία .

Η απόδοση ενός σκιάστρου εκφράζεται με τον συντελεστή σκίασης ο οποίος θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

Οι πιο κοινοί τύποι σκιάστρων είναι οι εξής:

Κινητές διατάξεις

Έχουν το πλεονέκτημα της ελεγχόμενης λειτουργίας, είτε χειροκίνητης είτε αυτόματης, και της προσαρμογής της κλίσης τους αναλόγως της θέσης του ήλιου και άλλων περιβαλλοντικών παραμέτρων.

Εσωτερικά σκίαστρα

Είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα προστασίας. Η κύρια λειτουργία τους είναι ο έλεγχος της στάθμης και της κατανομής του φωτισμού αλλά δεν είναι αποτελεσματικά ως προς τον έλεγχο των θερμικών φορτίων γιατί δεν αποτρέπουν της είσοδο ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο. Σε κάποιες περιπτώσεις, παρέχουν τη δυνατότητα ελέγχου της ηλιακής ακτινοβολίας, παράλληλα με τον έλεγχο του φυσικού φωτισμού αν συνδυαστούν με κατάλληλους επιλεκτικούς υαλοπίνακες. Τέτοιοι συνδυασμοί συνιστώνται στις περιπτώσεις που δεν μπορούν να εφαρμοστούν εξωτερικά συστήματα σκίασμού.

Εξωτερικά σκίαστρα

Έχουν το πλεονέκτημα ότι αποτρέπουν την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο. Πρέπει να είναι κατασκευασμένα από υλικά χαμηλής θερμοχωρητικότητας με ανακλαστικές τελικές επιστρώσεις, ώστε να μειώνουν την ποσότητα της ενέργειας που αποθηκεύεται στη μάζα τους και ανακλάται προς το κτίριο. Συνιστάται, επίσης, να επιλέγονται συστήματα που επιτρέπουν την κίνηση του αέρα μεταξύ των σκιάστρων και του παραθύρου, ώστε να απομακρύνεται η θερμότητα που απορροφάται από τα σκίαστρα.

Μερικοί τύποι εξωτερικών σκιάστρων μπορεί να παρουσιάζουν μειονεκτήματα ως προς τη συντήρηση και το χρόνο ζωής, αλλά διατίθενται στην αγορά συστήματα προηγμένης τεχνολογίας με υψηλή αντοχή στις ανεμοπιέσεις.

Σκίαστρα ενδιάμεσης τοποθέτησης

Είναι διατάξεις που επιτρέπουν την τοποθέτηση των σκιάστρων μεταξύ των δύο φύλλων των διπλών υαλοπινάκων. Αποτρέπουν την είσοδο της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας, αλλά επιτρέπουν επίσης της είσοδο ακτινοβολίας κατά τη

χειμερινή περίοδο, με κατάλληλη κλίση. Ένα πιθανό μειονέκτημα είναι η δημιουργία υδρατμών μεταξύ των δύο υαλοπινάκων κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

Τέντες

Τα συστήματα αυτά συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των σταθερών διατάξεων και την ευελιξία των κινητών.

Σταθερές διατάξεις

Είναι διατάξεις ειδικά σχεδιασμένες για συγκεκριμένο κτίριο και είναι μικρότερης ευελιξίας από τις κινητές. Απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή στο σχεδιασμό τους γιατί μπορεί να περιορίζουν τα ηλιακά κέρδη σε περιόδους που είναι επιθυμητά. Για τον καθορισμό των βέλτιστων γεωμετρικών χαρακτηριστικών, ώστε να εξασφαλίζεται σκιασμός κατά τη θερινή περίοδο χωρίς μείωση των ηλιακών κερδών κατά το χειμώνα, υπάρχουν στη διάθεση των μελετητών διαγράμματα και εξειδικευμένα λογισμικά.

Προεξοχές - Πρόβολοι

Είναι πολύ διαδεδομένα συστήματα στις περιοχές με θερμό κλίμα. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα τους είναι ότι επιτρέπουν την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας όταν ο ήλιος είναι χαμηλά (το χειμώνα) και την αποτρέπουν το καλοκαίρι (αποτρέπουν επίσης και μέρος της διάχυτης ακτινοβολίας). Ο κύριος περιορισμός τους είναι ότι είναι κατάλληλα μόνο για νότια ανοίγματα. Τα ανατολικά και δυτικά ανοίγματα δέχονται ακτινοβολία χαμηλού ύψους ήλιου, επομένως απαιτούν άλλα (κατακόρυφα) συστήματα προστασίας.

Ανακλαστικές διατάξεις (ράφια) φωτισμού

Είναι ένα πολύ αποτελεσματικό σύστημα το οποίο μπορεί να συνδυάσει έλεγχο του φυσικού φωτισμού και σκιασμό. Είναι οριζόντιες ανακλαστικές επιφάνειες που τοποθετούνται στο ψηλότερο τμήμα και μέσα στα ανοίγματα ή ακριβώς έξω από αυτά. Με κατάλληλη τοποθέτηση τους και συνδυασμό τους με τους πρόβλους μπορούν να σκιάσουν μεγάλο τμήμα του ανοίγματος και παράλληλα να επιτρέπουν στο φυσικό φως να διεισδύει στις βαθύτερες ζώνες του χώρου, μέσω ανακλάσεων μεταξύ της ανακλαστικής διάταξης και της οροφής του χώρου.

Περσίδες

Οι περσίδες χρησιμοποιούνται και ως σταθερές διατάξεις και ως κινητές. Αν είναι κινητές, αποτρέπουν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία (και μερικώς τη διάχυτη), ενώ επιτρέπουν την είσοδό της κατά τη χειμερινή περίοδο. Αν είναι σταθερές παρέχουν επίσης ασφάλεια αλλά μπορεί να παρουσιάσουν το μειονέκτημα του περιορισμού της θέας και να αυξήσουν την απαίτηση για τεχνητό φωτισμό. Επίσης, οι περσίδες μπορεί να επηρεάζουν τη ροή του αέρα (είτε να διευκολύνουν είτε να εμποδίζουν το φυσικό αερισμό), αναλόγως της γεωμετρίας τους, της κλίσης τους και του άμεσου περιβάλλοντος του κτιρίου.

5. Θερμικά χαρακτηριστικά δομικών στοιχείων κτιριακού κελύφους

5.1 Βασικές έννοιες

Στην ενότητα αυτή θα αναφερθούν οι βασικές έννοιες που σχετίζονται με την θερμική συμπεριφορά του κτιριακού κελύφους .

Θερμότητα

Είναι η ενέργεια που μεταδίδεται από ένα σώμα σε ένα άλλο όταν υπάρχει μεταξύ τους διαφορά θερμοκρασίας. Η μετάδοση της θερμότητας γίνεται πάντα από σώμα υψηλότερης θερμοκρασίας προς σώμα χαμηλότερης.

Μετάδοση θερμότητας

Η μετάδοση θερμότητας γίνεται με τρεις τρόπους:

- **Με αγωγή (αγωγιμότητα):** Αυτή γίνεται από τα μόρια των σωμάτων και βασίζεται στην ιδιότητα τους να προσλαμβάνουν θερμότητα από γειτονικά μόρια υψηλότερης θερμοκρασίας και να μεταδίδουν τη θερμότητά τους σε γειτονικά μόρια χαμηλότερης θερμοκρασίας. Με αυτό τον τρόπο γίνεται η μετάδοση θερμότητας σε στερεά, υγρά και αέρια σώματα και ειδικά για τα στερεά είναι ο μοναδικός δρόμος ροής της θερμότητας δια μέσου της μάζας τους [31].
- **Με μεταφορά (συναγωγή):** Αυτή βασίζεται στη δυνατότητα μεταβίβασης της θερμότητας σε υγρά ή αέρια σώματα μέσω της μετακίνησης των θερμών μορίων. Οφείλεται δηλαδή στην κίνηση των μορίων και ονομάζεται συχνά μετάδοση με συναγωγή ή επαφή-μεταφορά. Στα κτίρια, με τη φυσική κυκλοφορία του αέρα διακινούνται σημαντικά ποσά θερμότητας [31]. Εκτός από τη φυσική κυκλοφορία του αέρα, που οφείλεται σε θερμοκρασιακές μεταβολές μέσα στους χώρους, μετακινήσεις του αέρα των χώρων προκαλούν και οι άνεμοι, οι κινήσεις των ανθρώπων, τα ανοίγματα θυρών και παραθύρων, η λειτουργία διάφορων συσκευών.

- **Με ακτινοβολία:** Γίνεται με ηλεκτρομαγνητικά κύματα χωρίς να απαιτείται η επαφή των σωμάτων. Κάθε σώμα με ορισμένη θερμοκρασία εκπέμπει θερμική ακτινοβολία η οποία προσπίπτοντας σε ένα άλλο σώμα μπορεί κατά ένα μέρος να περάσει μέσα από αυτό, κατά ένα μέρος να ανακλαστεί και κατά ένα άλλο να απορροφηθεί [2].

Η *μετάδοση θερμότητας σε δομικά στοιχεία* γίνεται με τους εξής τρόπους:

- Με μετάβαση από το ρευστό του εσωτερικού χώρου προς την εσωτερική επιφάνεια του τοιχώματος
- Με αγωγιμότητα μέσα στο τοίχωμα
- Με μετάβαση από το στρώμα αέρα που είναι εγκλωβισμένο στο τοίχωμα
- Με μετάβαση από την εξωτερική επιφάνεια του τοιχώματος προς το ρευστό του εξωτερικού χώρου.

Ειδική θερμότητα (c)

Ονομάζεται το ποσό της θερμότητας που χρειάζεται για να αυξηθεί η θερμοκρασία της μονάδας μάζας ενός υλικού κατά 1°C. Οι μονάδες της ειδικής θερμότητας είναι το 1 kcal/kg °C ή 1 KJ/kg K [16].

Θερμοχωρητικότητα (Q)

Είναι η ικανότητα ενός υλικού ή δομικού στοιχείου να αποθηκεύει θερμότητα που δέχεται από το περιβάλλον μέσα στη μάζα του και να την αποδίδει βαθμιαία με σημαντική χρονική καθυστέρηση. Η θερμοχωρητικότητα υπολογίζεται από τη σχέση: $Q=mc\Delta T$, όπου m είναι η μάζα του στοιχείου, c η ειδική θερμότητά του και ΔT η διαφορά θερμοκρασίας και μετράται σε kcal [16].

Είναι γνωστό ότι ο αέρας έχει τη μικρότερη θερμοχωρητικότητα και το νερό τη μεγαλύτερη. Ο χάλυβας έχει μικρότερη θερμοχωρητικότητα από το νερό. Επίσης το σκυρόδεμα έχει περίπου 20% μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα από την πέτρα και 48% μεγαλύτερη από το τούβλο. Τέλος η πέτρα έχει 23% περίπου μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα από το τούβλο [31].

Η ποσότητα της θερμότητας, η οποία αποθηκεύεται, αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ του στοιχείου της κατασκευής και του αέρα που το περιβάλλει και είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο μεγαλύτερη είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα και η μάζα του στοιχείου. Η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας εξωτερικού τοίχου, όταν ο εσωτερικός χώρος θερμαίνεται διαρκώς και

η θερμοκρασία του αέρα είναι σταθερή, εξαρτάται κυρίως από τη θερμομονωτική ικανότητα του τοίχου και την εξωτερική θερμοκρασία. Όταν, όμως, η θέρμανση είναι περιοδική και η εξωτερική θερμοκρασία μεταβάλλεται, η θερμοκρασία αυτή επηρεάζεται και από τη θερμοχωρητικότητα του τοίχου [18].

Στην περίπτωση όπου η θερμοχωρητικότητα είναι αυξημένη, ο ρυθμός θέρμανσης και ψύξης του χώρου είναι αργός και τις ζεστές ημέρες παρατηρείται ελαττωμένη θέρμανση του χώρου [18]. Η αυξημένη θερμοχωρητικότητα συντελεί στην εξισορρόπηση της θερμοκρασίας κατά τις απότομες εναλλαγές θερμότητας-ψύχους.

Τα σύγχρονα δομικά υλικά, επειδή έχουν μικρό βάρος, παρουσιάζουν και μικρή θερμοχωρητικότητα.

Η σχέση της θερμοχωρητικότητας με την εξωτερική θερμοκρασία και το ρυθμό θέρμανσης και ψύξης του χώρου γίνεται καλύτερα αντιληπτή με την ανάλυση των παρακάτω μεγεθών:

➤ **Θερμική αδράνεια**

Είναι ο ρυθμός με τον οποίο ένα δομικό στοιχείο απορροφά ή αποβάλλει θερμότητα. Εξαρτάται από το πάχος, την πυκνότητα, την αγωγιμότητα και τη θερμοχωρητικότητα του στοιχείου. Αλλιώς ονομάζεται και θερμική διείδυση [2].

Όλα τα δομικά υλικά απορροφούν και αποθηκεύουν θερμότητα καθώς θερμαίνονται από την ηλιακή ακτινοβολία η οποία προσπίπτει στο κέλυφος του κτιρίου. Ένα μέρος αυτής ανακλάται, και το υπόλοιπο μετατρέπεται σε θερμότητα και απορροφάται από τα δομικά στοιχεία του κτιρίου (τοίχοι, δάπεδο, οροφή). Μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας περνά στο εσωτερικό του κτιρίου από τα ανοίγματα και θερμαίνει τον αέρα που στη συνέχεια με μετάβαση μεταδίδει τη θερμότητα στα δομικά στοιχεία .

➤ **Περιοδική ροή θερμότητας [2]**

Η αποθήκευση και η επανέκδοση της θερμότητας των δομικών στοιχείων οφείλεται στη ροή θερμότητας από το θερμότερο στο ψυχρότερο περιβάλλον. Η διακύμανση της εξωτερικής θερμοκρασίας t που επαναλαμβάνεται κάθε εικοσιτετράωρο αλλά με διαφορετική ένταση στη διάρκεια των εποχών ενός έτους προκαλεί μια περιοδική ροή θερμότητας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ημέρα να έχουμε ροή θερμότητας από το περιβάλλον προς το κτίριο (εξωτερική θερμοκρασία μεγαλύτερη από την εσωτερική) ενώ τη νύχτα η ροή θερμότητας

αντιστρέφεται (εσωτερική θερμοκρασία μεγαλύτερη από την εξωτερική). Οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν την περιοδική ροή θερμότητας είναι η χρονική καθυστέρηση και ο συντελεστής μείωσης της θερμοκρασίας.

Χρονική καθυστέρηση [2]

Η χρονική καθυστέρηση εξαρτάται από τη θερμοχωρητικότητα και το συντελεστή αγωγιμότητας του υλικού και χαρακτηρίζει τη θερμική αδράνεια της κατασκευής. Μεγάλη θερμοχωρητικότητα και μικρός συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας δίνουν μεγάλη χρονική καθυστέρηση που σημαίνει ότι τα ποσά θερμότητας που αποθηκεύονται στη μάζα του δομικού στοιχείου μεταδίδονται με αργό ρυθμό στο εσωτερικό του κτιρίου. Έτσι καθυστερεί η άνοδος της εσωτερικής θερμοκρασίας του κτιρίου μέχρι η εξωτερική να αρχίσει να μειώνεται. Τότε το κτίριο μπορεί να αποβάλει το επιπλέον θερμικό φορτίο με φυσικό αερισμό και ακτινοβολία προς το περιβάλλον. Η χρονική καθυστέρηση εξαρτάται και από τον προσανατολισμό της επιφάνειας:

- Στις βόρειες προσανατολισμένες επιφάνειες δεν υπάρχει πρακτικά ανάγκη για χρονική καθυστέρηση αφού οι επιφάνειες αυτές έχουν μικρά θερμικά κέρδη.
- Στις επιφάνειες με ανατολικό προσανατολισμό είναι προτιμότερο να υπάρχει χρονική καθυστέρηση μεγαλύτερη από δεκατέσσερις ώρες έτσι ώστε η απελευθέρωση θερμότητας να γίνεται αργά το απόγευμα.
- Στις νότιες και τις δυτικές επιφάνειες μία χρονική καθυστέρηση οκτώ ωρών είναι αρκετή για να επιβραδύνει την απελευθέρωση θερμότητας μέχρι το βράδυ.

Η οροφή του κτιρίου που είναι εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα της ημέρας, απαιτεί μεγάλη χρονική καθυστέρηση ή εναλλακτικά επιπρόσθετη μόνωση

Συντελεστής μείωσης της θερμοκρασίας

Είναι το πηλίκο της μέγιστης εσωτερικής επιφανειακής θερμοκρασίας του τοιχώματος προς τη μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία. Αυξάνεται όσο βελτιώνεται η θερμομόνωση του κτιρίου.

Προσδιορίζει τη χρονική διάρκεια που μεσολαβεί από τη στιγμή της εμφάνισης της μέγιστης εξωτερικής θερμοκρασίας μέχρι τη στιγμή της μέγιστης εσωτερικής επιφανειακής θερμοκρασίας του τοιχώματος[2].

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω μεγέθη η θερμική αδράνεια και η θερμοχωρητικότητα παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη σωστή λειτουργία ενός κτιρίου.

Οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος πρέπει να επιδρούν στον εσωτερικό χώρο με όσο το δυνατόν μειωμένη ένταση. Το μέτρο αυτής της έντασης καθορίζεται από τη «θερμική αδράνεια» των μελών της κατασκευής. Συγχρόνως, υπάρχει μια διαφορά φάσης στις χρονικές στιγμές όπου παρουσιάζεται η μέγιστη θερμοκρασία στην εξωτερική και η μέγιστη θερμοκρασία στην εσωτερική πλευρά του μέλους της κατασκευής. Όσο πιο μεγάλη είναι η τιμή της «θερμικής αδράνειας», τόσο πιο μεγάλη είναι η απόσβεση του πλάτους μεταβολής της θερμοκρασίας, καθώς και η διαφορά φάσης[2].

Η χρήση υλικών με μεγάλη θερμοχωρητικότητα έχει τεράστια σημασία καθώς το κτίριο παίζει το ρόλο του θερμοσυσσωρευτή. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα η αποθηκευμένη θερμότητα αποδίδεται στο εσωτερικό του κτιρίου αργά το απόγευμα ή το βράδυ δηλαδή όταν χρειάζεται περισσότερο και το καλοκαίρι αποδίδεται τις βραδινές ώρες που οι εξωτερικές συνθήκες είναι καταλληλότερες για φυσικό αερισμό και για την απόρριψη της στο περιβάλλον. Το κτίριο δηλαδή λειτουργεί σαν τα σπήλαια τα οποία και παρέχουν σταθερό κλίμα όλη τη διάρκεια του έτους [2].

Θερμογέφυρες [15]

Είναι το τμήμα του κελύφους του κτιρίου όπου η ομοιογενής θερμική αντίσταση μεταβάλλεται σημαντικά είτε με ολική ή μερική παρεμβολή υλικών με διαφορετική θερμική αγωγιμότητα, είτε με μεταβολή του πάχους των υλικών είτε με διαφοροποίηση μεταξύ εξωτερικών και εσωτερικών επιφανειών όπως για παράδειγμα στις συνδέσεις τοίχου-δαπέδου-οροφής.

Οι θερμογέφυρες αποτελούν τα «ασθενή σημεία» του κελύφους και λειτουργούν επιβαρυντικά στη θερμική του προστασία καθώς επηρεάζουν την ενεργειακή του συμπεριφορά και προκαλούν μείωση της θερμικής άνεσης στο εσωτερικό του κτιρίου.

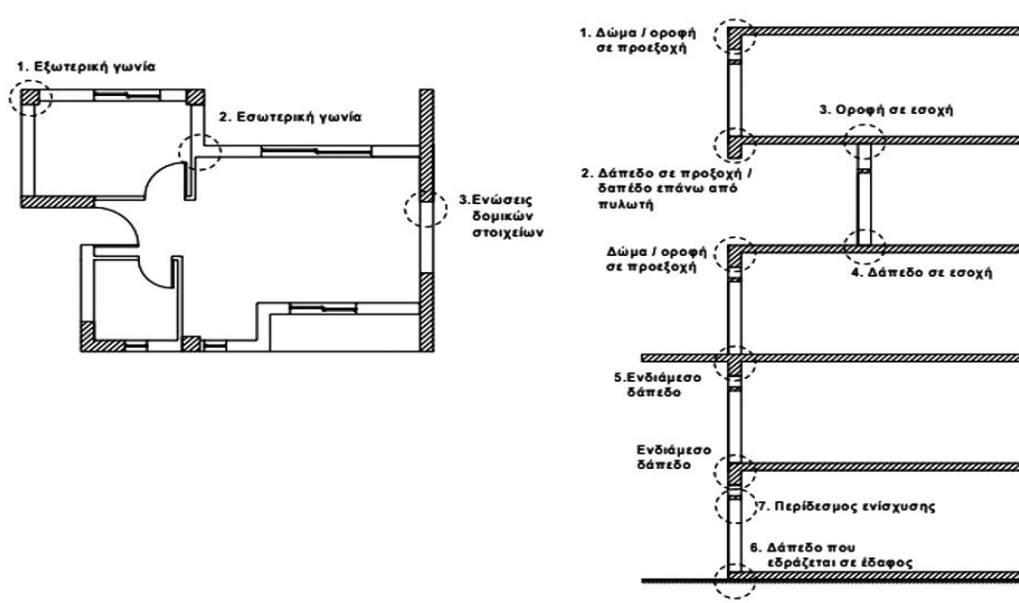
Παρουσιάζονται συνήθως στις απολήξεις των πλακών, τα όρια της εξωτερικής τοιχοποιίας, τις ποδιές ανοιγμάτων, τα πρέκια κ.ά. Στην περιοχή της θερμογέφυρας, λόγω της αυξημένης ροής της θερμότητας, παρουσιάζονται στις εσωτερικές πλευρές του τοιχώματος χαμηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες, με

αποτέλεσμα τη συχνή εμφάνιση τοπικής υγρασίας και αυξημένες θερμικές απώλειες. Έχει αποδειχτεί με μελέτες ότι οι θερμογέφυρες αυξάνουν την πραγματική ενεργειακή κατανάλωση του κελύφους του κτιρίου σε ποσοστό μεταξύ 5-30%.

Χωρίζονται σε γραμμικές και σημειακές. Οι γραμμικές θερμογέφυρες έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση στην ενεργειακή συμπεριφορά του κτιριακού κελύφους σε σχέση με τις σημειακές των οποίων η επίδραση θεωρείται αμελητέα. Έχουν ομοιόμορφη διατομή κατά μια διάσταση και οφείλονται στη δημιουργία θέσεων στις οποίες η ροή θερμότητας παρουσιάζει έντονη διδιάστατη φύση και η παραδοχή της μονοδιάστατης ροής θερμότητας παύει να ισχύει. Με τη σειρά τους κι αυτές χωρίζονται σε κατασκευαστικές, γεωμετρικές και σε συνδυασμό των παραπάνω δύο τύπων.

Οι κατασκευαστικές θερμογέφυρες δημιουργούνται εκεί που υπάρχει ασυνέχεια του θερμομονωτικού υλικού (θέσεις ένωσης δοκού με εξωτερική θερμομόνωση ή τοιχοποιίας με θερμομόνωση στον πυρήνα).

Οι γεωμετρικές δημιουργούνται σε θέσεις όπου η γεωμετρία του δομικού υλικού παύει να είναι γραμμική (θέση κάθετης τομής δυο εξωτερικών δομικών στοιχείων με τη συνέχεια της θερμομόνωσης να μη διακόπτεται δηλαδή σε γωνία). Ενδεικτικές θέσεις εμφάνισης θερμογεφυρών παρουσιάζονται στη εικόνα 5.1.1.



Εικόνα 5.1.1 Θέσεις εμφάνισης θερμογεφυρών [15]

Υγρασία

Είναι η περιεκτικότητα μιας ουσίας σε νερό. Ειδικά για τον αέρα, υγρασία είναι η περιεκτικότητά του σε νερό με τη μορφή υδρατμών. Αυτή εξαρτάται από τη δυνατότητα απόληψης ποσοτήτων νερού (ελεύθερες επιφάνειες νερού ή υγρά σώματα στο χώρο, και εκτεθειμένα σε ρεύματα αέρα, ανθρώπινες εκπνοές και ιδρώτας) από τον αέρα, από τη θερμοκρασία και την πίεση του αέρα, καθώς και από την επιφανειακή θερμοκρασία των τοιχωμάτων ή άλλων αντικειμένων στο χώρο.

Με την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα αυξάνεται η δυνατότητά του να παραλαμβάνει υγρασία, ενώ με τη μείωση της θερμοκρασίας του μπορεί να επέλθει κορεσμός και, στη συνέχεια, να εμφανισθεί υγροποίηση των υδρατμών (εμφάνιση σταγόνων στην επιφάνεια των ψυχρότερων αντικειμένων ή τοιχωμάτων) [2].

Διάχυση υδρατμών [31]

Είναι ένα φαινόμενο που δημιουργείται εξαιτίας της διαφοράς πίεσης των υδρατμών στις δυο πλευρές ενός ατμοδιαπερατού δομικού στοιχείου ή μεταξύ των δύο πλευρών ενός τοιχώματος. Κατά την εξέλιξη του φαινομένου αυτού όταν εμφανιστούν θερμοκρασίες χαμηλότερες του σημείου δρόσου (κορεσμού) παρατηρείται υγροποίηση των διαχεόμενων υδρατμών μέσα στη μάζα του δομικού στοιχείου. Ένα μέρος των υδρατμών δηλαδή συμπυκνώνεται δημιουργώντας την υγρασία εσωτερικής συμπύκνωσης που εισχωρεί στους πόρους των υλικών και ή εγκλωβίζεται ή απομακρύνεται αργότερα με εξάτμιση ή μέσω των τριχοειδών δυνάμεων.

Η συμπύκνωση των υδρατμών είναι ανεκτή όταν δεν προκαλεί μείωση της αντοχής των δομικών υλικών, διάβρωση, μούχλα και μείωση της θερμομονωτικής τους ικανότητας. Στους τοίχους με πορώδη υλικά μια περιορισμένη συμπύκνωση είναι ανεκτή και αποδεκτή εφόσον η υγρασία εξατμίζεται από την εξωτερική παρειά και καμιά από τις δυο πλευρές του τοίχου δεν έχει επιχρισθεί με αδιαπέρατο, ανθυγραντικό επίχρισμα [5].

5.2 Βασικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κελύφους

Τα δομικά στοιχεία του κτιριακού κελύφους που περιγράψαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο έχουν κάποιες ιδιότητες και χαρακτηριστικά που παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ενεργειακή απόδοση του κτιρίου και στην εξασφάλιση του αισθήματος θερμικής άνεσης μέσα σε αυτό. Οι βασικές θερμικές ιδιότητες των υλικών του κτιριακού κελύφους είναι οι παρακάτω:

Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας δίνει την ποσότητα της θερμότητας η οποία ρέει σε μία ώρα μέσα από στρώμα υλικού που έχει επιφάνεια 1m^2 και πάχος 1m , όταν η πτώση της θερμοκρασίας προς την κατεύθυνση της ροής της θερμότητας (διαφορά θερμοκρασίας των δύο επιφανειών) είναι ένας βαθμός Κέλβιν και το σύστημα βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση, δηλαδή η θερμοκρασία τοπικά παραμένει σταθερή με το χρόνο. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας μετράται σε W / mK [31].

Πρακτικά μας δίνει τη δυνατότητα ενός υλικού να μεταφέρει θερμότητα με αγωγή.

Συντελεστής θερμικής θερμοδιαφυγής (Λ)

Ο συντελεστής θερμοδιαφυγής δίνει την ποσότητα της θερμότητας ,η οποία ρέει σε 1 ώρα μέσα από στρώμα υλικού που έχει επιφάνεια 1m^2 και πάχος d m, όταν μεταξύ των δύο επιφανειών υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας ενός βαθμού Κέλβιν και το σύστημα βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση. Ο συντελεστής θερμοδιαφυγής μετράται σε βατ ανά τετραγωνικό μέτρο και βαθμό Κέλβιν ($\text{W} / \text{m}^2\text{K}$) [18].

Για θερμικά ομογενές υλικό δίνεται από τον τύπο :

$$\Lambda = \lambda / d , \quad (5.2.1)$$

όπου λ ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας και d το πάχος του υλικού.

Αντίσταση θερμοδιαφυγής ή θερμική αντίσταση (R)

Ως αντίσταση θερμοδιαφυγής ορίζεται το αντίστροφο του συντελεστή θερμοδιαφυγής. Η αντίσταση θερμοδιαφυγής μετράται σε τετραγωνικά μέτρα επί βαθμούς Κέλβιν ανά βατ ($\text{m}^2\text{K/W}$) [18].

Το μέγεθος αυτό εκφράζει τη θερμομονωτική ικανότητα του υλικού ή του τοιχώματος .

Συντελεστής θερμικής μεταβίβασης, α [31]

Ο συντελεστής θερμικής μεταβίβασης δίνει την ποσότητα της θερμότητας η οποία μεταβιβάζεται σε 1 ώρα μεταξύ στοιχείου της κατασκευής, που έχει επιφάνεια 1m^2 και του αέρα, ο οποίος βρίσκεται σε επαφή μ'αυτό, όταν μεταξύ τους υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας ενός βαθμού Κέλβιν και το σύστημα βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση. Ο συντελεστής θερμικής μεταβίβασης μετριέται σε $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$.

Ο προσδιορισμός του α συνήθως είναι δύσκολο εγχείρημα γιατί εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως το είδος και η θερμοκρασιακή στάθμη των μέσων που συναλλάσσουν θερμότητα ,τη μορφή έκταση, και ποιότητα της επιφάνειας επαφής. Συνήθως οι τιμές του προσδιορίζονται για συγκεκριμένες συνθήκες συναλλαγής και συγκεκριμένα υλικά.

Αντίσταση θερμικής μεταβίβασης, $1/\alpha$

Ως αντίσταση θερμικής μεταβίβασης ορίζεται το αντίστροφο του συντελεστή θερμικής μεταβίβασης. Η αντίσταση θερμικής μεταβίβασης μετράται σε τετραγωνικά μέτρα επί βαθμούς Κέλβιν ανά βατ ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) [18].

Συντελεστής θερμικής διάχυσης (a)

Ο συντελεστής αυτός συσχετίζει τις μεταβολές της θερμοκρασίας και τις συναλλαγές θερμότητας μεταξύ στερεών και ρευστών με το χρόνο [31]. Χρησιμοποιείται όταν υπάρχουν μεταβολές στο θερμοκρασιακό πεδίο (μεταβατικές καταστάσεις) και οι συντελεστές α και λ δεν μας καλύπτουν.

Συντελεστής θερμοπερατότητας , U

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας δίνει την ποσότητα της θερμότητας, η οποία διέρχεται σε 1 ώρα μέσα από επιφάνεια 1m^2 της κατασκευής, όταν η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα, που βρίσκεται στη μία και στην άλλη πλευρά της κατασκευής, είναι ένας βαθμός Κέλβιν και το σύστημα βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας μετριέται σε $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ [18].

Η θερμοπερατότητα προσδιορίζει πόσο εύκολα διαπερνά η θερμότητα (μετρούμενη σε Watt), μέσα σε μία ώρα, ένα υλικό. Προσδιορίζει δηλαδή ως όρος το ακριβώς αντίστροφο από τη θερμική αντίσταση, η οποία αποτυπώνει πόσο

δύσκολα διαπερνά η θερμότητα ένα υλικό (την αντίσταση δηλαδή που παρουσιάζει σε αυτήν).

Εξαρτάται από τα πάχη των στρώσεων του δομικού στοιχείου και από τη συναγωγή που παρουσιάζει με τα στρώματα αέρα εκατέρωθεν των όψεων του, όποτε αυξομειώσεις στο πάχος μιας στρώσης του υλικού επηρεάζουν τον συντελεστή θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου.

Αντίσταση θερμοπερατότητας , 1/U

Ως αντίσταση θερμοπερατότητας ορίζεται το αντίστροφο του συντελεστή θερμοπερατότητας. Η αντίσταση θερμοπερατότητας μετριέται m^2K/W [18].

Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών (μ):

Όσο μεγαλύτερη αντίσταση στη διάχυση υδρατμών παρουσιάζει ένα υλικό τόσο πιο «στεγνό» παραμένει , δηλαδή τόσο λιγότερο ευαίσθητο είναι το υλικό στην υγρασία. Ο συντελεστής αυτός είναι σχετικό μέγεθος αδιάστατο και δίνει κατά πόσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση στη διάχυση υδρατμών ενός στρώματος του υλικού σε σχέση προς το στρώμα αέρα ίσου πάχους ($\mu_{αερα}=1$). Ο συντελεστής μ αυξάνεται όσο μειώνεται η διάμετρος των πόρων του υλικού και αντιστρόφως. Επίσης εξαρτάται και από την υγρασία και τη θερμοκρασία [5].

Συντελεστής γραμμικής διαπερατότητας Ψ

Για τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών λόγω θερμογέφυρων είναι απαραίτητη η γνώση του συντελεστή γραμμικής διαπερατότητας κάθε θερμογέφυρας. Ο κάθε τύπος θερμογέφυρας εκφράζεται με ένα συντελεστή γραμμικής διαπερατότητας Ψ . Μετριέται σε W/mK [9].

Μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας κτιρίου, U_m

Ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας όλου του κτιρίου προκύπτει από τον συνυπολογισμό όλων των συντελεστών των επιμέρους δομικών στοιχείων του κελύφους του κτιρίου κατά την ποσοστιαία αναλογία των αντίστοιχων εμβαδών τους [15]. Στον υπολογισμό του λαμβάνονται και οι γραμμικές θερμογέφυρες και κυρίως αυτές στα όρια της περιμέτρου των δομικών στοιχείων. Οι επιτρεπόμενες τιμές του U_m δίνονται από τον Κ.ΕΝ.Α.Κ. κατά κλιματική ζώνη και συναρτήσει του λόγου της περιβάλλουσας επιφάνειας του κτιρίου προς τον όγκο του .

5.3 Επίδραση των παραμέτρων των αδιαφανών στοιχείων κτιριακού κελύφους στη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου

Αδιαφανή δομικά στοιχεία του κελύφους είναι οι τοίχοι, οι οροφές, το δάπεδο, τα δομικά και θερμομονωτικά υλικά τους. Στη συνέχεια αναλύονται οι βασικές παράμετροι των στοιχείων αυτών που επιδρούν στην ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου.

Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (λ ή k)

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, λ , είναι χαρακτηριστικό μέγεθος του υλικού και εξαρτάται από τη φύση (μοριακή δομή) του υλικού, την υγρασία, τη θερμοκρασία, το ειδικό βάρος και την πίεση. Για δεδομένο υλικό και σταθερή πίεση (στα κτίρια συνήθως η πίεση λαμβάνεται ίση με την ατμοσφαιρική) οι μεταβολές του εξαρτώνται από τις μεταβολές της θερμοκρασίας [31].

Η συνάρτηση μεταβολής του λ με τη θερμοκρασία είναι γραμμική και η τιμή του αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας συνήθως (αυτό ισχύει για το νερό, τα αέρια, και γενικά τα περισσότερα δομικά υλικά).

Τα δομικά υλικά ανάλογα με την τιμή του λ διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες :

- α. Φυσικοί λίθοι : $\lambda = 2,7$ μέχρι $4,1$ (W/mK),
- β. Κάθε φύσης δομικό υλικό: $\lambda = 0,1$ μέχρι $2,7$ (W/mK),
- γ. Θερμομονωτικό υλικό: $\lambda = 0,023$ μέχρι $0,1$ (W/mK).

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη θερμομονωτική ικανότητα του υλικού (από αυτόν εξαρτάται και η αντίσταση θερμοδιαφυγής). Όσο μικρότερη είναι η τιμή του λ , τόσο περισσότερο αποτελεσματικό είναι το υλικό ως θερμομονωτικό. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως δεν είναι σταθερό μέγεθος αλλά μια γραμμική συνάρτηση που αυξάνεται σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία. Άρα όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, αυξάνεται ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας και μειώνεται η θερμομονωτική ικανότητα του υλικού [2].

Η θερμική αγωγιμότητα επηρεάζεται αρνητικά από την υγρασία. Η θερμική αγωγιμότητα του νερού είναι $0,57$ W/mK, δηλαδή 24 φορές μεγαλύτερη από αυτή του ακίνητου αέρα που κανονικά υπάρχει στους πόρους του υλικού

($\lambda=0,024 \text{ W/mk}$). Ακόμη πιο καταστροφικός είναι ο παγετός. Στην πράξη τα θερμομονωτικά υλικά απορροφούν υγρασία παρά τη χρήση φράγματος υδρατμών [2]. Επίσης λόγω των ιδιοτήτων τους και του τρόπου κατασκευής τους τα περισσότερα μονωτικά υλικά γερνάνε εξαιτίας μηχανικών αλληλεξαρτήσεων και θερμοκρασιακών αλλαγών. Έτσι αλλοιώνεται η αρχική ισορροπία των στερεών και των αέριων συστατικών. Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας πάντοτε αυξάνεται και ποτέ δεν μειώνεται.

Συντελεστής θερμοπερατότητας U

Τα εξωτερικά δομικά στοιχεία του κτιρίου (τοιχώματα, δάπεδα, οροφές, στέγες, πόρτες, παράθυρα, φεγγίτες, αίθρια), ανάλογα με την αντίσταση θερμοπερατότητας, μπορούν να θεωρηθούν επαρκή ή να χρειαστεί να ενισχυθούν με την προσθήκη ή παρεμβολή ειδικών θερμομονωτικών υλικών.

Οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των εξωτερικών δομικών στοιχείων καθορίζονται από τον Κ.ΕΝ.Α.Κ. ανάλογα με την κλιματική ζώνη στην οποία ανήκει η περιοχή που βρίσκεται το κτίριο και ο υπολογισμός τους βασίζεται στο πάχος και το συντελεστή αγωγιμότητας όλων των στρώσεων από τις οποίες αποτελούνται.

Πάχος θερμομονωτικού υλικού (w)

Το πάχος του θερμομονωτικού υλικού, όπως και η θερμική του αγωγιμότητα, παίζει κι αυτό σημαντικό ρόλο στη θερμομονωτική ικανότητά του, δεδομένου ότι η αντίσταση θερμοδιαφυγής ενός υλικού είναι το πηλίκο του πάχους του προς το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του υλικού ($1/\Lambda = w/\lambda$). Γενικά όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος του τόσο περισσότερο αποδοτικό από άποψη μόνωσης είναι το υλικό. Αυτό όμως σημαίνει αύξηση του πάχους των τοιχωμάτων (κόστος χώρου) και αύξηση της ποσότητας του θερμομονωτικού υλικού (κόστος υλικού). Σε κεντρικές κτιριακές εγκαταστάσεις το συνολικό πάχος των τοιχωμάτων έχει τεράστια οικονομική σημασία, γιατί το κόστος του διατιθέμενου ωφέλιμου εμβαδού είναι πολύ υψηλό. Στις περιπτώσεις αυτές δικαιολογείται η χρήση ισχυρών μονωτικών υλικών μεγάλου κόστους, γιατί προέχει η εξοικονόμηση χώρου [2]. Όταν το πρόβλημα του χώρου δεν είναι βασικό, αναζητείται ο αποδεκτός συσχετισμός κόστους κατασκευής και εξοικονόμησης ενέργειας. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα ενεργειακά κέρδη από την τοποθέτηση της θερμομόνωσης,

δεν είναι ευθέως ανάλογα με το πάχος του μονωτικού υλικού, *καθώς μετά από κάποια τιμή του πάχους η εξοικονομούμενη ενέργεια είναι ασήμαντη.*

Σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ απαιτείται πια μόνωση πάχους 6 cm και παραπάνω για να επιτευχθούν οι επιθυμητοί συντελεστές θερμοπερατότητας. Το πάχος αυτό αναφέρεται σε υλικά που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα στην αγορά και έχουν συντελεστές αγωγιμότητας της τάξης των 0,030-0,045 W/mK. Το πάχος θα μπορούσε να μειωθεί χρησιμοποιώντας μονωτικό υλικό με χαμηλότερο συντελεστή αγωγιμότητας λ καθώς διαφορετικοί συνδυασμοί λ και w μπορούν να δώσουν ίδια θερμική αντίσταση. Για την επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού βέβαια πρέπει να ληφθεί υπόψη και το κόστος του υλικού καθώς και τα μελλοντικά οφέλη που θα προκύψουν από τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου.

Συντελεστές ανακλαστικότητας, απορροφητικότητας και εκπομπής

Εκτός από το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας και τους υπόλοιπους συντελεστές που αναφέραμε στην αρχή σημαντικό ρόλο στη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου παίζουν η *ανακλαστικότητα*, η *απορροφητικότητα* και ο *συντελεστής εκπομπής* των δομικών υλικών.

Τα υλικά των εξωτερικών επιφανειών δέχονται την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία της οποίας ένα μέρος απορροφούν κι ένα άλλο ανακλούν. Το πηλίκο της αναρροφούμενης προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία ονομάζεται απορροφητικότητα του υλικού. Το πηλίκο της ανακλώμενης προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία ονομάζεται *ανακλαστικότητα* του υλικού [2]. Γενικά η χρήση υλικών με μεγάλη ανακλαστικότητα, βοηθά σημαντικά στη μείωση της θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου [2].

Τα υλικά εκπέμπουν θερμική ακτινοβολία, η ισχύς της οποίας εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τον *συντελεστή εκπομπής* ϵ του υλικού. Μεγάλος συντελεστής εκπομπής συνεπάγεται μεγαλύτερη ευκολία στην αποβολή της αναρροφούμενης θερμότητας. Για τα περισσότερα δομικά υλικά ο συντελεστής εκπομπής είναι μεταξύ 0,80 και 0,90. Χαμηλές τιμές του συντελεστή εκπομπής των εξωτερικών επιφανειών του κελύφους συναντώνται κυρίως σε επιφάνειες από μέταλλο (αλουμίνιο, ορείχαλκο ή κασσίτερο).

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί υλικά με προηγμένα οπτικά χαρακτηριστικά και αυξημένη ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία, τα οποία

ονομάζονται *ψυχρά υλικά*. Τα υλικά αυτά αφορούν τα χρώματα, τις μεμβράνες οροφής, τις πλάκες και τα κεραμίδια. Τα ψυχρά υλικά, εφαρμοζόμενα στο κτιριακό κέλυφος αποτελούν ειδική τεχνική θερμικής προστασίας, η οποία μειώνει την εισερχόμενη στο κτίριο ηλιακή ακτινοβολία και αποτελεί συμπληρωματική τεχνική ηλιοπροστασίας [2]. Οι χώροι που έχουν άμεσα οφέλη από την τοποθέτηση ψυχρών οροφών είναι αυτά του τελευταίου ορόφου, αυτά δηλαδή που εκτίθενται άμεσα στην προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία

Γενικά τόσο η ανακλαστικότητα, όσο και η απορροφητικότητα και ο συντελεστής εκπομπής εξαρτώνται κυρίως από το χρώμα και την υφή της τελικής επιφάνειας. Η ανακλαστικότητα σιλιπνών και λείων επιφανειών πλησιάζει προς τη μονάδα, ενώ η απορροφητικότητά τους είναι αντίστοιχα μειωμένη. Αντίθετα, σκουρόχρωμες και τραχιές επιφάνειες εμφανίζουν μεγάλη απορροφητικότητα και μικρή ανακλαστικότητα.

Πίνακας 5.3.1 Συντελεστές ανακλαστικότητας και απορροφητικότητας δομικών στοιχείων[15]

| Περιγραφή επιφάνειας | Ανακλαστικότητα | Απορροφητικότητα |
|--|-----------------|------------------|
| Κατακόρυφα δομικά στοιχεία | | |
| Επίχρισμα λευκό, λεία επιφάνεια (σπατουλαριστό) | 0,70 | 0,30 |
| Επίχρισμα ανοιχτόχρωμο (π.χ. ανοιχτό γκρι, μπεζ, κίτρινο, ροζ ή γαλάζιο) | 0,60 | 0,40 |
| Επίχρισμα μέτριας απόχρωσης (π.χ. γκρι, μπεζ, σκούρη ώχρα, σομόν) | 0,40 | 0,60 |
| Επίχρισμα σκουρόχρωμο (π.χ. σκούρο λαδί, καφέ, γκρι) | 0,20 | 0,80 |
| Εμφανής οπτοπλινθοδομή ή λιθοδομή | 0,20 | 0,80 |
| Εμφανής ανοιχτόχρωμη οπτοπλινθοδομή ή λιθοδομή | 0,40 | 0,60 |
| Σιλιπνές μεταλλικές επιφάνειες (π.χ. φύλλα αλουμινίου) | 0,80 | 0,20 |
| Αδιαφανές τμήμα γυάλινης πρόσοψης (π.χ. πάνελ με επικάλυψη γυαλιού) | 0,40 | 0,60 |
| Οριζόντια δομικά στοιχεία (οροφές) | | |
| Κόκκινο κεραμίδι | 0,40 | 0,60 |
| Πολύ σκούρες επιστρώσεις στεγών ή δωματίων (ασφαλτόπανα) | 0,10 | 0,90 |
| Σκούρες επιστρώσεις στεγών ή δωματίων (π.χ. επικάλυψη με σχιστολιθικές πλάκες, ασφαλτικά κεραμίδια) | 0,20 | 0,80 |
| Ανοιχτόχρωμες επιστρώσεις στεγών ή δωματίων (π.χ. επικάλυψη με πλάκες πεζοδρομίου, ασφαλτόπανα με χαλαζακή ψηφίδα) | 0,35 | 0,65 |
| Σιλιπνές μεταλλικές επιφάνειες (π.χ. ανακλαστικές μεμβράνες) | 0,80 | 0,20 |
| Γαρμπίλι | 0,70 | 0,30 |

Πίνακας 5.3.2 Συντελεστής εκπομπής για δομικά υλικά[15]

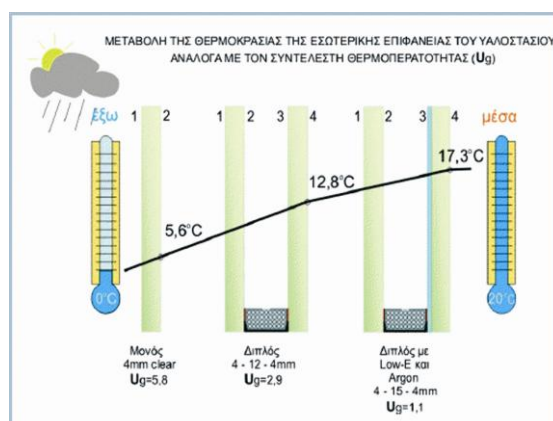
| Περιγραφή επιφάνειας | Συντελεστής εκπομπής |
|--------------------------------|----------------------|
| Σύνηθες δομικό υλικό | 0,80 |
| Γυαλί | 0,90 |
| Στιλπνές μεταλλικές επιφάνειες | 0,20 |
| Γαρμπίλι | 0,30 |

5.4 Επίδραση των παραμέτρων διάφανων δομικών στοιχείων κτιριακού κελύφους στη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου

Στα αδιαφανή δομικά στοιχεία του κελύφους περιλαμβάνονται οι υαλοπίνακες, τα πλαίσια και τα κουφώματα. Η επίδραση των παραμέτρων τους στην ενεργειακή απόδοση του κελύφους περιγράφεται παρακάτω.

Συντελεστής θερμοπερατότητας υαλοπινάκων U_g

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας των υαλοπινάκων ουσιαστικά μας δίνει τις θερμικές απώλειες που έχουμε μέσω των υαλοπινάκων και η επιρροή του στην τελική διαμόρφωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου είναι ιδιαίτερα σημαντική. Όσο μικρότερο συντελεστή θερμοπερατότητας έχει ένας υαλοπίνακας τόσο λιγότερες απώλειες προκύπτουν.



Εικόνα 5.4.1. Μεταβολή της θερμοκρασίας εσωτερικής επιφάνειας υαλοπίνακα σε συνάρτηση με τον συντελεστή θερμοπερατότητας [32]

Οι τυπικές τιμές των πιο βασικών ειδών υαλοπινάκων δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5.4.1 Συντελεστής θερμοπερατότητας για διαφορετικά είδη υαλοπινάκων [9]

| Υάλωση | | | U_g [W/(m ² ·K)] για διαφορετικούς τύπους αερίων στο διάκενο των υαλοπινάκων | | | |
|---------------|---|----------------------|---|-------|------|--------|
| Τύπος υάλωσης | Υαλοπίνακας | Συντελεστής εκπομπής | Διαστάσεις | Αέρας | Αργό | Κρυπτό |
| Διπλή | Χωρίς επίστρωση χαμηλής εκπομπής | 0,89 | 4-6-4 | 3,3 | 3,0 | 2,8 |
| | | | 4-8-4 | 3,1 | 2,9 | 2,7 |
| | | | 4-12-4 | 2,8 | 2,7 | 2,6 |
| | | | 4-16-4 | 2,7 | 2,6 | 2,6 |
| | | | 4-20-4 | 2,7 | 2,6 | 2,6 |
| | Με επίστρωση χαμηλής εκπομπής ενός φύλλου | ≤0,1 | 4-6-4 | 2,6 | 2,2 | 1,7 |
| | | | 4-8-4 | 2,2 | 1,9 | 1,4 |
| | | | 4-12-4 | 1,8 | 1,5 | 1,3 |
| | | | 4-16-4 | 1,6 | 1,4 | 1,3 |
| | Με επίστρωση χαμηλής εκπομπής ενός φύλλου | ≤0,05 | 4-6-4 | 2,5 | 2,1 | 1,5 |
| | | | 4-8-4 | 2,1 | 1,7 | 1,3 |
| | | | 4-12-4 | 1,7 | 1,3 | 1,1 |
| 4-16-4 | | | 1,4 | 1,2 | 1,2 | |
| Τριπλή | Χωρίς επίστρωση χαμηλής εκπομπής | 0,89 | 4-6-4-6-4 | 2,3 | 2,1 | 1,8 |
| | | | 4-8-4-8-4 | 2,1 | 1,9 | 1,7 |
| | | | 4-12-4-12-4 | 1,9 | 1,8 | 1,6 |
| | Με επίστρωση χαμηλής εκπομπής δύο φύλλων | ≤ 0,1 | 4-6-4-6-4 | 1,7 | 1,3 | 1,0 |
| | | | 4-8-4-8-4 | 1,4 | 1,1 | 0,8 |
| | | | 4-12-4-12-4 | 1,1 | 0,9 | 0,6 |
| | Με επίστρωση χαμηλής εκπομπής δύο φύλλων | ≤ 0,05 | 4-6-4-6-4 | 1,6 | 1,2 | 0,9 |
| | | | 4-8-4-8-4 | 1,3 | 1,0 | 0,7 |
| | | | 4-12-4-12-4 | 1,0 | 0,8 | 0,5 |

Γενικά με τη χρήση πολλαπλών υαλοπινάκων, μειώνεται η διαπερατότητα του συστήματος, αλλά βελτιώνεται σημαντικά ο συντελεστής θερμοπερατότητας. Ανακλαστικοί και απορροφητικοί υαλοπίνακες με υψηλό συντελεστή ανακλαστικότητας και απορροφητικότητας αντίστοιχα, πρέπει να χρησιμοποιούνται με σύνεση στα παθητικά ηλιακά συστήματα ή στο νότιο προσανατολισμό, γιατί μειώνουν το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο χώρο. Αντίθετα, ενδείκνυνται υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής (low emissivity ή low-e), κατάλληλα τοποθετημένοι, οι οποίοι περιορίζουν τη διαφυγή της θερμικής ενέργειας με ακτινοβολία προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Συντελεστής θερμοπερατότητας κουφώματος U_w [15]

Η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας του κουφώματος προκύπτει από τους συντελεστές θερμοπερατότητας του πλαισίου (U_f) του κουφώματος και του

υαλοπίνακα κατά την ποσοστιαία αναλογία των εμβαδών των δύο υλικών στην επιφάνεια του κουφώματος, λαμβανομένης υπόψη και της γραμμικής θερμογέφυρας που αναπτύσσεται μεταξύ πλαισίου και υαλοπίνακα.

Αυτό δείχνει ότι κουφώματα που αποτελούνται από τον ίδιο τύπο υαλοπίνακα και πλαισίου, αλλά είναι διαφορετικού μεγέθους μπορεί να έχουν διαφορετικό συντελεστή θερμοπερατότητας άρα και απόδοση.

Παρακάτω δίνονται σε πίνακες ενδεικτικές τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των κουφωμάτων για διάφορα είδη πλαισίων και υαλοπινάκων καθώς και για διάφορα ποσοστά πλαισίων.

Πίνακας 5.4.2 Συντελεστής θερμοπερατότητας κουφωμάτων [9]

| Τύπος πλαισίου | Ποσοστό πλαισίου F_f | Υαλοπίνακας μονός | Δίδυμος υαλοπίνακας | | Δίδυμος υαλοπίνακας με επίστρωση μεμβράνης χαμηλής εκπεμφιμότητας | |
|---|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---|------------------------|
| | | | με διάκενο αέρα 6 mm | με διάκενο αέρα 6 mm | με διάκενο αέρα 12 mm | με διάκενο αέρα 6 mm |
| | | | [W/(m ² K)] | [W/(m ² K)] | [W/(m ² K)] | [W/(m ² K)] |
| | [%] | [W/(m ² K)] | [W/(m ² K)] | [W/(m ² K)] | [W/(m ² K)] | [W/(m ² K)] |
| Μεταλλικό πλαίσιο χωρίς θερμοδιακοπή. | 20% | 6,0 | 4,1 | 3,7 | 3,6 | 3,0 |
| | 30% | 6,1 | 4,5 | 4,1 | 4,0 | 3,5 |
| | 40% | 6,2 | 4,8 | 4,5 | 4,4 | 4,0 |
| Μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή 12 mm | 20% | – | 3,6 | 3,2 | 3,1 | 2,6 |
| | 30% | – | 3,5 | 3,2 | 3,1 | 2,7 |
| | 40% | – | 3,5 | 3,2 | 3,0 | 2,8 |
| Μεταλλικά πλαίσια με θερμοδιακοπή 24 mm | 20% | – | 3,4 | 3,0 | 3,0 | 2,3 |
| | 30% | – | 3,3 | 3,0 | 2,9 | 2,4 |
| | 40% | – | 3,2 | 3,0 | 2,9 | 2,4 |
| Συνθετικό πλαίσιο | 20% | – | 3,4 | 3,0 | 2,9 | 2,2 |
| | 30% | – | 3,3 | 2,9 | 2,9 | 2,3 |
| | 40% | – | 3,2 | 2,9 | 2,9 | 2,4 |
| Ξύλινο πλαίσιο | 20% | 5,0 | 3,2 | 2,9 | 2,7 | 2,1 |
| | 30% | 4,7 | 3,1 | 2,8 | 2,6 | 2,1 |
| | 40% | 4,3 | 3,0 | 2,7 | 2,6 | 2,1 |
| Διπλό παράθυρο (ξύλινο)* | 20% | 2,4 | – | – | – | – |
| | 30% | 2,3 | – | – | – | – |

Συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους του κουφώματος g_w

Εκφράζει τη μέση τιμή του λόγου της ηλιακής ακτινοβολίας που περνά από την επιφάνεια του κουφώματος προς την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε

αυτό. Η τιμή του εξαρτάται από το είδος του υαλοπίνακα και το ποσοστό του πλαισίου επί του κουφώματος.

Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από το πλαίσιο και μεταδίδεται με τη μορφή θερμότητας στο εσωτερικό είναι πολύ μικρή συγκριτικά με αυτήν που διέρχεται από το διαφανές τμήμα του κουφώματος και έτσι αγνοείται [15]. Η τιμή του g_w εξαρτάται από το ποσοστό του πλαισίου κι έτσι θα πρέπει να υπολογίζεται για κάθε τύπο κουφώματος ξεχωριστά. Η τιμή του υπολογίζεται από τον τύπο:

$$g_w = g_{gl} (1 - F_f) \quad (5.4.1)$$

όπου: F_f το ποσοστό πλαισίου στο κούφωμα,

g_{gl} ο συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους του υαλοπίνακα.

Πίνακας 5.4.3 Συντελεστές ηλιακού θερμικού κέρδους κουφωμάτων και υαλοπινάκων [9]

| Τύπος υαλοπίνακα | g | g_{gl} |
|--|------|----------|
| Μονός υαλοπίνακας | 0,85 | 0,77 |
| Διπλός υαλοπίνακας | 0,75 | 0,68 |
| Διπλός υαλοπίνακας, με επιλεκτική, χαμηλής ικανότητας εκπομπής επίστρωση | 0,67 | 0,60 |
| Διπλό παράθυρο | 0,75 | 0,68 |

Συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους g_{gl}

Ο συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους του υαλοπίνακα g_{gl} εκφράζει τη μέση τιμή του λόγου της ηλιακής ακτινοβολίας που περνά από την επιφάνεια του υαλοπίνακα προς την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτόν και λαμβάνεται ίση με το 90% του συντελεστή ηλιακού κέρδους g σε κάθετη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας [15].

Πίνακας 5.4.4 Συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους σε συνάρτηση με το ποσοστό πλαισίου [15]

| Τύπος υαλοπίνακα | Ποσοστό πλαισίου F_f | | | |
|---|------------------------|------|------|------|
| | 10% | 20% | 30% | 40% |
| Μονός υαλοπίνακας | 0,69 | 0,62 | 0,54 | 0,46 |
| Διπλός υαλοπίνακας | 0,61 | 0,54 | 0,48 | 0,41 |
| Διπλός υαλοπίνακας, χαμηλής ικανότητας εκπομπής επίστρωση | 0,54 | 0,48 | 0,42 | 0,36 |
| Διπλό παράθυρο | 0,61 | 0,54 | 0,48 | 0,41 |

Ποσοστό υαλοπινάκων P_f

Όπως φάνηκε παραπάνω, το ποσοστό των πλαισίων (ουσιαστικά δηλαδή το ποσοστό των υαλοπινάκων καθώς από αυτούς εξαρτάται το μέγεθος των πλαισίων) διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην τιμή και του συντελεστή ηλιακού κέρδους καθώς και του συντελεστή θερμοπερατότητας του κουφώματος. Γενικά αύξηση του ποσοστού των υαλοπινάκων επί του κελύφους προκαλεί αύξηση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας οπότε και μείωση της κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης (κατά τους χειμερινούς μήνες).

Συντελεστής εκπομπής

Ο συντελεστής εκπομπής e δηλώνει το ποσοστό (%) της επανεκπεμπόμενης ενέργειας. Για παράδειγμα η τιμή e της δυνατότητας εκπομπής (emissivity) ενός κοινού υαλοπίνακα είναι 0,89. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι το 89% της ενέργειας που απορροφάται από την μάζα του υαλοπίνακα, επανεκπέμπεται προς το περιβάλλον [32].

Γενικά όσο χαμηλότερο συντελεστή εκπομπής έχει ένας υαλοπίνακας τόσο λιγότερες απώλειες έχουμε. Για τη μείωση του συντελεστή εκπομπής των υαλοπινάκων χρησιμοποιούνται όπως αναφέραμε σε προηγούμενη ενότητα επιστρώσεις low –e.

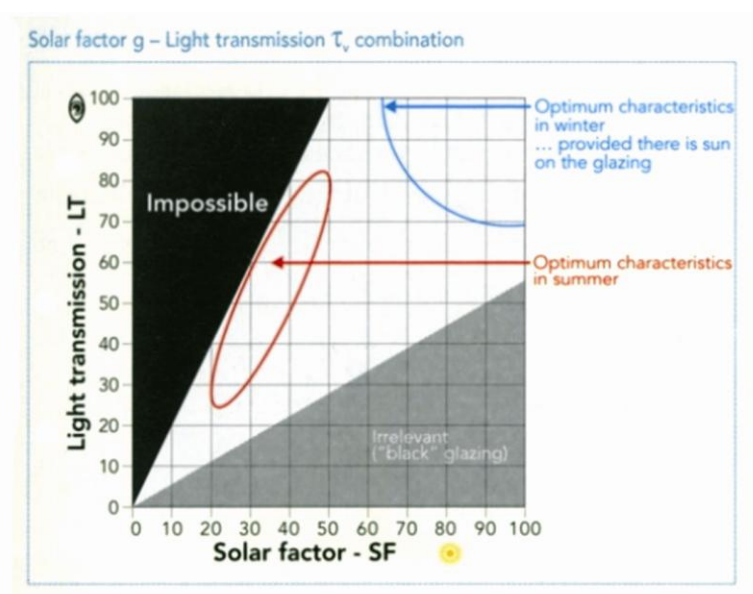
Επιλεκτικότητα [32]

Η ποσότητα του φωτός που περνάει από έναν υαλοπίνακα εκφράζεται με τον συντελεστή φωτοπερατότητας LT (Light Transmission).

Η σχέση ανάμεσα στον συντελεστή διερχόμενου φωτός (LT Light Transmission) και στον ηλιακό συντελεστή (g Solar Factor) ενός υαλοπίνακα αποκαλείται επιλεκτικότητα (selectivity) ενός υαλοπίνακα.

$$\text{Selectivity} = \text{Light Transmission (LT)} / \text{Solar Factor (SF ή g)} \quad (5.3.2)$$

Οι τιμές που μπορεί να πάρει η επιλεκτικότητα ενός υαλοπίνακα κυμαίνονται ανάμεσα στο 0 και το 2. Τιμή 0 έχει ένας αδιαφανής υαλοπίνακας ενώ τιμή 2 αντιπροσωπεύει την καλύτερη δυνατή επιλεκτικότητα αφού το φως αντιπροσωπεύει το 50% του ηλιακού φάσματος [32]. Συμπερασματικά όσο πλησιέστερα προς το 2 είναι η τιμή, τόσο πιο επιλεκτικός είναι ο υαλοπίνακας.



Εικόνα 5.4.1 Επίδραση του συντελεστή φωτοπερατότητας σε συνάρτηση με τον ηλιακό συντελεστή [32]

Προσανατολισμός υαλοπινάκων

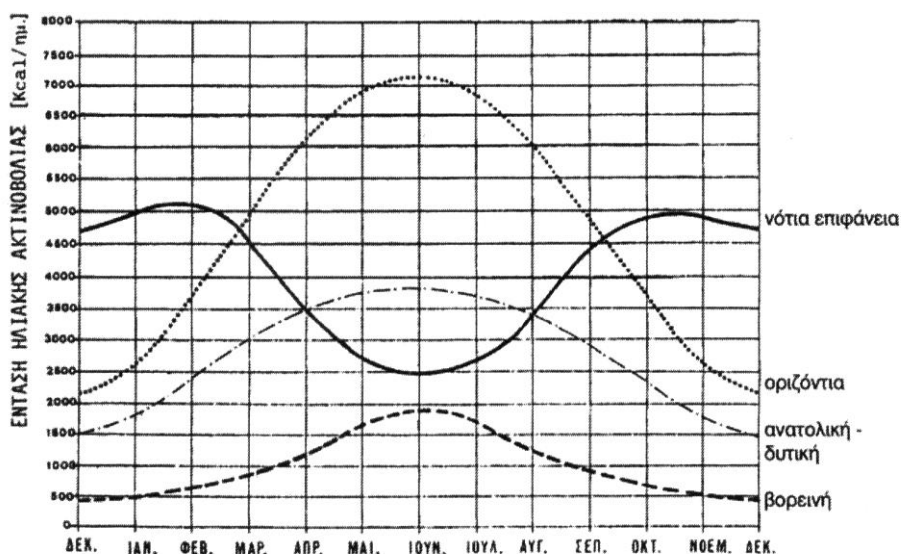
Ο προσανατολισμός των υαλοπινάκων παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο καθώς από αυτόν εξαρτάται η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στους υαλοπίνακες και κατά συνέπεια τα θερμικά κέρδη λόγω υαλοπινάκων.

Για να εξασφαλίσουμε μεγάλα ηλιακά κέρδη το χειμώνα και μικρά το καλοκαίρι, χρησιμοποιούνται μεγάλα ανοίγματα στο νότο, μέτρια στην ανατολή και δύση και μικρά ως καθόλου ανοίγματα στο βορρά.

Τα νότια προσανατολισμένα ανοίγματα επιτυγχάνουν σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση του κτιρίου, μειώνουν τον κίνδυνο υπερθέρμανσης το καλοκαίρι και είναι αρκετά για να καλύψουν το θερμικό φορτίο του κτιρίου την άνοιξη και το φθινόπωρο σε ήπια κλίματα μειώνοντας έτσι την περίοδο χρήσης του συστήματος θέρμανσης.

Οι βόρειοι υαλοπίνακες επιτρέπουν την είσοδο μόνο της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας και όχι της άμεσης και για αυτό χρησιμοποιούνται κυρίως για την παροχή φυσικού φωτισμού. Είναι περισσότερο χρήσιμα για αερισμό το καλοκαίρι όμως λόγω των θερμικών απωλειών που παρουσιάζουν το χειμώνα θα πρέπει να έχουν περιορισμένο μέγεθος [10].

Οι ανατολικοί και οι δυτικοί υαλοπίνακες χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της οπτικής άνεσης και του φυσικού φωτισμού καθώς έχουν λιγότερα πλεονεκτήματα σε σχέση με τους νότιους [2]. Οι δυτικά προσανατολισμένοι υαλοπίνακες έχουν ως μειονέκτημα κυρίως ότι αυξάνουν την θερμοκρασία του κτιρίου το καλοκαίρι και άρα και το ψυκτικό φορτίο αφού επιτρέπουν την είσοδο της άμεσης ακτινοβολίας τις απογευματινές ώρες.



Εικόνα 5.4.2 Ηλιακή ακτινοβολία συναρτήσει του προσανατολισμού της επιφάνειας [2]

Συντελεστές σκίασης [9,15]

Σύμφωνα με τον Κ.ΕΝ.Α.Κ. οι συντελεστές σκίασης καθορίζονται ανάλογα με το είδος των σκιάστρων (οριζόντια, πλευρικά εξωτερικά εμπόδια και σκιάστρα) και την γεωμετρία τους. Επειδή ανάλογα με την εποχή οι συντελεστές σκίασης

αλλάζουν, καθορίζονται για κάθε εξωτερική επιφάνεια με ορισμένο προσανατολισμό, οι αντίστοιχοι μέσοι συντελεστές σκίασης, ένας για τη χειμερινή περίοδο και ένας για τη θερινή περίοδο, ανάλογα με το είδος σκιάστρου. Στην περίπτωση ταυτόχρονης ύπαρξης προβόλου και εξωτερικού σκιάστρου η σκίαση λόγω προβόλου αγνοείται. Ο συνολικός σκιασμός δομικού στοιχείου προκύπτει ως το γινόμενο των τριών συντελεστών σκίασης:

- του συντελεστή σκίασης από εμπόδιο του περιβάλλοντος χώρου (γεινιάζοντα κτήρια κ.τ.λ.),
- του συντελεστή σκίασης από πλευρικό εμπόδιο
- και του συντελεστή σκίασης από οριζόντιο πρόβολο ή εξωτερικό σκίαστρο κατά περίπτωση.

Όλοι οι συντελεστές είναι μειωτικοί λαμβάνοντας τιμή ίση με την μονάδα (1), όταν δεν υπάρχει καθόλου σκίαση και ίση με μηδέν (0) για πλήρη σκίαση.

5.5 Συνδυασμός παραμέτρων

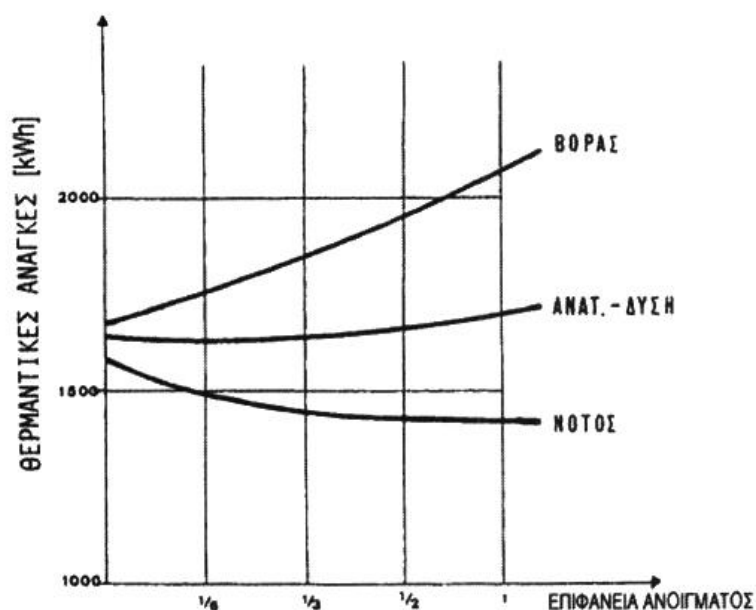
Οι παράμετροι που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες ενότητες επιδρούν ο καθένας χωριστά στην ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου για αυτό στην επιλογή των δομικών και μονωτικών υλικών θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη.

Γίνεται αντιληπτό ότι οι σπουδαιότεροι παράμετροι των δομικών στοιχείων που επιδρούν στην ενεργειακή απόδοση του κτιρίου είναι η μόνωση και οι υαλοπίνακες καθώς παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη και μικρότερη θερμική αντίσταση αντίστοιχα. Εκτός από αυτό, οι περισσότερες από τις υπόλοιπες παραμέτρους καθορίζονται και ελέγχονται από θεσμικά πλαίσια και νόμους της πολιτείας, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενες ενότητες ή επιδρούν ελάχιστα στη θερμική συμπεριφορά του.

Αξίζει όμως να σημειώσουμε ότι για την ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών σε ένα κτίριο ουσιαστικό ρόλο παίζει και ο συνδυασμός των παραπάνω παραμέτρων καθώς μπορούμε να πετύχουμε ίδιες απώλειες συνδυάζοντας κατάλληλα διάφορες παραμέτρους, γεγονός που δίνει ευελιξία στην επιλογή των υλικών και στους τρόπους κατασκευής.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η επιλογή του μονωτικού υλικού. Όπως αναφέρθηκε η θερμική αντίσταση ενός υλικού προκύπτει από το λόγο του πάχους του υλικού προς το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του. Είναι λοιπόν εμφανές ότι διαφορετικός συνδυασμός πάχους και λ μας δίνει ίδιο αποτέλεσμα ως προς την θερμική αντίσταση και κατά συνέπεια τις θερμικές απώλειες και το συντελεστή θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου. Οπότε επιλογή μονωτικού υλικού με μικρότερο λ θα φέρει ίδια αποτελέσματα με ταυτόχρονη μείωση του πάχους της μόνωσης. Η επιλογή τελικά συνήθως γίνεται με βασικό κριτήριο το κόστος της κατασκευής.

Άλλο παράδειγμα είναι ο συνδυασμός των παραμέτρων των αδιαφανών στοιχείων και κυρίως των υαλοπινάκων. Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό των υαλοπινάκων με προσανατολισμό στο βορρά τόσο αυξάνεται η ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου ενώ αντίθετα όσο αυξάνεται το ποσοστό υαλοπινάκων στη νότια επιφάνεια τόσο μειώνονται οι ανάγκες του κτιρίου για θέρμανση. Η σχέση προσανατολισμού και μεγέθους υαλοπινάκων φαίνεται και στο διάγραμμα 5.5.1.



Εικόνα 5.5.1 Ενεργειακή κατανάλωση συναρτήσει του ποσοστού επιφάνειας ανοίγματος και του προσανατολισμού [2]

Τέλος ακόμα ένας συνδυασμός παραμέτρων είναι ο προσανατολισμός των υαλοπινάκων με το συντελεστή θερμοπερατότητας τους. Στα βόρεια ανοίγματα θα πρέπει να τοποθετούνται υαλοπίνακες με αρκετά μικρό συντελεστή

θερμοπερατότητας (διπλοί υαλοπίνακες τουλάχιστον) ώστε να μειώνονται στο ελάχιστο οι γενικά μεγάλες απώλειες που προκύπτουν από αυτά ενώ στα νότια, ανατολικά και δυτικά ανοίγματα μπορούν να τοποθετηθούν ακόμα και μονοί υαλοπίνακες ανάλογα με τις απαιτήσεις του κτιρίου.

Υπάρχουν πολλές μελέτες και δημοσιεύματα στα οποία εξετάζεται είτε η επίδραση των χαρακτηριστικών της μόνωσης είτε η επίδραση των χαρακτηριστικών των υαλοπινάκων χωριστά στην ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου γεγονός που αποδεικνύει και ότι η μόνωση και οι υαλοπίνακες αποτελούν τα δομικά στοιχεία του κελύφους με την μεγαλύτερη επίδραση στην ενεργειακή κατανάλωσή του. Παρόλα αυτά όμως υπάρχουν περιορισμένα στοιχεία για την επίδραση του συνδυασμού των μεταβολών τους στη θερμική συμπεριφορά του κελύφους.

Η γνώση της επίδρασης του συνδυασμού των χαρακτηριστικών της μόνωσης και των υαλοπινάκων θα μπορούσε να διευκολύνει την ενεργειακή αξιολόγηση υφιστάμενων κτιρίων καθώς και την σωστή επιλογή τους σε νέα κτίρια. Χαρακτηριστικά να αναφέρουμε ότι δεν είναι άμεσα γνωστή η μεταβολή της μόνωσης που θα μπορούσε να εξουδετερώσει μια μεταβολή των χαρακτηριστικών των υαλοπινάκων ώστε να παραμείνει σταθερή η ενεργειακή κατανάλωση όπως για παράδειγμα η δυνατότητα επιλογής του πάχους της μόνωσης σε περίπτωση που αποφασιστεί αύξηση ή μείωση της επιφάνειας των υαλοπινάκων ώστε να διατηρηθεί ο U_m μέσα στα πλαίσια που ορίζει ο Κ.ΕΝ.Α.Κ [33].

Σύμφωνα με μελέτη [33] προκύπτει ότι για σταθερό πάχος μόνωσης με αύξηση του ποσοστού των υαλοπινάκων έχουμε μείωση της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης. Αυτό εξηγείται λόγω της αύξησης της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας η οποία υπερκαλύπτει τις απώλειες αγωγής που κι αυτές αυξάνονται εξαιτίας της μικρής θερμικής τους αντίστασης σε σχέση με την αντίσταση των εξωτερικών τοίχων.

Μείωση της ημερήσιας κατανάλωσης θέρμανσης προκύπτει και με αύξηση του πάχους της μόνωσης διατηρώντας σταθερό το ποσοστό υαλοπινάκων .

Όμως υπάρχει μια τιμή ποσοστού υαλοπινάκων κάτω από την οποία προκύπτει το αντίθετο αποτέλεσμα, δηλαδή αύξηση της κατανάλωσης (στην συγκεκριμένη μελέτη το ποσοστό αυτό είναι 5%). Αυτή η αλλαγή συμπεριφοράς οφείλεται στο

γεγονός ότι αντί της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται από την μικρή επιφάνεια των υαλοπινάκων, ρυθμιστικό ρόλο παίζει πια η εισερχόμενη ηλιακή θερμότητα μέσω της τοιχοποιίας η οποία μειώνεται όσο αυξάνεται το πάχος της μόνωσης [33]. Η αντίθετη συμπεριφορά της μόνωσης για ποσοστά μεγαλύτερα και μικρότερα του συγκεκριμένου έχει σαν αποτέλεσμα η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας να εμφανίζεται σχεδόν ανεξάρτητη του πάχους της μόνωσης για το συγκεκριμένο ποσοστό υαλοπινάκων.

Την επίδραση του συνδυασμού των κύριων χαρακτηριστικών της μόνωσης και των υαλοπινάκων (πάχος και συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας μόνωσης, ποσοστό και συντελεστής θερμοπερατότητας υαλοπινάκων) στη θερμική συμπεριφορά των κτιρίων θα εξετάσουμε με υπολογιστική μέθοδο στο δεύτερο μέρος της παρούσας εργασίας που ακολουθεί.

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

6. Θερμική συμπεριφορά του κτιρίου αναφοράς κατά τους χειμερινούς μήνες

6.1 Εισαγωγή

Στο κομμάτι αυτό θα μελετήσουμε την ενεργειακή κατανάλωση και θερμική συμπεριφορά του κτιριακού κελύφους και κυρίως πως αυτή επηρεάζεται από συγκεκριμένα δομικά στοιχεία του.

Τα δομικά στοιχεία που εξετάζουμε είναι η μόνωση και οι υαλοπίνακες καθώς αυτά αποτελούν, όπως έχει αναφερθεί, και τους σημαντικότερους παράγοντες που επιδρούν στην ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου. Πιο συγκεκριμένα εξετάζουμε την επίδραση του συνδυασμού των χαρακτηριστικών αυτών των δύο στοιχείων τα οποία είναι το πάχος και η ειδική θερμική αγωγιμότητα της μόνωσης, το ποσοστό επιφάνειας επί του κελύφους και ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων.

Για τη μελέτη μας θα χρησιμοποιήσουμε ένα κτίριο αναφοράς επιφάνειας $10 \times 10 = 100 \text{ m}^2$ στο οποίο κάθε πλευρά έχει επιφάνεια $10 \times 3 = 30 \text{ m}^2$ και του οποίου οι τέσσερις πλευρές είναι προσανατολισμένες προς τα τέσσερα κύρια σημεία του ορίζοντα.

Υαλοπίνακες έχουν τοποθετηθεί μόνο στις τρεις πλευρές του κτιρίου (αυτές με προσανατολισμό σε ανατολή, δύση, νότο). Στη βόρεια πλευρά δεν υπάρχουν υαλοπίνακες. Το δάπεδο του κτιρίου θεωρείται αδιαβατικό, δηλαδή το κτίριο είναι ισόγειο σε άμεση επαφή με το έδαφος.

Οι υπολογισμοί γίνονται για την 21^η Νοεμβρίου, 21^η Δεκεμβρίου, 21^η Ιανουαρίου, 21^η Φεβρουαρίου και 21^η Μαρτίου (δηλαδή για την τυπική μέρα κάθε χειμερινού μήνα) στην περιοχή της Αθήνας.

Αρχικά υπολογίζεται το συνολικό φορτίο του κελύφους για τις μέρες αυτές για δεδομένες τιμές των παραμέτρων που εξετάζουμε, στη συνέχεια μελετάμε την επίδραση του συνδυασμού κάποιων τιμών των παραμέτρων της μόνωσης και των υαλοπινάκων στην ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου και τέλος, γίνεται μια προσέγγιση των τιμών των παραμέτρων που καθιστούν το κέλυφος «ψευδοαδιαβατικό».

Οι τοίχοι και η οροφή αποδίδουν στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου τη θερμότητα που έχουν απορροφήσει με χρονική υστέρηση, όπως έχουμε περιγράψει αναλυτικά και σε προηγούμενη ενότητα (5.1). Για να θεωρηθεί λοιπόν η κατάσταση μόνιμη, οι υπολογισμοί έγιναν για 24ωρο αφού κατά τη διάρκεια του 24ώρου ολόκληρη η θερμότητα που εισήλθε καταλήγει στον αέρα που υπάρχει στο εσωτερικού του κτιρίου που μελετάμε.

6.2 Υπολογισμός προσπίπτουσας στιγμιαίας ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου G_t [13]

Η προσπίπτουσα στιγμιαία ηλιακή ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό των φορτιών των υαλοπινάκων όπως θα φανεί παρακάτω. Για τον υπολογισμό της προσπίπτουσας στιγμιαίας ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου G_t χρησιμοποιούμε τον τύπο:

$$G_t = \left(G_b + G_d \cdot R_b \right) \cdot \cos \beta \cdot \rho \cdot \left(\frac{h_s}{h_s + h_d} \right) \quad (W/m^2) \quad (6.2.1)$$

Όπου :

- G_b η άμεση στιγμιαία ακτινοβολία οριζόντιου επιπέδου
- G_d η διάχυτη στιγμιαία ακτινοβολία οριζόντιου επιπέδου
- R_b ο λόγος της άμεσης ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου προς την άμεση ακτινοβολία οριζόντιου επιπέδου
- β η γωνία κλίσης του κεκλιμένου επιπέδου ως προς το οριζόντιο (οι υαλοπίνακες είναι κάθετοι στο οριζόντιο επίπεδο οπότε παίρνουμε $\beta=90^\circ$)
- ρ η ανακλαστικότητα του εδάφους (επιλέγουμε συνηθισμένο έδαφος οπότε έχουμε $\rho=0,2$)
- $\frac{h_s}{h_s + h_d}$, $\frac{h_d}{h_s + h_d}$ οι παράγοντες όρασης ουρανού και εδάφους

6.2.1 Υπολογισμός άμεσης και διάχυτης στιγμιαίας ηλιακής ακτινοβολίας οριζόντιου επιπέδου G_b, G_d [13]

Η άμεση και διάχυτη στιγμιαία ακτινοβολία οριζόντιου επιπέδου δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις για τις ώρες της ημέρας που υπάρχει ηλιοφάνεια (7πμ μέχρι 6μμ):

$$\text{---} \quad (W/m^2) \quad (6.2.1.1)$$

$$\text{---} \quad (W/m^2) \quad (6.2.1.2)$$

Όπου:

- $D=1 \div 365$ η ημέρα του έτους που για κάθε περίπτωση έχει την τιμή :
 - 21^η Νοέμβρη: $D=304+21=325$
 - 21^η Δεκέμβρη: $D=334+21=355$
 - 21^η Ιανουαρίου : $D=21$
 - 21^η Φεβρουαρίου: $D=31+21=52$
 - 21^η Μαρτίου: $D=59+21=80$
- Και οι συντελεστές $M_t, A_t, P_t, m_t, a_t, p_t$ για κάθε ώρα δίνονται στον παρακάτω πίνακα και έχουν ίδια τιμή για όλους τους μήνες :

Πίνακας 6.2.1.1: Συντελεστές $M_t, A_t, P_t, m_t, a_t, p_t$ συναρτήσεσι του χρόνου.

| Time (h) | M_t (kW/m ²) | A_t (kW/m ²) | P_t (degrees) | m_t (kW/m ²) | a_t (kW/m ²) | p_t (degrees) |
|----------|----------------------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|
| 7:00 | 0,007 | 0,046 | 0,08618 | 0,048 | 0,111 | 81,23 |
| 8:00 | 0,057 | 0,068 | 0,08731 | 0,134 | 0,127 | 82,45 |
| 9:00 | 0,119 | 0,104 | 0,08794 | 0,208 | 0,133 | 83,94 |
| 10:00 | 0,191 | 0,129 | 0,08831 | 0,261 | 0,129 | 85,6 |
| 11:00 | 0,258 | 0,153 | 0,08935 | 0,283 | 0,117 | 86,05 |
| 12:00 | 0,319 | -0,181 | -0,08888 | 0,271 | 0,095 | 82,71 |
| 13:00 | 0,342 | -0,194 | -0,08918 | 0,243 | 0,081 | 81,95 |
| 14:00 | 0,325 | 0,183 | 0,08721 | 0,21 | 0,083 | 87,23 |
| 15:00 | 0,269 | 0,166 | 0,08622 | 0,176 | 0,087 | 89,53 |
| 16:00 | 0,183 | 0,147 | 0,0821 | 0,141 | -0,085 | -88,19 |
| 17:00 | 0,078 | 0,131 | 0,07985 | 0,104 | -0,079 | -88,97 |
| 18:00 | -0,025 | 0,114 | 0,07736 | 0,051 | 0,091 | 86,79 |

Με βάση τα παραπάνω προκύπτουν για κάθε μήνα οι τιμές που παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες καθώς και στα διαγράμματα που ακολουθούν:

Πίνακας 6.2.1.2 Τιμές G_b και G_d για την 21^η Νοεμβρίου.

| Time (h) | G_b (W/m ²) | G_d (W/m ²) |
|--------------------|--|--|
| 7:00 | 0 | 0 |
| 8:00 | 2,5234 | 26,183 |
| 9:00 | 36,372 | 96,955 |
| 10:00 | 89,018 | 155,4 |
| 11:00 | 138,77 | 187,75 |
| 12:00 | 181,52 | 190,58 |
| 13:00 | 193,98 | 173,86 |
| 14:00 | 178,2 | 143,44 |
| 15:00 | 134,15 | 108,37 |
| 16:00 | 57,732 | 77,106 |
| 17:00 | 0 | 43,912 |
| 18:00 | 0 | 0 |

Πίνακας 6.2.1.3 Τιμές G_b και G_d για την 21^η Δεκεμβρίου.

| Time (h) | G_b (W/m ²) | G_d (W/m ²) |
|--------------------|--|--|
| 7:00 | 0 | 0 |
| 8:00 | 0 | 7,103 |
| 9:00 | 15,963 | 75,292 |
| 10:00 | 63,3103 | 132,586 |
| 11:00 | 106,974 | 166,623 |
| 12:00 | 141,315 | 176,096 |
| 13:00 | 151,363 | 162,041 |
| 14:00 | 143,393 | 127,635 |
| 15:00 | 103,935 | 90,167 |
| 16:00 | 36,0863 | 57,758 |
| 17:00 | 0 | 26,424 |
| 18:00 | 0 | 0 |

Πίνακας 6.2.1.3 Τιμές G_b και G_d για την 21^η Ιανουαρίου.

| Time (h) | G_b (W/m ²) | G_d (W/m ²) |
|--------------------|--|--|
| 7:00 | 0 | 0 |
| 8:00 | 0 | 22,14 |
| 9:00 | 23,107 | 89,257 |
| 10:00 | 71,7356 | 144,19 |
| 11:00 | 115,5112 | 176,67 |
| 12:00 | 148,479 | 187,12 |
| 13:00 | 159,575 | 171,99 |
| 14:00 | 157,181 | 133,87 |
| 15:00 | 117,937 | 94,878 |
| 16:00 | 53,952 | 60,584 |
| 17:00 | 0 | 29,616 |
| 18:00 | 0 | 0 |

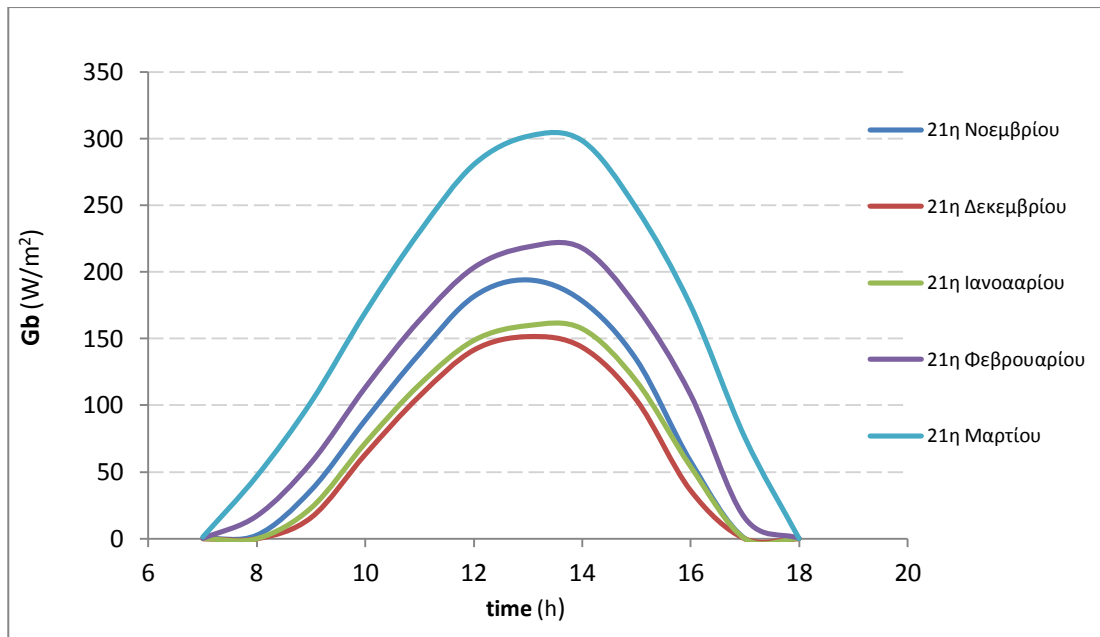
Πίνακας 6.2.1.4 Τιμές G_b και G_d για την 21^η Φεβρουαρίου.

| Time (h) | G_b (W/m ²) | G_d (W/m ²) |
|--------------------|--|--|
| 7:00 | 0 | 0 |
| 8:00 | 17,0092 | 68,2821 |
| 9:00 | 56,9164 | 136,241 |
| 10:00 | 113,326 | 188,282 |
| 11:00 | 163,673 | 216,29 |
| 12:00 | 203,061 | 221,473 |
| 13:00 | 218,516 | 201,692 |
| 14:00 | 217,636 | 161,281 |
| 15:00 | 173,947 | 122,148 |
| 16:00 | 107,703 | 85,7716 |
| 17:00 | 15,367 | 53,4923 |
| 18:00 | 0 | 0 |

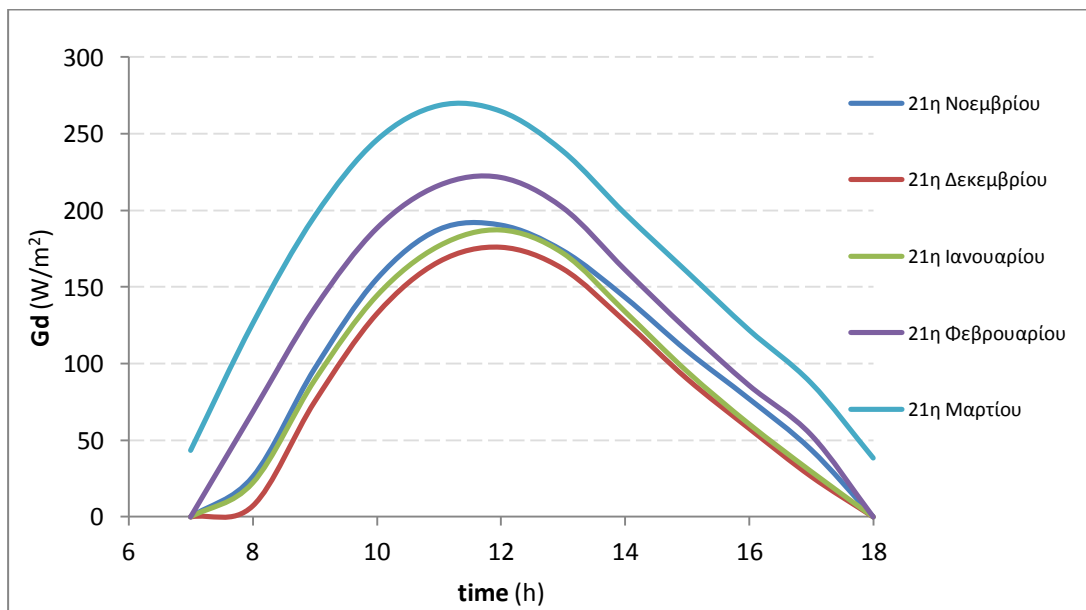
Πίνακας 6.2.1.5 Τιμές G_b και G_d για την 21^η Μαρτίου.

| Time (h) | G_b (W/m ²) | G_d (W/m ²) |
|--------------------|--|--|
| 7:00 | 1,174 | 43,4953 |
| 8:00 | 47,06 | 126,145 |
| 9:00 | 102,7 | 196,325 |
| 10:00 | 169,9 | 245,959 |
| 11:00 | 230,3 | 268,446 |
| 12:00 | 280,7 | 264,694 |
| 13:00 | 301,9 | 238,696 |
| 14:00 | 298,6 | 197,981 |
| 15:00 | 247,9 | 159,958 |
| 16:00 | 174,8 | 122,015 |
| 17:00 | 75,84 | 87,405 |
| 18:00 | 0 | 38,5148 |

Παρακάτω παρουσιάζεται σε διαγράμματα η μεταβολή του σε συνάρτηση με το χρόνο για όλους τους μήνες που μελετάμε.



Διάγραμμα 6.2.1.1 Μεταβολή του G_b συναρτήσει του χρόνου για όλους του μήνες.



Διάγραμμα 6.2.1.2 Μεταβολή του G_d συναρτήσει του χρόνου για όλους του μήνες.

6.2.2 Υπολογισμός του λόγου της άμεσης ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου προς την άμεση οριζόντιου επιπέδου R_b [13]

Ο λόγος της άμεσης ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου προς την άμεση οριζόντιου επιπέδου, R_b , υπολογίζεται από τη σχέση:

(6.2.2.1)

Όπου :

- θ η γωνία πρόσπτωσης της άμεσης ακτινοβολίας πάνω σε μία επιφάνεια η οποία δίνεται απ'τη σχέση (για $\beta=90^\circ$)

$$\cos\theta = -\sin\delta\cos\varphi\cos\omega + \cos\delta\sin\varphi\cos\omega\cos\omega + \cos\delta\sin\varphi\sin\omega \quad (6.2.2.2)$$

- θ_z η γωνία ζενίθ που σχηματίζεται απ'την κατακόρυφο και την ευθεία όρασης του ήλιου η οποία δίνεται απ'τη σχέση

$$\cos\theta_z = \sin\delta\sin\varphi + \cos\delta\cos\varphi\cos\omega \quad (6.2.2.3)$$

- φ το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ,δηλαδή στην περίπτωση μας της Αθήνας όπου $\varphi=38^\circ$
- δ η ηλιακή απόκλιση δηλαδή η γωνιακή θέση του ήλιου κατά το ηλιακό μεσημέρι ως προς το επίπεδο του ισημερινού.
Για την ηλιακή απόκλιση ισχύει $-23,45 \leq \delta \leq 23,45$, με θετικές τιμές προς το βορρά και υπολογίζεται απ'την παρακάτω σχέση:

$$\delta = \quad \text{—————} \quad (6.2.2.4)$$

όπου n η ημέρα του έτους όπως υπολογίστηκε και προηγούμενα ως D.

Πίνακας 6.2.2.1. Ηλιακή απόκλιση για κάθε μήνα.

| | | | | |
|-------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 21 ^η Νοέμβρη | 21 ^η Δεκέμβρη | 21 ^η Γενάρη | 21 ^η Φλεβάρη | 21 ^η Μάρτη |
| $\delta = -18,9^\circ$ | $\delta = -23^\circ$ | $\delta = -20,9^\circ$ | $\delta = -13^\circ$ | $\delta = -2,4^\circ$ |

- γ το αζιμούθιο της επιφάνειας με $\gamma=0^\circ$ στο νότο
 $\gamma=180^\circ$ στο βορρά
 $\gamma=90^\circ$ στη δύση
 $\gamma=-90^\circ$ στην ανατολή
- ω η ωριαία γωνία που δίνεται απ'τη σχέση
 $\omega = 0,25x(\text{min από το ηλιακό μεσημέρι}) \quad (6.2.2.5)$
με $\omega>0$ για μ.μ και $\omega<0$ για π.μ.

Με βάση τις παραπάνω σχέσεις προκύπτουν οι εξής τιμές του R_b για κάθε προσανατολισμό για κάθε μήνα:

Πίνακας 6.2.2.2. Τιμές του R_b για την 21^η Νοεμβρίου.

| R_b | | | | |
|----------|-------|-------|--------|---------|
| Time (h) | νότος | δύση | βορράς | ανατολή |
| 7:00 | 0 | 38,21 | 17,92 | 0 |
| 8:00 | 3,65 | 0 | 0 | 5,25 |
| 9:00 | 2,22 | 0 | 0 | 2,16 |
| 10:00 | 1,82 | 0 | 0 | 1,10 |
| 11:00 | 1,67 | 0 | 0 | 0,49 |
| 12:00 | 1,63 | 0 | 0 | 0 |
| 13:00 | 1,67 | 0,49 | 0 | 0 |
| 14:00 | 1,82 | 1,10 | 0 | 0 |
| 15:00 | 2,22 | 2,16 | 0 | 0 |
| 16:00 | 3,65 | 5,25 | 0 | 0 |
| 17:00 | 0 | 0 | 17,92 | 38,21 |
| 18:00 | 0 | 0 | 1,28 | 4,36 |

Πίνακας 6.2.2.3. Τιμές του R_b για την 21^η Δεκεμβρίου.

| R_b | | | | |
|----------|--------|--------|--------|---------|
| Time (h) | νότος | δύση | βορράς | ανατολή |
| 7:00 | 0 | 15,371 | 7,976 | 0 |
| 8:00 | 5,103 | 0 | 0 | 6,804 |
| 9:00 | 2,674 | 0 | 0 | 2,434 |
| 10:00 | 2,104 | 0 | 0 | 1,202 |
| 11:00 | 1,8929 | 0 | 0 | 0,523 |
| 12:00 | 1,8356 | 0 | 0 | 0 |
| 13:00 | 1,893 | 0,523 | 0 | 0 |
| 14:00 | 2,104 | 1,202 | 0 | 0 |
| 15:00 | 2,674 | 2,433 | 0 | 0 |
| 16:00 | 5,103 | 6,804 | 0 | 0 |
| 17:00 | 0 | 0 | 7,976 | 15,371 |
| 18:00 | 0 | 0 | 1,281 | 3,747 |

Πίνακας 6.2.2.4. Τιμές του R_b για την 21^η Ιανουαρίου.

| R_b | | | | |
|----------|-------|-------|--------|---------|
| Time (h) | νότος | δύση | βορράς | ανατολή |
| 7:00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 3,54 | 0 | 0 | 5,138 |
| 9:00 | 2,182 | 0 | 0 | 2,131 |
| 10:00 | 1,798 | 0 | 0 | 1,094 |
| 11:00 | 1,649 | 0 | 0 | 0,483 |
| 12:00 | 1,607 | 0 | 0 | 0 |
| 13:00 | 1,649 | 0,483 | 0 | 0 |
| 14:00 | 1,798 | 1,094 | 0 | 0 |
| 15:00 | 2,182 | 2,131 | 0 | 0 |
| 16:00 | 3,54 | 5,138 | 0 | 0 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18:00 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Πίνακας 6.2.2.5. Τιμές του R_b για την 21^η Φεβρουαρίου.

| R_b | | | | |
|----------|-------|--------|--------|---------|
| Time (h) | νότος | δύση | βορράς | ανατολή |
| 7:00 | 3,854 | 0 | 0 | 11,791 |
| 8:00 | 1,706 | 0 | 0 | 3,183 |
| 9:00 | 1,359 | 0 | 0 | 1,624 |
| 10:00 | 1,23 | 0 | 0 | 0,892 |
| 11:00 | 1,174 | 0 | 0 | 0,405 |
| 12:00 | 1,158 | 0 | 0 | 0 |
| 13:00 | 1,174 | 0,405 | 0 | 0 |
| 14:00 | 1,23 | 0,892 | 0 | 0 |
| 15:00 | 1,359 | 1,624 | 0 | 0 |
| 16:00 | 1,706 | 3,183 | 0 | 0 |
| 17:00 | 3,854 | 11,791 | 0 | 0 |
| 18:00 | 0 | 0 | 1,281 | 8,189 |

Πίνακας 6.2.2.6. Τιμές του R_b για την 21^η Μαρτίου.

| R_b | | | | |
|----------|-------|-------|--------|---------|
| Time (h) | νότος | δύση | βορράς | ανατολή |
| 7:00 | 0,825 | 0 | 0 | 4,837 |
| 8:00 | 0,803 | 0 | 0 | 2,221 |
| 9:00 | 0,797 | 0 | 0 | 1,278 |
| 10:00 | 0,794 | 0 | 0 | 0,737 |
| 11:00 | 0,792 | 0 | 0 | 0,342 |
| 12:00 | 0,792 | 0 | 0 | 0 |
| 13:00 | 0,792 | 0,342 | 0 | 0 |
| 14:00 | 0,794 | 0,737 | 0 | 0 |
| 15:00 | 0,797 | 1,278 | 0 | 0 |
| 16:00 | 0,803 | 2,221 | 0 | 0 |
| 17:00 | 0,825 | 4,837 | 0 | 0 |
| 18:00 | 0 | 0 | 1,281 | 0 |

- ✓ Παρατηρούμε ότι στην πλευρά με βόρειο προσανατολισμό τις περισσότερες ώρες οι τιμές του R_b είναι μηδενικές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τις περισσότερες ώρες της ημέρας δε δέχεται άμεση ηλιακή ακτινοβολία αυτή η πλευρά. Για τον ίδιο λόγο παρατηρούνται μηδενικές τιμές και στη δυτική και στην ανατολική πλευρά τις πρωινές και τις απογευματινές ώρες αντίστοιχα. Να σημειώσουμε επίσης ότι στις περιπτώσεις που η τιμή του λόγου βγήκε αρνητική αντικαταστάθηκε με μηδέν.

6.2.3 Υπολογισμός προσπίπτουσας στιγμιαίας ηλιακής ακτινοβολίας

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω αποτελέσματα μπορούμε πλέον να υπολογίσουμε και την στιγμιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου για κάθε προσανατολισμό με βάση την εξίσωση (6.2.1).

Τα αποτελέσματα παρατίθενται στους πίνακες 6.2.3.1-5 και παρουσιάζονται στη συνέχεια σε διαγράμματα ανά προσανατολισμό για όλους τους μήνες που μελετήθηκαν.

Πίνακας 6.2.3.1. Τιμές G_t για την 21^η Νοεμβρίου.

| G_t (W/m ²) | | | | |
|---------------------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| Time (h) | νότος | βορράς | δύση | ανατολή |
| 7:00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 25,169 | 15,962 | 15,962 | 29,219 |
| 9:00 | 142,61 | 61,81 | 61,81 | 140,19 |
| 10:00 | 264,44 | 102,14 | 102,14 | 200,31 |
| 11:00 | 358,11 | 126,53 | 126,53 | 194,02 |
| 12:00 | 427,68 | 132,5 | 132,5 | 132,5 |
| 13:00 | 447,45 | 123,72 | 218,06 | 123,72 |
| 14:00 | 428,78 | 103,88 | 300,4 | 103,88 |
| 15:00 | 376,43 | 78,438 | 367,53 | 78,438 |
| 16:00 | 262,67 | 52,037 | 355,32 | 52,037 |
| 17:00 | 26,347 | 26,347 | 26,347 | 26,347 |
| 18:00 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Πίνακας 6.2.3.2. Τιμές G_t για την 21^η Δεκεμβρίου.

| G_t (W/m ²) | | | | |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Time (h) | νότος | βορράς | δύση | ανατολή |
| 7:00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 4,2621 | 4,2621 | 4,2621 | 4,2621 |
| 9:00 | 89,46 | 46,772 | 46,772 | 85,6197 |
| 10:00 | 219,06 | 85,883 | 85,883 | 162,006 |
| 11:00 | 313,17 | 110,67 | 110,67 | 166,65 |
| 12:00 | 379,19 | 119,79 | 119,79 | 119,789 |
| 13:00 | 398,88 | 112,36 | 191,57 | 112,361 |
| 14:00 | 392,57 | 90,92 | 263,33 | 90,9204 |
| 15:00 | 342,43 | 64,493 | 317,43 | 64,4934 |
| 16:00 | 222,42 | 38,263 | 283,78 | 38,2635 |
| 17:00 | 15,854 | 15,854 | 15,854 | 15,8541 |
| 18:00 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Πίνακας 6.2.3.3 Τιμές G_t για την 21^η Ιανουαρίου.

| G_t (W/m ²) | | | | |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Time (h) | νότος | βορράς | δύση | ανατολή |
| 7:00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 13,284 | 13,284 | 13,284 | 13,2839 |
| 9:00 | 106,29 | 55,865 | 55,865 | 105,105 |
| 10:00 | 222,67 | 93,69 | 93,69 | 172,157 |
| 11:00 | 307,98 | 117,55 | 117,55 | 173,347 |
| 12:00 | 365,74 | 127,12 | 127,12 | 127,121 |
| 13:00 | 382,21 | 119,15 | 196,23 | 119,154 |
| 14:00 | 378,66 | 96,042 | 267,97 | 96,0424 |
| 15:00 | 326,09 | 68,721 | 320,04 | 68,7206 |
| 16:00 | 232,74 | 41,745 | 318,95 | 41,7455 |
| 17:00 | 17,769 | 17,769 | 17,769 | 17,7693 |
| 18:00 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Πίνακας 6.2.3.4 Τιμές G_t για την 21^η Φεβρουαρίου.

| G_t (W/m ²) | | | | |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Time (h) | νότος | βορράς | δύση | ανατολή |
| 7:00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 71,687 | 42,67 | 42,67 | 96,82 |
| 9:00 | 164,78 | 87,436 | 87,436 | 179,89 |
| 10:00 | 263,64 | 124,3 | 124,3 | 225,38 |
| 11:00 | 338,33 | 146,14 | 146,14 | 212,4 |
| 12:00 | 388,41 | 153,19 | 153,19 | 153,19 |
| 13:00 | 399,46 | 142,87 | 231,33 | 142,87 |
| 14:00 | 386,13 | 118,53 | 312,64 | 118,53 |
| 15:00 | 327,05 | 90,684 | 373,23 | 90,68 |
| 16:00 | 245,97 | 62,233 | 405,09 | 62,23 |
| 17:00 | 92,855 | 33,632 | 214,83 | 33,63 |
| 18:00 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Πίνακας 6.2.3.5. Τιμές G_t για την 21^η Μαρτίου.

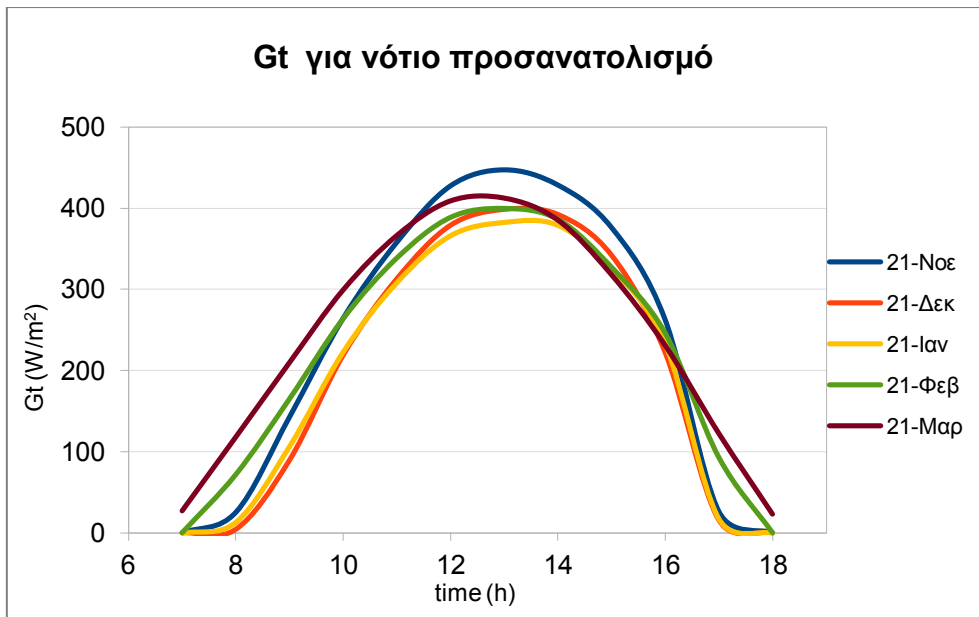
| G_t (W/m^2) | | | | |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Time (h) | νότος | βορράς | δύση | ανατολή |
| 7:00 | 27,18 | 26,215 | 26,215 | 31,89 |
| 8:00 | 118,2 | 80,393 | 80,393 | 184,94 |
| 9:00 | 209,85 | 128,06 | 128,06 | 259,32 |
| 10:00 | 299,42 | 164,57 | 164,57 | 289,81 |
| 11:00 | 366,52 | 184,09 | 184,09 | 262,81 |
| 12:00 | 409,16 | 186,89 | 186,89 | 186,89 |
| 13:00 | 412,63 | 173,41 | 276,63 | 173,41 |
| 14:00 | 385,59 | 148,65 | 368,7 | 148,65 |
| 15:00 | 318,21 | 120,76 | 437,64 | 120,76 |
| 16:00 | 231,12 | 90,689 | 479,02 | 90,69 |
| 17:00 | 122,61 | 60,027 | 426,84 | 60,03 |
| 18:00 | 23,109 | 23,109 | 23,109 | 23,11 |

Από τους πίνακες 6.2.3.1-5 παρατηρούμε ότι:

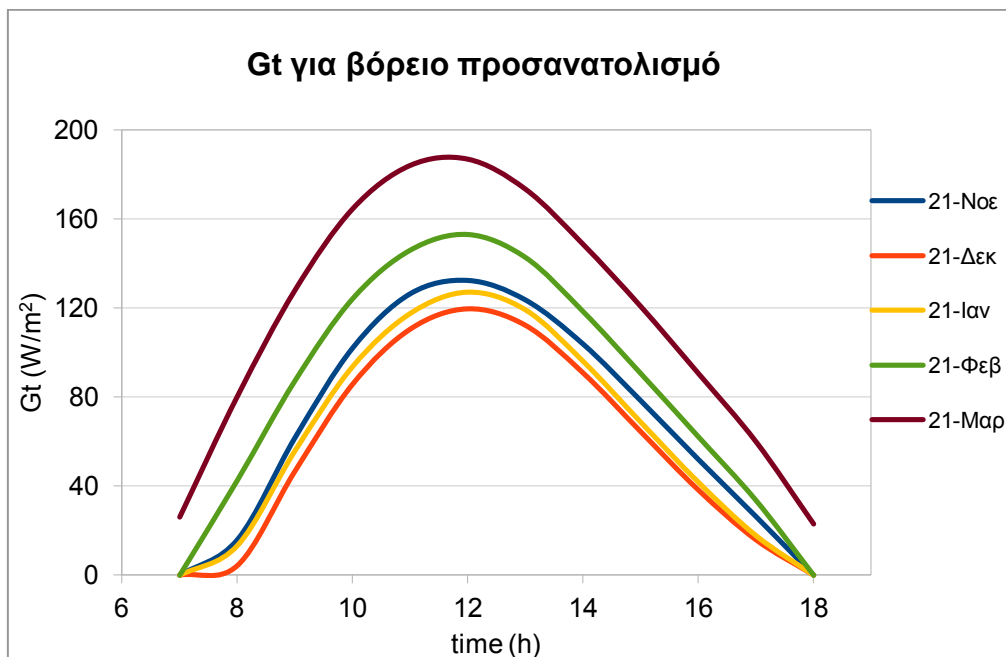
- ✓ τη μεγαλύτερη συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία δέχεται η νότια πλευρά του κτιρίου, με μέγιστη τιμή στις 13:00 το μεσημέρι,
- ✓ τη λιγότερη ακτινοβολία δέχεται η βόρεια πλευρά του κτιρίου για όλη τη διάρκεια της ημέρας ,
- ✓ η ανατολική πλευρά δέχεται, όπως ήταν αναμενόμενο, περισσότερη ακτινοβολία τις πρωινές ώρες με μέγιστη τιμή στις 10:00π.μ. (την 21^η Ιανουαρίου στις 11:00),
- ✓ η δυτική πλευρά αντίθετα, δέχεται περισσότερη ακτινοβολία τις απογευματινές ώρες με μέγιστη τιμή στις 15:00-16:00μ.μ.

Από τα παρακάτω διαγράμματα 6.2.3.1-5 αξίζει να παρατηρήσουμε ότι:

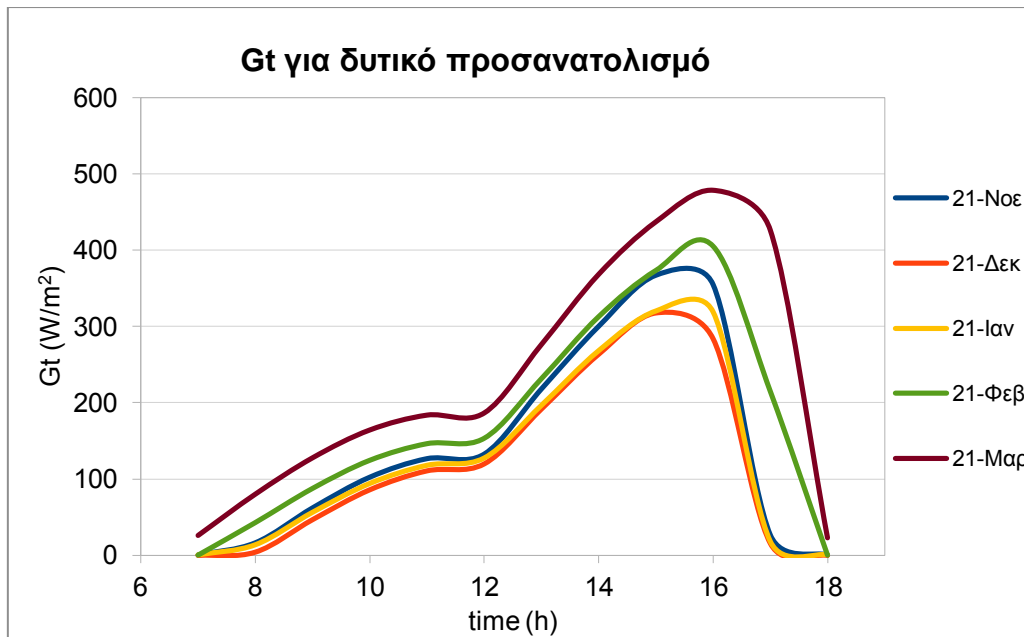
- Για όλους τους προσανατολισμούς η ακτινοβολία της 21^{ης} Μαρτίου (εκτός κάποιων ωρών που την ξεπερνάει της 21^{ης} Νοέμβρη) είναι πάντα η μεγαλύτερη ενώ της 21^{ης} Δεκεμβρίου πάντα η μικρότερη.
- Οι καμπύλες για βόρειο και νότιο προσανατολισμό είναι ομαλές ενώ για δυτικό και ανατολικό παρουσιάζουν μια ανωμαλία στις 12:00. Αυτό οφείλεται στις μηδενικές τιμές του R_b την ώρα εκείνη.



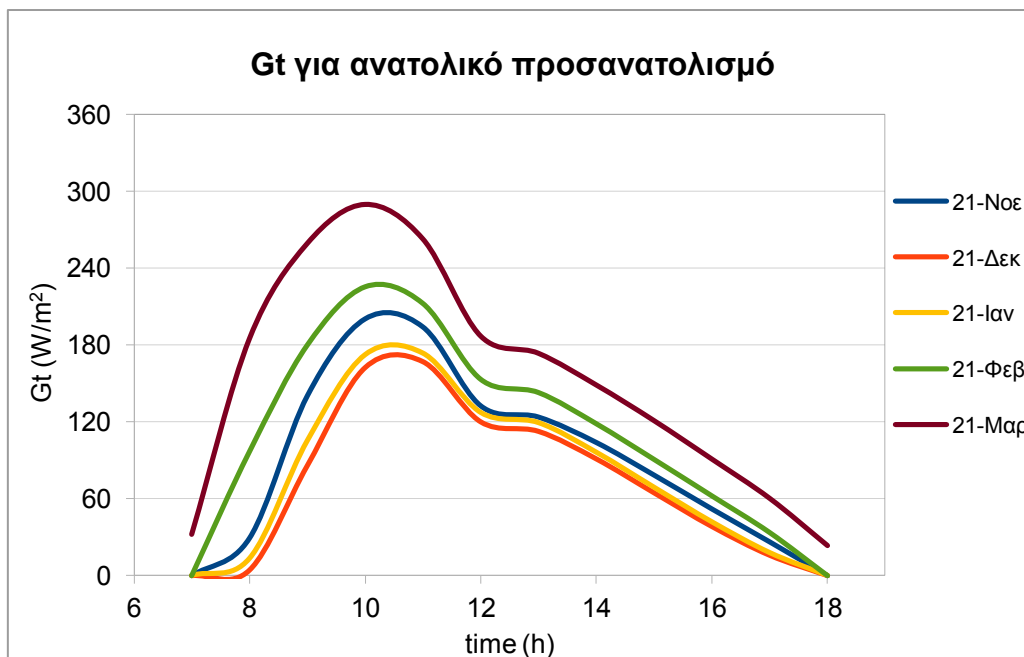
Διάγραμμα 6.2.3.1. Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία συναρτήσεως του χρόνου για νότιο προσανατολισμό για όλους τους μήνες.



Διάγραμμα 6.2.3.2. Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία συναρτήσεως του χρόνου για βόρειο προσανατολισμό για όλους τους μήνες.



Διάγραμμα 6.2.3.3. Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία συναρτήσει του χρόνου για δυτικό προσανατολισμό για όλους τους μήνες.



Διάγραμμα 6.2.3.4. Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία συναρτήσει του χρόνου για ανατολικό προσανατολισμό για όλους τους μήνες.

6.3 Υπολογισμός συνολικού φορτίου κελύφους

Στο κομμάτι αυτό υπολογίζουμε τα επιμέρους φορτία που απαιτούνται για τον υπολογισμό του ημερήσιου συνολικού φορτίου του κτιρίου για τις τυπικές μέρες κάθε μήνα της περιόδου θέρμανσης (δηλαδή για *Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο*). Τα φορτία αυτά είναι:

- Θερμικό ηλιακό κέρδος υαλοπινάκων
- Θερμικό φορτίο υαλοπινάκων δι'αγωγής
- Θερμικό φορτίο δι'αγωγής μέσω των τοίχων
- Θερμικό φορτίο δι'αγωγής μέσω οροφής
- Φορτίο λόγω ανανέωσης και διεξόδου αέρα

Στο συνολικό φορτίο του κελύφους συμπεριλαμβάνονται και τα φορτία λόγω εσωτερικών πηγών θερμότητας όπως του φωτισμού, των ανθρώπων και των διαφόρων συσκευών (που αποτελούν κέρδη για το κτίριο), τα οποία όμως δε θα μελετήσουμε στην παρούσα εργασία.

6.3.1 Κτίριο αναφοράς

Το κτίριο που μελετάμε (κτίριο αναφοράς) έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

Είναι πανταχόθεν ελεύθερο τετραγωνικού δαπέδου επιφάνειας $10 \cdot 10 = 100 \text{ m}^2$. Το δάπεδο θεωρείται διαβατικό καθώς είναι επί του εδάφους. Η επιφάνεια του κελύφους είναι $F = 220 \text{ m}^2$ (πλην αδιαβατικού δαπέδου) και ο όγκος του κτιρίου είναι $V = 300 \text{ m}^3$, κατά συνέπεια έχουμε λόγο $F/V = 0,733 \text{ m}^{-1}$.

Οι τέσσερις εξωτερικοί τοίχοι του κτιρίου (τα στρώματα από τα οποία αποτελούνται περιγράφονται στην ενότητα 6.3.4) είναι προσανατολισμένοι προς τα τέσσερα κύρια σημεία του ορίζοντα. Η οροφή του περιγράφεται κι αυτή αναλυτικά στην ενότητα 6.3.5 και έχει μόνωση ίσου πάχους και ίσης θερμικής αγωγιμότητας με αυτή των εξωτερικών τοίχων.

Το συνολικό ποσοστό των υαλοπινάκων επί του κελύφους είναι $P_f = 20\%$ και μοιράζεται ισόποσα στους τρεις τοίχους, αυτούς με προσανατολισμό στο νότο, στην ανατολή και τη δύση. Αυτό σημαίνει ότι η συνολική επιφάνεια υαλοπινάκων επί του κελύφους είναι $120 \cdot 20\% = 24 \text{ m}^2$ και σε καθένα από τους τρεις τοίχους οι υαλοπίνακες έχουν επιφάνεια 8 m^2 . Για τα κλιματολογικά δεδομένα ελήφθησαν οι εξωτερικές τυπικές συνθήκες της Αθήνας.

6.3.2. Υπολογισμός θερμικού ηλιακού κέρδους υαλοπινάκων [12]

Το ηλιακό θερμικό κέρδος υαλοπίνακα (SHG) οφείλεται στην διερχόμενη και στην απορροφούμενη ηλιακή ενέργεια. Για τον υπολογισμό του φορτίου που οφείλεται στο SHG χρησιμοποιούμε την παρακάτω σχέση:

$$\text{SHG} = 0,9 \cdot A \cdot G_t \cdot 3600 \quad (\text{J/h}) \quad (6.3.2.1)$$

όπου

- **0,9** ο συντελεστής αυτός δείχνει ότι το 10% της ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται από τους υαλοπίνακες κατευθείαν ή απορροφάται και στη συνέχεια εξέρχεται στο εξωτερικό περιβάλλον,
- **G_t** η προσπίπτουσα στιγμιαία ηλιακή ακτινοβολία όπως την υπολογίσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο
- **3600** : υπολογίζουμε το φορτίο για διάστημα μιας ώρας γι αυτό και πολλαπλασιάζουμε με $60 \cdot 60 = 3600\text{s}$.
- **A** η επιφάνεια των υαλοπινάκων σε m^2 η οποία είναι **8m^2**

Ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία προκύπτει το ηλιακό θερμικό κέρδος κάθε προσανατολισμού για κάθε ώρα της ημέρας που υπάρχει ηλιοφάνεια καθώς και το ημερήσιο θερμικό ηλιακό κέρδος το οποίο προκύπτει από το άθροισμα των παραπάνω. Τα αποτελέσματα για κάθε μήνα παρατίθενται στους πίνακες 6.3.2.1-5.

Πίνακας 6.3.2.1. Τιμές του SHG για την 21^η Νοεμβρίου για κάθε προσανατολισμό.

| Time (h) | SHG(KJ/h) νότος | SHG(KJ/h) ανατολή | SHG(KJ/h) δύση |
|-------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| 7:00-8:00 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00-9:00 | 652,38 | 757,35 | 413,74 |
| 9:00-10:00 | 3696,35 | 3633,81 | 1602,13 |
| 10:00-11:00 | 6854,25 | 5191,91 | 2647,47 |
| 11:00-12:00 | 9282,24 | 5028,922 | 3279,586 |
| 12:00-13:00 | 11085,42 | 3434,36 | 3434,36 |
| 13:00-14:00 | 11597,94 | 3206,73 | 5652,16 |
| 14:00-15:00 | 11114,1 | 2692,64 | 7786,38 |
| 15:00-16:00 | 9756,96 | 2033,10 | 9526,31 |
| 16:00-17:00 | 6808,34 | 1348,79 | 9209,96 |
| 17:00-18:00 | 682,92 | 682,92 | 682,92 |
| Ημερήσιο (KJ/day) | 71530,9 | 28010,59 | 44235,02 |

Πίνακας 6.3.2.2. Τιμές του SHG για την 21^η Δεκεμβρίου για κάθε προσανατολισμό.

| Time (h) | SHG(KJ/h) νότος | SHG(KJ/h) ανατολή | SHG(KJ/h) Δύση |
|--------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| 7:00-8:00 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00-9:00 | 110,47 | 110,47 | 110,47 |
| 9:00-10:00 | 2318,79 | 2219,26 | 1212,33 |
| 10:00-11:00 | 5678,15 | 4199,2 | 2226,08 |
| 11:00-12:00 | 8117,27 | 4319,57 | 2868,59 |
| 12:00-13:00 | 9828,67 | 3104,93 | 3104,93 |
| 13:00-14:00 | 10339,00 | 2912,39 | 4965,45 |
| 14:00-15:00 | 10175,32 | 2356,66 | 6825,61 |
| 15:00-16:00 | 8875,81 | 1671,67 | 8227,77 |
| 16:00-17:00 | 5765,02 | 991,79 | 7355,51 |
| 17:00-18:00 | 410,94 | 410,94 | 410,94 |
| Ημερήσιο (KJ/day) | 61619,45 | 22296,87 | 37307,68 |

Πίνακας 6.3.2.3. Τιμές του SHG για την 21^η Ιανουαρίου για κάθε προσανατολισμό.

| Time (h) | SHG(KJ/h) νότος | SHG(KJ/h) ανατολή | SHG(KJ/h) δύση |
|--------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| 7:00-8:00 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00-9:00 | 344,32 | 344,32 | 344,32 |
| 9:00-10:00 | 2755,05 | 2724,32 | 1448,02 |
| 10:00-11:00 | 5771,73 | 4462,31 | 2428,44 |
| 11:00-12:00 | 7982,75 | 4493,15 | 3047,01 |
| 12:00-13:00 | 9479,92 | 3294,98 | 3294,98 |
| 13:00-14:00 | 9906,99 | 3088,46 | 5086,24 |
| 14:00-15:00 | 9814,97 | 2489,42 | 6945,88 |
| 15:00-16:00 | 8452,3 | 1781,24 | 8295,48 |
| 16:00-17:00 | 6032,67 | 1082,04 | 8267,09 |
| 17:00-18:00 | 460,58 | 460,58 | 460,58 |
| Ημερήσιο (KJ/day) | 61001,29 | 24220,82 | 39618,03 |

Πίνακας 6.3.2.4. Τιμές του SHG για την 21^η Φεβρουαρίου για κάθε προσανατολισμό.

| Time (h) | SHG(KJ/h) νότος | SHG(KJ/h) ανατολή | SHG(KJ/h) δύση |
|--------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| 7:00-8:00 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00-9:00 | 1858,11 | 2509,47 | 1106,01 |
| 9:00-10:00 | 4270,98 | 4662,70 | 2266,35 |
| 10:00-11:00 | 6833,63 | 5841,79 | 3221,91 |
| 11:00-12:00 | 8769,57 | 5505,36 | 3787,98 |
| 12:00-13:00 | 10067,55 | 3970,68 | 3970,68 |
| 13:00-14:00 | 10353,93 | 3703,11 | 5995,95 |
| 14:00-15:00 | 10008,48 | 3072,36 | 8103,7 |
| 15:00-16:00 | 8477,02 | 2350,52 | 9674,2 |
| 16:00-17:00 | 6375,42 | 1613,09 | 10499,83 |
| 17:00-18:00 | 2406,81 | 871,74 | 5568,33 |
| Ημερήσιο (KJ/day) | 69421,50 | 34100,81 | 54194,93 |

Πίνακας 6.3.2.5. Τιμές του SHG για την 21^η Μαρτίου για κάθε προσανατολισμό.

| Time (h) | SHG(KJ/h) νότος | SHG(KJ/h) ανατολή | SHG(KJ/h) δύση |
|--------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| 7:00-8:00 | 704,6 | 826,7 | 679,48 |
| 8:00-9:00 | 3063,73 | 4793,58 | 2083,79 |
| 9:00-10:00 | 5439,22 | 6721,45 | 3319,36 |
| 10:00-11:00 | 7760,89 | 7511,74 | 4265,58 |
| 11:00-12:00 | 9500,11 | 6811,92 | 4771,70 |
| 12:00-13:00 | 10605,37 | 4844,10 | 4844,10 |
| 13:00-14:00 | 10695,27 | 4494,84 | 7170,21 |
| 14:00-15:00 | 9994,54 | 3852,88 | 9556,75 |
| 15:00-16:00 | 8247,96 | 3130,12 | 11343,56 |
| 16:00-17:00 | 5990,71 | 2350,67 | 12416,33 |
| 17:00-18:00 | 3178,01 | 1555,89 | 11063,76 |
| 18:00-19:00 | 598,98 | 598,98 | 598,98 |
| Ημερήσιο (KJ/day) | 75779,39 | 47492,87 | 72113,60 |

Συγκρίνοντας τα συνολικά ημερήσια κέρδη κάθε προσανατολισμού διαπιστώνουμε όπως ήταν αναμενόμενο ότι μεγαλύτερα κέρδη προκύπτουν από τους υαλοπίνακες του νότιου προσανατολισμού και τα μικρότερα από αυτούς του ανατολικού προσανατολισμού. Αυτό συμβαίνει καθώς το θερμικό κέρδος για ίδιο ποσοστό υαλοπινάκων και στις τρεις πλευρές εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία (Gt) που προσπίπτει σε κάθε πλευρά, για την οποία είχαμε καταλήξει στα ίδια συμπεράσματα στο προηγούμενο κεφάλαιο.

6.3.3 Υπολογισμός θερμικού φορτίου υαλοπινάκων διάγωγής [12]

Το θερμικό φορτίο υαλοπινάκων διάγωγής υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$- \quad (J/h) \quad (6.3.3.1)$$

Όπου :

- Το (-) στον τύπο δηλώνει ότι για τους μήνες που θα υπολογίσουμε το φορτίο αυτό είναι αρνητικό αφού το φορτίο οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος και για τους μήνες αυτούς αποτελεί απώλεια για το κτίριο όπως θα φανεί και παρακάτω στα αποτελέσματα.

Πίνακας 6.3.3.2 .Η εξωτερική θερμοκρασία (t_o) για κάθε ώρα κάθε μήνα.

| t_o (°C) | | | | | |
|------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Time (h) | 21 ^η Νοέμβριου | 21 ^η Δεκεμβρίου | 21 ^η Ιανουαρίου | 21 ^η Φεβρουαρίου | 21 ^η Μαρτίου |
| 1 | 11,14 | 8,5 | 8,238 | 9,4 | 10,65 |
| 2 | 11,38 | 8,45 | 7,833 | 9,18 | 10,45 |
| 3 | 11,56 | 8,37 | 7,472 | 8,95 | 10,23 |
| 4 | 11,59 | 8,22 | 7,221 | 8,71 | 10,05 |
| 5 | 11,44 | 8,03 | 7,104 | 8,52 | 9,976 |
| 6 | 11,19 | 7,88 | 7,126 | 8,47 | 10,09 |
| 7 | 11,01 | 7,88 | 7,298 | 8,65 | 10,43 |
| 8 | 11,08 | 8,13 | 7,659 | 9,16 | 11,02 |
| 9 | 11,49 | 8,65 | 8,261 | 10 | 11,8 |
| 10 | 12,22 | 9,37 | 9,121 | 11,2 | 12,68 |
| 11 | 13,09 | 10,2 | 10,18 | 12,4 | 13,53 |
| 12 | 13,86 | 10,8 | 11,27 | 13,6 | 14,22 |
| 13 | 14,31 | 11,2 | 12,17 | 14,4 | 14,65 |
| 14 | 14,31 | 11,3 | 12,68 | 14,7 | 14,74 |
| 15 | 13,91 | 11,1 | 12,68 | 14,5 | 14,51 |
| 16 | 13,24 | 10,7 | 12,19 | 14 | 14,02 |
| 17 | 12,52 | 10,2 | 11,4 | 13,1 | 13,38 |
| 18 | 11,88 | 9,81 | 10,54 | 12,3 | 12,7 |
| 19 | 11,41 | 9,47 | 9,826 | 11,5 | 12,09 |
| 20 | 11,1 | 9,19 | 9,362 | 10,9 | 11,61 |
| 21 | 10,91 | 8,97 | 9,127 | 10,4 | 11,28 |
| 22 | 10,82 | 8,78 | 9,003 | 10,1 | 11,07 |
| 23 | 10,83 | 8,64 | 8,856 | 9,84 | 10,94 |
| 24 | 10,94 | 8,55 | 8,601 | 9,62 | 10,81 |

Το θερμικό φορτίο υαλοπινάκων που υπολογίζουμε με βάση τα παραπάνω είναι ίδιο και για τους τρεις τοίχους στους οποίους έχουν τοποθετηθεί υαλοπίνακες (νότιο, ανατολικό, δυτικό), αφού είναι ανεξάρτητο του προσανατολισμού, το εμβαδόν των υαλοπινάκων είναι κοινό και η εξωτερική θερμοκρασία είναι ίδια για όλες τις πλευρές.

Οπότε καταλήγουμε στα αποτελέσματα του πίνακα 6.3.3.4:

Πίνακας 6.3.3.4 Θερμικό φορτίο υαλοπινάκων διάαγωγής

| | 21 ^η Νοέμβριου | 21 ^η Δεκεμβρίου | 21 ^η Ιανουαρίου | 21 ^η Φεβρουαρίου | 21 ^η Μαρτίου |
|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Time (h) | L(KJ/h) | L(KJ/h) | L(KJ/h) | L(KJ/h) | L(KJ/h) |
| 1:00-2:00 | -510,11 | -662,367 | -677,47 | -610,29 | -538,33 |
| 2:00-3:00 | -496,27 | -665,02 | -700,83 | -623,09 | -549,93 |
| 3:00-4:00 | -486,034 | -669,94 | -721,61 | -636,68 | -562,64 |
| 4:00-5:00 | -484,57 | -678,55 | -736,09 | -650,24 | -573,23 |
| 5:00-6:00 | -493,15 | -689,49 | -742,81 | -661,06 | -577,4 |
| 6:00-7:00 | -507,25 | -698,15 | -741,56 | -664,30 | -570,96 |
| 7:00-8:00 | -517,57 | -698,09 | -731,66 | -653,86 | -551,08 |
| 8:00-9:00 | -513,9 | -683,86 | -710,83 | -624,59 | -517,38 |
| 9:00-10:00 | -490,21 | -653,94 | -676,17 | -574,94 | -472,45 |
| 10:00-11:00 | -448,33 | -612,25 | -626,64 | -508,99 | -421,74 |
| 11:00-12:00 | -398,03 | -567,31 | -565,83 | -436,47 | -372,61 |
| 12:00-13:00 | -353,56 | -529,34 | -502,91 | -370,51 | -332,72 |
| 13:00-14:00 | -327,88 | -506,52 | -450,76 | -323,83 | -308,38 |
| 14:00-15:00 | -327,61 | -502,2 | -421,53 | -304,69 | -302,97 |
| 15:00-16:00 | -350,89 | -514,26 | -421,85 | -314,47 | -316,25 |
| 16:00-17:00 | -389,09 | -536,72 | -449,76 | -347,72 | -344,48 |
| 17:00-18:00 | -431,08 | -562,61 | -495,39 | -394,60 | -381,56 |
| 18:00-19:00 | -467,82 | -586,68 | -544,89 | -444,51 | -420,63 |
| 19:00-20:00 | -495,02 | -606,602 | -586,05 | -489,30 | -455,77 |
| 20:00-21:00 | -512,81 | -622,496 | -612,73 | -524,92 | -483,29 |
| 21:00-22:00 | -523,43 | -635,44 | -626,30 | -551,20 | -502,23 |
| 22:00-23:00 | -528,58 | -646,06 | -633,43 | -570,34 | -514,12 |
| 23:00-24:00 | -528,31 | -654,16 | -641,90 | -585,15 | -522,00 |
| 24:00-01:00 | -521,93 | -659,40 | -656,56 | -597,95 | -529,25 |
| ΗΜΕΡΗΣΙΟ (KJ/day) | -11103,44 | -14841,45 | -14675,56 | -12463,72 | -11121,41 |

- ✓ Συγκρίνοντας τις ημερήσιες απώλειες κάθε μήνα διαπιστώνουμε ότι μεγαλύτερες ημερήσιες απώλειες δι' αγωγής λόγω υαλοπινάκων έχουμε τον Δεκέμβριο (-14,841 MJ), ενώ τις λιγότερες το Μάρτιο (-11,121 MJ). Η διαφορά οφείλεται στην εξωτερική θερμοκρασία $t_{o,h}$ η οποία είναι αρκετά πιο υψηλή τον Μάρτιο από ότι το Δεκέμβριο.

6.3.4 Υπολογισμός φορτίου εξωτερικών τοίχων [12]

Το φορτίο λόγω των εξωτερικών τοίχων υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$(J/h) \quad (6.3.4.1)$$

Πίνακας 6.3.4.1 Ισοδύναμη θερμοκρασία για την 21^η Νοεμβρίου.

| 21 ^η ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ | | | | | |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Time (h) | T _e (°C) S | T _e (°C) E | T _e (°C) W | T _e (°C) N | T _e (°C) S |
| 1 | 11,4 | 11,4 | 11,4 | 11,4 | 11,4 |
| 2 | 11,5 | 11,5 | 11,5 | 11,5 | 11,5 |
| 3 | 11,5 | 11,5 | 11,5 | 11,5 | 11,5 |
| 4 | 11,4 | 11,4 | 11,4 | 11,4 | 11,4 |
| 5 | 11,2 | 11,2 | 11,2 | 11,2 | 11,2 |
| 6 | 11,1 | 11,1 | 11,1 | 11,1 | 11,1 |
| 7 | 11,1 | 11,1 | 11,1 | 11,1 | 11,1 |
| 8 | 19,6 | 22,9 | 12,4 | 12,4 | 19,6 |
| 9 | 26,4 | 26,3 | 13,7 | 13,7 | 26,4 |
| 10 | 30,9 | 24,7 | 14,7 | 14,7 | 30,9 |
| 11 | 33,9 | 21,1 | 15,7 | 15,7 | 33,9 |
| 12 | 35,2 | 16,4 | 16,4 | 16,4 | 35,2 |
| 13 | 34,9 | 16,7 | 22,1 | 16,7 | 34,9 |
| 14 | 32,8 | 16,6 | 26,5 | 16,6 | 32,8 |
| 15 | 28,6 | 15,9 | 28,5 | 15,9 | 28,6 |
| 16 | 21,7 | 14,6 | 25,1 | 14,6 | 21,7 |
| 17 | 12,8 | 12,8 | 12,8 | 12,8 | 12,8 |
| 18 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 19 | 11,4 | 11,4 | 11,4 | 11,4 | 11,4 |
| 20 | 10,9 | 10,9 | 10,9 | 10,9 | 10,9 |
| 21 | 10,7 | 10,7 | 10,7 | 10,7 | 10,7 |
| 22 | 10,7 | 10,7 | 10,7 | 10,7 | 10,7 |
| 23 | 10,9 | 10,9 | 10,9 | 10,9 | 10,9 |
| 24 | 11,1 | 11,1 | 11,1 | 11,1 | 11,1 |

Πίνακας 6.3.4.2 Ισοδύναμη θερμοκρασία για την 21^η Δεκεμβρίου.

| 21 ^η ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ | | | | | |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Time (h) | T _e (°C) S | T _e (°C) E | T _e (°C) W | T _e (°C) N | T _e (°C) S |
| 1 | 8,6 | 8,6 | 8,6 | 8,6 | 8,6 |
| 2 | 8,5 | 8,5 | 8,5 | 8,5 | 8,5 |
| 3 | 8,3 | 8,3 | 8,3 | 8,3 | 8,3 |
| 4 | 8,1 | 8,1 | 8,1 | 8,1 | 8,1 |
| 5 | 7,9 | 7,9 | 7,9 | 7,9 | 7,9 |
| 6 | 7,8 | 7,8 | 7,8 | 7,8 | 7,8 |
| 7 | 7,9 | 7,9 | 7,9 | 7,9 | 7,9 |
| 8 | 15,2 | 17,3 | 9 | 9 | 15,2 |
| 9 | 23,5 | 22,3 | 10,3 | 10,3 | 23,5 |
| 10 | 28,3 | 21,1 | 11,4 | 11,4 | 28,3 |
| 11 | 31,4 | 17,6 | 12,3 | 12,3 | 31,4 |
| 12 | 32,7 | 13 | 13 | 13 | 32,7 |
| 13 | 32,4 | 13,3 | 18,6 | 13,3 | 32,4 |
| 14 | 30,1 | 13,2 | 22,9 | 13,2 | 30,1 |
| 15 | 25,8 | 12,7 | 24,6 | 12,7 | 25,8 |
| 16 | 17,8 | 11,5 | 19,8 | 11,5 | 17,8 |
| 17 | 10,4 | 10,4 | 10,4 | 10,4 | 10,4 |
| 18 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,9 | 9,9 |
| 19 | 9,4 | 9,4 | 9,4 | 9,4 | 9,4 |
| 20 | 9,1 | 9,1 | 9,1 | 9,1 | 9,1 |
| 21 | 8,8 | 8,8 | 8,8 | 8,8 | 8,8 |
| 22 | 8,7 | 8,7 | 8,7 | 8,7 | 8,7 |
| 23 | 8,7 | 8,7 | 8,7 | 8,7 | 8,7 |
| 24 | 8,7 | 8,7 | 8,7 | 8,7 | 8,7 |

Πίνακας 6.3.4.3 Ισοδύναμη θερμοκρασία για την 21^η Ιανουαρίου.

| 21 ^η ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ | | | | | |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Time (h) | T _e (°C) S | T _e (°C) E | T _e (°C) W | T _e (°C) N | T _e (°C) S |
| 1 | 8,3 | 8,3 | 8,3 | 8,3 | 8,3 |
| 2 | 8,1 | 8,1 | 8,1 | 8,1 | 8,1 |
| 3 | 7,7 | 7,7 | 7,7 | 7,7 | 7,7 |
| 4 | 7,3 | 7,3 | 7,3 | 7,3 | 7,3 |
| 5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 6 | 6,9 | 6,9 | 6,9 | 6,9 | 6,9 |
| 7 | 7,1 | 7,1 | 7,1 | 7,1 | 7,1 |
| 8 | 16 | 19,5 | 8,5 | 8,5 | 16 |
| 9 | 23,3 | 23 | 10 | 10 | 23,3 |
| 10 | 28,2 | 21,7 | 11,5 | 11,5 | 28,2 |
| 11 | 31,5 | 18,3 | 12,8 | 12,8 | 31,5 |
| 12 | 33,2 | 13,9 | 13,9 | 13,9 | 33,2 |
| 13 | 33,2 | 14,5 | 20 | 14,5 | 33,2 |
| 14 | 31,3 | 14,6 | 24,8 | 14,6 | 31,3 |
| 15 | 27,4 | 14,2 | 27,1 | 14,2 | 27,4 |
| 16 | 20,6 | 13,1 | 24 | 13,1 | 20,6 |
| 17 | 11,5 | 11,5 | 11,5 | 11,5 | 11,5 |
| 18 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 |
| 19 | 10,1 | 10,1 | 10,1 | 10,1 | 10,1 |
| 20 | 9,5 | 9,5 | 9,5 | 9,5 | 9,5 |
| 21 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 22 | 8,8 | 8,8 | 8,8 | 8,8 | 8,8 |
| 23 | 8,6 | 8,6 | 8,6 | 8,6 | 8,6 |
| 24 | 8,5 | 8,5 | 8,5 | 8,5 | 8,5 |

Πίνακας 6.3.4.4 Ισοδύναμη θερμοκρασία για την 21^η Φεβρουαρίου.

| 21 ^η ΦΛΕΒΑΡΗ | | | | | |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Time (h) | T _e (°C) S | T _e (°C) E | T _e (°C) W | T _e (°C) N | T _e (°C) S |
| 1 | 9,5 | 9,5 | 9,5 | 9,5 | 9,5 |
| 2 | 9,3 | 9,3 | 9,3 | 9,3 | 9,3 |
| 3 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 4 | 8,6 | 8,6 | 8,6 | 8,6 | 8,6 |
| 5 | 8,4 | 8,4 | 8,4 | 8,4 | 8,4 |
| 6 | 8,4 | 8,4 | 8,4 | 8,4 | 8,4 |
| 7 | 10,8 | 14,5 | 9,1 | 9,1 | 10,8 |
| 8 | 18,6 | 25,5 | 10,9 | 10,9 | 18,6 |
| 9 | 24,4 | 26,9 | 12,5 | 12,5 | 24,4 |
| 10 | 29 | 25 | 14,1 | 14,1 | 29 |
| 11 | 32,2 | 21,4 | 15,5 | 15,5 | 32,2 |
| 12 | 34 | 16,7 | 16,7 | 16,7 | 34 |
| 13 | 34,1 | 17,3 | 23,2 | 17,3 | 34,1 |
| 14 | 32,3 | 17,4 | 28,3 | 17,4 | 32,3 |
| 15 | 28,8 | 16,9 | 31,3 | 16,9 | 28,8 |
| 16 | 23,5 | 15,7 | 30,3 | 15,7 | 23,5 |
| 17 | 15,5 | 13,7 | 19,2 | 13,7 | 15,5 |
| 18 | 12,4 | 12,4 | 12,4 | 12,4 | 12,4 |
| 19 | 11,5 | 11,5 | 11,5 | 11,5 | 11,5 |
| 20 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 |
| 21 | 10,3 | 10,3 | 10,3 | 10,3 | 10,3 |
| 22 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 23 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 |
| 24 | 9,7 | 9,7 | 9,7 | 9,7 | 9,7 |

Πίνακας 6.3.4.5 Ισοδύναμη θερμοκρασία για την 21^η Μαρτίου.

| 21^η ΜΑΡΤΙΟΥ | | | | | |
|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Time (h) | T_e (°C) S | T_e (°C) E | T_e (°C) W | T_e (°C) N | T_e (°C) S |
| 1 | 10,7 | 10,7 | 10,7 | 10,7 | 10,7 |
| 2 | 10,5 | 10,5 | 10,5 | 10,5 | 10,5 |
| 3 | 10,2 | 10,2 | 10,2 | 10,2 | 10,2 |
| 4 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 6 | 10,1 | 10,1 | 10,1 | 10,1 | 10,1 |
| 7 | 13,9 | 24,2 | 11,8 | 11,8 | 13,9 |
| 8 | 19,1 | 29,5 | 13,4 | 13,4 | 19,1 |
| 9 | 23,9 | 29,6 | 14,8 | 14,8 | 23,9 |
| 10 | 27,8 | 27,2 | 16,1 | 16,1 | 27,8 |
| 11 | 30,6 | 23,1 | 17,3 | 17,3 | 30,6 |
| 12 | 32 | 18 | 18 | 18 | 32 |
| 13 | 31,7 | 18,4 | 24,2 | 18,4 | 31,7 |
| 14 | 29,9 | 18,2 | 29,2 | 18,2 | 29,9 |
| 15 | 26,6 | 17,5 | 32,3 | 17,5 | 26,6 |
| 16 | 22,1 | 16,4 | 32,5 | 16,4 | 22,1 |
| 17 | 16,8 | 14,8 | 27,2 | 14,8 | 16,8 |
| 18 | 12,7 | 12,7 | 12,7 | 12,7 | 12,7 |
| 19 | 12,1 | 12,1 | 12,1 | 12,1 | 12,1 |
| 20 | 11,6 | 11,6 | 11,6 | 11,6 | 11,6 |
| 21 | 11,3 | 11,3 | 11,3 | 11,3 | 11,3 |
| 22 | 11,1 | 11,1 | 11,1 | 11,1 | 11,1 |
| 23 | 10,9 | 10,9 | 10,9 | 10,9 | 10,9 |
| 24 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 |

Το φορτίο διάγωγής μέσω των τοίχων του κτιρίου αποτελεί είτε απώλεια είτε κέρδος για το κέλυφος κατά την περίοδο των συγκεκριμένων μηνών που μελετάμε καθώς η T_e , όπως παρατηρούμε στους πίνακες 6.3.4.1-5, είναι για κάποιες ώρες μικρότερη από την εσωτερική θερμοκρασία (20°C) ενώ για κάποιες άλλες μεγαλύτερη. Αυτό γίνεται αντιληπτό και από τις ωραίες τιμές του φορτίου των εξωτερικών τοίχων που παρουσιάζονται στους πίνακες 6.3.4.6-10. Παρόλα αυτά για τη διεξαγωγή συμπερασμάτων βασιζόμαστε στο συνολικό ημερήσιο φορτίο όπως προκύπτει από το άθροισμα των ωριαίων τιμών, έτσι ώστε να ληφθεί υπόψη η χρονική καθυστέρηση των υλικών.

Πίνακας 6.3.4.6 Τιμές του φορτίου για την 21^η Νοεμβρίου για κάθε προσανατολισμό.

| 21^η Νοέμβριου | | | | |
|---------------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Time (h) | Q(KJ/h) Νότος | Q(KJ/h) Ανατολή | Q(KJ/h) Δύση | Q(KJ/h) Βορράς |
| 1:00-2:00 | -447,09 | -447,09 | -447,09 | -609,66 |
| 2:00-3:00 | -441,89 | -441,89 | -441,89 | -602,57 |
| 3:00-4:00 | -441,89 | -441,89 | -441,89 | -602,57 |
| 4:00-5:00 | -447,09 | -447,09 | -447,09 | -609,66 |
| 5:00-6:00 | -457,48 | -457,48 | -457,48 | -623,84 |
| 6:00-7:00 | -462,68 | -462,68 | -462,68 | -630,93 |
| 7:00-8:00 | -462,68 | -462,68 | -462,68 | -630,93 |
| 8:00-9:00 | -20,795 | 150,76 | -395,1 | -538,77 |
| 9:00-10:00 | 332,72 | 327,52 | -327,52 | -446,61 |
| 10:00-11:00 | 566,66 | 244,34 | -275,53 | -375,72 |
| 11:00-12:00 | 722,62 | 57,185 | -223,54 | -304,83 |
| 12:00-13:00 | 790,2 | -187,15 | -187,15 | -255,21 |
| 13:00-14:00 | 774,6 | -171,56 | 109,172 | -233,94 |
| 14:00-15:00 | 665,43 | -176,75 | 337,914 | -241,03 |
| 15:00-16:00 | 447,09 | -213,15 | 441,887 | -290,65 |
| 16:00-17:00 | 88,377 | -280,73 | 265,132 | -382,81 |
| 17:00-18:00 | -374,3 | -374,3 | -374,3 | -510,42 |
| 18:00-19:00 | -415,89 | -415,89 | -415,89 | -567,13 |
| 19:00-20:00 | -447,09 | -447,09 | -447,09 | -609,66 |
| 20:00-21:00 | -473,08 | -473,08 | -473,08 | -645,11 |
| 21:00-22:00 | -483,48 | -483,48 | -483,48 | -659,29 |
| 22:00-23:00 | -483,48 | -483,48 | -483,48 | -659,29 |
| 23:00-24:00 | -473,08 | -473,08 | -473,08 | -645,11 |
| 24:00-01:00 | -462,68 | -462,68 | -462,68 | -630,93 |
| ΗΜΕΡΗΣΙΟ (KJ/day) | -2407 | -7023,4 | -7028,6 | -12307 |

Πίνακας 6.3.4.7 Τιμές του φορτίου για την 21^η Δεκεμβρίου για κάθε προσανατολισμό.

| 21^η ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ | | | | |
|----------------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Time (h) | Q(KJ/h) Νότος | Q(KJ/h) Ανατολή | Q(KJ/h) Δύση | Q(KJ/h) Βορράς |
| 1:00-2:00 | -592,65 | -592,65 | -592,65 | -808,16 |
| 2:00-3:00 | -597,85 | -597,85 | -597,85 | -815,25 |
| 3:00-4:00 | -608,25 | -608,25 | -608,25 | -829,43 |
| 4:00-5:00 | -618,64 | -618,64 | -618,64 | -843,6 |
| 5:00-6:00 | -629,04 | -629,04 | -629,04 | -857,78 |
| 6:00-7:00 | -634,24 | -634,24 | -634,24 | -864,87 |
| 7:00-8:00 | -629,04 | -629,04 | -629,04 | -857,78 |
| 8:00-9:00 | -249,54 | -140,36 | -571,85 | -779,8 |
| 9:00-10:00 | 181,954 | 119,57 | -504,27 | -687,64 |
| 10:00-11:00 | 431,49 | 57,1854 | -447,09 | -609,66 |
| 11:00-12:00 | 592,649 | -124,77 | -400,3 | -545,86 |
| 12:00-13:00 | 660,232 | -363,91 | -363,91 | -496,24 |
| 13:00-14:00 | 644,636 | -348,31 | -72,781 | -474,97 |
| 14:00-15:00 | 525,066 | -353,51 | 150,762 | -482,06 |
| 15:00-16:00 | 301,523 | -379,5 | 239,139 | -517,5 |
| 16:00-17:00 | -114,37 | -441,89 | -10,397 | -602,57 |
| 17:00-18:00 | -499,07 | -499,07 | -499,07 | -680,55 |
| 18:00-19:00 | -525,07 | -525,07 | -525,07 | -716 |
| 19:00-20:00 | -551,06 | -551,06 | -551,06 | -751,44 |
| 20:00-21:00 | -566,66 | -566,66 | -566,66 | -772,71 |
| 21:00-22:00 | -582,25 | -582,25 | -582,25 | -793,98 |
| 22:00-23:00 | -587,45 | -587,45 | -587,45 | -801,07 |
| 23:00-24:00 | -587,45 | -587,45 | -587,45 | -801,07 |
| 24:00-01:00 | -587,45 | -587,45 | -587,45 | -801,07 |
| ΗΜΕΡΗΣΙΟ (KJ/day) | -5822,5 | -10772 | -10777 | -17191 |

Πίνακας 6.3.4.8 Τιμές του φορτίου για την 21^η Ιανουαρίου για κάθε προσανατολισμό.

| 21^ηΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ | | | | |
|---------------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Time (h) | Q(KJ/h) Νότος | Q(KJ/h) Ανατολή | Q(KJ/h) Δύση | Q(KJ/h) Βορράς |
| 1:00-2:00 | -608,25 | -608,25 | -608,25 | -829,43 |
| 2:00-3:00 | -618,64 | -618,64 | -618,64 | -843,6 |
| 3:00-4:00 | -639,44 | -639,44 | -639,44 | -871,96 |
| 4:00-5:00 | -660,23 | -660,23 | -660,23 | -900,32 |
| 5:00-6:00 | -675,83 | -675,83 | -675,83 | -921,58 |
| 6:00-7:00 | -681,03 | -681,03 | -681,03 | -928,67 |
| 7:00-8:00 | -670,63 | -670,63 | -670,63 | -914,49 |
| 8:00-9:00 | -207,95 | -25,993 | -597,85 | -815,25 |
| 9:00-10:00 | 171,556 | 155,96 | -519,87 | -708,91 |
| 10:00-11:00 | 426,291 | 88,3775 | -441,89 | -602,57 |
| 11:00-12:00 | 597,848 | -88,377 | -374,3 | -510,42 |
| 12:00-13:00 | 686,225 | -317,12 | -317,12 | -432,44 |
| 13:00-14:00 | 686,225 | -285,93 | 0 | -389,9 |
| 14:00-15:00 | 587,45 | -280,73 | 249,54 | -382,81 |
| 15:00-16:00 | 384,702 | -301,52 | 369,11 | -411,17 |
| 16:00-17:00 | 31,1921 | -358,71 | 207,95 | -489,15 |
| 17:00-18:00 | -441,89 | -441,89 | -441,89 | -602,57 |
| 18:00-19:00 | -478,28 | -478,28 | -478,28 | -652,2 |
| 19:00-20:00 | -514,67 | -514,67 | -514,67 | -701,82 |
| 20:00-21:00 | -545,86 | -545,86 | -545,86 | -744,36 |
| 21:00-22:00 | -571,85 | -571,85 | -571,85 | -779,8 |
| 22:00-23:00 | -582,25 | -582,25 | -582,25 | -793,98 |
| 23:00-24:00 | -592,65 | -592,65 | -592,65 | -808,16 |
| 24:00-01:00 | -597,85 | -597,85 | -597,85 | -815,25 |
| ΗΜΕΡΗΣΙΟ (KJ/day) | -5515,8 | -10293 | -10304 | -16851 |

Πίνακας 6.3.4.9 Τιμές του φορτίου για την 21^η Φεβρουαρίου για κάθε προσανατολισμό.

| 21^ηΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ | | | | |
|----------------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Time (h) | Q(KJ/h) Νότος | Q(KJ/h) Ανατολή | Q(KJ/h) Δύση | Q(KJ/h) Βορράς |
| 1:00-2:00 | -545,86 | -545,86 | -545,86 | -744,36 |
| 2:00-3:00 | -556,26 | -556,26 | -556,26 | -758,53 |
| 3:00-4:00 | -571,85 | -571,85 | -571,85 | -779,8 |
| 4:00-5:00 | -592,65 | -592,65 | -592,65 | -808,16 |
| 5:00-6:00 | -603,05 | -603,05 | -603,05 | -822,34 |
| 6:00-7:00 | -603,05 | -603,05 | -603,05 | -822,34 |
| 7:00-8:00 | -478,28 | -285,93 | -566,66 | -772,71 |
| 8:00-9:00 | -72,781 | 285,93 | -473,08 | -645,11 |
| 9:00-10:00 | 228,742 | 358,71 | -389,9 | -531,68 |
| 10:00-11:00 | 467,881 | 259,93 | -306,72 | -418,26 |
| 11:00-12:00 | 634,238 | 72,781 | -233,94 | -319,01 |
| 12:00-13:00 | 727,815 | -171,56 | -171,56 | -233,94 |
| 13:00-14:00 | 733,013 | -140,36 | 166,36 | -191,41 |
| 14:00-15:00 | 639,437 | -135,17 | 431,49 | -184,32 |
| 15:00-16:00 | 457,483 | -161,16 | 587,45 | -219,76 |
| 16:00-17:00 | 181,954 | -223,54 | 535,46 | -304,83 |
| 17:00-18:00 | -233,94 | -327,52 | -41,589 | -446,61 |
| 18:00-19:00 | -395,1 | -395,1 | -395,1 | -538,77 |
| 19:00-20:00 | -441,89 | -441,89 | -441,89 | -602,57 |
| 20:00-21:00 | -478,28 | -478,28 | -478,28 | -652,2 |
| 21:00-22:00 | -504,27 | -504,27 | -504,27 | -687,64 |
| 22:00-23:00 | -519,87 | -519,87 | -519,87 | -708,91 |
| 23:00-24:00 | -530,26 | -530,26 | -530,26 | -723,09 |
| 24:00-01:00 | -535,46 | -535,46 | -535,46 | -730,18 |
| ΗΜΕΡΗΣΙΟ (KJ/day) | -3592,3 | -7345,7 | -7340,5 | -13647 |

Πίνακας 6.3.4.10 Τιμές του φορτίου για την 21^η Μαρτίου για κάθε προσανατολισμό.

| 21 ^η ΜΑΡΤΙΟΥ | | | | |
|------------------------------|------------------|--------------------|-----------------|-------------------|
| Time (h) | Q(KJ/h) Νότος | Q(KJ/h) Ανατολή | Q(KJ/h) Δύση | Q(KJ/h) Βορράς |
| 1:00-2:00 | -483,48 | -483,48 | -483,48 | -659,29 |
| 2:00-3:00 | -493,87 | -493,87 | -493,87 | -673,46 |
| 3:00-4:00 | -509,47 | -509,47 | -509,47 | -694,73 |
| 4:00-5:00 | -519,87 | -519,87 | -519,87 | -708,91 |
| 5:00-6:00 | -519,87 | -519,87 | -519,87 | -708,91 |
| 6:00-7:00 | -514,67 | -514,67 | -514,67 | -701,82 |
| 7:00-8:00 | -317,12 | 218,344 | -426,29 | -581,31 |
| 8:00-9:00 | -46,788 | 493,874 | -343,11 | -467,88 |
| 9:00-10:00 | 202,748 | 499,073 | -270,33 | -368,63 |
| 10:00-11:00 | 405,497 | 374,305 | -202,75 | -276,48 |
| 11:00-12:00 | 551,06 | 161,159 | -140,36 | -191,41 |
| 12:00-13:00 | 623,841 | -103,97 | -103,97 | -141,78 |
| 13:00-14:00 | 608,245 | -83,179 | 218,344 | -113,43 |
| 14:00-15:00 | 514,669 | -93,576 | 478,278 | -127,6 |
| 15:00-16:00 | 343,113 | -129,97 | 639,437 | -177,23 |
| 16:00-17:00 | 109,172 | -187,15 | 649,834 | -255,21 |
| 17:00-18:00 | -166,36 | -270,33 | 374,305 | -368,63 |
| 18:00-19:00 | -379,5 | -379,5 | -379,5 | -517,5 |
| 19:00-20:00 | -410,7 | -410,7 | -410,7 | -560,04 |
| 20:00-21:00 | -436,69 | -436,69 | -436,69 | -595,48 |
| 21:00-22:00 | -452,28 | -452,28 | -452,28 | -616,75 |
| 22:00-23:00 | -462,68 | -462,68 | -462,68 | -630,93 |
| 23:00-24:00 | -473,08 | -473,08 | -473,08 | -645,11 |
| 24:00-01:00 | -478,28 | -478,28 | -478,28 | -652,2 |
| ΗΜΕΡΗΣΙΟ (KJ/day) | -3306,4 | -5255,9 | -5261,1 | -11435 |

Συμπεράσματα:

- ✓ Για όλους τους μήνες το ημερήσιο φορτίο διάγωγής μέσω των εξωτερικών τοίχων αποτελεί απώλεια για το κέλυφος.
- ✓ Οι μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζονται για τοίχο με βόρειο προσανατολισμό ενώ οι μικρότερες για τοίχο νότιου προσανατολισμού.
- ✓ Οι τοίχοι με ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό έχουν απώλειες περίπου της ίδιας τάξης μεγέθους.

6.3.5 Υπολογισμός φορτίου διαμέσου οροφής [12]

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

$$q_{hor} = - U_{hor} A_{hor} (T_{in} - T_{hor}) 3600 \text{ (J/h)} \quad (6.3.5.1)$$

Όπου:

- Το (-) στον τύπο δηλώνει ότι για τους μήνες που θα υπολογίσουμε το φορτίο αυτό είναι αρνητικό αφού το φορτίο οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος και για τους μήνες αυτούς αποτελεί απώλεια για το κτίριο όπως θα φανεί και παρακάτω στα αποτελέσματα.
- **3600**: Υπολογίζουμε το φορτίο για διάστημα μίας ώρας γι' αυτό και πολλαπλασιάζουμε με $60 \cdot 60 = 3600s$
- A_{hor} η επιφάνεια της οροφής η οποία είναι $A_{hor} = 10 \cdot 10 = 100m^2$
- U_{hor} ο συντελεστής ολικής θερμικής διαπερατότητας της οροφής σε W/m^2K

Η οροφή έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Γαρμπιλόδεμα $w_1 = 0,07m$ με ειδική θερμική αγωγιμότητα $k_1 = 2,2 W/mK$
- Στεγανωτική στρώση $w_2 = 0,01 m$ με ειδική θερμική αγωγιμότητα $k_2 = 0,038 W/mK$
- **Μόνωση** πάχους $w = 0,04m$ και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας $k = 0,038 W/mK$ (ίδια με αυτή των τοίχων)
- Σκυρόδεμα πάχους $w_3 = 0,07m$ και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας $k_3 = 2,2 W/mK$
- Οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους $w_4 = 0,14m$ και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας $k_4 = 2,2 W/mK$
- Επίχρισμα πάχους $w_5 = 0,015m$ και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας $k_5 = 1,2 W/mK$
- Εξωτερικό συντελεστή συναγωγής $h_o = 16 W/m^2K$ και εσωτερικό $h_i = 8 W/m^2K$

Από αυτά τα χαρακτηριστικά της οροφής και με βάση τον τύπο:

προκύπτει και ο ολικός συντελεστής θερμικής διαπερατότητας της οροφής οποίος είναι τελικά $U_{hor} = 0,6086 \text{ W/m}^2\text{K}$.

- T_{in} η εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου την οποία θεωρούμε σταθερή και ίση με 20°C για όλους τους υπολογισμούς
- T_{hor} η ισοδύναμη θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος κάθε ώρας που προκύπτει από πίνακες για επιφάνεια ανοιχτού χρώματος στην περιοχή της Αθήνας και φαίνεται παρακάτω:

Πίνακας 6.3.5.1 Τιμές T_{hor} για επιφάνεια ανοιχτού χρώματος για όλους τους μήνες.

| | 21 ^η Νοέμβριου | 21 ^η Δεκεμβρίου | 21 ^η Ιανουαρίου | 21 ^η Φεβρουαρίου | 21 ^η Μαρτίου |
|----------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Time (h) | $T_{hor} (^{\circ}\text{C})$ | $T_{hor} (^{\circ}\text{C})$ | $T_{hor} (^{\circ}\text{C})$ | $T_{hor} (^{\circ}\text{C})$ | $T_{hor} (^{\circ}\text{C})$ |
| 1:00 | 11,4 | 8,6 | 8,3 | 9,5 | 10,7 |
| 2:00 | 11,5 | 8,5 | 8,1 | 9,3 | 10,5 |
| 3:00 | 11,5 | 8,3 | 7,7 | 9 | 10,2 |
| 4:00 | 11,4 | 8,1 | 7,3 | 8,6 | 10 |
| 5:00 | 11,2 | 7,9 | 7 | 8,4 | 10 |
| 6:00 | 11,1 | 7,8 | 6,9 | 8,4 | 10,1 |
| 7:00 | 11,1 | 7,9 | 7,1 | 5,9 | 11,1 |
| 8:00 | 11 | 6,6 | 7,1 | 12,1 | 17,2 |
| 9:00 | 16,1 | 11,6 | 12,4 | 17,7 | 22,7 |
| 10:00 | 20,2 | 15,6 | 16,9 | 22,4 | 27,1 |
| 11:00 | 23 | 18,4 | 20,1 | 25,8 | 30,2 |
| 12:00 | 24,4 | 19,7 | 21,8 | 27,6 | 31,6 |
| 13:00 | 24 | 19,3 | 21,8 | 27,6 | 31,3 |
| 14:00 | 22 | 17,4 | 20 | 25,7 | 29,1 |
| 15:00 | 18,3 | 13,9 | 16,5 | 22,1 | 25,4 |
| 16:00 | 13,2 | 9,1 | 11,6 | 16,9 | 20,2 |
| 17:00 | 12,8 | 10,4 | 11,5 | 10,6 | 14 |
| 18:00 | 12 | 9,9 | 10,8 | 12,4 | 12,7 |
| 19:00 | 11,4 | 9,4 | 10,1 | 11,5 | 12,1 |
| 20:00 | 10,9 | 9,1 | 9,5 | 10,8 | 11,6 |
| 21:00 | 10,7 | 8,8 | 9 | 10,3 | 11,3 |
| 22:00 | 10,7 | 8,7 | 8,8 | 10 | 11,1 |
| 23:00 | 10,9 | 8,7 | 8,6 | 9,8 | 10,9 |
| 24:00 | 11,1 | 8,7 | 8,5 | 9,7 | 10,8 |

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ο παρακάτω πίνακας που μας δίνει το φορτίο λόγω οροφής για όλους τους μήνες:

Πίνακας 6.3.5.2. Τιμές q_{hor} για όλους τους μήνες.

| | 21 ^η Νοέμβριου | 21 ^η Δεκεμβρίου | 21 ^η Ιανουαρίου | 21 ^η Φεβρουαρίου | 21 ^η Μαρτίου |
|---|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Time (h) | q_{hor} (KJ/h) | q_{hor} (KJ/h) | q_{hor} (KJ/h) | q_{hor} (KJ/h) | q_{hor} (KJ/h) |
| 1:00-2:00 | -1884,3 | -2497,8 | -2563,51 | -2300,58 | -2037,66 |
| 2:00-3:00 | -1862,4 | -2519,7 | -2607,33 | -2344,4 | -2081,48 |
| 3:00-4:00 | -1862,4 | -2563,5 | -2694,97 | -2410,13 | -2147,21 |
| 4:00-5:00 | -1884,3 | -2607,3 | -2782,61 | -2497,78 | -2191,03 |
| 5:00-6:00 | -1928,1 | -2651,1 | -2848,34 | -2541,6 | -2191,03 |
| 6:00-7:00 | -1950 | -2673,1 | -2870,25 | -2541,6 | -2169,12 |
| 7:00-8:00 | -1950 | -2651,1 | -2826,43 | -3089,35 | -1950,02 |
| 8:00-9:00 | -1971,9 | -2936 | -2826,43 | -1730,91 | -613,489 |
| 9:00-10:00 | -854,5 | -1840,5 | -1665,18 | -503,937 | 591,578 |
| 10:00-11:00 | 43,8206 | -964,05 | -679,22 | 525,847 | 1555,63 |
| 11:00-12:00 | 657,309 | -350,56 | 21,91031 | 1270,8 | 2234,85 |
| 12:00-13:00 | 964,054 | -65,731 | 394,3856 | 1665,18 | 2541,6 |
| 13:00-14:00 | 876,412 | -153,37 | 394,3856 | 1665,18 | 2475,86 |
| 14:00-15:00 | 438,206 | -569,67 | 0 | 1248,89 | 1993,84 |
| 15:00-16:00 | -372,48 | -1336,5 | -766,861 | 460,116 | 1183,16 |
| 16:00-17:00 | -1489,9 | -2388,2 | -1840,47 | -679,22 | 43,8206 |
| 17:00-18:00 | -1577,5 | -2103,4 | -1862,38 | -2059,57 | -1314,62 |
| 18:00-19:00 | -1752,8 | -2212,9 | -2015,75 | -1665,18 | -1599,45 |
| 19:00-20:00 | -1884,3 | -2322,5 | -2169,12 | -1862,38 | -1730,91 |
| 20:00-21:00 | -1993,8 | -2388,2 | -2300,58 | -2015,75 | -1840,47 |
| 21:00-22:00 | -2037,7 | -2454 | -2410,13 | -2125,3 | -1906,2 |
| 22:00-23:00 | -2037,7 | -2475,9 | -2453,95 | -2191,03 | -1950,02 |
| 23:00-24:00 | -1993,8 | -2475,9 | -2497,78 | -2234,85 | -1993,84 |
| 24:00-01:00 | -1950 | -2475,9 | -2519,69 | -2256,76 | -2015,75 |
| Ημερήσιο q_{hor} (KJ/day) | -30258 | -47677 | -44390,3 | -30214,3 | -17112 |

- ✓ Από τον πίνακα 6.3.5.2 προκύπτει ότι τις μεγαλύτερες ημερήσιες απώλειες λόγω οροφής έχουμε τον Δεκέμβριο και αντίθετα τις μικρότερες το Μάρτιο, γεγονός που οφείλεται στην ισοδύναμη θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος η οποία παρουσιάζει για τον Δεκέμβριο και το Μάρτιο τις μικρότερες και τις μεγαλύτερες τιμές της αντίστοιχα.
- ✓ Παρατηρώντας τις ωριαίες τιμές του φορτίου διαπιστώνεται ότι για κάποιες ώρες τις ημέρας, κυρίως 11:00 -16:00, το φορτίο είναι θετικό, καθώς για τις ώρες εκείνες η ισοδύναμη θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη από την εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου.

6.3.6 Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρα [12]

Το ψυκτικό φορτίο λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρα υπό συνήθεις συνθήκες και κανονική ατμοσφαιρική πίεση όπως έχουμε και στην περίπτωση μας υπολογίζεται από τη σχέση :

(6.3.6.1)

Πίνακας 6.3.6.1 Τιμές ψυκτικού φορτίου λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρα για κάθε μήνα.

| | 21 ^η Νοέμβριου | 21 ^η Δεκεμβρίου | 21 ^η Ιανουαρίου | 21 ^η Φεβρουαρίου | 21 ^η Μαρτίου |
|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Time (h) | q (KJ/h) | q (KJ/h) | q (KJ/h) | q (KJ/h) | q (KJ/h) |
| 1:00-2:00 | -6535,74 | -8486,58 | -8680 | -7819,3 | -6897,38 |
| 2:00-3:00 | -6358,396 | -8520,62 | -8979,3 | -7983,32 | -7045,95 |
| 3:00-4:00 | -6227,37 | -8583,59 | -9245,6 | -8157,44 | -7208,83 |
| 4:00-5:00 | -6208,559 | -8693,91 | -9431,2 | -8331,18 | -7344,49 |
| 5:00-6:00 | -6318,458 | -8834,07 | -9517,2 | -8469,87 | -7397,93 |
| 6:00-7:00 | -6499,181 | -8945,03 | -9501,3 | -8511,35 | -7315,43 |
| 7:00-8:00 | -6631,356 | -8944,24 | -9374,4 | -8377,62 | -7060,75 |
| 8:00-9:00 | -6584,286 | -8761,92 | -9107,5 | -8002,54 | -6628,87 |
| 9:00-10:00 | -6280,879 | -8378,58 | -8663,4 | -7366,45 | -6053,23 |
| 10:00-11:00 | -5744,198 | -7844,41 | -8028,8 | -6521,46 | -5403,59 |
| 11:00-12:00 | -5099,802 | -7268,67 | -7249,7 | -5592,21 | -4774 |
| 12:00-13:00 | -4530,01 | -6782,18 | -6443,6 | -4747,19 | -4263 |
| 13:00-14:00 | -4200,97 | -6489,75 | -5775,3 | -4149,1 | -3951,11 |
| 14:00-15:00 | -4197,441 | -6434,4 | -5400,9 | -3903,84 | -3881,84 |
| 15:00-16:00 | -4495,765 | -6588,95 | -5404,9 | -4029,09 | -4051,91 |
| 16:00-17:00 | -4985,219 | -6876,69 | -5762,6 | -4455,11 | -4413,64 |
| 17:00-18:00 | -5523,198 | -7208,48 | -6347,2 | -5055,87 | -4888,74 |
| 18:00-19:00 | -5993,991 | -7516,89 | -6981,4 | -5695,39 | -5389,33 |
| 19:00-20:00 | -6342,395 | -7772,09 | -7508,7 | -6269,21 | -5839,6 |
| 20:00-21:00 | -6570,338 | -7975,72 | -7850,6 | -6725,54 | -6192,17 |
| 21:00-22:00 | -6706,446 | -8141,55 | -8024,5 | -7062,25 | -6434,86 |
| 22:00-23:00 | -6772,486 | -8277,65 | -8115,9 | -7307,48 | -6587,12 |
| 23:00-24:00 | -6769,004 | -8381,45 | -8224,4 | -7497,28 | -6688,16 |
| 24:00-01:00 | -6687,282 | -8448,58 | -8412,1 | -7661,29 | -6781,08 |
| Ημερήσιο q (KJ/h) | -142262,8 | -190156 | -188031 | -159691 | -142493 |

Όπου:

- Q η παροχή εξωτερικού αέρος σε L/s

Έχουμε ανανέωση αέρα ίση με 2 αλλαγές ανά ώρα. Ο όγκος του κτιρίου είναι $(10 \cdot 10) \cdot 3 = 300 \text{m}^3$, οπότε η παροχή εξωτερικού αέρα είναι

$$Q = 2 \cdot 300 = 600 \text{m}^3/\text{h} = 600 \cdot 1000 / 3600 = \mathbf{166,67 \text{L/s}}$$

- Δt η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εισερχόμενου και εξερχόμενου αέρα δηλαδή $(T_{\text{in}} - T_o)$ με T_o τη θερμοκρασία που υπολογίσαμε στο πίνακα 6.3.3.2.

6.3.7 Υπολογισμός συνολικού φορτίου κελύφους

Για τον υπολογισμό του συνολικού ημερήσιου φορτίου του κελύφους αρκεί να αθροίσουμε αλγεβρικά τα ημερήσια επιμέρους φορτία που υπολογίσαμε παραπάνω, δηλαδή:

- το θερμικό ηλιακό κέρδος υαλοπινάκων
- το θερμικό φορτίο υαλοπινάκων διάγωγής
- το φορτίο λόγω εξωτερικών τοίχων
- το φορτίο λόγω οροφής
- το ψυκτικό φορτίο λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρα

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για κάθε μήνα παρουσιάζονται στον πίνακα 6.3.7.1.

Όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα, το συνολικό φορτίο του κελύφους είναι $-0,11993 \text{GJ}$ για την 21^η Νοεμβρίου, $-0,22736 \text{GJ}$ για την 21^η Δεκεμβρίου, $-0,21715 \text{GJ}$ για την 21^η Ιανουαρίου, $-0,13325 \text{GJ}$ για την 21^η Φεβρουαρίου και $-0,0194 \text{GJ}$ για την 21^η Μαρτίου. Μεγαλύτερες απώλειες παρουσιάζονται το Δεκέμβριο ενώ οι λιγότερες τον Μάρτιο. Διαπιστώνεται ότι για τις συγκεκριμένες τιμές των χαρακτηριστικών της μόνωσης και των υαλοπινάκων, δηλαδή για :

| k | w | U | P _f |
|-----------|-------|---------------------|----------------|
| 0,038W/mK | 0,04m | 2W/m ² K | 20% |

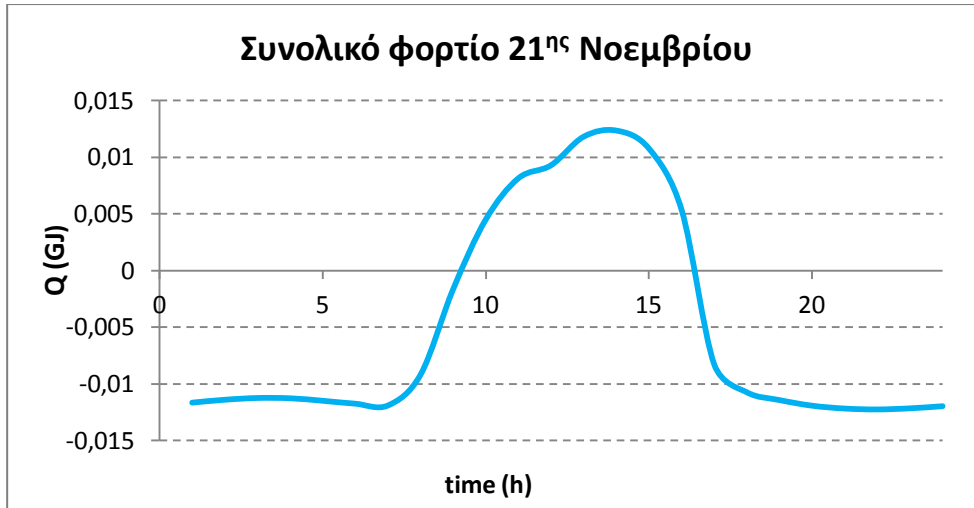
οι απώλειες του κελύφους είναι αρκετά μεγάλες και το κτίριο κρίνεται ασύμφορο από ενεργειακή άποψη κατά την περίοδο θέρμανσης.

Εκτός από κάποιες ώρες (για τους περισσότερους μήνες από τις 10:00 μέχρι τις 17:00), τις υπόλοιπες ώρες της ημέρας οι απώλειες από τους υαλοπίνακες, τους

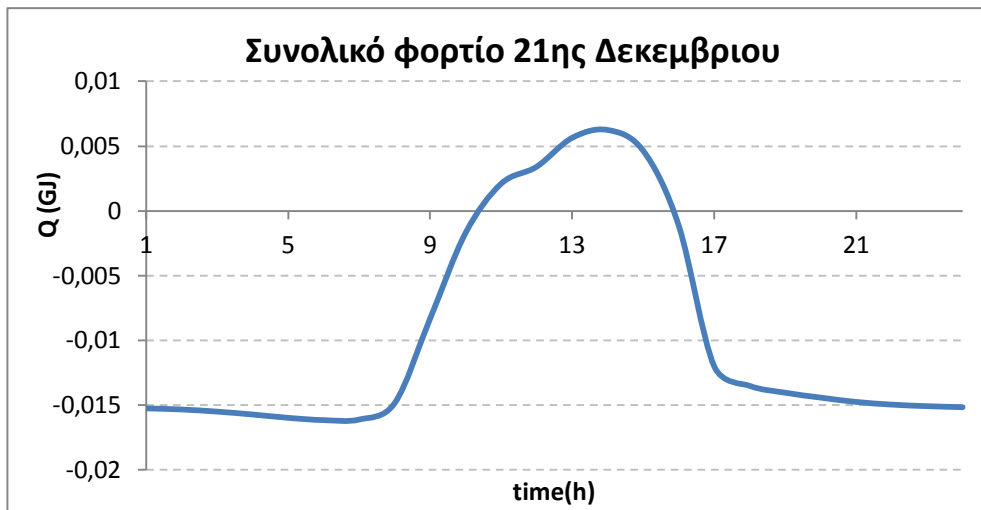
τοίχους, την οροφή και την διείσδυση αέρα υπερισχύουν του θερμικού κέρδους από τους υαλοπίνακες γεγονός που φαίνεται καλύτερα και στα διαγράμματα που ακολουθούν (διαγράμματα 6.3.7.1-5). Παρόλα αυτά όμως δεν γίνεται να βγουν συμπεράσματα βασισμένα στις ωριαίες τιμές καθώς, όπως αναφέρθηκε και στην αρχή, έτσι δε λαμβάνεται υπόψη η χρονική υστέρηση των υλικών.

Πίνακας 6.3.7.1. Συνολικό ημερήσιο φορτίο κελύφους για κάθε μήνα.

| | 21 ^η Νοέμβριου | 21 ^η Δεκεμβρίου | 21 ^η Ιανουαρίου | 21 ^η Φεβρουαρίου | 21 ^η Μαρτίου |
|--|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Time (h) | q (GJ/h) | q (GJ/h) | q (GJ/h) | q (GJ/h) | q (GJ/h) |
| 1:00-2:00 | -0,01164 | -0,01522 | -0,01559 | -0,01402 | -0,01239 |
| 2:00-3:00 | -0,01139 | -0,01531 | -0,01603 | -0,01431 | -0,01265 |
| 3:00-4:00 | -0,01123 | -0,01547 | -0,01653 | -0,01465 | -0,01298 |
| 4:00-5:00 | -0,01126 | -0,0157 | -0,01693 | -0,01504 | -0,01324 |
| 5:00-6:00 | -0,01148 | -0,01595 | -0,01717 | -0,01529 | -0,0133 |
| 6:00-7:00 | -0,01174 | -0,01613 | -0,0172 | -0,01534 | -0,01316 |
| 7:00-8:00 | -0,01189 | -0,01608 | -0,01696 | -0,01516 | 0,014688 |
| 8:00-9:00 | -0,00917 | -0,01482 | -0,01448 | -0,00796 | -0,00131 |
| 9:00-10:00 | -0,00162 | -0,00829 | -0,00757 | -0,00108 | 0,005187 |
| 10:00-11:00 | 0,00452 | -0,00167 | -0,00114 | 0,004823 | 0,01021 |
| 11:00-12:00 | 0,008157 | 0,00211 | 0,002778 | 0,008441 | 0,012868 |
| 12:00-13:00 | 0,009303 | 0,00342 | 0,004496 | 0,009777 | 0,013062 |
| 13:00-14:00 | 0,011823 | 0,00565 | 0,007213 | 0,012464 | 0,015299 |
| 14:00-15:00 | 0,012359 | 0,00625 | 0,008312 | 0,013384 | 0,015837 |
| 15:00-16:00 | 0,010776 | 0,00466 | 0,006858 | 0,011844 | 0,014214 |
| 16:00-17:00 | 0,005371 | -0,00111 | 0,002302 | 0,008184 | 0,010792 |
| 17:00-18:00 | -0,00827 | -0,01197 | -0,01034 | -0,00247 | 0,00435 |
| 18:00-19:00 | -0,01073 | -0,01348 | -0,01244 | -0,01019 | 0,012425 |
| 19:00-20:00 | -0,01141 | -0,01401 | -0,01338 | -0,01128 | -0,0105 |
| 20:00-21:00 | -0,01191 | -0,01439 | -0,01406 | -0,01214 | -0,01114 |
| 21:00-22:00 | -0,01216 | -0,01472 | -0,0145 | -0,01277 | -0,01157 |
| 22:00-23:00 | -0,01224 | -0,01493 | -0,01469 | -0,01319 | -0,01184 |
| 23:00-24:00 | -0,01214 | -0,01505 | -0,01491 | -0,01351 | -0,01205 |
| 24:00-01:00 | -0,01196 | -0,01513 | -0,01518 | -0,01375 | -0,01221 |
| Ημερήσιο συνολικό φορτίο (GJ) | -0,11993 | -0,22736 | -0,21715 | -0,13325 | -0,0194 |



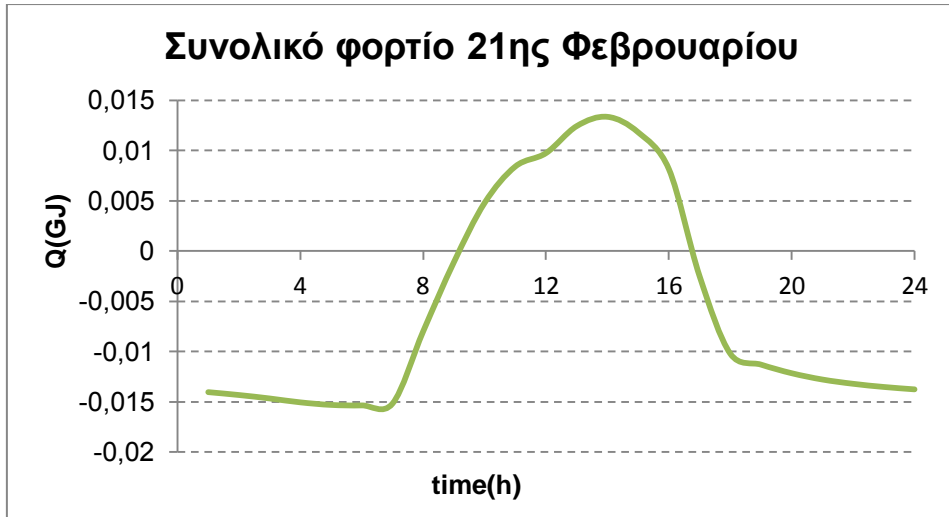
Διάγραμμα 6.3.7.1 Συνολικό ημερήσιο φορτίο συναρτήσεως του χρόνου για την 21^η Νοεμβρίου.



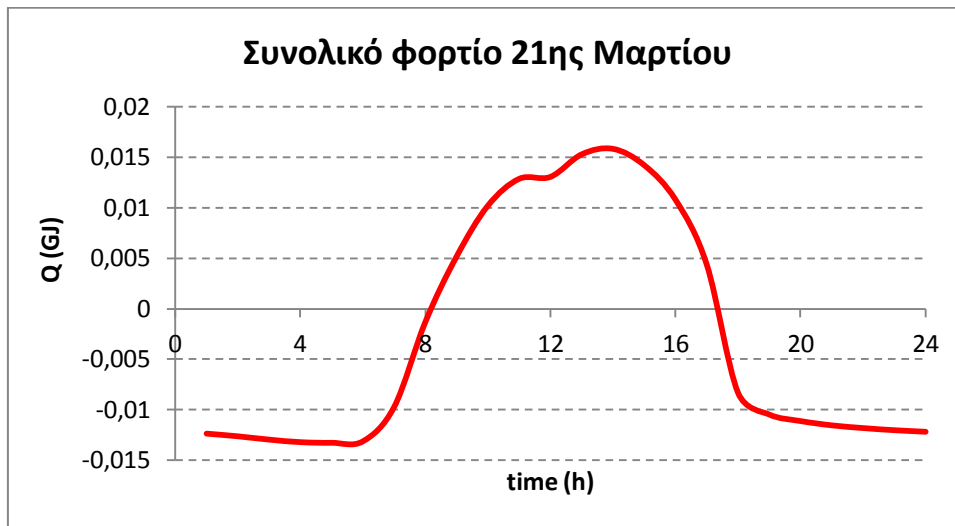
Διάγραμμα 6.3.7.2 Συνολικό ημερήσιο φορτίο συναρτήσεως του χρόνου για την 21^η Δεκεμβρίου.



Διάγραμμα 6.3.7.3 Συνολικό ημερήσιο φορτίο συναρτήσεως του χρόνου για την 21^η Ιανουαρίου.



Διάγραμμα 6.3.7.4 Συνολικό ημερήσιο φορτίο συναρτήσει του χρόνου για την 21^η Φλεβάρη.



Διάγραμμα 6.3.7.5 Συνολικό ημερήσιο φορτίο συναρτήσει του χρόνου για την 21^η Μαρτίου.

7. Διακύμανση της ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης για διάφορους συνδυασμούς των παραμέτρων μόνωσης και υαλοπινάκων

Με τον όρο ενεργειακή κατανάλωση εννοούμε την ενέργεια που απαιτείται να καταναλωθεί ώστε να επιτευχθούν συνθήκες θερμικής άνεσης στο εσωτερικό του κτιρίου.

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε την επίδραση των κύριων χαρακτηριστικών της μόνωσης και των υαλοπινάκων στην ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση θέρμανσης του κτιρίου αναφοράς που εξετάστηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου.

Από τους παράγοντες που καθορίζουν την θερμική συμπεριφορά ενός κτιρίου, βασικότερες είναι (όπως εξηγήθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο) η μόνωση και οι υαλοπίνακες καθώς παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη και μικρότερη θερμική αντίσταση αντίστοιχα.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των δομικών αυτών στοιχείων που θα εξετάσουμε είναι:

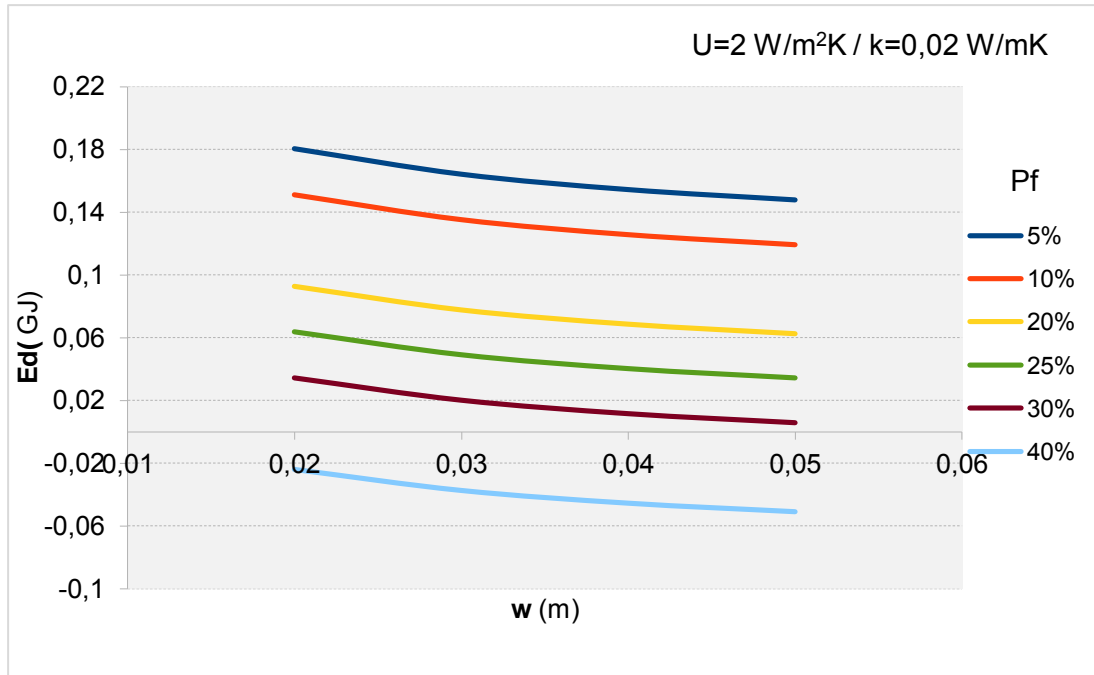
- το πάχος της μόνωσης, **w**
- ο θερμικός συντελεστής αγωγιμότητας, **k**
- ο συντελεστής θερμοπερατότητας των υαλοπινάκων, **U_f**
- το ποσοστό επιφάνειας επί του κελύφους των υαλοπινάκων, **P_f**

Μέσω διαγραμμάτων παρουσιάζεται η διακύμανση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου για κάθε μήνα με συνδυασμούς συγκεκριμένων τιμών των χαρακτηριστικών αυτών. Σε κάθε διάγραμμα διατηρούνται σταθεροί οι συντελεστές k και U_f και μεταβάλλονται κάθε φορά οι άλλοι δυο παράμετροι, δηλαδή το ποσοστό των υαλοπινάκων και το πάχος της μόνωσης

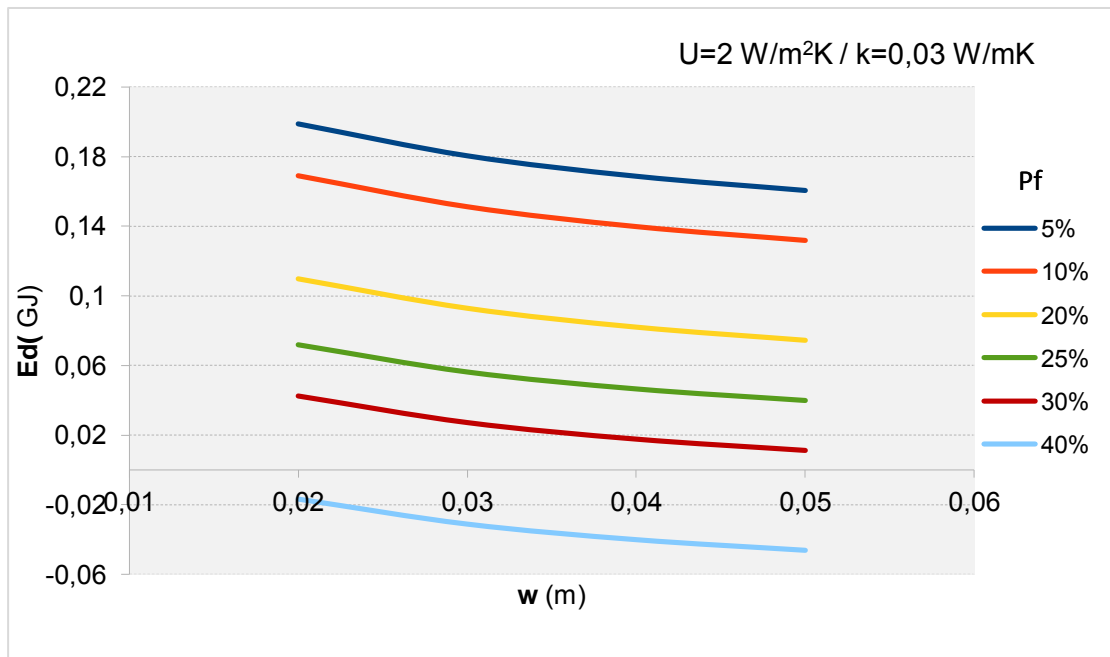
Οι τιμές των παραμέτρων που συνδυάστηκαν είναι οι εξής:

- ❖ w : 0,02 0,03 0,04 0,05 (m)
- ❖ k : 0,02 0,03 0,038 (W/mK)
- ❖ U_f : 2 2,5 3,5 (W/m²K)
- ❖ P_f : 5,10,20,25,30,40 (%)

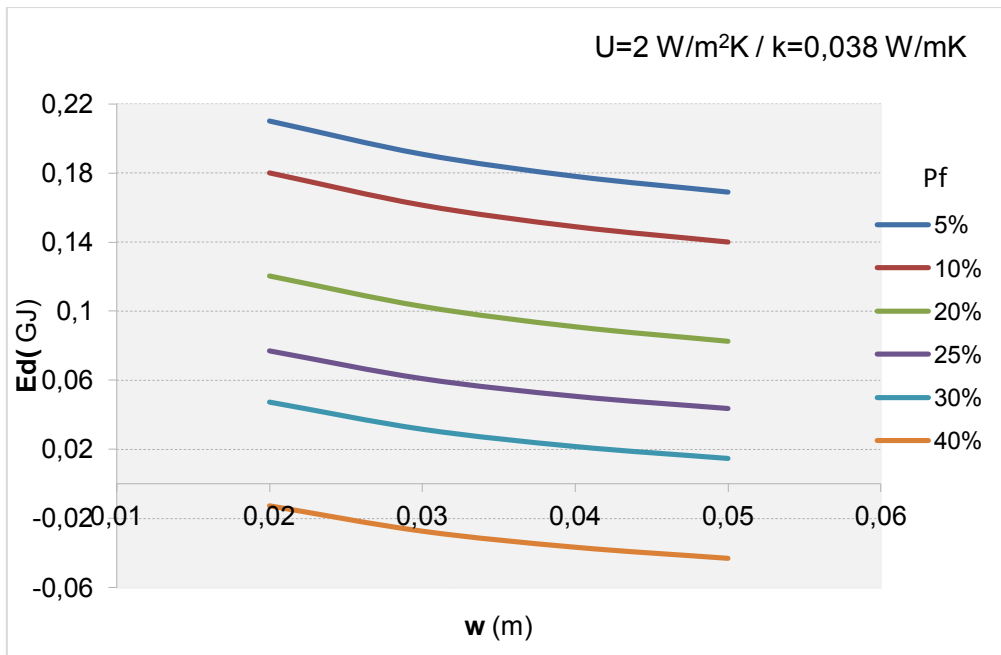
Για την 21^η Νοεμβρίου έχουμε:



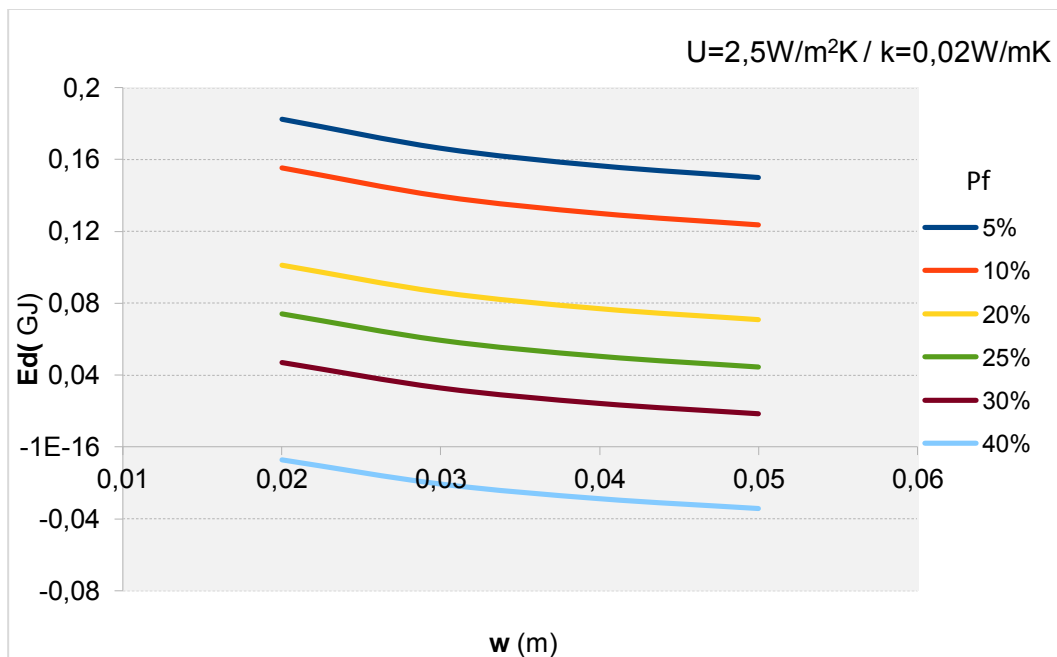
Διάγραμμα 7.1. Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Νοεμβρίου για $U=2 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,02 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



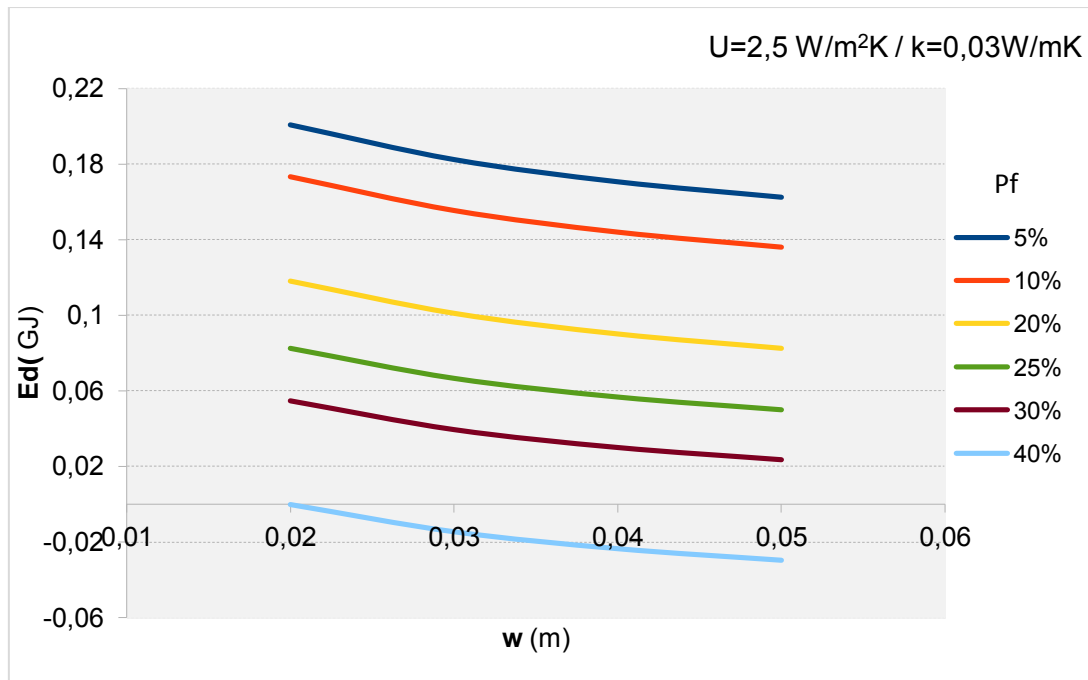
Διάγραμμα 7.2. Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Νοεμβρίου για $U=2 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,03 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



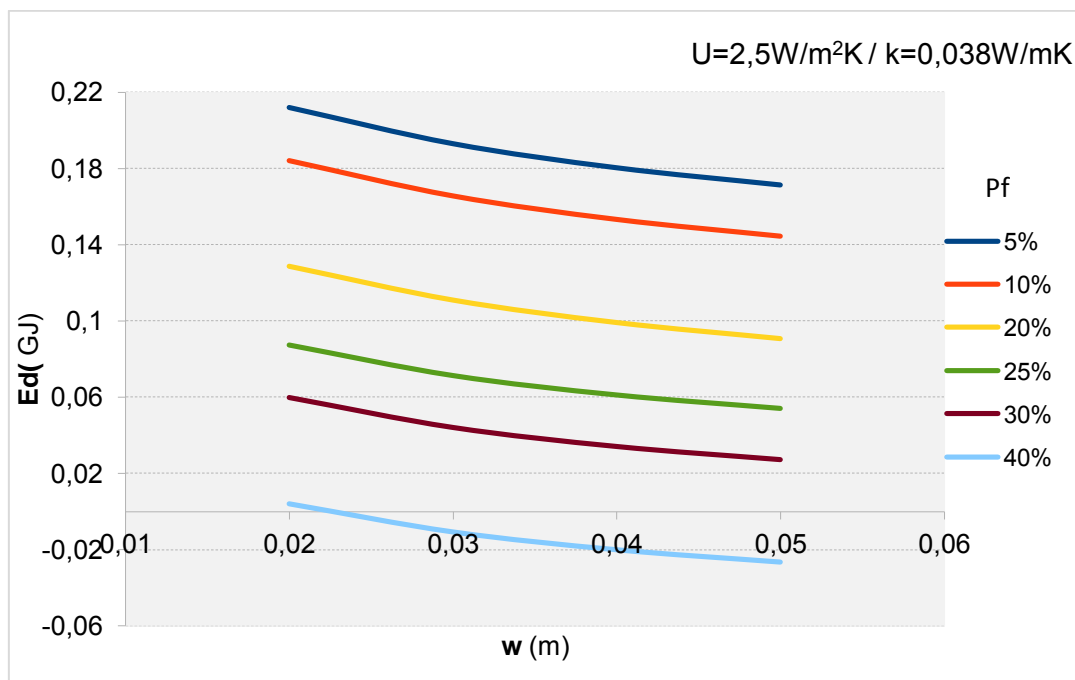
Διάγραμμα 7.3. Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Νοεμβρίου για $U=2 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,038 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



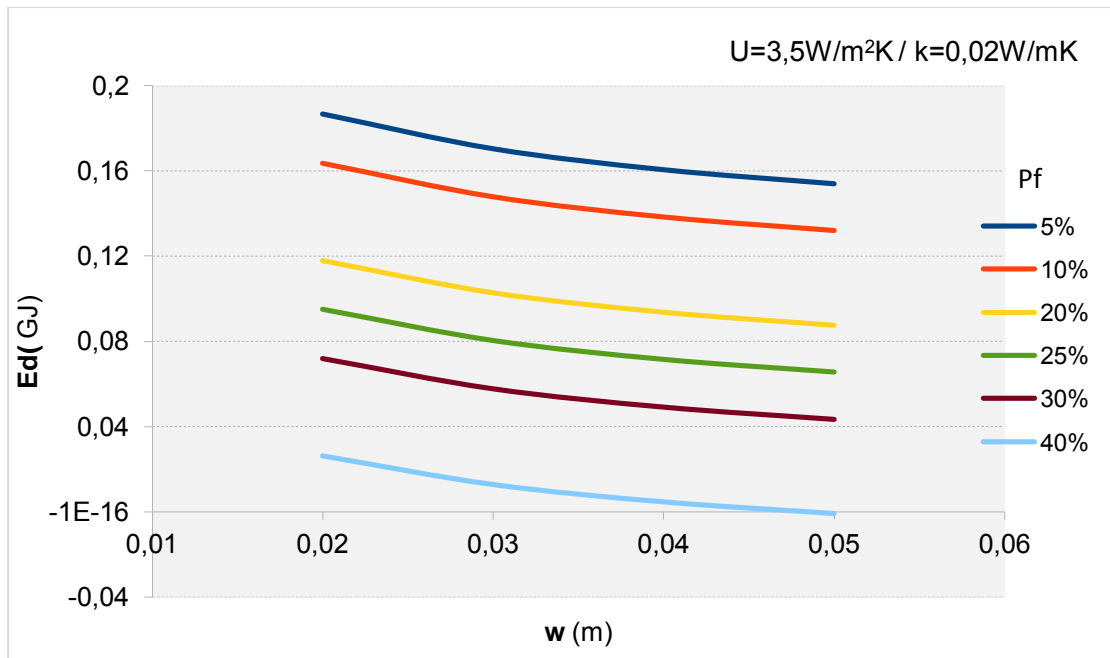
Διάγραμμα 7.4. Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Νοεμβρίου για $U=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,02 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



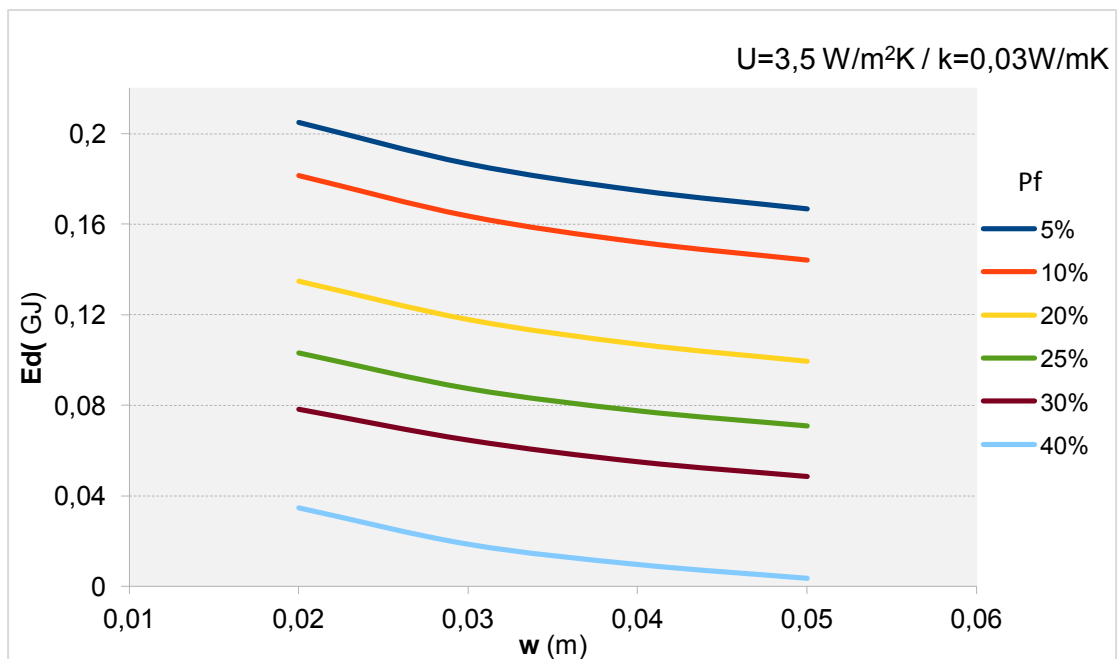
Διάγραμμα 7.5. Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Νοεμβρίου για $U=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,03 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



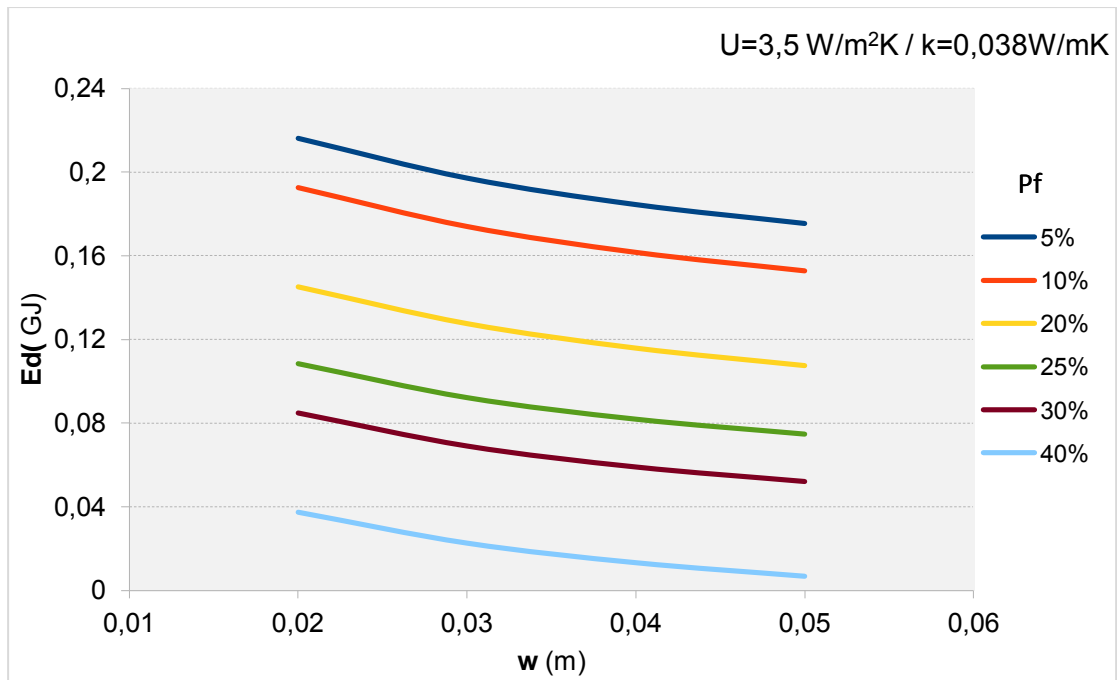
Διάγραμμα 7.6. Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Νοεμβρίου για $U=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,038 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



Διάγραμμα 7.7. Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Νοεμβρίου για $U=3,5\text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,02\text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .

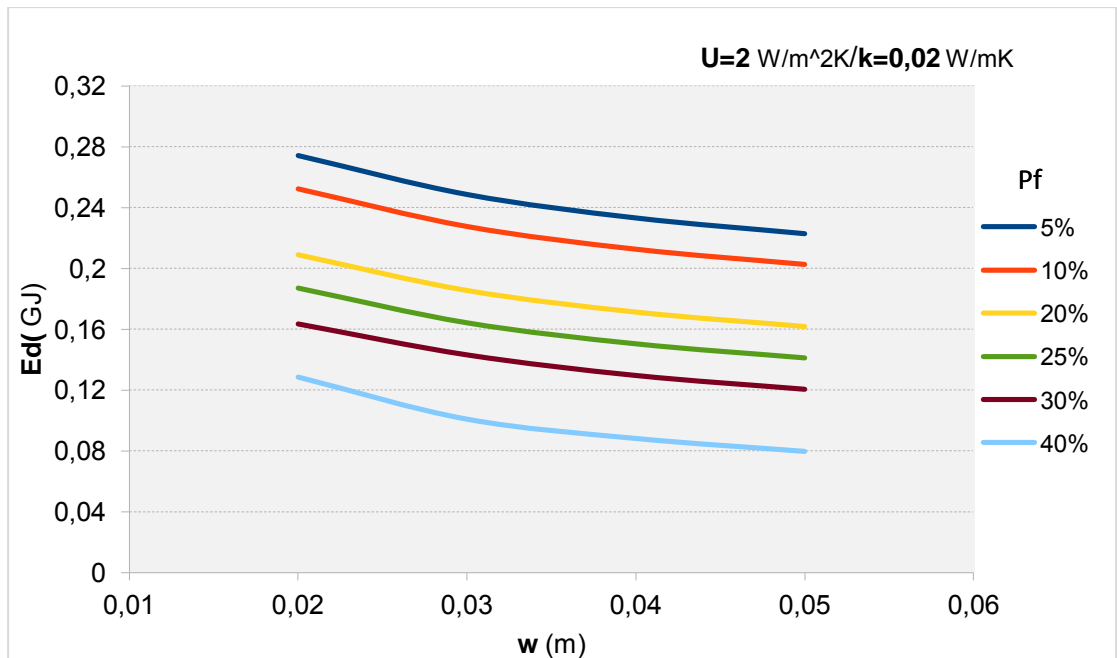


Διάγραμμα 7.8 Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Νοεμβρίου για $U=3,5\text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,03\text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .

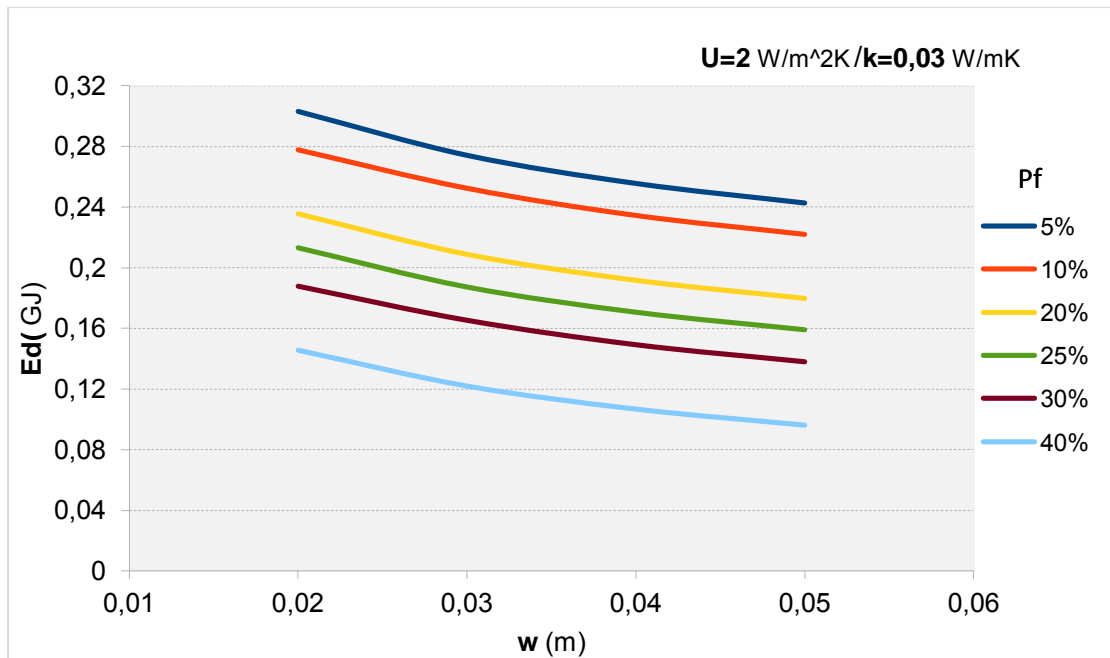


Διάγραμμα 7.9. Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Νοεμβρίου για $U=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,038 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .

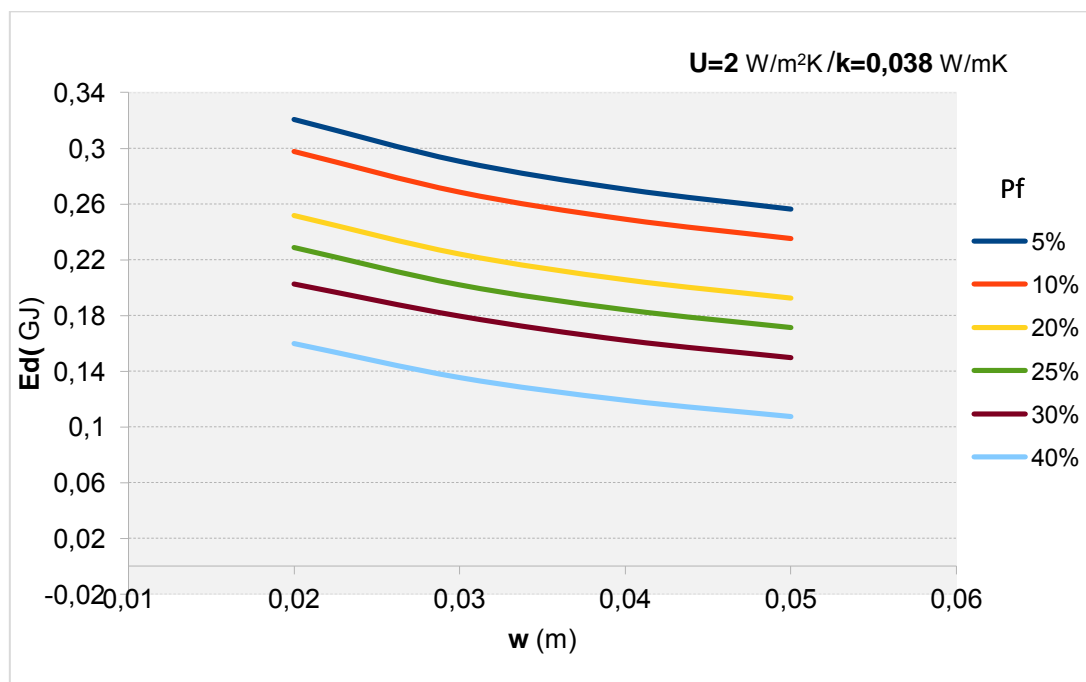
Για την 21^η Δεκεμβρίου έχουμε:



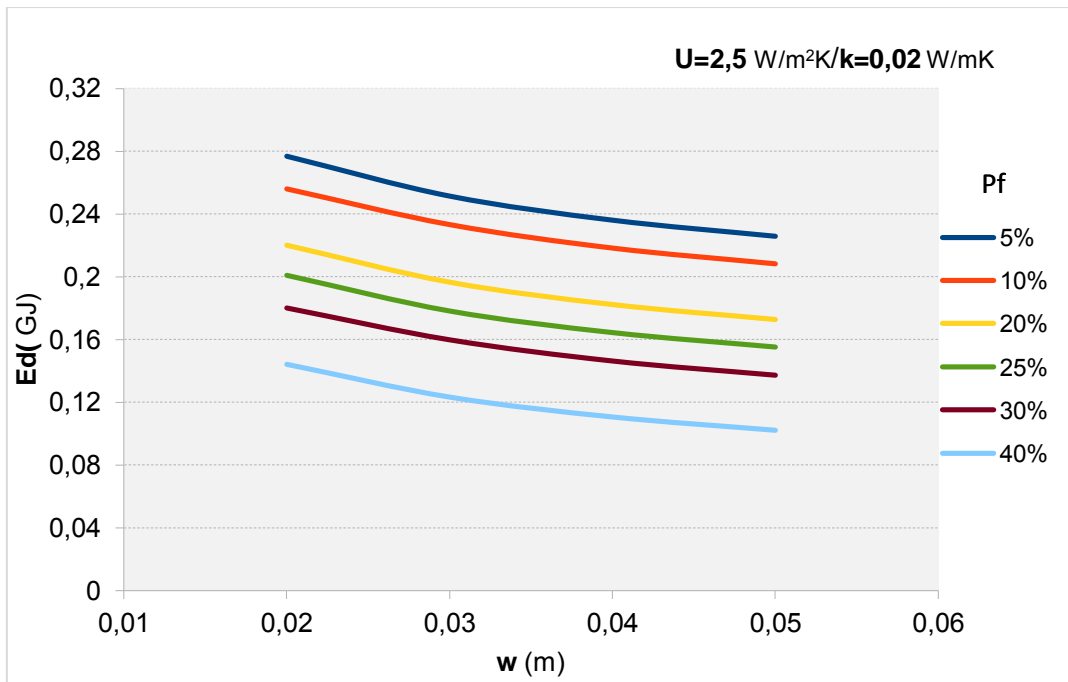
Διάγραμμα 7.10 Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Δεκεμβρίου για $U=2 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,02 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



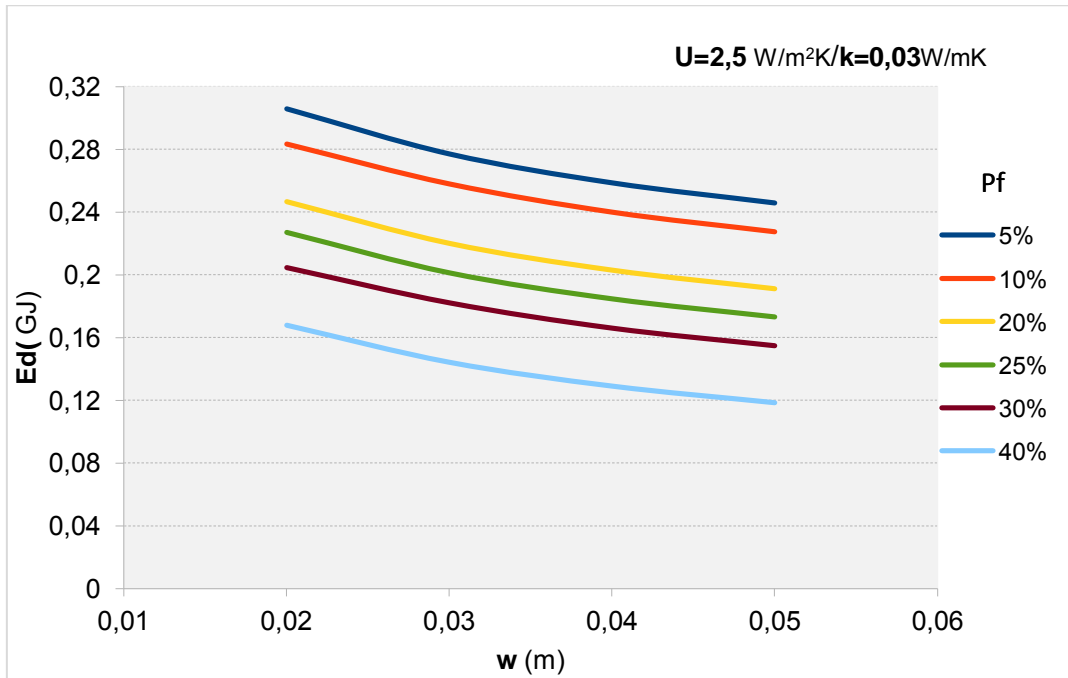
Διάγραμμα 7.11 Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Δεκεμβρίου για $U=2 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,03 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



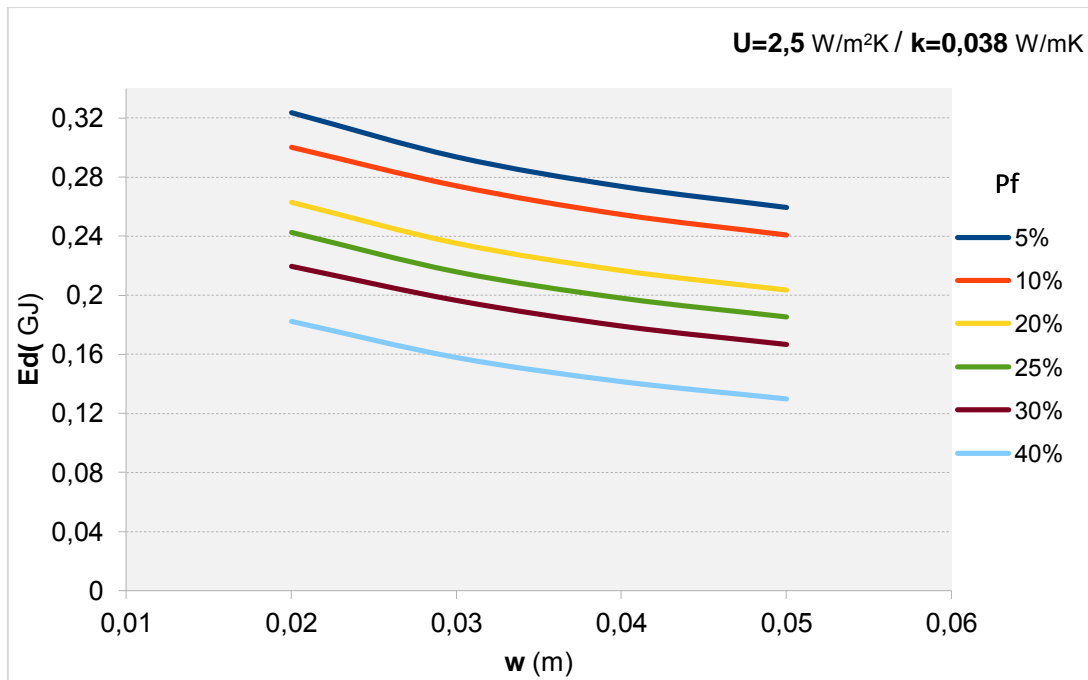
Διάγραμμα 7.12. Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Δεκεμβρίου για $U=2 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,038 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



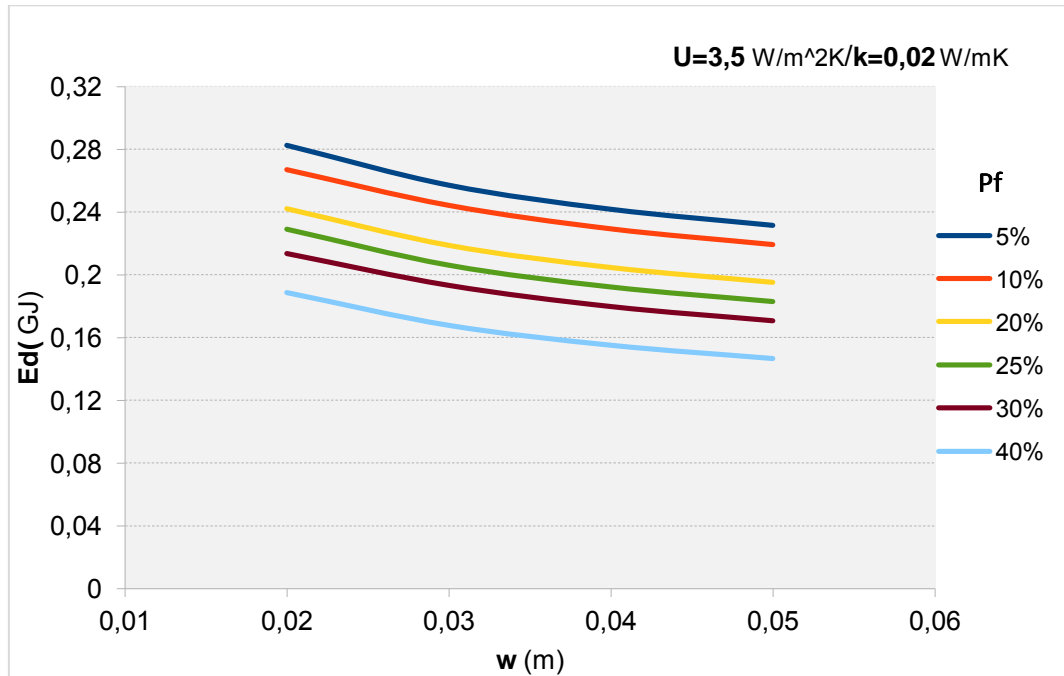
Διάγραμμα 7.13. Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Δεκεμβρίου για $U=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,02 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



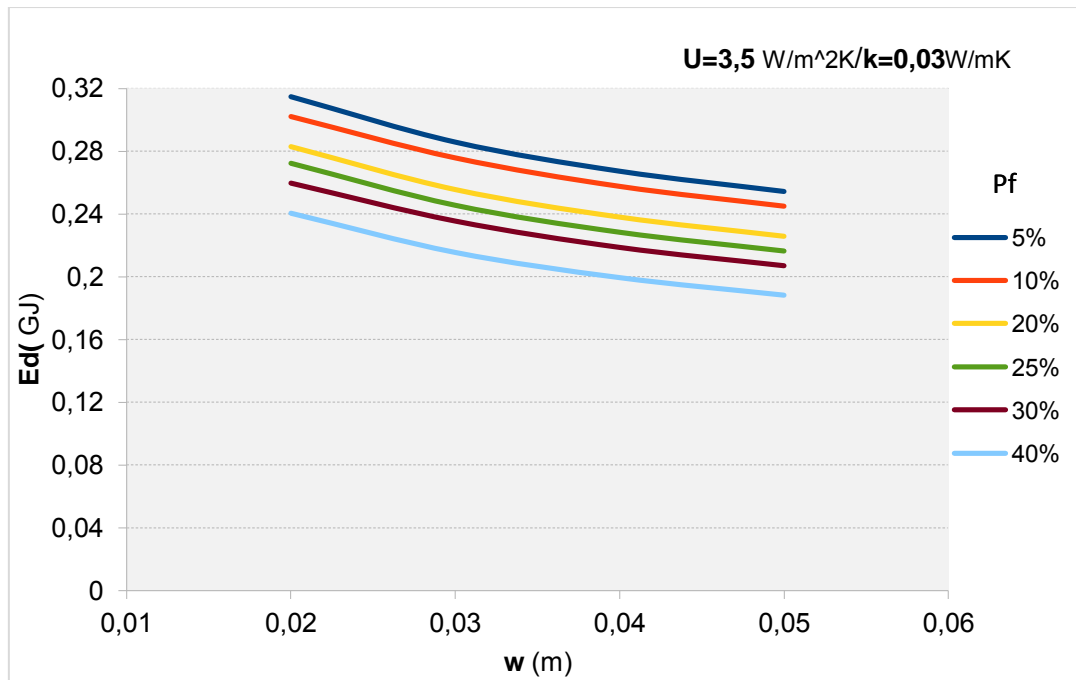
Διάγραμμα 7.14. Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Δεκεμβρίου για $U=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,03 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



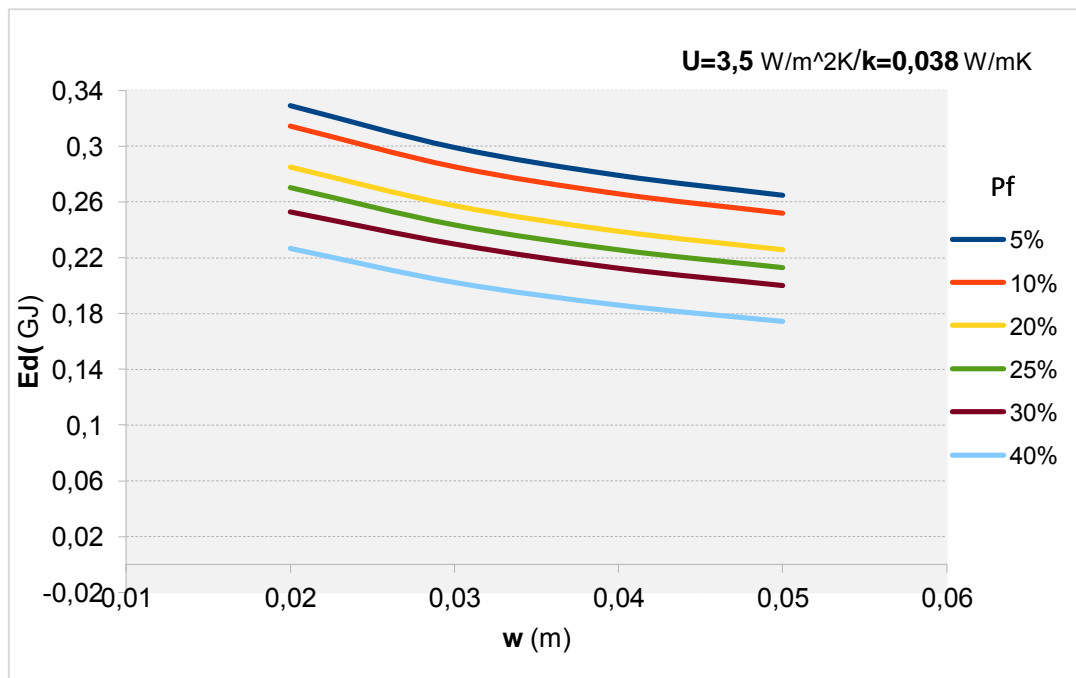
Διάγραμμα 7.15. Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Δεκεμβρίου για $U=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,038 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



Διάγραμμα 7.16. Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Δεκεμβρίου για $U=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,02 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .

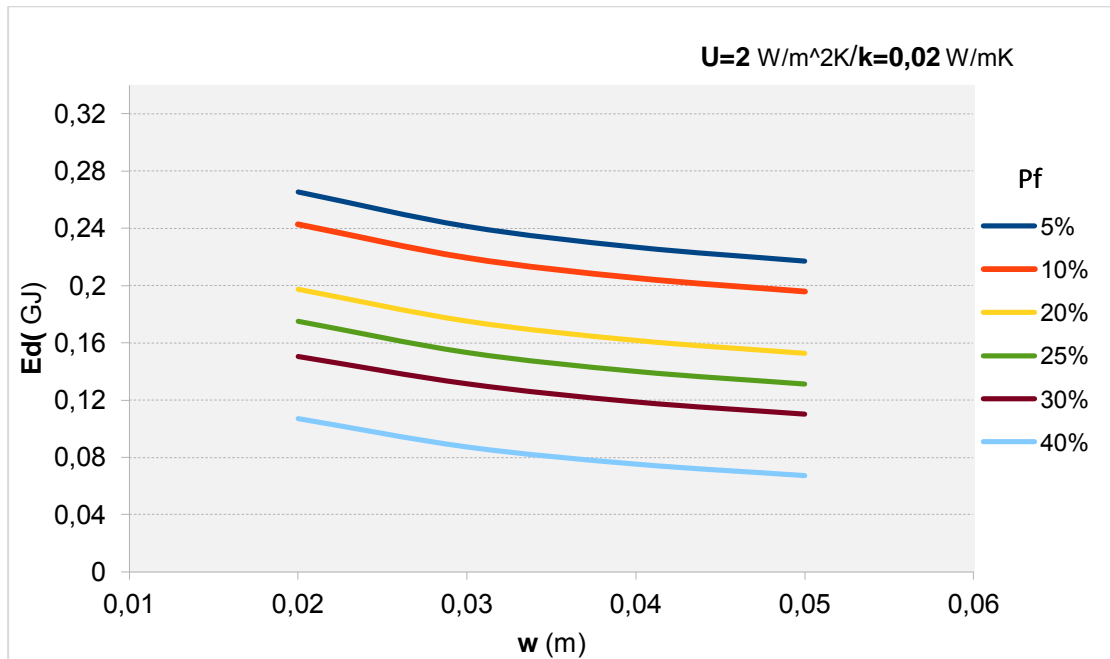


Διάγραμμα 7.17. Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Δεκεμβρίου για $U=3,5W/m^2K$ και $k=0,03 W/mK$ για διάφορα P_f .

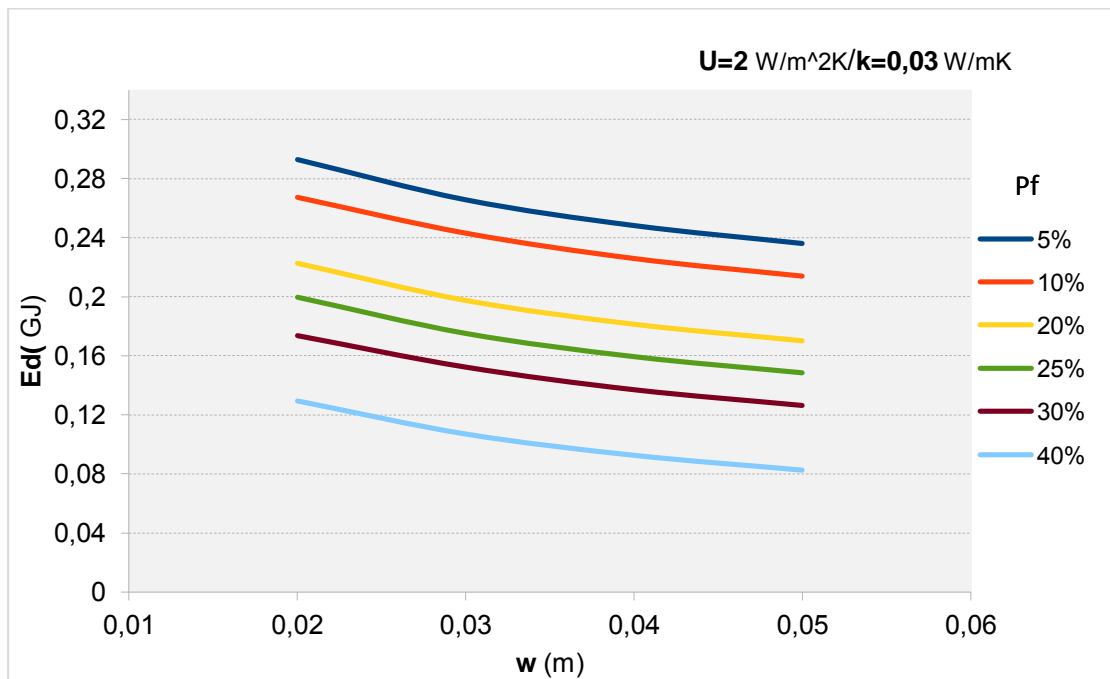


Διάγραμμα 7.18. Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Δεκεμβρίου για $U=3,5 W/m^2K$ και $k=0,038 W/mK$ για διάφορα P_f .

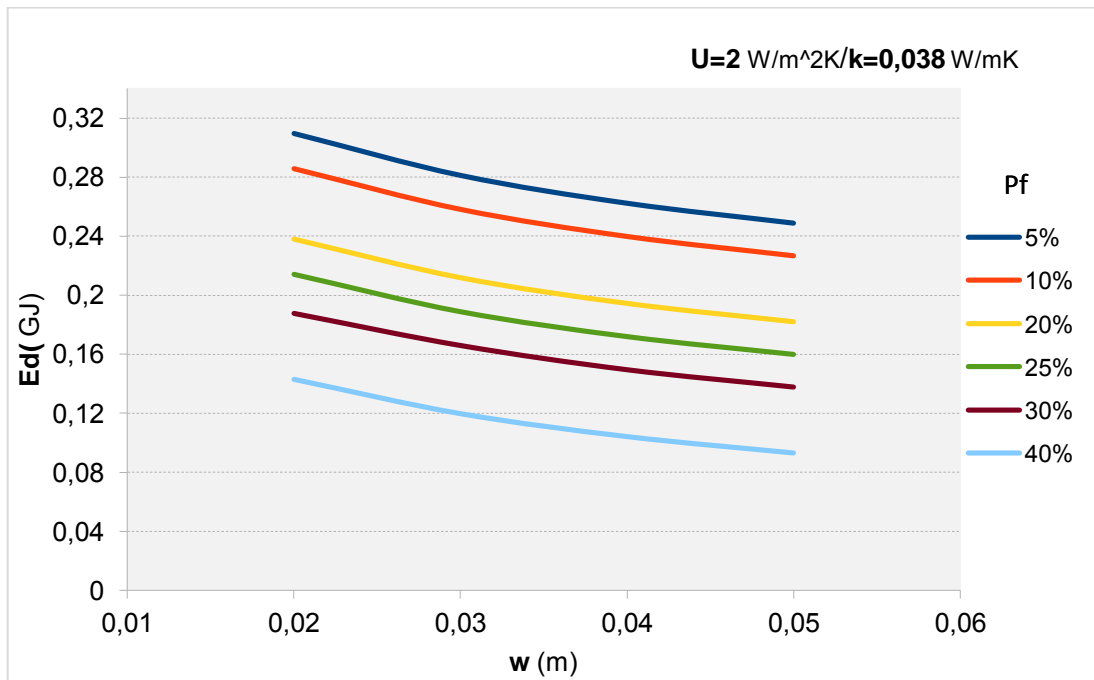
Για την 21^η Ιανουαρίου έχουμε:



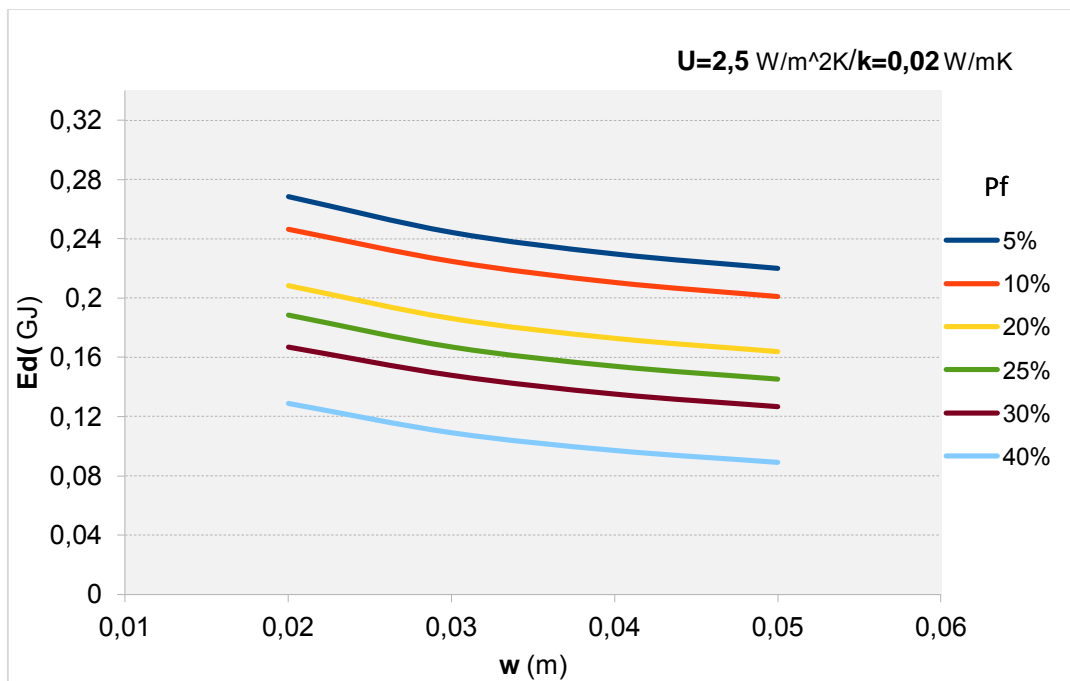
Διάγραμμα 7.19. Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Ιανουαρίου για $U=2 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,02 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



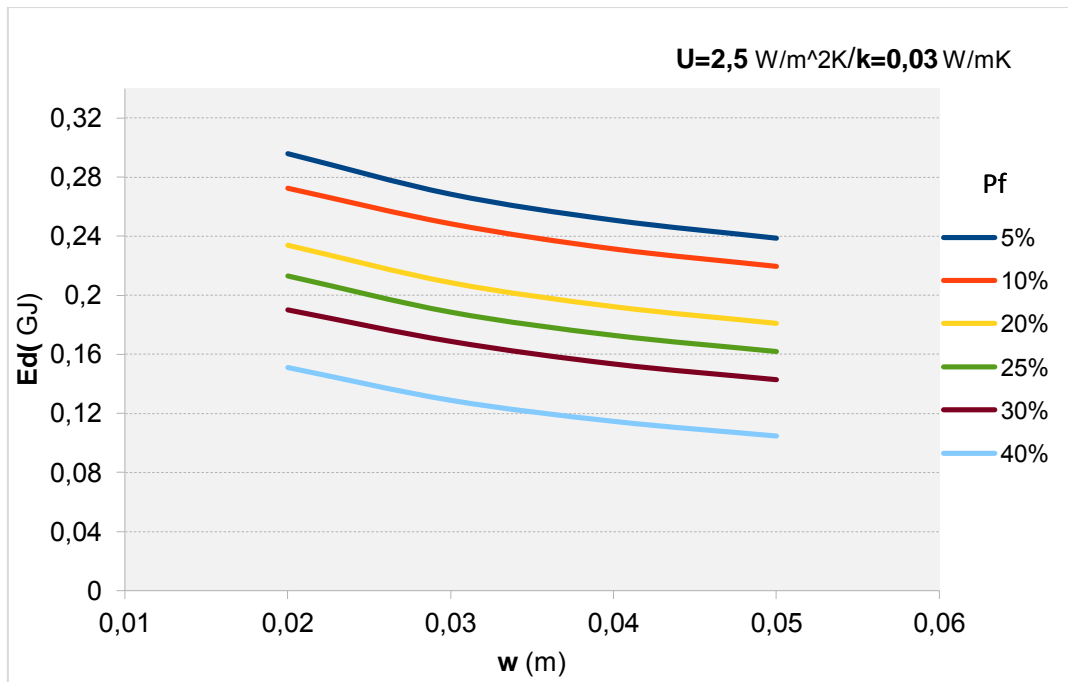
Διάγραμμα 7.20 Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Ιανουαρίου για $U=2 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,03 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



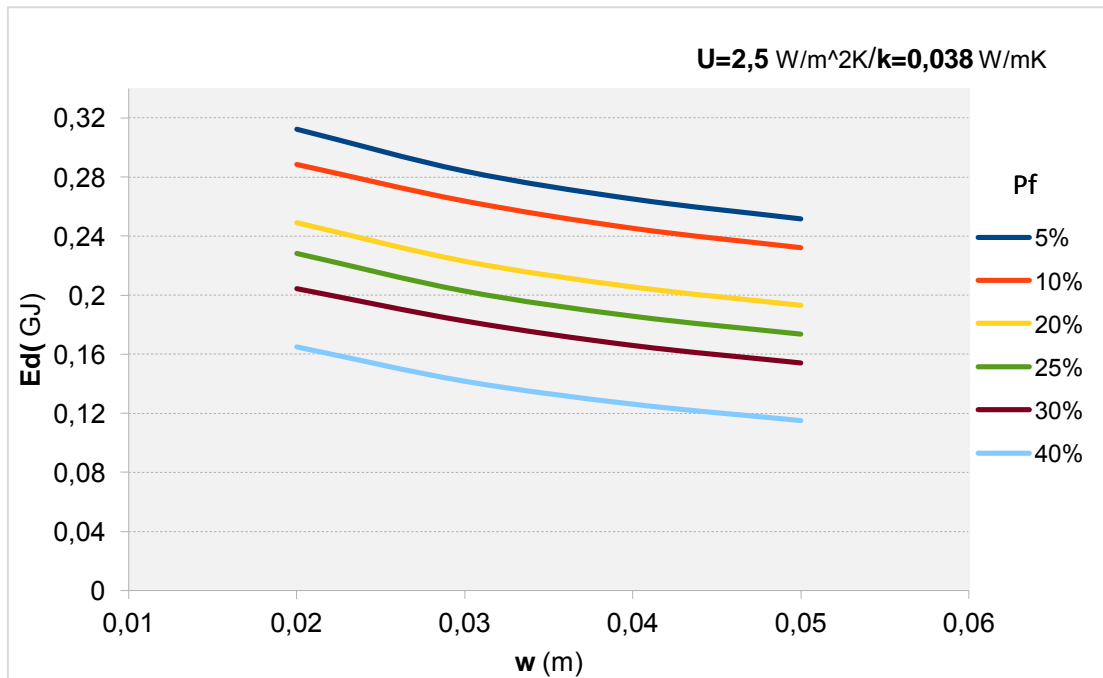
Διάγραμμα 7.21 Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Ιανουαρίου για $U=2 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,038 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



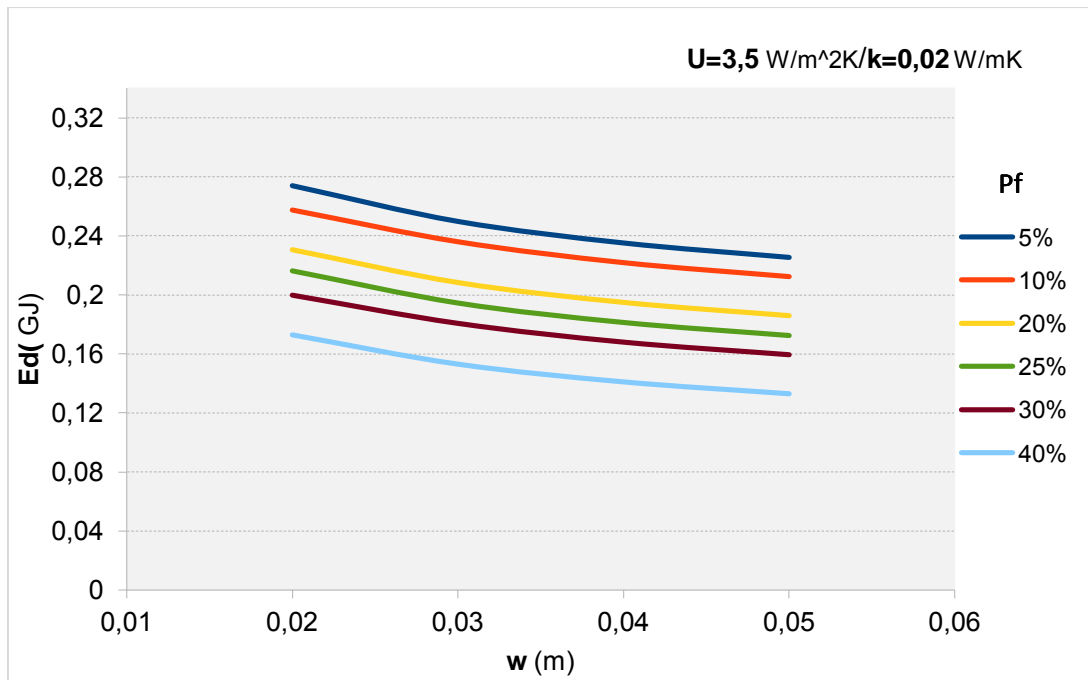
Διάγραμμα 7.22. Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Ιανουαρίου για $U=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,02 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



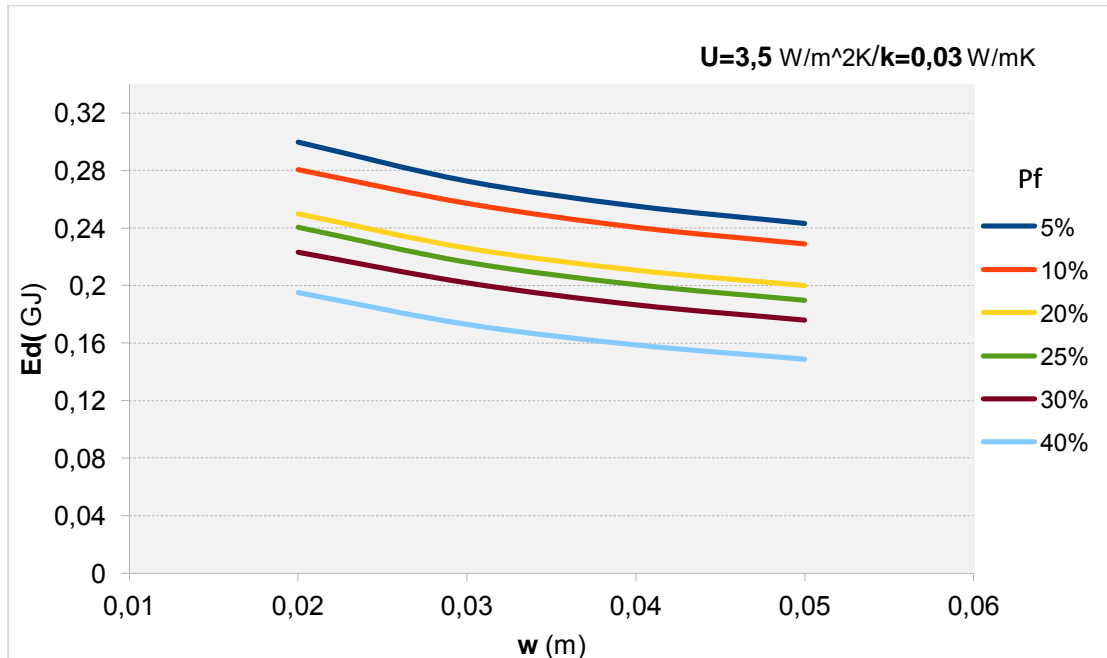
Διάγραμμα 7.23 Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Ιανουαρίου για $U=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,03 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



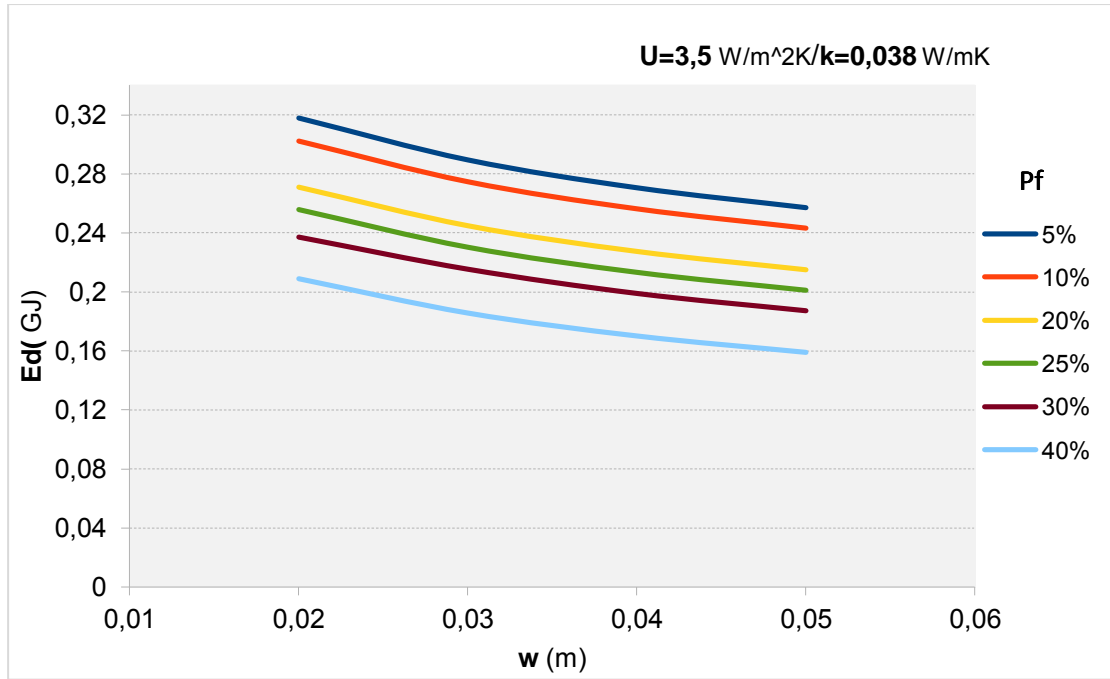
Διάγραμμα 7.24 Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Ιανουαρίου για $U=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,038 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



Διάγραμμα 7.25 Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Ιανουαρίου για $U=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,02 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .

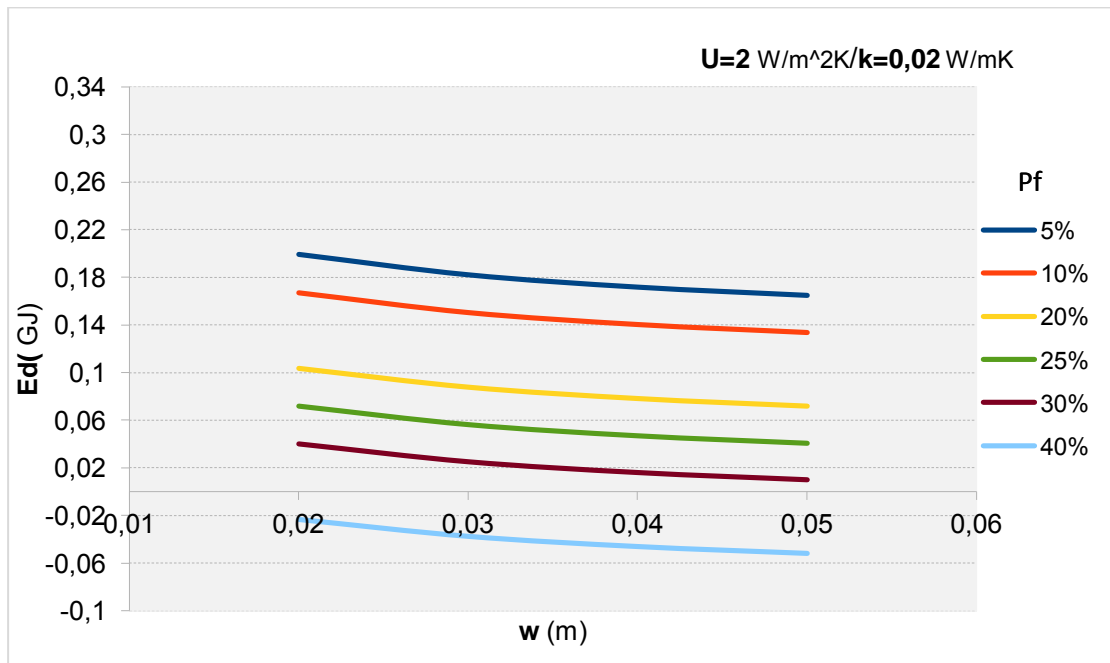


Διάγραμμα 7.26. Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Ιανουαρίου για $U=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,03 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .

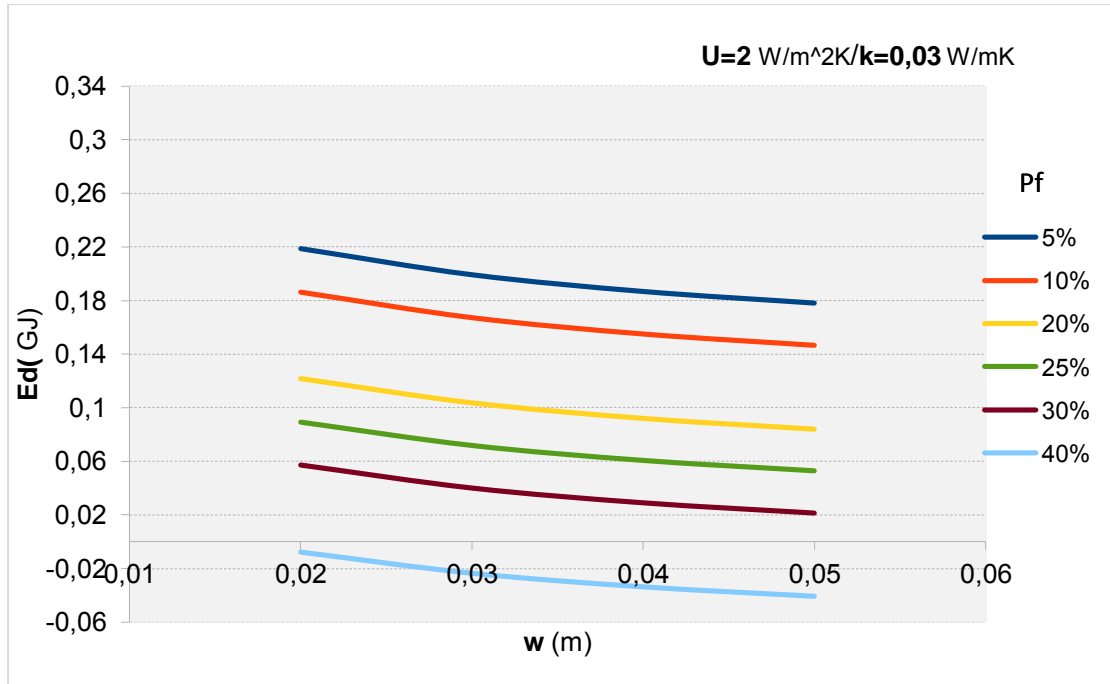


Διάγραμμα 7.27. Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Ιανουαρίου για $U=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,038 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .

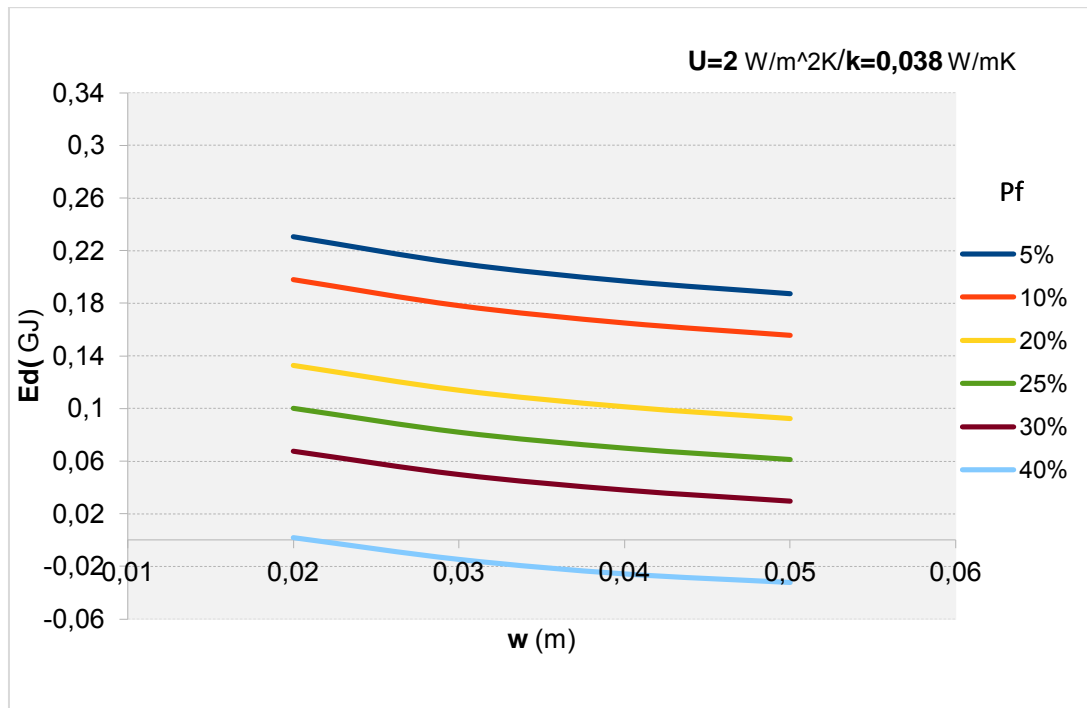
Για την 21^η Φεβρουαρίου έχουμε:



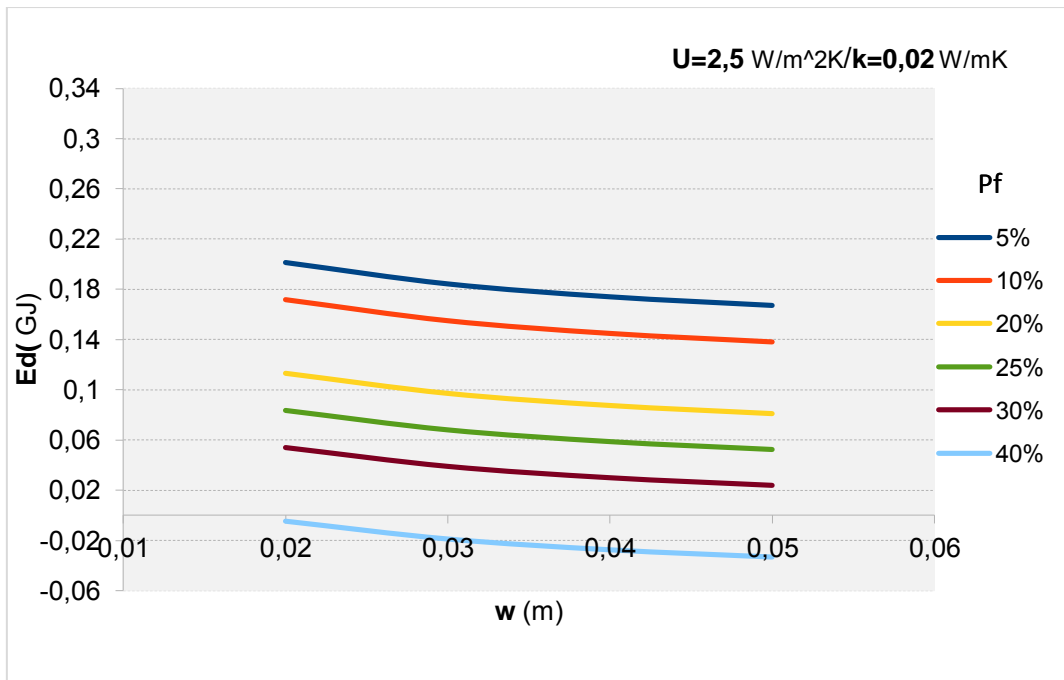
Διάγραμμα 7.28. Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Φεβρουαρίου για $U=2 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,02 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



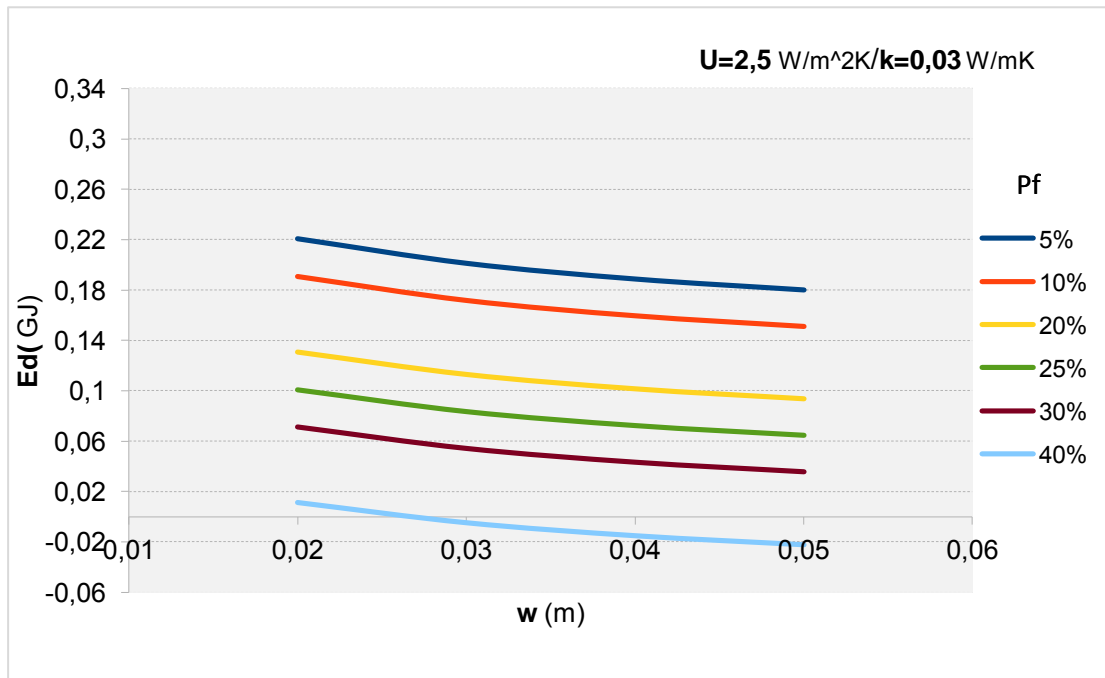
Διάγραμμα 7.29 Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Φεβρουαρίου για $U=2 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,03 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



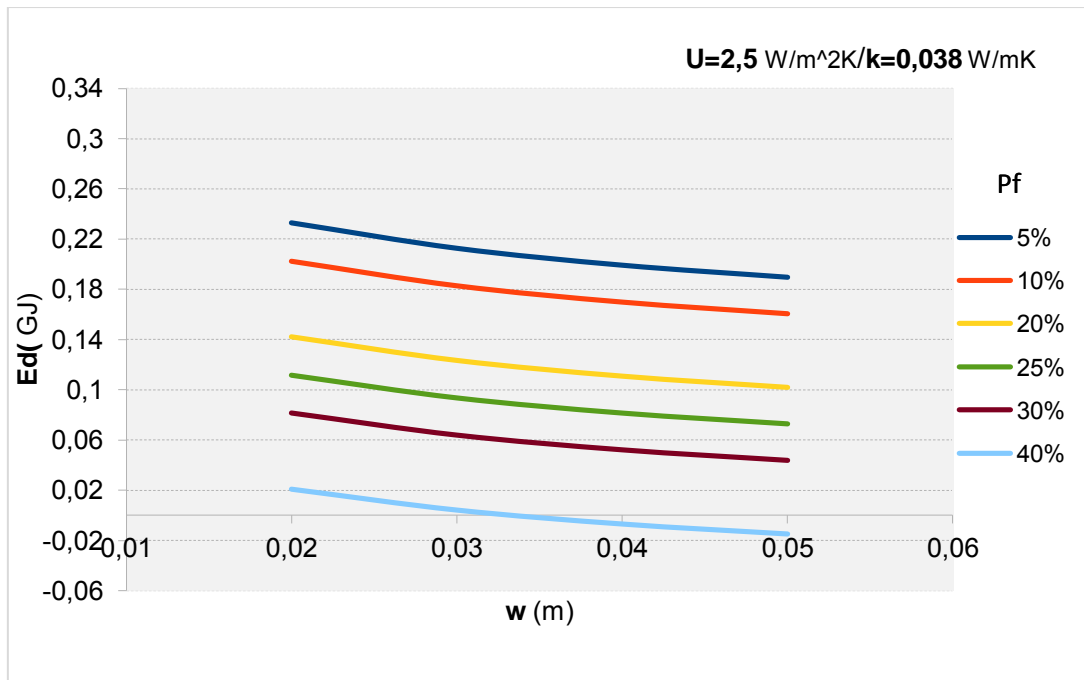
Διάγραμμα 7.30 Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Φεβρουαρίου για $U=2 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,038 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



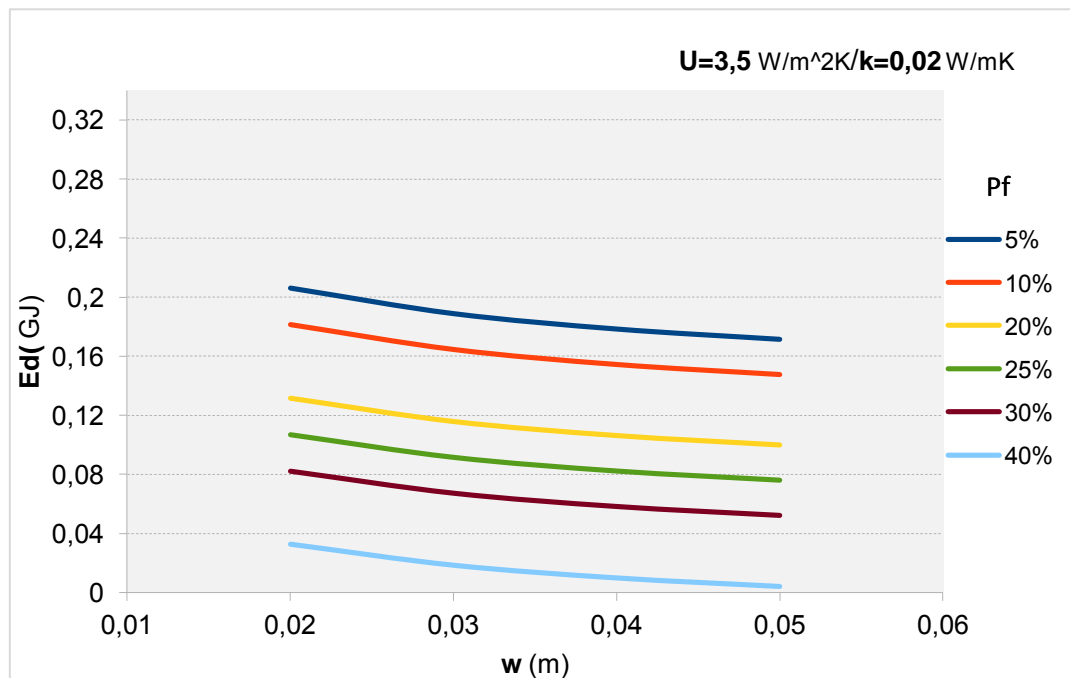
Διάγραμμα 7.31 Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Φεβρουαρίου για $U=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,02 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



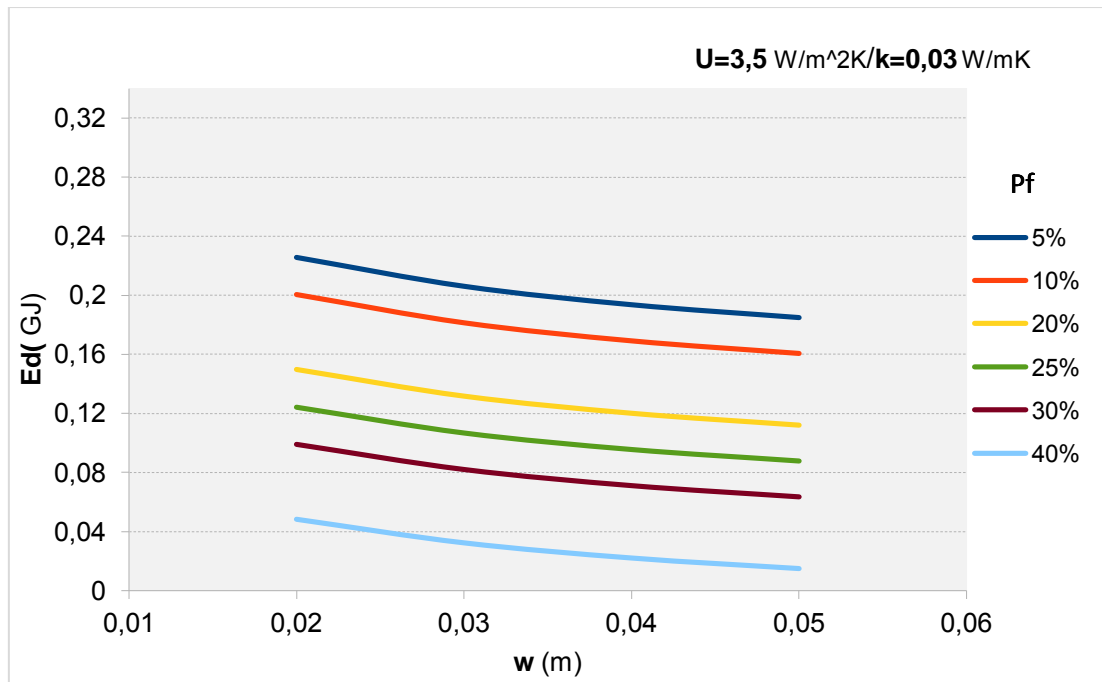
Διάγραμμα 7.32 Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Φεβρουαρίου για $U=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,03 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



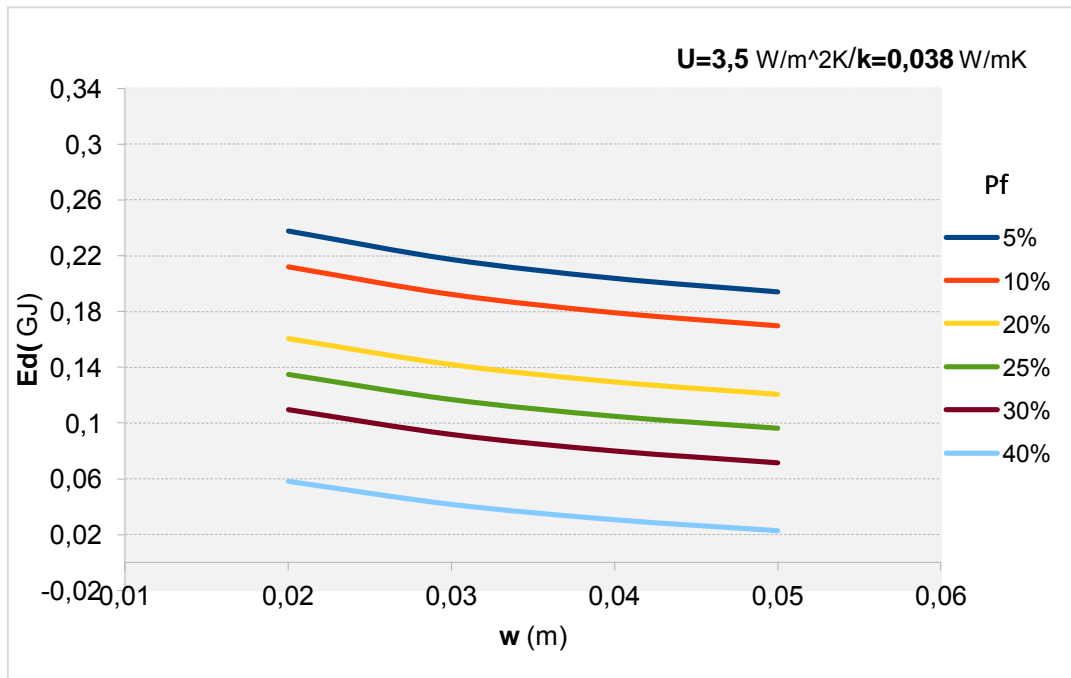
Διάγραμμα 7.33 Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Φεβρουαρίου για $U=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,038 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



Διάγραμμα 7.34 Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Φεβρουαρίου για $U=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,02 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .

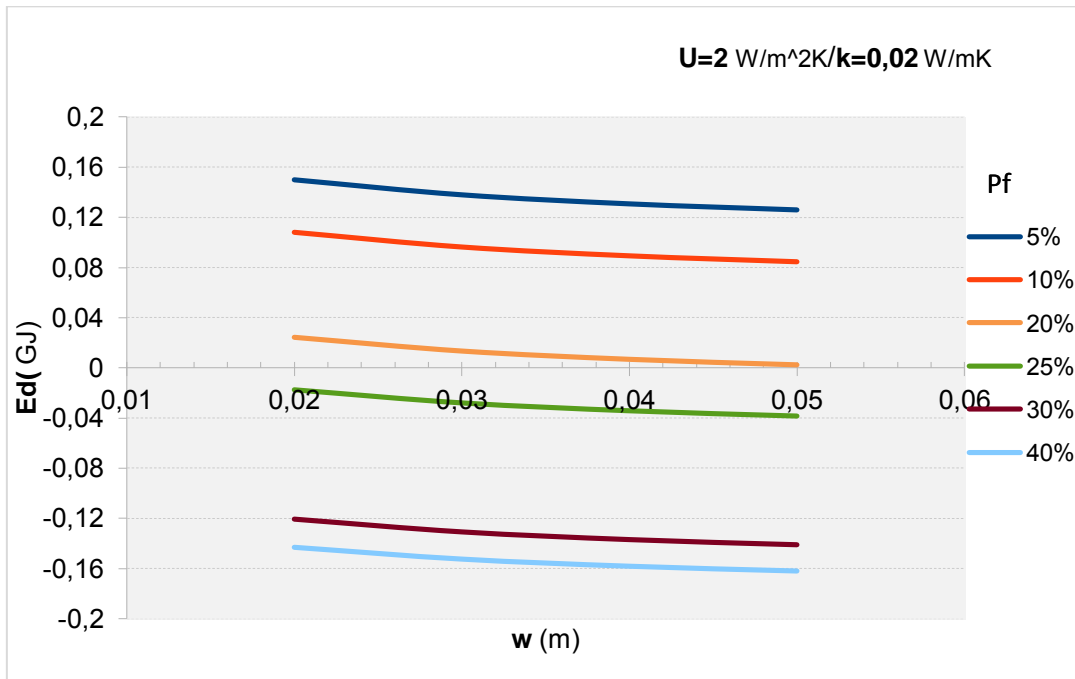


Διάγραμμα 7.35 Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Φεβρουαρίου για $U=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,03 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .

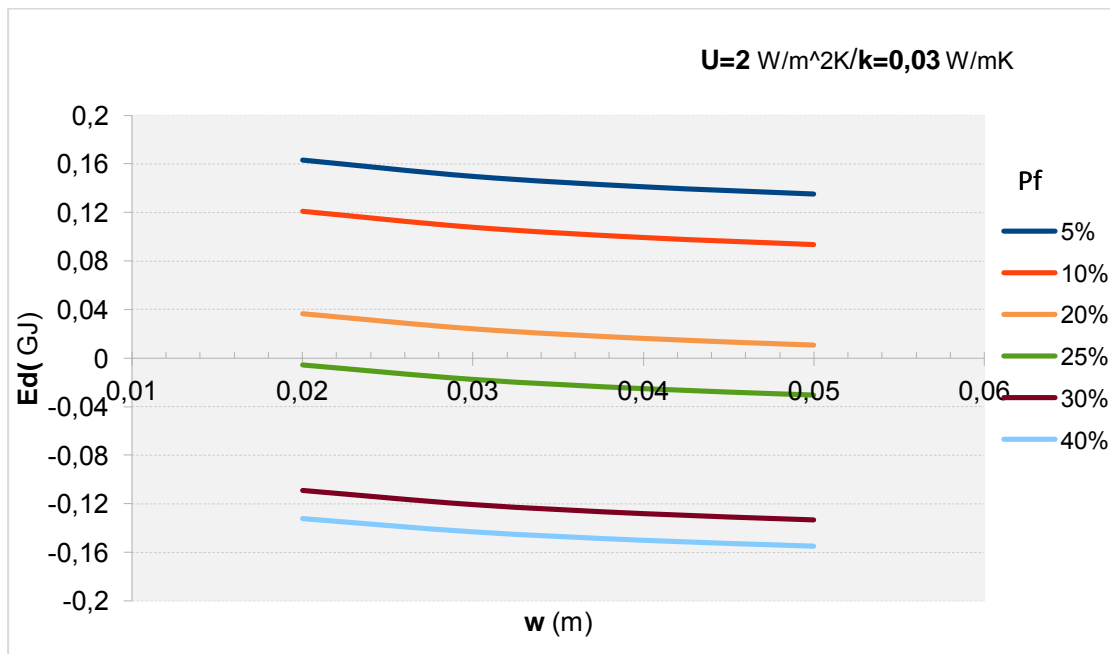


Διάγραμμα 7.36 Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Φεβρουαρίου για $U=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,038 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .

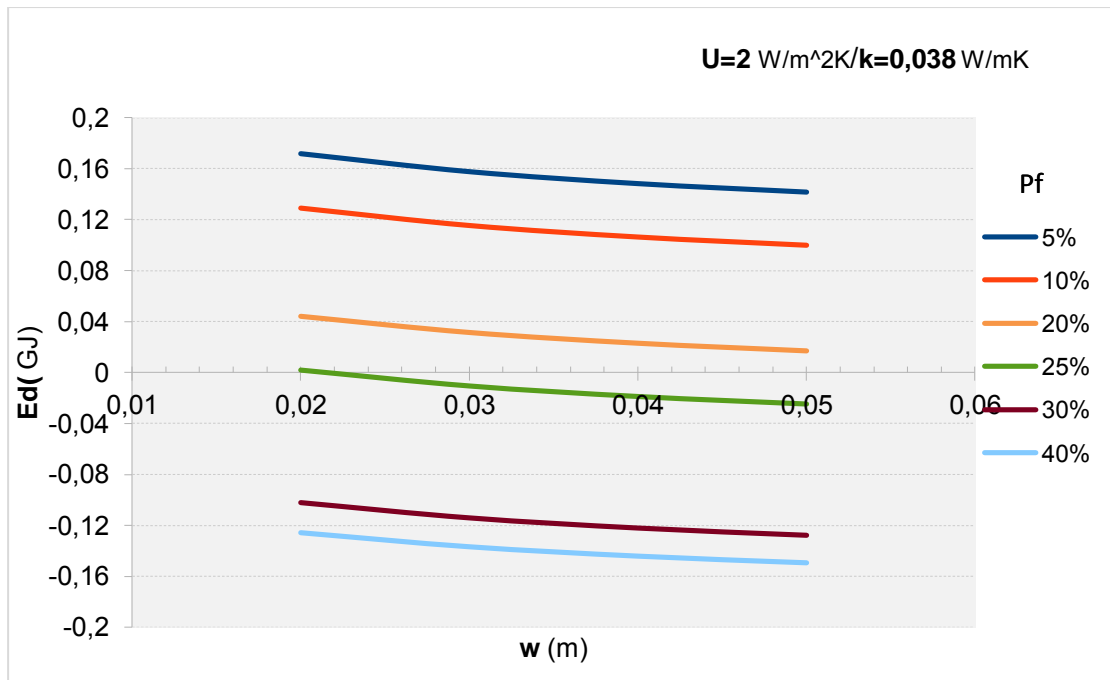
Για την 21^η Μαρτίου έχουμε:



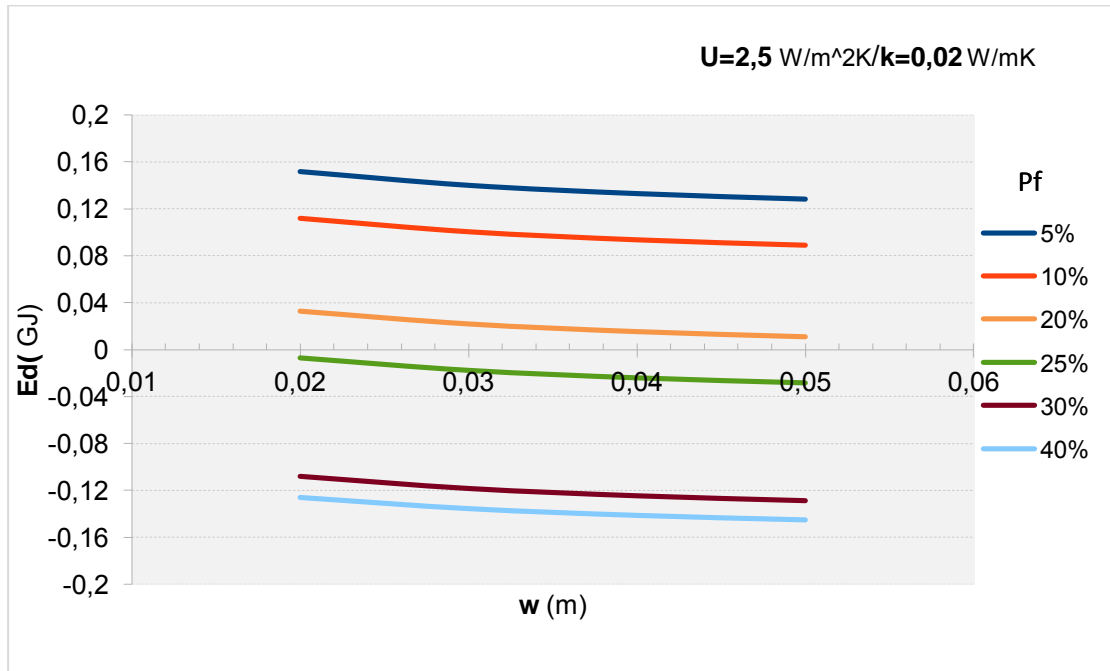
Διάγραμμα 7.37 Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Μαρτίου για $U=2 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,02 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



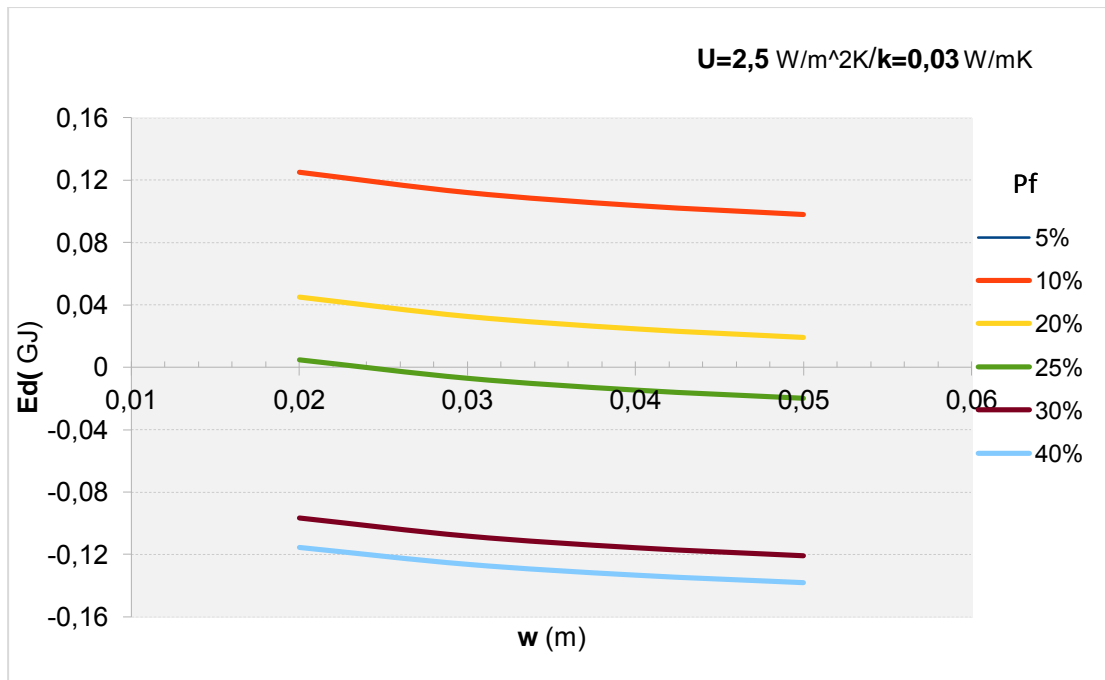
Διάγραμμα 7.38 Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Μαρτίου για $U=2 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,03 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



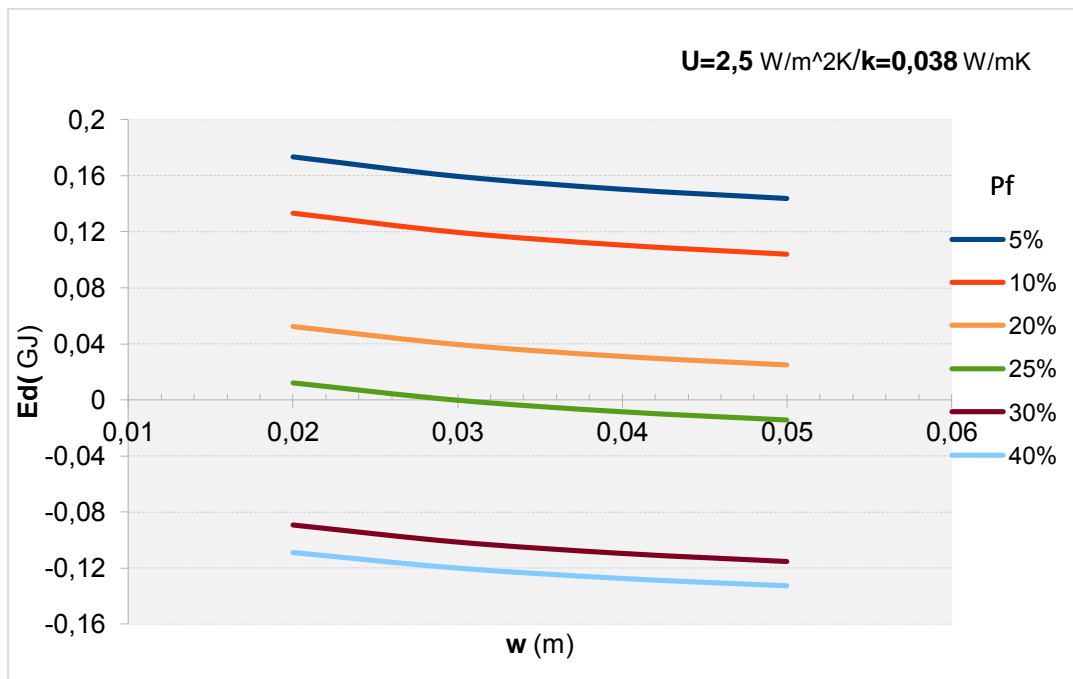
Διάγραμμα 7.39 Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Μαρτίου για $U=2 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,038 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



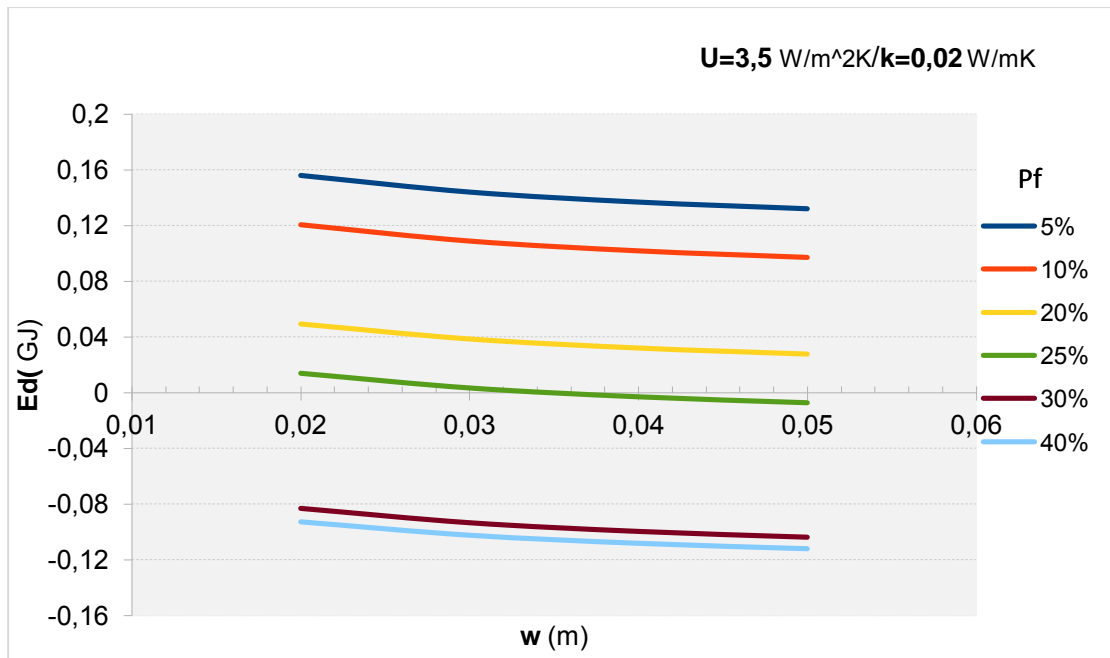
Διάγραμμα 7.40 Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Μαρτίου για $U=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,02 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



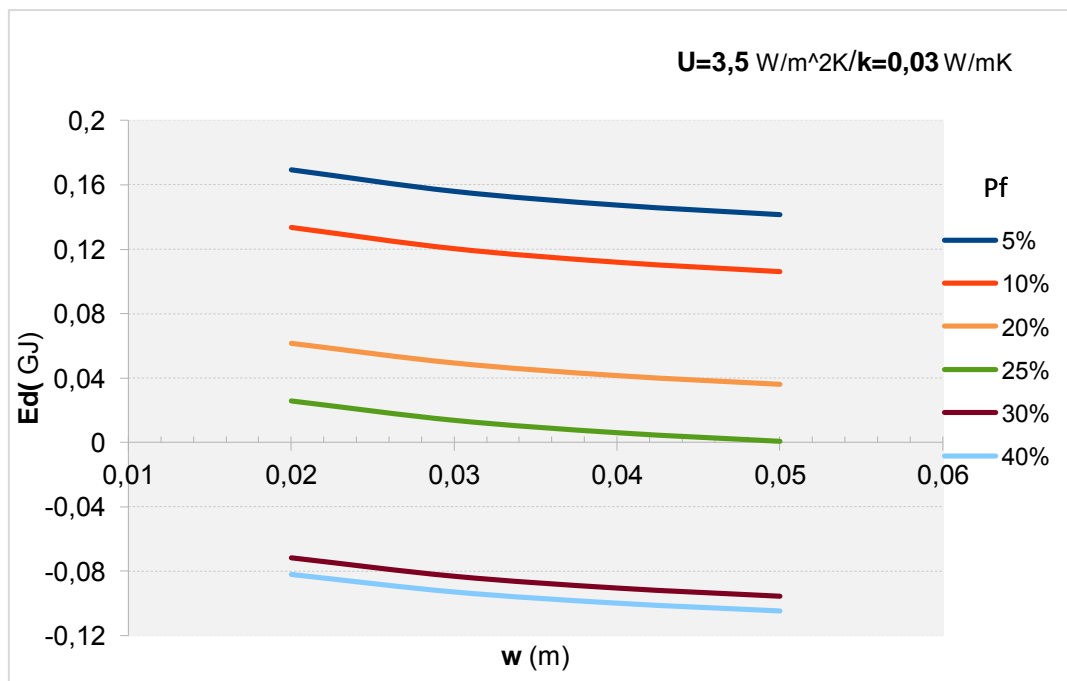
Διάγραμμα 7.41 Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Μαρτίου για $U=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,03 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



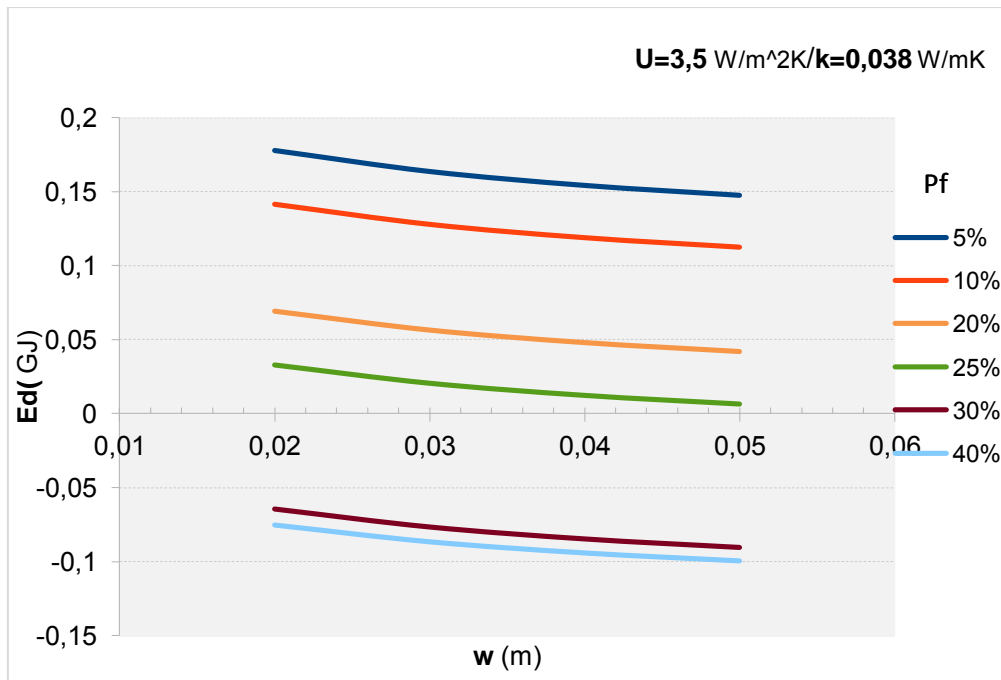
Διάγραμμα 7.42 Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Μαρτίου για $U=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,038 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



Διάγραμμα 7.43 Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Μαρτίου για $U=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,02 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



Διάγραμμα 7.44 Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Μαρτίου για $U=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,03 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .



Διάγραμμα 7.45 Ενεργειακή κατανάλωση E_d του κτιρίου αναφοράς για την 21^η Μαρτίου για $U=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $k=0,038 \text{ W/mK}$ για διάφορα P_f .

Από τα διαγράμματα 7.1-7.45 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- ❖ Διατηρώντας σταθερές τις υπόλοιπες παραμέτρους (k, U_f, w), αύξηση του ποσοστού των υαλοπινάκων P_f επι της συνολικής επιφάνειας του κελύφους προκαλεί μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης, γεγονός που οφείλεται κυρίως στην αύξηση του θερμικού κέρδους λόγω υαλοπινάκων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα διαγράμματα του Μαρτίου όπου αύξηση του ποσοστού P_f από 5% σε 40% όχι απλά μειώνει τις συνολικές απώλειες του κελύφους αλλά οδηγεί σε θετικό συνολικό φορτίο.
- ❖ Διατηρώντας σταθερές τις υπόλοιπες παραμέτρους (k, U_f, P_f), αύξηση του πάχους της μόνωσης w προκαλεί επίσης μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης, αφού αυξάνοντας τη μόνωση μειώνονται οι απώλειες δι'αγωγής μέσω των τοίχων και της οροφής.
- ❖ Εκτός από τα παραπάνω, παρατηρούμε ότι για σταθερό k , αύξηση του συντελεστή θερμοπερατότητας U_f προκαλεί και αύξηση της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας καθώς αυξάνεται η θερμική αντίσταση των υαλοπινάκων και έτσι αυξάνονται οι απώλειες σε σχέση με το θερμικό κέρδος από αυτούς.

- ❖ Για σταθερό συντελεστή θερμοπερατότητας U_f , αύξηση του συντελεστή αγωγιμότητας της μόνωσης k προκαλεί αύξηση της ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης λόγω της μείωσης της θερμικής αντίστασης της μόνωσης και κατά συνέπεια της αύξησης των απωλειών μέσω των τοίχων.

8. Καμπύλες ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης

8.1 Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης για το κτίριο αναφοράς

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται ορισμένες ενδεικτικές καμπύλες της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης του κτιρίου αναφοράς οι οποίες αντιστοιχούν σε πάχη μόνωσης ($w=1-7\text{cm}$) και ποσοστά επιφάνειας υαλοπινάκων όπως αυτά αναγράφονται στους άξονες κάθε διαγράμματος.

Διατηρώντας πάλι σταθερές τις τιμές των άλλων δυο παραμέτρων ,δηλαδή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης k και του συντελεστή θερμοπερατότητας των υαλοπινάκων U_f σε κάθε διάγραμμα, προκύπτουν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων επί του κελύφους που δύναται να δώσουν ίδια ενεργειακή κατανάλωση. Για τους συνδυασμούς των δυο σταθερών συντελεστών έχουν χρησιμοποιηθεί οι εξής τιμές :

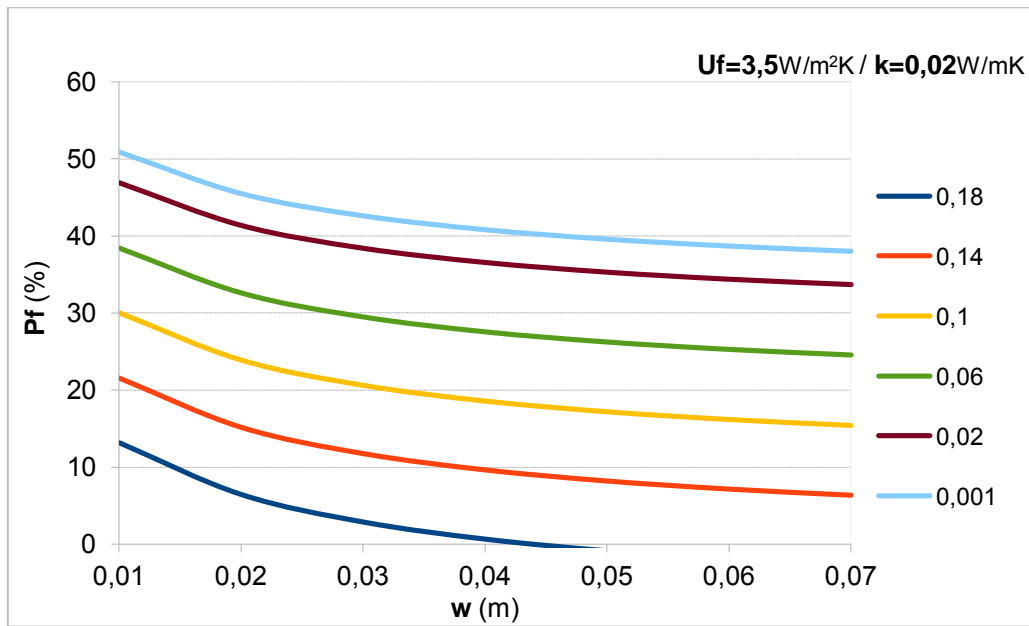
$$k = 0,02 , 0,03 , 0,038 \text{ W/mK}$$

$$U_f = 2 , 2,5 , 3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

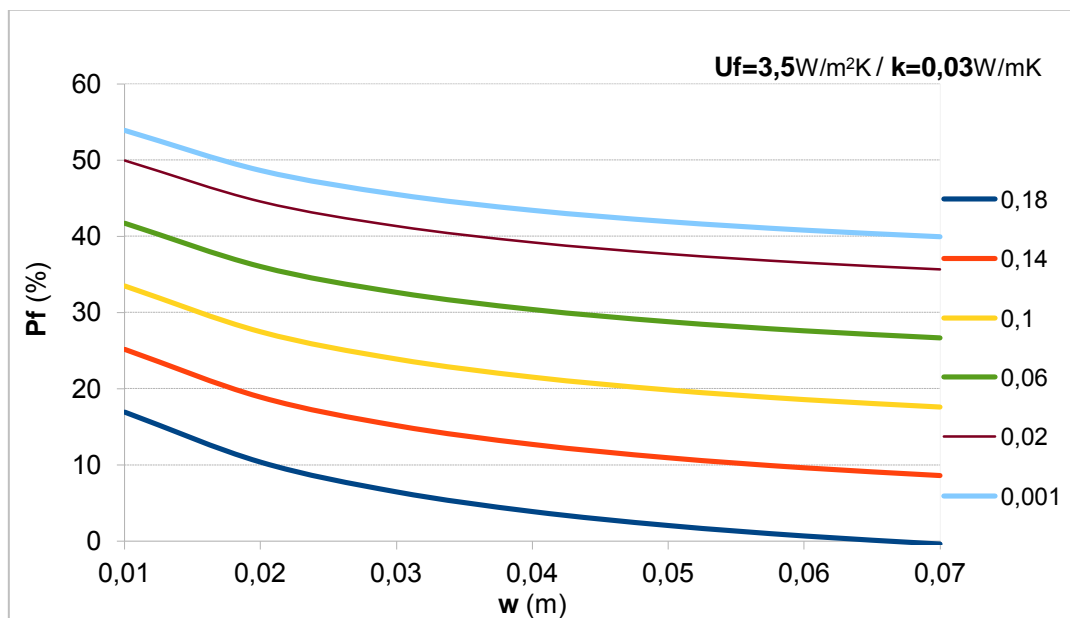
Το ποσοστό επιφάνειας των υαλοπινάκων κυμαίνεται από 0-75%. Για το κτίριο αναφοράς που μελετάμε η μέγιστη επιφάνεια που μπορούν να καλύψουν οι υαλοπίνακες είναι 90m^2 , αφού κάθε τοίχος έχει εμβαδόν 30m^2 και υαλοπίνακες έχουν τοποθετηθεί στους τρεις τοίχους (νότιο, ανατολικό, δυτικό). Η μέγιστη αυτή επιφάνεια αποτελεί και το 75% της συνολικής επιφάνειας του κελύφους.

Τα αποτελέσματα όλων των παρακάτω σχημάτων αντιστοιχούν στην 21^η μέρα κάθε μήνα για τις τυπικές κλιματολογικές συνθήκες της Αθήνας (όπως και στο προηγούμενο κεφάλαιο).

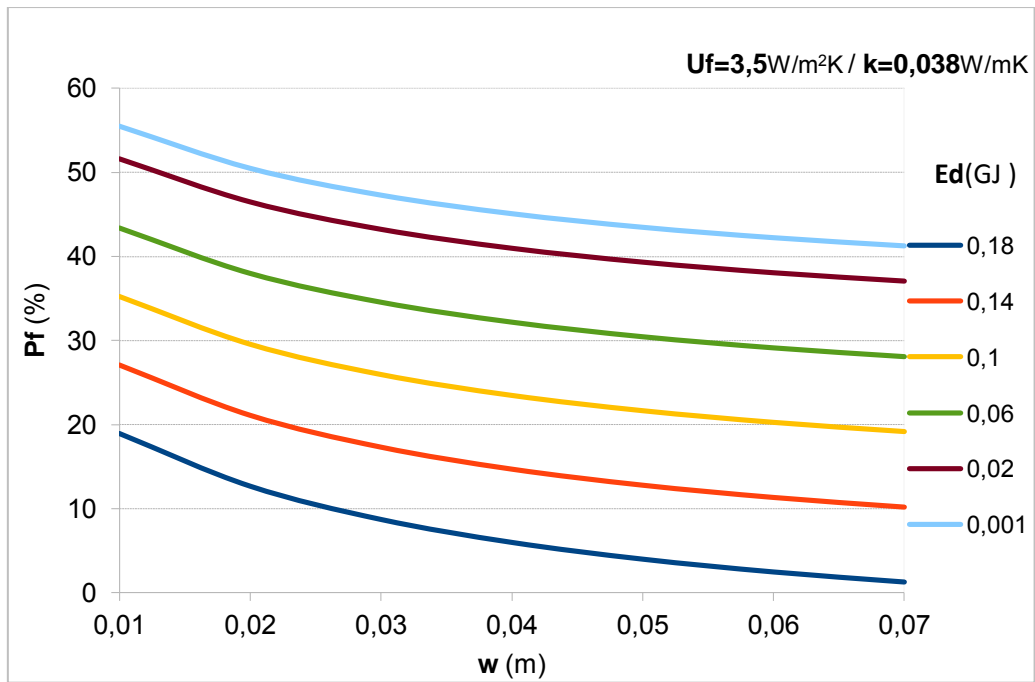
Για την 21^η Νοεμβρίου:



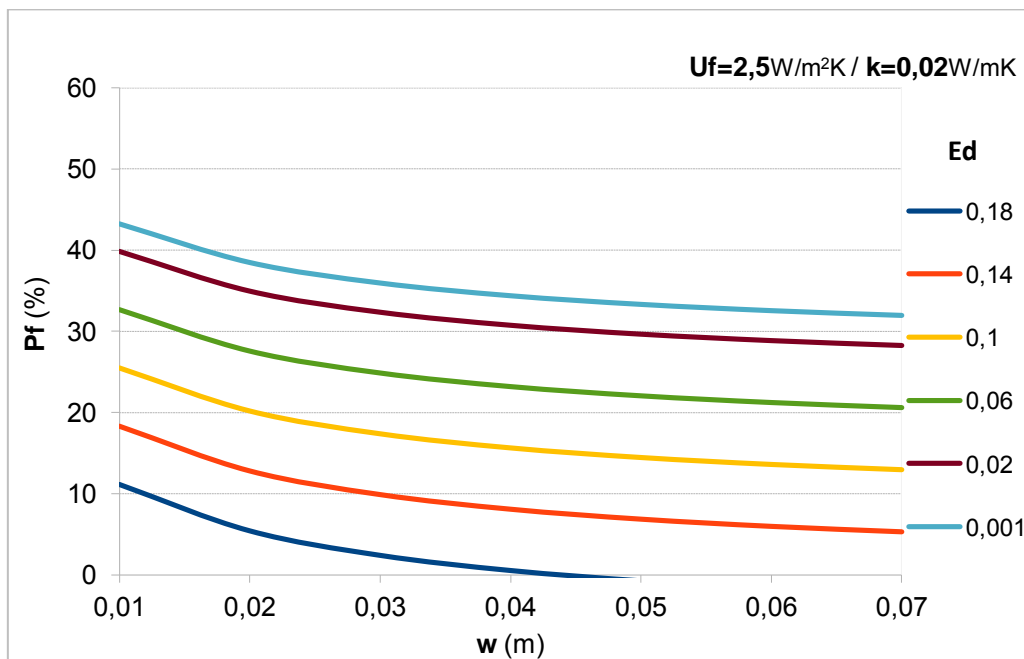
Διάγραμμα 8.1.1 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Νοεμβρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=3,5W/m^2K$, $k=0,02 W/mK$)



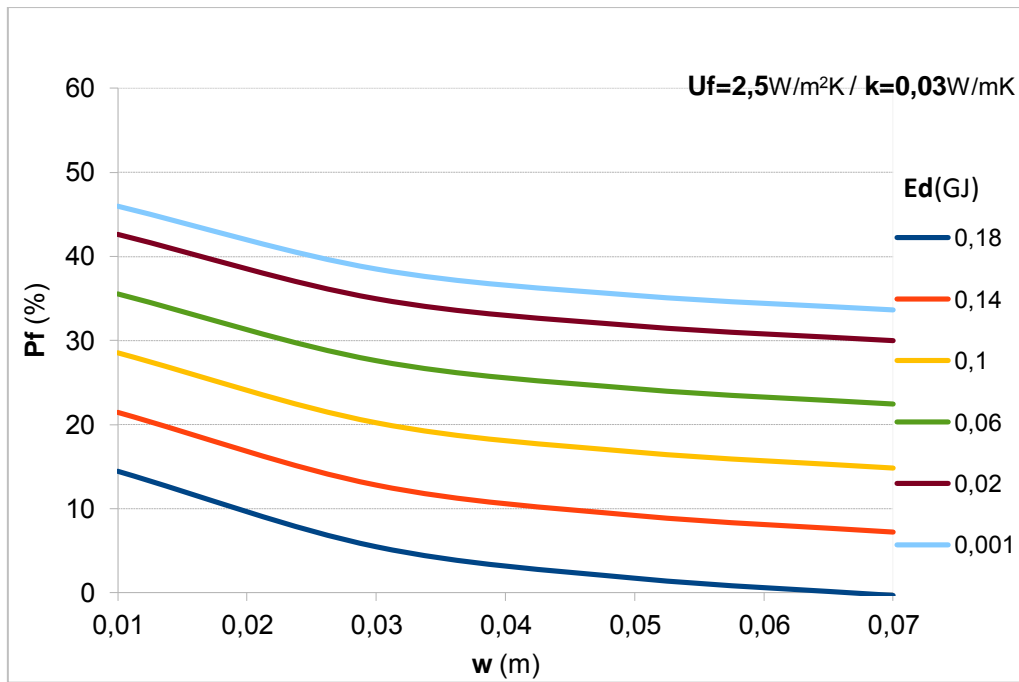
Διάγραμμα 8.1.2 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Νοεμβρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=3,5W/m^2K$, $k=0,03 W/mK$).



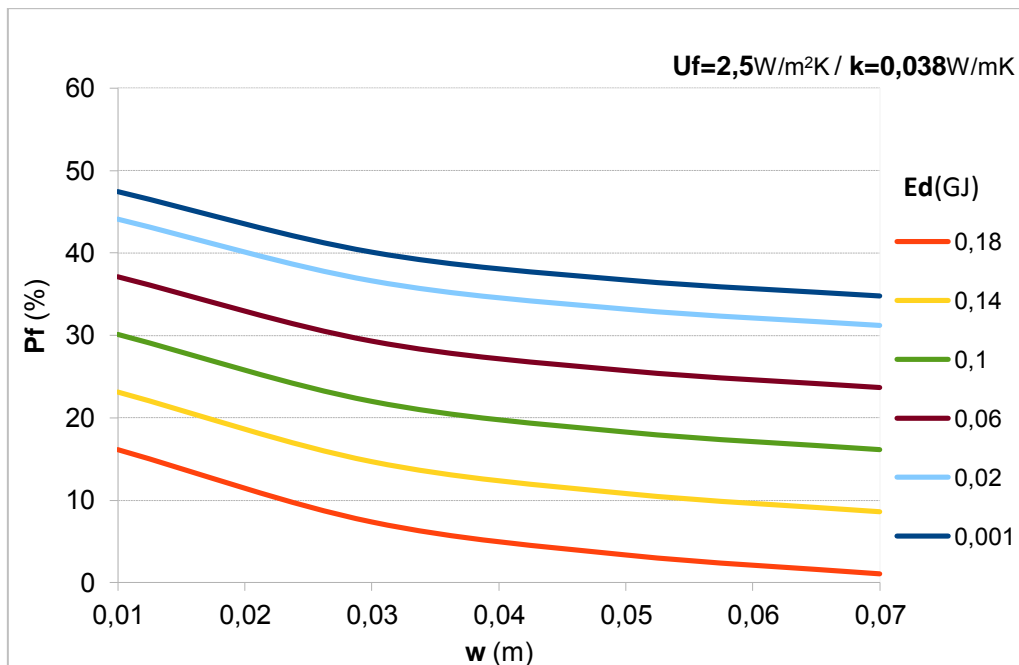
Διάγραμμα 8.1.3 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Νοεμβρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=3,5W/m^2K$, $k=0,038 W/mK$)



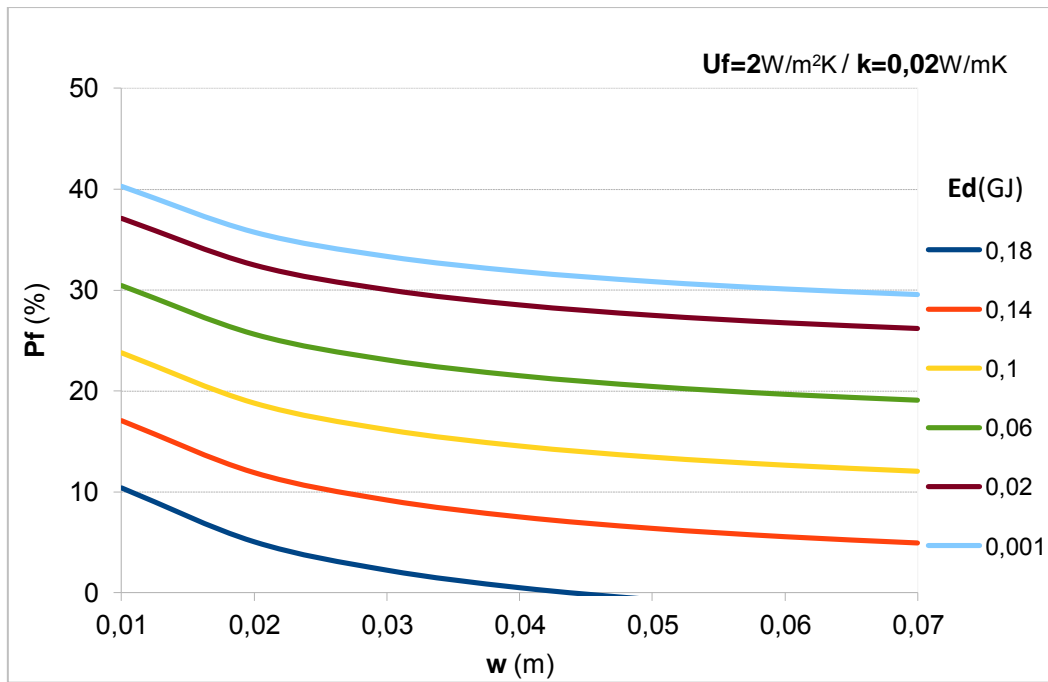
Διάγραμμα 8.1.4 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Νοεμβρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2,5W/m^2K$, $k=0,02 W/mK$).



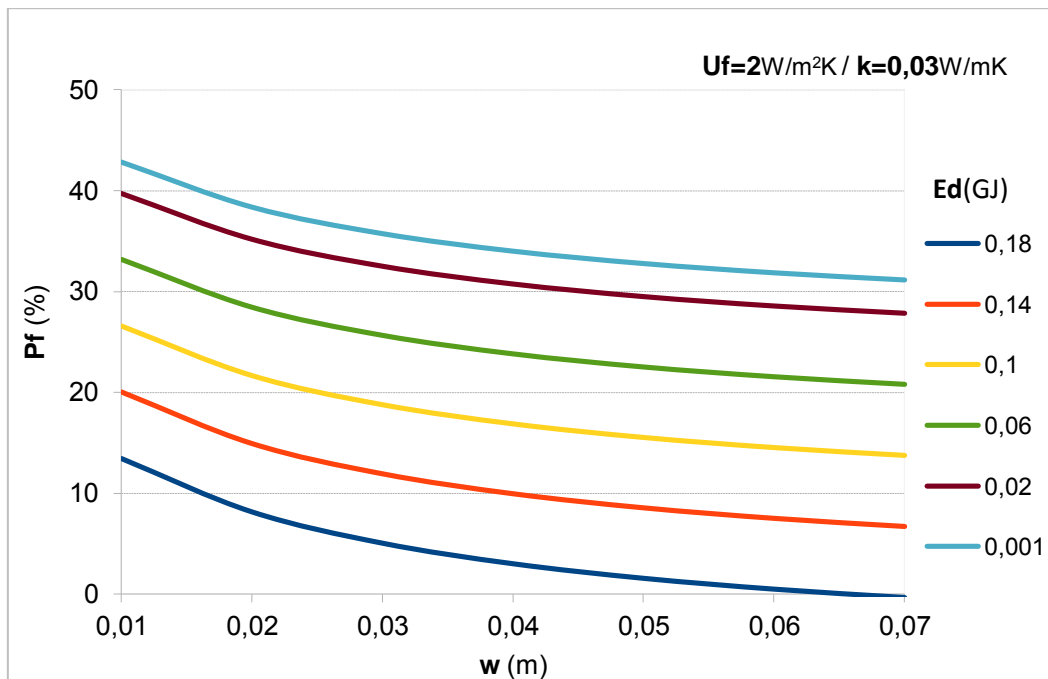
Διάγραμμα 8.1.5 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Νοεμβρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2,5W/m^2K$, $k=0,03 W/mK$)



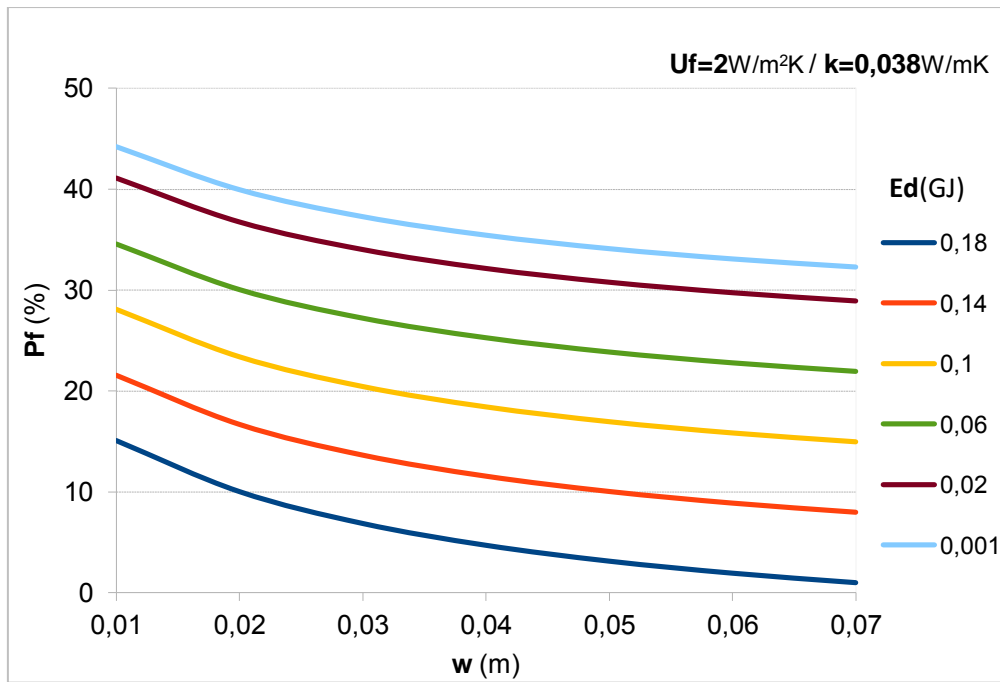
Διάγραμμα 8.1.6 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Νοεμβρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2,5W/m^2K$, $k=0,038 W/mK$).



Διάγραμμα 8.1.7 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Νοεμβρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2W/m^2K$, $k=0,02 W/mK$)

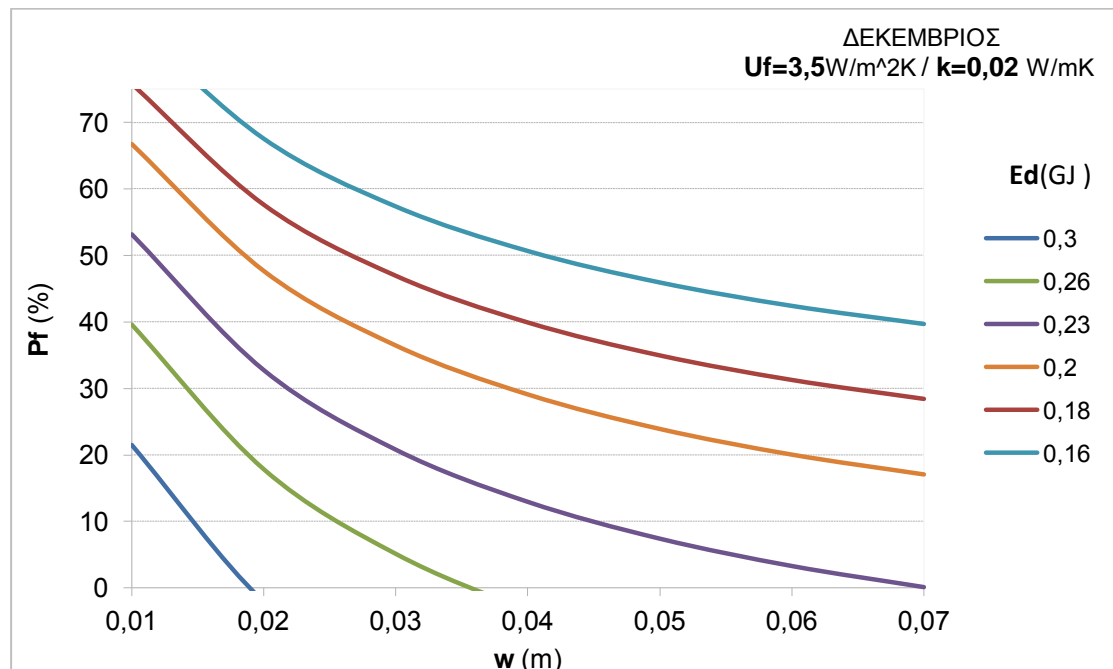


Διάγραμμα 8.1.8 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Νοεμβρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2W/m^2K$, $k=0,03 W/mK$).

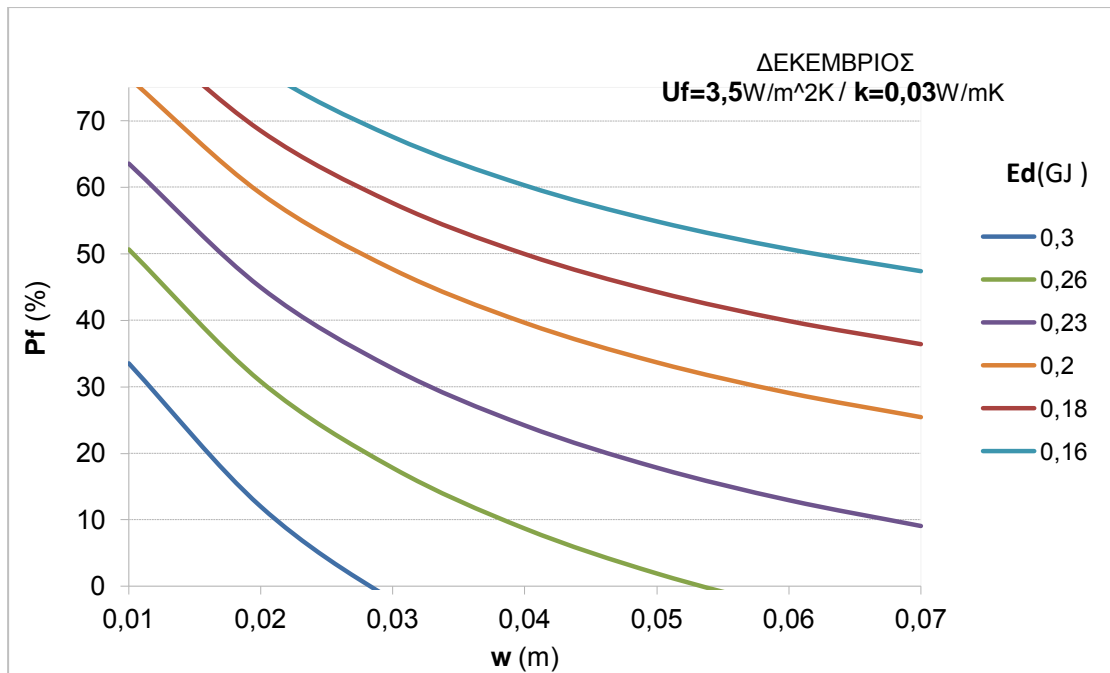


Διάγραμμα 8.1.9 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Νοεμβρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2W/m^2K$, $k=0,038 W/mK$)

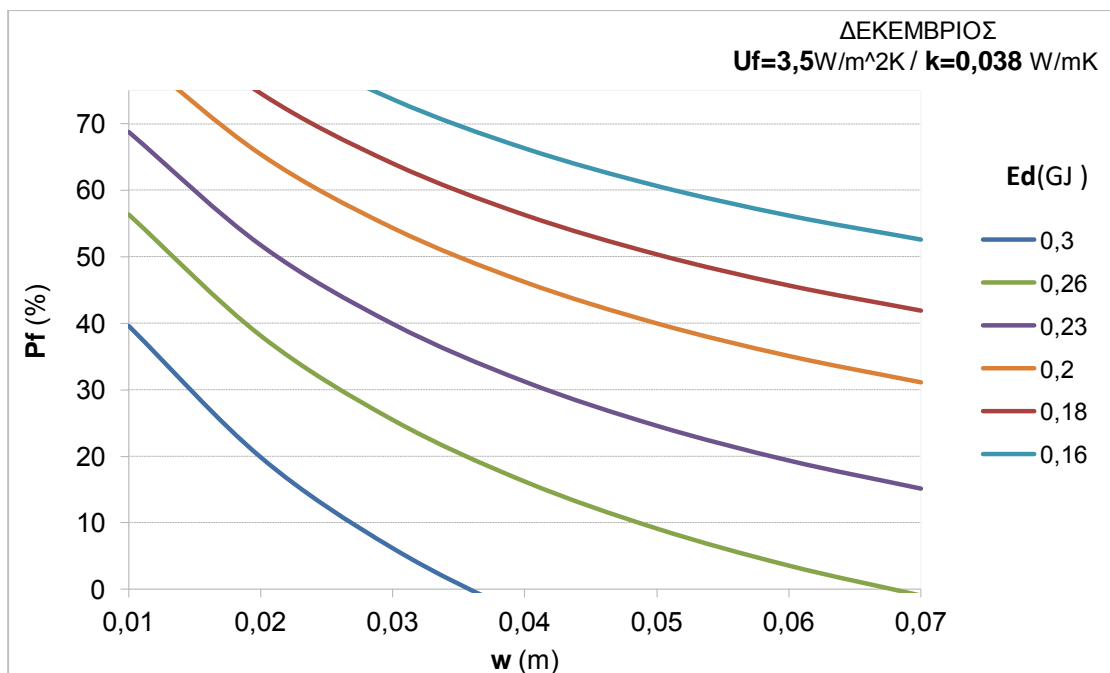
Για την 21^η Δεκεμβρίου:



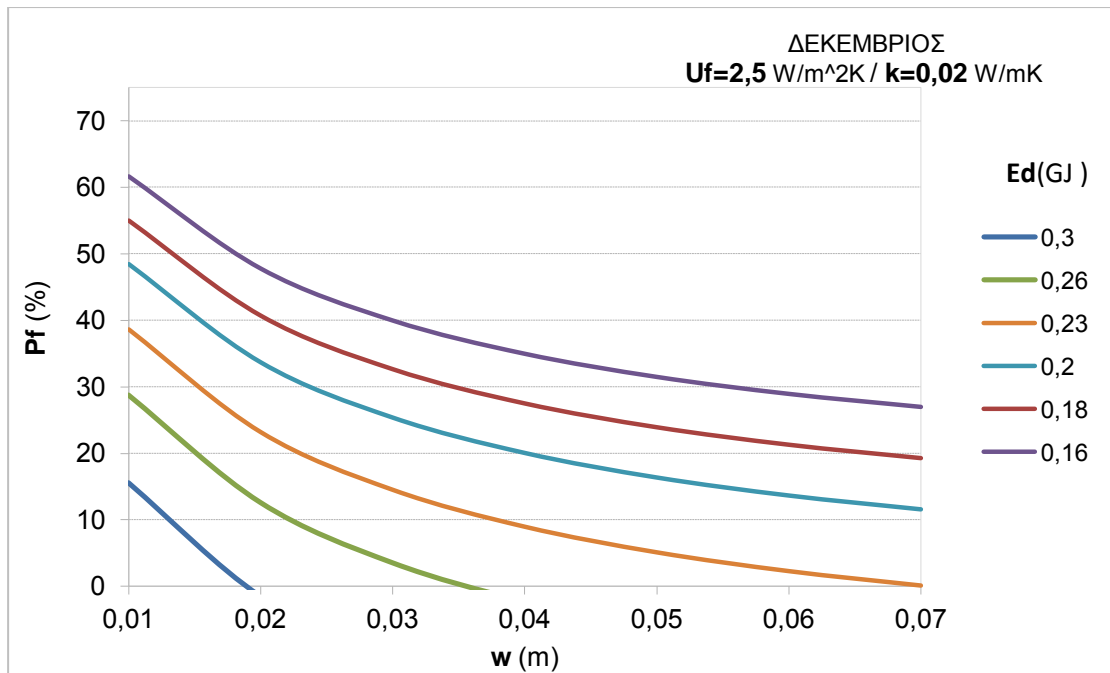
Διάγραμμα 8.1.10 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Δεκεμβρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=3,5W/m^2K$, $k=0,02 W/mK$).



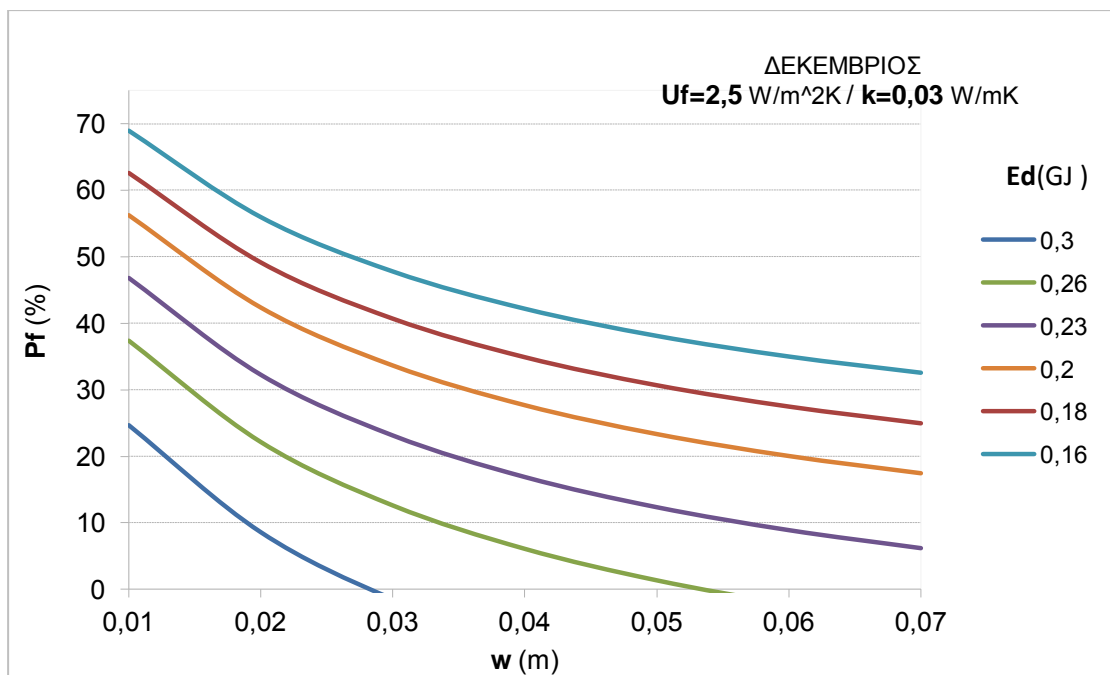
Διάγραμμα 8.1.11 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Δεκεμβρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=3,5W/m^2K$, $k=0,03 W/mK$).



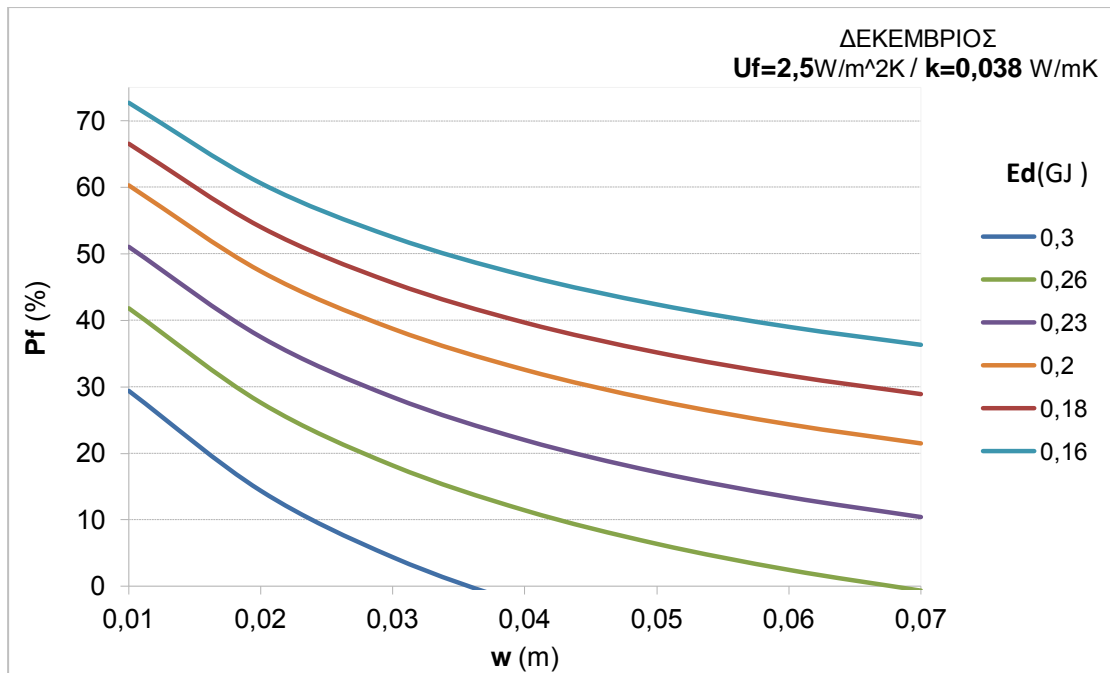
Διάγραμμα 8.1.12 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Δεκεμβρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=3,5W/m^2K$, $k=0,038 W/mK$).



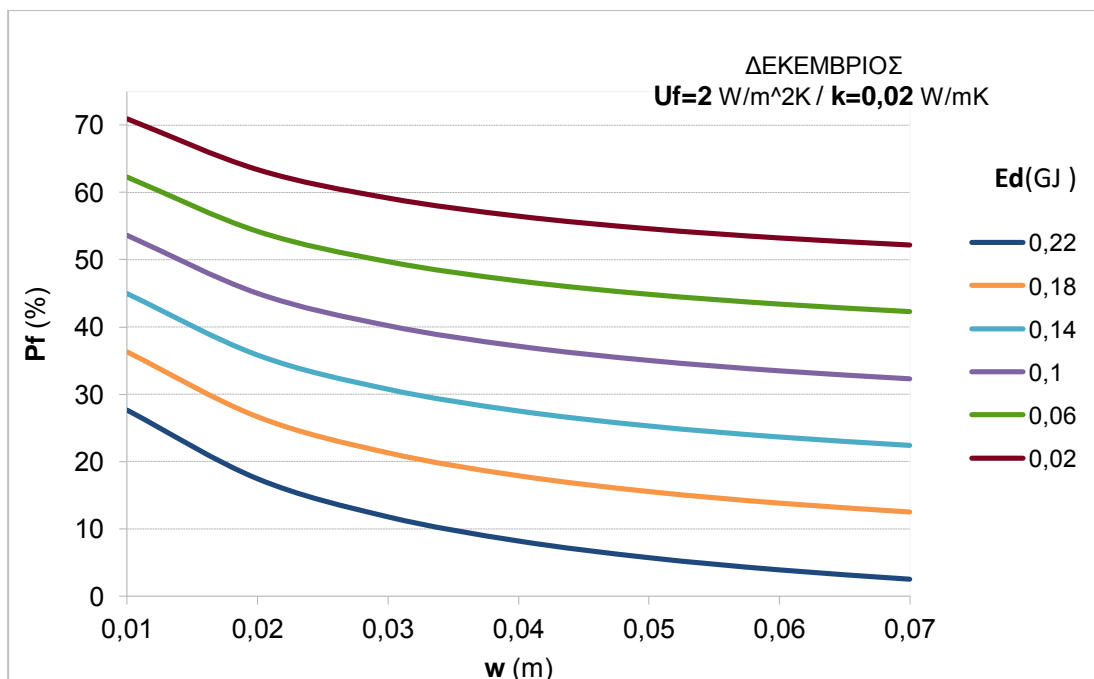
Διάγραμμα 8.1.13 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Δεκεμβρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2,5W/m^2K$, $k=0,02 W/mK$).



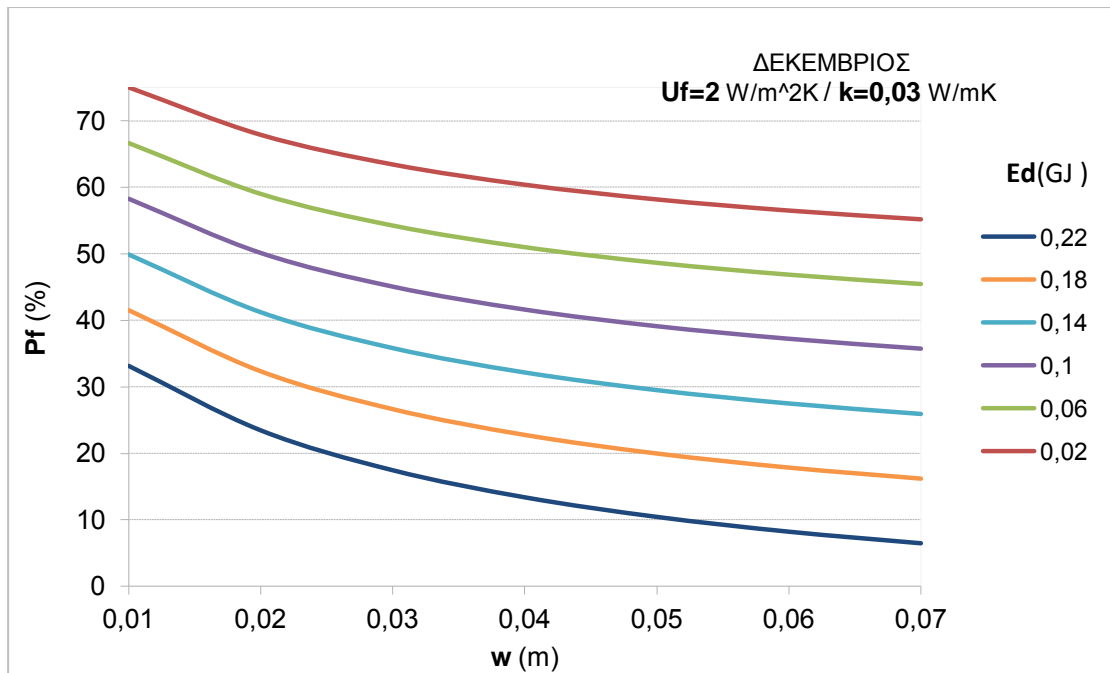
Διάγραμμα 8.1.14 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Δεκεμβρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2,5W/m^2K$, $k=0,03 W/mK$).



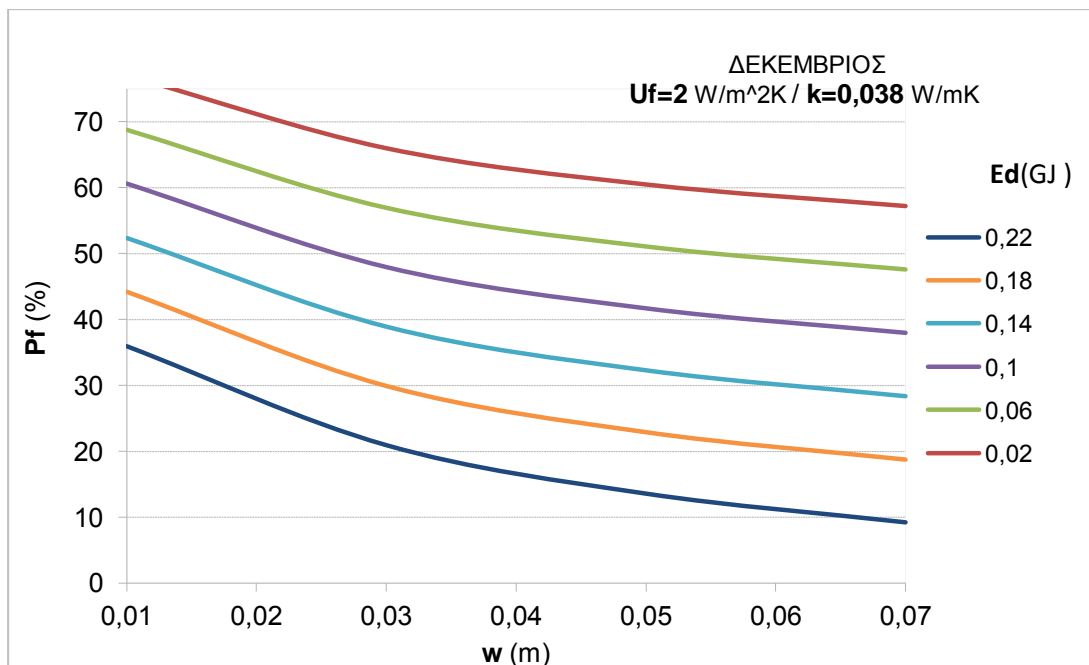
Διάγραμμα 8.1.15 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Δεκεμβρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2,5W/m^2K$, $k=0,038$ W/mK).



Διάγραμμα 8.1.16 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Δεκεμβρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2W/m^2K$, $k=0,02$ W/mK).

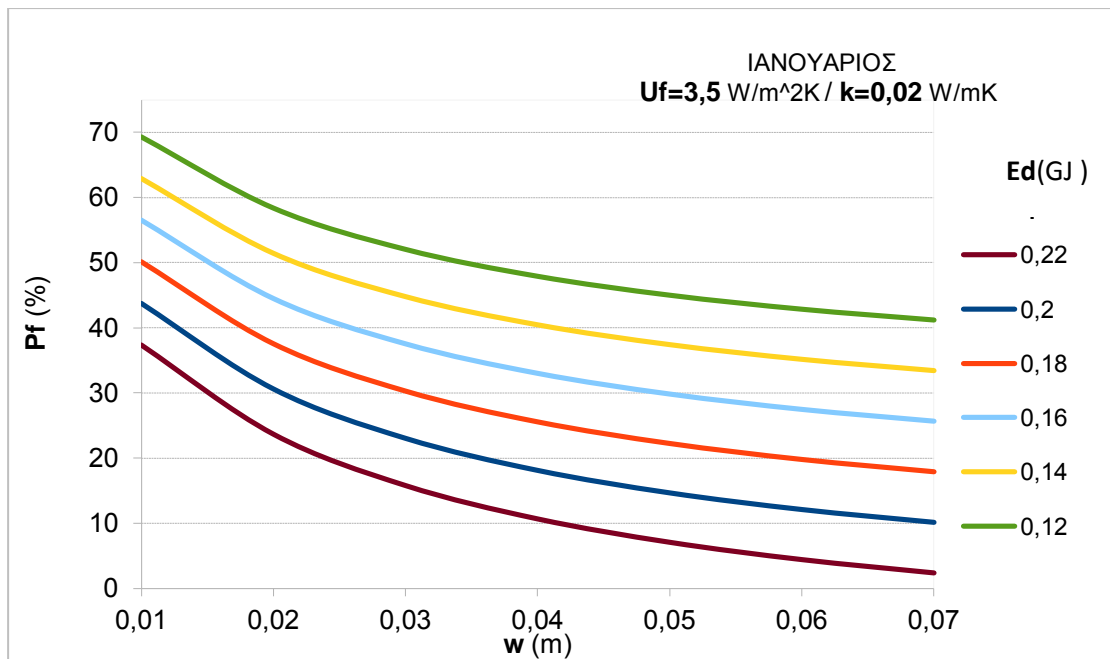


Διάγραμμα 8.1.17 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Δεκεμβρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $k=0,03 \text{ W/mK}$).

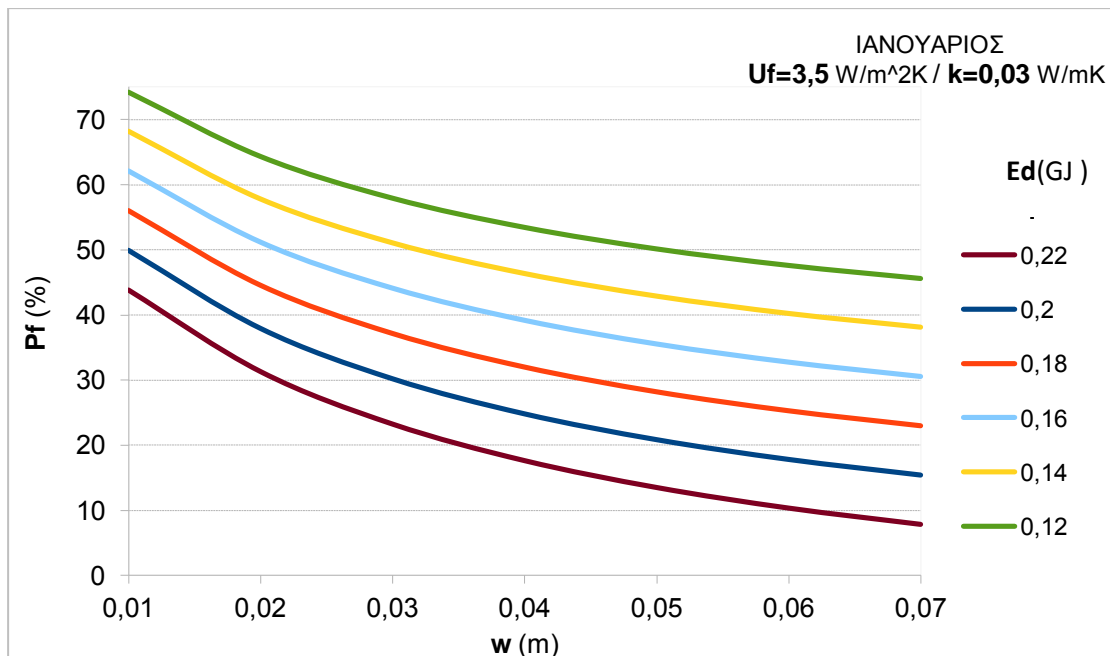


Διάγραμμα 8.1.18 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Δεκεμβρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $k=0,038 \text{ W/mK}$).

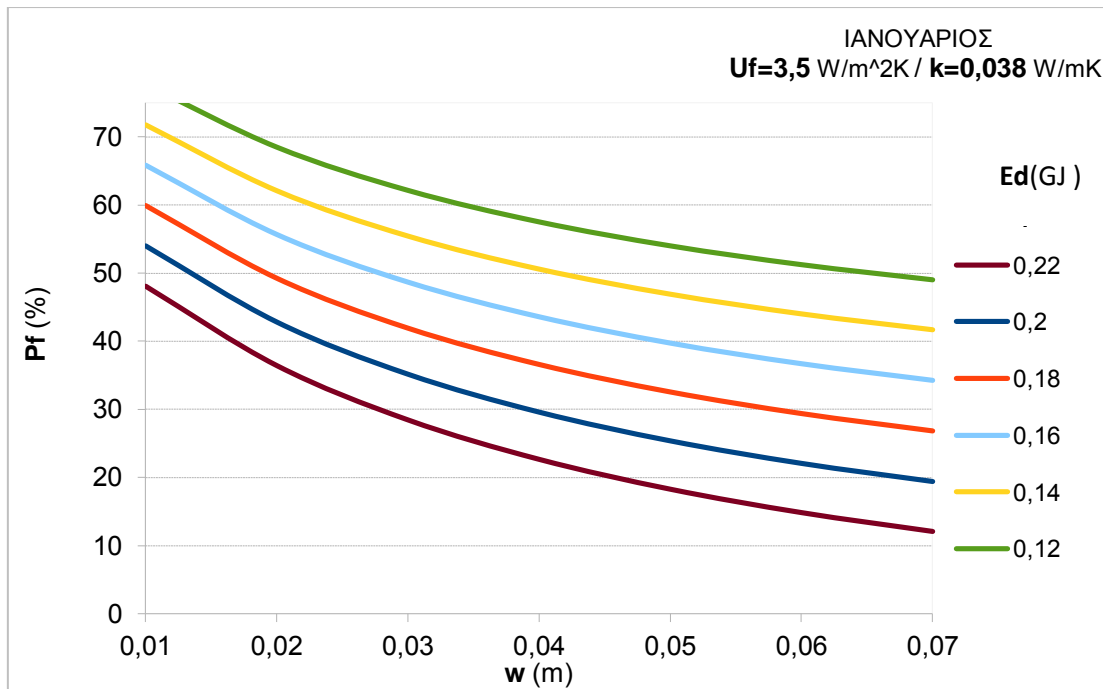
Για την 21^η Ιανουαρίου:



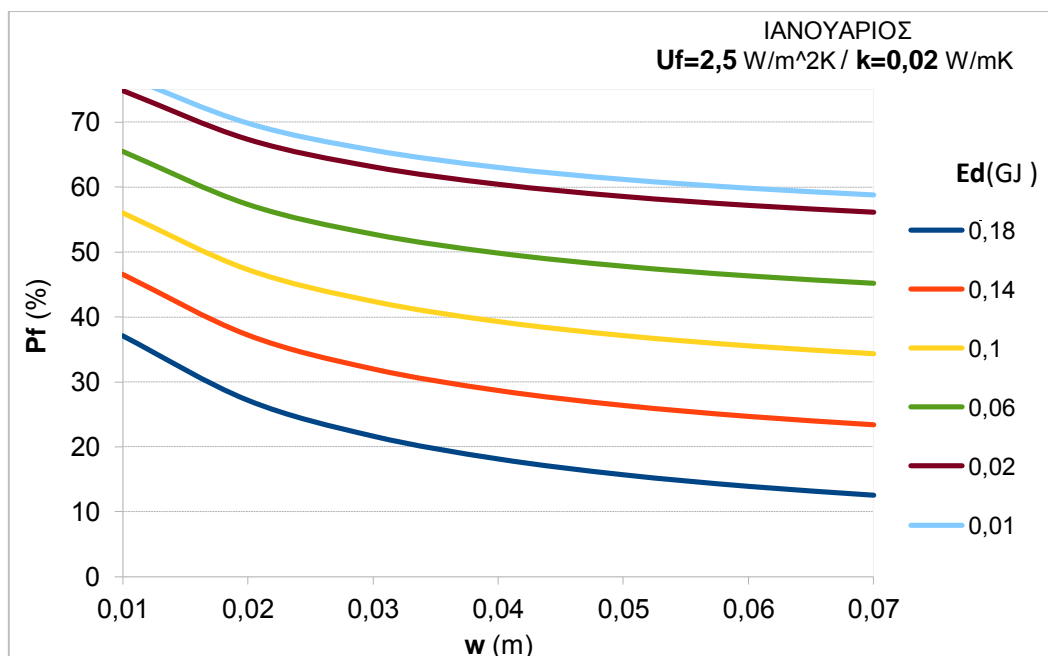
Διάγραμμα 8.1.19 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Ιανουαρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=3,5\text{W/m}^2\text{K}$, $k=0,02\text{ W/mK}$).



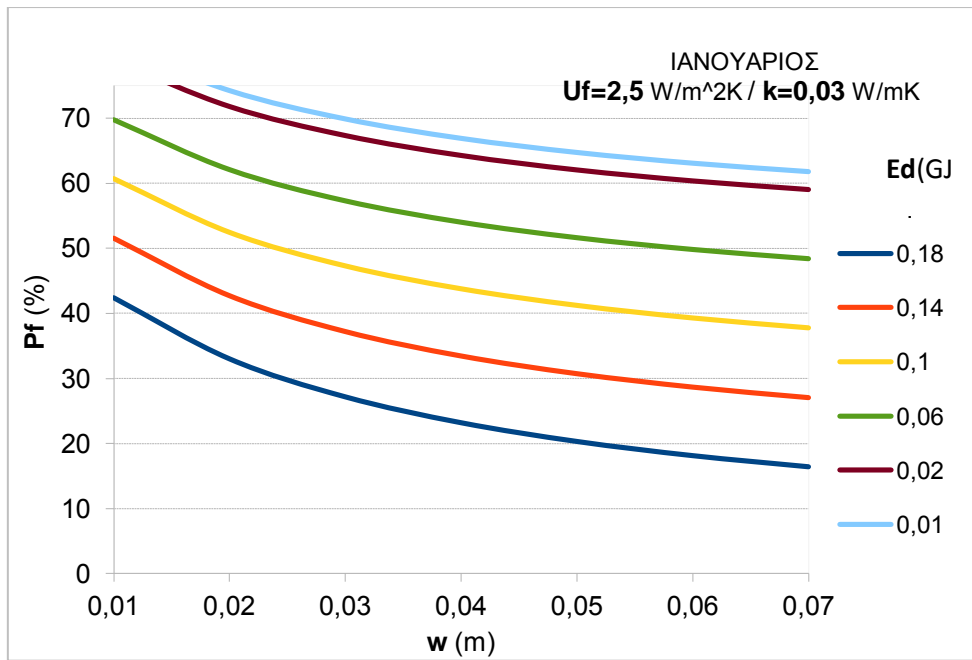
Διάγραμμα 8.1.20 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Ιανουαρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=3,5\text{W/m}^2\text{K}$, $k=0,03\text{ W/mK}$).



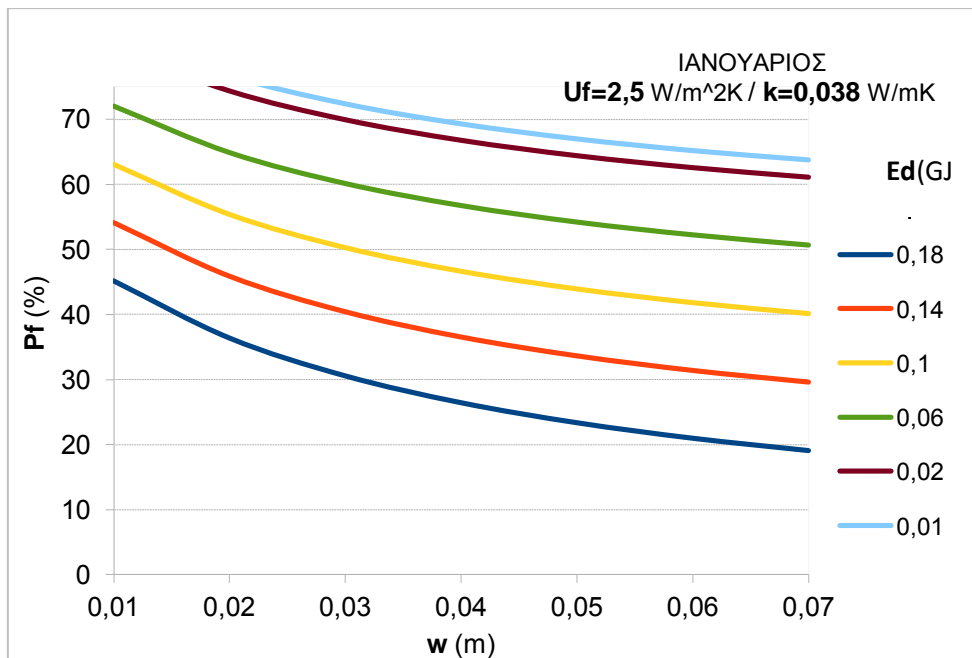
Διάγραμμα 8.1.21 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Ιανουαρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, $k=0,038 \text{ W/mK}$).



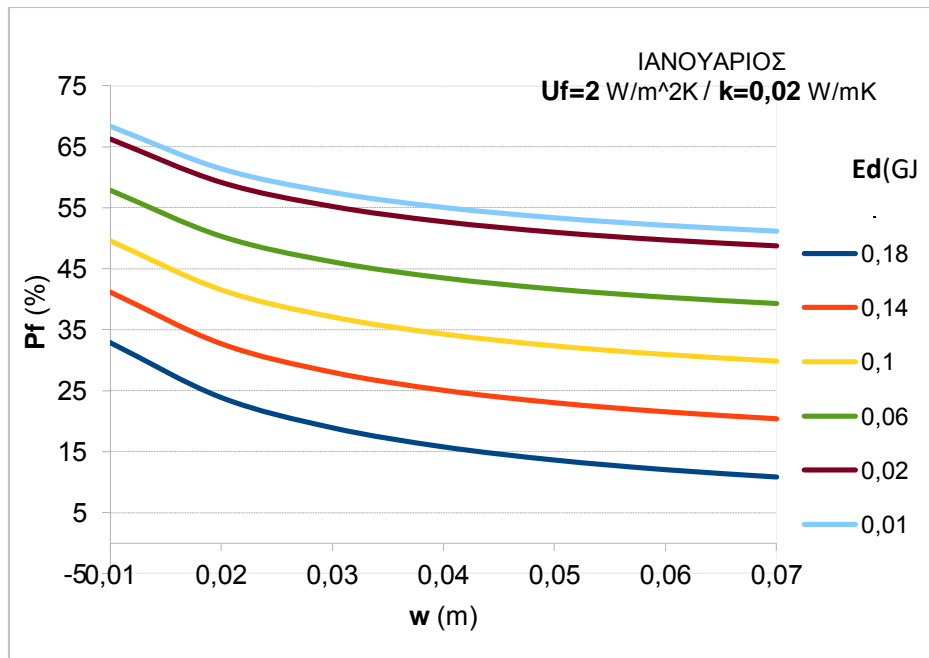
Διάγραμμα 8.1.22 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Ιανουαρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, $k=0,02 \text{ W/mK}$).



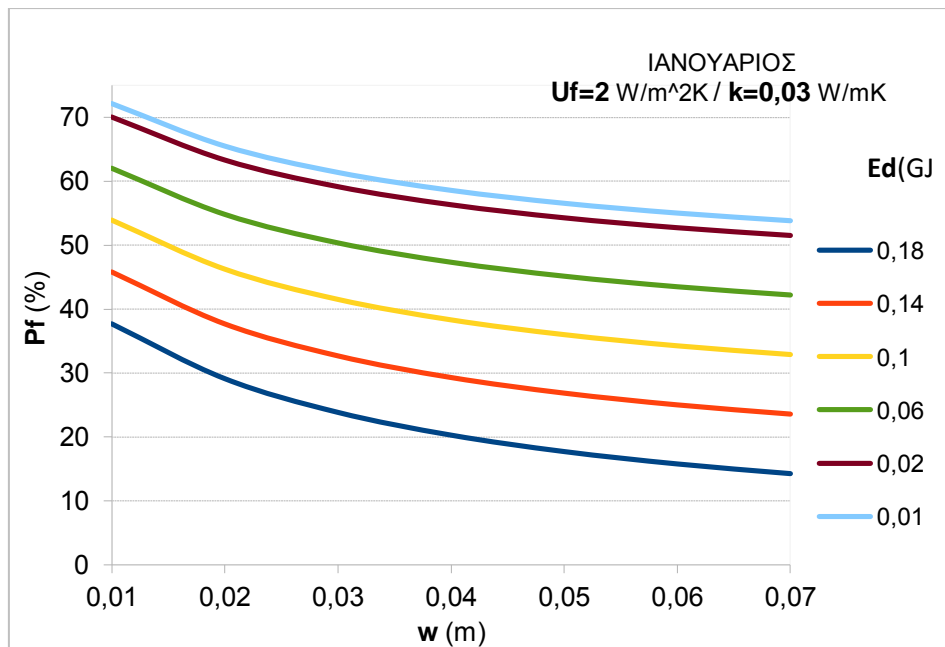
Διάγραμμα 8.1.23 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Ιανουαρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2,5\text{W/m}^2\text{K}$, $k=0,03\text{ W/mK}$).



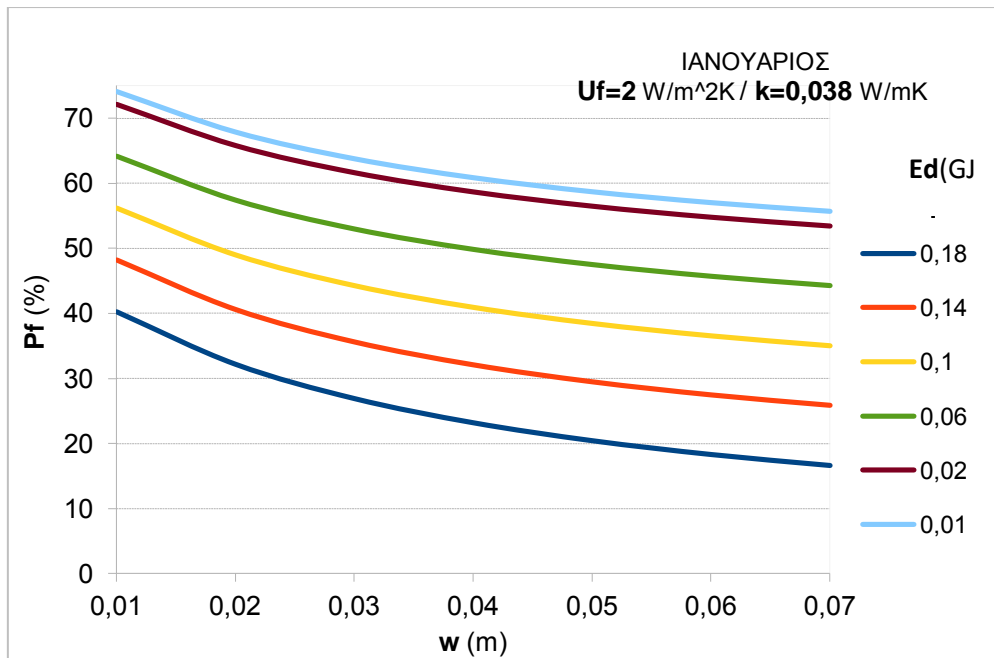
Διάγραμμα 8.1.24 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Ιανουαρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2,5\text{W/m}^2\text{K}$, $k=0,038\text{ W/mK}$).



Διάγραμμα 8.1.25 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Ιανουαρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2\text{W/m}^2\text{K}$, $k=0,02\text{ W/mK}$).

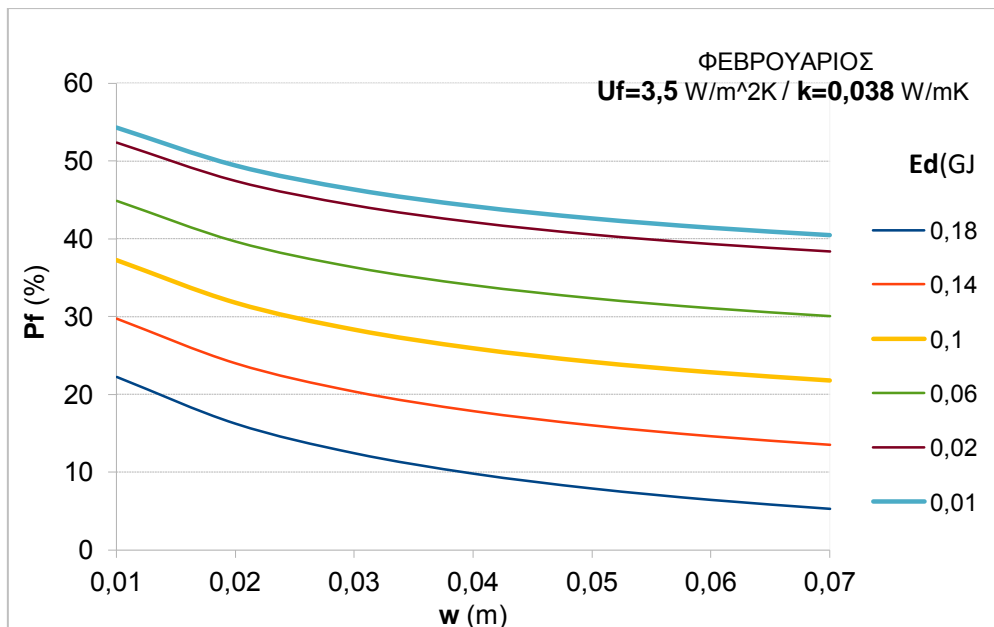


Διάγραμμα 8.1.26 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Ιανουαρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2\text{W/m}^2\text{K}$, $k=0,03\text{ W/mK}$).

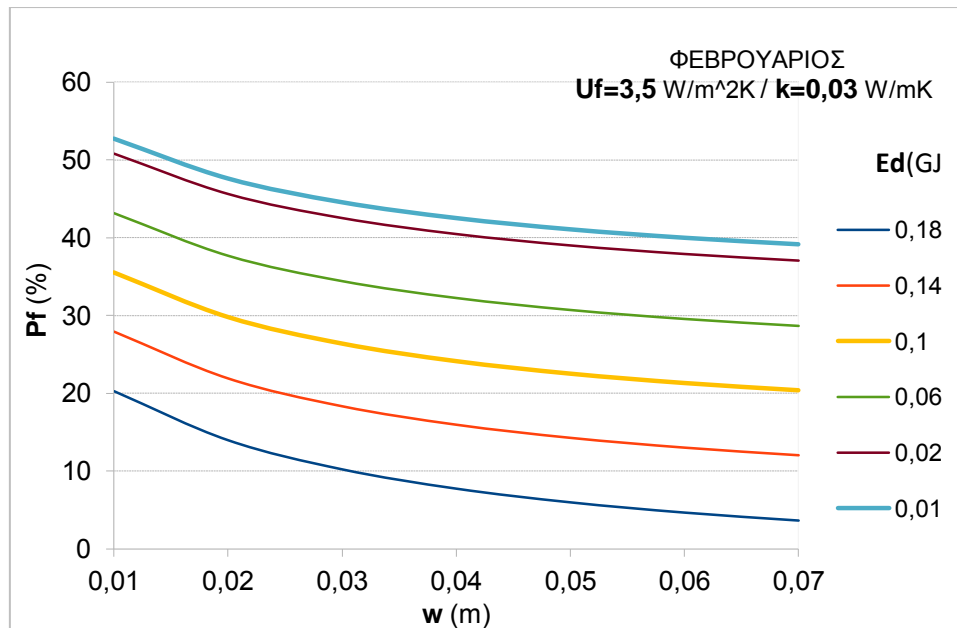


Διάγραμμα 8.1.27 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Ιανουαρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $k=0,038 \text{ W/mK}$).

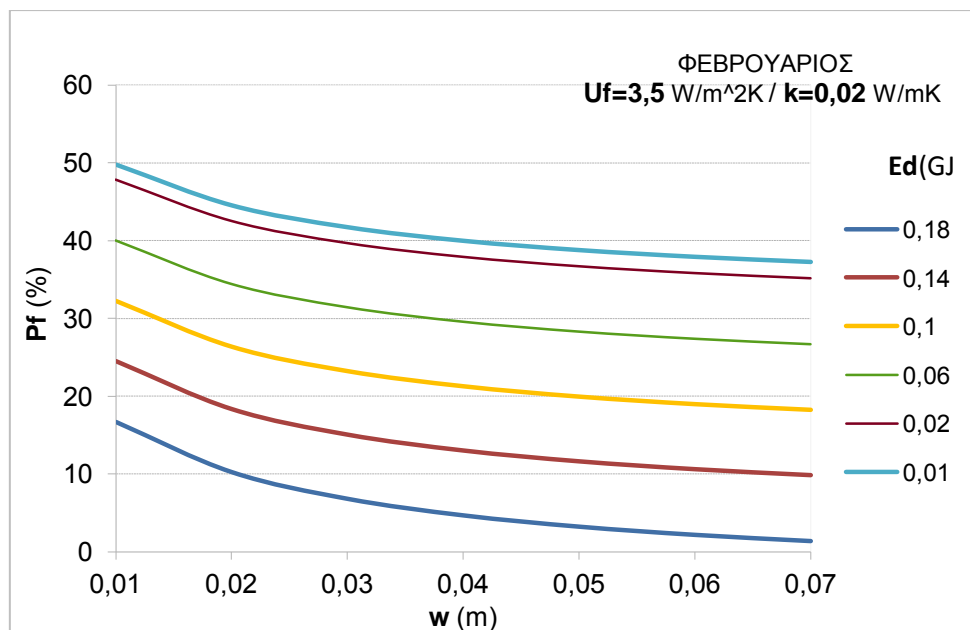
Για την 21^η Φεβρουαρίου:



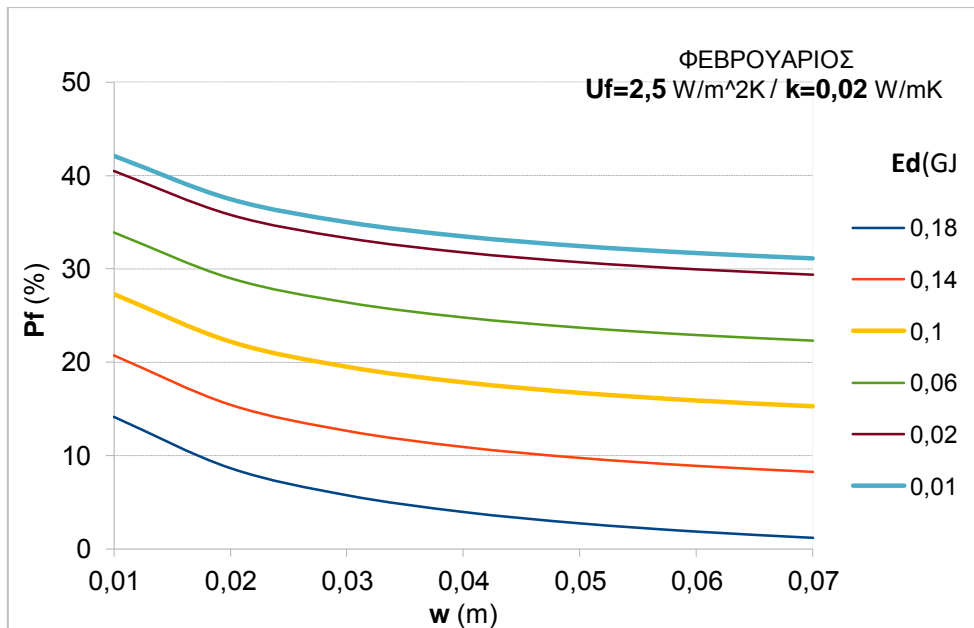
Διάγραμμα 8.1.28. Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Φεβρουαρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, $k=0,038 \text{ W/mK}$).



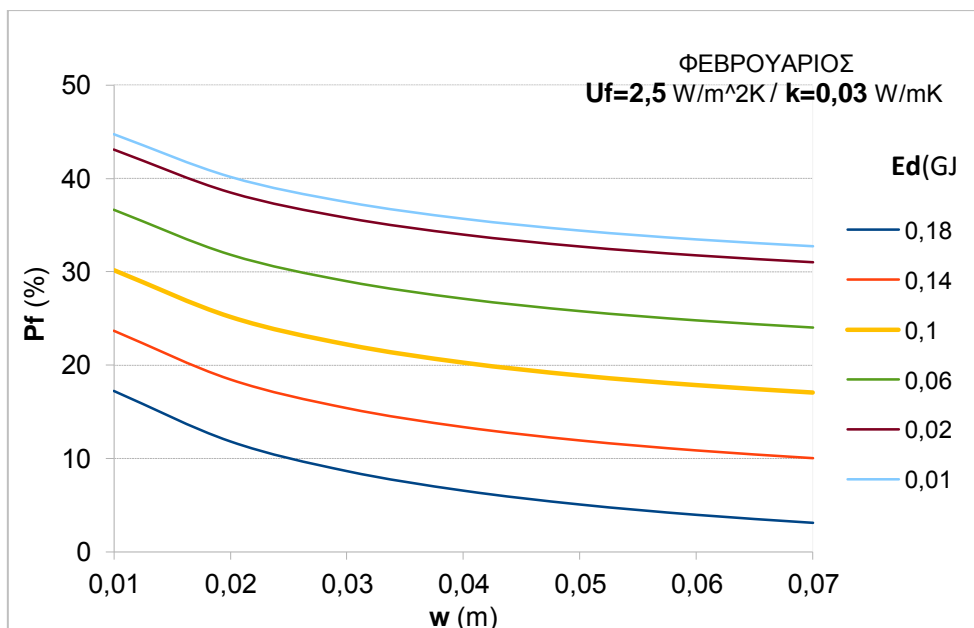
Διάγραμμα 8.1.29 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Φεβρουαρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=3,5\text{W/m}^2\text{K}$, $k=0,03\text{ W/mK}$).



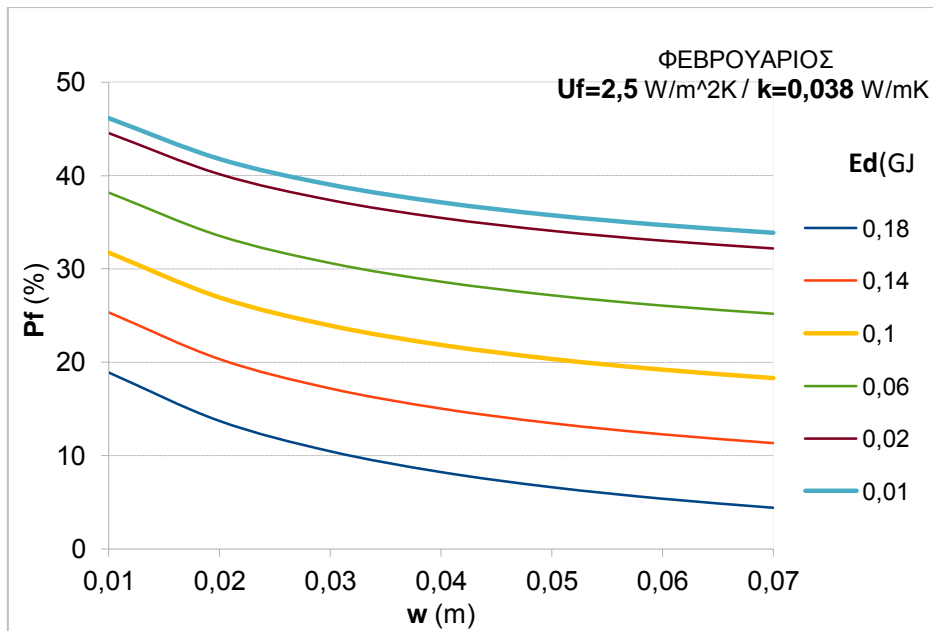
Διάγραμμα 8.1.30 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Φεβρουαρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=3,5\text{W/m}^2\text{K}$, $k=0,02\text{ W/mK}$).



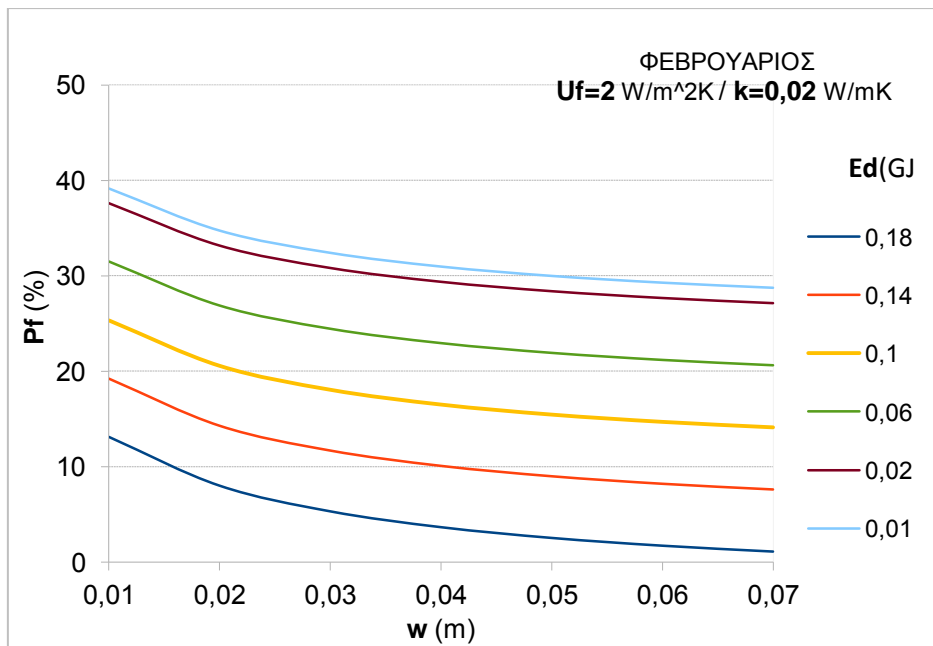
Διάγραμμα 8.1.31 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Φεβρουαρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, $k=0,02 \text{ W/mK}$).



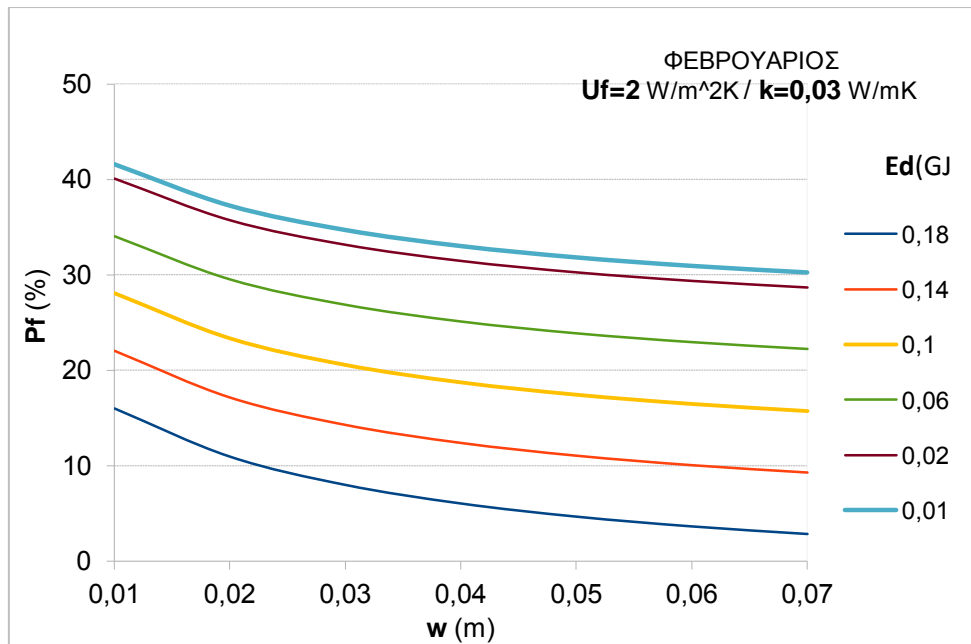
Διάγραμμα 8.1.32 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Φεβρουαρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, $k=0,03 \text{ W/mK}$).



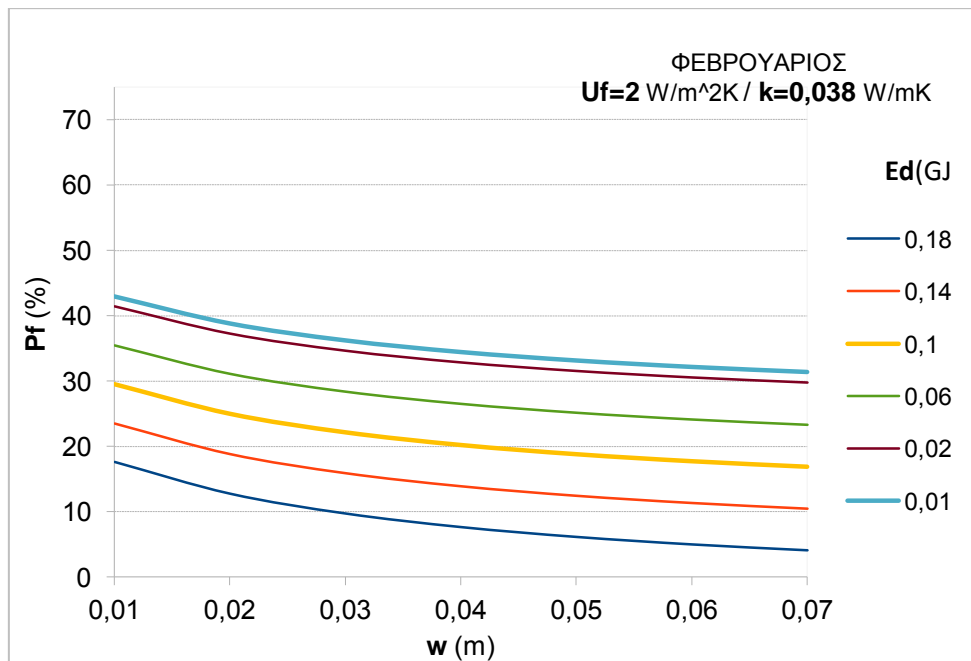
Διάγραμμα 8.1.33 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Φεβρουαρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, $k=0,038 \text{ W/mK}$).



Διάγραμμα 8.1.34 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Φεβρουαρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $k=0,02 \text{ W/mK}$).

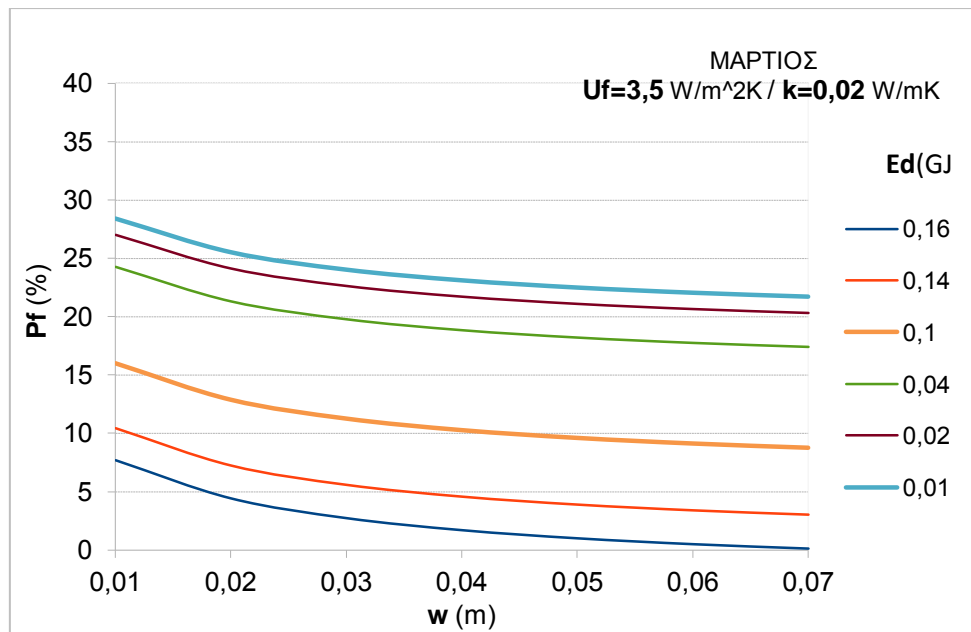


Διάγραμμα 8.1.35 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Φεβρουαρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $k=0,03 \text{ W/mK}$).

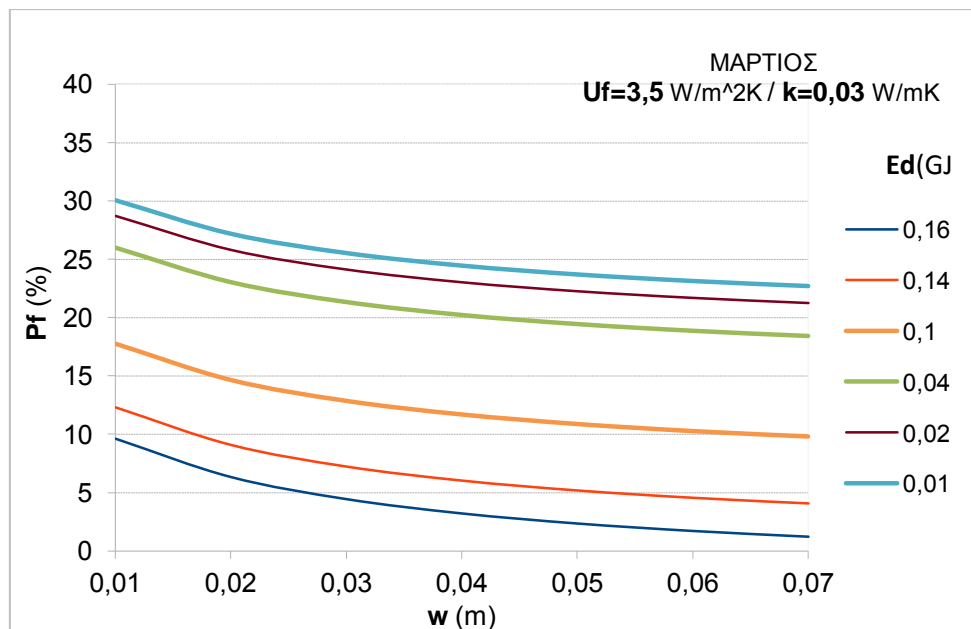


Διάγραμμα 8.1.36 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Φεβρουαρίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $k=0,038 \text{ W/mK}$).

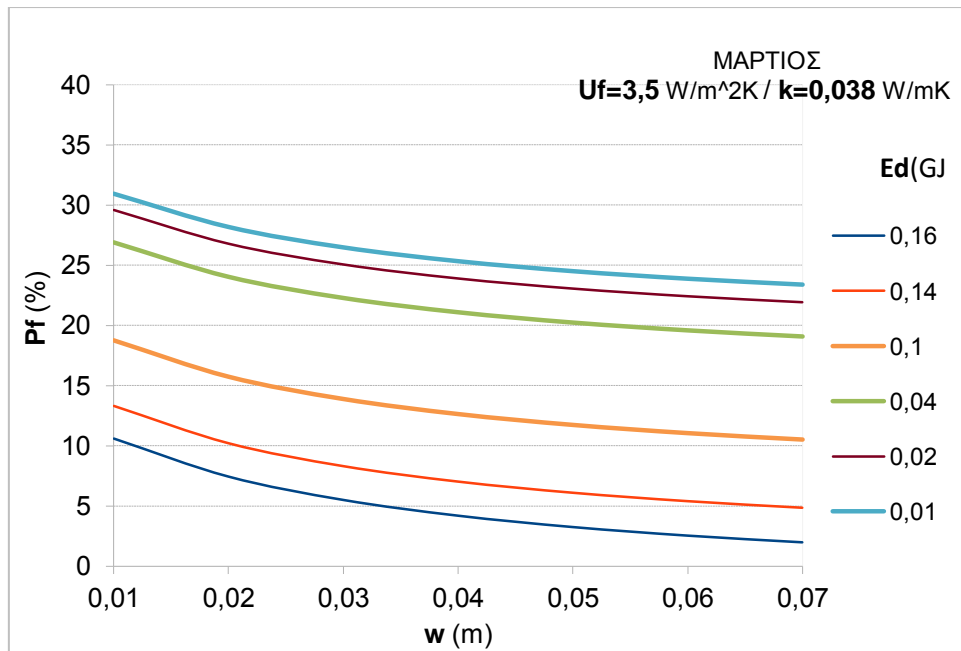
Για την 21^η Μαρτίου:



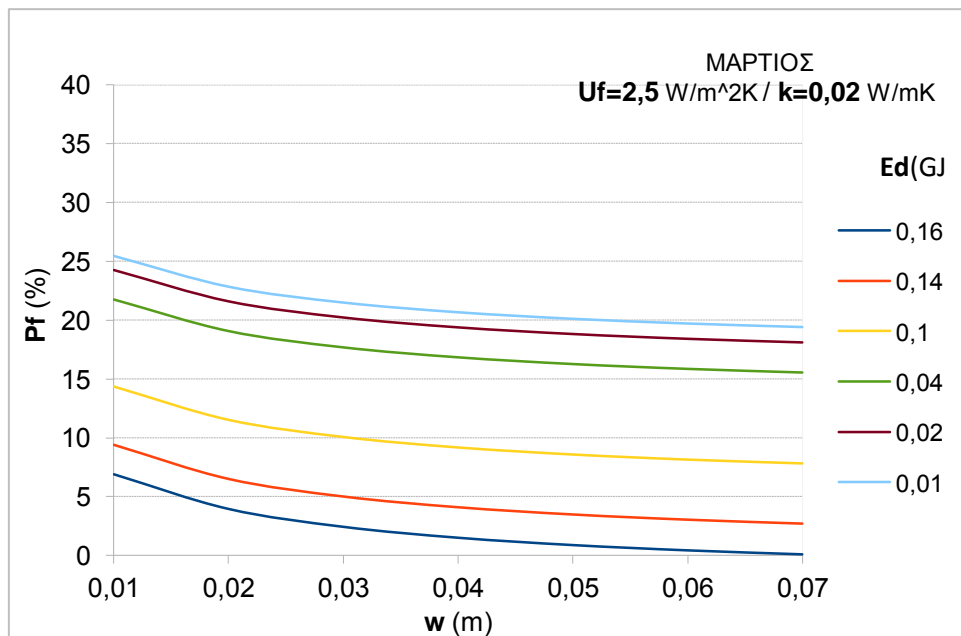
Διάγραμμα 8.1.37 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Μαρτίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, $k=0,02 \text{ W/mK}$).



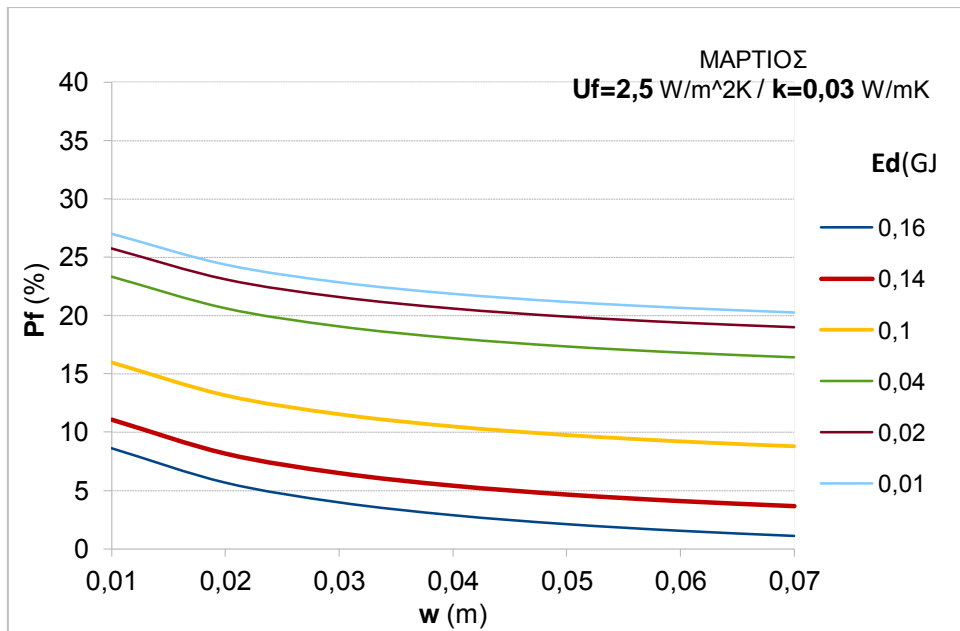
Διάγραμμα 8.1.38 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Μαρτίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, $k=0,03 \text{ W/mK}$).



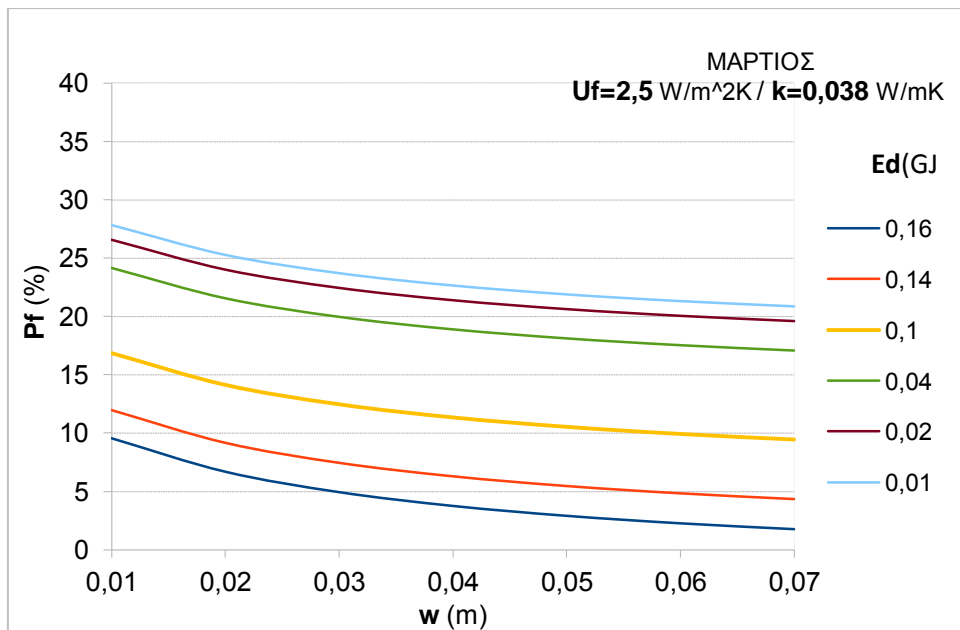
Διάγραμμα 8.1.39 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Μαρτίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=3,5\text{W/m}^2\text{K}$, $k=0,038\text{ W/mK}$).



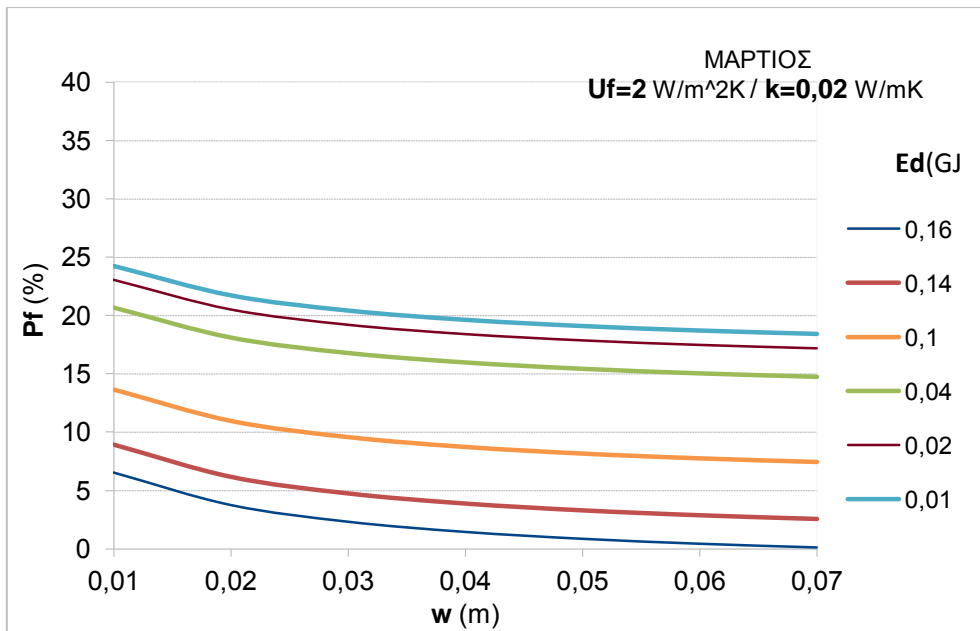
Διάγραμμα 8.1.40 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Μαρτίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2,5\text{W/m}^2\text{K}$, $k=0,02\text{W/mK}$).



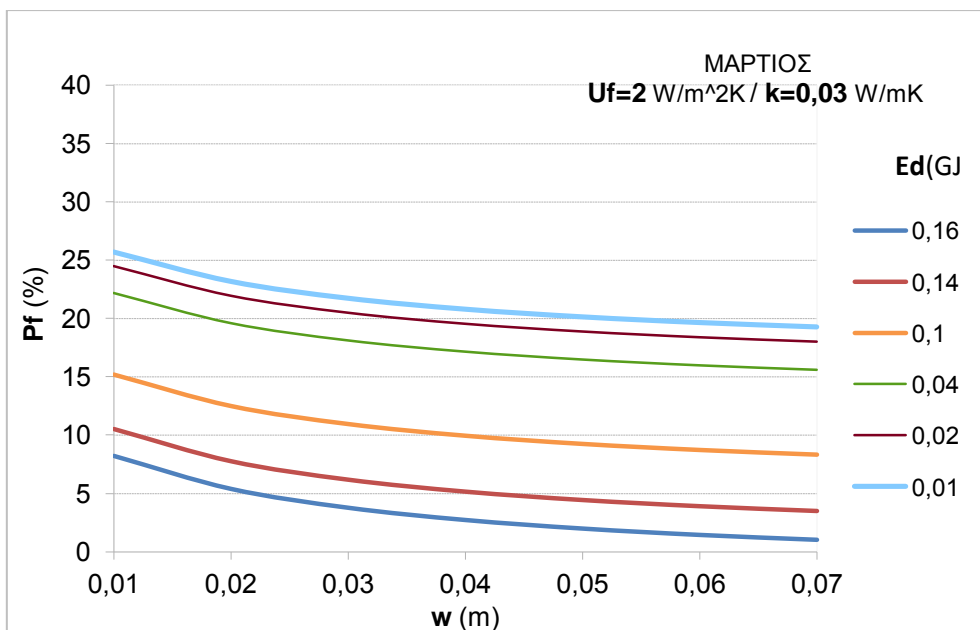
Διάγραμμα 8.1.41 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Μαρτίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, $k=0,03 \text{ W/mK}$).



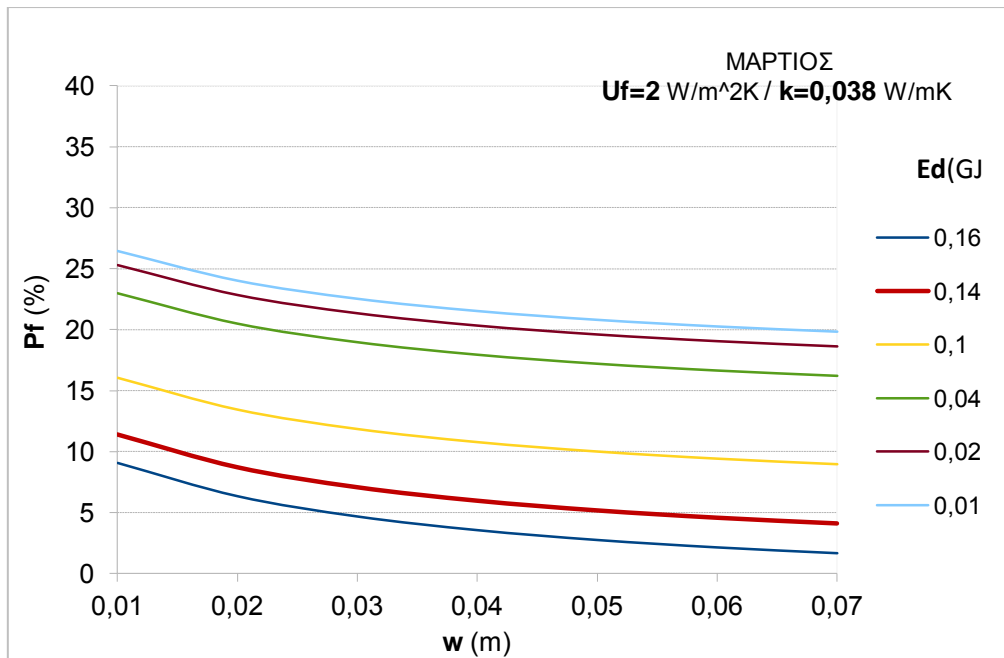
Διάγραμμα 8.1.42 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Μαρτίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, $k=0,038 \text{ W/mK}$).



Διάγραμμα 8.1.43 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Μαρτίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $k=0,02 \text{ W/mK}$).



Διάγραμμα 8.1.44 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Μαρτίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $k=0,03 \text{ W/mK}$).



Διάγραμμα 8.1.45 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Μαρτίου για το κτίριο αναφοράς. (Σταθερά: $U_f=2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $k=0,038 \text{ W/mK}$).

Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Για σταθερό ποσοστό υαλοπινάκων P_f , με αύξηση της μόνωσης δηλαδή του πάχους της w , παρατηρείται μείωση της ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης όπως ήταν και αναμενόμενο.
- Για σταθερό πάχος μόνωσης, αυξάνοντας το ποσοστό υαλοπινάκων παρατηρείται μείωση της ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης. Αύξηση της επιφάνειας των υαλοπινάκων συνεπάγεται αύξηση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας (άρα και του θερμικού κέρδους λόγω υαλοπινάκων) και ταυτόχρονα αύξηση των απωλειών δι'αγωγής μέσω των υαλοπινάκων. Όμως τελικά η αύξηση της εισερχόμενης ακτινοβολίας υπερισχύει της αύξησης των απωλειών κι έτσι έχουμε μείωση της ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης.
- Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα όλων των μηνών παρατηρούμε ότι με ίδιο συνδυασμό τιμών συντελεστή διαπερατότητας, συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, πάχους μόνωσης για ίδια ενεργειακή κατανάλωση θέρμανσης E_d το απαιτούμενο ποσοστό υαλοπινάκων διαφέρει σε μεγάλο βαθμό. Παράδειγμα: Με $U_f=2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $k=0,02 \text{ W/mK}$, $w=0,04 \text{ m}$ για $E_d=0,18\text{GJ}$ απαιτείται :

21^η Νοεμβρίου: $P_f = 2\%$

21^η Δεκεμβρίου: $P_f = 18\%$

21^η Ιανουαρίου: $P_f = 15\%$

21^η Φεβρουαρίου: $P_f = 5\%$

Η διαφορά αυτή είναι αναμενόμενη. Οφείλεται στη διαφορετική ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο κέλυφος και επηρεάζει κυρίως τα θερμικά κέρδη των υαλοπινάκων. Όπως διαπιστώθηκε (κεφάλαιο 6) η συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία είναι μεγαλύτερη το Μάρτιο και ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά ο Νοέμβριος, ο Φεβρουάριος, ο Ιανουάριος και τέλος ο Δεκέμβριος.

Τα διαγράμματα αυτά θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν και πρακτικά καθώς δίνουν στο μελετητή τις παρακάτω δυνατότητες :

- ❖ Για δεδομένο πάχος μόνωσης w και ποσοστό υαλοπινάκων P_f μπορεί να εκτιμηθεί η ενεργειακή κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης E_d
- ❖ Για σταθερό ποσοστό υαλοπινάκων, θα μπορούσε να εκτιμηθεί η μεταβολή της ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης για αντίστοιχη μεταβολή του πάχους της μόνωσης
- ❖ Για σταθερό πάχος μόνωσης, θα μπορούσε να εκτιμηθεί η μεταβολή της ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης για αντίστοιχη μεταβολή της επιφάνειας των υαλοπινάκων
- ❖ Με στόχο τη διατήρηση ίδιας τιμής κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, θα μπορούσε να εκτιμηθεί η απαιτούμενη μεταβολή του πάχους της μόνωσης για συγκεκριμένη αλλαγή του ποσοστού υαλοπινάκων ή και το αντίστροφο.

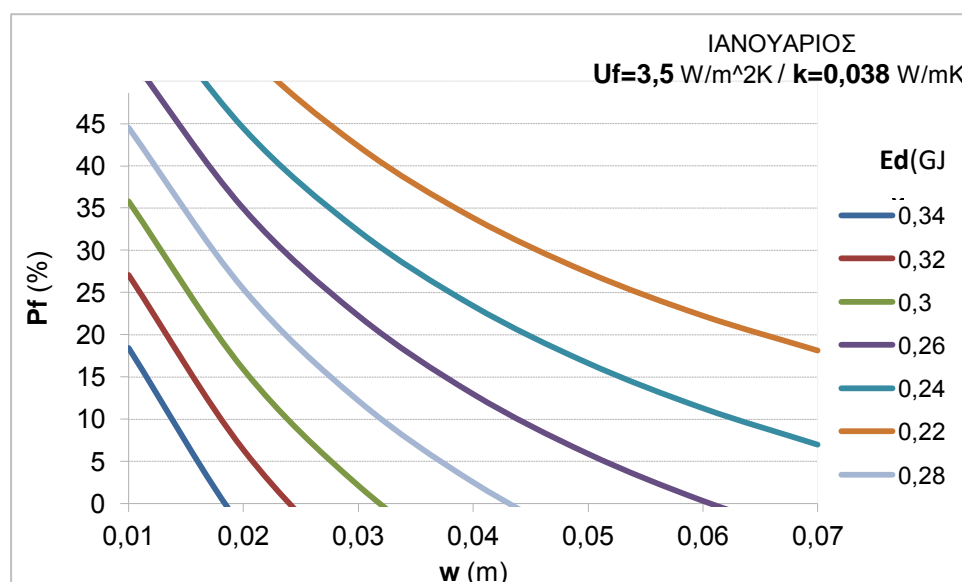
8.2 Καμπύλες ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης με διαφορετική κατανομή του ποσοστού υαλοπινάκων στο κτίριο αναφοράς για την 21^η Ιανουαρίου

Το διάγραμμα που ακολουθεί είναι ανάλογο με αυτά της προηγούμενης ενότητας με τη διαφορά ότι στο κτίριο αναφοράς έχουν τοποθετηθεί υαλοπίνακες και στον τοίχο με βόρειο προσανατολισμό και το ποσοστό των υαλοπινάκων επί της

συνολικής επιφάνειας του κελύφους μοιράζεται ισόποσα στους τέσσερις προσανατολισμούς κι όχι στους τρεις όπως προηγουμένως.

Η μελέτη έγινε διατηρώντας σταθερές τις τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης ($k=0,038\text{W/mK}$) και του συντελεστή θερμοπερατότητας των υαλοπινάκων ($U_f = 3,5\text{ W/m}^2\text{K}$) και μεταβάλλοντας το πάχος της μόνωσης w και του ποσοστού των υαλοπινάκων P_f . Το ποσοστό επιφάνειας των υαλοπινάκων κυμαίνεται εδώ από 0-50% και το πάχος μόνωσης από 1÷7cm.

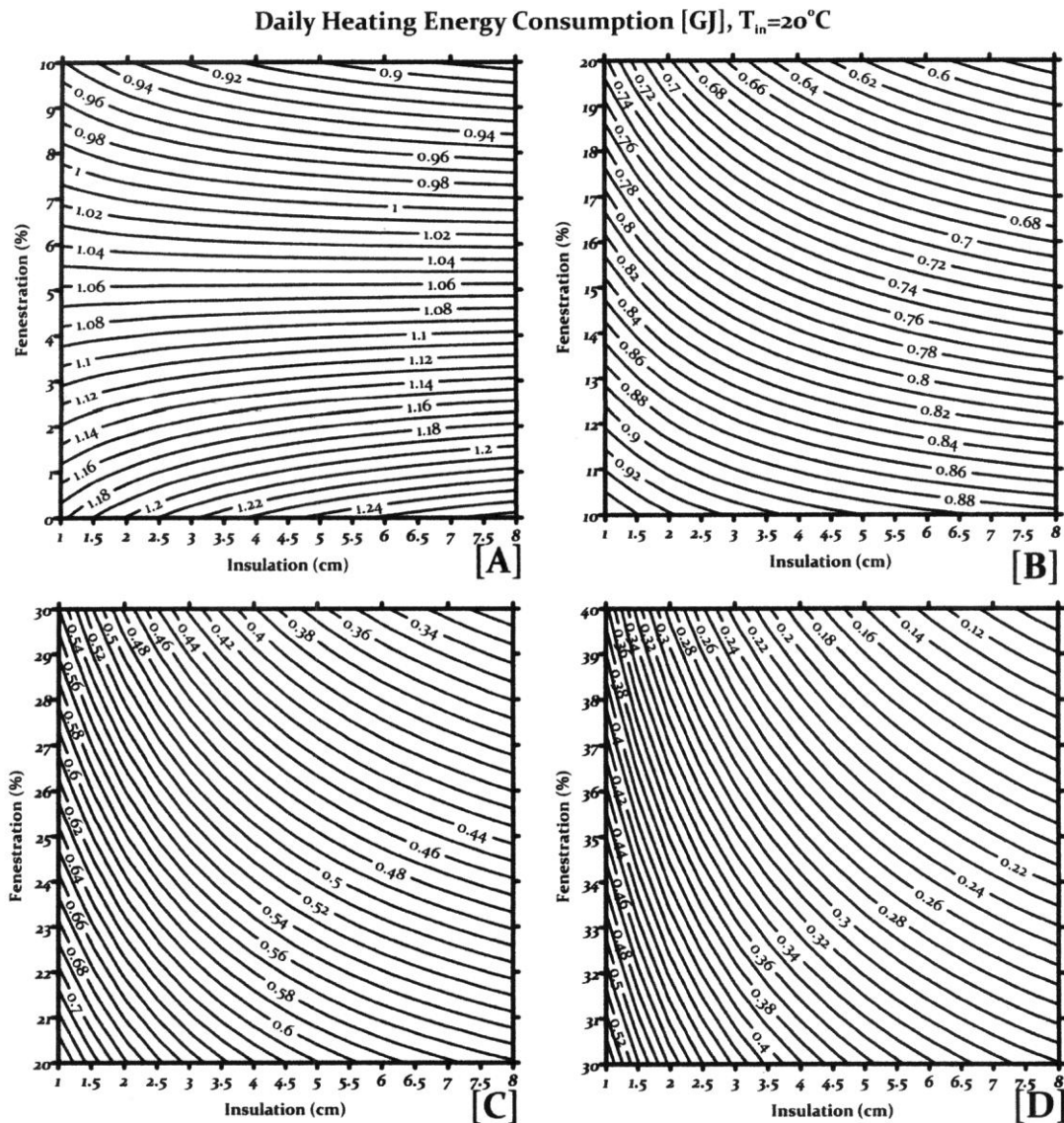
Τα αποτελέσματα του παρακάτω διαγράμματος (διάγραμμα 8.2.1) αντιστοιχούν στις τυπική μέρα 21ης Ιανουαρίου για τις τυπικές κλιματολογικές συνθήκες της Αθήνας.



Διάγραμμα 8.2.1 Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Ιανουαρίου για αλλαγές στο κτίριο αναφοράς όπως περιγράφονται στην Ενότητα 8.2. (Σταθερά: $U_f=3,5\text{W/m}^2\text{K}$, $k=0,038\text{W/mK}$).

Συγκρίνοντας το διάγραμμα αυτό με το αντίστοιχο της προηγούμενης ενότητας, δηλαδή με το διάγραμμα 8.1.21, παρατηρείται ότι για ίδιους συνδυασμούς ποσοστών υαλοπινάκων και μόνωσης, η κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης είναι αυξημένη στο κτίριο με υαλοπίνακες και στο βορρά. Παράδειγμα : για $P_f = 30\%$ και $w = 5\text{ cm}$, έχουμε $E_{d1}=0,2018\text{GJ}$ ενώ $E_{d2}=0,1872\text{ GJ}$ για το αρχικό κτίριο αναφοράς (χωρίς παράθυρα στο βορρά).

Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα με αποτελέσματα δημοσίευσης [33] (για το ίδιο κτίριο αναφοράς που μελετάμε σε αυτήν την ενότητα) στην οποία όμως οι υπολογισμοί έγιναν με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών, μέθοδο με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια από αυτήν που ακολουθούμε στην παρούσα εργασία.



Διάγραμμα 8.2.2. Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d που προκύπτουν με την μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Ιανουαρίου για αλλαγές στο κτίριο αναφοράς όπως περιγράφονται στην Ενότητα 8.2. (Σταθερά: $U_f=3,5\text{W}/\text{m}^2\text{K}$, $k=0,038\text{W}/\text{mK}$) [33].

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα παρατηρούνται τα εξής:

- Στη διάγραμμα 8.2.2 για ίδιους συνδυασμούς πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων με το διάγραμμα 8.2.1, η ενεργειακή κατανάλωση είναι σαφώς μεγαλύτερη κατά περίπου 20%. Για παράδειγμα, με πάχος μόνωσης 5 cm και ποσοστό υαλοπινάκων 30% η ενεργειακή κατανάλωση προκύπτει $Ed_3 = 0,36$ GJ ενώ με βάση τη μέθοδο της παρούσας εργασίας προκύπτει $Ed_1 = 0,2018$ GJ.
- Και από τις δυο μελέτες προκύπτει ότι για σταθερό πάχος μόνωσης αύξηση του ποσοστού υαλοπινάκων συνεπάγεται μείωση της ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης λόγω της αύξησης του θερμικού κέρδους των υαλοπινάκων.
- Σύμφωνα με το διάγραμμα 8.2.1 προκύπτει ότι για σταθερό ποσοστό υαλοπινάκων αύξηση του πάχους της μόνωσης συνεπάγεται μείωση της κατανάλωσης ενέργειας όπως και στην προηγούμενη ενότητα. Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και μελετώντας τα διαγράμματα της δημοσίευσης [33] όπως ήταν αναμενόμενο, αλλά μέχρι ένα συγκεκριμένο ποσοστό υαλοπινάκων (μέχρι $Pf=5\%$).

Για ποσοστό υαλοπινάκων μικρότερο του 5% αύξηση του πάχους μόνωσης προκαλεί αύξηση και της ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης. Η συμπεριφορά αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι αυξάνοντας το πάχος της μόνωσης μειώνεται και η εισερχόμενη ηλιακή θερμότητα δι'αγωγής μέσω των εξωτερικών τοίχων ενώ παράλληλα λόγω της περιορισμένης επιφάνειας πια των υαλοπινάκων μειώνεται και σε μεγάλο βαθμό η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται από αυτούς. Οπότε πλέον, καθοριστικό ρόλο στην ενεργειακή κατανάλωση παίζει η μείωση της εισερχόμενης θερμότητας μέσω των τοίχων ενώ πριν γινόταν το αντίθετο. Αυτή η συμπεριφορά της μόνωσης έχει σαν αποτέλεσμα, η ενεργειακή ημερήσια κατανάλωση θέρμανσης να είναι σχεδόν ανεξάρτητη του πάχους της μόνωσης για ποσοστό υαλοπινάκων 5%.

Η διαφορετική αυτή συμπεριφορά της μόνωσης δεν κατέστει δυνατό να αποτυπωθεί με τη μέθοδο που ακολουθήσαμε στην εργασία αυτή, γεγονός αναμενόμενο αφού το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε είναι εντελώς προσεγγιστικό και η ορθότητα των αποτελεσμάτων του είναι απλά ποιοτική.

9. Ψευδοαδιαβατικό κέλυφος

9.1 Ψευδοαδιαβατικό κέλυφος για το κτίριο αναφοράς

Με τον όρο «ψευδοαδιαβατικό» περιγράφουμε το κέλυφος όταν αυτό συμπεριφέρεται αδιαβατικά, δηλαδή όταν το άθροισμα των αρνητικών και θετικών φορτίων που εισέρχονται στο κέλυφος είναι μηδέν.

Κατά την χειμερινή περίοδο οι υαλοπίνακες και λιγότερο η μόνωση επιτρέπουν την είσοδο θετικών (θερμικό κέρδος υαλοπινάκων) και αρνητικών (απώλειες λόγω διαφοράς θερμοκρασίας) φορτίων, των οποίων το άθροισμα μπορεί να είναι θετικό, αρνητικό ή μηδέν. Οι τιμές των χαρακτηριστικών της μόνωσης και των υαλοπινάκων παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ποσότητα των φορτίων αυτών και κατάλληλοι συνδυασμοί τους μπορούν να ελαχιστοποιήσουν το άθροισμα των φορτίων αυτών ως και να το μηδενίσουν με αποτέλεσμα να έχουμε πια «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος.

Στο κεφάλαιο αυτό αναζητούνται οι τιμές των χαρακτηριστικών της μόνωσης (πάχος και θερμική αγωγιμότητα) και των υαλοπινάκων (ποσοστό επί της επιφάνειας, συντελεστής θερμοπερατότητας) που καθιστούν το κέλυφος του κτιρίου αναφοράς που εξετάζουμε «ψευδοαδιαβατικό».

Η μελέτη θα γίνει κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών μόνο (Νοέμβρη μέχρι Φεβρουάριο). Για τους εαρινούς και φθινοπωρινούς μήνες έγιναν δοκιμές αλλά όπως ήταν αναμενόμενο δεν κατέσται δυνατό να προκύψει ψευδοαδιαβατικό κέλυφος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι την περίοδο αυτή λόγω της αύξησης της εξωτερικής θερμοκρασίας δεν αυξάνεται μόνο το θερμικό κέρδος λόγω ηλιακής ακτινοβολίας των υαλοπινάκων αλλά αυξάνεται και το εισερχόμενο φορτίο μέσω των τοίχων και των υαλοπινάκων που οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας .

Το ημερήσιο θερμικό κέρδος καθώς και οι απώλειες που αναφέραμε παραπάνω περιλαμβάνουν :

- a) Το ηλιακό θερμικό κέρδος μέσω υαλοπινάκων, F_s
- b) Την αγωγή θερμότητας μέσω του κελύφους, E_c η οποία αποτελείται από το ηλιακό θερμικό κέρδος μέσω του κελύφους εκτός των υαλοπινάκων

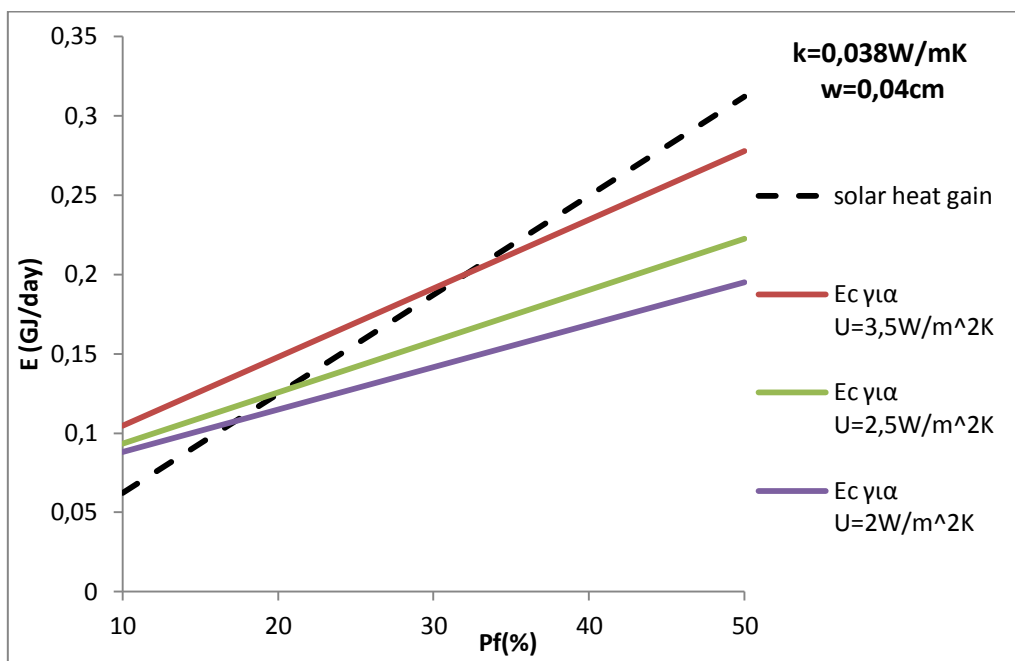
(E_{cs}) και από την απώλεια θερμότητας διαγωγής μέσω του κελύφους (συμπεριλαμβανομένων των υαλοπινάκων), E_{CT} .

Η ροή θερμότητας μέσω του κελύφους περιγράφεται και με την εξίσωση:

$$(9.1.1)$$

η οποία για «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος είναι ίση με μηδέν [34].

Ακολουθεί διαγραμματική απεικόνιση της εξίσωσης αυτής ώστε να γίνει πιο κατανοητός ο όρος «ψευδοαδιαβατικό κέλυφος», παίρνοντας ως παράδειγμα το κτίριο αναφοράς με συντελεστή αγωγιμότητας μόνωσης $k=0,038\text{W/mK}$ και πάχος μόνωσης $w=0,04\text{m}$. Για τα δεδομένα αυτά παρατηρείται ότι έχουμε ψευδοαδιαβατικό κέλυφος στα σημεία που ο άξονας του θερμικού κέρδους F_s τέμνει τον άξονα του E_c .



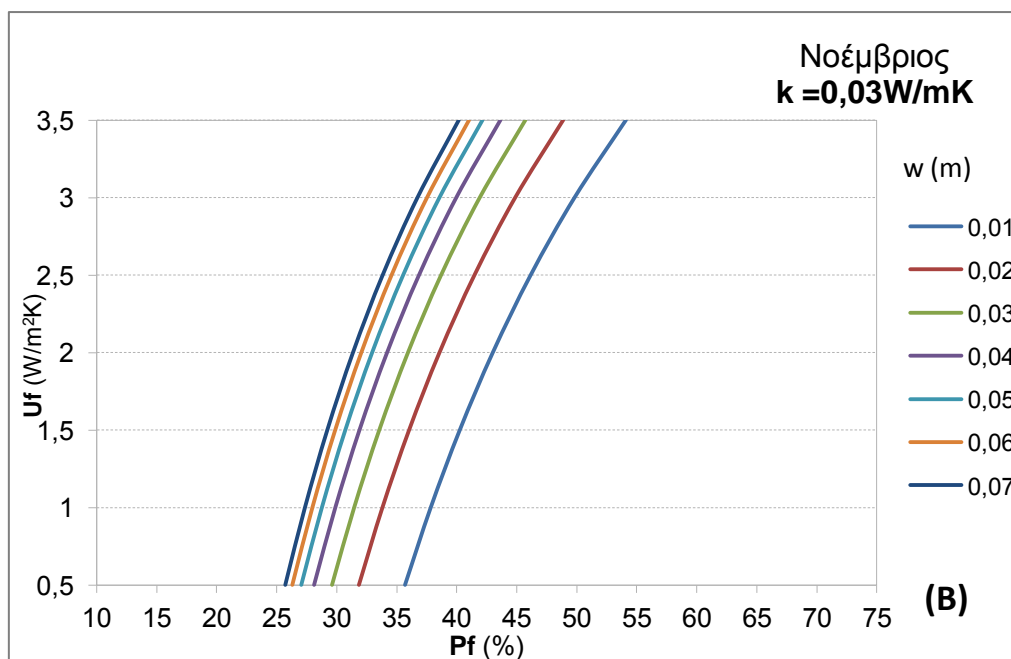
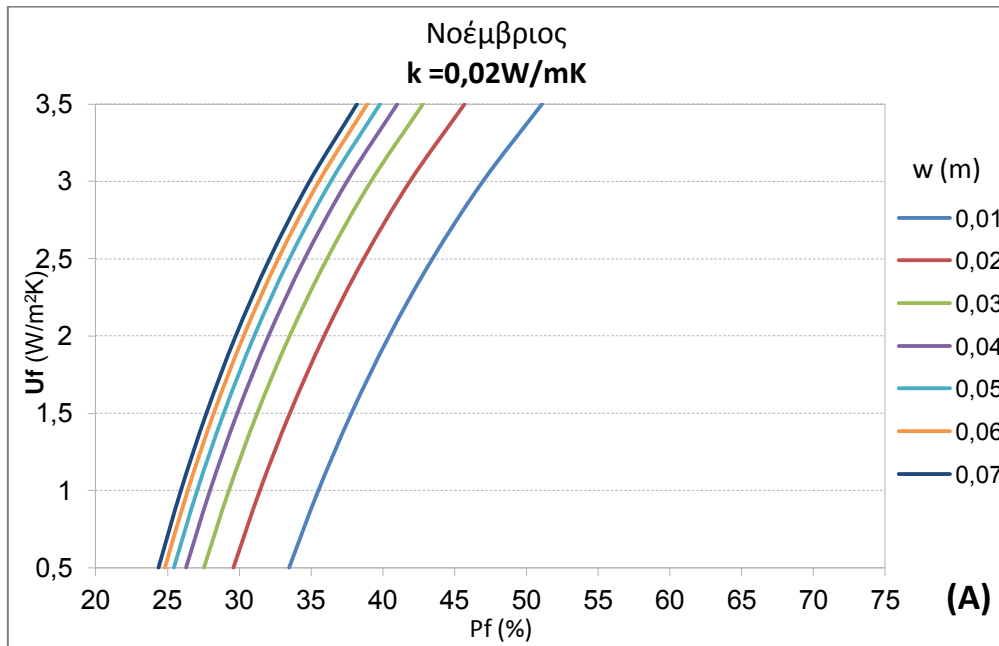
Διάγραμμα 9.1.1. Ημερήσιο θερμικό κέρδος (*solar heat gain*) και ημερήσιες θερμικές απώλειες (E_c) συναρτήσεσι του ποσοστού υαλοπινάκων (P_f) για διάφορες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας (U_f) για το κτίριο αναφοράς.

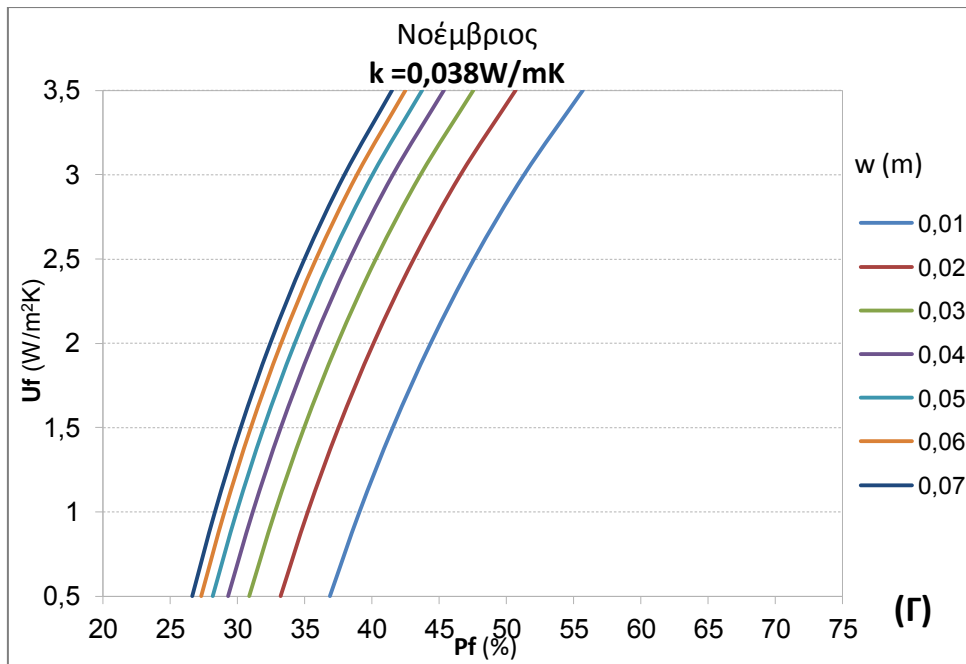
Στα διαγράμματα που ακολουθούν δίνονται οι καμπύλες που αντιστοιχούν σε συνδυασμούς των παραμέτρων (U_f , P_f) για τις οποίες το κέλυφος του αρχικού

κτιρίου αναφοράς συμπεριφέρεται ως «ψευδοαδιαβατικό» διατηρώντας κάθε φορά δεδομένο το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας k .

Τα διαγράμματα αντιστοιχούν στην τυπική 21^η μέρα κάθε μήνα και οι τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης που εξετάζονται είναι οι 0,02, 0,03, 0,038 W/mK και του πάχους της 0,01÷0,07 m.

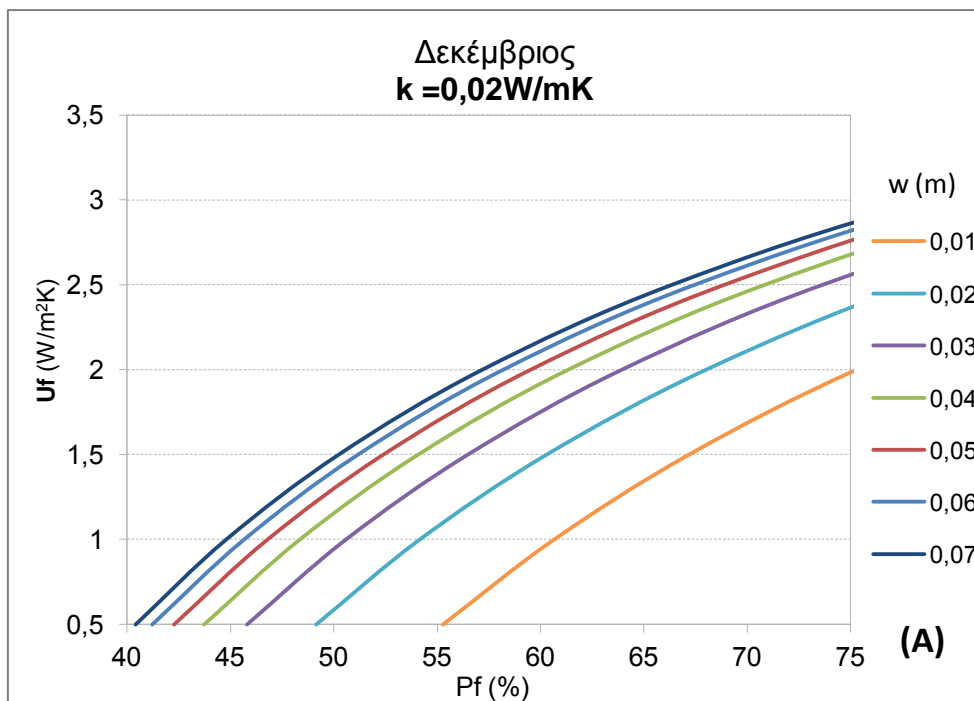
Για την 21^η Νοεμβρίου:

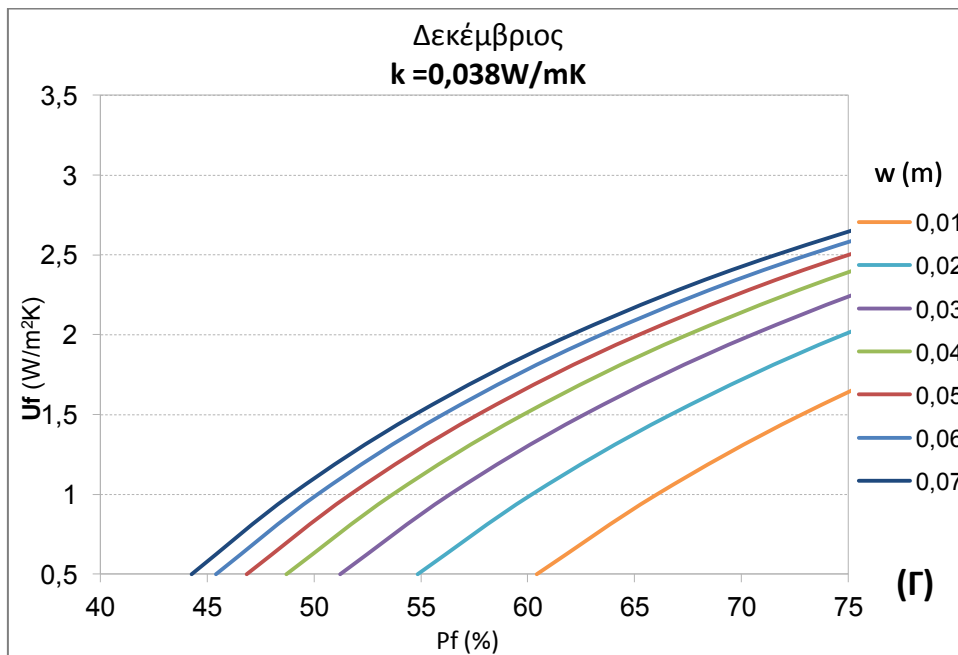
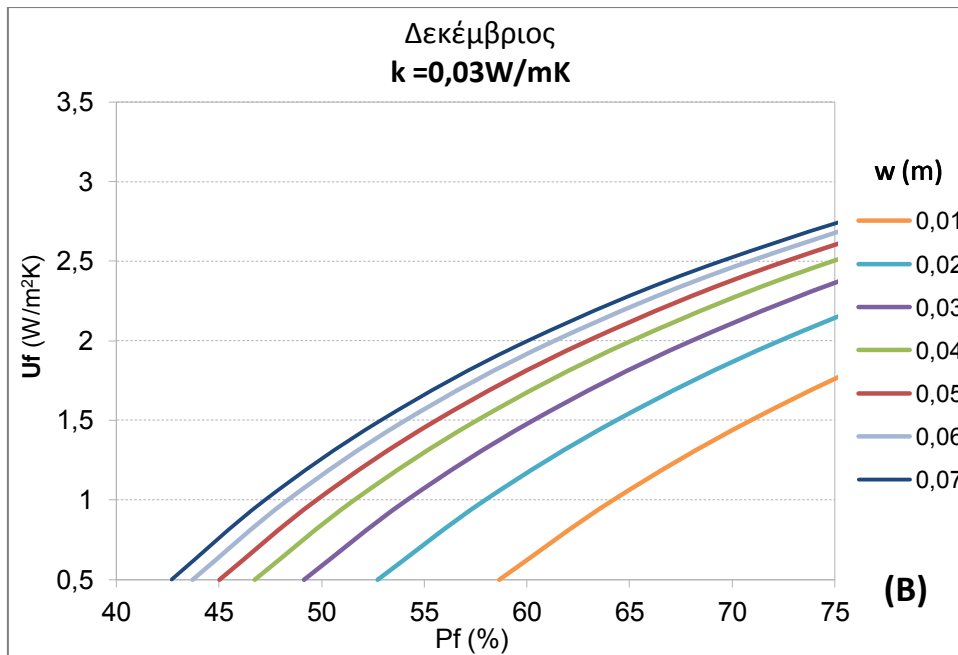




Διάγραμμα 9.1.2 Ψευδοαδιαβατικό κέλυφος για συνδυασμούς των τιμών των παραμέτρων U_f , P_f για διάφορα πάχη μόνωσης για το κτίριο αναφοράς για την 21^η Νοεμβρίου: (Α) Για $k=0,02$ W/mK, (Β) Για $k=0,03$ W/mK, (Γ) Για $k=0,038$ W/mK.

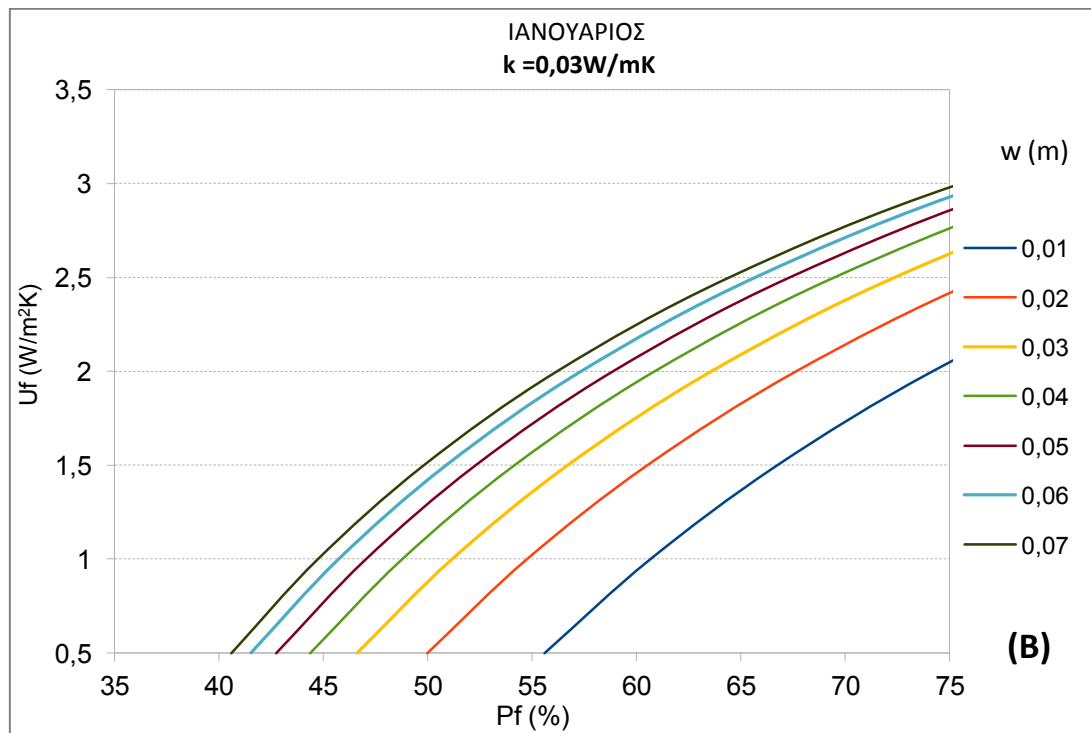
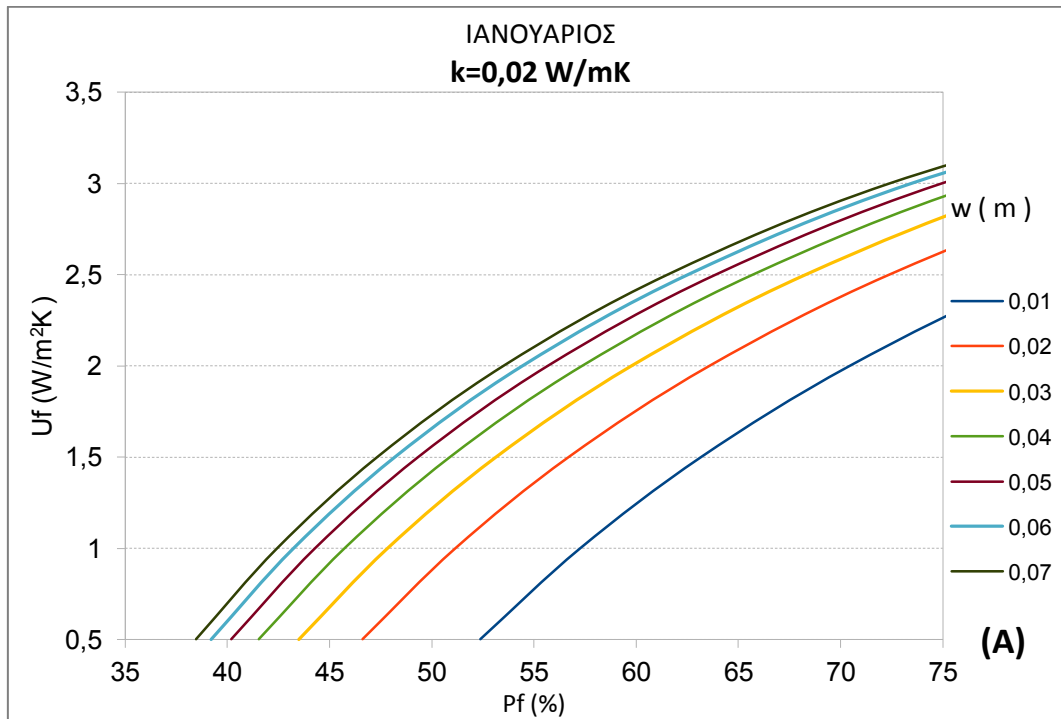
Για την 21^η Δεκέμβρη:

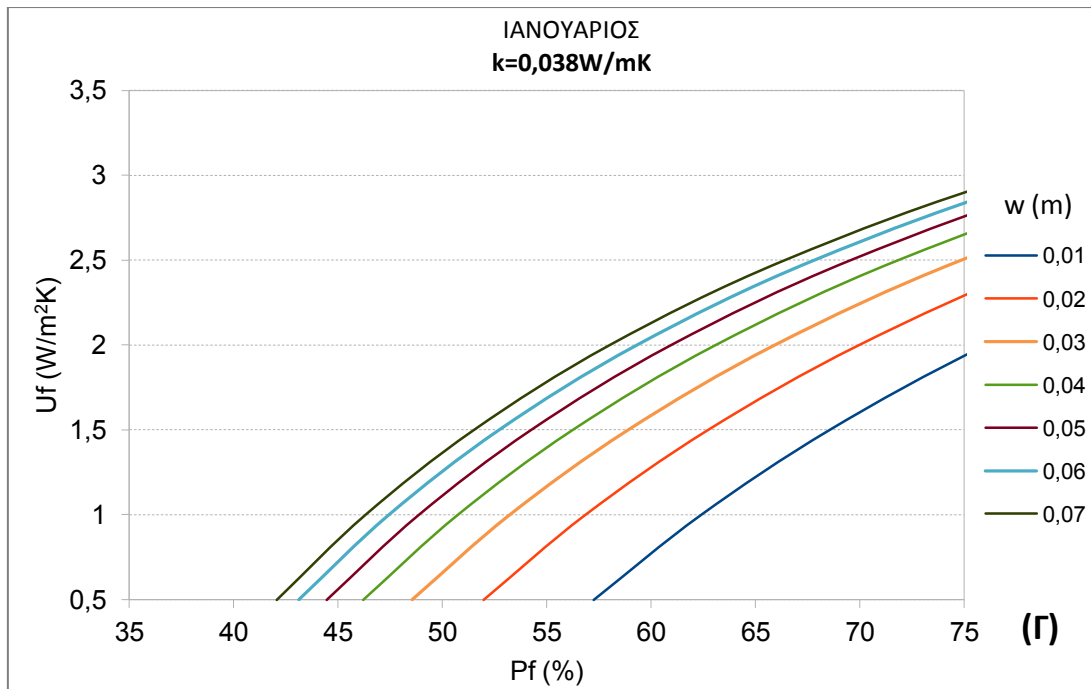




Διάγραμμα 9.1.3 Ψευδοαδιαβατικό κέλυφος για συνδυασμούς των τιμών των παραμέτρων U_f , P_f για διάφορα πάχη μόνωσης για το κτίριο αναφοράς για την 21^η Δεκεμβρίου: (Α) Για $k=0,02 \text{ W/mK}$, (Β) Για $k=0,03 \text{ W/mK}$, (Γ) Για $k=0,038 \text{ W/mK}$.

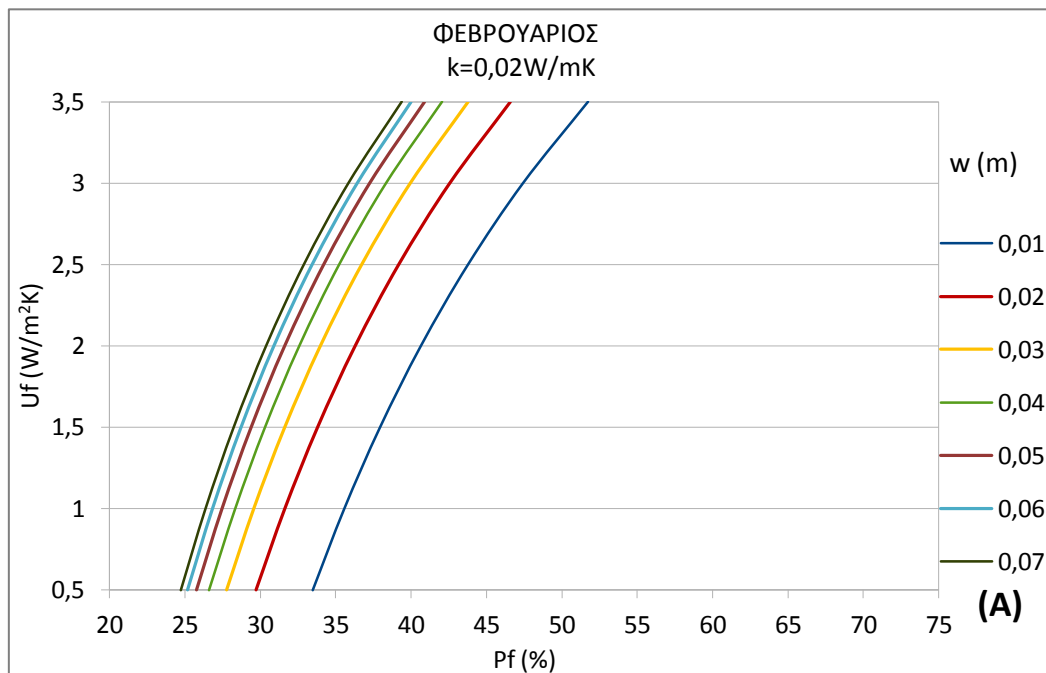
Για την 21η Ιανουαρίου:

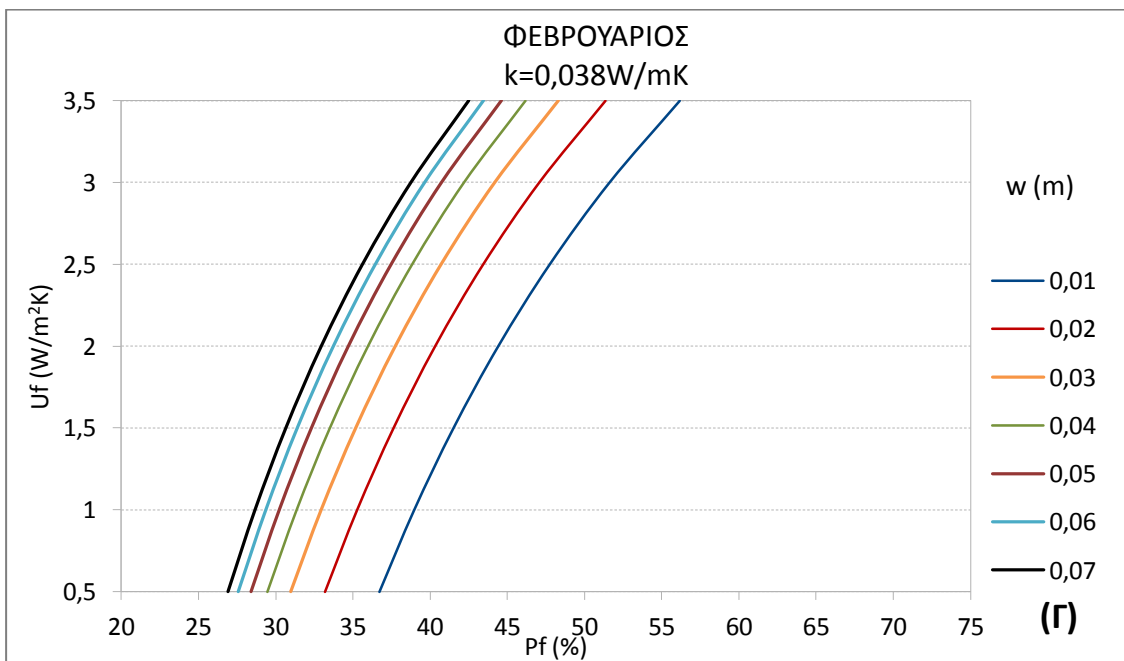
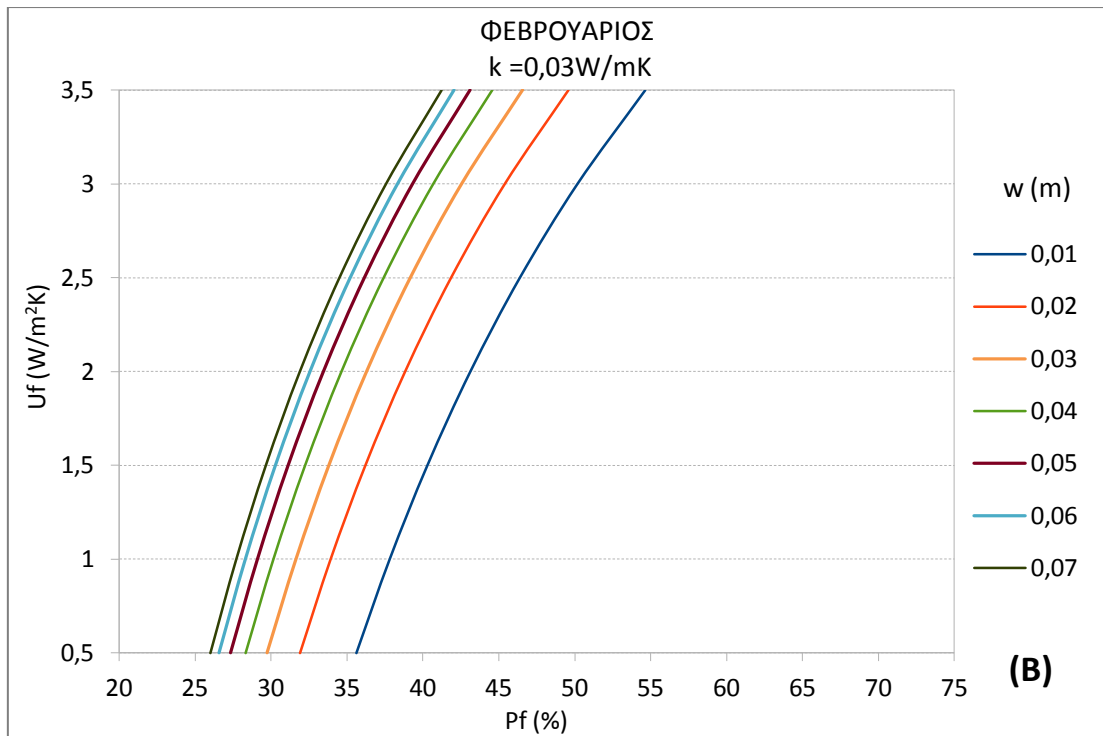




Διάγραμμα 9.1.4 Ψευδοαδιαβατικό κέλυφος για συνδυασμούς των τιμών των παραμέτρων U_f , P_f για διάφορα πάχη μόνωσης για το κτίριο αναφοράς για την 21^η Ιανουαρίου: (Α) Για $k=0,02$ W/mK, (Β) Για $k=0,03$ W/mK, (Γ) Για $k=0,038$ W/mK.

Για την 21^η Φεβρουαρίου:





Διάγραμμα 9.1.5 Ψευδοαδιαβατικό κέλυφος για συνδυασμούς των τιμών των παραμέτρων U_f , P_f για διάφορα πάχη μόνωσης για το κτίριο αναφοράς για την 21^η Φεβρουαρίου: (Α) Για $k=0,02$ W/mK, (Β) Για $k=0,03$ W/mK, (Γ) Για $k=0,038$ W/mK.

Μελετώντας τα διαγράμματα 9.1.1-9.1.5 συμπεραίνουμε ότι:

- ❖ Για συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας k σταθερό, αύξηση του πάχους μόνωσης w μετατοπίζει τις καμπύλες ψευδοαδιαβατικού κελύφους προς τα αριστερά και προς τα πάνω.

Για παράδειγμα, την 21^η Ιανουαρίου για $k=0,03\text{W/mK}$ και ποσοστό υαλοπινάκων 50% επιτυγχάνεται ψευδοαδιαβατικό κέλυφος για :

$$U=0,5 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ με πάχος μόνωσης } 2\text{cm},$$

$$U=1,2 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ με πάχος μόνωσης } 3\text{cm}$$

$$U=1,7 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ με πάχος μόνωσης } 7\text{cm}.$$

Ενώ για $k=0,03\text{W/mK}$ και $U=1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ επιτυγχάνεται ψευδοαδιαβατικό κέλυφος για τους εξής συνδυασμούς :

$$P_f=59\% \text{ με πάχος μόνωσης } 2\text{cm}$$

$$P_f=52\% \text{ με πάχος μόνωσης } 5\text{cm}$$

$$P_f=47\% \text{ με πάχος μόνωσης } 7\text{cm}$$

- ❖ Για ίδιο πάχος μόνωσης και ίδιο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ,αύξηση του ποσοστού υαλοπινάκων συνεπάγεται και αύξηση του συντελεστή θερμοπερατότητας U_f . Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αυξάνοντας το P_f αυξάνεται το θερμικό κέρδος των υαλοπινάκων και έτσι για να εξισωθούν κέρδη και απώλειες πρέπει να αυξηθεί και ο συντελεστής θερμοπερατότητας των υαλοπινάκων.
- ❖ Αυξάνοντας το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας k , η καμπύλη για ίδιο πάχος μόνωσης μετατοπίζεται προς τα δεξιά και κάτω, δηλαδή για ίδιο πάχος μόνωσης απαιτείται μεγαλύτερο ποσοστό υαλοπινάκων και μικρότερος συντελεστής θερμοπερατότητας U_f καθώς χειροτερεύοντας τη μόνωση, αυξάνονται οι απώλειες δι'αγωγής κι έτσι απαιτείται αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας και κατά συνέπεια αύξηση της επιφάνειας των υαλοπινάκων.

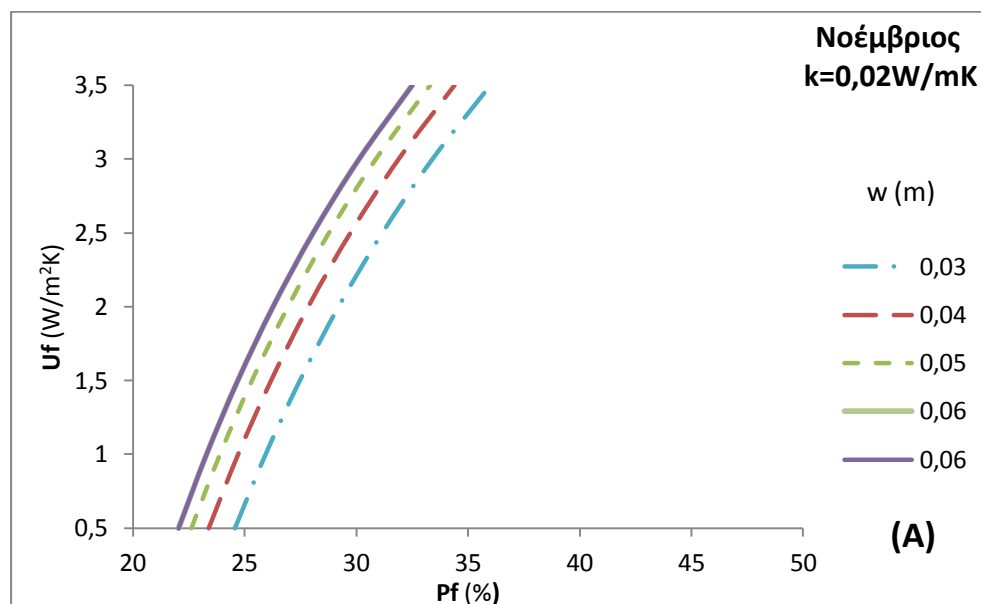
9.2 Προσέγγιση ψευδοαδιαβατικού κελύφους για διαφορετική κατανομή του ποσοστού υαλοπινάκων στο κτίριο αναφοράς

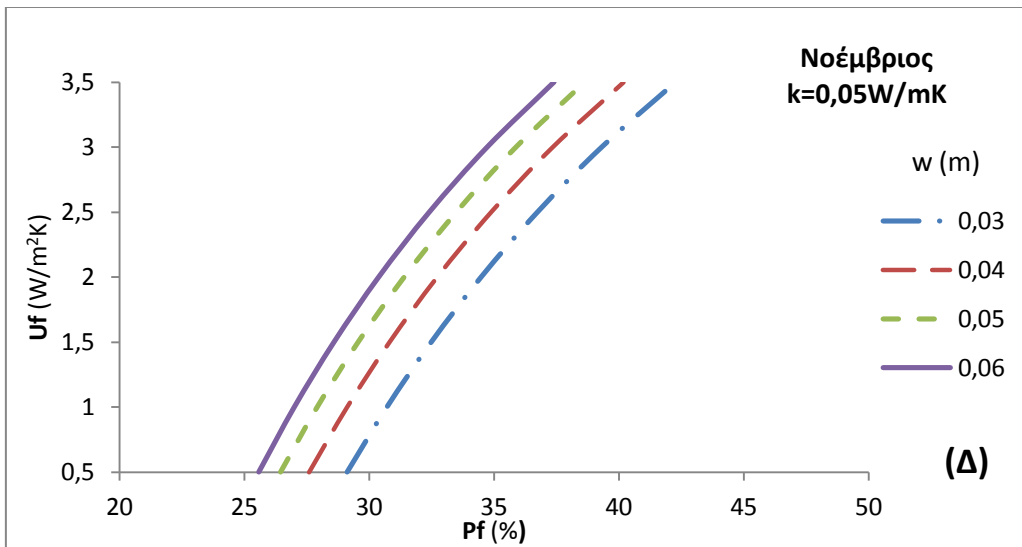
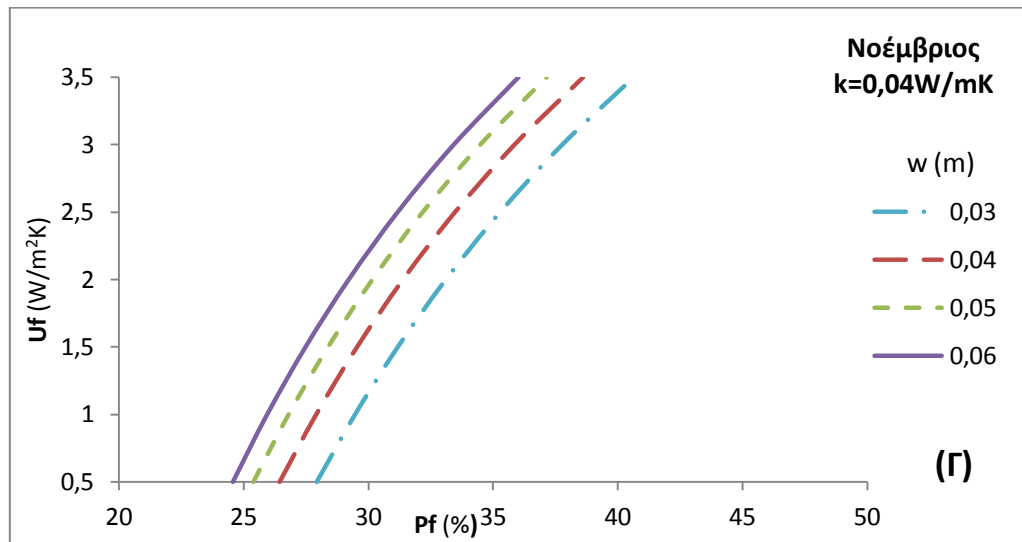
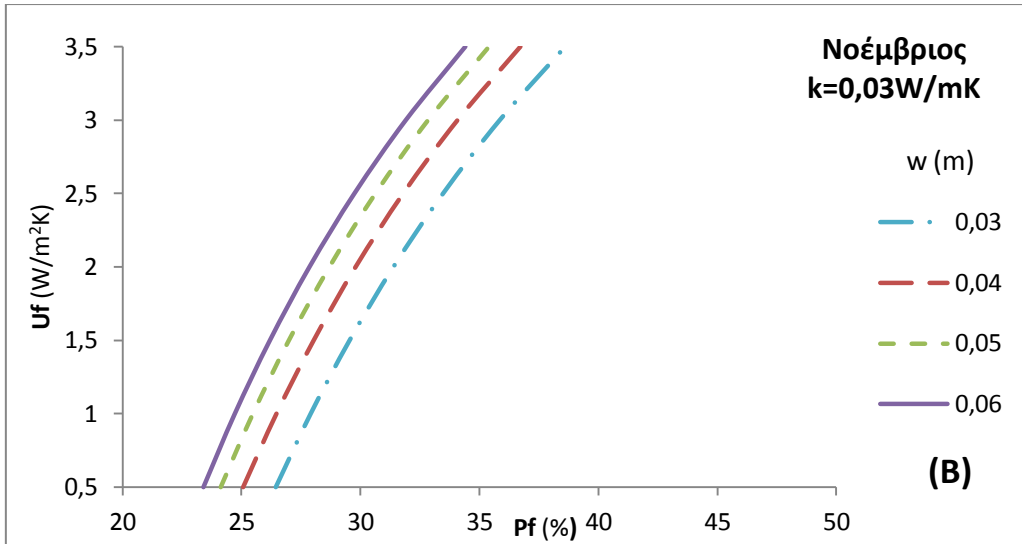
Στο κεφάλαιο αυτό θα θεωρήσουμε ότι στο κτίριο αναφοράς που μελετάμε έχουν τοποθετηθεί υαλοπίνακες στους τρεις εξωτερικούς τοίχους με προσανατολισμό νότο, ανατολή και δύση όπως και πριν. Το ποσοστό όμως των υαλοπινάκων επί της συνολικής επιφάνειας του κτιρίου δεν θα κατανεμηθεί εξίσου στους τρεις τοίχους αλλά ο νότιος τοίχος θα καλύπτεται κατά 50% από υαλοπίνακες, ενώ οι υπόλοιποι δυο (δυτικός και ανατολικός) κατά 25%. Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά παραμένουν ίδια όπως και περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 6.3.1.

Τα διαγράμματα που ακολουθούν είναι ανάλογα με τα διαγράμματα 9.1.2-9.15, με μόνη διαφορά την κατανομή του ποσοστού των υαλοπινάκων σε κάθε τοίχο. Οι τιμές των παραμέτρων της μόνωσης που εξετάστηκαν είναι οι ακόλουθες :

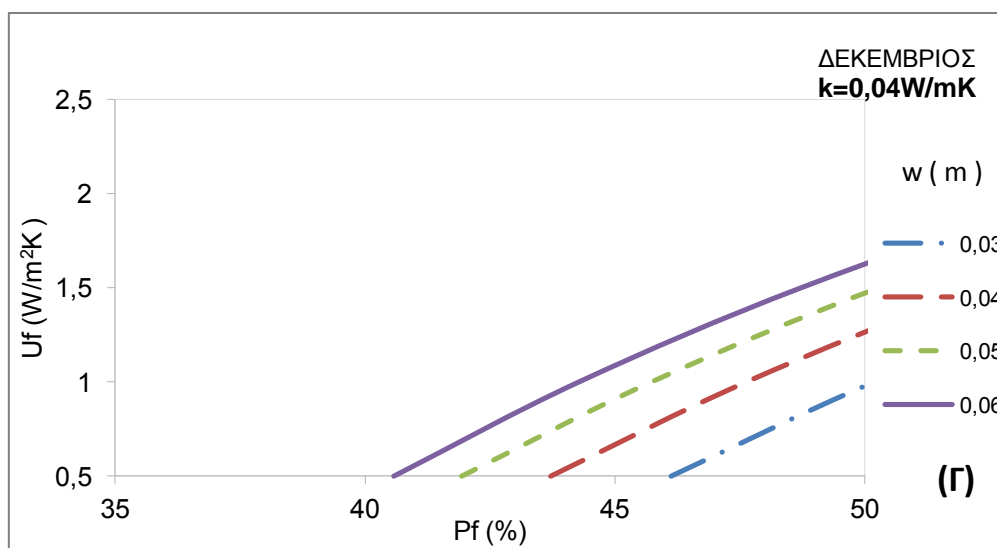
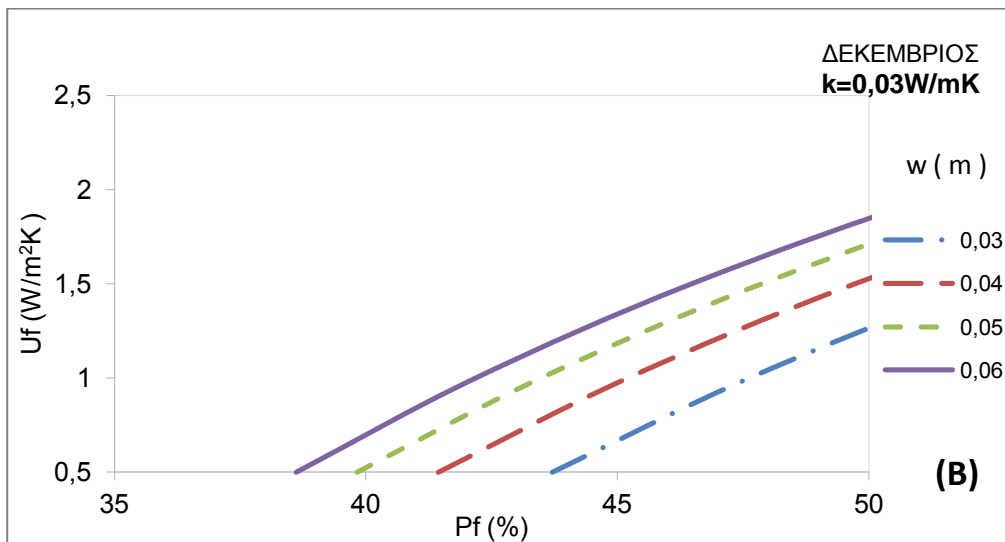
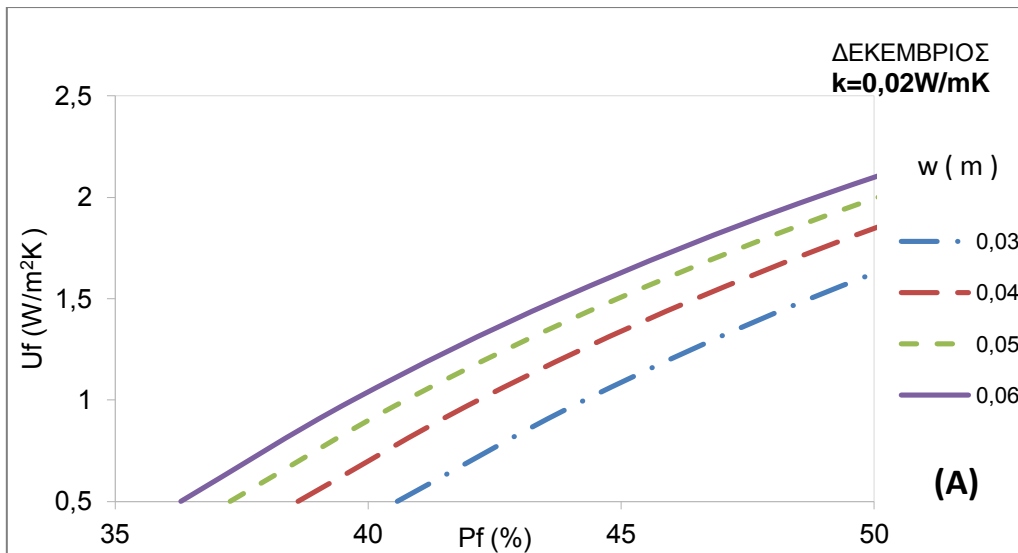
$$k=0,02, 0,03, 0,04, 0,05 \text{ W/mK},$$

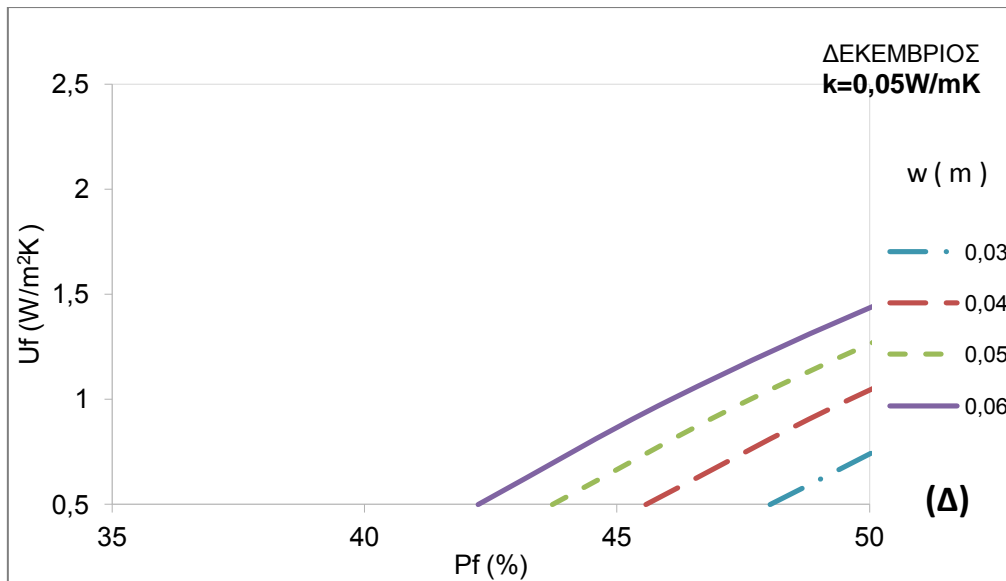
$$w=0,03, 0,04, 0,05, 0,06 \text{ cm}.$$



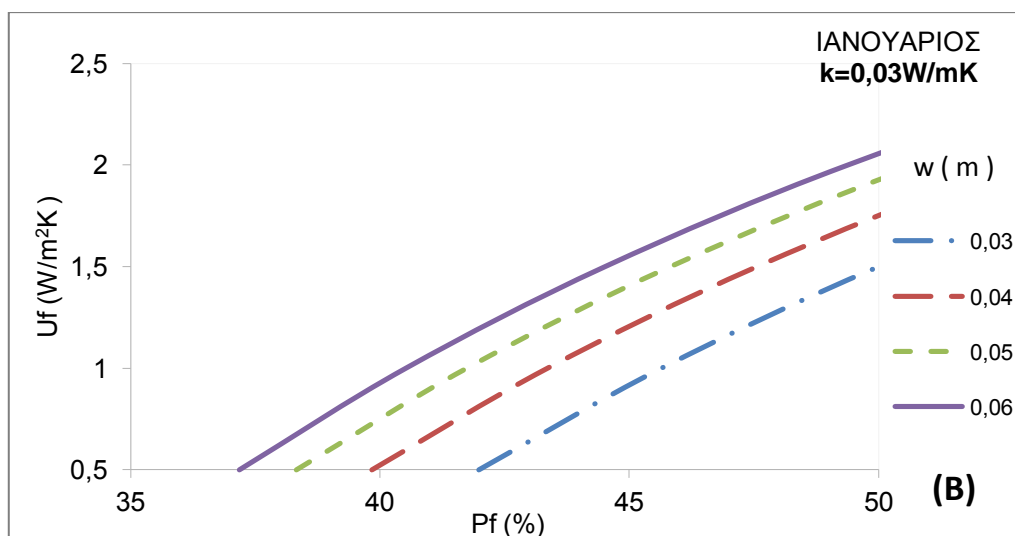
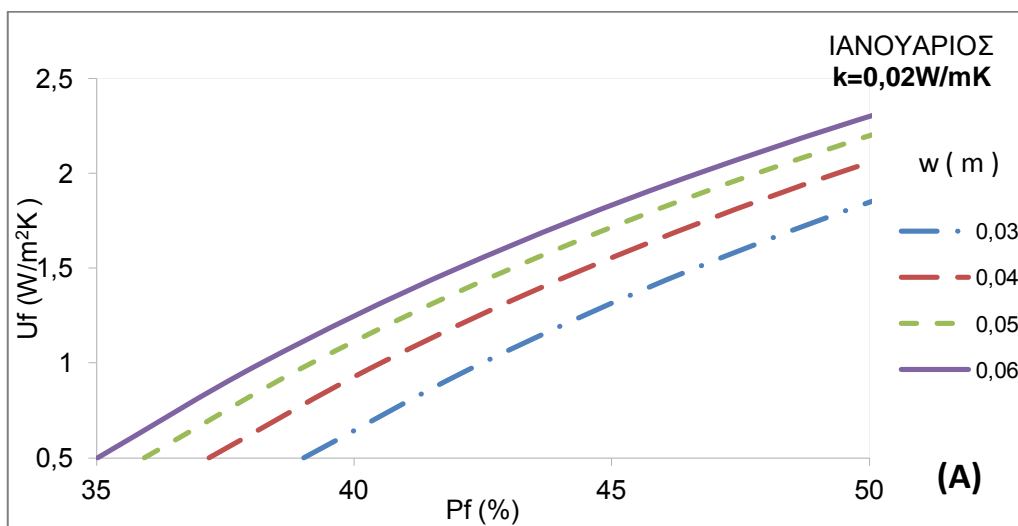


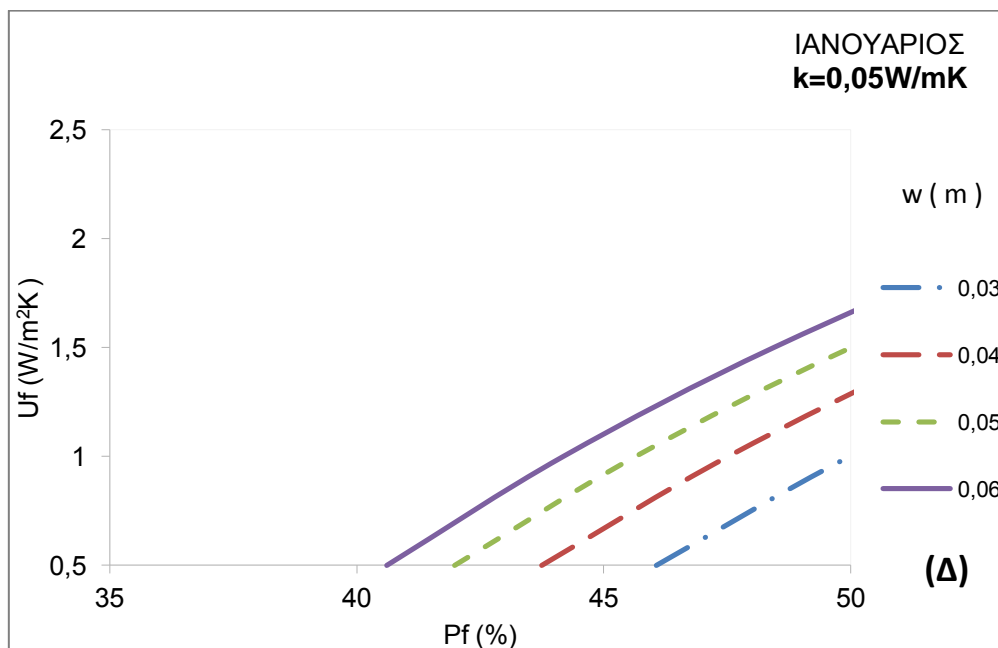
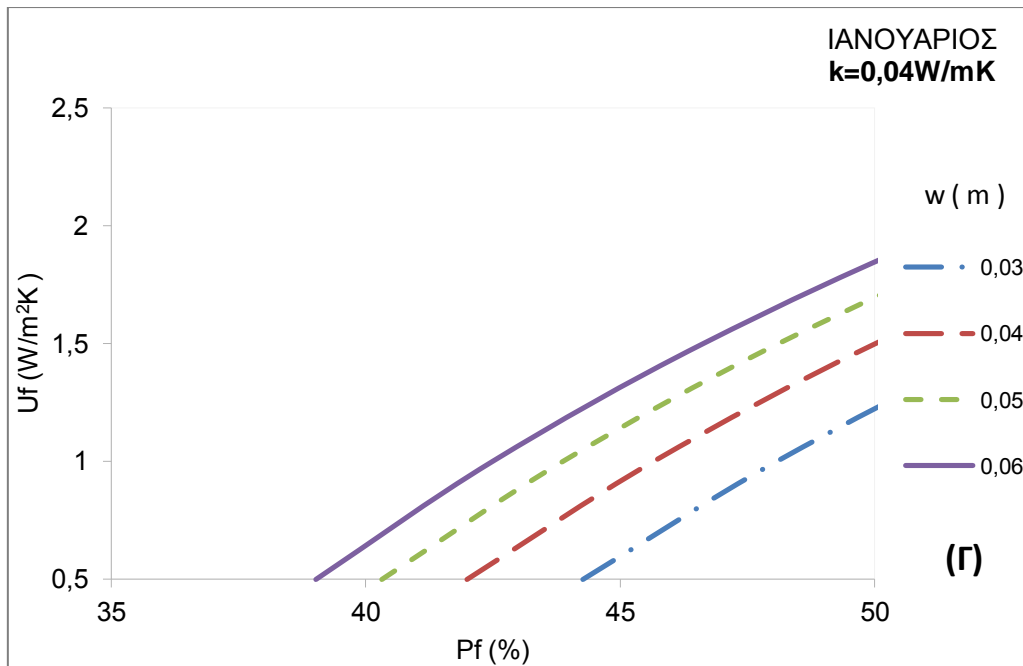
Διάγραμμα 9.2.1 Ψευδοαδιαβατικό κέλυφος για συνδυασμούς των τιμών των παραμέτρων U_f , P_f για διάφορα πάχη μόνωσης για το βελτιωμένο κτίριο αναφοράς για την 21^η Νοεμβρίου: (Α) $k=0,02$ W/mK, (Β) $k=0,03$ W/mK, (Γ) $k=0,04$ W/mK, (Δ) $k=0,05$ W/mK.



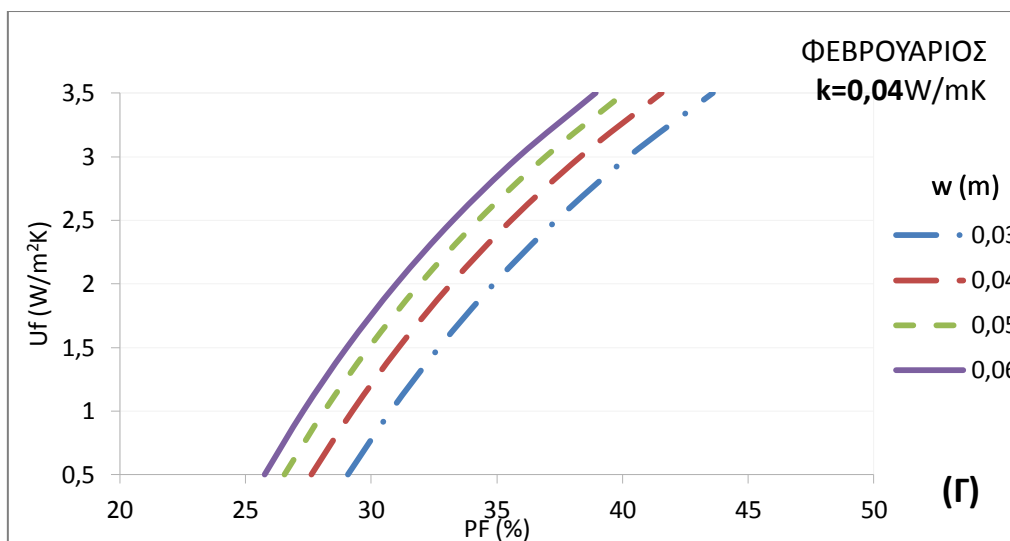
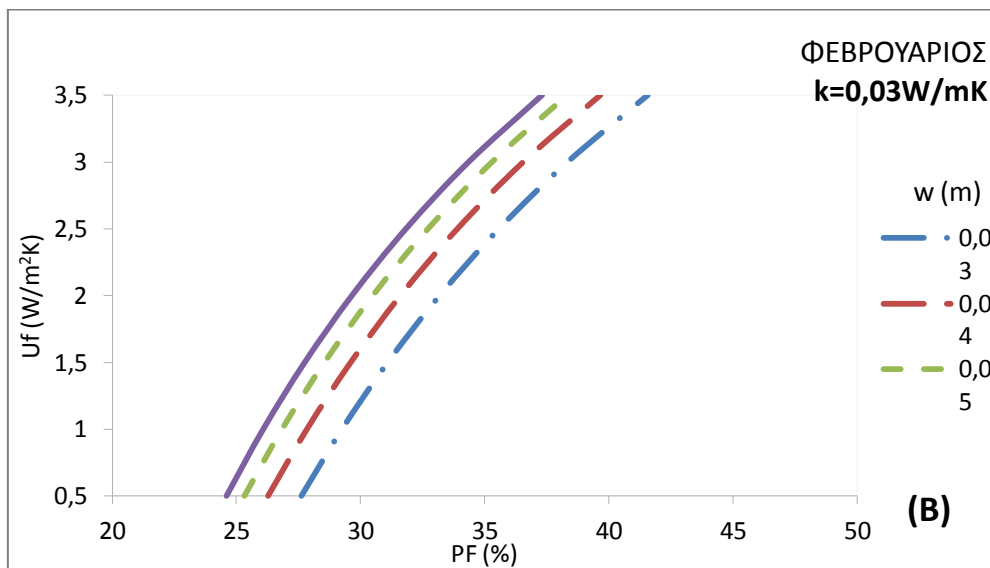
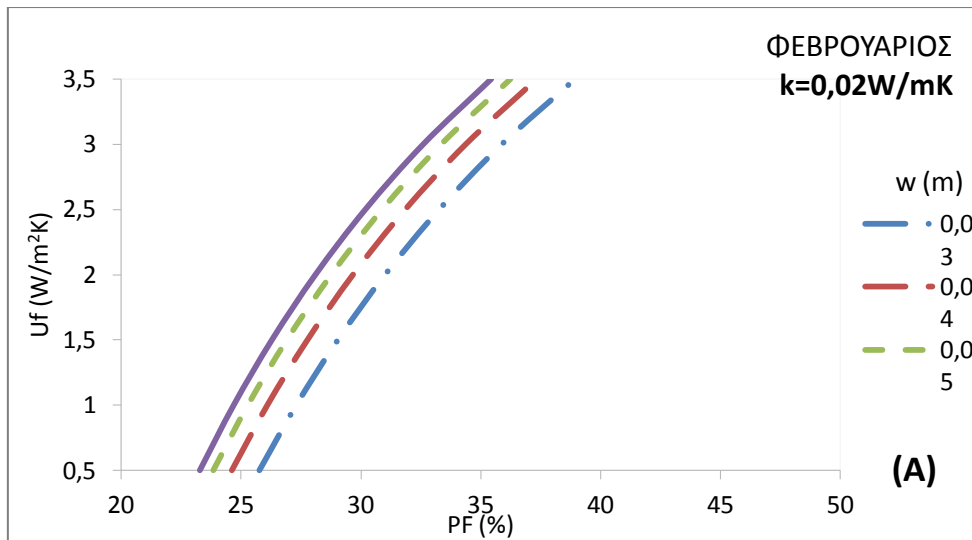


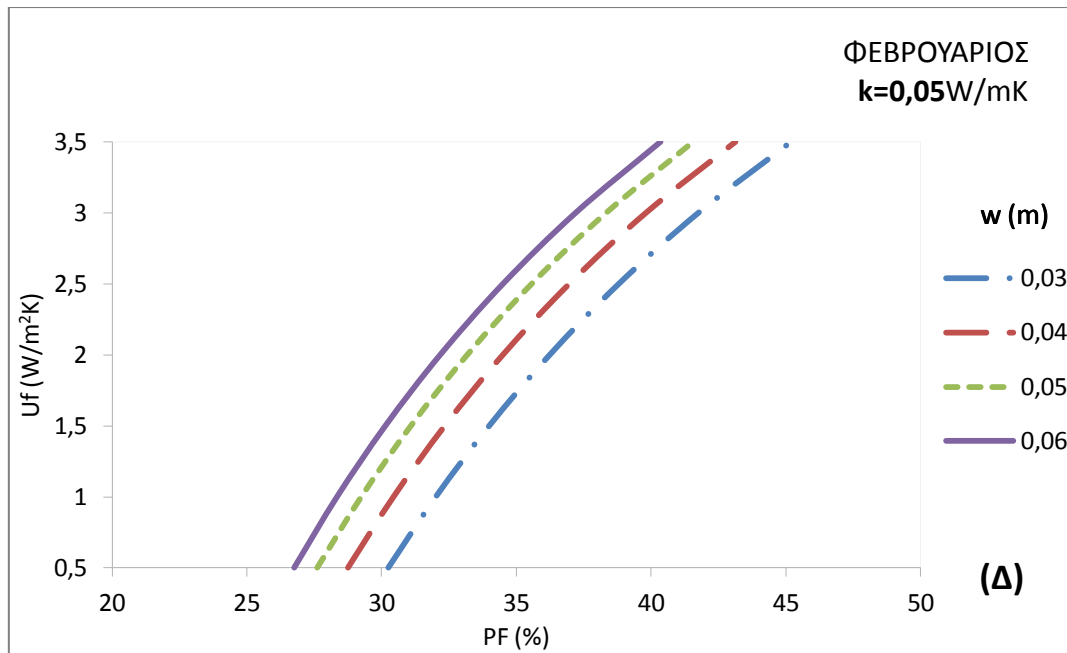
Διάγραμμα 9.2.2. Ψευδοαδιαβατικό κέλυφος για συνδυασμούς των τιμών των παραμέτρων U_f , P_f για διάφορα πάχη μόνωσης για το βελτιωμένο κτίριο αναφοράς για την 21^η Δεκεμβρίου: (Α) $k=0,02$ W/mK, (Β) $k=0,03$ W/mK, (Γ) $k=0,04$ W/mK, (Δ) $k=0,05$ W/mK.





Διάγραμμα 9.2.3. Ψευδοαδιαβατικό κέλυφος για συνδυασμούς των τιμών των παραμέτρων U_f , P_f για διάφορα πάχη μόνωσης για το βελτιωμένο κτίριο αναφοράς για την 21^η Ιανουαρίου: (Α) $k=0,02$ W/mK, (Β) $k=0,03$ W/mK, (Γ) $k=0,04$ W/mK, (Δ) $k=0,05$ W/mK.



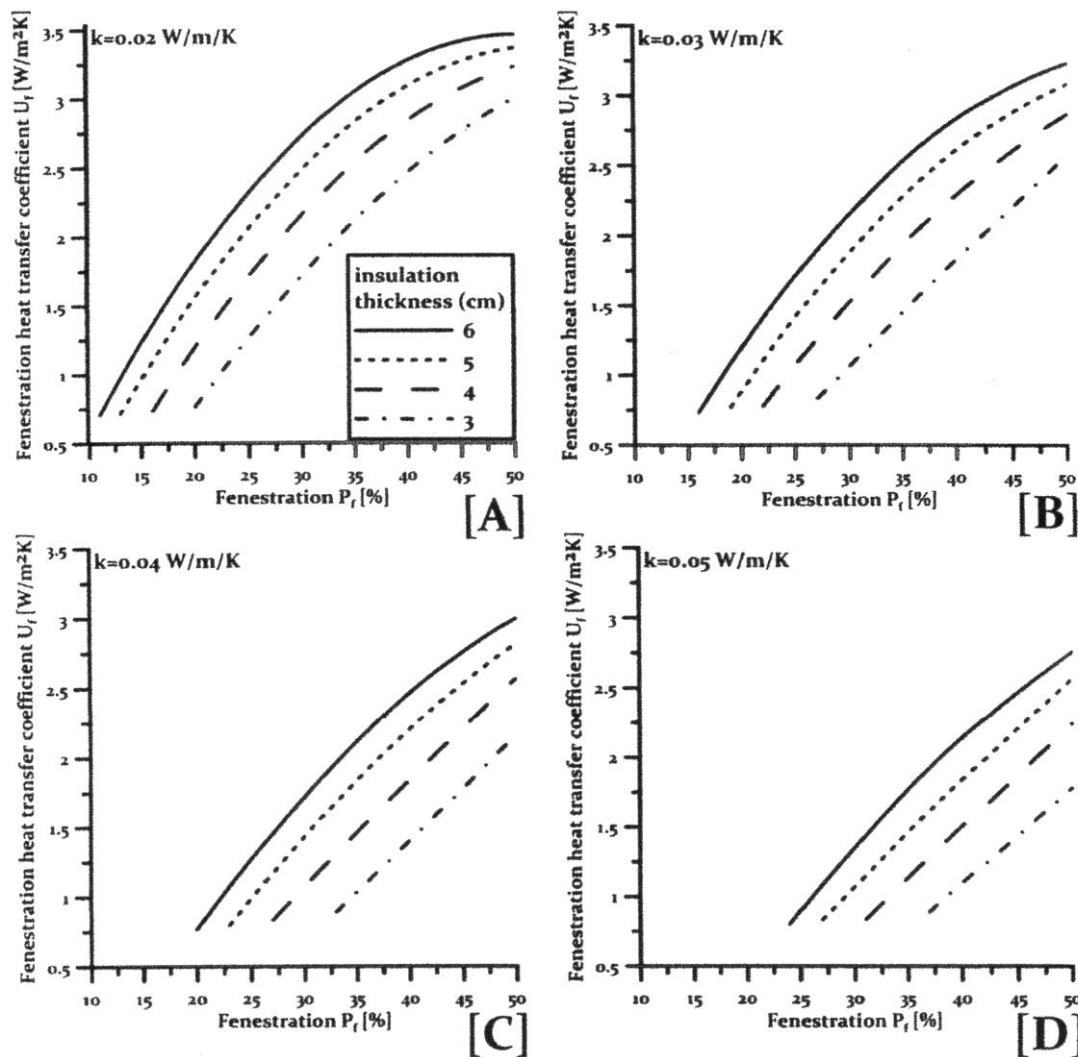


Διάγραμμα 9.2.4 Ψευδοαδιαβατικό κέλυφος για συνδυασμούς των τιμών των παραμέτρων U_f , P_f για διάφορα πάχη μόνωσης για το βελτιωμένο κτίριο αναφοράς για την 21^η Φεβρουαρίου: (Α) $k=0,02$ W/mK, (Β) $k=0,03$ W/mK, (Γ) $k=0,04$ W/mK., (Δ) $k=0,05$ W/mK.

Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα διαπιστώνουμε τα ίδια συμπεράσματα όπως και στην προηγούμενη ενότητα όσο αναφορά την επίδραση των τεσσάρων παραμέτρων στη δημιουργία «ψευδοαδιαβατικού» κελύφους.

Στην περίπτωση που μελετάμε (δηλαδή αυξάνοντας το ποσοστό των υαλοπινάκων του νότιου τοίχου), φαίνεται ότι έχουμε μετατόπιση των καμπύλων προς τα αριστερά κατά περίπου 5% σε σχέση με τις καμπύλες των διαγραμμάτων 9.1.2-9.1.5. Για παράδειγμα τον Ιανουάριο για $U_f=0,5$ W/m²K και $k=0,02$ W/mK, επιτυγχάνεται ψευδοαδιαβατικό κέλυφος για $w=0,03$ και $P_f=39\%$ (για το βελτιωμένο κτίριο αναφοράς) ενώ για το κτίριο αναφοράς επιτυγχάνεται για $w=0,03$ και $P_f=41,5\%$ (διάγραμμα 9.1.4 Α). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αυξάνοντας την επιφάνεια των υαλοπινάκων στο νότιο τοίχο αυξάνεται και το συνολικό θερμικό κέρδος από τους υαλοπίνακες ενώ ταυτόχρονα οι απώλειες από αυτούς διατηρούνται περίπου σταθερές.

Με σκοπό να ελέγξουμε την ορθότητα των αποτελεσμάτων, παρατίθενται στη συνέχεια τα αντίστοιχα διαγράμματα για το μήνα Ιανουάριο και για ίδιο κτίριο αναφοράς που προέκυψαν με χρήση της αριθμητικής μεθόδου πεπερασμένων διαφορών και παρουσιάζονται σε δημοσίευση [34].



Διάγραμμα 9.2.5 Ψευδοδιαβατικό κέλυφος για συνδυασμούς των τιμών των παραμέτρων U_f , P_f για διάφορα πάχη μόνωσης για το βελτιωμένο κτίριο αναφοράς για την 21^η Ιανουαρίου: (A) $k=0,02$ W/mK, (B) $k=0,03$ W/mK, (C) $k=0,04$ W/mK, (D) $k=0,05$ W/mK με μέθοδο πεπερασμένων διαφορών [34].

Συγκρίνοντας τα διαγράμματα 9.2.5 με τα διαγράμματα 9.2.3, παρατηρείται μια μετατόπιση των καμπύλων της παρούσας εργασίας κατά περίπου 20% προς τα δεξιά. Αυτή η διαφορά ήταν αναμενόμενη καθώς η μέθοδος που χρησιμοποιείται στην δημοσίευση είναι σαφώς πιο λεπτομερής και ακριβής από την προσεγγιστική μέθοδο της παρούσας εργασίας της οποίας τα αποτελέσματα μπορούν να θεωρηθούν τουλάχιστον ποιοτικά ορθά.

Βιβλιογραφία

- [1] www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/bioklimatikos_sxediasmos.htm
- [2] Σταμάτης Δ. Περγίος, Επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια - αθλητικά κέντρα - βιομηχανίες - μεταφορές, 2007
- [3] www.ypeka.gr
- [4] Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.ΕΝ.Α.Κ.)
- [5] Άγις Μ. Παπαδόπουλος, Θερμική άνεση στα κτίρια, νέα πρότυπα και βελτίωση θερμικής άνεσης στα κτίρια, 2006
- [6] [www.ecodomisi.gr/Το σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου](http://www.ecodomisi.gr/Το_σύνδρομο_του_άρρωστου_κτιρίου)
- [7] Χ.Τζιβανίδης, Θερμική Συμπεριφορά Κτιρίων
- [8] en.wikipedia.org/wiki/Thermal_comfort
- [9] Τεχνική Οδηγία Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010
- [10] Τεχνική Οδηγία Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20702-5/2010
- [11] Faye C.McQuiston, Jerald D. Parker (Μετάφραση: Νικόλαος Μαλαχίας, Επιμέλεια: Μιχάλης Βραχόπουλος), Θέρμανση, αερισμός και κλιματισμός : σχεδιασμός & ανάλυση, 2003
- [12] Κ.Αντωνόπουλος, Κλιματισμός Μέρος Πρώτο, 2008
- [13] Κ.Αντωνόπουλος, Θερμικά ηλιακά συστήματα , 2008
- [14] Κυριάκος Παπαϊωάννου, Η τεχνολογία της τοιχοποιίας, 1998
- [15] Τεχνική Οδηγία Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010
- [16] Κ.Α.Π.Ε. ,Οδηγός εξοικονόμησης ενέργειας μέσω θερμομόνωσης ,1999
- [17] [www.ktirio.gr/ Μονωτικά Υλικά και περιβάλλον](http://www.ktirio.gr/)
- [18] Αιμ.Κορωναίος – Γ.Πουλάκος ,Τεχνικά Υλικά , 2005
- [19] www.ktizontastomellon.gr/bibliothiki
- [20] Αιμ.Κορωναίος – Γ.Φοίβος Σαργέντης, Δομικά υλικά και οικολογία , 2005
- [21] Κ.Τσίππης, Οικολογική Αρχιτεκτονική , 2005
- [22] www.ethnos.gr/entheta.asp?catid=23353&subid=2&pubid=63688365
- [23] www.iselco.gr/naturthermkenaf
- [24] Αικ.Μαραγκουδάκη, Δυνατότητες Εφαρμογών της Νανοτεχνολογίας στις Κατασκευές, 2009
- [25] www.buildings.gr/greek/eksoplismos/oikologika_ilika/thermomonomosi.htm
- [26] www.cres.gr/greenbuilding/PDF/odigies/ENVELOPE_FINAL_review.pdf
- [27] Glass for Europe, Υαλοπίνακες ηλιακού ελέγχου για μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση, 2006

- [28] www.patrinos.gr/images/products/1293621096IDIOTITES%20ENERGEIAKON.pdf
- [29] www.garoufalisglass.gr/products/glasses/triplex-laminated
- [30] koufomata-expert.blogspot.gr
- [31] Βάιος Ηλίας Σελλούντος, Θέρμανση & κλιματισμός : μελέτη, κατασκευή, υλικά, δίκτυα, εξοπλισμός / τόμος Α , 2002
- [32] www.tsanosglasstech.gr
- [33] Χ.Τζιβανίδης, Φ.Γιώτη, Κ.Αντωνόπουλος, Επίδραση του συνδυασμού μόνωσης και υαλοπινάκων στη μεταβατική κατανάλωση ενέργειας των κτιρίων, 2010
- [34] C.Tzivanidis, K.Antonopoulos, F.Gioti, Computational analysis of the envelope parameters effects on the transient heating energy consumption of buildings, 2011