



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Παραμετρική μελέτη της επίδρασης του συνδυασμού
των τιμών των κυρίων χαρακτηριστικών του κτιριακού
κελύφους στην κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης
στην περιοχή της Αθήνας**

Γεωργία Περράκη

Επιβλέπων: Κίμων Α. Αντωνόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Δεκέμβριος 2013

Πρόλογος

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στον Τομέα Θερμότητας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Με την ολοκλήρωση της θα ήθελα να αδράξω την ευκαιρία και να ευχαριστήσω όλους όσους συνετέλεσαν, με τον δικό τους τρόπο ο καθένας, σε αυτό.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Κίμων Αντωνόπουλο για την εμπιστοσύνη που μου επέδειξε όσον αφορά στην ανάθεση αυτού του πολύ ενδιαφέροντος θέματος, καθώς και για την καθοδήγηση και τις χρήσιμες υποδείξεις του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα φιλικά και αγαπημένα μου πρόσωπα για το ενδιαφέρον και την υποστήριξή τους.

Τέλος και σημαντικότερο, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τις δύο μου αδελφές για την αμέριστη συμπαράστασή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία μελετάται η επίδραση των παραμέτρων των κυρίων χαρακτηριστικών του κτιριακού κελύφους στην ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων στη περιοχή της Αθήνας κατά τους χειμερινούς μήνες. Η εργασία αποτελείται από δύο μέρη.

Το πρώτο μέρος αποτελεί τη βιβλιογραφική προσέγγιση του θέματος και για το σκοπό αυτό αναπτύσσεται το αναγκαίο γνωστικό υπόβαθρο σχετικά με τη θερμική συμπεριφορά των χαρακτηριστικών που αποτελούν το κτιριακό κέλυφος, την αναγκαιότητα και τους τρόπους εξοικονόμησης ενέργειας σε αυτό ενώ παρουσιάζεται και το θεσμικό πλαίσιο που στοχεύει στον έλεγχο και στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων στην Ελλάδα.

Στο δεύτερο κομμάτι της εργασίας μελετάται αρχικά η θερμική συμπεριφορά ενός τυπικού Ελληνικού κτιρίου στην περιοχή της Αθήνας κατά την 21^η ημέρα κάθε μήνα θέρμανσης ενώ στη συνέχεια παρουσιάζονται οι καμπύλες σταθερής ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης συναρτήσει των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τη μόνωση και τους υαλοπίνακες και μελετάται η επίδραση του συνδυασμού των παραμέτρων αυτών στην ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου. Παρουσιάζεται έπειτα η έννοια του «ψευδοαδιαβατικού» κελύφους και προσεγγίζονται οι τιμές των κυρίων παραμέτρων των υαλοπινάκων και της μόνωσης για τις οποίες εμφανίζεται αυτό.

Γενικά, η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης για τους μήνες θέρμανσης μειώνεται με την αύξηση του πάχους της μόνωσης, και με την αύξηση του ποσοστού υαλοπινάκων. Επίσης, παρατηρείται έντονη συσχέτιση μεταξύ της ενέργειας θέρμανσης και των συντελεστών της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης και της θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων. Συγκεκριμένα, η κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης για μία συγκεκριμένη ημέρα κάθε μήνα, παρατηρείται ότι μειώνεται όταν μειώνεται αντίστοιχα ο συντελεστής ειδικής θερμικής αγωγιμότητας ή/και ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι από την υπολογιστική μελέτη προέκυψε ότι η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης αυξάνεται με την αύξηση της επιθυμητής θερμοκρασίας στο εσωτερικό του περιβάλλοντος.

Ακόμα, παρατηρούνται χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τη διαφορετική κατανομή των υαλοπινάκων σε κάθε προσανατολισμό του κτηρίου αναφοράς. Για το

σκοπό αυτό δημιουργήθηκε ένα πρότυπο βελτιωμένο κτίριο αναφοράς με διαφορετική κατανομή ποσοστού υαλοπινάκων ανά προσανατολισμό, όπου φαίνεται ξεκάθαρα η επίδραση της κατανομής των υαλοπινάκων στη συνολική κατανάλωση ενέργειας.

Η υπολογιστική μελέτη εύρεσης του «ψευδοαδιαβατικού» κελύφους παρέχει πολύ χρήσιμα διαγράμματα, όπου δίνουν την πρακτική ευχέρεια στο χρήστη να επιλέξει ένα συνδυασμό μεταβλητών του κτιριακού κελύφους, τέτοιο ώστε η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης να είναι η μικρότερη δυνατή.

Τέλος, όλα τα προαναφερθέντα αποτελέσματα του υπολογιστικού μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε σε αυτήν την εργασία, συγκρίνονται με αντίστοιχα αποτελέσματα μίας δημοσίευσης που χρησιμοποιεί τη γενικά πιο ακριβή αριθμητική μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Μπορεί να ειπωθεί ότι ποιοτικά τα αποτελέσματα των δύο αυτών μεθόδων βρίσκονται σε ικανοποιητική συμφωνία, ενώ ποσοτικά παρουσιάζουν ελάχιστη απόκλιση λόγω των απλοποιήσεων της εκάστοτε μεθόδου.

Abstract

The work presented in this Diploma thesis deals with the influence of the parameters of the building envelope's main characteristics on the building energy consumption in the city of Athens during the months of the winter. This work is being divided into two parts.

The first part includes a literature review of this topic so that all the necessary theoretical background regarding the thermal behavior of the main characteristics of the building envelope are enlightened to the reader. Furthermore, the necessity and the ways of saving energy in the buildings is being discussed into details. Afterwards it is presented the institutional framework about the control and the improvement of the energy efficiency of buildings in Greece.

The second part initially studies the thermal behavior of a typical Greek building in Athens during the 21st day of every heating month. Later on, the daily iso-energy consumption curves are being presented as a function of the parameters that describe the insulation and the fenestration and the influence of these ones to the building energy consumption is being studied. The term of "pseudo-adiabatic" shell is being introduced and the values of the main parameters of the insulation and the fenestration that correspond to a zero-energy consumption are being calculated by the numerical method developed in this work.

In general lines, the daily energy consumption of the reference building for the heating months was observed to decrease, as the thickness of the insulation or/and the fenestration percentage was increased. Moreover, there is strong correlation between the energy consumption of the building shell and the thermal conductivity coefficient and the fenestration heat transfer one. Being more specific, the heating energy consumption for a specific day of each month, seemed to decrease as one of these two coefficients or both of them were decreased. Also, it is noteworthy that the daily heating energy consumption was increased as the desired temperature of the internal environment of the building was increased.

What is more, very useful conclusions are being made about the different distribution of the fenestration percentage to every orientation of the reference building. For this reason, an improved reference building was designed using different

fenestration ration in each orientation, and from the results of the numerical study it can be clearly seen the influence of this parameter to the overall energy consumption.

The numerical study on the “pseudo-adiabatic” shell provided some very useful figures as well that could be very efficient for the user as they allow to quickly select a combination of values of the building shell parameters that gives the minimum value of the daily heating energy consumption.

All these aforementioned results of the numerical model developed and used in this work, were compared to similar ones from a scientific paper that uses the more precise numerical method of finite elements. As a conclusion, it can be said that qualitatively the results of these two methods are in satisfactory agreement, while quantitatively exhibit small discrepancies due to the simplifications of each method.

3.2	Εξωτερικό περιβάλλον	43
3.2.1	Εισαγωγή	43
3.2.2	Το κλίμα του τόπου.....	43
3.2.3	Ηλιακή ακτινοβολία	44
3.2.3.1	Γενικά στοιχεία για την ηλιακή ακτινοβολία.....	44
3.2.3.2	Βασικές έννοιες για την ηλιακή ακτινοβολία.....	46
4.	Ενεργειακό ισοζύγιο κτιρίου	
4.1.	Εισαγωγή στην έννοια και προσέγγιση του ενεργειακού ισοζυγίου	51
4.2.	Θέρμανση: συμπληρώνοντας το ενεργειακό έλλειμμα το χειμώνα	55
4.2.1	Συστήματα θέρμανσης.....	55
4.2.2	Θέρμανση και θερμική άνεση	57
4.2.3	Θέρμανση και εξοικονόμηση ενέργειας	60
4.3.	Κλιματισμός: εκτονώνοντας το ενεργειακό πλεόνασμα του κτιρίου το καλοκαίρι.....	63
5.	Τοίχοι – οροφές - δάπεδα	
5.1.	Τοιχοποιία	65
5.1.1.	Η έννοια και τα είδη της τοιχοποιίας	65
5.1.2.	Επίχρισμα.....	67
5.1.3.	Περιγραφή τυπικών εξωτερικών τοίχων στην Ελλάδα	68
5.2.	Οροφές.....	69
5.2.1	Η έννοια της οροφής	69
5.2.2	Περιγραφή τυπικών εξωτερικών οροφών στην Ελλάδα	70
5.2.3	Οροφές στα πλαίσια του βιοκλιματικού σχεδιασμού κτιρίων.....	71
5.3.	Δάπεδα.....	74
5.3.1	Εισαγωγή στην έννοια του δαπέδου	74
5.3.2	Τυπικές κατασκευές δαπέδων	74
6.	Θερμομόνωση	
6.1.	Αντικείμενο και σημασία θερμομόνωσης	77
6.2.	Βασικές έννοιες και θερμικά χαρακτηριστικά δομικών υλικών	78
6.3.	Μελέτη και σχεδιασμός θερμομόνωσης κτιρίου.....	84
6.3.1	Στοιχεία κτιρίου ευάλωτα στη θερμοδιαφυγή.....	85

6.4	Τυπικές περιπτώσεις θερμομόνωσης κελύφους.....	87
6.4.1	Εισαγωγή στις τυπικές μορφές θερμομόνωσης	87
6.4.2	Θερμομόνωση τοιχοποιίας, δοκών και υποστλωμάτων	88
6.4.3	Θερμομόνωση κουφωμάτων	93
6.4.4	Θερμομόνωση σε οροφές και στέγες	95
6.4.4.1	Θερμομόνωση επίπεδης και κεκλιμένης οροφής.....	95
6.4.4.2	Θερμομόνωση στέγης	97
6.4.5	Θερμομόνωση δαπέδων.....	97
6.5	Θερμομονωτικά υλικά	99
6.5.1	Γενικά στοιχεία για τα θερμομονωτικά υλικά	99
6.5.2	Ιδιότητες και κριτήρια επιλογής θερμομονωτικών υλικών	100
6.5.3	Περιγραφή των συνηθισμένων θερμομονωτικών υλικών	102
7.	Κουφώματα	
7.1	Εισαγωγή στην έννοια των κουφωμάτων	113
7.2	Υαλοπίνακες.....	114
7.2.1	Βασικές ηλιακές και οπτικές ιδιότητες υαλοπινάκων.....	114
7.2.2	Θερμικά και τεχνικά χαρακτηριστικά κουφωμάτων.....	117
7.2.3	Κριτήρια επιλογής υαλοπινάκων	121
7.2.4	Βασικές κατηγορίες υαλοπινάκων	123
7.2.5	Ανάγκη χρήσης βελτιωμένων υαλοπινάκων	127
7.2.5.1	Σύγκριση μονών και διπλών υαλοπινάκων	128
7.3	Πλαίσια	130
7.3.1	Ορισμός και τυπικά είδη πλαισίων.....	130
8.	Κ.Εν.Α.Κ	
8.1.	Σκοπός του Κ.Εν.Α.Κ	133
8.2.	Πεδίο εφαρμογής του νόμου	134
8.3.	Κλιματικές ζώνες	135
8.4.	Ελάχιστες προδιαγραφές κτιρίων	136
8.5.	Καθορισμός κατηγοριών ενεργειακής απόδοσης κτιρίων.....	139
9.	Κύριες παράμετροι κτιριακού κελύφους	
9.1	Επίδραση σημαντικότερων παραμέτρων κτιριακού κελύφους.....	143

ΜΕΡΟΣ Β'

Εισαγωγή	147
10. Θερμική συμπεριφορά κτιρίου στην περιοχή της Αθήνας κατά την 21^η ημέρα των χειμερινών μηνών	
10.1 Υπολογισμός προσπίπτουσας στιγμιαίας ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου, G_t	149
10.1.1 Υπολογισμός της στιγμιαίας άμεσου και διάχυτης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου G_b και G_d	150
10.1.2 Υπολογισμός του λόγου της άμεσου ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου, R_b.....	159
10.2 Υπολογισμός συνολικού φορτίου κελύφους	186
10.2.1 Κτίριο αναφοράς	187
10.2.2 Υπολογισμός θερμικού ηλιακού κέρδους υαλοπινάκων	187
10.2.3 Υπολογισμός θερμικού φορτίου υαλοπινάκων δι' αγωγής	192
10.2.4 Υπολογισμός φορτίου εξωτερικών τοίχων	196
10.2.5 Υπολογισμός φορτίου διαμέσου οροφής.....	205
10.2.6 Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρα	209
10.2.7 Συνολικό φορτίο κελύφους	215
11. Επίδραση του συνδυασμού των παραμέτρων μόνωσης και υαλοπινάκων στην κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια	
11.1 Εισαγωγή στην επίδραση του συνδυασμού των παραμέτρων μόνωσης και υαλοπινάκων στη κατανάλωση ενέργειας των κτιρίων	221
11.2 Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης για θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος $T_{in}=20$ °C.....	223
11.3 Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης για θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος $T_{in}=22$ °C.....	254
11.4 Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης για βελτιωμένη κατανομή υαλοπινάκων	274
11.5 Σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν στην παρούσα εργασία με τα αντίστοιχα της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών	296

12. Ψευδοαδιαβατικό κέλυφος	
12.1 Εισαγωγή στην έννοια του ψευδοαδιαβατικού κελύφους.....	301
12.2 Συνδυασμένη επίδραση των παραμέτρων μόνωσης και υαλοπινάκων στην προσέγγιση ψευδοαδιαβατικού κελύφους για τους μήνες θέρμανσης στην περιοχή της Αθήνας.....	306
12.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων που προέκυψαν στην παρούσα εργασία με τα αντίστοιχα της μεθόδου πεπερασμένων διαφορών	313
13. Συμπεράσματα - προτάσεις	
13.1 Συμπεράσματα	317
13.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	320
Βιβλιογραφία	323

Εισαγωγή

ΜΕΡΟΣ Α'

Στο πρώτο μέρος της παρούσας διπλωματικής γίνεται βιβλιογραφική προσέγγιση του θέματος της επίδρασης των παραμέτρων του κτιριακού κελύφους στην ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων.

Αρχικά λοιπόν παρατίθενται στοιχεία που αναδεικνύουν την αναγκαιότητα της εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα στη χώρα μας αλλά και μέθοδοι ενεργειακού σχεδιασμού που εφαρμόζονται σήμερα. Στη συνέχεια, δίνεται ο ορισμός του κτιριακού κελύφους ενώ περιγράφονται οι τρόποι σχεδίασής του ανάλογα με το ρόλο που καλείται να επιτελέσει κάθε φορά. Σε επόμενο κεφάλαιο προσδιορίζονται οι συνθήκες του εσωτερικού περιβάλλοντος που εξασφαλίζουν άνετη και υγιή διαβίωση των χρηστών του κτιρίου και διερευνώνται οι βασικές έννοιες που σχετίζονται με το εξωτερικό περιβάλλον. Ακολουθεί περιγραφή της έννοιας του ενεργειακού ισοζυγίου ενώ δίνεται και επιγραμματική περιγραφή των τρόπων θέρμανσης και ψύξης των κτιρίων.

Στη συνέχεια, περιγράφονται τα αδιαφανή στοιχεία που αποτελούν το κτιριακό κέλυφος ενώ αναλύονται και τα συνηθέστερα είδη τοίχων, οροφών και δαπέδων στη χώρα μας. Παρουσιάζεται ακόμη η σημασία της θερμομόνωσης του κελύφους και γίνεται περιγραφή των ιδιοτήτων και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των μονωτικών υλικών που χρησιμοποιούνται για την θερμική προστασία των αδιαφανών δομικών στοιχείων. Στο 7^ο Κεφάλαιο γίνεται περιγραφή των κουφωμάτων παρουσιάζοντας τις ιδιότητες και τη λειτουργία των υαλοπινάκων ενώ περιγράφονται και τα κυριότερα είδη υαλοπινάκων και πλαισίων που δύναται να χρησιμοποιηθούν.

Τέλος, στο 8^ο Κεφάλαιο περιγράφεται το θεσμικό πλαίσιο που στοχεύει στον έλεγχο και στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων στη χώρα μας (Κ.Εν.Α.Κ) ενώ το βιβλιογραφικό κομμάτι της εργασίας κλείνει με τη παρουσίαση των σημαντικότερων παραμέτρων που επιδρούν στην ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων.

Κεφάλαιο 1^ο

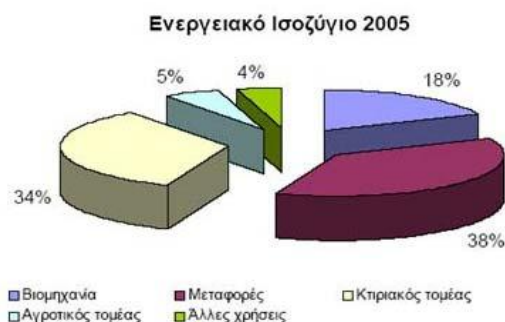
ΚΤΙΡΙΟ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.1 Ενεργειακό πρόβλημα και κτιριακός τομέας

Ο διαρκής αγώνας ενάντια στη σπατάλη των φυσικών πόρων περνά μέσα από συγκεκριμένες στρατηγικές σε πολλούς τομείς όπως στη γεωργία και την αξιοποίηση απορριμμάτων, τα αστικά οικοσυστήματα, την αξιοποίηση και επαναχρησιμοποίηση των οικιακών αποβλήτων, την εξοικονόμηση νερού και ενέργειας, την εξοικονόμηση κεφαλαίων από την συστηματική συντήρηση των έργων υποδομής του κτιριακού αποθέματος και του κοινωνικού εξοπλισμού. Η αυξημένη ενεργειακή απόδοση αποτελεί σημαντική παράμετρο για τη δέσμη των πολιτικών και των μέτρων που απαιτούνται για τη συμμόρφωση με το πρωτόκολλο του Κιότο και την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Η διαχείριση της ενεργειακής ζήτησης είναι το βασικό εργαλείο, που επιτρέπει στην κοινότητα να επηρεάζει την παγκόσμια αγορά ενέργειας και ως εκ τούτου εγγυάται την μακροπρόθεσμη ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού.

Στο πλαίσιο αυτό ο τομέας της κατασκευής πάσης φύσεως τεχνικών και κτιριακών έργων, βρίσκεται αντιμέτωπος με νέες δεσμεύσεις και με μια σειρά περιβαλλοντικών απαιτήσεων, με αποκλειστικό σκοπό την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων που προκαλούν στο περιβάλλον, δεδομένου ότι απαιτούν πάνω από το 40% της κατανάλωσης της συνολικής τελικής ενέργειας και συμβάλλουν στην εκπομπή του 45% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα [1].

Ειδικότερα να αναφέρουμε για τη χώρα μας ότι η κατανάλωση τελικής ενέργειας στην Ελλάδα ήταν σχεδόν σταθερή την περίοδο 1990-1994 και η ποσότητα κατανάλωσης ήταν γύρω στα 15 Mtoe (1 toe, tonne of oil equivalent, ισούται με 11.63 MWh), αφαιρώντας τις μη ενεργειακές χρήσεις. Μεταξύ όμως των ετών 1995-1996 η κατανάλωση τελικής ενέργειας αυξήθηκε κατά 6,5% περίπου, ενώ από τότε ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης είναι γύρω στο 2,5%. Συνολικά, η κατανάλωση τελικής ενέργειας αυξήθηκε κατά 50% περίπου, την περίοδο 1990-2006, κυρίως λόγω της οικονομικής ανάπτυξης. Η κύρια αύξηση προέρχεται από τον οικιακό και τον τριτογενή τομέα με τον οικιακό τομέα να είναι το 2005 ο μεγαλύτερος καταναλωτής ηλεκτρικής ενέργειας με 177 TWh ετήσια κατανάλωση [2].



Κατανομή ρύπων CO ₂ eq (%)					
Τελική χρήση	1990	1995	2000	2005	2010 *
Κτιριακός τομέας	34%	37%	41%	44%	42%
Μεταφορές	19%	21%	20%	21%	20%
Βιομηχανία	39%	34%	31%	28%	31%
Λοιπές χρήσεις	8%	8%	8%	7%	7%

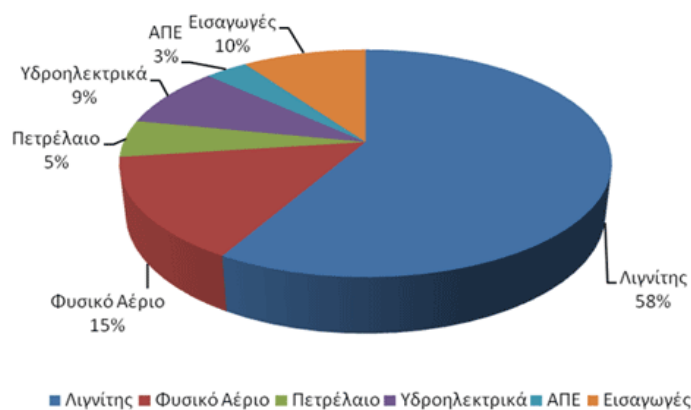
Σχήμα 1.1: Ενεργειακό ισοζύγιο και κατανομή ρύπων. [3]

Τα ελληνικά νοικοκυριά παρουσιάζουν την μεγαλύτερη σχετική κατανάλωση, σχεδόν 30% μεγαλύτερη από της Ισπανίας και περίπου διπλάσια από της Πορτογαλίας. Οι κατοικίες στην Ελλάδα παράγουν περίπου 12-13 τόνους διοξειδίου του άνθρακα ανά κάτοικο το χρόνο. Την ίδια ώρα, η Αυστρία παράγει 9 ενώ Νορβηγία και η Γερμανία 11. Η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη από όλες τις άλλες μεσογειακές χώρες (Πορτογαλία 8 τόνους, Ιταλία και Ισπανία 9 τόνους) και ίση με της Δανίας.

Ακόμη το θερμικό φορτίο των κτιρίων γραφείων στην Ελλάδα (κιλοβατώρες/τ.μ.) είναι το υψηλότερο ανάμεσα σε δέκα χώρες, καταναλώνουμε δηλαδή περισσότερη ενέργεια για θέρμανση από «παγωμένες» χώρες σαν τη Γερμανία, τη Δανία, τη Σουηδία και την Αυστρία. Τέλος η μέση κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση στα ελληνικά νοσοκομεία κυμαίνεται από 81-420 κιλοβατώρες/τ.μ./έτος. Το αντίστοιχο εύρος στην Δανία είναι 110-210 και στη Φινλανδία 100-300. Η Ελλάδα εμφανίζει παρόμοιες τιμές με την Τσεχία [1].

Στο Σχήμα 1.1 παρουσιάζεται το ενεργειακό ισοζύγιο όπως διαμορφώνεται στην Ελλάδα, καθώς και η κατανομή ρύπων ανά πενταετία μεταξύ των ετών 1990-2010. Παρατηρείται λοιπόν ότι ο τομέας που καταναλώνει την περισσότερη ενέργεια είναι οι μεταφορές και ακολουθεί ο κτιριακός τομέας. Ωστόσο, στην κατανομή ρύπων ο κτιριακός τομέας κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό. Να σημειωθεί ακόμη ότι το μεγαλύτερο ποσοστό πρωτογενούς ενέργειας που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα προέρχεται από συμβατικές μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (πετρέλαιο και άνθρακα), οι οποίες αργά ή γρήγορα θα εξαντληθούν. Συγκεκριμένα για την

παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος, ο λιγνίτης παραμένει το κατεξοχήν καύσιμο συμμετέχοντας κατά 58% (Σχήμα 1.2), ενώ με την κατανάλωση πετρελαίου παράγεται περίπου το 20% του απαιτούμενου ηλεκτρικού φορτίου. Το υπόλοιπο 9% του ηλεκτρικού φορτίου καλύπτεται με τις υδατοπτώσεις και παράγεται από υδροηλεκτρικά εργοστάσια [2].



Σχήμα 1.2: Κατανομή πηγών ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα [4].

Η διαχρονική πορεία των παραπάνω ενεργειακών δεικτών είναι το αποτέλεσμα της γοργής βελτίωσης του βιοτικού επιπέδου στη χώρα μας σε συνδυασμό με τις, μέτριας συχνά ποιότητας, κατασκευαστικές πρακτικές στο κέλυφος και τις εγκαταστάσεις των κτιρίων. Οι δύο αυτές παράμετροι συναρτώνται με την έλλειψη μέχρι σήμερα ενός ολοκληρωμένου θεσμικού πλαισίου κινήτρων και κανονισμών ενεργειακού σχεδιασμού κτιρίων, όπως και ενός ρεαλιστικού εθνικού προγράμματος εξοικονόμησης ενέργειας, που θα αποσκοπούσαν στη βελτίωση της ποιότητας κατασκευής των κτιρίων και την ευαισθητοποίηση του χρήστη σε ενεργειακά θέματα.

Η Ελλάδα ωστόσο έχει ήδη δεσμευτεί, από τις αρχές της δεκαετίας του '90, για την προώθηση σχετικών θεσμικών, διοικητικών και οργανωτικών μέτρων, καθώς και των ενεργειακά αποδοτικών και περιβαλλοντικά φιλικών τεχνολογιών, μέσω της συμμετοχής της στις συμφωνίες, τις διακηρύξεις και τα προγράμματα της Ευρωπαϊκής Ένωσης [5].

1.2 Η δόμηση και η κατάσταση των κτιρίων στην Ελλάδα [1]

Το κτιριακό απόθεμα που δημιουργήθηκε στην Ελλάδα από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα και μετά, στις πόλεις αλλά και στην ύπαιθρο, αποτελεί τον κύριο έως

συντριπτικό όγκο των κτιρίων της χώρας. Είναι κτίρια εξαιρετικά ενεργοβόρα και κατά την επίσημη ορολογία «άρρωστα κτήρια» (ρυπογόνα για το περιβάλλον, ανθυγιεινά για τους ενοίκους τους, με εμφάνιση άνισων κατανομών εσωτερικής θερμοκρασίας και υγρασίας και υψηλή τοξικότητα του εσωτερικού τους αέρα).

Ο υπερμεγέθης αστικός ιστός του πολεοδομικού συγκροτήματος της πρωτεύουσας συγκεντρώνει τα μισά απ' αυτά. Τα υπόλοιπα κατανέμονται στις μικρότερες πόλεις που ασφυκτιούν επίσης σε μια κατακερματισμένη ύπαιθρο που ερημώνει προοδευτικά στα πλαίσια ενός ανύπαρκτου αναπτυξιακού, χωροταξικού και πολεοδομικού σχεδιασμού.

Οι δυνατότητες βελτιωτικών παρεμβάσεων στον κτιριακό αυτό όγκο είναι περιορισμένης κλίμακας. Στον τομέα της θέρμανσης, λόγω συνήθως ακατάλληλου προσανατολισμού και ελλιπούς ηλιασμού, μπορούν να περιοριστούν συνήθως στην βελτίωση των μονώσεων. Στον τομέα του φυσικού δροσισμού προσφέρονται περισσότερες δυνατότητες βελτίωσης αρκεί να συνδυαστούν με μέτρα μετατροπής του μικροκλίματος των πόλεων (π.χ. φύτευση των υπαιθρίων χώρων και των κτιρίων). Στον τομέα της “εξυγίανσης” των κατασκευών, οι δυνατότητες είναι ελάχιστες έως μηδενικές.

Το κτιριακό αυτό απόθεμα, όντας μη βιώσιμο και βασικός συντελεστής της κλιματικής μεταβολής κληροδοτείται από γενιά σε γενιά δημιουργώντας προοδευτικά όλο και δυσμενέστερες προϋποθέσεις συντήρησής του (εξάντληση οικονομικών και ενεργειακών πόρων) αλλά και επιβίωσης (προϊούσα ρύπανση, τοξικότητα). Κάθε νέο, σύγχρονης συμβατικής δόμησης κτίριο μικρό ή μεγάλο, μονώροφο ή πολυώροφο, δημόσιο ή ιδιωτικό, διογκώνει και αναπαράγει αυτό το αδιέξοδο.

Το θεσμικό και διοικητικό πλαίσιο για τον κτιριακό τομέα εξακολουθεί να προσανατολίζεται στην εξυπηρέτηση των όρων της αντιπαροχής, των οργανωμένων οικοδομικών συμφερόντων και των “μεγάλων έργων” και μόνο. Η τεχνική παιδεία όλων των βαθμίδων, η αρχιτεκτονική παιδεία, οι μηχανικοί της χώρας, εξακολουθούν (πλην ελάχιστων εξαιρέσεων) να δεσμεύονται από την μονοκρατορία της κατασκευής του οπλισμένου σκυροδέματος. Οριοθετούνται στα πλαίσια της υψηλής και ακριβής τεχνολογίας των οικοδομικών υλικών και προϊόντων των πετροχημικών (του πετρελαίου).

Η οικολογική δόμηση στην Ελλάδα έχει κάνει τα τελευταία 20 χρόνια μόνο μικρά και περιορισμένης εμβέλειας βήματα που και αυτά προέκυψαν μόνο μέσα από ιδιωτικές πρωτοβουλίες κάτω από εξαιρετικά αντίξοες συνθήκες.

Αυτά τα δεδομένα γεννούν σήμερα την ανάγκη της επικοινωνίας, της σύμπτυξης και της συνεργασίας των ανθρώπων που θεωρούν ότι η δυναμική - έμπρακτη προώθηση της οικολογικής δόμησης μπορεί να δημιουργήσει τον αναγκαίο και ικανό προηγούμενο μοχλό πίεσης και να εγκαινιάσει ένα νέο δρόμο ανάπτυξης και μια νέα, διαφορετική και αιεφόρο προοπτική δόμησης στον ελληνικό χώρο.

Τα κτίρια ανήκουν στους πιο ρυπογόνους συντελεστές της πόλης. Οι δείκτες διοξειδίου του άνθρακα οφείλουν τα υψηλά ποσοστά στους στη γαλαντόμο συνεισφορά του αθηναϊκού κτιριακού αποθέματος, το οποίο ευθύνεται όπως αναφέρθηκε και για το 40% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Ο κτιριακός πλούτος της Αθήνας φαίνεται πως είναι φτωχός σε εφαρμοσμένες πρακτικές περιβάλλοντος, με συνέπεια να κατατάσσεται στους πλέον ενεργοβόρους. Δεν υπάρχει άλλη ευρωπαϊκή χώρα με τέτοιες κατασκευές, αφού θέματα περιβάλλοντος και ποιότητας ζωής δεν έχουν διεισδύσει στην κατασκευαστική διαδικασία. Ως αποτέλεσμα, η Ελλάδα ξοδεύει γιγαντιαία ποσά για ενέργεια και οι Έλληνες δεν διαβιούν σε καλό κτιριακό απόθεμα.

Στις πρώτες θέσεις της ενεργειακής κατανάλωσης εδρεύουν τα παλιά κτίρια - ο κτιριακός πυρήνας της πόλης έχει ηλικία 40 ετών - τα γυάλινα που σε θέματα κλιματισμού απαιτούν 2-3 φορές περισσότερη ενέργεια από τα συμβατικά και τα κτίρια που οικοδομήθηκαν μέχρι το 1980, πριν από την εφαρμογή του κανονισμού θερμομόνωσης. Οι συνήθειες μαύρες τρύπες των κτιρίων είναι η απουσία μόνωσης στο κέλυφος και την οροφή, η κακή ποιότητα κουφωμάτων και τζαμιών, η μη αεροστεγανότητα, η κακή συντήρηση του λέβητα και η έλλειψη θερμοστατικού ελέγχου.

Στην Ελλάδα συνεχίζουμε τις πρακτικές του παρελθόντος, αγνοώντας τις δεσμεύσεις της Ευρώπης στην οποία ανήκουμε, ενώ σε άλλες χώρες, ήδη εδώ και δεκαετίες, εφαρμόζονται οι αρχές της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής και οικολογικής δόμησης και η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στις οικοδομές. Ακόμη και η Αμερική, που δε συμμετέχει στις δεσμεύσεις του Κιότο, κάνει τεράστια βήματα σε επίπεδο δήμων και πόλεων, ενώ διάφοροι αρχιτέκτονες ακολουθούν τα πρότυπα του προγράμματος LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) για εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια.

Ωστόσο, η ανάγκη για στροφή της κατασκευής και λειτουργίας των κτιρίων προς υλικά, εξοπλισμούς και τρόπους οργάνωσης πιο φιλικούς προς το περιβάλλον σε σχέση με τους μέχρι σήμερα γνωστούς συμβατικούς τρόπους, αποτελεί μια λογική

και πρακτική, η οποία όχι μόνο θεωρείται αδιαμφισβήτητα επιθυμητή, αλλά άρχισε να εφαρμόζεται ήδη στην Ευρώπη κατά την τελευταία δεκαετία.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, κυρίως όσον αφορά στην κατασκευή μεγάλων έργων είναι πια γεγονός που απασχολεί τους μελετητές και κατασκευαστές στην Ελλάδα. Αντιθέτως, οι περιβαλλοντικές συνιστώσες δεν απασχολούν συνήθως τους εκτελεστές των έργων ανέγερσης κοινών κτιρίων, εκτός εάν πρόκειται για μεγάλες μονάδες (ξενοδοχειακές, νοσοκομειακές, κτλ.). Το ενδιαφέρον στα κτιριακά έργα συγκεντρώνει μέχρι σήμερα η επιλογή των υλικών και οι μέθοδοι εξοικονόμησης νερού και ενέργειας. Η συνολική προσέγγιση των επιπτώσεων των κτιριακών έργων στο περιβάλλον σε όλη τη διάρκεια ζωής τους, ήδη από τη μελετητική φάση, είναι κάτι νέο.

Με την έκδοση της Οδηγίας 2002/91/EK για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, που εφαρμόζεται σχεδόν σε όλη τη «γηραιά ήπειρο» στο πλαίσιο της τριετούς προσαρμογής που είχε θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση αναμένονται θεαματικές αλλαγές στον τομέα της μελέτης και κατασκευής των κτιρίων, ιδιαίτερα λόγω της θέσπισης της διαδικασίας ενεργειακής αξιολόγησης και πιστοποίησης των κτιρίων.

Η αξιολόγηση των κτιρίων σε Λονδίνο και Παρίσι ξεκίνησε το 2008 ενώ στη Λισαβόνα το 2007. Η Ελλάδα τερματίζει από τους τελευταίους (έχοντας ήδη καταδικαστεί από το Ευρωπαϊκό Δικαστήριο).

Η ενεργειακή ταυτότητα θα καθορίσει σε βάθος χρόνου την αγοραστική δύναμη των κτιρίων, κυρίως όμως τις συνθήκες ζωής στο αστικό περιβάλλον. Μελέτες κτιριακής αναβάθμισης του ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας) την τελευταία δεκαετία έδειξαν ότι μια μετριοπαθής βελτίωση ενός κτιριακού συνόλου στην Αθήνα θα μείωνε την κατανάλωση ενέργειας κατά 25%.

Ο ευκολότερος τρόπος μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των κτιριακών έργων είναι ο προσδιορισμός και η εκτίμησή τους στην πρώτη φάση του σχεδιασμού τους, μέσω μιας περιβαλλοντικής – οικολογικής θεώρησης που δεν θα προστίθεται ως «πράσινη» παράγραφος στην οριστική μελέτη κάθε έργου, αλλά θα δίνει νέα οπτική στο σχεδιασμό και στις λήψεις των αποφάσεων, προκειμένου να αποδοθούν οι βέλτιστες συνολικά λύσεις. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός των κτιρίων είναι μέρος του συνολικού σχεδιασμού και δεν διαφέρει από οποιονδήποτε σχεδιασμό έργου.

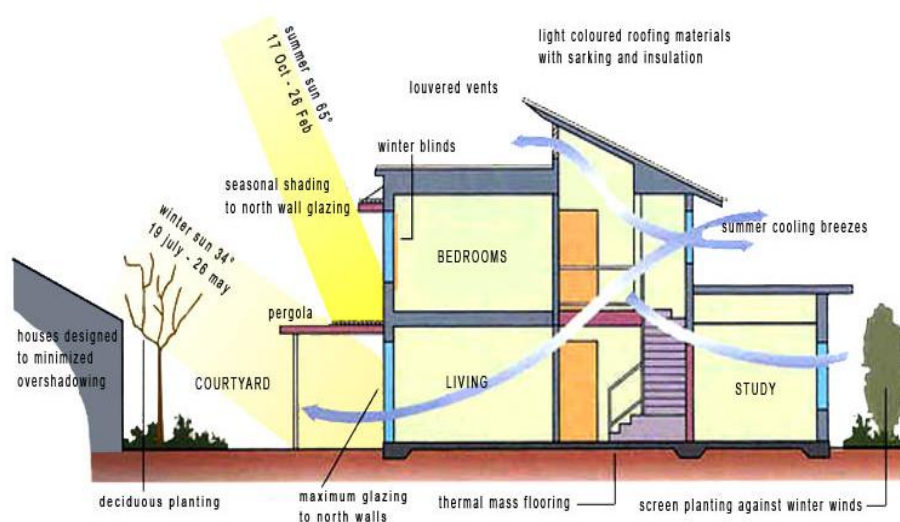
1.3 Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων

1.3.1 Περιγραφή και βασικές αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού

Η «βιωσιμότητα» και η «αειφορία» είναι ένα σημαντικό θέμα που απασχολεί την κοινωνία και ειδικά τον τομέα της κατασκευής και χρήσης των κτιρίων. Η αντιμετώπιση των τρεχουσών αναγκών σε ατομικό ή ομαδικό επίπεδο, με την εκμετάλλευση των πηγών του πλανήτη δεν πρέπει να υπονομεύει τη δυνατότητα να καλυφθούν οι ανάγκες που θα προκύψουν στις μελλοντικές γενεές. Η βιοκλιματική αντίληψη για το σχεδιασμό των κτιρίων εντάσσεται στο πλαίσιο της παραπάνω οικολογικής στρατηγικής, καθώς όπως αναφέραμε η θέρμανση των κτιρίων βασίζεται κυρίως στην χρήση του πετρελαίου και ο δροσισμός στην ηλεκτρική ενέργεια.

Οι μελετητές κτιρίων και όσοι ασχολούνται με τον τομέα των κατασκευών καλούνται να προτείνουν λύσεις προσαρμοσμένες στις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες και συγχρόνως καινοτόμες τεχνολογικά, ώστε να είναι συμβατές με τη διατήρηση των φυσικών πόρων και την προστασία του περιβάλλοντος [2].

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική (Σχήμα 1.3) εκφράζει την ισορροπία ενός συστήματος το οποίο συντίθεται από τα εξής στοιχεία: αρχιτεκτονική - κλίμα - περιβάλλον. Μέσα σε αυτό το σύστημα ο ρόλος της αρχιτεκτονικής δημιουργίας είναι να πλουτίζει το περιβάλλον, με την έννοια ότι εντάσσεται αρμονικά σε αυτό αξιοποιώντας παράλληλα τα φυσικά διαθέσιμα.

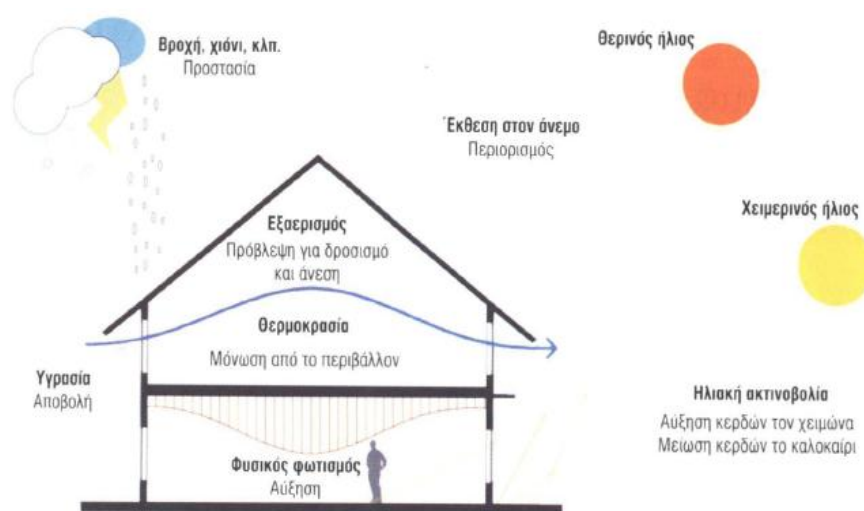


Σχήμα 1.3: Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίου [6].

Εύκολα γίνεται αντιληπτή, και με βάση όσα αναφέραμε παραπάνω, η ανάγκη ενσωμάτωσης του βιοκλιματικού σχεδιασμού στον κτιριακό τομέα καθώς αποτελεί

και μια δυνατή αγορά παγκοσμίως, αφού ο κύκλος εργασιών του τομέα των κατασκευών αντιπροσωπεύει το 10% της παγκόσμιας οικονομίας, το 50% των παγκόσμιων επενδύσεων και ταυτόχρονα το 7% της αγοράς εργασίας. Είναι φανερό ότι ο κτιριακός τομέας ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό σε ότι αφορά τις εκπομπές αέριων ρύπων και την κατανάλωση φυσικών πόρων.

Επομένως, τα οφέλη του βιοκλιματικού, και γενικότερα του ενεργειακού, σχεδιασμού κτιρίων είναι ενεργειακά (εξοικονόμηση ενέργειας και θερμική - οπτική άνεση), οικονομικά (μείωση καυσίμων και κόστους ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων θέρμανσης - ψύξης - αερισμού - φωτισμού), περιβαλλοντικά (μείωση ρύπων, περιορισμός φαινομένου του θερμοκηπίου) και κοινωνικά (βελτίωση της ποιότητας ζωής) [7]. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός στηρίζεται στις τοπικές συνθήκες (κλίμα) και στην αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας και των φυσικών φαινομένων (Σχήμα 1.4).



Σχήμα 1.4: Κτίριο και κλίμα [8].

Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας (Σχήμα 1.4) και των περιβαλλοντικών πηγών, γενικότερα, όπως προκύπτει από το βιοκλιματικό σχεδιασμό, επιτυγχάνεται στα πλαίσια της συνολικής θερμικής λειτουργίας του κτιρίου και όπως αναφέραμε της σχέσης αρχιτεκτονική - κλίμα - περιβάλλον. Βασικά στοιχεία του ωστόσο αποτελούν και τα παθητικά συστήματα που ενσωματώνονται στα κτίρια με στόχο την αξιοποίηση των περιβαλλοντικών πηγών για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό των κτιρίων [11].

Η δε θερμική λειτουργία ενός βιοκλιματικού κτιρίου αποτελεί μία δυναμική κατάσταση, η οποία εξαρτάται από τις τοπικές κλιματικές και περιβαλλοντικές παραμέτρους (την ηλιοφάνεια, τη θερμοκρασία εξωτερικού αέρα, τη σχετική υγρασία, τον άνεμο, τη βλάστηση, το σκιασμό από άλλα κτίρια), αλλά και τις συνθήκες χρήσης του κτιρίου (κατοικία, γραφεία, νοσοκομεία κλπ.) και βασίζεται στην αντίστοιχη ενεργειακή συμπεριφορά των δομικών του στοιχείων και (κατ' επέκταση) των ενσωματωμένων παθητικών ηλιακών συστημάτων, αλλά και το ενεργειακό προφίλ που προκύπτει από την λειτουργία του κτιρίου [11].

Η Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική όπως αναφέρθηκε παραπάνω χρησιμοποιεί συστήματα εκμετάλλευσης περιβαλλοντικών πηγών ενέργειας με στόχο την μεγιστοποίηση των ενεργειακών κερδών με ελάχιστη, συνήθως μηδενική, εισαγωγή ενέργειας στο σύστημα (Σχήμα 1.5). Επειδή δεν καταναλώνουν ενέργεια αλλά αντίθετα εκμεταλλεύονται την ενέργεια της φύσης, τα συστήματα αυτά χαρακτηρίζονται “παθητικά”. Μπορεί να είναι από πολύ απλά (παράθυρα) μέχρι αρκετά σύνθετα (ανεμόπυργοι). Λόγω της χρήσης Παθητικών Συστημάτων και της Ηλιακής κυρίως ενέργειας, η Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική πολλές φορές επισημαίνεται ως “Παθητική” ή “Ηλιακή” Αρχιτεκτονική και τα κτίρια αντίστοιχα “Παθητικά” ή “Ηλιακά” κτίρια, κυρίως στην ξένη Βιβλιογραφία (passive, solar buildings). Ο όρος “passive house” χρησιμοποιείται μάλιστα συχνά για τα κτίρια με μηδενικές απαιτήσεις ενέργειας δηλαδή καταναλώνουν την ενέργεια που τα ίδια παράγουν [9].



Σχήμα 1.5: Το πρώτο ενεργειακά αυτόνομο κτίριο στην Ελλάδα (Παλαιό Φάληρο), εξασφαλίζει οικονομία ενέργειας έως και 90% [9].

Εν γένει ονομάζουμε παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης τα δομικά στοιχεία του κτιρίου, που, αξιοποιώντας τις αρχές της φυσικής (τους νόμους μεταφοράς θερμότητας) συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν υπό μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στο χώρο. Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ειδικότερα, στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού και τον εγκλωβισμό της προκύπτουσας θερμότητας στο εσωτερικό του χώρου που καλύπτεται από το γυαλί.

Το πιο συνηθισμένο παθητικό ηλιακό σύστημα (σύστημα άμεσου κέρδους) βασίζεται στην αξιοποίηση των παραθύρων κατάλληλου προσανατολισμού. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα προσαρτώνται σε όψεις του κτιρίου με νότιο προσανατολισμό, οι οποίες θα πρέπει να μη σκιάζονται κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Υπάρχουν παθητικά ηλιακά συστήματα έμμεσου κέρδους όπως οι ηλιακοί τοίχοι, τα θερμοκήπια, τα ηλιακά αίθρια αλλά και παθητικά ηλιακά συστήματα απομονωμένου κέρδους, όπως ηλιακοί συλλέκτες-πανέλα εκτός του κτιριακού περιβλήματος [10].

Με τα παθητικά συστήματα δροσισμού επιδιώκεται η μείωση των θερμικών φορτίων του κτιρίου κατά τους θερινούς μήνες και επιτυγχάνεται με κατάλληλη σκίαση των ανοιγμάτων, ανάλογα με τον προσανατολισμό τους. Μεγάλη συμβολή στο δροσισμό του κτιρίου έχει και ο φυσικός αερισμός του, που εξαρτάται επίσης από τη θέση των ανοιγμάτων, και ο οποίος μπορεί να ενισχύεται με τη χρήση μηχανικών μέσων όπως οι ανεμιστήρες οροφής (υβριδικά συστήματα) και να επιφέρει το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα με πολύ μικρή κατανάλωση ενέργειας. Η ελεύθερη ψύξη (free cooling) ή αλλιώς ο νυκτερινός δροσισμός, συνίσταται στην ανανέωση του αέρα με φυσικό ή τεχνητό τρόπο τις νυχτερινές ή πρωινές ώρες, κατά τις οποίες η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του χώρου και είναι ευρύτατα χρησιμοποιούμενη τεχνική εξοικονόμησης [9].

Η απόδοση του βιοκλιματικού σχεδιασμού εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, γεγονός που τον καθιστά "ευαίσθητο" σε εξωγενείς και μη-τεχνικούς παράγοντες. Ο βαθμός στον οποίον ο βιοκλιματικός σχεδιασμός σήμερα αξιοποιεί το τοπικό κλίμα ποικίλει, γεγονός που παρέχει μία ευελιξία ως προς τους τρόπους αρχιτεκτονικής έκφρασης και δυνατοτήτων εφαρμογής μέσα από πολύ απλές τεχνικές και επεμβάσεις έως και πολύπλοκα παθητικά ηλιακά συστήματα [11].

Στη χειμερινή περίοδο, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών αγωγιμότητας, αερισμού και εξάτμισης,

επιτρέποντας μόνον τον απαραίτητο για λόγους υγιεινής αερισμό, και στην αύξηση της θερμικής προσόδου από την ηλιακή ακτινοβολία, ώστε αφενός να μειωθεί η διάρκεια της θερμαντικής περιόδου και αφετέρου να ελαττωθούν οι δαπάνες για την παροχή θέρμανσης.

Αντίστοιχα, στην θερινή περίοδο ο βιοκλιματικός σχεδιασμός στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της θερμικής προσόδου από την ηλιακή ακτινοβολία και στη βελτιστοποίηση των διαφόρων μεθόδων φυσικού δροσισμού, ώστε να ελαχιστοποιηθεί ή ακόμη και να αποτραπεί η με το μηχανολογικό εξοπλισμό παρεχόμενη ψύξη [2].

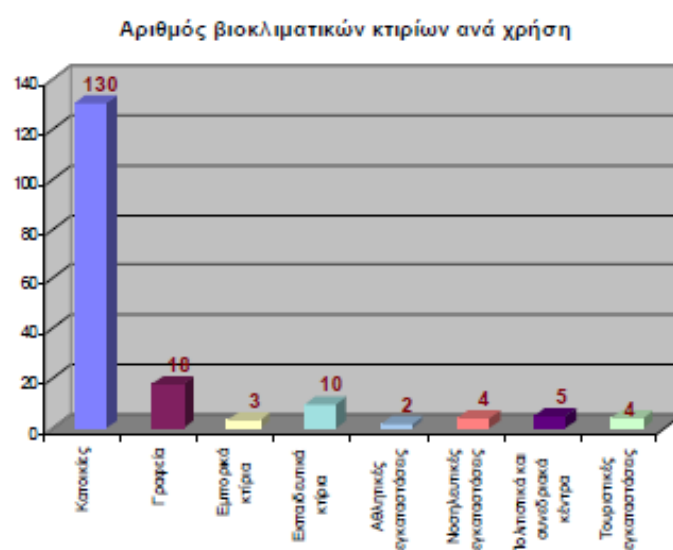
1.3.2 Εφαρμογές βιοκλιματικού σχεδιασμού στην Ελλάδα [11]

Έπειτα από έρευνα που πραγματοποίησε το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας πριν μερικά χρόνια στην Ελλάδα υπάρχουν περίπου 180 εφαρμογές βιοκλιματικών κτιρίων, εκ των οποίων οι δύο αποτελούν οικιστικά σύνολα. Από αυτά ο μεγαλύτερος αριθμός των κτιρίων βρίσκεται στη περιοχή της Αττικής (58 περιπτώσεις συμπεριλαμβανομένου του ηλιακού χωριού) και στη Μακεδονία (41 περιπτώσεις κτιρίων). Με ένα μέσο αριθμό εφαρμογών έχουν καταγραφεί βιοκλιματικά κτίρια στην υπόλοιπη Στερεά Ελλάδα και Εύβοια (17), στη Κρήτη (17) και στη Πελοπόννησο (14) και μικρότερο στις υπόλοιπες περιοχές. (Σχήμα 1.6)



Σχήμα 1.6: Αριθμός βιοκλιματικών κτιρίων ανά γεωγραφική περιοχή στην Ελλάδα [11].

Η εφαρμογή παθητικών συστημάτων στο κέλυφος των κτιρίων για αυξημένα κέρδη από την αξιοποίηση κυρίως της ηλιακής ενέργειας αφορά στον τομέα της κατοικίας χαμηλού ύψους (έναν με δύο ορόφους) ενώ η χρήση τους για θέρμανση και ψύξη σε άλλες χρήσεις κτιρίων δεν έχει εφαρμοστεί ιδιαίτερα στη χώρα μας. Στην Ελλάδα μόνο τη τελευταία δεκαετία έχει ξεκινήσει να εφαρμόζεται ο βιοκλιματικός σχεδιασμός σε κτίρια του τριτογενή τομέα, στα πλαίσια της συνολικότερης αντιμετώπισης του ενεργειακού σχεδιασμού. Έτσι από τα ήδη καταγεγραμμένα κτίρια, το 74% των περιπτώσεων αφορά σε κτίρια κατοικίας ενώ μια πιο λεπτομερής κατανομή σε χρήσεις του τριτογενή τομέα δίνει τα μεγαλύτερα ποσοστά σε κτίρια γραφείων και εκπαίδευσης (Σχήμα 1.7).



Σχήμα 1.7: Αριθμός βιοκλιματικών κτιρίων ανά χρήση [11].

Η χρήση των παθητικών συστημάτων στα βιοκλιματικά κτίρια στην Ελλάδα αξιοποιείται κατά τη χειμερινή περίοδο κυρίως για εξοικονόμηση ενέργειας και βελτίωση των συνθηκών άνεσης, ενώ για τη θερινή περίοδο κυρίως για εξασφάλιση θερμικής άνεσης μέσω απλών μεθόδων και τεχνικών φυσικού δροσισμού.

Από τα συστήματα και τις τεχνικές που έχουν ευρύτερα εφαρμοστεί σε βιοκλιματικά κτίρια, τη κύρια θέση κατέχουν απλές τεχνικές για μεγιστοποίηση των νοτίων ανοιγμάτων (παθητικά συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους για θέρμανση), που εμφανίζονται στο 81% των κτιρίων και χρήση ηλιακών χώρων έμμεσου κέρδους (κυρίως θερμοκήπια). Ηλιακοί τοίχοι (Trombe, μάζας και θερμοσιφωνικά πάνελα), εμφανίζονται στο 27% των κτιρίων που καταγράφηκαν ενώ η πλειοψηφία τους είναι τοίχοι Trombe (68%). Η αυξημένη θερμομόνωση, διαφοροποιημένη μη συμβατική

κατασκευή εξωτερικών τοιχοποιιών, φυτεμένα δώματα και ελαχιστοποίηση των βορινών ανοιγμάτων, προσφέρουν επιπρόσθετη προστασία το χειμώνα.

Αντίστοιχα για τη θερινή περίοδο ο σκιασμός, η ελαχιστοποίηση των δυτικών ανοιγμάτων και ο διαμπερής αερισμός αποτελούν κύριες τεχνικές φυσικού δροσισμού που εμφανίζονται σε όλες τις περιπτώσεις κτιρίων που καταγράφονται. Η ηλιοπροστασία επιτυγχάνεται με εξωτερικά ή εσωτερικά σκίαστρα και συγκεκριμένα ειδικά συστήματα ηλιοπροστασίας αναφέρονται στο 29% των περιπτώσεων και φύτευση του περιβάλλοντος χώρου στο 9% των περιπτώσεων. Άλλα παθητικά συστήματα που έχουν εφαρμοστεί στην Ελλάδα είναι τα ηλιακά αίθρια, φεγγίτες οροφής για βελτίωση των συνθηκών φυσικού φωτισμού, καμινάδες δροσισμού και σωλήνες εδάφους.

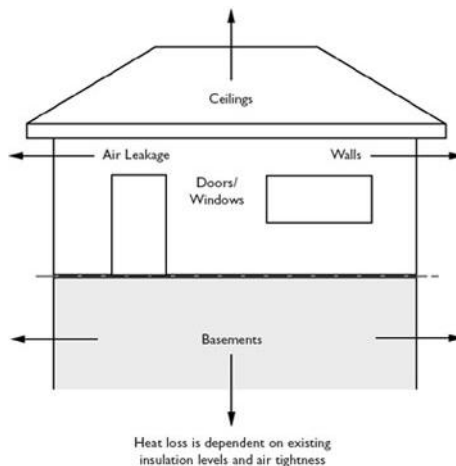
Σε σχέση με τα συνήθη συμβατικά κτίρια κατασκευής μετά το 1979 (έτος εφαρμογής του κανονισμού θερμομόνωσης) τα βιοκλιματικά κτίρια στην Ελλάδα παρουσιάζουν εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 30%, ενώ σε σχέση με προηγούμενα αμόνωτα κτίρια η αντίστοιχη εξοικονόμηση ενέργειας ανέρχεται στο 80%.

Κεφάλαιο 2^ο

ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΚΕΛΥΦΟΣ

2.1 Ορισμός κτιριακού κελύφους

Ως κέλυφος νοούμε το σύνολο των διαφανών και αδιαφανών στοιχείων τα οποία καθορίζουν το εξωτερικό περίγραμμα του κτηρίου (Σχήμα 2.1). Ο τρόπος της κατασκευής του καθορίζει τη θερμική και κατ' επέκταση ενεργειακή συμπεριφορά του κτηρίου. Το κέλυφος του κτηρίου είναι αυτό που προστατεύει το κτίριο, που δέχεται την επίδραση ενός πλήθους εξωγενών παραγόντων (θερμοκρασίας, υγρασίας, θορύβων, ηλιακής ακτινοβολίας, ανέμων κ.τ.λ.) και παίζει ένα ρυθμιστικό ρόλο στη διαμόρφωση του εσωκλίματος του. Προκειμένου να ανταποκρίνεται ικανοποιητικά σ' αυτό το ρόλο του, οφείλει να διασφαλίζει επαρκή προστασία έναντι όλων αυτών των παραγόντων [12].



Σχήμα 2.1: Κτιριακό κέλυφος [13].

Μπορούμε να πούμε δηλαδή ότι το ρόλο που διαδραματίζει για το ανθρώπινο σώμα η επιδερμίδα του, καλείται να επιτελέσει το κτιριακό κέλυφος για μια κατασκευή και τους χρήστες του. Η ορθολογική επίλυση των παραμέτρων του σε σχέση με τη λειτουργία, το μεμονωμένο κτιριολογικό πρόγραμμα, τα κλιματολογικά δεδομένα και τους επιθυμητούς στόχους θερμικής και οπτικής άνεσης, θα καταδείξουν την αποτελεσματικότητα του στην προστασία των συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης σε τρεις διακριτούς στόχους που καλείται να εκπληρώσει [2].

Οι τρεις αυτοί κύριοι στόχοι του κελύφους επιγραμματικά είναι:

- Να λειτουργήσει ως «επιλεκτικός ηλιακός συλλέκτης», δηλαδή να συνεισφέρει στη δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας, όταν αυτή είναι διαθέσιμη και απαραίτητη (τη χειμωνιάτικη μέρα) και να την κρατήσει μακριά την καλοκαιρινή μέρα. Τα σωστά προσανατολισμένα ανοίγματα, εξοπλισμένα με τις κατάλληλες ηλιοπροστατευτικές διατάξεις, καθορίζουν και επηρεάζουν τη δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Να λειτουργήσει ως «φράγμα θερμικών απωλειών» ώστε η θερμότητα που δεσμεύτηκε από την ηλιακή ακτινοβολία να μη διαφύγει στο εξωτερικό περιβάλλον. Η θερμομόνωση του κελύφους και η νυχτερινή - κινητή θερμομόνωση των ανοιγμάτων συμβάλλουν στη μείωση των θερμικών απωλειών.
- Να λειτουργήσει ως «θερμική αποθήκη», ώστε η συλλεχθείσα θερμότητα να αποθηκευτεί για να αποδεσμευτεί και να αποδοθεί στους κατοικήσιμους χώρους όταν είναι χρήσιμη (τις βραδινές ώρες ή σε περιόδους με συννεφιά). Η θερμότητα που μπορεί να αποθηκεύσουν τα δομικά υλικά- και τα δομικά στοιχεία αντίστοιχα, είναι ανάλογη με το μέγεθος της θερμοχωρητικότητάς τους.[2]

Οι παραπάνω στόχοι που καλείται να επιτευχθούν μέσω του κτιριακού κελύφους περιγράφονται και αναλύονται σε παρακάτω παράγραφο.

2.2 Οικοδομικές επεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος

Γενικά, οι αρχιτέκτονες σχεδιάζουν το κέλυφος μιας κατασκευής ώστε να καλύπτει ποικίλες αισθητικές και δομικές ανάγκες. Πριν από την πετρελαϊκή κρίση του 1973, η ενεργειακή απόδοση των στοιχείων του κελύφους σπάνια θεωρούνταν ως σημαντική παράμετρος στο σχεδιασμό των κτιρίων. Έκτοτε, όπως αναφέραμε παραπάνω έχουν αναπτυχθεί αρκετά πρότυπα - κανονισμοί για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσής τους.

Για την ανάλυση των επεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας, είναι αναγκαία η πληροφορία εάν το κτίριο κατασκευάστηκε ή τροποποιήθηκε σύμφωνα με συγκεκριμένα πρότυπα ενεργειακής απόδοσης. Εάν συμβαίνει αυτό, η επέμβαση στο κέλυφος του κτιρίου μπορεί να μην είναι οικονομικά αποδοτική, ειδικά για τα πολώροφα εμπορικά κτίρια. Οι βελτιώσεις στο κτιριακό κέλυφος μπορεί να είναι οικονομικά αποδοτικές εάν το κτίριο έχει κατασκευαστεί χωρίς καμία πρόβλεψη

ενεργειακής αποδοτικότητας, π.χ. σε κατασκευές χωρίς καθόλου μόνωση στους τοίχους και τις οροφές. Εξάλλου, η μετασκευή του κτιριακού κελύφους θα πρέπει να γίνεται μετά από προσεκτική μελέτη των θερμικών φορτίων του κτιρίου [14].

Στο σημείο αυτό θα μπορούσε να καταγράψει κανείς μια σειρά οικοδομικών επεμβάσεων που θα αποσκοπούν στη βελτίωση της θερμικής προστασίας του κελύφους του κτιρίου με γνώμονα τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής του συμπεριφοράς, με τη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας και παράλληλα την επίτευξη συνθηκών άνεσης στους χώρους παραμονής και εργασίας. Το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα παραμένει πάντα διπλό, περιορισμός των θερμικών απωλειών από το κέλυφος του κτιρίου το χειμώνα και παρεμπόδιση της υπερθέρμανσης των εσωτερικών χώρων το καλοκαίρι.

Συνοπτικά, οι δυνατές επεμβάσεις μπορούν να διακριθούν σε τρεις κατηγορίες:

- Επεμβάσεις στα διαφανή δομικά στοιχεία, που αφορούν κυρίως τη χρήση βελτιωμένων υαλοπινάκων καθώς και τη βελτίωση της αεροστεγανότητας των αρμών και των κουφωμάτων
- Επεμβάσεις στα αδιαφανή δομικά στοιχεία, που αφορούν κυρίως στη θερμομόνωση εξωτερικών τοίχων, δωματίων, οροφών και δαπέδων
- Επεμβάσεις βιοκλιματικού χαρακτήρα, που αφορούν κυρίως την ενσωμάτωση παθητικών ηλιακών συστημάτων (άμεσο ηλιακό κέρδος, τοίχος θερμικής αποθήκευσης, προσάρτηση θερμοκηπίου κ.τ.λ.) [12].

Η επιλογή της πλέον κατάλληλης επέμβασης καθορίζεται κάθε φορά από το ίδιο το κτίριο και την ενεργειακή του συμπεριφορά. Οι παραπάνω επεμβάσεις αναλύονται περαιτέρω σε επόμενα κεφάλαια.

Να σημειωθεί ακόμη ότι οι παραπάνω επεμβάσεις θα πρέπει, πέραν της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης, να στοχεύουν ταυτόχρονα και στα εξής:

- Να ακολουθούν και να εναρμονίζονται με την υπάρχουσα αρχιτεκτονική του κτηρίου, αποφεύγοντας κατά το δυνατόν αλλοιώσεις που αλλάζουν τη φυσιογνωμία του, εκτός αν η απόφαση για επέμβαση αποβλέπει και επιτρέπεται νομικά προς αυτό το σκοπό.
- Να προκύπτουν ως αποτέλεσμα ολοκληρωμένης μελέτης όπου έχει υπολογιστεί η ενεργειακή απόδοση του κτηρίου και έχει προσδιοριστεί ο

τρόπος κατανομής των θερμικών απωλειών και κερδών από τα διάφορα δομικά στοιχεία του κελύφους.

- Να λαμβάνουν υπόψη τις ιδιαιτερότητες του κτηρίου και των χρηστών.
- Να είναι ρεαλιστικές από οικονομική άποψη.

2.3 Σχεδίαση κελύφους

Η ορθολογική επίλυση των παραμέτρων του κελύφους σε σχέση με τη λειτουργία, το μεμονωμένο κτιριολογικό πρόγραμμα, τα κλιματολογικά δεδομένα και τους επιθυμητούς στόχους θερμικής και οπτικής άνεσης, θα καταδείξουν την αποτελεσματικότητα του στην προστασία των συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης στους βασικούς ρόλους δηλαδή που καλείται να επιτελέσει. Ο ορθός σχεδιασμός του κτιρίου είναι το πρώτο βήμα για την επίτευξη της βέλτιστης ενεργειακής λειτουργίας του κτιρίου και για την ελαχιστοποίηση των ροών θερμότητας διαμέσου του κελύφους.

Στη χειμερινή περίοδο, όπως έχουμε αναφέρει ο ενεργειακός σχεδιασμός αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών αγωγιμότητας, αερισμού και εξάτμισης, επιτρέποντας μόνο τον απαραίτητο για λόγους υγιεινής αερισμό, και στην αύξηση της θερμικής προσόδου από την ηλιακή ακτινοβολία, ώστε αφενός να μειωθεί η διάρκεια της θερμαντικής περιόδου και αφετέρου να ελαττωθούν οι δαπάνες για την παροχή θέρμανσης. Αντίστοιχα, στην θερινή περίοδο ο ενεργειακός σχεδιασμός στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της θερμικής προσόδου από την ηλιακή ακτινοβολία και στη βελτιστοποίηση των διαφόρων μεθόδων φυσικού δροσισμού, ώστε να ελαχιστοποιηθεί ή ακόμη και να αποτραπεί η με το μηχανολογικό εξοπλισμό παρεχόμενη ψύξη [2].

Ο ορθός σχεδιασμός του κτιρίου λοιπόν είναι το πρώτο βήμα για την επίτευξη της βέλτιστης ενεργειακής λειτουργίας του κτιρίου και θα πρέπει να γίνεται με κατεύθυνση την βέλτιστη αξιοποίηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, την αποθήκευση θερμότητας, την διασφάλιση του κατάλληλου φυσικού αερισμού του κτιρίου, την εκμετάλλευση του φυσικού φωτός αλλά και με τον βέλτιστο συνδυασμό των παραπάνω παραμέτρων.

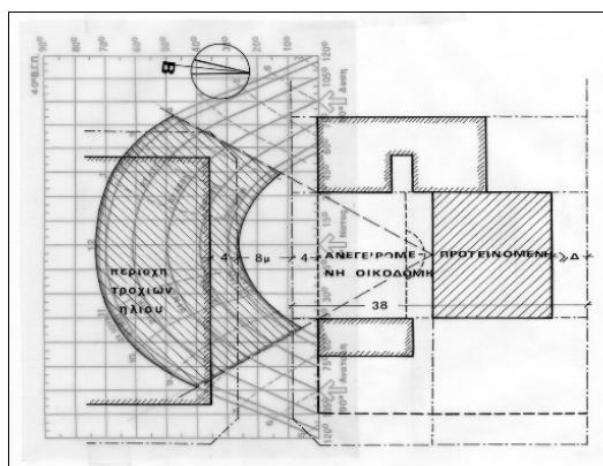
2.3.1 Το κτίριο ως ηλιακός συλλέκτης

Όπως αναφέραμε παραπάνω με βάση τα κριτήρια του ενεργειακού σχεδιασμού που έχουμε αναφέρει, το κέλυφος καλείται να λειτουργήσει ως “επιλεκτικός ηλιακός συλλέκτης”. Οι κύριες παράμετροι για την επίτευξη του στόχου του είναι οι εξής:

➤ Χωροθέτηση του κτηρίου στο οικόπεδο – Προσανατολισμός

Ο σωστός προσανατολισμός των κτιρίων είναι προϋπόθεση για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανσή τους (Σχήμα 2.2.). Η χωροθέτηση του κτηρίου στο οικόπεδο οφείλει να διασφαλίζει νότιο προσανατολισμό της μεγαλύτερης όψης του. Επιτρέπονται αποκλίσεις έως $\pm 30^\circ$ ανατολικά ή δυτικά του νότου. Στην περίπτωση αστικού οικοπέδου με δυσμενή προσανατολισμό, δηλαδή με όψεις ελεύθερες μόνον σε ανατολή και δύση, η δυνατότητα προσανατολισμού προς το νότο μπορεί να επιτευχθεί μέσω προεξοχών του κελύφους, των οποίων η όψη στρέφεται προς το νότο.

Εφόσον είναι δυνατό προβλέπεται στη νότια πλευρά η ύπαρξη υδάτινων επιφανειών ή η ανάπτυξη χαμηλού και υψηλού πράσινου (φυλλοβόλα δέντρα) κάτω από τις βέλτιστες μικροκλιματικές συνθήκες, ώστε να παρέχεται ο επιθυμητός σκιασμός και εξατμιστικός δροσισμός τη θερινή περίοδο. Σκόπιμη θεωρείται η φύτευση αιθαλών δέντρων στη βορινή πλευρά, η οποία και επηρεάζεται κατά κανόνα από τους ψυχρούς ανέμους τη χειμερινή περίοδο, για την ανάσχεση των δυσμενών επιδράσεων [15].



Σχήμα 2.2: Έλεγχος του ηλιασμού μιας ανεγειρόμενης και μιας προτεινόμενης θέσης της οικοδομής [15].

Μια νότια πρόσοψη δέχεται τη μέγιστη μέση τιμή ηλιακής ακτινοβολίας-θερμότητας κατανεμημένη στις διάφορες εποχές του έτους, με τον πιο ευνοϊκό τρόπο. Το χειμώνα, η κίνηση του ήλιου σε χαμηλότερη τροχιά έχει σαν αποτέλεσμα καθετότερη πρόσπτωση της ακτινοβολίας στη νότια πρόσοψη και επομένως μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα. Η νότια όψη δέχεται το μεγαλύτερο ποσό της ηλιακής ενέργειας από οποιαδήποτε διαφορετικά προσανατολισμένη επιφάνεια του κτιρίου. Αντίθετα το καλοκαίρι δέχεται το ελάχιστο σε θερμότητα, παρά τη μεγάλη διάρκεια του ηλιασμού της. Οι με ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό όψεις των κτιρίων δέχονται το μέγιστο του ηλιασμού από το Μάη μέχρι τον Ιούλιο και αντίθετα μικρό ποσό θερμότητας το χειμώνα. Οι βορινές προσόψεις ηλιάζονται μόνο το καλοκαίρι, νωρίς το πρωί και αργά το απόγευμα.

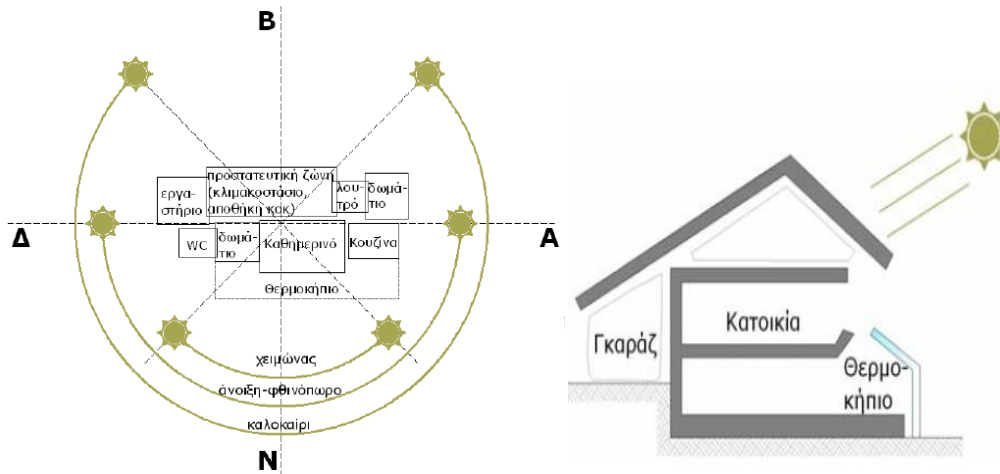
Προτείνονται λοιπόν μεγάλα μεγέθη ανοιγμάτων προς το νότιο προσανατολισμό, μέτριου μεγέθους στην ανατολική και δυτική όψη και μικρότερα ανοίγματα στο βορρά. Τα τελευταία, παρά το προτεινόμενο μικρό μέγεθός τους, πρέπει οπωσδήποτε να προβλέπονται στο σχεδιασμό των κτηρίων, διότι πέραν της διασφάλισης φυσικού φωτισμού στους εσωτερικούς χώρους, παρέχουν τη δυνατότητα διαμπερούς αερισμού το καλοκαίρι, συνεπώς και φυσικού δροσισμού του κτηρίου [2, 15].

➤ Διάρθρωση των εσωτερικών χώρων

Οι μικροκλιματικές συνθήκες που επικρατούν στις πλευρές ενός κτιρίου είναι επίσης καθοριστικές για μια ορθή διάταξη των χώρων. Η βόρεια πλευρά παραμένει η πιο ψυχρή, γιατί δεν δέχεται άμεση ηλιακή ακτινοβολία και γιατί οι χειμερινοί άνεμοι έχουν συνήθως βορινή κατεύθυνση. Η ανατολική και δυτική πρόσοψη δέχονται ίση ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά η δυτική παραμένει πιο ζεστή εξαιτίας του συνδυασμού ηλιακής ακτινοβολίας και υψηλών μεσημβρινών θερμοκρασιών του αέρα. Η νότια πλευρά είναι η φωτεινότερη και η πιο ζεστή και δέχεται ηλιακή ακτινοβολία στη διάρκεια όλης της ημέρας [2].

Ο προσανατολισμός των εσωτερικών χώρων παραμένει ένα κρίσιμο ζήτημα, εξαρτώμενο από τη χρήση ενός χώρου και τις ανάγκες των ενοίκων. Κατά το σχεδιασμό της κάτοψης οι εσωτερικοί χώροι θα πρέπει να οργανωθούν και να ομαδοποιηθούν έτσι, ώστε αυτοί με μεγάλο χρόνο χρήσης και υψηλές επιθυμητές εσωτερικές θερμοκρασίες (καθιστικό, τραπεζαρία, γραφείο) να χωροθετηθούν

στη νότια πλευρά του κτιρίου. Αντίθετα οι χώροι με περιορισμένο χρόνο χρήσης που απαιτούν συγκριτικά και χαμηλότερες θερμοκρασίες (W.C., υπνοδωμάτια) θα πρέπει να χωροθετούνται σε ενδιάμεση θερμική ζώνη (Σχήμα 2.4) [15].



Σχήμα 2.4: Εσωτερική διάταξη χώρων κατοικίας - Διαγραμματική κάτοψη και τομή ενεργειακού κελύφους [15].

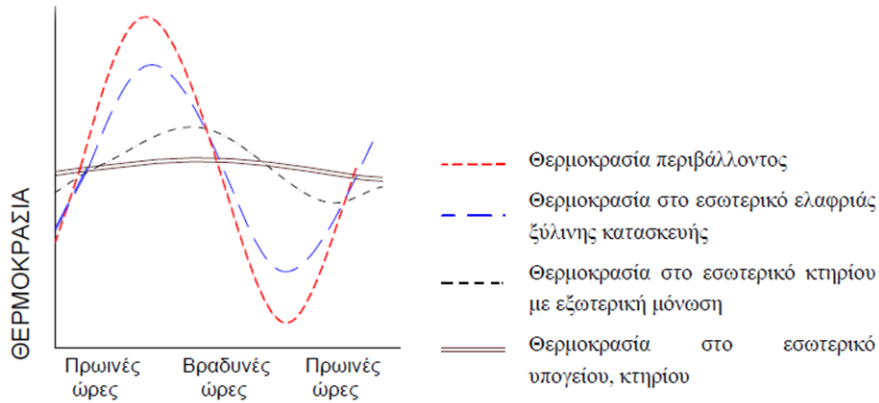
Οι υπόλοιποι βοηθητικοί χώροι εάν υπάρχουν στη μελέτη (garage, αποθήκες κ.λπ.) θα πρέπει να προβλεφθούν στη βορινή πλευρά, ώστε να λειτουργούν ως ζώνη θερμικής ανάσχεσης ανάμεσα στους θερμαινόμενους χώρους και το εξωτερικό περιβάλλον. Με αυτόν τον τρόπο μειώνονται στην πραγματικότητα οι θερμικές απώλειες από τους βασικούς κύριους χώρους [15].

2.3.2 Το κτίριο ως αποθήκη θερμότητας

2.3.2.1 Η έννοια της θερμικής μάζας

Το κέλυφος ενός κτιρίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αποθήκη θερμότητας. Το μέγεθος με το οποίο εκφράζεται η ικανότητα της αποθήκευσης της θερμότητας ενός κτηρίου ονομάζεται θερμική μάζα του κτηρίου. Η θερμική μάζα εντοπίζεται στους τοίχους στα δάπεδα και στις οροφές το μέγεθός της εξαρτάται δε από τη μορφή και τον προσανατολισμό του κτηρίου και τη θερμοχωρητικότητα των υλικών.

Η θερμική μάζα απορροφά κατά τη διάρκεια της μέρας θερμική ενέργεια, αποδίδει θερμότητα τη διάρκεια της νύχτας (Σχήμα 2.5) και αναφέρεται σε υλικά που έχουν την ιδιότητα να αποθηκεύουν θερμική ενέργεια για μεγάλες περιόδους [16].



Σχήμα 2.5: Θερμική συμπεριφορά διαφόρων τύπων κτηρίων [16].

Παραδοσιακοί τύποι υλικών με μεγάλη θερμική μάζα είναι τα βαριά υλικά, σκυρόδεμα, πέτρα, τούβλα, άργιλος που έχουν μεγάλη πυκνότητα και θερμοχωρητικότητα άρα και ικανότητα αποθήκευσης της θερμότητας [16]. Ο Πίνακας 2.1 παρουσιάζει τις κυριότερες ιδιότητες κάποιων οικοδομικών υλικών.

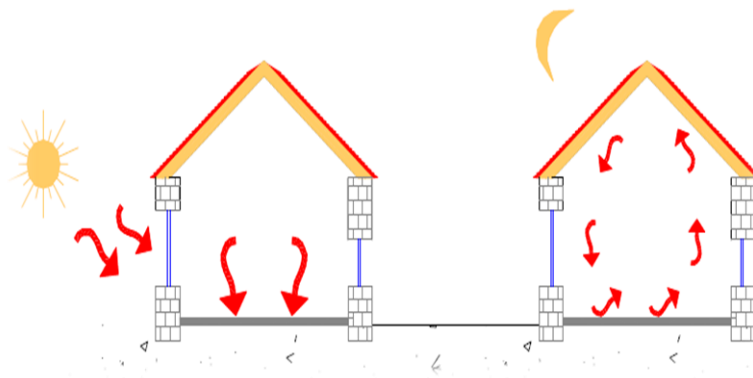
Πίνακας 2.1: Ιδιότητες οικοδομικών υλικών [2]

Υλικό	Ειδική Θερμότητα Wh/kg.K	Πυκνότητα Kg/m ³	Θερμοχωρητικότητα Wh/m ³ K	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας W/m.K
Νερό (20°C)	1.16	998	1.157	0,60
Χάλυβας	0.14	7.800	1.092	50
Αλουμίνιο	0.25	1.800	450	160
Χαλκός	0.12	8.900	1.068	200
Γρανίτης	0.25	2.600	650	2,50
Ασβεστόλιθος	0.20	2.180	436	1,49
Μάρμαρο	0.22	2.500	550	2,00
Σκυρόδεμα	0.23	2.100	483	1,40
Ελαφροσκυρόδεμα	0.28	1.200	336	0,42
Οπτοπλινθοδομή (10εκ.)	0.22	1.300	286	0,49
Πλήρη τούβλα	0.22	1.900	418	1,09
Γυαλί	0,5	2.500	1.250	1,05
Ξυλεία μαλακή	0,38	630	239	0,13
Ξυλεία σκληρή	0,35	750	262	0,15
Κοντραπλακέ	0,34	530	180	0,14
Μορτισανίδες	0,28	800	224	0,15
Γυψόπλακες	0,23	950	218	0,16
Κεραμικά πλακίδια	0,22	1.900	418	0,85
Ορυκτοβάμβακας	0,27	25	6,7	0,04
Εξηλασμ. πολυστερίνη	0,34	25	8,5	0,034
Αέρας (24°C)	0,28	1,29	0,36	0,024

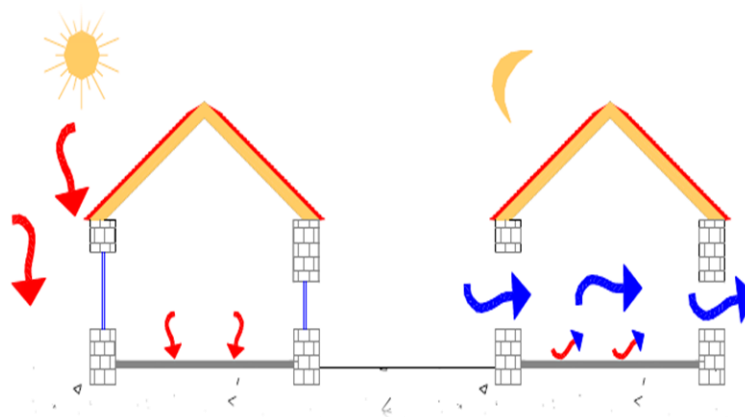
Η απορρόφηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται άμεσα από το δάπεδο και τους παρακείμενους τοίχους και έμμεσα από την οροφή με την κίνηση

του θερμού αέρα προς τα πάνω (όντας ελαφρύτερος). Όσο περισσότερη μάζα διαθέτει το κτήριο στο εσωτερικό του, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας αποθηκεύει, διατηρώντας τη θερμοκρασία του χώρου σταθερή, σε επίπεδα θερμικής άνεσης για πολλές ώρες, ενώ παράλληλα περιορίζεται η λειτουργία της βοηθητικής θέρμανσης το χειμώνα, αλλά και της ψύξης το καλοκαίρι [15].

Το χειμώνα η θερμική μάζα του κτιρίου θα πρέπει να είναι τόση ώστε να προλαβαίνει να θερμανθεί αρκετά κατά τη διάρκεια της ημέρας, να αποδίδει θερμότητα αλλά και να διατηρεί συνθήκες θερμικής άνεσης καθ' όλη τη διάρκεια της νύχτας μέχρι το επόμενο πρωί (Σχήμα 2.6). Το καλοκαίρι από την άλλη η θερμική μάζα θα πρέπει να έχει τέτοια ποσότητα ώστε να προλαβαίνει να ψυχθεί κατά τη διάρκεια της νύχτας αλλά και οι τοίχοι να εξακολουθούν να ψύχουν τον εσωτερικό αέρα ως την επόμενη δύση, την ώρα της μέρας που η εξωτερική θερμοκρασία πέφτει σε επίπεδα χαμηλότερα από τη εσωτερική (Σχήμα 2.7) [17].



Σχήμα 2.6: Λειτουργία της θερμικής μάζας δαπέδου το χειμώνα [16].



Σχήμα 2.7: Λειτουργία της θερμικής μάζας δαπέδου το καλοκαίρι [16].

Με βάση τα παραπάνω η θερμική μάζα μπορεί να οριστεί ως ο “ρυθμιστής” της εσωτερικής θερμοκρασίας καθώς:

- Καθυστερεί την ψύξη των χώρων κατά τις χειμερινές νύχτες, διατηρώντας τους θερμούς ως το πρωί.
- Καθυστερεί την θέρμανση των χώρων κατά τις θερινές μέρες, διατηρώντας τους δροσερούς ως το βράδυ.
- Συμβάλει στην μείωση των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων στο εσωτερικό του κτηρίου, τόσο μεταξύ μέρας και νύχτας, όσο και μεταξύ του χειμώνα και του καλοκαιριού [17].

2.3.2.2 Κατανομή θερμικής μάζας – συνδυασμός της με μόνωση [16]

Η κατανομή της θερμικής μάζας στο εσωτερικό του κτηρίου καθορίζεται κυρίως από τον προσανατολισμό της επιφάνειας που εκτίθεται στην ηλιακή ακτινοβολία και την επιθυμητή χρονική καθυστέρηση όσον αφορά στην απελευθέρωση θερμότητας. Έτσι:

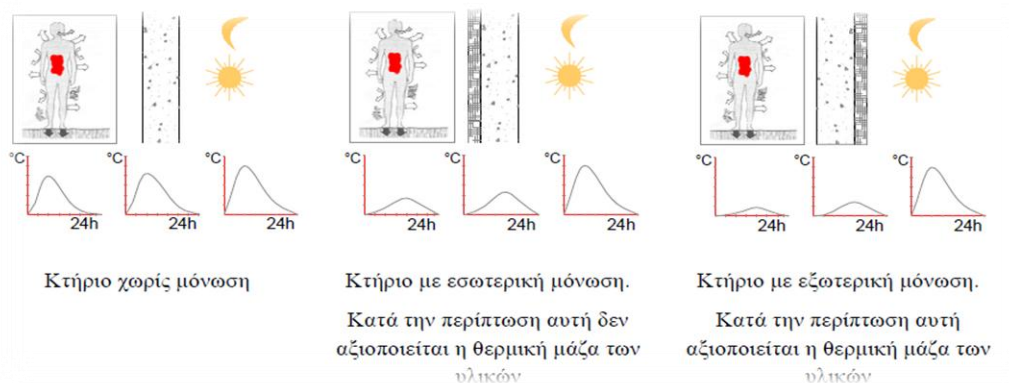
- Στις βόρεια προσανατολισμένες επιφάνειες δεν υπάρχει πρακτικά ανάγκη για χρονική καθυστέρηση αφού οι επιφάνειες αυτές έχουν μικρά θερμικά κέρδη.
- Στις επιφάνειες με ανατολικό προσανατολισμό είναι προτιμότερο να υπάρχει χρονική καθυστέρηση μεγαλύτερη από δεκατέσσερις ώρες έτσι ώστε η απελευθέρωση θερμότητας 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 κτηρίου που είναι εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα της ημέρας, απαιτεί μεγάλη χρονική καθυστέρηση (άρα μεγάλη θερμική μάζα) ή εναλλακτικά επιπρόσθετη μόνωση.

Στα σημερινά κτήρια η θερμική μάζα αποτελείται από στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την πλήρωση του κελύφους όπως τα τούβλα, οι τσιμεντόλιθοι και το σκυρόδεμα. Όπου αυτό είναι δυνατό συνιστάται η χρήση της πέτρας. Αντίθετα η χρήση υλικών όπως το ξύλο δεν ευνοούν την αποθήκευση θερμότητας.

Για να γίνει δυνατή λοιπόν η εκμετάλλευση της θερμικής μάζας του κτηρίου πρέπει η μόνωση να τοποθετείται στην εξωτερική πλευρά του κτηρίου διαφορετικά δεν είναι δυνατή η αποθήκευση πλεονάζουσας θερμότητας και η απόδοσή της στο

εσωτερικό σε μεταγενέστερο χρόνο. Η βέλτιστη λειτουργία της θερμικής μάζας προκύπτει από το συνδυασμό εξωτερικής θερμομόνωσης και μεγάλης εσωτερικής θερμικής μάζας (Σχήμα 2.8).



Σχήμα 2.8: Μόνωση κελύφους κτηρίου (περίοδος θέρους) [16].

2.3.2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ικανότητα της θερμικής μάζας

Η ικανότητα της θερμικής μάζας καθορίζεται από την ημερήσια θερμοχωρητικότητα η οποία ορίζεται ως το ποσό της αποθηκευμένης θερμότητας ανά βαθμό διακύμανσης της εσωτερικής θερμοκρασίας. Η θερμική μάζα εξαρτάται κυρίως από τις ιδιότητες του υλικού σε σχέση πάντα με την επαφή του με τον εσωτερικό αέρα του κελύφους και εκφράζεται από το γινόμενο της θερμοχωρητικότητας του υλικού επί την θερμική του αγωγιμότητα.

Η θερμοχωρητικότητα ενός υλικού είναι ανάλογη προς τον όγκο και την πυκνότητα του υλικού. Από τα συνήθη υλικά μεγαλύτερη πυκνότητα έχει ο φυσικός λίθος ενώ ακολουθούν τα τούβλα και το σκυρόδεμα (υλικά θερμικής αποθήκης κτηρίου). Η θερμοχωρητικότητα όλων των υλικών δεν αυξάνεται από ένα ορισμένο πάχος του υλικού και πέραν καθιστώντας περιττή την κάθε πρόσθετη αύξηση πάχους για την επίτευξη της θερμικής μάζας.

Η συμπεριφορά της θερμικής μάζας εξαρτάται από τη χρονική καθυστέρηση μετά από την οποία η θερμική μάζα αποδίδει θερμότητα. Η θερμική μάζα υποστηρίζει την θερμική άνεση στο κτήριο καθότι προκαλεί ελάττωση του ημερήσιου θερμοκρασιακού εύρους στο εσωτερικό του κτηρίου σε σχέση με το εύρος της ημερήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος [16].

Επισημαίνεται ότι οι συνήθεις κατασκευές με σκελετό από οπλισμένο σκυρόδεμα και τοιχοποιίες από τούβλα παρέχουν την αναγκαία θερμική μάζα και την αντίστοιχη θερμοχωρητικότητα για την αποθήκευση των ηλιακών απολαβών, υπό την προϋπόθεση ότι η θερμομόνωση βρίσκεται στην εξωτερική παρειά των φερόντων στοιχείων. Οι τοίχοι πλήρωσης από διπλή οπτοπλινθοδομή με θερμομόνωση στον πυρήνα εξασφαλίζουν επίσης επαρκή θερμική μάζα, υπό τον όρο ότι η εσωτερική παρειά της οπτοπλινθοδομής έχει πάχος 9 εκατοστά [15].

Στο κλίμα της Ελλάδας η ύπαρξη θερμικής μάζας είναι μία από τις βασικότερες προϋποθέσεις που δίνουν την δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας έως και 70% το χειμώνα και έως και 100% το καλοκαίρι. Τα κτήρια που κατασκευάζονται από ελαφρά υλικά, π.χ. από ξύλο, ή γυψοσανίδα, ή άχυρο δεν μπορούν να αξιοποιήσουν τον ήλιο για τη θέρμανσή τους, ούτε να έχουν το καλοκαίρι φυσικό δροσισμό [17].

2.3.3 Το κτίριο ως φράγμα απωλειών

Για την αποτελεσματική λειτουργία του κτηρίου, ως φυσικού ηλιακού συλλέκτη, είναι ανάγκη η θερμότητα, που προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία, να παγιδεύεται στο εσωτερικό του. Γι' αυτό συνιστάται αφενός προστασία του κτηρίου από τους ψυχρούς χειμερινούς ανέμους και αφετέρου θερμομόνωση του κελύφους του (Σχήμα 2.9).

Η ισχυροποίηση της θερμικής προστασίας των συμπαγών δομικών στοιχείων του κελύφους πέραν της συμβατικής, αποτελεί ένα από τα πλέον σημαντικά μέτρα για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών τη χειμερινή περίοδο και την διατήρηση των πιθανών θερμικών ηλιακών κερδών για μεγάλο διάστημα στους εσωτερικούς χώρους.

Η επίδραση του πάχους μόνωσης των εξωτερικών τοιχοποιιών και του δώματος στην εξοικονόμηση ενέργειας είναι σημαντική. Έρευνες έχουν καταδείξει ότι με τα πρώτα 5 εκατοστά μόνωσης των εξωτερικών δομικών στοιχείων επιτυγχάνεται πολλαπλάσια εξοικονόμηση ενέργειας, συγκριτικά με τα επόμενα 5 εκατοστά.

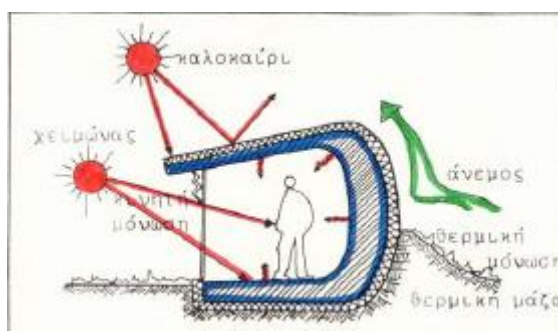
Γενικά, ως κανόνας θα μπορούσε να αναφερθεί ότι όσο πιο ελεύθερη είναι η αρχιτεκτονική μορφή του κτιρίου από άποψη σχήματος ή σύνθεσης όγκων, τόσο πιο ισχυρές θα έπρεπε να είναι και οι μονώσεις του περιβλήματός του, έτσι ώστε να

αντισταθμιστούν και οι αυξημένες θερμικές απώλειες συγκριτικά με άλλα κτίρια συμπαγούς μορφής και να επιτευχθεί ένα άνετο εσωκλίμα με περιορισμένες καταναλώσεις [1].

Η προστασία του κτηρίου από τους ψυχρούς, χειμερινούς ανέμους επιτυγχάνεται με κατάλληλους χειρισμούς στο άμεσο εξωτερικό περιβάλλον του: με τη φύτευση αιθαλών δέντρων ή χαμηλής βλάστησης ή ανεμοφράκτη για την εκτροπή των ανέμων ή με την πρόβλεψη κατάλληλων προεξοχών στο κέλυφος του κτηρίου.

Για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών από το κέλυφος του κτηρίου προς το εξωτερικό περιβάλλον επιβάλλεται:

- Κατάλληλη θερμομόνωση των συμπαγών στοιχείων του κελύφους, δηλαδή τοίχων, δαπέδων, οροφών. Οι επιλογές, ως προς τα υλικά και το πάχος της θερμομόνωσης, εξαρτώνται από την κλιματική ζώνη (μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας). Ωστόσο, επισημαίνεται ότι για να λειτουργήσει το κτήριο αποτελεσματικότερα, ως φράγμα απωλειών, πρέπει η θερμομόνωση των συμπαγών δομικών του στοιχείων να τοποθετείται στην εξωτερική τους πλευρά. Έτσι περιορίζονται και οι θερμογέφυρες. Η περίπτωση κατασκευής διπλού τοίχου από τούβλο με την θερμομόνωση στον πυρήνα, αποτελεί λύση αποδεκτή, αρκεί το πάχος κάθε παρειάς του τοίχου να είναι τουλάχιστον 9 εκατοστά.
- Επιλογή κατάλληλων κουφωμάτων, ανάλογα με την κλιματική ζώνη, με διπλά ή πολλαπλά τζάμια με χαμηλό συντελεστή θερμοπερατότητας και εξώφυλλα με θερμομόνωση ή όχι.
- Καλή αεροστεγάνωση των αρμών των κουφωμάτων [15].



Σχήμα 2.9: Διαγραμματική τομή κελύφους ως φράγμα απωλειών [15].

Η σημασία ωστόσο της θερμομόνωσης, τα θερμομονωτικά υλικά αλλά και οι τρόποι που μπορούν να εγκατασταθούν αυτά στα δομικά στοιχεία του κελύφους περιγράφονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 6 της παρούσας εργασίας.

2.3.4 Το κτήριο ως αποδέκτης και αποθήκη φυσικής ψύξης [15]

Το καλοκαίρι η έντονη ηλιακή ακτινοβολία και οι υψηλές θερμοκρασίες επιβαρύνουν το κτήριο, με αποτέλεσμα να προκαλείται κίνδυνος υπερθέρμανσης στους εσωτερικούς χώρους. Για την επίτευξη του φυσικού δροσισμού απαιτείται τόσο η προστασία του κτηρίου από τον ήλιο, ιδιαίτερα των ανοιγμάτων του, όσο και η μεταφορά της περίσσειας θερμότητας προς το ύπαιθρο, με φυσικό αερισμό και άλλες τεχνικές που παρατίθενται παρακάτω.

Συνεπώς, οι ρυθμίσεις στο κέλυφος του κτηρίου, που προτείνονται για την επίτευξη του φυσικού δροσισμού, είναι οι εξής:

- Ηλιοπροστασία κτηρίου και ανοιγμάτων
 - i. Τοποθέτηση φυλλοβόλων δέντρων ή βλάστησης, σε κατάλληλες θέσεις, στην περίπτωση χαμηλής δόμησης ή μεμονωμένων κτηρίων.
 - ii. Για το σκιασμό των ανοιγμάτων, τοποθέτηση σκιάστρων ή προεξοχών του ίδιου του κτηρίου, των οποίων η γεωμετρία και η θέση τους εξαρτώνται από τον προσανατολισμό τους:
 - για το νότιο προσανατολισμό τα πιο κατάλληλα συστήματα σκίασης είναι τα οριζόντια, σταθερά ή κινητά. Το βάθος της προεξοχής καθορίζεται από το ύψος του ανοίγματος και το ύψος του ήλιου, δηλαδή από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου,
 - για τον ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό κατάλληλα είναι τα κατακόρυφα συστήματα σκίασης, κάθετα στην όψη του κτηρίου ή υπό κλίση,
 - για νοτιανατολικό και νοτιοδυτικό προσανατολισμό, τα συστήματα σκίασης πρέπει να είναι συνδυασμός οριζόντιων και κατακόρυφων στοιχείων.

- Χρώμα και υφή εξωτερικών επιφανειών

Η μέγιστη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας τη θερινή περίοδο συμβαίνει στα δώματα, με αποτέλεσμα οι τελευταίοι όροφοι των κτηρίων να είναι περισσότερο επιβαρυνμένοι. Επομένως, συνιστώνται:

 - i. Δώματα ανοιχτού χρώματος ή με ανακλαστική επιφάνεια ή με φύτευση (φυτεμένα δώματα),

ii. Εξωτερικοί τοίχοι ανοιχτού χρώματος, κυρίως οι δυτικού προσανατολισμού καθώς και φυτεμένοι τοίχοι με αναρριχητικά φυτά ή κατακόρυφοι κήποι (vertical gardens).

- Επάρκεια θερμικής μάζας

Τα υλικά της κατασκευής του κτηρίου, εφόσον είναι βαριά, συνιστούν την αναγκαία θερμική μάζα για την παραλαβή της αυξημένης θερμότητας το καλοκαίρι. Τα κτήρια που ανήκουν στις κλιματικές ζώνες (Α) και (Β) έχουν ανάγκη μεγαλύτερης θερμικής μάζας, προκειμένου να λειτουργήσουν αποτελεσματικά και να περιορίζεται η χρήση κλιματισμού.

- Θερμομόνωση

Η θερμομόνωση του κελύφους του κτηρίου είναι αναγκαία, γιατί μειώνει το ψυκτικό του φορτίο.

- Φυσικός αερισμός

Η κίνηση του δροσερού αέρα μέσα στο κτήριο απομακρύνει την πλεονάζουσα θερμότητα προς το ύπαιθρο. Οι παράμετροι που επηρεάζουν τις συνθήκες φυσικού αερισμού είναι:

- i. Η διεύθυνση και η ένταση των δροσερών ανέμων στην περιοχή τη θερινή περίοδο,
- ii. Η θέση και το μέγεθος των ανοιγμάτων στο κτήριο,
- iii. Η χρήση του κτηρίου.

- Νυχτερινή ακτινοβολία

Όλες οι εξωτερικές επιφάνειες των κτηρίων ακτινοβολούν σημαντικά ποσά θερμότητας προς τον καθαρό ουρανό, κατά την διάρκεια της νύχτας, το καλοκαίρι. Ιδιαίτερα τα δώματα των κτηρίων, λόγω της οριζόντιας επιφάνειάς τους, εκπέμπουν μεγαλύτερα ποσά θερμότητας προς τον ουρανό, σε σχέση με τις άλλες επιφάνειες των κτηρίων. Για το λόγο αυτό, στα δώματα μπορούν να εφαρμοσθούν ειδικά συστήματα – κατασκευές, εκ των οποίων οι συνηθέστερες είναι οι μεταλλικοί ακτινοβολητές.

- Μικροκλίμα

Η εξάτμιση του νερού από υδάτινα στοιχεία, καθώς και η εξατμισοδιαπνοή από τα φυλλώματα των δέντρων ή/και της βλάστησης προκαλούν πτώση της θερμοκρασίας του αέρα. Ως χρόνος καλύτερης απόδοσης της εξάτμισης θεωρούνται οι μεσημβρινές ώρες, γιατί τότε η υγρασία του αέρα είναι χαμηλή.

Κεφάλαιο 3^ο

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΤΙΡΙΟΥ

3.1 Εσωτερικό περιβάλλον

3.1.1 Συνθήκες θερμικής άνεσης στο εσωτερικό του κελύφους

Η ύπαρξη των κτιρίων, είτε αυτά εξυπηρετούν ως χώροι διαβίωσης είτε ως χώροι εργασίας, έχει ως στόχο να υποβοηθήσει την ανθρώπινη δραστηριότητα, καθώς και να παρέχει προστασία από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες. Ωστόσο, συχνά στο εσωτερικό των κτιρίων εμφανίζονται προβλήματα όσον αφορά στις θερμικές συνθήκες που επικρατούν. Τα αποτελέσματα του προβλήματος έχουν άμεσο αντίκτυπο τόσο στις συνθήκες άνετης διαβίωσης μέσα στα κτίρια όσο και στην υγεία των χρηστών τους. Καθίσταται λοιπόν προφανές ότι η εμφάνιση φαινομένων θερμικής δυσaráεσκείας των χρηστών των κτιρίων είναι εξ ορισμού αντίθετη με τον λόγο ύπαρξης τους.

Εξετάζοντας το εκάστοτε κτίριο ως ένα ξεχωριστό υποσύστημα του εξωτερικού περιβάλλοντος και με δεδομένη τη μεταξύ τους αλληλεπίδραση, η έννοια των συνθηκών του εσωκλίματος είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τα χαρακτηριστικά κατασκευής και λειτουργίας του κτιρίου. Η γενικότερη θεώρηση του προβλήματος αφορά στο εσωτερικό περιβάλλον συνολικά. Εκτός από την αξιολόγηση των θερμικών συνθηκών, αξιολογούνται και άλλοι παράγοντες όπως είναι η ποιότητα εσωτερικού αέρα, ο θόρυβος και ο φωτισμός. Οι συμπληρωματικοί παράγοντες που εισάγονται με τη γενικότερη αυτή θεώρηση επηρεάζουν την υγεία, την άνεση και την απόδοση των κατοίκων του κτιρίου. Η βιολογική και ψυχολογική ισορροπία του ανθρώπου εξασφαλίζεται από την επιτυχή προσαρμογή του στο φυσικό περιβάλλον. Παράμετροι όπως, το κλίμα, το φως, ο θόρυβος, η βλάστηση, οι ζωντανοί οργανισμοί, η μόλυνση της ατμόσφαιρας, κ.λπ., συσχετιζόμενοι μεταξύ τους συνθέτουν το φυσικό περιβάλλον και επηρεάζουν την υγεία και την παραγωγικότητα του ατόμου [18].

Το αίσθημα της θερμικής άνεσης δημιουργείται όταν καταναλώνεται η ελάχιστη ενέργεια από τον οργανισμό για την εξασφάλιση των θερμορρυθμιστικών λειτουργιών στο ανθρώπινο σώμα, ώστε να διατηρηθεί το θερμικό ισοζύγιο του

ατόμου ή σύμφωνα με την Αμερικανική Επιστημονική Εταιρία Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού (ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning), ως θερμική άνεση ορίζεται η κατάσταση του μυαλού κατά την οποία ένα άτομο δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή του εσωτερικού περιβάλλοντος και εκφράζει ικανοποίηση με τις επικρατούσες θερμικές συνθήκες [2].

Όταν οι κλιματικές συνθήκες του περιβάλλοντος είναι ευνοϊκές, το σώμα αποβάλλει την πλεονάζουσα θερμότητα με την ακτινοβολία, την αγωγιμότητα, την κυκλοφορία του αέρα, την εξάτμιση του ιδρώτα και την αναπνοή. Το θερμορρυθμιστικό σύστημα λειτουργεί με το ελάχιστο έργο και το άτομο αισθάνεται “θερμικά άνετα”. Σε δυσμενείς όμως συνθήκες, για παράδειγμα αν επικρατεί πολύ “κρύο” ή πολύ “ζέστη”, το σώμα χάνει πολύ περισσότερη θερμότητα από όση θα έπρεπε ή αντίστοιχα αδυνατεί να αποβάλει το πλεόνασμα της παραγόμενης θερμότητας, και τότε δεν υπάρχει “θερμική άνεση”.

Το κέλυφος των κτιρίων αποτελεί το ρυθμιστικό παράγοντα για τη δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης στον εσωτερικό χώρο, με το να αξιοποιεί τα θετικά κατά περίπτωση κλιματικά στοιχεία και να αποτρέπει τα επιζήμια [18].

3.1.2 Παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμική άνεση

Όπως είναι προφανές η κατάσταση στην οποία ένα άτομο αισθάνεται θερμικά άνετα έχει υποκειμενικό χαρακτήρα. Έτσι στον ίδιο χώρο είναι δυνατόν κάποιο άτομο να εκφράζει την ικανοποίησή του για τις θερμικές συνθήκες, ενώ κάποιο άλλο άτομο τη δυσaráσκειά του. Η λέξη άνεση εμπεριέχει ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων που την ορίζουν κάθε φορά για κάθε άτομο. Πέρα από τους παράγοντες που συνδέονται με την κοινωνική και ψυχολογική κατάσταση του ατόμου, προκειμένου να αξιολογηθεί επιστημονικά η θερμική άνεση και επομένως να αποκτήσει και αντικειμενικό χαρακτήρα, ορίστηκαν παρακάτω οι φυσικές παράμετροι οι οποίες και την επηρεάζουν [18].

Οι παράμετροι λοιπόν που επηρεάζουν την θερμική άνεση στο εσωτερικό των κτιρίων διακρίνονται στις εξής παρακάτω κατηγορίες (Σχήμα 3.1):

- i. Φυσικοί παράμετροι
 - Θερμοκρασία του αέρα [$^{\circ}\text{C}$]

- Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών [$^{\circ}\text{C}$]
 - Η υγρασία και η σχετική υγρασία του αέρα [Pa]
 - Η ταχύτητα του εσωτερικού αέρα [m/s]
- ii. Βιολογικές παράμετροι
- Το φύλλο των χρηστών του χώρου
 - Η ηλικία των χρηστών του χώρου
 - Οι συνήθειες των χρηστών του χώρου
- iii. Εξωτερικές παράμετροι
- Το είδος των δραστηριοτήτων των χρηστών του χώρου [met] ($1 \text{ met} = 58,15 \text{ W/m}^2$)
 - Ο τύπος του ρουχισμού των χρηστών του χώρου [clo] ($1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$)



Σχήμα 3.1: Βασικοί παράγοντες θερμικής άνεσης [2]

Όλες οι παραπάνω παράμετροι, και κυρίως οι φυσικές, επηρεάζουν τη ροή ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας από τον άνθρωπο προς το περιβάλλον. Ο

άνθρωπος διαθέτει μηχανισμούς οι οποίοι έχουν ως στόχο να διατηρούν τη θερμική κατάσταση του σώματος σταθερή και να την προσαρμόζουν στις συνθήκες του περιβάλλοντος. Εξισορροπώντας τα θερμικά κέρδη και τις απώλειες θερμότητας (αυξομείωση των καύσεων, εφίδρωση), το σώμα μας καθορίζει την αναφερθείσα ροή θερμότητας [19].

Παρακάτω αναλύεται η σημασία των φυσικών παραμέτρων που είναι όπως αναφέραμε καθοριστικές για την επίτευξη θερμικής άνεσης στο εσωτερικό του κελύφους.

Θερμοκρασία [18]

Η θερμοκρασία του αέρα είναι αναμφισβήτητα καθοριστική παράμετρος όταν αναφερόμαστε στο εσωτερικό περιβάλλον του κτιρίου. Επηρεάζει την άνεση με πολλούς τρόπους και σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες αποτελεί το κλειδί για το ενεργειακό ισοζύγιο μας, την αίσθηση του θερμικού περιβάλλοντος, την άνεση, τη δυσφορία και την αίσθηση της ποιότητας εσωτερικού αέρα. Οι παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμοκρασία στο εσωτερικό των κτιρίων μπορούν να ενταχθούν σε τρεις κατηγορίες: το εξωτερικό περιβάλλον, το σχεδιασμό του κτιρίου και το σύστημα θέρμανσης, ψύξης και αερισμού. Το πρόβλημα που εντοπίζεται στη μελέτη της θερμοκρασίας ως παραμέτρου της θερμικής άνεσης έγκειται στο γεγονός ότι δεν υπάρχει μια τιμή της θερμοκρασίας που να αποτελεί τη βέλτιστη λύση, αλλά ένα πεδίο τιμών της ως συνάρτηση και άλλων παραγόντων. Το σώμα μας αντιλαμβάνεται τη θερμοκρασία του αέρα (και των άλλων παραμέτρων του θερμικού περιβάλλοντος) από τα αισθητήρια όργανα του δέρματος και του υποθαλάμου ρυθμίζοντας τη θερμοκρασία του.

Πιο αναλυτικά, 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.

Δύο μεγέθη που επηρεάζουν επίσης ισχυρά τη θερμοκρασία άνεσης είναι ο τύπος του ρουχισμού και η μεταβολική δραστηριότητα. Στον Πίνακα 3.1 φαίνεται η μεταβολή της θερμοκρασία άνεσης καθώς μεταβάλλονται τα παραπάνω μεγέθη.

Πίνακας 3.1: Θερμοκρασία άνεσης αέρα σε σχέση με τη μεταβολική δραστηριότητα και τον τύπο του ρουχισμού

Εργασία	Μεταβολική δραστηριότητα [W]	Ρουχισμός [clo]	Θερμοκρασία άνεσης $T_a(\text{comf})$ [$^{\circ}\text{C}$]
Ηρεμία	0	0,5	31
	0	1,0	29
Καθιστική εργασία	43	0,5	27
	43	1,0	23
Ελαφριά εργασία	100	0,5	22
	100	1,0	16
Έντονη εργασία	20	0,5	12

Η προδιαγραφή της θερμοκρασίας άνεσης γενικότερα είναι δύσκολη εξαιτίας κυρίως του μεγάλου αριθμού παραγόντων που επηρεάζουν τη διατήρηση μιας θερμοκρασίας σ' ένα χώρο και των παραγόντων που επηρεάζουν την 'καταγραφή' αυτής της θερμοκρασίας ως άνετης ή όχι από το σώμα μας.

Υγρασία [18]

Η υγρασία, μαζί με τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, αποτελούν τα δυσκολότερα μεγέθη κατά την αξιολόγηση του εσωκλίματος και εκφράζεται με σχετικούς και απόλυτους όρους. Ως ορισμός η υγρασία είναι το ποσό των υδρατμών που υπάρχει στον αέρα. Η σχετική υγρασία, που χρησιμοποιείται συχνότατα στην αξιολόγηση της θερμικής άνεσης, εκφράζεται ως ποσοστό του κορεσμένου αέρα σε υδρατμούς. Η σχετική υγρασία επενεργεί στην εξάτμιση του νερού από την επιδερμίδα μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία του δέρματος και επηρεάζοντας το θερμικό ισοζύγιο του σώματος.

Συνοπτικά, η υγρασία του αέρα επηρεάζει τους εξής τρεις μηχανισμούς του σώματός μας:

- 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.

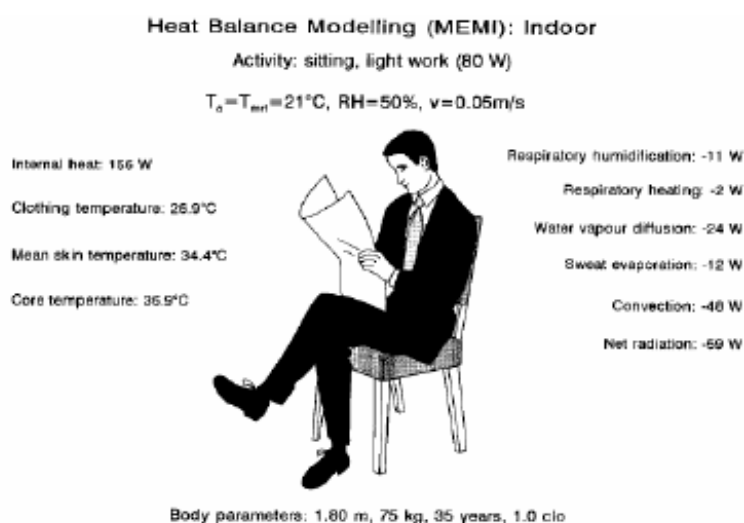
Συνδυασμός υψηλής υγρασίας και υψηλής θερμοκρασίας αέρα δημιουργεί θερμική δυσφορία. Αυξάνοντας τη σχετική υγρασία από 20% σε 60%, η θερμοκρασία του αέρα πρέπει να μειωθεί περίπου κατά 1K, για να διατηρηθεί το ίδιο αίσθημα άνεσης. Γενικά, το άτομο αισθάνεται την υγρασία όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι χαμηλότερη από 20°C, ή υψηλότερη από 25°C.

Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας [18]

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ενός χώρου ορίζεται ως εκείνη η θερμοκρασία μιας συμπαγούς μαύρης επιφάνειας για την οποία παρατηρείται η ίδια απώλεια θερμότητας μέσω ακτινοβολίας, σε σχέση με την εξεταζόμενη επιφάνεια.

Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας παίζει κυρίαρχο ρόλο στην ανταλλαγή θερμότητας λόγω ακτινοβολίας μεταξύ του σώματος και του περιβάλλοντος. Σε χαμηλές ταχύτητες αέρα κοντά στα 0,1 m/s, η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα κατά 1 °C προκαλεί το ίδιο θερμικό αποτέλεσμα με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας κατά 1 °C. Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας διαφοροποιείται από τη θερμοκρασία του αέρα, γιατί είναι πρωτίστως υπεύθυνη για τις χωροταξικές διαφορές της θερμοκρασίας σε ένα χώρο και τη δημιουργία τοπικής δυσφορίας.

Στο Σχήμα 3.2 φαίνεται καθαρά ότι η μεγαλύτερη ροή θερμότητας από το σώμα σε τυπικές κλιματικές συνθήκες (χωρίς κλιματισμό του αέρα) οφείλεται στην ακτινοβολία.



Σχήμα 3.2: Ροές θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα προς το περιβάλλον [18].

Ταχύτητα αέρα [18]

Η κίνηση του αέρα συνδέεται με δύο παραμέτρους, την ταχύτητα του αέρα και τη μορφή της ροής του αέρα, αν είναι δηλαδή στρωτή ή τυρβώδης.

Το ανθρώπινο σώμα δε διαθέτει ειδικά αισθητήρια για την ταχύτητα του αέρα. Αυτή προσδιορίζεται έμμεσα απ' τον ανθρώπινο εγκέφαλο, από τις μεταβολές στις θερμοκρασίες στο δέρμα. Είναι προφανές ότι η ταχύτητα του αέρα μεταβάλλει τις απώλειες θερμότητας του σώματος. Σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και υψηλής σχετικής υγρασίας, η αύξηση της ταχύτητας του αέρα προσφέρει αυξημένες απώλειες θερμότητας με αποτέλεσμα ισορροπημένο θερμικό ισοζύγιο. Σε αντίθετη περίπτωση χαμηλής θερμοκρασίας, η αυξημένη ταχύτητα αέρα επιταχύνει τις απώλειες θερμότητας από το σώμα, σε σημείο που να προκαλεί τη δυσφορία. Στις μικρές ταχύτητες όμως, μικρές μεταβολές της ταχύτητας μπορούν να προκαλέσουν μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας σε σχέση με τις ίδιες μικρές μεταβολές ταχύτητας σε υψηλότερες ταχύτητες αέρα.

Η δεύτερη παράμετρος που επηρεάζει καθολικά τις απώλειες θερμότητας από το σώμα είναι ο τύπος της ροής του αέρα. Στα κεντρικά κλιματιζόμενα κτίρια η ροή του αέρα δεν είναι στρωτή καθώς η ταχύτητα του αέρα μεταβάλλεται με κάποια συχνότητα. Η περιοδικά μεταβαλλόμενη ροή του αέρα προκαλεί συναισθήματα δυσφορίας, συγκρινόμενη με τη στρωτή ροή. Ο τύπος της ροής και συγκεκριμένα ο βαθμός της τύρβης επηρεάζει τη θερμοκρασία του δέρματος ακόμη και με τη μέση ταχύτητα του αέρα σταθερή.

3.1.3 Θερμική άνεση και βιοκλιματικό κτίριο

Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθούν δυο σχετικές παρατηρήσεις, για τη θερμική άνεση στα βιοκλιματικά κτίρια:

- Σύμφωνα με έρευνα, που συσχέτιζε την εξωτερική θερμοκρασία με την εσωτερική θερμοκρασία άνεσης, έγινε γνωστό ότι οι χρήστες των βιοκλιματικών κτιρίων ανέχονται υψηλότερες και χαμηλότερες θερμοκρασίες και γενικά είναι περισσότερο ανεκτικοί στη διακύμανση των εσωκλιματικών συνθηκών από τους χρήστες των κτιρίων στα οποία αποκλειστικά με μηχανολογικό τρόπο ελέγχεται το εσωκλίμα. Γι' αυτό, και στα παθητικά κτίρια μπορεί να εξοικονομηθεί περισσότερη ενέργεια.
- Η θερμική άνεση αποκτά μεγαλύτερη βαρύτητα στα ηλιακά κτίρια, τα οποία εν μέρει ή εξολοκλήρου εξαρτώνται από την ηλιακή ακτινοβολία για την

κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών. Ο τρόπος που η ηλιακή ενέργεια συλλέγεται, αποθηκεύεται και διανέμεται στο κτίριο, επηρεάζει σημαντικά την άνεση των χρηστών του κτιρίου, γιατί το ανθρώπινο σώμα είναι περισσότερο ευαίσθητο στη ροή της θερμότητας από ότι στη θερμοκρασία [2].

Σε έρευνα που πραγματοποίησε το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας πριν κάποια χρόνια στην Ελλάδα φάνηκε ότι στα βιοκλιματικά σπίτια όπου τα συστήματα σκίασης και αερισμού λειτουργούν σωστά και αποδοτικά δεν παρουσιάζονται προβλήματα υπερθέρμανσης, ενώ έχουν παρατηρηθεί και διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος έως και 10° C. Από τις ενεργειακές καταγραφές σε σπίτια σχεδιασμένα με τις βασικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποδείχθηκε ότι επιτυγχάνεται θερμική άνεση σε αρκετά υψηλές θερμοκρασίες, όταν στα κτίρια εφαρμόζεται κατάλληλος αερισμός. Οι θερμοκρασίες άνεσης στα κτίρια αυτά, όταν υπάρχει φυσικός αερισμός και ειδικά κατακόρυφος, φθάνει έως και τους 31,5 °C. Σε κτίρια όμως (ίδιας χρήσης) με μη αποδοτικό αερισμό και σκίαση, τα όρια άνεσης είναι πολύ χαμηλότερα με αποτέλεσμα τη θερμική δυσφορία των κατοίκων [11].

3.1.4 Οπτική άνεση

Σε κάθε χώρο πρέπει να παρέχεται ο φωτισμός που εξασφαλίζει στους χρήστες οπτική άνεση, δηλαδή ένα περιβάλλον με την απαιτούμενη ποσότητα φωτισμού, που επιτρέπει την ευχάριστη διαμονή και την εκτέλεση εργασιών, χωρίς φαινόμενα που δημιουργούν οπτική δυσφορία ή/και κόπωση [19].

Η οπτική άνεση εξαρτάται από τις ποσοτικές και ποιοτικές ανάγκες κάθε χώρου σε φωτισμό, σε συνάρτηση με τη χρήση και τις λειτουργικές απαιτήσεις του χώρου, ειδικότερα κατά τη διάρκεια της ημέρας και επηρεάζεται τόσο από το σχεδιασμό του χώρου όσο και τις ιδιότητες των υλικών [20].

Επίσης σημαντική παράμετρος που επηρεάζει την οπτική άνεση ενός χρήστη είναι η ύπαρξη ή όχι της θάμβωσης. 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 [21].

3.2 Εξωτερικό περιβάλλον

3.2.1 Εισαγωγή

Το εξωτερικό περιβάλλον του κτιρίου συμβάλλει καθοριστικά στο σχεδιασμό και τη κατασκευή του κτιρίου, στην ενεργειακή κατανάλωση αυτού, επηρεάζει τις συνθήκες άνεσης του εσωτερικού χώρου, ενώ βάσει κλιματικών παραμέτρων γίνεται και ο σχεδιασμός των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού στις κτιριακές εγκαταστάσεις. Με κατεύθυνση την ενεργειακή εξοικονόμηση στα κτίρια θα μπορούσαμε να πούμε ότι μεγάλη σημασία από τα χαρακτηριστικά του εξωτερικού περιβάλλοντος έχουν το κλίμα του τόπου και η διαμόρφωση του φυσικού περιβάλλοντος.

Βάσει του κλίματος ενός τόπου μπορούν να ελεγχθούν οι θερμικές συναλλαγές μεταξύ του κτιρίου και του εξωτερικού περιβάλλοντος και να προσδιορισθεί ο βέλτιστος σχεδιασμός του πρώτου. Από την άλλη πλευρά, η διαμόρφωση του φυσικού περιβάλλοντος με την έννοια του ανάγλυφου του εδάφους, της βλάστησης γύρω από το κτίριο, του ύψους των γύρω κτιρίων, της θέας και της γειτνίασης με νερό μπορεί να θέσει περιοριστικούς παράγοντες στο σχεδιασμό του κτιρίου ή και να βελτιώσει τη θερμική συμπεριφορά αυτού [22, 15].

3.2.2 Το κλίμα του τόπου

Το σύνολο των μετεωρολογικών δεδομένων συνθέτει το κλίμα κάθε τόπου ή περιοχής. Τα στοιχεία του κλίματος επηρεάζουν την ανταλλαγή θερμότητας ανάμεσα στο κτήριο και το εξωτερικό περιβάλλον, συνεπώς καθορίζουν την αίσθηση της άνεσης και της ευεξίας στους ανθρώπους. Επίσης καθορίζουν την ποσότητα και

ποιότητα του παρεχόμενου φυσικού φωτός και κατά συνέπεια την αίσθηση οπτικής άνεσης.

Οι βασικές παράμετροι του κλίματος, η γνώση των οποίων κρίνεται απαραίτητη για το βιοκλιματικό σχεδιασμό των κτηρίων, είναι:

- Η θερμοκρασία του αέρα (μέση, 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,
- Η σχετική υγρασία (μέση, μέγιστη, ελάχιστη) και οι διακυμάνσεις της χειμώνα και καλοκαίρι.

Οι κλιματικές συνθήκες επηρεάζουν το σχεδιασμό του κτηρίου στη φάση των αρχικών επιλογών, δηλαδή στα προσχέδια, με την έννοια της χωροθέτησής του στο οικόπεδο, έτσι ώστε να αξιοποιούνται οι θετικές παράμετροι (ήλιος το χειμώνα, δροσεροί άνεμοι το καλοκαίρι) με παράλληλη αποφυγή των ψυχρών ανέμων και της υγρασίας. Στην περίπτωση που δεν είναι διαθέσιμα τα τοπικά κλιματικά δεδομένα, λαμβάνονται υπόψη αυτά του πλησιέστερου μετεωρολογικού σταθμού [15].

3.2.3 Ηλιακή ακτινοβολία

3.2.3.1 Γενικά στοιχεία για ηλιακή ακτινοβολία

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται επιφάνεια εκτός ατμόσφαιρας, κάθετη στις ηλιακές ακτίνες, όταν η απόσταση γης-ήλιου λαμβάνει τη μέση τιμή της ($1,495 \times 10^{11} \text{m}$) ονομάζεται ηλιακή σταθερά, GSC, και είναι ίση προς 1353W/m^2 . Η τροχιά της γης περί τον ήλιο είναι ελλειπτική και η ηλιακή ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με την απόσταση γης-ήλιου. Συνεπώς, η ηλιακή ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους και παίρνει τη μέγιστη τιμή της στις 21 Δεκεμβρίου, όταν η απόσταση γης-ήλιου είναι ελάχιστη ενώ η ελάχιστη τιμή της εμφανίζεται στις 21 Ιουνίου, κατά τη μέγιστη απόσταση γης-ήλιου [23].

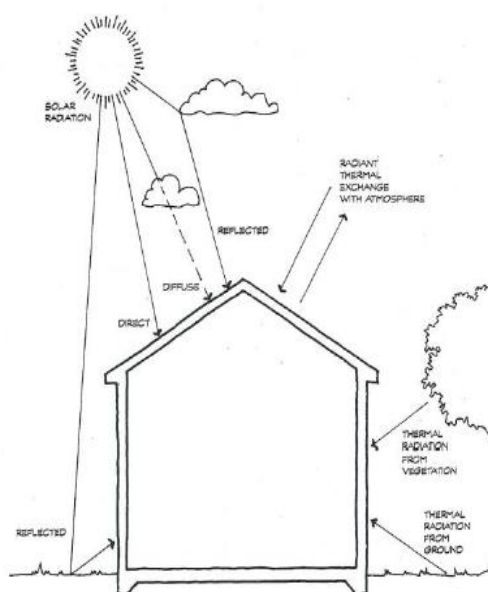
Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια του ήλιου περιλαμβάνει όλα τα μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, από τη μεγάλου μήκους θερμική ακτινοβολία, μέχρι την πολύ μικρού μήκους υπεριώδη ακτινοβολία. Το ορατό φως, στο οποίο το ανθρώπινο μάτι είναι ευαίσθητο, αποτελεί το 46% της

συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας και εμπεριέχει όλο το φάσμα των χρωμάτων. Το 49% της ακτινοβολίας ανήκει στην υπέρυθη ζώνη, την οποία αισθανόμαστε ως θερμότητα, ενώ η υπόλοιπη ποσότητα (5%) ανήκει στην υπεριώδη και κοσμική ακτινοβολία, την οποία δεν αντιλαμβανόμαστε [15].

Η ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω σε μια οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια, έχει δυο συνιστώσες: την άμεση και την διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία (Σχήμα 3.3).

Άμεση ηλιακή ακτινοβολία είναι αυτή η οποία φτάνει απ' ευθείας από τον ηλιακό δίσκο στην επιφάνεια του εδάφους χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση (αλλαγή κατεύθυνσης) κατά τη διαδρομή της μέσα στην ατμόσφαιρα. Εξαρτάται από την απόσταση Ήλιου-Γης, την ηλιακή απόκλιση (δ), το ηλιακό ύψος (α), το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (φ), το υψόμετρο του τόπου (h), την κλίση της επιφάνειας επί της οποίας προσπίπτει (β), καθώς και από την απορρόφηση και διάχυση την οποία υφίσταται μέσα στην ατμόσφαιρα.

Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία είναι το ποσό της ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους μετά την ανάκλαση ή σκέδαση μέσα στην ατμόσφαιρα, αλλά και μετά από ανάκλαση πάνω στην επιφάνεια της Γης. Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από το ηλιακό ύψος (α), το υψόμετρο του τόπου, τη λευκαύγεια του εδάφους, το ποσό και το είδος των νεφών, καθώς και από την παρουσία διαφόρων κέντρων σκεδάσεως (αερολυμάτων, υδροσταγόνων κ.α.) που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα [22].



Σχήμα 3.3: Ολική ακτινοβολία που προσπίπτει στην εξωτερική επιφάνεια ενός κτιρίου [24].

Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση που διανύει η ηλιακή ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα, τόσο μικρότερο είναι το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης. Για τον λόγο αυτό η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι πολύ μεγαλύτερη κατά την θερινή περίοδο σε σχέση με τη χειμερινή. Τέλος, όσο πιο κάθετα προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία πάνω σε μια επιφάνεια στην Γη τόσο μεγαλύτερη είναι η έντασή της.

Η Ελλάδα παρουσιάζει ένα ιδιαίτερα υψηλό ηλιακό δυναμικό, περίπου 1,400-1,800 (kWh/(m².yr)) ετησίως σε οριζόντιο επίπεδο, ανάλογα το γεωγραφικό πλάτος και το ανάγλυφο της περιοχής. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι μια μορφή ενέργειας με σχεδόν σταθερή και προβλέψιμη ένταση (W/m²) στην διάρκεια του χρόνου και της ημέρας. Παρουσιάζει την μέγιστη ένταση της κατά την διάρκεια του μεσημεριού (μέγιστο ηλιακό ύψος), τόσο κατά τη θερινή όσο και κατά τη χειμερινή περίοδο. Η ηλιακή ενέργεια είναι μεγαλύτερη κατά τη θερινή περίοδο, λόγω της θέσης του ήλιου, αλλά και λόγω της αύξησης των ωρών ηλιοφάνειας (μείωση των νεφώσεων).

Για τον υπολογισμό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε οποιαδήποτε κεκλιμένη ή/και περιστρεφόμενη επιφάνεια, είναι απαραίτητη η γνώση της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο. Στην Ελλάδα η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY) καταγράφει εδώ και πολλά χρόνια τις ώρες ηλιοφάνειας ανά ημέρα (hr/day), αλλά και σε κάποιες περιπτώσεις την ολική ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m²) για διάφορες περιοχές της χώρας μας.

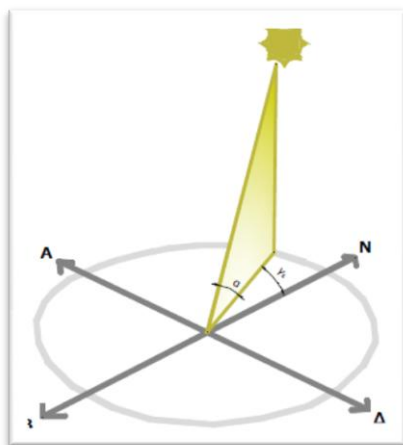
Για όποιες περιοχές δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν δεδομένα από την πλησιέστερη περιοχή στην οποία παρατηρείται παρόμοια μορφολογία εδάφους (ορεινοί όγκοι, κ.α.) και παρόμοιος προσανατολισμός [22].

3.2.3.2 Βασικές έννοιες για την ηλιακή ακτινοβολία [25]

Στην παράγραφο αυτή δίνονται οι ορισμοί και οι σχέσεις υπολογισμού βασικών μεγεθών που αφενός μεν χαρακτηρίζουν την ηλιακή ακτινοβολία και αφετέρου δε χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στην επιφάνεια του κτιρίου και κυρίως στα διαφανή στοιχεία του.

Γωνίες θέσης ήλιου

- *Ηλιακό ύψος, β* : Είναι η γωνία που σχηματίζεται από την ευθεία όρασης του ήλιου και την προβολή της στο οριζόντιο επίπεδο.
- *Αζιμούθιο ηλίου, γ_s* : Είναι η γωνία μεταξύ της προβολής της ευθείας όρασης του ηλίου στο οριζόντιο επίπεδο και της νότιας κατεύθυνσης (Σχήμα 3.4).



Σχήμα 3.4: Γωνία ύψους (β) και αζιμουθίου του ήλιου (γ_s) [15]

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.

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 ηλίου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού λόγω της περιστροφής της γης περί τον άξονα της με ρυθμό $15^\circ/h$ το οποίο ισοδυναμεί με $0.25^\circ/\text{min}$. Υπολογίζεται δε από την παρακάτω σχέση:
 $\omega = 0,25 * (\text{min από το ηλιακό μεσημέρι})$

Λαμβάνεται $\omega > 0$ για τις ώρες μετά το ηλιακό μεσημέρι και $\omega < 0$ για τις ώρες πριν το ηλιακό μεσημέρι.

Ηλιακή απόκλιση, δ: Είναι η γωνιακή θέση του ηλίου κατά το ηλιακό μεσημέρι ως προς το επίπεδο του ισημερινού. Επειδή το επίπεδο αυτό είναι κεκλιμένο κατά $23,45^\circ$ ως προς το επίπεδο της τροχιάς της γης περί τον ήλιο, η ηλιακή απόκλιση δ μεταβάλλεται συνεχώς κατά τη διάρκεια του έτους, μεταξύ των ορίων $-23,45^\circ < \delta < 23,45^\circ$ με θετικές τιμές προς το βορρά.

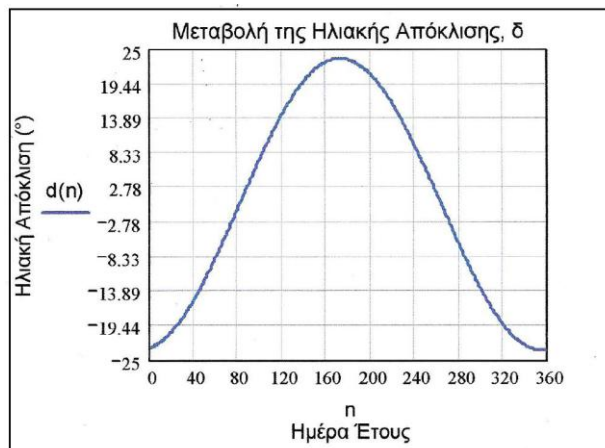
Η ηλιακή απόκλιση δ , υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\delta = 23.45 * \sin\left(\frac{360 * (284 + n)}{365}\right)$$

Όπου ο παράγοντας n συμβολίζει τον αύξοντα αριθμό μιας οποιασδήποτε μέρας του έτους. Επομένως λοιπόν ο παράγοντας n δέχεται τιμές από 1:365. Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζονται οι τιμές της ηλιακής απόκλισης δ , για τη μέση μέρα του κάθε μήνα του έτους, ενώ στο Σχήμα 3.5 απεικονίζονται αυτές διαγραμματικά.

Πίνακας 3.2: Αύξων αριθμός κάθε ημέρας του έτους, την 21η ημέρα κάθε μήνα και την αντίστοιχη τιμή της αντίστοιχης ηλιακής απόκλισης.

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



Σχήμα 3.5: Μεταβολή της ηλιακής απόκλισης δ

Γωνίες θέσης της επιφάνειας

Πέραν 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 επιφάνειας, γ* : Είναι η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της καθέτου στην επιφάνεια πάνω στο οριζόντιο επίπεδο και τη νότια κατεύθυνση. Για όλα τα σημεία του οριζοντα ισχύει ότι $-180^\circ < \gamma < 180^\circ$ με $\gamma=0^\circ$ στο νότο, $\gamma=90^\circ$ στη δύση, $\gamma=180^\circ$ στο βορρά και $\gamma=-90^\circ$ στην ανατολή.
- *Κλίση επιφάνειας, β* : Είναι η γωνία που σχηματίζει μια επίπεδη επιφάνεια με το οριζόντιο επίπεδο. Ισχύει ότι $0^\circ < \beta < 180^\circ$. Για το οριζόντιο επίπεδο είναι $\beta = 0^\circ$, ενώ για το κατακόρυφο $\beta=90^\circ$.

Γωνία πρόσπτωσης, θ : Η γωνία πρόσπτωσης της άμεσης ακτινοβολίας πάνω σε μια επιφάνεια είναι η γωνία που δημιουργείται από τις προσπίπτουσες ηλιακές ακτίνες και την κάθετη στην επιφάνεια. Υπολογίζεται από την εξής σχέση:

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

Για οριζόντιες επιφάνειες ($\beta=0^\circ$) η γωνία πρόσπτωσης ταυτίζεται με τη γωνία ζενίθ και άρα ισχύει ότι:

$$\cos \theta_z = \sin \delta * \sin \varphi + \cos \delta * \cos \varphi * \cos \omega$$

Κεφάλαιο 4^ο

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΚΤΙΡΙΟΥ

4.1 Εισαγωγή στην έννοια και προσέγγιση του ενεργειακού ισοζυγίου

Η επιθυμητή θερμοκρασία του αέρα για ένα χώρο, καθορίζεται από τους κανονισμούς που ισχύουν, με στόχο την εξασφάλιση θερμικής άνεσης για τον συγκεκριμένο χρήστη του χώρου και έχει άμεση σχέση όπως αναφέραμε στο Κεφάλαιο 3 με τους “προσωπικούς παράγοντες”, δηλαδή την δραστηριότητα που εκτελείται στον χώρο, την ηλικία, τον τρόπο ένδυσης. Για να επιτευχθεί και να διατηρηθεί η επιθυμητή θερμοκρασία, παρέχεται στο κτίριο θέρμανση ή ψύξη που καλύπτει την θερμοκρασιακή διαφορά από την θερμοκρασία που θα επικρατούσε στο κτίριο χωρίς αυτήν την παροχή, μέχρι την επιθυμητή θερμοκρασία. Όσο μικρότερη είναι η συμβολή της θέρμανσης ή της ψύξης για την εξισορρόπηση του θερμικού ισοζυγίου και την επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης, τόσο οικονομικότερη είναι η λειτουργία του κτιρίου.

Ο σωστός σχεδιασμός βελτιστοποιεί την απόδοση ορισμένων από τους παράγοντες που συμμετέχουν στο θερμικό ισοζύγιο. Με τον προσανατολισμό του κτιρίου και κυρίως των ανοιγμάτων του, την μορφή του κτιρίου, την αναλογία συμπαγών στοιχείων και ανοιγμάτων, την κατασκευή του κελύφους και την επιλογή των συστημάτων θέρμανσης, αερισμού και φωτισμού επεμβαίνει ο μελετητής στην θερμική συμπεριφορά του κτιρίου.

Εκτός όμως από το κτισμένο περιβάλλον (σχεδιασμός και κατασκευή), είναι και ο τρόπος χρήσης του κτιρίου που επηρεάζει την κατανάλωση ενέργειας. Οι χρήστες του κτιρίου με την “συμπεριφορά” και τις συνήθειές τους, μπορούν να διαφοροποιήσουν ουσιαστικά την θερμική συμπεριφορά και επομένως την τελική κατανάλωση ενέργειας. Ενημερωμένοι, και συνεπώς συνειδητοποιημένοι σε σχέση με το “ενεργειακό πρόβλημα”, χρήστες, με την ορθολογική χρήση των διάφορων συστημάτων ελέγχου του εσωκλίματος που έχουν στην διάθεσή τους, μπορούν να συμβάλλουν στην μείωση των θερμικών απωλειών, στην αποφυγή της υπερθέρμανσης και γενικότερα στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας [2].

Το κτιριακό κέλυφος λοιπόν έχει κεντρικό ρόλο στη διαμόρφωση του ενεργειακού ισοζυγίου του κτιρίου καθώς αποτελεί φίλτρο ενεργειακών ανταλλαγών

εσωτερικού χώρου και ατμόσφαιρας, μέσω της θερμικής του μάζας σταθεροποιεί τις θερμοκρασίες και εξομαλύνει τις θερμικές ροές, συλλέγει, αποθηκεύει και διανέμει την ηλιακή ενέργεια και τέλος έχει σημαντική επίδραση στη θερμική άνεση. Το σύνολο των επιμέρους μελετών σε αυτό το τομέα σχετίζονται άμεσα με τα χαρακτηριστικά του κελύφους και είναι αδύνατη η εκπόνηση τους χωρίς να τα συμπεριλάβουν. Τα απαραίτητα στοιχεία του κελύφους όμως δεν περιορίζονται πλέον σε ορισμένες τιμές (π.χ. Uvalue, εμβαδά) αλλά περιλαμβάνουν και στοιχεία για τα υλικά, τη διαστρωμάτωση, τη γεωμετρία, το προσανατολισμό, το χρώμα, τη θέση, την επίδραση από εξωγενείς παράγοντες [26].

Καθώς οι πρώτες σύγχρονες μελέτες του προβλήματος έγιναν στη κεντρική και βόρεια Ευρώπη το ενεργειακό ισοζύγιο αφορούσε τη θέρμανση του κτιρίου αφού αυτή αποτελούσε και το μείζον πρόβλημα. Για το λόγο αυτό είθισται να μιλάμε για απώλειες όταν αναφερόμαστε σε μετάδοση θερμότητας από το εσωτερικό του κτιρίου προς το περιβάλλον και για κέρδη όταν η φορά της μετάδοσης είναι αντίστροφη (ηλιακά κέρδη) ή όταν λαμβάνει παραγωγή θερμότητας στο εσωτερικό του κτιρίου (πχ εσωτερικά φορτία από φωτισμό, ηλεκτρικές συσκευές και ανθρώπινη δραστηριότητα).

Το ότι αυτή η παραδοσιακή θεώρηση είναι μόνο εν μέρει σωστή καθίσταται προφανές αν αναλογιστεί κανείς το ρόλο που διαδραματίζουν τα ηλιακά κέρδη κατά τη περίοδο δροσισμού, όπου αποτελούν βέβαια ένα ενεργειακό φορτίο το οποίο το κτίριο καλείται να απορροφήσει και εν τέλει να απορρίψει [8].

Κάθε κτίριο ανάλογα με τη λειτουργία την οποία καλείται να εκπληρώσει παρουσιάζει μια ενεργειακή κατανάλωση. Το ύψος αυτής της κατανάλωσης εξαρτάται πέρα από διάφορες άλλες παραμέτρους και από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, τα οποία εκφράζονται από τις ενεργειακές ανάγκες σε θέρμανση, ψύξη, αερισμό, φωτισμό ζεστό νερό χρήσης και για τη λειτουργία συσκευών.

Η ενέργεια που απαιτείται για τη κάλυψη των παραπάνω αναγκών μπορεί να προέρχεται από ενεργειακές πηγές:

- i. Ανεξάρτητες του κλίματος, του κτιρίου και της λειτουργίας του:
 - Χημική ενέργεια που μετατρέπεται σε θερμότητα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, άνθρακας, βιομάζα)

- Θερμότητα (τηλεθέρμανση, θερμότητα με αγωγιμότητα από θερμοδοχεία ή θερμικές δεξαμενές όπως είναι το έδαφος και τα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα)
 - Ηλεκτρισμός
- ii. Εξαρτημένες από το κλίμα, τη μορφή και τον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου:
- Ηλιακή πρόσδοδος (άμεσο κέρδος, παθητικά και ενεργητικά συστήματα)
- iii. Εξαρτημένες από τη λειτουργία του κτιρίου (έμμεσα θερμικά κέρδη), όπως εσωτερικά κέρδη από :
- την ανθρώπινη παρουσία και δραστηριότητα
 - τον τεχνητό φωτισμό
 - τη λειτουργία των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών
 - άλλες διεργασίες που εκτελούνται στο κτίριο[8]

Συνολικά αυτή η ενέργεια αξιοποιείται για τις διάφορες λειτουργίες του κτιρίου και τελικά αποδίδεται στο περιβάλλον με τη μορφή θερμικών απωλειών μέσω του κελύφους, του συστήματος θέρμανσης και ψύξης (θερμότητα καυσαερίων ή άλλες απώλειες απόδοσης συστήματος και μεταφοράς ενέργειας), του απαγόμενου αέρα (εκούσιος αερισμός, ακούσιος ή διαφυγές αέρα), της ακτινοβολίας διαμέσου των συμπαγών και διαφανών στοιχείων του κελύφους και τέλος μέσω διαδικασιών εξάτμισης ή συμπύκνωσης στο εσωτερικό του κτιρίου.

Με βάση τα παραπάνω η εξίσωση του ενεργειακού ισοζυγίου του κτιρίου μπορεί να εκφραστεί ως εξής :

$$QI + QS \pm QC \pm QV \pm QM - QE = 0$$

Όπου,

QI: η θερμότητα που αποδίδεται από τους ενοίκους, τις συσκευές και το φωτισμό,

QS: η θερμική πρόσδοδος από την ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στο κτίριο,

QC: οι θερμικές απώλειες ή τα κέρδη με αγωγιμότητα από το κέλυφος του κτιρίου,

QV: οι θερμικές απώλειες ή τα κέρδη από τον αερισμό,

QM: οι θερμαντικές ή ψυκτικές ανάγκες για επίτευξη άνεσης στο χώρο,

QE: οι θερμικές απώλειες από την εξάτμιση.

Αναλυτικότερα διακρίνουμε:

QC (Conduction):

Απώλειες (ή τα κέρδη) από αγωγιμότητα, από τα δομικά στοιχεία του περιβλήματος. Μπορεί να γίνει διαχωρισμός στις απώλειες από τα συμπαγή ή τα διαφανή στοιχεία. Ας σημειωθεί ότι κατά τη θερινή περίοδο είναι πολύ πιθανό λόγω αγωγιμότητας να μην υπάρχουν απώλειες αλλά θερμικά κέρδη για το κτίριο, ιδίως κατά τη διάρκεια της ημέρας, όπου η εξωτερική θερμοκρασία είναι κατά κανόνα μεγαλύτερη από την εσωτερική. Οι θερμικές απώλειες (ή τα κέρδη) από αγωγιμότητα μέσα από τα συμπαγή και διαφανή στοιχεία του κελύφους δεν επηρεάζονται από την χρήση του κτιρίου, παρά μόνον από τους παράγοντες που σχετίζονται με την χωροθέτηση, την μορφή και τον τρόπο κατασκευής του περιβλήματος του κτιρίου

QV (Qvent):

Απώλειες εξαιτίας του αερισμού του κτιρίου, ηθελημένου ή αθέλητου αερισμού. Ο αερισμός συμβάλλει στην δημιουργία άνετου και υγιεινού περιβάλλοντος για τους χρήστες, με την αντικατάσταση του αέρα που χρησιμοποιήθηκε από ισόποσο εξωτερικό αέρα. Μελέτες που έγιναν έδειξαν ότι, μέχρι και 50% από την συνολική κατανάλωση καυσίμων για την θέρμανση των κτιρίων χρησιμοποιείται για να καλυφθούν οι θερμικές απώλειες λόγω του αερισμού. Και αυτός ο παράγοντας μπορεί να μετατραπεί σε θερμική πρόσοδο κατά τη θερινή περίοδο.

QE(Evaporation) :

Απώλειες από την εξάτμιση στις επιφάνειες ή μέσα στο κτίριο.

QI(Internal):

Εσωτερικά κέρδη από τη λειτουργία του κτιρίου είναι ουσιαστικός και σε μεγάλο βαθμό ανελαστικός παράγοντας του θερμικού ισοζυγίου για το κτίριο. Πρόκειται για θερμότητα που δημιουργείται λόγω της χρήσης του κτιρίου και έχει τη μορφή είτε αισθητής, είτε λανθάνουσας θερμότητας

Η παρουσία των χρηστών σε συνδυασμό με τη δραστηριότητα που εκτελούν, ο τεχνητός φωτισμός, η λειτουργία των συσκευών και η χρησιμοποίηση του ζεστού νερού, δημιουργούν ένα σημαντικό θερμικό φορτίο, που στην χειμερινή περίοδο συμβάλλει στην θέρμανση του χώρου, ενώ στις θερμές περιόδους αυξάνει το ψυκτικό φορτίο.

QS(Solar):

Ηλιακά κέρδη τα οποία οφείλονται στην προσπίπτουσα στο κτίριο ηλιακή ακτινοβολία και μπορούν να διαχωριστούν σ' αυτά που προέρχονται από την προσπίπτουσα ακτινοβολία στις συμπαγείς ή στις διαφανείς επιφάνειες του περιβλήματος. Η θερμική πρόσδοδος από την ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στο κτίριο, είναι σημαντικός παράγοντας που σχετίζεται με τον προσανατολισμό του κτιρίου, και ιδιαίτερα της επιφάνειας των ανοιγμάτων του. Σωστά μέτρα τόσο κατά τον σχεδιασμό, όσο και κατά την κατασκευή του κτιρίου, που να παίρνουν υπόψη τους τον παράγοντα “ήλιο”, συμβάλλουν στην αξιοποίηση της δωρεάν θερμικής ηλιακής προσόδου.

QM :

Θερμικό ή ψυκτικό φορτίο του κτιρίου που καλύπτεται με την παροχή θέρμανσης ή ψύξης. Γενικά, η εκλογή του τρόπου θέρμανσης ή και ψύξης, εξαρτάται από το μέγεθος του έργου, την σπουδαιότητά του, τις ειδικές κλιματικές συνθήκες του περιβάλλοντος, τις οικονομικές δυνατότητες, τα διατιθέμενα μέσα καθώς και το συγκριτικά οικονομικότερο καύσιμο στην περιοχή και την δυνατότητα αποθήκευσης της θερμαντικής ύλης [2].

4.2 Θέρμανση: συμπληρώνοντας το ενεργειακό έλλειμμα του κτιρίου το χειμώνα

4.2.1 Συστήματα θέρμανσης [8]

Στα κτίρια που σχεδιάζονται και κατασκευάζονται σύμφωνα με το σημερινό επίπεδο της επιστήμης και τα δομικά υλικά και συστήματα που είναι διαθέσιμα στην αγορά, είναι σχετικά εύκολο να μειωθούν τα απαραίτητα φορτία θέρμανσης στο όριο του, τεχνικά και οικονομικά, εφικτού κυρίως χάριν της αυξημένης δυνατότητας προστασίας του κελύφους. Η αντίστοιχη επίτευξη βελτιώσεων στα συστήματα θέρμανσης, αλλά και ψύξης, είναι τεχνολογικά δυσκολότερη και, εφόσον έχει προηγηθεί η μείωση των απαραίτητων φορτίων, οικονομικά λιγότερο αποτελεσματική. Αντίθετα η αρχική δαπάνη, ενεργειακή και οικονομική, για τη κατασκευή και εγκατάσταση ενός συστήματος θέρμανσης ή κλιματισμού αποκτά

μεγαλύτερη σημασία. Ωστόσο η μικρότερη διάρκεια ζωής των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού σε σχέση με το κτιριακό κέλυφος και η σχετική ευκολία προσθήκης ή αντικατάστασης τους, τα καθιστά το προσφιλέστερο εργαλείο για τον ενεργειακό εκσυγχρονισμό των κτιρίων.

Οι στόχοι μιας επιτυχημένης επιλογής ενός συστήματος θέρμανσης είναι:

- Η διασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης, ακόμη και σε φορτία αιχμής, με ελαχιστοποίηση των χρόνων για την επίτευξη των συνθηκών αυτών
- Η διασφάλιση καλής ποιότητας αέρα
- Η ελαχιστοποίηση κατανάλωσης ενέργειας
- Η ελαχιστοποίηση των παραγόμενων ρύπων
- Ο βέλτιστος συνδυασμός ελαχιστοποίησης του αρχικού και λειτουργικού κόστους.

Ο μελετητής - κατασκευαστής για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος θέρμανσης θα πρέπει να λάβει υπόψη μια σειρά από παραμέτρους όπως είναι τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του κτιρίου που μελετάται (τόσο ενός νεόδμητου όσο και ενός παλαιότερου που αναβαθμίζεται), το προφίλ του χρήστη (νοικοκυριού, επιχείρησης κλπ), το ενεργειακό δίκτυο στο οποίο υπάρχει πρόσβαση, τα χαρακτηριστικά λειτουργίας ενός συστήματος θέρμανσης ή κλιματισμού σε συνθήκες μερικού φορτίου, η προοπτική να προστεθεί μετέπειτα ένα σύστημα ψύξης και το ενδεχόμενο μιας εξαρχής συνδυαστικής λύσης και τέλος τα στοιχεία που προκύπτουν από τον ενεργειακό ισολογισμό ενός συστήματος θέρμανσης ή ψύξης.

Η συνολική ποσότητα θερμότητας που απαιτεί το κτίριο, υπολογίζεται ως το άθροισμα του αναγκαίου ποσού θερμότητας για κάθε χώρο που να του εξασφαλίζει την ίδια θερμοκρασία ή σε αντίθετη περίπτωση την επιθυμητή διαφορετική θερμοκρασία σύμφωνα με τις ισχύουσες τεχνικές οδηγίες και τα διεθνή πρότυπα. Αυτό που πρέπει να γίνει κατανοητό είναι ότι η επιλογή του τρόπου θέρμανσης εξαρτάται από το μέγεθος του έργου, τη σπουδαιότητα του, τις ειδικές κλιματικές συνθήκες, τις οικονομικές δυνατότητες, τα διατιθέμενα μέσα καθώς και το συγκριτικά οικονομικότερο καύσιμο.

Η εγκατάσταση θέρμανσης μπορεί να είναι ενιαία για όλο το κτίριο και τις χώρους (κεντρική), ξεχωριστή για κάθε χώρο (τζάκια, σόμπες, συσσωρευτές, κλιματιστικές μονάδες διαιρετού τύπου) ή και ενιαία για ολόκληρα οικιστικά συγκροτήματα με αυτονομία χρήσης και αντίστοιχη χρέωση σε κάθε κατοικία

(συστήματα τηλεθέρμανσης). Η θέρμανση του κάθε χώρου με τη βοήθεια του συστήματος θέρμανσης γίνεται είτε με ακτινοβολία (κλασσικά θερμαντικά σώματα, θέρμανση οροφής), με συναγωγή (fan-coils, κλιματιστικές μονάδες) ή με συνδυασμό (θερμαντικά σώματα τύπου πάνελ, ενδοδαπέδια θέρμανση) από τις τερματικές μονάδες (θερμαντικά σώματα) του συστήματος.

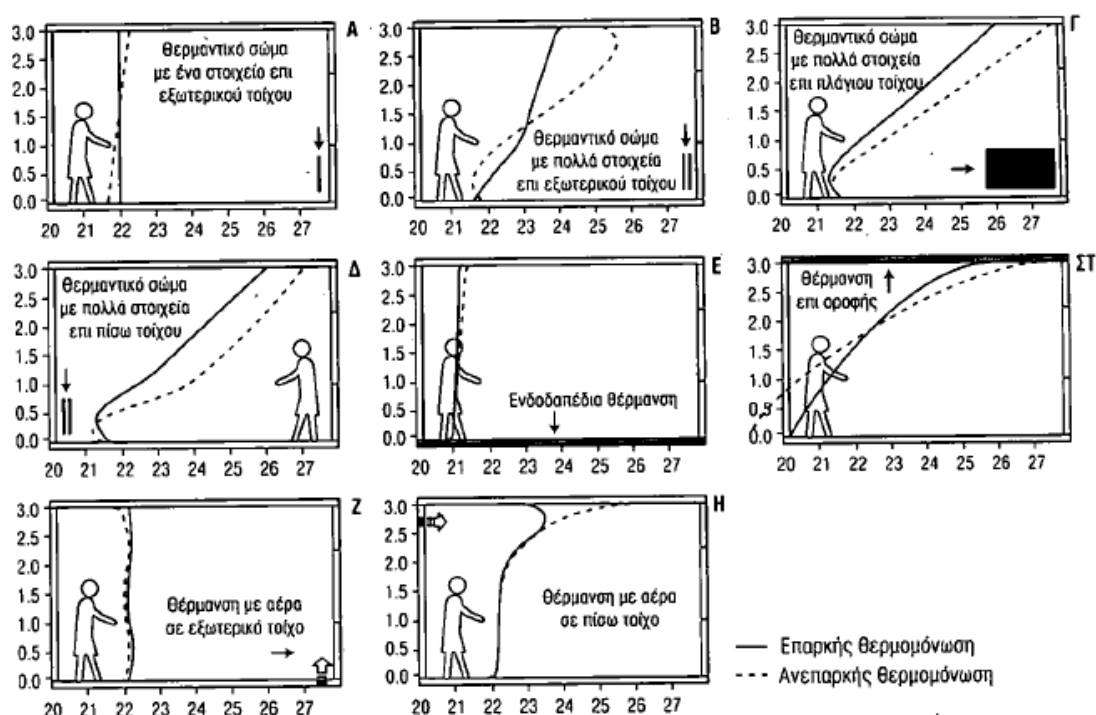
4.2.2 Θέρμανση και θερμική άνεση [8]

Αυτό που είναι επίσης σημαντικό, είναι να γίνει κατανοητή η συσχέτιση της λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης με τη διαμόρφωση των συνθηκών θερμικής άνεσης. Τα συστήματα εκπομπής θερμότητας τοποθετούνται σ' ένα χώρο προκειμένου να αντισταθμίσουν τις θερμικές απώλειες του κτιριακού κελύφους και να διατηρήσουν επιθυμητά ή έστω αποδεκτά επίπεδα θερμικής άνεσης.

Κάθε τύπος συστήματος δημιουργεί το δικό του θερμοκρασιακό περιβάλλον ακόμη και όταν οι θερμοστάτες είναι με τον ίδιο τρόπο ρυθμισμένοι. Το επίπεδο θερμομονωτικής προστασίας του κτιρίου επηρεάζει σημαντικά τη θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση και τα επίπεδα θερμικής ακτινοβολίας, επομένως και το επίπεδο θερμικής άνεσης που παρέχεται. Ως βασικός κανόνας θεωρείται ότι τα θερμαντικά σώματα πρέπει να κατανέμονται κατά το δυνατόν ομοιόμορφα στο χώρο και εγγύτερα προς τις επιφάνειες με αυξημένες θερμικές απώλειες (πχ κάτω από τα παράθυρα) ώστε να συνεισφέρουν άμεσα στη θέση που δημιουργούνται δυσμενείς τοπικές συνθήκες θερμικής άνεσης. Αυτός ο κανόνας οφείλει να γίνει κατανοητός από την αρχή του σχεδιασμού του κτιρίου καθώς επηρεάζει όχι μόνο τη μελέτη της θέρμανσης αλλά και την αρχιτεκτονική.

Χαρακτηριστική εικόνα της επίδρασης του κάθε συστήματος θέρμανσης στη θερμοκρασιακή κατανομή ενός χώρου δίνει το Σχήμα 4.1. Η θέση του θερμαντικού σώματος είναι καθοριστική: Αν τοποθετηθεί δίπλα σε μια ψυχρή επιφάνεια όπως ένα παράθυρο (Σχήμα 4.1.A), τότε εξισορροπεί το αίσθημα δυσφορίας που διαμορφώνεται εκεί, και παρέχει μεγαλύτερη θερμοκρασιακή σταθερότητα απ' ότι αν τοποθετηθεί δίπλα σε θερμότερες επιφάνειες του χώρου όπως ένας εσωτερικός τοίχος (Σχήμα 4.1.Δ.). Από την άλλη πλευρά βέβαια, αν δεν ληφθούν μέτρα μείωσης των θερμικών απωλειών από την ψυχρή επιφάνεια, τότε και μεν μειώνεται η θερμοκρασιακή ασυμμετρία και εμφανίζεται ήπια θερμοκρασιακή κατανομή για τον

χρήστη, αλλά πιθανότατα η (κατανεμημένη) θερμοκρασία που επιτυγχάνεται βρίσκεται εκτός περιοχής θερμικής άνεσης (ή για να παραμείνει εντός αυτής, απαιτείται αυξημένη κατανάλωση ενέργειας). Για ένα χώρο κατοικίας, η ενδοδαπέδια θέρμανση (Σχήμα 4.1.Ε) αποτελεί μια πολύ καλή λύση, αν συνδυαστεί με μια επίστρωση δαπέδου με υψηλή θερμοχωρητικότητα και αυξημένο συντελεστή εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας. Πέρα από την ήπια καθ' ύψος θερμοκρασιακή κατανομή, επιτυγχάνει για ομοιόμορφη κατανομή σε όλη την έκταση του χώρου. Διατηρεί ήπιες και σταθερές θερμοκρασίες σε όλο το χώρο και επιτρέπει την κυκλοφορία των κατοίκων ακόμη και με γυμνό πόδι. Για να αξιοποιηθεί σωστά βέβαια, απαιτείται να μην σκεπάζεται το δάπεδο με βαριά χαλιά και μοκέτες (γιατί με αυτό τον τρόπο μονώνεται θερμικά η τερματική μονάδα), ενώ έχει αυξημένες απαιτήσεις σε καθαρισμό για την αποφυγή ανακύκλωσης της σκόνης που επικάθεται στο δάπεδο.



Σχήμα 4.1: Επίδραση του συστήματος θέρμανσης στη καθ' ύψος θερμοκρασιακή κατανομή στο κέντρο του χώρου, σε επαρκώς και ανεπαρκώς θερμομονωμένο κτίριο [8].

Η επιλογή του συστήματος θέρμανσης γίνεται πάντα σε άμεση συνάρτηση με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του κτιρίου τα οποία συνδέονται με τη θερμική άνεση. Για παράδειγμα, ακόμη και αν ένα κτίριο για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας θα

έπρεπε να έχει μικρά ανοίγματα σε δυσμενείς προσανατολισμούς, δεν πρέπει ποτέ να παραβλέπεται και η παράμετρος της αισθητικής. Αν το κτίριο έχει όψη σε ένα όμορφο τοπίο, είναι σχεδόν βέβαιο ότι σε αυτήν την όψη θα επιλεγούν πάντα μεγάλα ανοίγματα, τα οποία φυσικά δεν συμβάλλουν ιδιαίτερα στη θερμική άνεση το χειμώνα (λόγω απωλειών με ακτινοβολία) ή ενδεχομένως αντίστοιχα το καλοκαίρι. Σε αυτήν την περίπτωση ένα σύστημα θέρμανσης με αέρα που έχει εξόδους κοντά στον τοίχο, μπορεί να αντισταθμίσει αυτό το μειονέκτημα, τουλάχιστο σε ότι αφορά στο επίπεδο θερμικής άνεσης του χώρου. Γενικά, όσο καλύτερα μονωμένος είναι ένας χώρος, τόσο μικρότερη είναι η σημασία της επιλογής διαφορετικού συστήματος, μια και ένας καλά θερμομονωμένος χώρος παρουσιάζει πάντα σχετικά σταθερές επιφανειακές θερμοκρασίες σε δάπεδα και τοιχώματα, ενώ η περιεχόμενη θερμική μάζα συμβάλει στη διατήρηση σταθερών συνθηκών. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι ο χρόνος που απαιτείται ώστε ένα σύστημα θέρμανσης να προσεγγίσει την επιθυμητή θερμοκρασία χώρου σε ένα κτίριο ελαφριάς, μέτριας και βαριάς κατασκευής είναι αντίστοιχα 4, 9-12, 16-26 ώρες, ανάλογα με τα ειδικά χαρακτηριστικά, τη θέση της θερμομόνωσης και τις θερμικές απώλειες του κτιρίου.

Σημαντικό λάθος που πολύ συχνά παρατηρείται τόσο από χρήστες όσο και από μηχανικούς είναι η λανθασμένη τοποθέτηση των θερμαντικών σωμάτων, είτε ο εγκιβωτισμός τους σε έπιπλα ή άλλα υλικά αγνοώντας τον τρόπο με τον οποίο μεταδίδουν τη θερμότητα. Τα κοινά θερμαντικά σώματα με «φέτες» αποδίδουν τη θερμότητα κατά 70% με ακτινοβολία και κατά 30% με συναγωγή (μέσω του αέρα που διέρχεται μέσα από τις φέτες) ενώ τα σύγχρονα, επίπεδα θερμαντικά σώματα αξιοποιούν περισσότερο τη συναγωγή (μέχρι και 50%). Ο «εγκιβωτισμός» των θερμαντικών σωμάτων σε έπιπλα ή η κάλυψή τους για λόγους αισθητικούς ή λειτουργικούς αποτελούν σίγουρη συνταγή για τη μείωση της αποδοτικότητας του συστήματος θέρμανσης και της επίτευξης ικανοποιητικών επιπέδων θερμικής άνεσης.

Η ενδοδαπέδια θέρμανση που παρουσιάζει πολύ καλά αποτελέσματα ως προς τη θερμική άνεση, πρέπει εξαρχής να αποκλειστεί για κτίρια έντονης χρήσης από μεγάλο πλήθος ανθρώπων, διότι συντελεί στη ανάπτυξη φαινομένων συνδρόμου «άρρωστου» κτιρίου, επιβαρύνοντας τον αέρα του χώρου με σκόνη και σωματίδια που κανονικά θα είχαν επικαθίσει στο δάπεδο. Η θερμική άνωση τα ανακυκλώνει ρυπαίνοντας τον αέρα με αυτά. Σε κτίριο κατοικίας το πρόβλημα δεν υφίσταται.

4.2.3 Θέρμανση και εξοικονόμηση ενέργειας [8]

Η λειτουργία του κτιρίου και τα χαρακτηριστικά του εσωτερικού χώρου και του κελύφους, αποτελούν καθοριστικές παραμέτρους που επηρεάζουν, για δεδομένο κλίμα και θερμαντικές ανάγκες, τη διαμόρφωση της θερμικής άνεσης και πρέπει να συνεκτιμηθούν τόσο κατά το σχεδιασμό του κτιρίου όσο και κατά την επιλογή συστήματος θέρμανσης. Ως τέτοια μπορεί κανείς να αναφέρει:

- Το ωράριο λειτουργίας του κτιρίου όπως και η χρήση του χώρου (οικία, κατάστημα, κτλ.)
- Τη γεωμετρία και το μέγεθος του χώρου
- Το ποσοστό των ανοιγμάτων στην όψη του χώρου σε σχέση με τις συμπαγείς επιφάνειες.

Το ωράριο λειτουργίας συναρτάται με τη θερμική μάζα του κτιρίου και επηρεάζει τη χρονική υστέρηση μεταξύ της στιγμής έναρξης λειτουργίας του χώρου και της στιγμής κατά την οποία η θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου έχει λάβει την επιθυμητή τιμή της. Σε ένα κτίριο με μεγάλη θερμική μάζα, η χρονική υστέρηση είναι αυξημένη, διότι ένα μεγάλο μέρος από την παρεχόμενη θερμότητα δεν αποδίδεται άμεσα στο χώρο αλλά «απορροφάται» αποθηκευόμενη στα δομικά στοιχεία του χώρου.

Αν το κτίριο λειτουργεί σε εικοσιτετράωρη (ή σχεδόν) βάση, τότε τα δομικά στοιχεία έχουν πάντα ένα θερμικό φορτίο αποθηκευμένο, οπότε τελικά η χρονική υστέρηση είναι μικρή. Έτσι το σύστημα θέρμανσης λειτουργεί διαρκώς με διακοπόμενη λειτουργία, σε μικρής διάρκειας χρονικά διαστήματα, που καθορίζονται από τους θερμοστάτες που βρίσκονται στο χώρο.

Αν το κτίριο λειτουργεί σε ένα μόνο τμήμα της ημέρας, όπως συμβαίνει σε κτίρια γραφείων, τότε είναι δεδομένο ότι δεν υπάρχει ανάγκη για παροχή θερμότητας τις απογευματινές και νυχτερινές ώρες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το πρωί τα δομικά στοιχεία να έχουν αποβάλλει τη θερμότητα που αποθήκευσαν κατά τις ώρες λειτουργίας και να είναι ψυχρά. Έτσι, εμφανίζεται μεγάλη θερμική υστέρηση και απαιτείται μεγάλος χρόνος συνεχούς λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμική άνεση.

Γενικά, σε τέτοιες περιπτώσεις κτιρίων με χρονικά περιορισμένη λειτουργία, η χρήση του αέρα για τη θέρμανση του χώρου είναι επιθυμητή, διότι έτσι αποδίδεται άμεσα ένα μεγαλύτερο μέρος της παρεχόμενης θερμότητας στο χώρο. Για να

συντομευτεί ο χρόνος στον οποίο οι επιφάνειες θα αποκτήσουν θερμοκρασία ανάλογη του εσωτερικού αέρα, ενδείκνυται η χρήση εσωτερικής θερμομόνωσης που απομονώνει τη θερμική μάζα και επιτρέπει μικρότερους χρόνους απόκρισης.

Όταν ο μελετώμενος χώρος έχει αυξημένο μέγεθος, η χρήση θερμαντικών σωμάτων που αξιοποιούν φαινόμενα ακτινοβολίας και συναγωγής δεν ενδείκνυται γιατί η ακτινοβολία της θερμότητας μειώνεται όσο αυξάνεται η απόσταση του θερμαντικού σώματος από ένα σημείο. Έτσι δεν επιτυγχάνεται η ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας στο χώρο μειώνοντας κατά τόπους τη θερμική άνεση. Η παρεμβολή εμποδίων είναι επίσης συχνή σε ένα μεγάλο χώρο (πχ ενιαίος χώρος γραφείων με ερμάρια και διαχωριστικά) και τελικά μόνο οι περιοχές κοντά σε θερμαντικά σώματα απολαμβάνουν συνθήκες θερμικής άνεσης. Η τοποθέτησή των σωμάτων στο εσωτερικό του χώρου είναι εργονομικά και λειτουργικά λανθασμένη, οπότε και πάλι η χρήση θερμού αέρα αποτελεί μια σωστή λύση που μπορεί να καταναίμει ομοιόμορφα τη θερμότητα στο χώρο.

Επίσης, το ύψος του χώρου, επηρεάζει τη διαστρωμάτωση του αέρα. Ένας χώρος με ύψος σημαντικά μεγαλύτερο του ανθρώπινου ύψους, τείνει να συσσωρεύσει τη θερμότητα στο ανώτερό του μέρος. Έτσι το μεγαλύτερο μέρος του θερμικού φορτίου που βρίσκεται στο χώρο δεν είναι εκμεταλλεύσιμο και οδηγούμαστε σε σπατάλη ενέργειας. Η μείωση του ύψους με τη χρήση ψευδοροφών αποτελεί μια καλή λύση, ενώ η διανομή της θερμότητας με αέρα (ή η δημιουργία ήπιου κατακόρυφου ρεύματος με ανεμιστήρες οροφής) μειώνει τη στατικότητα των θερμών αέριων μαζών στο χώρο και συμβάλει στην εσωτερική ανακύκλωση του αέρα, με αποτέλεσμα την ηπιότερη κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας.

Σε ότι αφορά στην οριζόντια κατανομή της θερμοκρασίας σε ένα χώρο, η ύπαρξη μεγάλου ποσοστού ανοιγμάτων στην όψη του χώρου, τείνει να οδηγήσει σε τοπική ασυμμετρία. Τα ανοίγματα, ως θερμικά ευαίσθητο μέρος του κελύφους, δημιουργούν περιοχές με χαμηλή θερμοκρασία ακτινοβολίας. Αντίθετα, τα θερμαντικά σώματα δημιουργούν επίσης τοπική ασυμμετρία δημιουργώντας περιοχές αυξημένης θερμοκρασίας. Τοποθετώντας τα θερμαντικά σώματα κάτω από τα ανοίγματα, επιτυγχάνεται μια αντιστάθμιση της τοπικής ασυμμετρίας δίπλα στα παράθυρα και κατά συνέπεια η ηπιότερη κατανομή της θερμότητας στο χώρο.

Τέλος, ένα εξειδικευμένο αλλά πολύ σημαντικό ζήτημα, αποτελεί ο έλεγχος της λειτουργίας και της απόκρισης του συστήματος θέρμανσης. Οι κύριες δυνατότητες παρέμβασης και ελέγχου της λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης

είναι τρεις: (α) η διακοπή της λειτουργίας του συστήματος, με διακοπή λειτουργίας του κυκλοφορητή, με χρονοδιακόπτη και έλεγχο αντιστάθμισης, (β) η μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού που κυκλοφορεί στο σύστημα θέρμανσης, με την ανάμιξη μέσω τρίοδης ή τετράοδης βάνας, και (γ) η μεταβολή της παροχής του νερού στα θερμαντικά σώματα, με χρήση θερμοστάτη χώρου ή θερμοστατικών βαλβίδων στα σώματα. Και στις τρεις περιπτώσεις καθοριστικό μέγεθος για τον έλεγχο του συστήματος είναι η θερμοκρασία του νερού στο κύκλωμα θέρμανσης, η οποία στην τρίτη περίπτωση καθορίζεται άμεσα από τη θερμοκρασία αέρα στους χώρους του κτιρίου. Ειδικά για τους θερμοστάτες χώρου υπάρχουν πολλές δυνατότητες επιλογής με βάση τον τρόπο χρήσης τους όπως προγραμματιζόμενοι, παρουσίας ατόμων, σε συνδυασμό με αισθητήρες φωτισμού κ.ά.

Σε μεγάλα σύγχρονα κτίρια ο έλεγχος του συστήματος θέρμανσης αποτελεί μέρος του συστήματος ενεργειακής διαχείρισης του κτιρίου (BEMS, Building Energy Management System). Ένας από τους αποτελεσματικότερους τρόπους για επίτευξη θερμικής και οπτική άνεσης στο εσωτερικό ενός κτιρίου ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα την κατανάλωση ενέργειας, είναι η αυτοματοποίηση των λειτουργικών συστημάτων του (κλιματισμού, αερισμού, φωτισμού). Τα συστήματα αυτοματισμού έχουν την δυνατότητα να ελέγχουν και να ρυθμίζουν ταυτόχρονα ένα σύνολο παραμέτρων (θερμοκρασία, υγρασία, ποιότητα και ταχύτητα αέρα, επίπεδα φωτισμού, κλπ.) βελτιστοποιώντας τη λειτουργία των ενεργητικών και παθητικών συστημάτων ενός κτιρίου. Υπάρχουν διάφοροι τύποι τεχνικών ελέγχου που εφαρμόζονται στα κτίρια.

Η επιλογή του κατάλληλου συστήματος εξαρτάται κυρίως από το είδος των εγκαταστάσεων τις οποίες θα ελέγχει. Ένα τυπικό σύστημα αποτελείται από τους αισθητήρες που μετρούν την τιμή των παραμέτρων ελέγχου, τους ενεργοποιητές που εκτελούν την αλλαγή στον τρόπο λειτουργίας των ενεργειακών συστημάτων με τα οποία είναι συνδεδεμένο το σύστημα ελέγχου και τους ελεγκτές που είναι τα κύρια στοιχεία του συστήματος και οι οποίοι καθορίζουν τον τρόπο λειτουργίας και συντονισμού των διάφορων ενεργειακών συστημάτων, ανάλογα με τις τιμές των παραμέτρων ελέγχου. Τα πλέον εξελιγμένα συστήματα αποβλέπουν στην βελτιστοποίηση της λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης, δροσισμού, φωτισμού και αερισμού. Με τα συστήματα ενεργειακής διαχείρισης κτιρίων επιτυγχάνεται η παρακολούθηση της ενεργειακής κατανάλωσης, ο έλεγχος κόστους, η παρακολούθηση της λειτουργίας και της ασφάλειας των κτιρίων και η σύγκριση με

αντίστοιχο κτίριο αναφοράς, αν είναι επιθυμητό. Η χρήση των BEMS μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση ενέργειας που να υπερβαίνει το 20%, αλλά και σε σημαντική βελτίωση των συνθηκών του εσωτερικού περιβάλλοντος .

4.3 Κλιματισμός: εκτονώνοντας το ενεργειακό πλεόνασμα του κτιρίου το καλοκαίρι [8]

Ως κλιματισμός ορίζεται η επεξεργασία του νωπού αέρα που προσάγεται στο κτίριο, ώστε να μπορεί να επιτευχθεί η διατήρηση των επιθυμητών εσωκλιματικών συνθηκών, που συντελούν στην θερμική ευεξία και στην ικανοποιητική ποιότητα εσωτερικού αέρα. Ο κλιματισμός περιλαμβάνει κατά συνέπεια την ψύξη, θέρμανση, αφύγρανση, ύγρανση και την προσαγωγή-απαγωγή του αέρα. Για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος, το σύστημα κλιματισμού πρέπει να εξασφαλίζει τις απαιτήσεις θερμοκρασίας και υγρασίας σε κάθε ζώνη του κτιρίου. Παράλληλα θα πρέπει να διασφαλίζει και τον απαραίτητο αερισμό.

Σε κτίρια κατοικίας και πολύ μικρά εμπορικά κτίρια ο στόχος αυτός αποτελεί ένα σχετικά εύκολο ως προς την αντιμετώπισή του ζήτημα, εφόσον τα κτίρια αυτά αποτελούνται στην πραγματικότητα από μόνο μία ζώνη. Το σύστημα κλιματισμού θα πρέπει να παρέχει θέρμανση (με ή χωρίς ύγρανση) ή ψύξη (συνήθως συνοδευόμενη με αφύγρανση). Μόνο σε σπάνιες περιπτώσεις τα συστήματα κλιματισμού σε τέτοιας κατηγορίας κτίρια παρέχουν ταυτόχρονα θέρμανση και ψύξη.

Αντίθετα, σε μεγάλα κτίρια, όπως είναι τα εμπορικά κέντρα ή τα κτίρια γραφείων, το ζήτημα ικανοποίησης των απαιτήσεων θερμοκρασίας και υγρασίας σε ολόκληρη την έκταση του κτιρίου αποτελεί ένα σημαντικό πολύπλοκο θέμα. Η πολυπλοκότητα αυτή εστιάζεται στο γεγονός πως τα κτίρια αυτά έχουν περιμετρικές και εσωτερικές θερμικές ζώνες. Οι περιμετρικές ζώνες έχουν μεταβαλλόμενο ψυκτικό φορτίο τη περίοδο δροσισμού, εξαιτίας της αλλαγής της θέσης του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας και των καιρικών συνθηκών, ενώ την περίοδο θέρμανσης απαιτούν την κάλυψη είτε θερμικών είτε ψυκτικών φορτίων αναλόγως του ενεργειακού ισοζυγίου μεταξύ των εσωτερικών θερμικών κερδών και των απωλειών του κτιριακού κελύφους. Οι εσωτερικές ζώνες απαιτούν την κάλυψη των ψυκτικών

αναγκών καθ' όλη τη διάρκεια του έτους εξαιτίας των εσωτερικών κερδών από τον τεχνητό φωτισμό, τους ανθρώπους και τον εξοπλισμό.

Εάν ένα σύστημα κλιματισμού εξυπηρετεί ολόκληρο το κτίριο τότε θα πρέπει από τη μία πλευρά να μεταβάλει τη θερμική και ψυκτική ισχύ ανάμεσα σε ξεχωριστές θερμικές ζώνες και από την άλλη να παρέχει ταυτόχρονα θέρμανση και ψύξη σε διαφορετικές πάλι θερμικές ζώνες. Σήμερα διατίθεται πλήθος τέτοιων συστημάτων κλιματισμού τα οποία ουσιαστικά υιοθετούν δύο τεχνικές: τη μεταβολή του όγκου παροχής αέρα ή της θερμοκρασίας του αέρα παροχής. Τα χαρακτηριστικά ενεργειακής απόδοσης των συστημάτων αυτών διαφέρουν αρκετά και επομένως ο τύπος του συστήματος κλιματισμού ενός πολυζωνικού κτιρίου διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ενεργειακή κατανάλωσή του.

Τα συστήματα κλιματισμού μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τοπικά συστήματα, σε κεντρικά συστήματα και σε συνδυασμό των δύο παραπάνω. Τα κεντρικά συστήματα κλιματισμού ορίζονται ως συστήματα στα οποία το θερμικό ή/και το ψυκτικό μέσο μίας κεντρικής πηγής αναδιανέμεται από ένα ή περισσότερα συστήματα διανομής σε μία ή περισσότερες θερμικές ζώνες παρέχοντας θερμική άνεση. Τα κεντρικά συστήματα κλιματισμού είναι γενικά συστήματα αέρα-αέρα και είναι μονού ή διπλού αγωγού. Τα ευρύτερα διαδεδομένα συστήματα κλιματισμού που χρησιμοποιούνται στα κτίρια γραφείων είναι τα Συστήματα Σταθερής Παροχής Αέρα (ΣΣΠΑ) και τα Συστήματα Μεταβλητής Παροχής Αέρα (ΣΜΠΑ).

Κεφάλαιο 5^ο

ΤΟΙΧΟΙ – ΟΡΟΦΕΣ – ΔΑΠΕΔΑ

5.1 Τοιχοποιία

5.1.1 Η έννοια και τα είδη τοιχοποιίας

Τοιχοποιίες καλούνται κυρίως οι οικοδομικές κατασκευές που προκύπτουν μετά από έντεχνη τοποθέτηση φυσικών ή τεχνητών λίθων με χρήση ή όχι συνδετικού κονιάματος. Στον όρο αυτό περιλαμβάνονται και κατασκευές τοίχων από κονιάματα που διαστρώνονται μέσα σε καλούπια και πετρώνουν αργότερα. Κατ' επέκταση τοιχοποιίες είναι και κατασκευές τοίχων από άλλα υλικά όπως το ξύλο, το γυαλί, τα μέταλλα και τα πλαστικά υλικά [28].

Η τοιχοποιία καταλαμβάνει κατά κανόνα το μεγαλύτερο ποσοστό της εξωτερικής επιφάνειας ενός κτιρίου. Είναι φυσικό, επομένως, να παρατηρούνται μεγάλα ποσοστά απωλειών θερμότητας απ' αυτήν, όταν δεν είναι θερμομονωμένη. Για να αναστέλλει τη μετάδοση θερμότητας από τον εσωτερικό στον εξωτερικό χώρο και αντίστροφα η τοιχοποιία πρέπει να ακολουθεί συγκεκριμένη κατασκευαστική δομή. Είναι γνωστό ότι η αύξηση του πάχους των εξωτερικών τοίχων καθυστερεί σοβαρά τη μετάδοση θερμότητας [2].

Σήμερα στο εμπόριο διατίθεται ένα μεγάλο πλήθος τεχνητών βιομηχανικών λίθων με ποικιλία ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών. Τα πλέον διαδεδομένα υλικά είναι οι οπτόπλινθοι, κοινώς τούβλα. Είναι το κατ' εξοχήν υλικό δόμησης σχεδόν όλων των μορφών τοιχοποιιών. Πολύ παλαιότερα επικρατούσαν οι ωμόπλινθοι, που σήμερα πλέον σχεδόν δεν χρησιμοποιούνται. Άλλα υλικά που ονοματίζονται κυρίως από την πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται για την παρασκευή τους ή από τις ιδιότητες τους, είναι τα θερμομονωτικά τούβλα, οι τσιμεντόλιθοι, οι ελαφροτσιμεντόλιθοι και το σκυρόδεμα [27].

Η τοιχοποιία κατηγοριοποιείται ανάλογα με το είδος των πλίνθων ή τον τύπο δόμησης. Παρακάτω ακολουθεί η κατάταξη της τοιχοποιίας με βάση τα προαναφερθέντα κριτήρια [28]:

A) Κατάταξη τοιχοποιών με κριτήριο το είδος των πλίνθων:

i. Λιθοδομές

- Ξηρολιθοδομές
 - Αργοξηρολιθοδομές (Ξηρολιθιές)
 - Ημιλάξευτες ξηρολιθοδομές
 - Λαξευτές ξηρολιθοδομές
- Αργολιθοδομές
- Ημιλάξευτες λιθοδομές
- Λαξευτές λιθοδομές

ii. Πλινθοδομές

- Ωμοπλινθοδομές
- Οπτοπλινθοδομές
 - Συμπαγών πλίνθων με ή χωρίς σκάφη
 - Διάτρητων πλίνθων (με οριζόντιες οπές)
 - Διάκενων πλίνθων (με κατακόρυφες οπές ή διάκενα)

iii. Τσιμεντολιθοδομές - Γυψοδομές

- Τσιμεντοπλίνθων βαρέως τύπου
- Πλίνθων ελαφροσκυροδέματος (Κισσηρόπλινθοι)
- Πλίνθων αεροσκυροδέματος
- Γυψοπλίνθων (Για μη φέροντα ηχομονωτικά χωρίσματα)

iv. Μικτές τοιχοποιίες

- Λιθοπλινθοδομές
- Ευλόπηκτες τοιχοποιίες (Τσατμάδες)
- Σύνθετες τοιχοποιίες (Με επένδυση όψεως κ.τ.λ.)

B) με κριτήριο τον τύπο δόμησης έχουμε τους εξής τύπους τοίχων:

- Ανισόδομη τοιχοποιία
- Ισόδομη τοιχοποιία
 - Ισοϋψές σύστημα
 - Ανισοϋψές σύστημα

- Εμπλεκτες τοιχοποιίες
- Δρομική τοιχοποιία
- Μπατική τοιχοποιία
- Υπερμπατική τοιχοποιία
- Κοίλη ή Ψαθωτή τοιχοποιία (δύο στρώσεις με εσωτερικό διάκενο)
- Τοιχοποιία με αλυσοειδές ή σταυροειδές σύστημα πλέξης (English bond)
- Τοιχοποιία με μικτό σύστημα πλέξης (Flemish bond)
- Οπλισμένη τοιχοποιία

5.1.2 Επίχρισμα

Το επίχρισμα σε μια τοιχοποιία προσφέρει την αναγκαία προστασία έναντι των επιδράσεων των καιρικών φαινομένων και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Παράλληλα, αποκρύπτει ενδεχόμενες κατασκευαστικές ατέλειες, ενώ αναδεικνύει την αισθητική της όψης, ανάλογα βεβαίως με τις προτιμήσεις των χρηστών, προσφέροντας επίπεδες και ομοιόμορφες επιφάνειες, σχηματικές απεικονίσεις, χρωματικές διαβαθμίσεις κτλ.

Τα επιχρίσματα (σοβάδες) είναι η επικάλυψη των τοίχων και του σκελετού (υποστυλώματα, δοκάρια, τοιχεία) με ένα ή περισσότερα στρώματα κονιάματος. Αποτελούν σημαντικό στοιχείο αισθητικής και προστασίας των εξωτερικών επιφανειών των κτιρίων και ενισχύουν τη θερμομόνωση των κτηρίων [27].

Ειδικότερα στην περίπτωση των τοιχοποιιών, η επίχριση είναι ο καλύτερος τρόπος για να προστατευθεί αυτή έναντι της βροχής, αλλά και έναντι των λοιπών καιρικών φαινομένων. Μια τοιχοποιία μπορεί να προσβληθεί πολύ εύκολα από τα νερά της βροχής, αν υπάρχουν κατασκευαστικά λάθη ή αστοχίες, ατέλειες ή κακοτεχνίες, καθώς και φθορές που διογκώνονται εξαιτίας του χρόνου και δεν επιδιορθώνονται εγκαίρως.

Τα είδη του επιχρίσματος διακρίνονται ανάλογα με τη θέση τους (εσωτερικά, εξωτερικά), ανάλογα με τη σύνθεσή τους (τσιμεντοκονίαμα, ασβεστοκονίαμα), ανάλογα με το χώρο παρασκευής τους (έτοιμα εργοστασιακά, επιτόπου εργοστασιακά) και τέλος ανάλογα με την αποστολή τους (στεγανά, ηχομονωτικά, πυράντοχα και θερμομονωτικά) [27].

5.1.3 Κατηγορίες και περιγραφή τυπικών εξωτερικών τοίχων στην Ελλάδα [23]

Στον Πίνακα 5.1 δίνονται τα ονόματα και η περιγραφή των τυπικών εξωτερικών τοίχων για την Ελλάδα καθώς επίσης και ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας για τις κατασκευές αυτές.

Πίνακας 5.1: Κατηγορίες τυπικών εξωτερικών τοίχων στην Ελλάδα

Κατηγορία	Ονομασία	Περιγραφή	U [W/m ² K]
G1	Διπλός δρομικός με μόνωση 4cm	Επίχρισμα 2cm Δρομικός 9cm Μόνωση 4cm Δρομικός 9cm Επίχρισμα 2cm	0,650
G2	Διπλός δρομικός	Επίχρισμα 2cm Δρομικός 9cm Δρομικός 9cm Επίχρισμα 2cm	1,802
G3	Διπλός δρομικός Με στρώμα αέρος 6cm	Επίχρισμα 2cm Δρομικός 9cm Αέρας 6cm Δρομικός 9cm Επίχρισμα 2cm	1,364
G4	Διπλός ορθοδομικός με μόνωση 5cm	Επίχρισμα 2cm Ορθοδομικός 6cm Μόνωση 5cm Ορθοδομικός 6cm Επίχρισμα 2cm	0,703
G5	Διπλός ορθοδομικός με στρώμα αέρος 6cm	Επίχρισμα 2cm Ορθοδομικός 6cm Αέρας 6cm Ορθοδομικός 6cm Επίχρισμα 2cm	1,619
G6	Δρομικός και ορθοδομικός με μόνωση 4cm	Επίχρισμα 2cm Δρομικός 9cm Μόνωση 4cm Ορθοδομικός 6cm Επίχρισμα 2cm	0,676
G7	Δρομικός και ορθοδομικός με στρώμα αέρος 6cm	Επίχρισμα 2cm Δρομικός 9cm Αέρας 6cm Ορθοδομικός 1,445cm Επίχρισμα 2cm	1,481
G8	Διπλός δρομικός με μόνωση 5cm και αερισμό	Τούβλο διακ. 9 cm Αέρας 2cm Μόνωση 5cm Δρομικός 9 cm Επίχρισμα 2cm	0,521
G9	Διακοσμ. τούβλα με στρώμα αέρος 2cm και δρομικό	Τούβλο διακ. 9cm Αέρας 2cm Δρομικός 9cm	1,445

		Επίχρυσμα 2cm	
G10	Τοίχος συρόμενων με μόνωση 5cm	Επίχρυσμα 2cm Ορθοδομικός 9cm Κενό 13cm Μόνωση 5cm Ορθοδομικός 9cm Επίχρυσμα 2cm	0,546
G11	Τοίχος συρόμενων χωρίς μόνωση	Επίχρυσμα 2cm Ορθοδομικός 6cm Κενό 13 cm Ορθοδομικός 6cm Επίχρυσμα 2 cm	1,657
G12	Τοίχος συρόμενων με γυψοσανίδες και μόνωση 5cm	Επίχρυσμα 2cm Ορθοδομικός 6cm Κενό 13 cm Γυψοσανίδα 1cm Μόνωση 2 cm Γυψοσανίδα 1,25cm	0,577
G13	Δοκός 19cm με μόνωση 5cm	Επίχρυσμα 2cm Δοκός 19cm Μόνωση 5cm Επίχρυσμα 2 cm	0,653
G14	Δοκός 19cm χωρίς μόνωση	Επίχρυσμα 2cm Δοκός 19cm Επίχρυσμα 2cm	0,306
G15	Δοκός 25cm με μόνωση 5cm και γυψοσανίδες	Επίχρυσμα 2cm Δοκός 25 cm Μόνωση 5cm Γυψοσανίδα 1,25cm	0,641
G16	Δοκός 19cm με μόνωση 5cm και ορθοδομικό	Επίχρυσμα 2cm Δοκός 19cm Μόνωση 5cm Ορθοδομικός 6cm Επίχρυσμα 2cm	0,607
G17	Δοκός 19cm ορθοδομικό	Επίχρυσμα 2cm Δοκός 19cm Ορθοδομικός 6cm Επίχρυσμα 2cm	2,393
G18	Λιθοδομή 60cm	Επίχρυσμα 2cm Λιθοδομή 60cm Επίχρυσμα 2cm	2,338

5.2 Οροφές

5.2.1 Εισαγωγή στην έννοια της οροφής

Ως εξωτερική οροφή χαρακτηρίζεται η επιστέγαση, οριζόντια ή κεκλιμένη, που διαχωρίζει το εξωτερικό περιβάλλον από τον εσωτερικό χώρο του κτιρίου. Οι

οροφές, δηλαδή, αποτελούν τα δομικά στοιχεία του εξωτερικού περιβλήματος που ορίζουν και καλύπτουν τα κτίρια προς τα πάνω, τα προστατεύουν από τις επιδράσεις και τις μεταβολές των καιρικών συνθηκών (βροχή, χιόνι, αέρα ακτινοβολίες, παγετό) και γενικότερα τα απομονώνουν από τις δυσμενείς παραμέτρους του εξωτερικού περιβάλλοντος [29].

Οι οροφές σε σύγκριση με τα άλλα μέρη του κτιρίου απαιτούν αυξημένη προστασία. Και αυτό επειδή ως επιστεγάσεις είναι περισσότερο εκτεθειμένα και δέχονται εντονότερα τις επιδράσεις των καιρικών φαινομένων (ηλιακής ακτινοβολίας, ημερήσιων ή ετήσιων θερμοκρασιακών διακυμάνσεων, ανέμου, βροχής, χιονιού κτλ.). Κακοτεχνίες ή παραλείψεις στον τομέα αυτό έχουν ως αποτέλεσμα την πρόκληση φθορών στα δομικά τους στοιχεία με σοβαρές επιπτώσεις στην προστατευτική τους ικανότητα [30]. Η σωστή λειτουργία της οροφής θα πρέπει να εξασφαλίζει την προστασία τόσο του κτιρίου, όσο και της ίδιας της διατομής της από τις δυσμενείς συνθήκες του περιβάλλοντος και επιπλέον συμβάλλει στη δημιουργία και στη διατήρηση άνετου εσωκλίματος [29].

5.2.2 Κατηγορίες και περιγραφή τυπικών εξωτερικών οροφών στην Ελλάδα [23]

Στον Πίνακα 5.2 δίνονται τα τυπικά είδη οροφών στη χώρα μας, η περιγραφή τους και οι τιμές των ολικών συντελεστών θερμοπερατότητας τους.

Πίνακας 5.2: Κατηγορίες τυπικών οροφών στην Ελλάδα

Κατηγορία	Ονομασία	Περιγραφή	U W/m ² K
1	Ταράτσα με μόνωση 6cm και γαρμπιλόδεμα	Γαρμπιλόδεμα 7cm Στεγανοποίηση 1cm Μόνωση 1cm Μπετόν κλίσεως 7cm Οπλ.σκυρόδεμα 14cm Επίχρισμα 1,5cm	0,446
2	Οροφή και σκυρόδεμα 14cm χωρίς μόνωση	Οπλ.σκυρόδεμα 14cm Επίχρισμα 2cm	3,323
3	Οροφή με κισσηρόδεμα και κυψελωτό μπετόν	Κυψελωτό μπετόν 10cm Κισσηρόδεμα 10cm Οπλ.σκυρόδεμα 14cm Επίχρισμα 1,5cm	1,005

4	Οροφή με πλάκες ταράτσας	Πλάκες ταράτσας 4cm Ασβεστοτσιμεντοκονιαμα 2cm Οπλισμ.σκυρόδεμα 14cm Επίχρισμα 1,5cm	3,223
5	Οροφή με κισσηρόδεμα και γαρμπιλόδεμα	Γαρμπιλόδεμα 7cm Κισσηρόδεμα 10cm Οπλ.σκυρόδεμα 14cm Επίχρισμα 1,5cm	1,422
6	Οροφή με κισσηρόδεμα και στεγανοποίηση	Στεγανοποίηση 1cm Κισσηρόδεμα 10cm Οπλ.σκυρόδεμα 14cm Επίχρισμα 1,5cm	1,532
7	Οροφή με κισσηρόδεμα, στεγανοποίηση και πλάκες ταρατσών	Πλάκες ταράτσας 4cm Ασβεστοτσιμεντοκ.2cm Στεγανοποίηση 1cm Κισσηρόδεμα 10cm Οπλ.σκυρόδεμα 14cm Επίχρισμα 1,5cm	1,401
8	Μονωμένη στέγη με κεραμίδια γαλλ.τύπου	Κεραμίδι γαλλ.τύπου Ξύλινος σκελετός 4cm Μόνωση 8cm Οπλ.σκυρόδεμα 14cm Επίχρισμα 1,5cm	0,447
9	Στέγη με κεραμίδια γαλλ.τύπου χωρίς μόνωση	Κεραμίδι γαλλ.τύπου Κενόν(Ξύλινος σκελετός 8cm) Μόνωση 8cm Οπλ.σκυρόδεμα 14 cm Επίχρισμα 1,5cm	2,215
10	Μονωμένη ταράτσα με μπετόν κλίσεως πάνω από μόνωση	Γαρμπιλόδεμα 7cm Μόνωση 6cm Οπλ.σκυρόδεμα 14cm Επίχρισμα 2cm	0,544

5.2.3 Οροφές στα πλαίσια του βιοκλιματικού σχεδιασμού

Στα πλαίσια του βιοκλιματικού σχεδιασμού κτιρίων συναντάμε τις εξής μορφές οροφών :

- Αεριζόμενες οροφές,
- Οροφές με ακτινοβολητή νερού ή αέρα
- Φυτεμένα δώματα πράσινες στέγες
- Οροφές με ενσωμάτωση ΑΠΕ (Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας)

Αεριζόμενες οροφές:

Η αεριζόμενη οροφή όπως δηλώνει και η ονομασία αποτελεί οροφή με φέρουσα πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος ή ξύλινη οροφή η οποία ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής της επιτρέπει τη δημιουργία μίας ή δύο ζωνών αερισμού. Οι

οροφές αυτές παρουσιάζουν βελτιωμένη θερμική συμπεριφορά υπό την προϋπόθεση της σωστής κατασκευής τους και της συνεχούς κίνησης του αέρα στο διάκενο αερισμού. Στις αεριζόμενες στέγες η κυκλοφορία του αέρα πραγματοποιείται ανάμεσα σε ανοίγματα εισαγωγής, τοποθετημένα στα χαμηλά σημεία της περιμέτρου της στέγης και σε ανοίγματα απαγωγής που τοποθετούνται είτε στις γραμμές κορυφής είτε σε ενδιάμεσες θέσεις των κεκλιμένων επιπέδων [29].

Η αεριζόμενη οροφή (μπορεί να γίνει και στους εξωτερικούς τοίχους) είναι κατασκευή διπλού κελύφους μέσα στην οποία κυκλοφορεί ο αέρας του εξωτερικού χώρου και εξασφαλίζει:

- ελαχιστοποίηση των θερμογεφυρών στο περίβλημα του κτιρίου με την πλήρη επένδυση τους σε ολόκληρη την εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου
- αξιοποίηση της θερμοχωρητικότητας του κελύφους του κτιρίου ώστε οι συνθήκες των εσωτερικών χώρων να παραμένουν ανεπηρέαστες στις απότομες καιρικές αλλαγές για σημαντικό χρόνο
- συνθήκες άνεσης στους εσωτερικούς χώρους και ομοιόμορφης κατανομής της εσωτερικής θερμοκρασίας επιφάνειας οπότε αποφεύγεται η εμφάνιση επιφανειακών συμπυκνωμάτων υδρατμών, και
- προστατεύουν την εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου από ρυγματώσεις λόγω της ετήσιας διακύμανσης της εξωτερικής θερμοκρασίας επιφανείας [31].

Οροφές με ακτινοβολητή νερού ή αέρα:

Εκμεταλλεύεται την ακτινοβολία του ουρανού και μεταφέρει θερμότητα από το εσωτερικό του κτιρίου στο εξωτερικό περιβάλλον. Μέσα στο σύστημα του ακτινοβολητή διοχετεύεται θερμός αέρας από το κτίριο, ο οποίος διέρχεται μέσα από το σύστημα, ψύχεται καθώς έρχεται σε επαφή με την ψυχρή εξωτερική πλευρά και επαναδιοχετεύεται στο εσωτερικό του κτιρίου. Το σύστημα λειτουργεί ιδιαίτερα αποτελεσματικά σε περιοχές με θερμά και ξηρά καλοκαίρια και χαμηλή σχετική υγρασία [21].

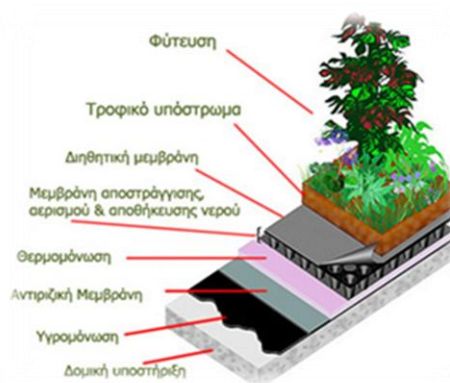
Φυτεμένο δώμα:

Το φυτεμένο δώμα (Σχήμα 5.1) αποτελεί τεχνική θερμικής προστασίας του κτιρίου τόσο το χειμώνα, όσο και το καλοκαίρι. Συνεισφέρει στη θερμομόνωση του κτιρίου, λόγω των υλικών από τα οποία αποτελείται (χώμα ικανού πάχους και αέρας

που εγκλωβίζεται μεταξύ των φυλλωμάτων των φυτών, συνδυαζόμενο, βέβαια με κατάλληλα θερμομονωμένη και υγραμονωμένη κατασκευή της οροφής).

Το καλοκαίρι εμποδίζει την ηλιακή ακτινοβολία να φθάσει στο κτιριακό κέλυφος, μέσω της σκιάς που δημιουργούν τα φυτά στην επιφάνειά του. Τέλος, τα φυτά συνεισφέρουν με την εξάτμιση από τα φύλλα τους (εξατμισοδιαπνοή) στην εξατμιστική ψύξη της οροφής. Εν γένει το φυτεμένο δώμα συνεισφέρει στη δημιουργία ήπιων συνθηκών στους χώρους πάνω από τους οποίους τοποθετείται. Τόσο η κατασκευή του, όσο και η επιλογή των φυτών πρέπει να 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 [30].


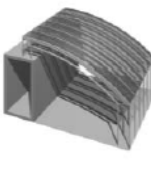
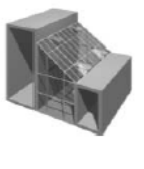



Σχήμα 5.1: Φυτεμένο δώμα [31]

Οροφές με ενσωμάτωση ΑΠΕ:

Εκτός από τη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος τα ενσωματωμένα συστήματα ΑΠΕ μπορούν να χαρακτηριστούν και ως δομικά στοιχεία. Οι παραλλαγές αυτές γίνονται κυρίως με τη κάλυψη της οροφής αλλά και με επένδυση της πρόσοψης και ως εξωτερικά σκίαστρα. Οι τεχνολογικές λύσεις των συστημάτων ΑΠΕ και κυρίως των φωτοβολταϊκών δίνουν τη δυνατότητα στους αρχιτέκτονες να εφαρμόσουν πρωτότυπες λύσεις στο κτιριακό κέλυφος (Σχήμα 5.2) ενώ παράλληλα τα φωτοβολταϊκά μπορούν να αντικαταστήσουν παραδοσιακά δομικά στοιχεία όπως οι κεραμοσκεπές. Με αυτό τον τρόπο εξοικονομούνται χρήματα σε σχέση με τους παραδοσιακούς τρόπους κατασκευής αλλά και φυσικοί πόροι. Έτσι τα συστήματα ΑΠΕ μπορούν να αποτελέσουν μια ιδιαίτερα αποτελεσματική μέθοδο για το περιορισμό της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος σε κτίρια προσφέροντας υψηλή

και εγγυημένη απόδοση, μικρό κόστος συντήρησης, μηδενική ρύπανση, μεγάλη διάρκεια ζωής και σχεδόν αθόρυβη λειτουργία [32].

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	Αντικατάσταση υλικών	Αρχιτεκτονικές παραλλαγές	Θερμικά κέρδη	Υποστήριξη κλιματιστικών μονάδων
				

Σχήμα 5.2: Οφέλη ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών σε οροφές κτιρίων [32].

5.3 Δαπέδα

5.3.1 Εισαγωγή

Το δάπεδο αποτελεί το μόνο δομικό στοιχείο σε διαρκή επαφή με τους χρήστες. Ο χώρος οριοθετείται πάντοτε σε σχέση με το δάπεδο, καθιστώντας ορισμένες επιφάνειες ή κατασκευές μη προσιτές από τους χρήστες του χώρου. Κατά συνέπεια, το δάπεδο υφίσταται στο μέγιστο όλες τις καταπονήσεις εξαιτίας της χρήσης και της λειτουργίας του χώρου (κινητά και μόνιμα φορτία, τριβή, κύλιση, πτώσεις αντικειμένων-κρούση, ρύπανση, χημικές-διαβρωτικές ουσίες, καθαρισμός κτλ.), ενώ παράλληλα πρέπει να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της χρήσης (αντοχή στις καταπονήσεις, υγιεινή, αντλιοσθητικότητα, διάρκεια, συντήρηση κτλ.) και των αισθήσεων των χρηστών (αισθητική, αίσθηση ασφάλειας, άνεση, ακουστική, θερμότητα κτλ.) [33].

5.3.2 Τυπικές κατασκευές δαπέδου

Λόγω της θερμικής μάζας και της ικανότητάς της να διατηρεί τη θερμότητα, όπως περιγράφηκε προηγουμένως, δάπεδα από μπετόν είναι ιδανικά για ενεργειακά σχεδιασμένα σπίτια. Όταν τα σπίτια έχουν κατασκευαστεί για να επωφεληθούν από την ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται από τα παράθυρα κατά τους χειμερινούς μήνες, τα δάπεδα σκυροδέματος απορροφούν τη θερμότητα από το άμεσο ηλιακό φως

και απελευθερώνουν την αποθηκευμένη θερμότητα που απαιτείται τη νύχτα για να κρατήσουν τους χώρους θερμότητας. Αντίθετα το καλοκαίρι και σε θερμά κλίματα, τα δάπεδα σκυροδέματος προστατεύονται από τον ήλιο με αποτέλεσμα ο χώρος να παραμένει δροσερός περισσότερο και να μπορεί να βοηθήσει πραγματικά στο χαμηλότερο κόστος κλιματισμού.

Ως επί το πλείστον των νέων κατασκευών ο φέρων οργανισμός του δαπέδου αποτελείται από πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος. Άοπλο ή ελαφρά οπλισμένο σκυρόδεμα καθώς και χαλαρά υλικά όπως αμμοχάλικο, συμπυκνωμένο έδαφος κτλ. μπορούν να αποτελέσουν βάσεις δαπεδοστρώσεων εξωτερικών χώρων.

Σε περιπτώσεις ανακαινίσεων είναι πιθανό να προδιαγράφεται από την αντίστοιχη μελέτη η εφαρμογή συμπαγών επιστρώσεων σε φέρουσα κατασκευή από άλλα υλικά όπως κεραμικά στοιχεία και ξύλο καθώς και πάνω σε παλαιές επιστρώσεις. Βασική προϋπόθεση αποτελεί η ικανότητα της φέρουσας κατασκευής να παραλαμβάνει με ασφάλεια τις καταπονήσεις του δαπέδου.

Η ικανότητα αυτή είναι απαραίτητο να ελέγχεται πριν από την έναρξη των εργασιών δαπεδόστρωσης, ιδιαίτερα στην περίπτωση που η κατασκευή ή ανακαίνιση σχετίζεται με αλλαγή της χρήσης του χώρου. Η νέα χρήση είναι πιθανό να μην έχει προβλεφθεί στον υπολογισμό της φέρουσας κατασκευής και να συνεπάγεται αυξημένες καταπονήσεις στο δάπεδο. Τα ελαττώματα της φέρουσας κατασκευής πρέπει να εντοπίζονται και να αποκαθίστανται έγκαιρα, σύμφωνα με τις ιδιαίτερες κατά περίπτωση οδηγίες των κανονισμών και του επιβλέποντος μηχανικού και με εφαρμογή της κατάλληλης τεχνολογίας.

Επιφανειακές ρωγμές του σκυροδέματος επισκευάζονται εύκολα με διεύρυνση, καθαρισμό και εφαρμογή επισκευαστικού κονιάματος ή εποξικής ρητίνης. Ρηγματώσεις ή άλλες βλάβες δομικών στοιχείων, όπως χαλάρωση συνδέσεων, διάβρωση κτλ., με άμεσο αντίκτυπο στη στατική επάρκεια της κατασκευής απαιτούν εξειδικευμένες εργασίες με κατάλληλα υλικά, έμπειρο προσωπικό και εκτελούνται σύμφωνα με μελέτη και επίβλεψη μηχανικού [34, 35].

Τα κυριότερα υλικά επίστρωσης των δαπέδων που χρησιμοποιούνται στον ελληνικό χώρο είναι οι ξύλινες επιστρώσεις, τα κεραμικά πλακίδια, τα μάρμαρα, ο γρανίτης και το μωσαϊκό ενώ το δάπεδο ανάλογα με τη θέση του στο κτίριο σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον καθώς και σε σχέση με τους υπόλοιπους χώρους του κτιρίου διακρίνεται σε πέντε βασικούς τύπους. Ένας άλλος παράγοντας που συμβάλλει στην κατηγοριοποίηση και διαχωρισμό των δαπέδων είναι και οι

απαιτήσεις θερμομόνωσης αυτών των δομικών στοιχείων. Διακρίνονται, λοιπόν, τα παρακάτω είδη δαπέδων:

- Δάπεδο επί του εδάφους
- Αεριζόμενο δάπεδο
- Δάπεδο επί θερμαινόμενου χώρου
- Δάπεδο επί μη θερμαινόμενου χώρου
- Δάπεδο επί μερικώς θερμαινόμενου χώρου [36].

Κεφάλαιο 6^ο

ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ

6.1 Αντικείμενο και σημασία της θερμομόνωσης

Η θερμομόνωση σ' ένα κτίριο, ουσιαστικά παρέχει σ' αυτό ένα «προστατευτικό περίβλημα» το οποίο μειώνει τη μετάδοση θερμότητας από και προς το εσωτερικό του. Το χειμώνα μειώνει το ρυθμό με τον οποίο η θερμότητα χάνεται από το κτίριο και το καλοκαίρι μειώνεται ο ρυθμός με τον οποίο η θερμότητα εισάγεται σε αυτό.

Η μείωση των θερμικών διαφυγών από και προς τους εσωτερικούς χώρους ενός κτιρίου έχει ως συνέπεια τη μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας με την οποία τροφοδοτούνται τα διάφορα τεχνητά συστήματα θέρμανσης-ψύξης. Η μείωση αυτή μπορεί να είναι σημαντική, αρκεί η θερμομόνωση να εφαρμόζεται ορθολογικά και σύμφωνα με τις απαιτήσεις του σχετικού διατάγματος που καθορίζει τους μέγιστους συντελεστές θερμοπερατότητας των επιμέρους δομικών στοιχείων του κελύφους.

Στις περισσότερες χώρες με ψυχρότερα κλίματα κανονισμοί και τεχνικές προδιαγραφές, που καθορίζουν τις απαιτήσεις, τις ιδιότητες και τον τρόπο σύνθεσης των υλικών, ισχύουν εδώ και πολλά χρόνια. Οι κανονισμοί αυτοί, μαζί με τις τεχνικές προδιαγραφές, εξασφαλίζουν μία τεχνοοικονομικά σωστή θερμομόνωση. Τέτοια θεωρείται αυτή που για να γίνει δεν απαιτείται υπερβολικά μεγάλο αρχικό κόστος εγκατάστασης και που, ωστόσο, εξασφαλίζει μακροχρόνια οικονομία στη χρήση του κτιρίου και περιορισμό στην εφαρμογή ενεργοβόρων τεχνητών συστημάτων ελέγχου του εσωτερικού περιβάλλοντος [37].

Η θερμομόνωση επιδρά θετικά και στο εσώκλιμα, διότι βοηθάει στην διατήρηση ομοιόμορφης κατανομής της θερμοκρασίας σε όλο το κτίριο. Οι τοίχοι, οι οροφές και τα πατώματα καθίστανται θερμότερα κατά την περίοδο θέρμανσης και ψυχρότερα κατά την περίοδο δροσισμού. Ταυτόχρονα, ορισμένα θερμομονωτικά υλικά έχουν θετικές επιπτώσεις και όσον αφορά στην ηχομόνωση των κτιρίων, διότι λειτουργούν είτε ως φράγματα είτε ως απορροφητές του ήχου.

Να σημειωθεί ότι η θερμομόνωση δεν αφορά μόνο στα νεόδμητα κτίρια, αλλά και στα υφιστάμενα κτίρια, καθώς σε αυτά παρουσιάζονται μεγάλες απώλειες

θερμότητας. Σήμερα γίνονται εκτεταμένες προσπάθειες για την ανεύρεση τρόπων διόρθωσης των στρεβλώσεων του παρελθόντος σχετικά με τον ενεργειακό σχεδιασμό των κτιρίων ή, τουλάχιστον, ελαχιστοποίησης των συνεπειών αυτών των στρεβλώσεων. Φυσικά, είναι σαφές ότι άλλες δυνατότητες προστασίας προσφέρονται σε ένα νεοαναγειρόμενο κτίριο και άλλες σε ένα υφιστάμενο.

Μία σωστή θερμομόνωση κοστίζει περίπου το τρία με πέντε τοις εκατό στο συνολικό κόστος της κατασκευής και μπορεί να μειώσει έως και στο μισό τα έξοδα λειτουργίας θέρμανσης και ψύξης του χώρου [38].

Συνοψίζοντας μία καλή θερμομόνωση πρέπει να εξασφαλίζει τα εξής:

- Την οικονομία στην κατανάλωση ενέργειας με την ταυτόχρονη προστασία του περιβάλλοντος, καθώς μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας μειώνεται αντίστοιχα και η ποσότητα των καυσαερίων προς την ατμόσφαιρα.
- Την υγιεινή και άνετη διαβίωση των χρηστών του χώρου χωρίς να διαταράσσεται το θερμικό αίσθημα του ανθρώπινου οργανισμού.
- Τον περιορισμό του κόστους κατασκευής κατά την εγκατάσταση των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού.
- Την προστασία από τον θόρυβο καθώς η πλειονότητα των υλικών που χρησιμοποιούνται για θερμομόνωση είναι και ηχομονωτικά.
- Την επιλογή των υλικών που πρέπει να είναι ακίνδυνα για την υγεία του ανθρώπου και οι ιδιότητες τους να είναι εκείνες που να καλύπτουν τις κατά περίπτωση ανάγκες [37].

6.2 Βασικές έννοιες και θερμικά χαρακτηριστικά δομικών υλικών

Θερμικές απώλειες

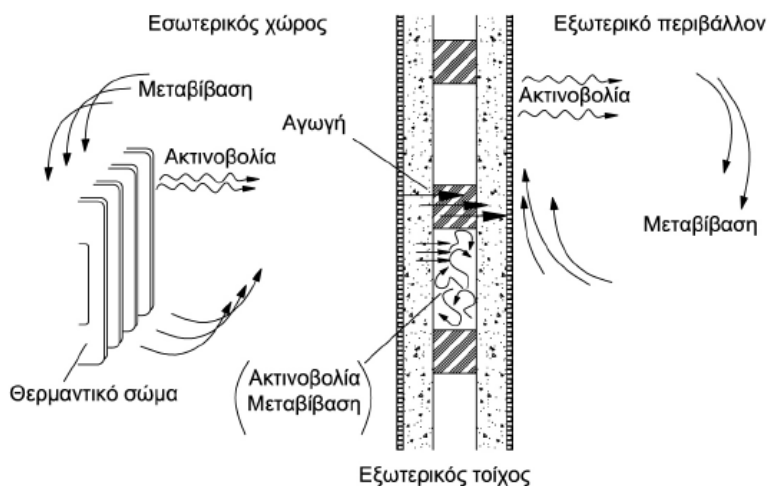
Είναι γνωστό ότι ανάμεσα σε δύο σώματα με διαφορετικές θερμοκρασίες προκαλείται συνεχής ροή θερμότητας από το θερμότερο προς το ψυχρότερο και πως οι θερμικές απώλειες δεν νοούνται μόνο για την απώλεια της ζέστης ενός χώρου το χειμώνα αλλά και της δροσιάς το καλοκαίρι, όταν ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι θερμότερος. Αυτή η ροή θερμότητας είναι αδύνατο να εμποδιστεί τελείως και μπορεί, μόνο, να περιοριστεί ως προς την ένταση και τη διάρκειά της. Αυτό είναι εφικτό μόνο όταν υπάρχει έλεγχος των θερμικών απωλειών. Ο επιδιωκόμενος έλεγχος και

περιορισμός των θερμικών απωλειών επιτυγχάνεται με τη θερμομόνωση του κελύφους, η οποία μειώνει το ρυθμό μετάδοσης της θερμότητας μέσω των εξωτερικών επιφανειών του κτιρίου [39].

Μετάδοση θερμότητας

Η μεταφορά ή μετάδοση θερμότητας από ένα σώμα/σύστημα μεγαλύτερης θερμοκρασίας προς ένα άλλο μικρότερης θερμοκρασίας είναι ένα φυσικό φαινόμενο που πραγματοποιείται με τρεις δυνατούς τρόπους/μηχανισμούς (Σχήμα 6.1):

- *Μετάδοση θερμότητας με αγωγή:* Βασίζεται στην ιδιότητα των μορίων των υλικών σωμάτων να προλαμβάνουν θερμότητα από γειτονικά μόρια υψηλότερης θερμοκρασίας και να μεταδίδουν τη θερμότητα τους σε γειτονικά μόρια χαμηλότερης θερμοκρασίας. Στα στερεά σώματα η μετάδοση της θερμότητας επιτυγχάνεται εύκολα λόγω της πολύ μικρής απόστασης (πρακτικά όταν έρχονται σε επαφή) μεταξύ των μορίων κάθε σώματος. Στα υγρά, την αγωγιμότητα βοηθούν οι ελαστικές κρούσεις των μορίων. Στα μέταλλα, η ροή της θερμότητας με αγωγή οφείλεται κυρίως στη διάχυση των ελεύθερων ηλεκτρονίων.
- *Μετάδοση θερμότητας με θερμική μεταβίβαση (συναγωγή):* Η συναγωγή θερμότητας εμφανίζεται μεταξύ της επιφάνειας ενός σώματος και ενός ρευστού όταν οι θερμοκρασίες τους διαφέρουν. Βασίζεται δηλαδή στη δυνατότητα μεταβίβασης της θερμότητας σε υγρά ή αέρια σώματα μέσω της μετακίνησης των θερμών μορίων. Στα κτίρια, με τη φυσική κυκλοφορία του αέρα διακινούνται σημαντικά ποσά θερμότητας. 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 κλπ.
- *Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία:* Αυτή συμβαίνει μεταξύ στερεών σωμάτων που διαχωρίζονται από αέρα και μεταδίδεται με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων [39].



Σχήμα 6.1: Τρόποι μετάδοσης θερμότητας στο χώρο [40].

Διάφορες παράμετροι που είναι φυσικές ιδιότητες του υλικού καθορίζουν τη μετάδοση θερμότητας μέσα από το ίδιο το υλικό ή ειδικότερα από ένα δομικό στοιχείο. Οι χαρακτηριστικές αυτές ιδιότητες των δομικών στοιχείων που καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη θερμική συμπεριφορά του κελύφους του κτιρίου είναι οι ακόλουθες.

Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, λ :

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, λ , είναι χαρακτηριστικό μέγεθος του υλικού, το οποίο καθορίζει τη θερμομονωτική ικανότητά του και αναφέρεται σε ομοιογενή υλικά. Όσο μικρότερη είναι η τιμή του λ , τόσο πιο αποτελεσματικό είναι το υλικό ως θερμομονωτικό.

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας δίνει την ποσότητα της θερμότητας σε βατώρες (Wh, μονάδα ενέργειας), η οποία ρέει σε 1 ώρα μέσα από στρώμα υλικού που έχει επιφάνεια 1 m^2 και πάχος 1 m , όταν η πτώση της θερμοκρασίας προς την κατεύθυνση της ροής της θερμότητας (διαφορά θερμοκρασίας των δύο επιφανειών) είναι ένας βαθμός Κέλβιν (K) και το σύστημα βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση, δηλαδή η θερμοκρασία τοπικά παραμένει σταθερή με το χρόνο. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας μετράται σε βατ ανά μέτρο και βαθμό Κέλβιν ($\text{W}/\text{m}^*\text{K}$) [40].

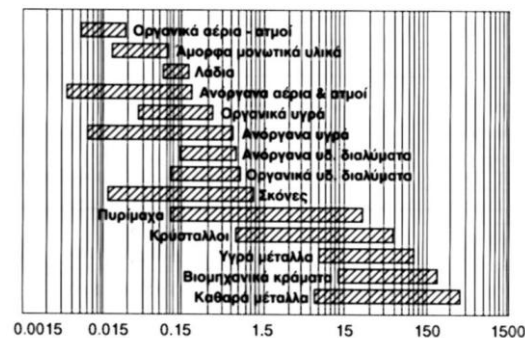
Στα αέρια η ειδική θερμική αγωγιμότητα (λ) αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Στα μη μεταλλικά υγρά η ειδική θερμική αγωγιμότητα ελαττώνεται όταν μειώνεται η θερμοκρασία με μοναδική εξαίρεση τη γλυκερίνη και το νερό. Στα στερεά σώματα η ειδική θερμική αγωγιμότητα εξαρτάται τόσο από τις ιδιότητες του

σώματος όσο και από την εσωτερική δομή του αλλά και από τις συνθήκες υπό τις οποίες διεξάγονται οι μετρήσεις. Στα μέταλλα παρατηρείται μείωση του συντελεστή λ όταν η θερμοκρασία αυξάνεται και παίρνει τιμές μεγαλύτερες από τη συνηθισμένη.

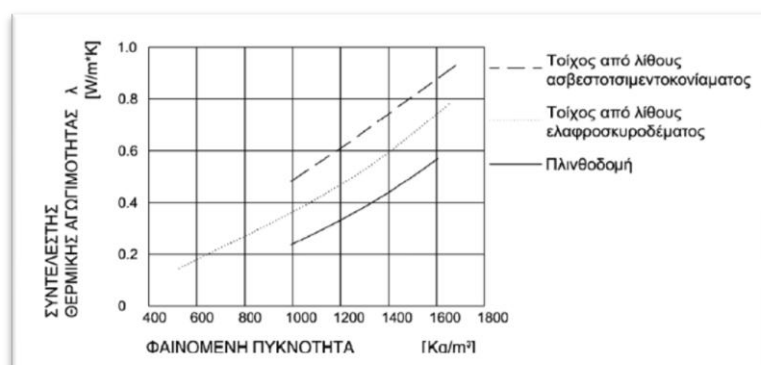
Όσον αφορά τα μονωτικά υλικά, η μονωτική ιδιότητα οφείλεται στο ότι τα υλικά αυτά αποτελούνται από κόκκους ή ίνες δημιουργώντας αναρίθμητους πόρους στους οποίους περιέχεται αέρας ο οποίος ως γνωστόν έχει πολύ καλές μονωτικές ιδιότητες και έτσι παρουσιάζουν χαμηλές τιμές του συντελεστή λ [41].

Μεγάλη σημασία έχει το γεγονός ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, αυξάνεται και ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας τους και συνεπώς μειώνεται η θερμομονωτική ικανότητα του υλικού [42].

Παρουσιάζεται χαρακτηριστικά στα παρακάτω διαγράμματα η εξάρτηση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, λ , από τη φαινόμενη πυκνότητα του υλικού (Σχήμα 6.2) και του τοίχου (Σχήμα 6.3) [40]. Ως φαινόμενη πυκνότητα ενός υλικού ορίζεται ο λόγος της μάζας του υλικού προς την διαφορά του συνολικού όγκου του υλικού με όλα τα κενά από τον όγκο των κενών μεταξύ των κόκκων του υλικού [42].



Σχήμα 6.2: Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, λ , σε συνάρτηση με τη φαινόμενη πυκνότητα υλικού [40].



Σχήμα 6.3: Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, λ , σε συνάρτηση με τη φαινόμενη πυκνότητα τοίχου εν ξηρώ [40].

Οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης, R_i και R_a :

Ο συντελεστής θερμικής μετάβασης, α , δίνει την ποσότητα της θερμότητας σε Wh , 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 μετάβασης μετράται σε W/m^2K .

Ως αντίσταση θερμικής μετάβασης, R , ορίζεται το αντίστροφο του συντελεστή θερμικής μετάβασης, μετράται σε m^2K/W . Ισχύει, λοιπόν ότι $\alpha=1/R$ και $R=1/\alpha$ [40].

Οι συντελεστές θερμικής μετάβασης, α , καθώς και οι αντιστάσεις θερμικής μετάβασης, R , χαρακτηρίζονται από έναν δείκτη i ή a , ανάλογα με το αν αναφέρονται στο εσωτερικό ή εξωτερικό περιβάλλον. Έτσι, ως R_i χαρακτηρίζεται η εσωτερική αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας μεταξύ αυτού και της εσωτερικής επίπεδης επιφάνειας του δομικού στοιχείου, ενώ ως R_a χαρακτηρίζεται η εξωτερική αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας μεταξύ αυτού και της εξωτερικής επίπεδης επιφάνειας του δομικού στοιχείου [43].

Συντελεστής θερμοπερατότητας, U , ή συντελεστής θερμοδιαφυγής:

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας U δίνει την ποσότητα της θερμότητας σε βατώρες, η οποία διέρχεται σε 1 ώρα μέσα από επιφάνεια $1 m^2$ 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 μετράται σε βατ ανά τετραγωνικό μέτρο και ανά βαθμό Κέλβιν ($W/ m^2 *K$) [40].

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας εξαρτάται από τα πάχη των στρώσεων του δομικού στοιχείου, το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ των υλικών και από τη συναγωγή που παρουσιάζει με τα στρώματα αέρα εκατέρωθεν των όψεών του. Αύξηση ή μείωση, λοιπόν, του πάχους μιας στρώσης του υλικού επηρεάζει το συντελεστή θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου, όπως και η μεταβολή του συντελεστή λ του υλικού [43].

Η σημασία του είναι πολύ μεγάλη καθώς για τον έλεγχο της θερμομονωτικής επάρκειας του κτιρίου πρέπει αρχικά να υπολογίζονται οι ανταλλαγές θερμότητας του κτιρίου με το περιβάλλον μέσω αγωγιμότητας και συναγωγής και ο έλεγχος, σε πρώτη φάση γίνεται με βάση το συντελεστή θερμοπερατότητας U των αδιαφανών και των διαφανών δομικών στοιχείων του κελύφους. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας U καθορίζει τις θερμικές απώλειες λόγω αγωγής και συναγωγής μέσω ενός δομικού στοιχείου και συνεπώς καθορίζει τη θερμομονωτική ικανότητα του στοιχείου της κατασκευής

Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. (Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων) για να ικανοποιεί ένα δομικό στοιχείο τις απαιτήσεις θερμομονωτικής προστασίας, θα πρέπει η υπολογιζόμενη τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας κάθε δομικού στοιχείου, αναλόγως της θέσης του στο κτίριο, να προκύπτει μικρότερη ή ίση της μέγιστης επιτρεπόμενης τιμής, όπως αυτή ορίζεται στον πίνακα που παρουσιάζεται παραπάνω για κάθε κλιματική ζώνη του ελλαδικού χώρου [44].

Εάν η τιμή που προκύπτει είναι μεγαλύτερη, θα πρέπει ο έλεγχος να επαναληφθεί, αφού προηγουμένως βελτιωθούν τα θερμοτεχνικά χαρακτηριστικά του δομικού στοιχείου. Ειδικότερα για τα αδιαφανή δομικά στοιχεία, αυτό μπορεί να επιτευχθεί με ενδεχόμενη αύξηση του πάχους της θερμομονωτικής στρώσης ή με αντικατάσταση του θερμομονωτικού υλικού με άλλο (ενδεχομένως και των υλικών άλλων στρώσεων) που θα έχει χαμηλότερη τιμή συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, έτσι ώστε να προκύπτει μικρότερη τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας U [43].

Θερμοχωρητικότητα, C :

Θερμοχωρητικότητα ενός υλικού ή ενός δομικού στοιχείου είναι η ικανότητα του να αποθηκεύει θερμότητα μέσα στη μάζα του και να την αποδίδει βαθμιαία με σημαντική χρονική καθυστέρηση. Η θερμοχωρητικότητα των δομικών στοιχείων του κτιρίου, συμβάλλει στον περιορισμό του ρυθμού μεταβολής της θερμοπερατότητας των στοιχείων. Όταν οι τοίχοι και οι οροφές έχουν μεγάλη θερμοχωρητική ικανότητα, όπως έχουμε αναφέρει και προηγουμένως, τότε η θερμότητα που συγκεντρώνουν όσο λειτουργεί η θέρμανση, αποβάλλεται όταν αυτή σταματήσει με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η γρήγορη ψύξη των χώρων. Το αντίθετο συμβαίνει το καλοκαίρι όταν οι χώροι ψύχονται. Η θερμοχωρητικότητα εξαρτάται από τη μάζα ή τη πυκνότητα και από την ειδική θερμότητα του υλικού.

Ανάλογα με τη θέση της μόνωσης – στην εξωτερική ή εσωτερική επιφάνεια – οι τοίχοι και οι οροφές ενεργούν:

- Ως συσσωρευτές θερμότητας, όταν η θερμική μόνωση τοποθετείται στην εξωτερική τους επιφάνεια. Στην περίπτωση αυτή, συσσωρεύουν επί ένα μεγάλο χρονικό διάστημα τη θερμότητα, για να την αποβάλλουν και πάλι μέσα στο χώρο με ακτινοβολία (Σχήμα 6.4.α). Με τη διαδικασία αυτή αυξάνεται αντίστοιχα η διάρκεια μεταβολής της θερμοκρασίας σε χώρους στους οποίους είναι απαραίτητο να δημιουργείται αίσθημα άνεσης (κατοικίες, χώροι εργασίας, κ.λπ.).
- Ως φράγμα προστασίας, όταν η θερμική μόνωση τοποθετείται στην εσωτερική τους επιφάνεια, στις περιπτώσεις που δεν μας ενδιαφέρει η διάρκεια αποθέρμανσης ή απόψυξης των χώρων (θέατρα, εκκλησίες κ.λπ.) αλλά αντίθετα επιθυμούμε τη γρήγορη θέρμανση ή ψύξη των χώρων αυτών (Σχήμα 6.4.β).



Σχήμα 6.4: Θερμοχωρητικότητα δομικών στοιχείων ανάλογα με τη θέση της θερμικής μόνωσης (εσωτερικά ή εξωτερικά) [37].

6.3 Μελέτη και σχεδιασμός θερμομόνωσης κτιρίου [37]

Πριν καταφύγει κανείς σε οποιαδήποτε μέτρα θερμομόνωσης για τον έλεγχο των θερμικών απωλειών πρέπει, κατά το σχεδιασμό, να έχει υπόψη του τους βασικότερους παράγοντες που τις προκαλούν. Τέτοιοι παράγοντες είναι:

- Η τοποθεσία και ο προσανατολισμός του κτιρίου μέσα στον περιβάλλοντα χώρο. Έτσι, όσο περισσότερο εκτεθειμένο είναι ένα κτίριο στους ανέμους τόσο μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας εμφανίζει. Επίσης, όσο περισσότερο προσβάλλεται από την ηλιακή ακτινοβολία τόσο οι απώλειες ψύξης των εσωτερικών χώρων του είναι μεγαλύτερες.
- Το μέγεθος των επιφανειών του εξωτερικού περιβλήματος του κτιρίου που είναι άμεσα εκτεθειμένες στις καιρικές συνθήκες, σε συνάρτηση με τον όγκο του

κτιρίου. Ένα ελεύθερο στο χώρο κτίριο εμφανίζει πολύ μεγαλύτερες απώλειες από ένα άλλο που είναι ενταγμένο σε ένα συνεχές σύστημα δόμησης.

- Το πόσο εκτεθειμένοι στο περιβάλλον είναι οι διάφοροι χώροι του κτιρίου. Χώροι τελείως εσωτερικοί θεωρείται ότι δεν παρουσιάζουν καμία θερμική μεταβολή. Αντίθετα, χώροι που εκτείνονται σε δύο ή περισσότερους ορόφους, όπως για παράδειγμα τα κλιμακοστάσια, παρουσιάζουν μεγάλες απώλειες.
- Τα εξωτερικά κουφώματα, τα οποία, ανάλογα με το μέγεθος, τον αριθμό και τη θέση τους στις όψεις ενός κτιρίου, επηρεάζουν τη ροή της θερμότητας και η κακή συναρμογή τους επιτρέπει τη διείσδυση ρευμάτων αέρα.

6.3.1 Στοιχεία του κτιρίου ευάλωτα στη θερμοδιαφυγή [37]

Η κατασκευή της θερμομόνωσης ενός κτιρίου πρέπει να γίνεται σύμφωνα με ορισμένες προϋποθέσεις και ανάλογα με τη θέση της επιφάνειας που πρόκειται να προστατευθεί και τη θέση της μονωτικής στρώσης μέσα στην κατασκευή (εσωτερικά ή εξωτερικά). Είναι ευνόητο ότι δεν μπορούν να αγνοηθούν οι απαιτήσεις προστασίας από την υγρασία. Για το λόγο αυτό, το πρόβλημα της θερμομόνωσης - όπως ήδη τονίστηκε - δεν μπορεί να εξετάζεται μεμονωμένα, αλλά σε συνδυασμό με άλλες απαιτήσεις προστασίας και πάντοτε σε συνεργασία με τον αρχιτέκτονα του έργου.

Στη συνέχεια γίνεται συνοπτική αναφορά στα πιο ευάλωτα στοιχεία ενός κτιρίου, που έχουν ανάγκη θερμικής προστασίας. Αυτά είναι:

α. Η οροφή (επίπεδη ή κεκλιμένη) και η στέγη, που παρουσιάζουν μεγάλες θερμικές απώλειες, μιας και είναι τα μέρη εκείνα του κτιρίου που δέχονται άμεσα όλες τις επιδράσεις των καιρικών συνθηκών.

β. Τα εξωτερικά τοιχώματα, που υπόκεινται σε μια σειρά επιδράσεων και τα οποία ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους, προκαλούν μεγάλες θερμικές απώλειες.

Όπως ήδη αναφέρθηκε :

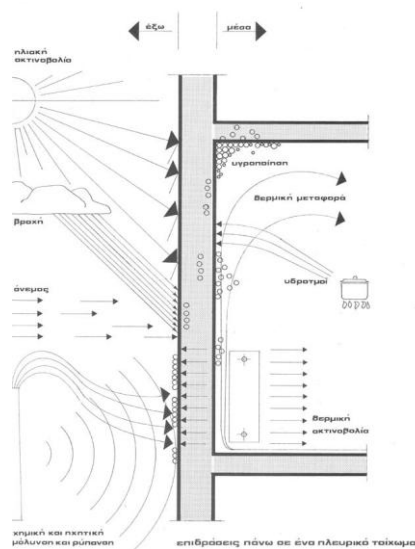
- Η προστασία των εξωτερικών τοιχωμάτων μπορεί να γίνει εσωτερικά ή εξωτερικά, ανάλογα με τη χρήση των χώρων που προστατεύουν το βασικό μέρος της δομής τους.
- Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις τοιχωμάτων στις οποίες η θερμική μόνωση τοποθετείται ανάμεσα σε δυο κατακόρυφα στρώματα ομοιογενών ή ανομοιογενών υλικών και είναι σχετικά απλή λύση η οποία όμως, όπως και οι προηγούμενες, έχει και πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Γενικά, σε όλες τις περιπτώσεις πλευρικών εξωτερικών τοιχωμάτων λαμβάνονται μέτρα για:

- Προστασία του θερμομονωτικού υλικού από συμπύκνωση και δρόσο, με φράγμα υδρατμών.
- Παρεμπόδιση της διείσδυσης νερών βροχής, που θα έχει ως συνέπεια την πρόκληση ανεπανόρθωτης ζημιάς στο θερμομονωτικό υλικό, και
- Αποφυγή της δημιουργίας θερμογεφυρών που αυξάνουν τις θερμικές απώλειες και δημιουργούν θερμικές τάσεις στα επιμέρους υλικά που συνθέτουν την κατασκευή (Σχήμα 6.5).

Επιπλέον, πρέπει να αποφεύγεται η διάτρηση των εξωτερικών τοιχωμάτων για να περάσουν σωληνώσεις εγκαταστάσεων ή άλλου είδους κατασκευές. Όπου αυτό είναι απαραίτητο, τότε επιβάλλεται ιδιαίτερη μέριμνα για την προστασία των ευάλωτων αυτών στοιχείων, τόσο από τη θερμότητα όσο και από την υγρασία.

γ. Τα ανοίγματα, που είναι από τα πιο ευάλωτα στοιχεία ενός κτιρίου. Για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών πρέπει οι αρμοί συναρμογής των πλαισίων να είναι απόλυτα αδιαπέραστοι από τον αέρα. Τα υλικά που συγκροτούν το κούφωμα (ξύλο, αλουμίνιο, πλαστικό) να είναι αρίστης ποιότητας ώστε να αποφεύγονται οι παραμορφώσεις των φύλλων. Για ξύλινα παράθυρα ή πόρτες, αυτό δεν είναι εύκολα κατορθωτό εξαιτίας της φύσης του υλικού. Στην περίπτωση όμως κουφωμάτων αλουμινίου, η πρόβλεψη ειδικών παρεμβυσμάτων στους αρμούς επαφής δίνει συνήθως άριστα αποτελέσματα. Επιπλέον τα υαλοστάσια των ανοιγμάτων θα πρέπει να έχουν χαμηλό συντελεστή θερμοπερατότητας.



Σχήμα 6.5: Επιδράσεις σε πλευρικό τοίχωμα [37]

δ. Το κατώτερο δάπεδο του κτιρίου το οποίο όμως δεν χρειάζεται πάντα θερμική προστασία, εκτός εάν χρησιμοποιείται ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης (δάπεδο ισογείου σε επαφή με το έδαφος). Οποσδήποτε όμως, απαιτείται θερμική προστασία στις περιπτώσεις δαπέδου εκτεθειμένου προς το εξωτερικό περιβάλλον (π.χ. κτίριο σε πυλωτή).

ε. Τα στηθαία των παραθύρων, όπου συνήθως τοποθετούνται τα θερμαντικά σώματα επειδή λειτουργικοί λόγοι επιβάλλουν συχνά τη μείωση του πάχους του τοιχώματος στις θέσεις αυτές. Επίσης, η έντονη θερμική ακτινοβολία προκαλεί συμπύκνωση στις θέσεις αυτές γρηγορότερα παρά στις υπόλοιπες επιφάνειες του χώρου, με αποτέλεσμα να καταπονούνται περισσότερο τα δομικά στοιχεία που γειτονεύουν με σώματα θέρμανσης.

στ. Τα μπαλκόνια και οι προεξοχές της πλάκας, όταν δεν προστατεύονται από τη θερμότητα, λειτουργούν σαν θερμογέφυρες, με αποτέλεσμα να μην ελέγχονται απόλυτα οι θερμικές απώλειες των εσωτερικών χώρων και να προκαλούνται βλάβες στις κατασκευές λόγω συμπύκνωσης. Όμως η μόνωσή τους είναι συχνά προβληματική γιατί ανεβάζει υπέρμετρα το ολικό κόστος για τη θερμομόνωση του κτιρίου.

6.4 Τυπικές περιπτώσεις θερμομόνωσης κτιριακού κελύφους

6.4.1 Εισαγωγή στις τυπικές περιπτώσεις θερμομόνωσης [37, 42]

Το θερμομονωτικό υλικό στη διατομή των διαφόρων δομικών στοιχείων μπορεί να βρίσκεται σε θέση πλησιέστερη προς το εξωτερικό περιβάλλον είτε σε θέση πλησιέστερη προς τον εσωτερικό χώρο του κτιρίου.

Οι βασικοί τρόποι θερμομόνωσης της εξωτερικής τοιχοποιίας, δοκών και υποστυλωμάτων είναι οι ακόλουθοι:

- Θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας:
 - Θερμομόνωση στην εσωτερική επιφάνεια
 - Θερμομόνωση στην εξωτερική επιφάνεια
 - Θερμομόνωση στον πυρήνα

- Χρήση θερμομονωτικών τούβλων
- Θερμομόνωση δοκών - υποστυλωμάτων:
 - Θερμομόνωση στην εσωτερική παρειά
 - Θερμομόνωση στην εξωτερική παρειά
- Οι οροφές (οριζόντιες ή κεκλιμένες) με φέρουσα πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος δύνανται να θερμομονώνονται:
 - εξωτερικά, αν το μονωτικό υλικό τοποθετείται πάνω απ'την φέρουσα πλάκα,
 - εσωτερικά, αν το μονωτικό υλικό τοποθετείται κάτω απ'την φέρουσα πλάκα.
- Τα δάπεδα δύνανται να θερμομονώνονται:
 - κάτω από την φέρουσα πλάκα,
 - πάνω από την φέρουσα πλάκα.

6.4.2 Θερμομόνωση τοιχοποιίας, δοκών-υποστυλωμάτων [37]

Η τοιχοποιία καταλαμβάνει κατά κανόνα το μεγαλύτερο ποσοστό της εξωτερικής επιφάνειας ενός κτιρίου για το λόγο αυτό και όταν δεν είναι θερμομονωμένη, παρουσιάζει μεγάλες θερμικές απώλειες. Ωστόσο για την αποτελεσματική θερμική προστασία του κτιρίου είναι απαραίτητη και η θερμομόνωση των τοιγίων, δοκών και υποστυλωμάτων, των στοιχείων δηλαδή σκυροδέματος του φέροντα οργανισμού. Η θερμομόνωση αυτών των δομικών στοιχείων μπορεί να επιτευχθεί με τους διάφορους εναλλακτικούς τρόπους που περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω.

Εσωτερική θερμομόνωση τοιχοποιίας, δοκών-υποστυλωμάτων

Η εσωτερική θερμομόνωση τοποθετείται σε κτίρια στα οποία μας ενδιαφέρει η άμεση απόδοση του συστήματος θέρμανσης/ψύξης χωρίς χρονική καθυστέρηση, και δεν μας ενδιαφέρει η απόδοση θερμότητας από τα δομικά στοιχεία μετά τη διακοπή του κλιματισμού, δηλαδή, παραθεριστικές κατοικίες, σχολεία, κτίρια γραφείων ημερήσιας λειτουργίας κ.λπ.

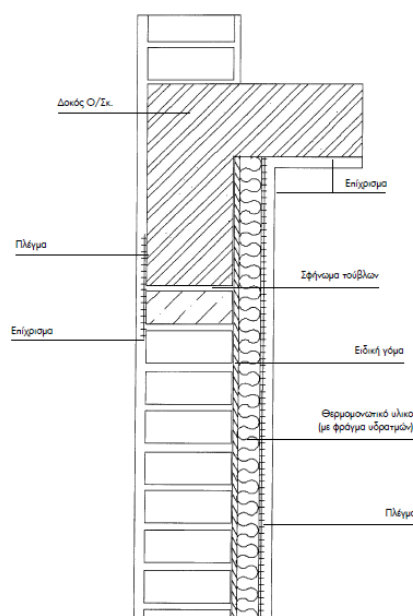
Η εσωτερική θερμομόνωση (Σχήμα 6.6) καλύπτεται με συνδυασμό πλέγματος και επιχρίσματος, με γυψοσανίδα κ.λπ.

Τα *πλεονεκτήματα* της εσωτερικής θερμομόνωσης είναι:

- Απλή και γρήγορη κατασκευή
- Οικονομικότερη κατασκευή σε σχέση με την εξωτερική θερμομόνωση
- Άμεση απόδοση του συστήματος θέρμανσης/ψύξης
- Τα μονωτικά υλικά δεν χρειάζονται προστασία από εξωτερικές επιδράσεις (άνεμοι, υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία κ.λπ.)

Τα *μειονεκτήματά* της είναι:

- Πρόβλημα θερμογεφυρών (κυρίως στα σημεία όπου υπάρχουν συναρμογές εξωτερικών και εσωτερικών τοίχων).
- Γρήγορη ψύξη του χώρου μετά τη διακοπή της θέρμανσης.
- Αδυναμία προστασίας δομικών στοιχείων από συστολές - διαστολές λόγω εξωτερικών θερμοκρασιακών μεταβολών.
- Πιθανότητα δημιουργίας επιφανειακής υγρασίας από συμπύκνωση υδρατμών που για να αποφευχθεί απαιτείται η τοποθέτηση φράγματος υδρατμών (φύλλα αλουμινίου, ασφαλτόπανο, νάιλον κ.λπ.) μπροστά από το μονωτικό υλικό και προς την κλιματιζόμενη πλευρά του χώρου.
- Δυσκολία, όχι αξεπέραστη, στο να κρεμαστούν ράφια, πίνακες κ.λπ. μεγάλου βάρους και τοποθέτηση ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων.
- Στην περίπτωση που εφαρμοστεί σε υφιστάμενα κτίρια εμποδίζει την ομαλή λειτουργία του εσωτερικού χώρου κατά την κατασκευή και μειώνει το ωφέλιμο εμβαδόν του.



Σχήμα 6.6: Εσωτερική θερμομόνωση τοίχου με μονωτικό υλικό με φράγμα υδρατμών(μπροστά από το μονωτικό και προς την κλιματιζόμενη πλευρά του χώρου).

Εξωτερική θερμομόνωση τοιχοποιίας δοκών - υποστυλωμάτων

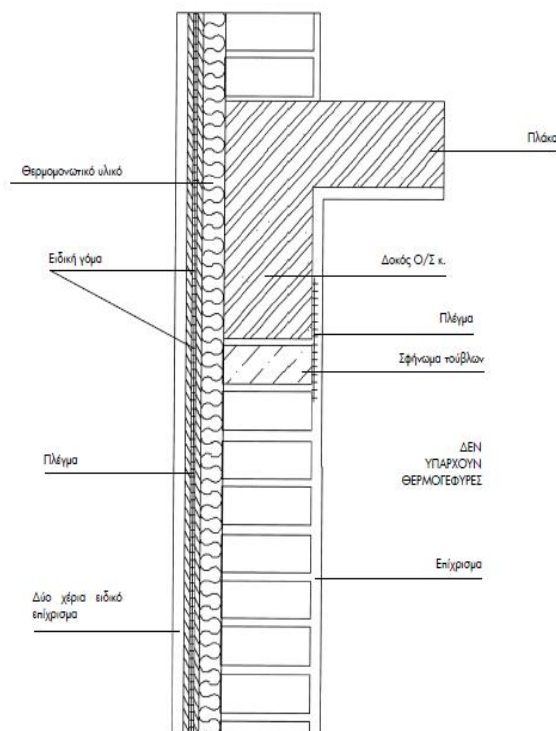
Τοποθετείται σε κτίρια στα οποία δεν μας ενδιαφέρει η άμεση απόδοση του συστήματος θέρμανσης/ ψύξης, ενώ μας ενδιαφέρει η απόδοση θερμότητας από τα δομικά στοιχεία και μετά τη διακοπή του κλιματισμού, δηλαδή σε κατοικίες μόνιμης διαμονής, νοσοκομεία κ.λπ. Η χρήση της σε υφιστάμενα μη θερμομονωμένα κτίρια πρέπει να γίνεται με προσοχή, λόγω δυσκολίας κατασκευής, υψηλού κόστους και αύξησης περιμέτρου του κτιρίου που μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα συντελεστή δόμησης.

Τα *πλεονεκτήματα* της εξωτερικής θερμομόνωσης (Σχήμα 6.7) είναι:

- Διατήρηση της θερμότητας στο χώρο και μετά τη διακοπή της θέρμανσης λόγω της θερμοχωρητικότητας των δομικών στοιχείων.
- Μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας λόγω μικρότερης χρονικά χρήσης του συστήματος θέρμανσης/ψύξης εξαιτίας της αποθήκευσης ενέργειας στα νότια κυρίως δομικά στοιχεία από τον ήλιο εφόσον εξασφαλίζεται η απαιτούμενη θερμοχωρητικότητα με την κατασκευή τοιχοποιίας, δοκών και υποστυλωμάτων επαρκούς πάχους.
- Προστασία εξωτερικών επιφανειών τοίχων από συστολές και διαστολές λόγω εξωτερικών θερμοκρασιακών μεταβολών.
- Ελαχιστοποίηση έως μηδενισμός των θερμογεφυρών.
- Σε περίπτωση που εφαρμοστεί σε υφιστάμενα κτίρια αφενός μεν δεν εμποδίζει τη λειτουργία του εσωτερικού χώρου κατά την κατασκευή και αφετέρου δεν μειώνει το ωφέλιμο εμβαδόν του.
- Προστασία από καιρικές συνθήκες

Τα *μειονεκτήματα* της είναι:

- Αυξημένο κόστος κατασκευής.
- Απαιτείται προσοχή στην κατασκευή (ορθή επιλογή υλικών, ορθή τοποθέτηση) για αποφυγή δημιουργίας ρωγμών στην όψη.
- Δυσκολία/Αδυναμία εφαρμογής σε κτίρια με έντονες εξωτερικές μορφολογικές όψεις.



Σχήμα 6.7: Εξωτερική θερμομόνωση τοίχου με μονωτικό υλικό

Θερμομόνωση πυρήνα εξωτερικής τοιχοποιίας

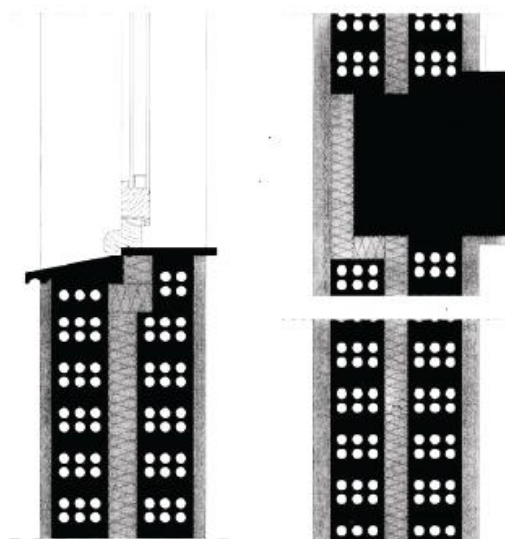
Η εξωτερική τοιχοποιία με διάκενο (Σχήμα 6.8), συνήθως αποτελείται από δύο επιμέρους τοίχους που ενώνονται μεταξύ τους. Ο εξωτερικός τοίχος είναι, συνήθως, από τούβλο όπως και ο εσωτερικός, παρόλο που χρησιμοποιούνται και κατασκευές τούβλου/μπλοκ και μπλοκ/μπλοκ. Για συμμόρφωση με τις ελάχιστες απαιτήσεις θερμομόνωσης που ισχύουν, θα πρέπει να τοποθετηθεί θερμική μόνωση στο διάκενο.

Ο εσωτερικός επιμέρους τοίχος από τούβλο θα απορροφήσει και θα συγκρατήσει τη θερμική ενέργεια ενώ το κτίριο θερμαίνεται. Ο τοίχος θα επιστρέψει τη θερμότητα αυτή στα δωμάτια όταν το κτίριο δεν θερμαίνεται, διατηρώντας έτσι μια πιο ομοιόμορφη εσωτερική θερμοκρασία. Ο τοίχος από τούβλα είναι πορώδης. Σε μακρές περιόδους βροχοπτώσεων, το νερό της βροχής θα διεισδύσει από τον εξωτερικό τοίχο και μπορεί να τρέξει στο εσωτερικό μέτωπο του τοίχου αυτού.

Για να αποφευχθεί το πέρασμα της υγρασίας από τον εξωτερικό τοίχο στο θερμομονωτικό υλικό, θα πρέπει να υπάρχει ένα σαφές διάκενο μεταξύ του εξωτερικού τοίχου και των θερμομονωτικών πλακών. Ένα καθαρό κενό πάχους 5 cm, είναι κατάλληλο για όλους τους βαθμούς έκθεσης. Για ορισμένες περιπτώσεις, ένα

καθαρό κενό των 2,5 cm θα είναι αρκετό για να αποτρέψει την είσοδο της υγρασίας στο θερμομονωτικό υλικό

Η χρήση θερμομονωτικών υλικών εντός ενός διακένου που δεν αερίζεται, δεν προδικάζει τις ιδιότητες πυραντοχής του τοίχου. Οι πλάκες του θερμομονωτικού υλικού είναι απίθανο να αναφλεγούν αν η φωτιά διεισδύσει σε ένα κενό που δεν αερίζεται. Η εξάπλωση της φλόγας θα είναι ελάχιστη αφού δεν θα υπάρχει αρκετός αέρας για να διατηρήσει την καύση.



Σχήμα 6.8: Θερμομόνωση τοιχοποιίας στο διάκενο μεταξύ των δύο τοίχων.

Τοιχοποιία από θερμομονωτικά τούβλα

Στις περιπτώσεις αυτές δεν τοποθετούνται μονωτικά υλικά καθότι τα δομικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της τοιχοποιίας είναι ειδικά τούβλα που εμφανίζουν θερμομονωτικές ιδιότητες (τούβλα από κυψελωτό σκυρόδεμα, ειδικά θερμομονωτικά τούβλα), ή τούβλα που περιλαμβάνουν στην εργοστασιακή κατασκευή τους θερμομονωτικά υλικά. Δοκοί και υποστυλώματα μονώνονται εσωτερικά ή εξωτερικά.

Τα *πλεονεκτήματα* της είναι:

- Ευκολία κατασκευής
- Εξοικονόμηση ωφέλιμου εσωτερικού χώρου
- Ταυτόχρονη εξασφάλιση ικανοποιητικού επιπέδου ακουστικής άνεσης

Τα μειονεκτήματα της είναι :

- Δυσκολία κρεμάσματος πινάκων, ραφιών κ.λπ. σε κατασκευές με κυψελωτό σκυρόδεμα.
- Χρήση σε ελαφριές κατασκευές.
- Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις που απαιτείται υψηλή θερμοχωρητικότητα.

6.4.3 Θερμομόνωση κουφωμάτων [37]

Η τοποθέτηση, διαστασιολόγηση και τυπολογία των κουφωμάτων κατά τη διάρκεια του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού είναι ένα ιδιαίτερο πρόβλημα με πολλές παραμέτρους, όπως:

- Θέα
- Ηλιοφάνεια
- Σκιασμός
- Φωτισμός
- Αερισμός
- Δροσισμός
- Μορφή
- Ενεργειακά οφέλη
- Ενεργειακές απώλειες

Τα κουφώματα είναι παρείς του κτιρίου και στοιχεία επαφής με το περιβάλλον, άρα στοιχεία από τα οποία μπορεί να διαφύγει ενέργεια. Επομένως, ο ρόλος τους στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και ψύξη των χώρων είναι σημαντικός. Το χειμώνα χάνεται θερμότητα από μέσα προς τα έξω ενώ το καλοκαίρι εισέρχεται θερμότητα στον εσωτερικό χώρο από το ζεστό εξωτερικό περιβάλλον. Η διαδικασία αυτή μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τη χρήση κατάλληλα κατασκευασμένων, ενεργειακά αποδοτικών κουφωμάτων. Τα κουφώματα αυτά θα πρέπει να έχουν υαλοπίνακες και σκελετούς με καλές θερμομονωτικές ιδιότητες και επί πλέον, θα πρέπει να είναι αεροστεγανά, ώστε να εμποδίζουν τη διαφυγή θερμότητας από χαραμάδες οι οποίες μπορούν να φέρουν σημαντικές απώλειες θερμότητας, όπως παρατηρείται σε παλαιά κτίρια ή κτίρια κακής κατασκευής.

Υπάρχουν κουφώματα ξύλινα, μεταλλικά, αλουμινίου και συνθετικά πλαστικά σε διάφορες τυπολογίες ανοίγματος (επάλληλα, συρόμενα εσωτερικά σε τοίχο ή

εξωτερικά, ανοιγόμενα, περιστρεφόμενα περί οριζόντιο ή κατακόρυφο άξονα) και σταθερά.

Από ενεργειακής πλευράς καλό είναι να αποφεύγονται τα εσωτερικά σε τοίχο συρόμενα κουφώματα λόγω αυξημένων θερμικών απωλειών.

Πλαίσια:

Από πλευράς υλικού κατασκευής των πλαισίων των κουφωμάτων, τα πλαίσια αλουμινίου έχουν τις μεγαλύτερες θερμικές απώλειες, εκτός αν υπάρχει φράγμα ροής θερμότητας (thermal break) τοποθετημένο στον πυρήνα του προφίλ του αλουμινίου.

Τα ξύλινα και συνθετικά πλαστικά πλαίσια παρουσιάζουν χαμηλό συντελεστή θερμοπερατότητας και ως εκ τούτου εμποδίζουν τη διαφυγή θερμότητας.

Παντζούρια:

Τα παντζούρια που χρησιμοποιούνται στα παράθυρα, όποτε χρησιμοποιούνται, είναι ομοίως ξύλινα, αλουμινίου και πλαστικά συνθετικά σε τυπολογίες όπως εξωτερικά ή εσωτερικά ανοιγόμενα, συρόμενα και ρολά.

Τα κουτιά των ρολών καλό είναι να μονώνονται εσωτερικά και τα φύλλα των ρολών εάν είναι πλαστικά να έχουν γέμιση με μονωτικό αφρό.

Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δίνεται στη θέση τους σε σχέση με το πάχος της τοιχοποιίας. Έτσι προτιμώνται παράθυρα τα οποία βρίσκονται σε συνέχεια με το θερμομονωτικό υλικό των τοίχων.

Υαλοστάσια:

Η χρήση των διπλών υαλοστασίων με ή χωρίς χαμηλό συντελεστή εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας ή/ και με θερμομονωτικό αέριο στο διάκενο, προσφέρουν εκτός από θερμομόνωση και ηχοπροστασία.

Πρέπει επιπλέον όμως να τονιστεί ότι η ορθολογική χρήση των κουφωμάτων και των παντζουριών από τους χρήστες μπορεί να συνεισφέρει πολλαπλάσια οφέλη στην εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια, καθώς και στον δροσισμό τους σε συνδυασμό με διάφορα άλλα αρχιτεκτονικά στοιχεία του κτιρίου όπως πέργκολες, σκίαστρα κ.λπ.

6.4.4 Θερμομόνωση σε οροφές και στέγες

6.4.4.1 Θερμομόνωση επίπεδης και κεκλιμένης οροφής από οπλισμένο σκυρόδεμα

Οροφή (Σχήμα 6.9) θεωρείται η κατασκευή η οποία είναι κεκλιμένη ή οριζόντια και όπως έχουμε αναφέρει αποτελεί εκείνο το στοιχείο του εξωτερικού κελύφους που δέχεται εντονότερα από όλα τα άλλα τις επιδράσεις των καιρικών φαινομένων. Οι σωστές κατασκευαστικές λύσεις και η σωστή θερμομόνωση συμβάλλουν στην εκτόνωση των καταπονήσεων που δέχονται οι οροφές [30].

Το θερμομονωτικό υλικό μπορεί να τοποθετηθεί:

- A. Κάτω από την πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος
- B. Πάνω από την πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος

A. Θερμομόνωση κάτω από την πλάκα

Η θερμομόνωση αυτή (Σχήμα 6.10) τοποθετείται σε περιπτώσεις κτιρίων στα οποία μας ενδιαφέρει η άμεση απόδοση του συστήματος κλιματισμού (εξοχικές κατοικίες, γραφεία, καταστήματα κ.λπ.).

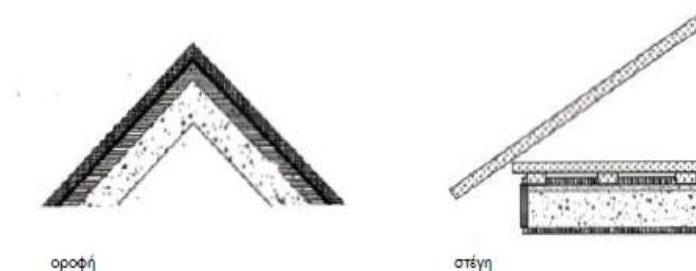
Το μονωτικό υλικό τοποθετείται είτε πριν τη σκυροδέτηση είτε μετά. Καλύπτεται με συνδυασμό πλέγματος και επιχρίσματος ή με γυψοσανίδα ή με όποιου τύπου ψευδοροφή, εφόσον το επιτρέπει το ύψος του χώρου.

Πλεονεκτήματα:

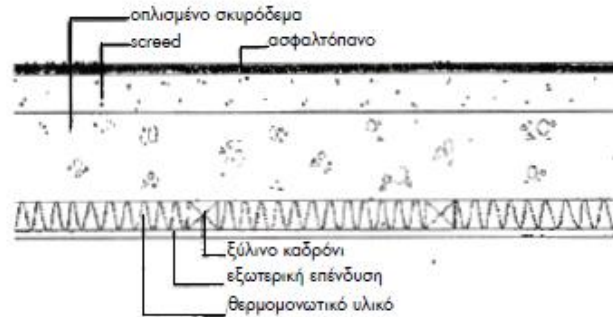
- Άμεση απόδοση συστήματος κλιματισμού
- Τα μονωτικά υλικά δε χρειάζονται προστασία από εξωτερικές επιδράσεις (άνεμοι, υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία)

Μειονεκτήματα:

- Γρήγορη ψύξη του χώρου μετά τη διακοπή της θέρμανσης
- Πιθανότητα δημιουργίας υγρασίας και μούχλας στις γωνιές λόγω συμπύκνωσης των υδρατμών [37].



Σχήμα 6.9: Διάκριση μεταξύ οροφής και στέγης [37].



Σχήμα 6.10: Θερμομόνωση επίπεδης οροφής κάτω από την πλάκα σκυροδέματος [37].

B. Θερμομόνωση πάνω από την πλάκα [37]

Η θερμομόνωση αυτή τοποθετείται σε κτίρια στα οποία δεν μας ενδιαφέρει η άμεση απόδοση του συστήματος κλιματισμού ενώ μας ενδιαφέρει η απόδοση από τα δομικά στοιχεία και μετά τη διακοπή του κλιματισμού.

Το θερμομονωτικό υλικό, ανάλογα με τη συμπεριφορά του στην υγρασία, τοποθετείται κάτω από τη στεγάνωση (περίπτωση κλασσικής μόνωσης) ή πάνω από αυτήν (ανεστραμμένη μόνωση).

Στην πρώτη περίπτωση όποιο στεγανωτικό και να χρησιμοποιηθεί απαιτείται φράγμα υδρατμών πάνω από την πλάκα.

Πλεονεκτήματα:

- Διατήρηση της θερμότητας στο χώρο και μετά τη διακοπή της θέρμανσης λόγω της θερμοχωρητικότητας της πλάκας.
- Μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας λόγω μικρότερης χρονικά χρήσης του συστήματος κλιματισμού, εξαιτίας της αποθήκευσης ενέργειας στην πλάκα.
- Προστασία εξωτερικής επιφάνειας πλάκας από συστολές και διαστολές λόγω εξωτερικών θερμοκρασιακών μεταβολών.
- Στην περίπτωση που εφαρμοστεί σε υφιστάμενα κτίρια αφενός μεν δεν εμποδίζει τη λειτουργία του εσωτερικού χώρου κατά την κατασκευή και αφετέρου δεν μειώνει το ωφέλιμο ύψος του.

Μειονεκτήματα:

- Απαιτείται προσοχή στην κατασκευή σε συνδυασμό με τη στεγάνωση.

6.4.4.2 Θερμομόνωση στέγης [37]

Στέγη θεωρείται η κατασκευή η οποία συνδυάζει κεκλιμένη και οριζόντια οροφή (Σχήμα 6.9). Οι στέγες κάτω από τις οποίες συνήθως κατοικούν ή εργάζονται άτομα θεωρούνται θερμές στέγες. Σ' αυτή την περίπτωση η θερμομόνωση τοποθετείται εξωτερικά ή εσωτερικά στην κεκλιμένη επιφάνεια της στέγης.

Η πρώτη περίπτωση προτιμάται κυρίως κατασκευαστικά ενώ η δεύτερη επισκευαστικά. Και στις δύο περιπτώσεις πρέπει να εξασφαλίζεται η ύπαρξη αερισμού για αποφυγή συμπύκνωσης υδρατμών. Σε περίπτωση που ο χώρος μεταξύ της κεκλιμένης και οριζόντιας οροφής έχει περιορισμένη επισκεψιμότητα, τότε η στέγη χαρακτηρίζεται ψυχρή. Σε αυτήν την περίπτωση η θερμομόνωση γίνεται επί της οριζόντιας πλάκας.

Τα θερμομονωτικά υλικά που προορίζονται για τη θερμομόνωση στεγών πρέπει να έχουν ιδιότητες κατάλληλες για την εφαρμογή όπως:

- Χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ για να χρησιμοποιείται το μικρότερο δυνατό πάχος υλικού.
- Αντίσταση στη διαπερατότητα υδρατμών για να μειώνεται ο κίνδυνος συμπύκνωσης υδρατμών στην περιοχή επαφής στοιχείου από σκυρόδεμα και μονωτικού υλικού, όταν το τελευταίο τοποθετείται εσωτερικά.
- Ευκολία χειρισμού όσον αφορά το βάρος, τις διαστάσεις στις μηχανικές αντοχές και στον τρόπο στερέωσης του υλικού.
- Ευκολία κοπής και διαμόρφωσης στα σχήματα των στοιχείων της στέγης.
- Δυνατότητα καλής συναρμογής των τεμαχίων του μονωτικού υλικού, για να αποφεύγονται οι θερμογέφυρες και οι γραμμές συμπύκνωσης υδρατμών στους αρμούς του.

6.4.5 Θερμομόνωση δαπέδων εκτεθειμένων στο εξωτερικό περιβάλλον [37]

Τα δάπεδα που βρίσκονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πυλωτές) μπορούν να φέρουν τη θερμομονωτική στρώση είτε πάνω από την φέρουσα πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος είτε κάτω από αυτήν. Η επιλογή της θέσης του μονωτικού υλικού στη διατομή του δαπέδου συνδέεται κατ' αρχήν με τη χρήση του κτιρίου.

Στην περίπτωση όπου το θερμομονωτικό υλικό τοποθετείται πάνω από την φέρουσα πλάκα του δαπέδου, δε γίνεται εκμετάλλευση της θερμοχωρητικότητας των υποκείμενων συμπαγών στρώσεων όπως της πλάκας σκυροδέματος και της εξισωτικής στρώσης όταν αυτή τοποθετείται κάτω από το μονωτικό υλικό. Αυτός ο

τρόπος θερμομόνωσης δαπέδων επιλέγεται σε περιπτώσεις κτιρίων με διακοπτόμενη χρήση (όπως εξοχικές κατοικίες, γραφεία, καταστήματα ημερήσιας χρήσης) στα οποία μας ενδιαφέρει η άμεση απόδοση του συστήματος κλιματισμού.

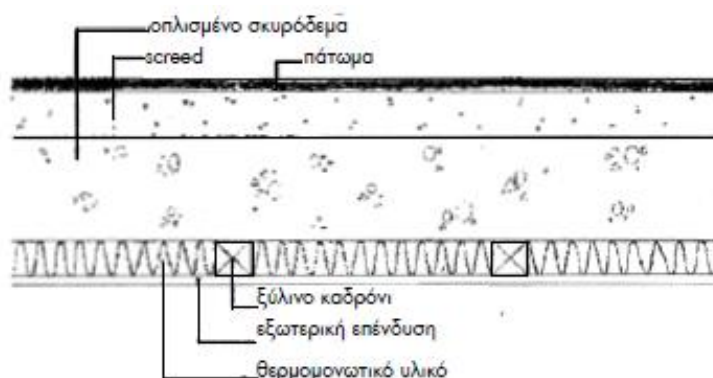
Η θερμομόνωση σε εκτεθειμένο δάπεδο τοποθετείται

- A. Στην κάτω πλευρά της πλάκας, ή
- B. Στην πάνω πλευρά της πλάκας

A. Θερμομόνωση στην κάτω πλευρά της πλάκας

Η θερμομόνωση αυτή (Σχήμα 6.11) τοποθετείται σε κτίρια στα οποία δεν μας ενδιαφέρει η άμεση απόδοση του συστήματος κλιματισμού ενώ μας ενδιαφέρει η απόδοση θερμότητας από τα δομικά στοιχεία και μετά τη διακοπή του κλιματισμού (μόνιμες κατοικίες, νοσοκομεία κ.λπ.).

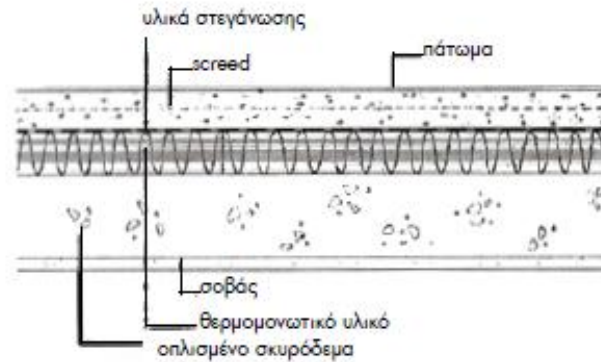
Το μονωτικό υλικό τοποθετείται είτε πριν την σκυροδέτηση είτε μετά. Καλύπτεται κυρίως με συνδυασμό πλέγματος και επιχρίσματος.



Σχήμα 6.11: Θερμομόνωση δαπέδου εκτεθειμένου στο εξωτερικό περιβάλλον τοποθετημένη στην κάτω πλευρά της πλάκας.

B. Θερμομόνωση στην πάνω πλευρά της πλάκας

Η θερμομόνωση αυτή (Σχήμα 6.12) τοποθετείται σε περιπτώσεις κτιρίων στα οποία μας ενδιαφέρει η άμεση απόδοση του συστήματος κλιματισμού (εξοχικές κατοικίες, γραφεία, καταστήματα ημερήσιας χρήσης κ.λπ.).



Σχήμα 6.12: Θερμομόνωση δαπέδου εκτεθειμένου στο εξωτερικό περιβάλλον τοποθετημένη στην πάνω πλευρά της πλάκας.

6.5 Θερμομονωτικά υλικά

6.5.1 Γενικά στοιχεία για τα θερμομονωτικά υλικά [38]

Τα θερμομονωτικά υλικά καθορίζουν τη συμπεριφορά του κτιριακού κελύφους από πλευράς δομικής φυσικής και έχουν ως προορισμό να μειώσουν το συντελεστή θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων με στόχο τη μείωση των θερμικών απωλειών κατά τη χειμερινή περίοδο και μείωση της θερμικής προσόδου κατά τη περίοδο δροσισμού.

Η μετάδοση της θερμότητας μέσα από τα αδιαφανή δομικά στοιχεία και υλικά γίνεται στο μεγαλύτερο ποσοστό με αγωγιμότητα, η οποία ποσοτικοποιείται, στα ομοιογενή και ισότροπα υλικά, με τη βοήθεια του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ . Στα σύνθετα δομικά στοιχεία η αγωγιμότητα ποσοτικοποιείται με τη βοήθεια του συντελεστή θερμοπερατότητας U .

Γενικά, τα θερμομονωτικά υλικά οφείλουν την ιδιότητα της θερμικής αντίστασης στον αέρα που περιέχεται μέσα τους. Ο αέρας θεωρείται «κακός αγωγός» της θερμότητας, δηλαδή, έχει χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ . Σε θεωρητικό επίπεδο η θερμική αγωγιμότητα ελαχιστοποιείται σε συνθήκες κενού, επειδή η έλλειψη μάζας καθιστά αδύνατη τη μεταφορά της θερμότητας με αγωγιμότητα. Στην πράξη, η μικρότερη δυνατή θερμική αγωγιμότητα επιτυγχάνεται όταν υπάρχει ακίνητος, ξηρός αέρας. Τα θερμομονωτικά υλικά επιτυγχάνουν το σκοπό τους, ακριβώς επειδή διαθέτουν, στην «πορώδη» μάζα τους, πολλούς μικρούς θύλακες ακίνητου αέρα, εγκλωβισμένου σε κυψέλες ή μέσα σε ένα πλέγμα ινών. Για

το λόγο αυτό τα θερμομονωτικά υλικά έχουν κατά κανόνα και μικρό φαινόμενο βάρους. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ ενός πορώδους υλικού είναι μικρότερος σε σχέση με το λ του ίδιου υλικού εάν αυτό ήταν πιο συμπαγές. Το φαινόμενο αυτό και η λειτουργία του πορώδους των υλικών οδήγησε στην ανάπτυξη θερμομονωτικών υλικών, κοινό γνώρισμα των οποίων είναι η ύπαρξη σε μεγάλο ποσοστό πόρων που περιέχουν είτε αέρα είτε κάποιο άλλο αέριο που χαρακτηρίζεται ως κακός αγωγός της θερμότητας και άρα διαθέτει μικρό συντελεστή αγωγιμότητας λ . Η πορώδης δομή των βιομηχανικά παραγόμενων μονωτικών υλικών επιτυγχάνεται με τη χρήση λεπτών ακανόνιστων ινών ή με την παραγωγή κυψελίδων από στερεοποιητικά υλικά.

Η θερμική τους αγωγιμότητα καθορίζεται πρωταρχικά από τον αριθμό και το μέγεθος των κυψελών που υπάρχουν στη μάζα του υλικού τους και που περιέχουν τον ακίνητο, με θερμομονωτικές ιδιότητες, αέρα.

Σε μικρότερο βαθμό επηρεάζεται από τη χημική σύσταση του υλικού, τη θερμοκρασία και την υγρασία στην οποία βρίσκονται. Η αύξηση της υγρασίας σημαίνει και αύξηση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, ανεπιθύμητη για ένα θερμομονωτικό υλικό, καθώς το εγκλωβισμένο νερό, με το κατά πολύ μεγαλύτερο λ από αυτό του αέρα καταλαμβάνει τη θέση του τελευταίου. Σημειώνεται ότι το νερό και ο πάγος έχουν περίπου 24 και 92 φορές, αντίστοιχα, μεγαλύτερο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ από τον αέρα. Για το λόγο αυτό η υγρασία θεωρείται και το μεγαλύτερο αίτιο προβλημάτων της θερμομόνωσης σε μια κατασκευή.

6.5.2 Ιδιότητες και κριτήρια επιλογής θερμομονωτικών υλικών

Οι ιδιότητες, η συμπεριφορά και τα γενικότερα χαρακτηριστικά κάθε θερμομονωτικού υλικού καθορίζουν το εύρος και τις δυνατότητες εφαρμογής τους στα κτίρια. Η συνεκτίμηση των ιδιοτήτων των θερμομονωτικών υλικών και των απαιτήσεων της κατασκευής αποτελούν και το κριτήριο για την επιλογή του κατάλληλου προϊόντος που θα εξασφαλίζει για μεγάλο χρονικό διάστημα την απαραίτητη θερμική προστασία στο κτίριο, σε συνδυασμό πάντα με τα διάφορα οικονομικά στοιχεία δηλαδή το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης, τη διακίνηση του υλικού στην αγορά, το χρόνο απόσβεσης της δαπάνης και το ποσοστό προστιθέμενης αξίας στην όλη κατασκευή [37].

Στις ιδιότητες λοιπόν των θερμομονωτικών υλικών συγκαταλέγονται [38]:

- Η πυκνότητα,
- Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας
- Η συμπεριφορά έναντι της υγρασίας,
- Η αντοχή του σε θερμικές καταπονήσεις,
- Η επίδραση σ' αυτό της ηλιακής ακτινοβολίας
- Η πυραντοχή του
- Η ηχομονωτική του ικανότητα
- Οι μηχανικές του αντοχές
- Η διάρκεια ζωής του

Κριτήρια επιλογής των θερμομονωτικών υλικών μπορεί να αποτελέσουν [37]:

α. Θερμοτεχνικά χαρακτηριστικά

- Η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ .
- Η εξάρτηση του λ από τη θερμοκρασία.
- Η εξάρτηση του λ από την υγρασία. Η τιμή του λ αυξάνει σημαντικά με τη συμπύκνωση υδρατμών μέσα στη μάζα του και αν διαβραχεί όλη η μάζα του τότε παύει να υπάρχει θερμομονωτική δράση.
- Η ειδική θερμότητα.
- Ο συντελεστής θερμικής διαστολής. Όσο χαμηλότερος είναι, τόσο απομακρύνεται ο κίνδυνος οικοδομικών μικροζημιών ή καταστροφής των στεγανώσεων.

β. Τρόπος εφαρμογής

- Προκατασκευασμένα προϊόντα ή κατασκευή επί τόπου.
- Απαιτούμενα προστατευτικά μέτρα (για προστασία από μηχανικές βλάβες ή δυσμενείς περιβαλλοντικές επιδράσεις).
- Δυνατότητα ελέγχου κατά την κατασκευή.

γ. Μηχανικές ιδιότητες

- Αντοχή σε θλίψη, κάμψη και δονήσεις.
- Αλλοιώσεις με το χρόνο (γήρανση).
- Πυκνότητα.
- Ελαστικότητα, ευθραυστότητα.

δ. Χημική συμπεριφορά - ανθεκτικότητα

- Αντίσταση στη διάβρωση, στους μικροοργανισμούς, έντομα, κ.λπ.

- Συμπεριφορά στην υγρασία (τυχόν μεταβολή των διαστάσεων, διαπερατότητα στους υδρατμούς, απορροφητικότητα νερού).
- Συμπεριφορά στη φωτιά και μέγιστες επιτρεπόμενες θερμοκρασίες λειτουργίας.
- Βαθμός ευαισθησίας σε υπεριώδη ακτινοβολία, σε διάφορα αέρια και σε διάφορους διαλύτες ή το θαλασσινό νερό, κ.λπ.

ε. Οικονομικά Στοιχεία

- Επιπρόσθετο κόστος προμήθειας και εγκατάστασης.
- Χρόνος απόσβεσης δαπάνης.
- Ποσοστό προστιθέμενης αξίας στην όλη κατασκευή.

6.5.3 Περιγραφή συνηθισμένων θερμομονωτικών υλικών

Για την ταξινόμηση των θερμομονωτικών υλικών θα μπορούσε κανείς να επιλέξει πολλά κριτήρια, όπως για παράδειγμα την προέλευση τους (οργανικά ή ανόργανα), την δομή τους (ινώδη, κυψελώδη ή κοκκώδη), την παρασκευή τους (φυσικά ή τεχνητά), τις ιδιότητες τους (προσβαλλόμενα και μη προσβαλλόμενα από την υγρασία, ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες κτλ.). Ωστόσο η ταξινόμηση αυτή δεν έχει ιδιαίτερη σημασία για το μηχανικό ή τον κατασκευαστή, παρά μόνο για μια συστηματικότερη γνώση των ιδιοτήτων τους [30].

Παρακάτω περιγράφονται τα συνηθέστερα θερμομονωτικά υλικά χωρισμένα στις δύο κατηγορίες προέλευσης τους (ανόργανα και οργανικά) ενώ ακολουθεί και συνοπτική περιγραφή των εναλλακτικών θερμομονωτικών υλικών υψηλής τεχνολογίας.

Μονωτικά υλικά ανόργανης προέλευσης:

❖ Αμίαντος [40]

Σερπεντίνης ή κεροστίλβη 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. Επίσης, χρησιμοποιείται στις επενδύσεις σωλήνων και σιδερένιων κατασκευών. Η χρήση του, όμως, έχει περιοριστεί σημαντικά γιατί είναι υλικό επικίνδυνο για την υγεία.

❖ Περλίτης [38,40]

Πρόκειται στην πραγματικότητα για μία ευρύτερη οικογένεια διογκωμένων ανόργανων πορώδων υλικών, γνωστότερο των οποίων είναι ο περλίτης (Σχήμα 6.13). Τα διογκωμένα πορώδη υλικά αποτελούνται από τον περλίτη, το οξείδιο του πυριτίου και το διογκωμένο φυσικό γυαλί (ηφαιστειακής προέλευσης) ή από διογκωμένο γυαλί, το οποίο προέρχεται από καθαρό, χωρίς προσθήκες, γυαλί.



Σχήμα 6.13: Περλίτης [45]

Τα διογκωμένα πορώδη υλικά χρησιμοποιούνται κυρίως στη θερμομόνωση κτιρίων, στη θερμομόνωση δωματίων και στην εξασφάλιση των κλίσεων τους ενώ λόγω του αυξημένου πορώδους του και αναμεμιγμένος με τσιμέντο χρησιμοποιείται ως θερμομονωτική και ηχομονωτική στρώση κάτω από τα δάπεδα.

❖ Σκυροδέματα μικρής φαινόμενης πυκνότητας [40]

Είναι σκυροδέματα με μεγάλη περιεκτικότητα σε αέρα (π.χ. το YTONG) ή σκυροδέματα με αδρανή από αφρώδη πολυστυρόλη, τα οποία έχουν σφαιρική μορφή και διαβάθμιση 1/6 mm. Στην πρώτη περίπτωση με τη χρήση ειδικών χημικών μέσων δημιουργούνται φυσαλίδες μέσα στη μάζα του σκυροδέματος, ενώ στη δεύτερη περίπτωση η περιεκτικότητα σε αδρανή είναι $60 \div 80$ % κ.ό.

❖ Μονωτικά με συνθετικό τη γύψο [40]

Είναι γυψοσανίδες, πλάκες από γύψο ή γυψόχαρτο. Συχνά περιέχουν και άλλα ελαφρά συστατικά φυτικής ή ορυκτής προέλευσης. Ειδικές πλάκες από γύψο και χαρτί χρησιμοποιούνται για πυροπροστασία.

❖ Αφρώδες γυαλί [38, 40]

Πρόκειται για ένα υλικό ορυκτής προέλευσης με κυψελωτή δομή και υψηλών προδιαγραφών για εξειδικευμένες εφαρμογές. Τα βασικά συστατικά του αφρώδους γυαλιού είναι φυσικά, όπως άμμος, δολομίτης και ανθρακικό νάτριο.

Είναι ανθεκτικό στη σήψη και στα παράσιτα. Πρέπει να προστατεύεται από τη βροχή, γιατί μπορεί να διαβρωθεί από το στάσιμο νερό. Η βασική εφαρμογή του αφρώδους γυαλιού είναι η θερμομόνωση, αλλά χρησιμοποιείται και σε βιομηχανικές και τεχνικές εφαρμογές, όπως υψηλής θερμοκρασίας μόνωση και μόνωση σωλήνων.

❖ Ινώδη μονωτικά υλικά ανόργανης προέλευσης

Αναφέρονται συνήθως ως ίνες ορυκτής προέλευσης. Το μήκος των ινών είναι διαφορετικό για κάθε υλικό και εξαρτάται από την αντοχή του υλικού και τη διατομή των ινών. Είναι άφλεκτα υλικά και έχουν αυξημένη αντοχή στη γήρανση, παρουσιάζουν όμως μειωμένη ελαστικότητα. Τα υλικά χρησιμοποιούνται με τη μορφή παπλωμάτων, κοχυλιών και μαλακών ή σκληρών πλακών [40].

Στην κατηγορία αυτή των μονωτικών υλικών περιλαμβάνονται :

α. Υαλοβάμβακας [38, 46]

Ο υαλοβάμβακας (Σχήμα 6.14) προέρχεται από ορυκτές πρώτες ύλες, ανήκει στα ανόργανα ινώδη υλικά και τα βασικά συστατικά του είναι το διοξείδιο του πυριτίου, ο δολομίτης, ο ασβεστόλιθος, η ανθρακική σόδα και αλουμίνια. Αποτελεί μία καλή θερμομονωτική λύση υπό την προϋπόθεση ότι προστατεύεται από τη διείσδυση της υγρασίας. Όσο μικρότερο είναι το πάχος των ινών και όσο μεγαλύτερο το μήκος τους τόσο υψηλότερη θερμική προστασία προσφέρει αλλά και μεγαλύτερο κόστος αποκτά.

Η προσβολή από την υγρασία έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ . Για αυτό το λόγο, όταν χρησιμοποιείται ως μονωτικό υλικό στα κτίρια, κρίνεται απαραίτητη η προστασία του με φράγμα υδρατμών στη θερμή όψη. Αξίζει να σημειωθεί πως λόγω της ινώδους μορφής του, ο υαλοβάμβακας σε ελεύθερη κατάσταση δεν απορροφά υγρασία. Επειδή όμως

συχνά βρίσκεται κλεισμένος στα άλλα δομικά υλικά, η υγρασία που εγκλωβίζεται στα τελευταία τον προσβάλλει και εξαπλώνεται σε όλη την έκτασή του.



Σχήμα 6.14: Πλάκες υαλοβάμβακα [47].

Όσον αφορά στις ιδιότητες πυραντοχής του υαλοβάμβακα, προσοχή απαιτείται στα υλικά που προστίθενται για την βελτίωση της συνοχής (υδρίδιο του πυριτίου), στα συνδετικά υλικά (ρητίνες φαινοφορμαλδεΰδης), καθώς και στα υδατοαποθητικά έλαια (σιλικονόνες ή ορυκτέλαια), διότι αυτά τα υλικά δύναται να υποβαθμίσουν την αντοχή του υαλοβάμβακα σε περίπτωση πυρκαγιάς.

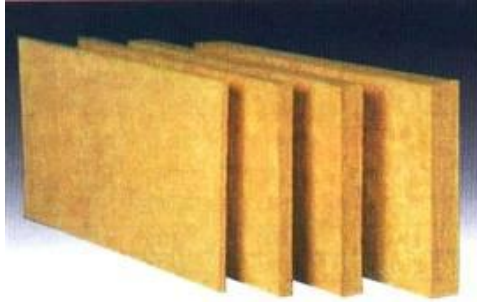
β. Πετροβάμβακας [38, 40]

Παρασκευάζεται από ορυκτά ασβεστολιθικής προέλευσης με ειδική κατεργασία. Αντέχει σε θερμοκρασίες μέχρι $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ και χρησιμοποιείται για μόνωση σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Στο εμπόριο συναντάται σε πάπλωμα χωρίς επένδυση ή με επένδυση μεταλλικού πλέγματος ή σκληρών πλακών, καθώς και σε μορφή κοχυλιών.

Ο πετροβάμβακας (Σχήμα 6.15) έχει υψηλή πυκνότητα (30 kg/m^3) και ιδιαίτερα καλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας που κυμαίνεται από $0,033$ ως $0,045\text{ W/(mK)}$. Η υψηλή θερμομονωτική ικανότητά του επηρεάζεται σημαντικά στην περίπτωση προσβολής του από την υγρασία, έτσι ώστε να κρίνεται αναγκαία η λήψη μέτρων προστασίας από την υγρασία είτε με την προσθήκη οργανικών ενώσεων του πυριτίου (σιλάνια) είτε με την τοποθέτηση επικάλυψης φύλλων αλουμινίου ή γύψου.

Η θερμομονωτική ικανότητα του πετροβάμβακα επηρεάζεται αρνητικά και από την αυξημένη παρουσία συμπαγών σφαιριδίων τήξης, χρώματος καφέ ή

μαύρου, που δημιουργούνται παράλληλα με της επιθυμητές ίνες στη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας.



Σχήμα 6.15: Πετροβάμβακας [48]

γ. Ορυκτοβάμβακας [40]

Παρασκευάζεται από ασβεστόλιθο, ο οποίος διαμορφώνεται σε λεπτές ίνες. Χρησιμοποιείται για μόνωση σωληνώσεων και στις οικοδομές είτε ως μονωτικό με τη μορφή πλακών, είτε εκτοξευόμενος για την κατασκευή μονωτικών στρώσεων. Πρέπει να προστατεύεται από την υγρασία.

❖ Υαλομέταξα [40]

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.

Μονωτικά υλικά οργανικής προέλευσης:

❖ Ξύλο [40]

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

❖ Φελλός [40]

Χρησιμοποιείται ο φυσικός φελλός διαμορφωμένος σε πλάκες ή φύλλα. Είναι υλικό ελαφρύ και επιπλέει στο νερό. Είναι αδιαπέραστος από το νερό και άλλα υγρά. Έχει μεγάλη συμπίεστικότητα και ελαστικότητα και μεγάλη αντοχή σε αραιά

διαλύματα οξέων. Επίσης, κατασκευάζονται πλάκες από διογκωμένα πεπιεσμένα τρίμματα φελλού.

Ανάλογα με τη συγκόλληση διακρίνονται σε:

- Πλάκες συγκολλημένες με άργιλο με $\lambda = 0,06 \div 0,07 \text{ W/m}^*\text{K}$
- Πλάκες συγκολλημένες με ρητίνη με $\lambda = 0,045 \div 0,05 \text{ W/m}^*\text{K}$
- Πλάκες συγκολλημένες με ασφαλτικά υλικά με $\lambda = 0,045 \text{ W/m}^*\text{K}$
- Πλάκες χωρίς συνδετικό υλικό με $\lambda = 0,040-0,045 \text{ W/m}^*\text{K}$

❖ Τύρφη [40]

Βρίσκεται με τη μορφή πλακών ή τεχνητών λίθων που κατασκευάζονται από τύρφη ινώδους μορφής με ασφαλτική συνδετική ύλη. Παρουσιάζει μειωμένη αντοχή στις μηχανικές καταπονήσεις και είναι κατάλληλη για ηχομόνωση.

❖ Πεπιεσμένο άχυρο [40]

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.

❖ Ινώδη μονωτικά υλικά οργανικής προέλευσης [40]

Το πιο χαρακτηριστικό υλικό αυτής της κατηγορίας είναι το ξυλόμαλλο. Παρασκευάζεται, κυρίως, από ίνες ξύλου αλλά και από φύκια, καλάμια ή άλλα λεπτά οργανικά υλικά αναμεμιγμένα με τσιμέντο υψηλής αντοχής. Παρουσιάζει υψηλή αντοχή σε κάμψη, θλίψη, γήρανση και είναι ανθεκτικό στη φωτιά. Πρέπει να προστατεύεται από την υγρασία.

Βρίσκεται σε δύο τύπους.

- Heraclith: είναι συμπαγείς πλάκες από ξυλόμαλλο και χρησιμοποιείται ως θερμομονωτικό και ηχομονωτικό υλικό.
- Heratecta: είναι σύνθετες πλάκες, οι οποίες αποτελούνται από τρεις στρώσεις. Οι δυο εξωτερικές είναι πλάκες από ξυλόμαλλο και η ενδιάμεση είναι διογκωμένη πολυστερίνη ή πολυουρεθάνη. Χρησιμοποιείται σε αυξημένες απαιτήσεις θερμομόνωσης.

❖ Διογκωμένη πολυστερίνη [38,40]

Παρασκευάζεται από το αιθυλοβενζόλιο με κατάλληλη επεξεργασία και πολυμερισμό με την ενσωμάτωση διογκωτικού προϊόντος. Είναι υλικό ελαφρύ με υψηλή θερμομονωτική ικανότητα. Επειδή έχει ανοιχτούς πόρους, επηρεάζεται

σημαντικά από την υγρασία με αποτέλεσμα να μειώνεται η θερμομονωτική ικανότητά του. Η διογκωμένη πολυστερίνη (Σχήμα 6.16) προσβάλλεται από έντομα, τρωκτικά και ποικιλία χημικών διαλυτών (κετόνες, βενζόλιο, βενζίνη κ.ά.) και δεν προτείνεται η χρήση ασφαλτόπανων. Είναι ευαίσθητη στην ηλιακή ακτινοβολία, καθώς σε εκτεταμένης διάρκειας έκθεση στον ήλιο, μετά την αλλαγή του χρώματός της σε ελαφρώς κιτρινωπό, σκληραίνεται και θρυμματίζεται.

Ιδιαίτερο πλεονέκτημα της διογκωμένης πολυστερίνης αποτελεί η ευκολία τοποθέτησής της.



Σχήμα 6.16: Πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης [49].

Στο εμπόριο συναντάται σε πλάκες για εφαρμογές σε τοίχους, τοιχία, πλάκες σκυροδέματος και υπόγειο και το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής της χρησιμοποιείται σε εφαρμογές στα κτίρια ως θερμομόνωση δωματίων, τοίχων και πατωμάτων.

❖ Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη [38, 40, 30]

Η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη, συγγενές θερμομονωτικό υλικό της διογκωμένης πολυστερίνης, έχει όμοια σύσταση με αυτήν, αλλά παρασκευάζεται με πιο εξελιγμένη μέθοδο επεξεργασίας με αποτέλεσμα το υλικό να αποτελείται από κλειστές κυψελίδες και να μην απορροφά υγρασία. Είναι άριστο θερμομονωτικό υλικό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θερμομόνωση σε τοιχοποιία πλήρωσης, δοκάρια, τοιχία και υποστυλώματα με τοποθέτηση είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά, τοιχία υπογείων που έρχονται σε επαφή με το έδαφος, δάπεδα σε ευπρόσβλητες από την υγρασία κατασκευές δώματα συμβατικού ή ανεστραμμένου τύπου, ψευδοροφές, πλάκες οροφής κάτω από στέγη και ψυκτικούς θαλάμους. Προσβάλλεται από έντομα και τρωκτικά όπως και η διογκωμένη πολυστερίνη. Η τεχνική λύση για την αποφυγή της προσβολής από

τους παράγοντες αυτούς συστήνει τον εγκλωβισμό της εξηλασμένης πολυστερίνης στο δομικό στοιχείο ή την επικάλυψη με επίχρισμα.

❖ Διογκωμένη πολυουρεθάνη [30, 38, 40]

Παρασκευάζεται από ανάμιξη οργανικών ουσιών παρουσία καταλύτη και ακολούθως διογκώνεται. Αποτελείται από κλειστές κυψελίδες. Εφαρμόζεται και επί τόπου στο έργο με ψεκασμό. Δεν διαβρώνεται από τοξικές και χημικές ουσίες. Κυκλοφορεί στο εμπόριο υπό μορφή πλακών ή προκατασκευασμένων πετασμάτων, που αποτελούνται από πλάκες πολυουρεθάνης με εκατέρωθεν λεπτά φύλλα επίπεδης ή κυματοειδής μορφής. Διατίθεται ακόμη στο εμπόριο με τη μορφή αφρού που χρησιμοποιείται επί τόπου στο έργο με εκτόξευση δια ψεκασμού καθώς διαθέτει ιδιαίτερα καλές συγκολλητικές ιδιότητες, αφού προσκολλάται στα περισσότερα οικοδομικά υλικά. Στην περίπτωση αυτή η εφαρμογή οφείλει να γίνει από έμπειρο και ειδικευμένο συνεργείο.

Οι πλάκες πολυουρεθάνης χρησιμοποιούνται ως θερμομονωτικό υλικό σε: εξωτερικές τοιχοποιίες με μόνωση πυρήνα, δοκάρια, τοιχία και υποστυλώματα με τοποθέτηση είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά, δάπεδα σε ευπρόσβλητες από την υγρασία κατασκευές, δώματα συμβατικού ή ανεστραμμένου τύπου, ψευδοροφές, πλάκες οροφής κάτω από στέγη και κεκλιμένες στέγες, ψυκτικούς θαλάμους, δεξαμενές. Τα προκατασκευασμένα πετάσματα πολυουρεθάνης έχουν περισσότερο εφαρμογές σε λυόμενες κατασκευές, βιομηχανικά κτίρια, περίπτερα εκθέσεων, στα οποία συνήθως χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα και ως στοιχεία πλήρωσης.

Εναλλακτικά μονωτικά υλικά υψηλής τεχνολογίας

Παράλληλα με την εξέλιξη της αγοράς των φυσικών μονωτικών υλικών, υπάρχουν και προϊόντα που παράγονται με διαδικασίες και 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. Σε αυτά τα υλικά κατατάσσονται το aerogel και τα μονωτικά πανέλα κενού αέρος.

❖ Aerogel

Το aerogel (Σχήμα 6.17) είναι ένα συνθετικό πορώδες υπερελαφρό υλικό που προέρχεται από ένα gel, του οποίου το υγρό συστατικό έχει αντικατασταθεί με ένα αέριο. Το αποτέλεσμα είναι ένα στερεό υλικό με εξαιρετικά χαμηλή πυκνότητα και θερμική αγωγιμότητα. Είναι γνωστό και ως «παγωμένος καπνός», «στέρεος αέρας» ή «μπλε καπνός» λόγω της ημιδιαφανούς φύσεως του. Ωστόσο, στο άγγιγμα δίνει την ίδια αίσθηση με την εξηλασμένη πολυστερίνη.

Τα aerogels είναι στερεά, άκαμπτα και ξηρά υλικά. Πιέζοντας απαλά σε ένα aerogel συνήθως δεν μένει κανένα σημάδι. Ωστόσο, μια ισχυρή πίεση θα προκαλέσει την καταστροφή της αραιής δομής του, με αποτέλεσμα να θρυμματιστεί όπως το γυαλί. Πιο σύγχρονες, βέβαια, παραλλαγές δεν παρουσιάζουν αυτό το πρόβλημα. Παρά το γεγονός ότι τα aerogels είναι επιρρεπή σε θραύση, παρουσιάζουν ικανοποιητική αντοχή σε φορτία. Επιπλέον, μια άλλη ιδιότητα τους είναι ότι έχουν ξηρή αίσθηση και δρουν ως ισχυρά ξηραντικά.



Σχήμα 6.17: Aerogel [50].

Το κύριο χαρακτηριστικό των υλικών αυτών είναι ότι προσφέρουν πολύ καλή θερμική μόνωση καθώς αποτελούνται σχεδόν εξ ολοκλήρου από ένα αέριο, και τα αέρια ως γνωστόν είναι κακοί αγωγοί της θερμότητας. Επιπλέον, λόγω της ημιδιαφανούς μορφής τους διαπερνώνται από την ηλιακή ακτινοβολία και επιτρέπουν την καλή διάδοση του φωτός στο εσωτερικό των κτιρίων [51].

❖ Vacuum insulated panel (VIP) [52, 53]

Τα μονωτικά πάνελα κενού αέρος (VIPs) ορίζονται ως μονωτικά υλικά τα οποία αποτελούνται από ένα σχεδόν αεροστεγές περίβλημα το οποίο περιβάλλει

έναν άκαμπτο πυρήνα από τον οποίο έχει εκκενωθεί ο αέρας. Βρίσκουν εφαρμογές σε κτιριακές κατασκευές και παρουσιάζουν πολύ καλύτερες θερμομονωτικές ιδιότητες σε σχέση με τα συμβατικά μονωτικά υλικά.

Τα VIPs αποτελούνται από:

- τοιχώματα μεμβράνης τα οποία χρησιμοποιούνται για να αποτρέπουν τον αέρα από το να εισέρχεται στον πυρήνα του πάνελ
- τον πυρήνα του πάνελ, από τον οποίο έχει εκκενωθεί ο αέρας και ο οποίος κατασκευάζεται από άκαμπτο, πορώδες υλικό, όπως aerogel, περλίτη ή υαλοβάμβακα
- χημικές ουσίες, οι οποίες συλλέγουν τα αέρια, τα οποία διαρρέουν μέσω των τοιχωμάτων της μεμβράνης.

Η ύπαρξη κενού αέρος στον πυρήνα του πάνελ εξαλείφει πρακτικά τη μεταφορά θερμότητας με συναγωγή ενώ μειώνει επίσης σημαντικά τη μεταφορά θερμότητας με αγωγή. Παρόλο που ο πυρήνας ενός VIP έχει παρόμοια θερμικά χαρακτηριστικά με τα συμβατικά μονωτικά υλικά, τα VIPs παρουσιάζουν πολύ μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λόγω του τρόπου κατασκευής τους. Ωστόσο, τα VIPs παρουσιάζουν σημαντικά υψηλότερο κόστος σε σχέση με τα συμβατικά μονωτικά υλικά, ενώ επιπροσθέτως δε μπορούν να κοπούν για να προσαρμοστούν στις ανάγκες μιας κατασκευής, καθώς αυτό θα καταστρέψει την βασική τους ιδιότητα, δηλαδή το κενό πυρήνα. Στις περιπτώσεις, λοιπόν, χρήσης των υλικών αυτών σε συγκεκριμένες διαστάσεις θα πρέπει να γίνεται ειδική παραγγελία, γεγονός που αυξάνει περαιτέρω το κόστος τους. Το μεγάλο κόστος τους αποτελεί και την αιτία που δεν έχουν βρει ακόμη ευρεία εφαρμογή.

Κεφάλαιο 7^ο

ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ

7.1 Εισαγωγή στην έννοια των κουφωμάτων

Τα κουφώματα μπορούν να θεωρηθούν ως κινητά δομικά στοιχεία με πολύ διαφορετικά μορφολογικά, λειτουργικά και τεχνοοικονομικά χαρακτηριστικά μεταξύ τους. Αποτελούνται κατά κύριο λόγο από δύο βασικά στοιχεία, τα πλαίσια και τους υαλοπίνακες, οι οποίοι αποτελούν το μέσο πλήρωσης των ανοιγμάτων ενός κτιρίου και καταλαμβάνουν τη μεγαλύτερη επιφάνεια σε ένα κούφωμα. Τοποθετούνται στα ανοίγματα που αφήνονται σε τοίχους και πετάσματα, προκειμένου να ικανοποιηθούν οι ανάγκες ελέγχου της κίνησης μεταξύ δύο γειτονικών χώρων ή μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού χώρου.

Εξασφαλίζουν την ιδιωτικότητα, διαμορφώνουν τη θέα και επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την αρχιτεκτονική φυσιογνωμία του κτιρίου. Καθώς αποτελούν στοιχεία του κελύφους των κτιρίων συμβάλλουν στην προστασία αυτών από τις επιδράσεις του περιβάλλοντος (αέρα, βροχή, κρύο, θόρυβο), συμμετέχουν στη διαμόρφωση του εσωκλίματος, της ακουστικής και της οπτικής άνεσης εξασφαλίζοντας στους ενοίκους άνετο επίπεδο διαβίωσης και εργασίας, καθορίζουν αποφασιστικά την ενεργειακή κατανάλωση ενός κτιρίου ενώ προστατεύουν και έναντι ειδικών συνθηκών (πυρκαγιάς, διαρρήξεων, βανδαλισμών κτλ.) [54].

Τα κουφώματα έχουν σημαντικό ρόλο στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και ψύξη των χώρων γιατί από αυτά μεταφέρεται μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Το χειμώνα χάνεται θερμότητα από μέσα προς τα έξω, ενώ το καλοκαίρι εισέρχεται θερμότητα από το ζεστό εξωτερικό περιβάλλον. Η διαδικασία αυτή μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τη χρήση κατάλληλα κατασκευασμένων, ενεργειακά αποδοτικών παραθύρων. Τα παράθυρα αυτά θα πρέπει να έχουν υαλοπίνακες και πλαίσια με καλές θερμομονωτικές ιδιότητες και επί πλέον, θα πρέπει να είναι αεροστεγανά, ώστε να εμποδίζουν τη διαφυγή θερμότητας από χαραμάδες, οι οποίες μπορεί να επιφέρουν σημαντικές απώλειες θερμότητας, όπως παρατηρείται σε κτίρια κακής κατασκευής ή παλαιά [55].

Παρόλο που τα σύγχρονα γυάλινα συστήματα παρέχουν τη δυνατότητα αποτελεσματικού τρόπου θέρμανσης για ψυχρά κλίματα και αρκετά ικανοποιητικές

λύσεις δροσισμού για θερμά κλίματα, δεν υπάρχει κανένα σύστημα αρκετά ικανό και ευέλικτο να οδηγήσει σε ένα άνετο εσωτερικό θερμικό περιβάλλον με χαμηλές ανάγκες κατανάλωσης ενέργειας σε κλίματα όπου η θέρμανση και ψύξη είναι απαραίτητη το χειμώνα και το καλοκαίρι αντίστοιχα [56].

Ειδικότερα, τη χειμερινή περίοδο μέσω του συστήματος θέρμανσης επιτυγχάνεται η λήψη της επιπλέον θερμότητας που υπολείπεται προκειμένου να αντισταθμιστούν οι θερμικές απώλειες κατά τη διάρκεια τόσο της ημέρας, όσο και της έντονα ψυχρής περιόδου της νύχτας. Αντιστοίχως, τη θερινή περίοδο μέσω του συστήματος ψύξης επιτυγχάνεται η έξοδος της επιπλέον θερμότητας που διεισδύει προκειμένου να αντισταθμιστούν τα ανεπιθύμητα θερμικά φορτία κατά τη διάρκεια κυρίως της ημέρας.

Κατά συνέπεια, οι ανάγκες εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω των γυάλινων ανοιγμάτων διαφοροποιούνται το χειμώνα σε σχέση με το καλοκαίρι, δηλαδή από εποχή σε εποχή. Επιπλέον, οι ανάγκες εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας διαφοροποιούνται στη χρονική διάρκεια του ημερησίου κύκλου, δηλαδή την ημέρα και τη νύχτα. Τη νύχτα για παράδειγμα, όπου η ηλιοφάνεια είναι μηδενική, τις πρωινές και τις απογευματινές ώρες όπου η ηλιοφάνεια είναι σχετικά περιορισμένη και τέλος, τις μεσημβρινές ώρες όπου η ηλιοφάνεια είναι έντονη, οι ανάγκες εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας μεταβάλλονται σημαντικά. Από τα ανωτέρω προκύπτει η σημασία επιλογής της κατηγορίας και της αναλογίας που καταλαμβάνουν τα γυάλινα ανοίγματα σε μια πρόσοψη, καθώς η παρουσία τους σχετίζεται με θέματα ηλιακής και φωτεινής διαπερατότητας, ηλιασμού και σκιασμού, θερμομόνωσης (ενεργειακή διαχείριση της άμεσα προσπίπτουσας υπερϊόδους ηλιακής ακτινοβολίας), ηχομόνωσης και εν τέλει ποιότητας του περιβάλλοντος στο εσωτερικό των κτιρίων [56].

7.2 Υαλοπίνακες

7.2.1 Ορισμός και βασικές ηλιακές - οπτικές ιδιότητες υαλοπινάκων

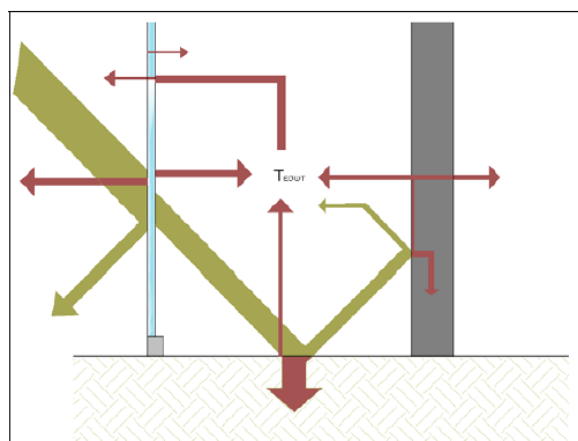
Οι υαλοπίνακες είναι άκαμπτοι, εμφανίζουν αντοχή στις καιρικές μεταβολές, στο φως και στις χημικές αντιδράσεις και ως υλικά πλήρωσης των κουφωμάτων βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στις κατασκευές λόγω της διαφάνειάς τους [57].

Χαρακτηρίζονται από την ιδιότητα τους να επιτρέπουν στην ηλιακή

ακτινοβολία να περνά από τη μάζα τους σε βαθμό που εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης, το μήκος κύματος της ακτινοβολίας και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως το υλικό κατασκευής (χημική σύσταση), το πάχος, ύπαρξη επιφανειακής επίστρωσης κτλ [23].

Παράλληλα όμως δεν επιτρέπουν να διαπεράσει τη μάζα τους ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, όπως αυτή που εκπέμπεται από σώματα θερμοκρασίας μικρότερης των 120°C που συνήθως υπάρχουν σε ένα χώρο, με αποτέλεσμα το γνωστό «φαινόμενο του θερμοκηπίου». Συνεπώς η ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάται από τις εσωτερικές επιφάνειες δωματίου και στη συνέχεια εκπέμπεται από αυτές με μεγάλο μήκος κύματος, δεν εξέρχεται κατά άμεσο τρόπο από τους υαλοπίνακες γιατί αυτοί είναι αδιαφανείς για μήκη κύματος μεγαλύτερα των $3\mu\text{m}$. Έτσι μέρος της ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών του δωματίου που προσπίπτει στους υαλοπίνακες απορροφάται από αυτούς ενώ το υπόλοιπο ανακλάται προς το εσωτερικό του δωματίου [23].

Η με αυτό τον τρόπο προερχόμενη θερμότητα, δεν μπορεί να διαπεράσει ως θερμική ακτινοβολία τον υαλοπίνακα, εγκλωβίζεται στον εσωτερικό χώρο, απορροφάται από τα δομικά στοιχεία ή από ειδικά διαμορφωμένη «αποθήκη θερμότητας» και πλέον μεταδίδεται στο χώρο με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία, συμβάλλοντας στη διαμόρφωση του θερμικού ισοζυγίου του χώρου (Σχήμα 7.1) [15].



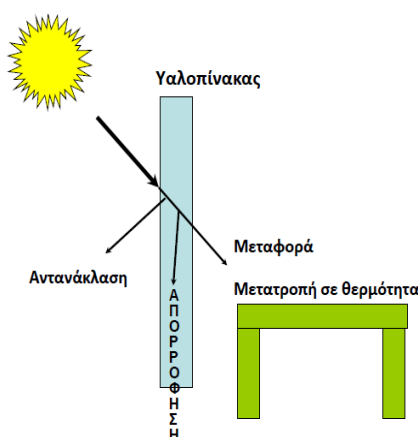
Σχήμα 7.1: Συμμετοχή της ηλιακής ακτινοβολίας στο θερμικό ισοζύγιο του κτηρίου [15].

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου θα μπορούσε να χαρακτηριστεί «επιθυμητό» σε κατοικίες γεωγραφικών περιοχών με χαμηλές θερμοκρασίες, ιδιαίτερα κατά τους ψυχρούς μήνες του έτους. Αντίθετα, είναι ανεπιθύμητο σε κατοικίες θερμών γεωγραφικών περιοχών και στα κοινόχρηστα κτίρια γενικώς, στα οποία ο μεγάλος

αριθμός εργαζομένων, οι ηλεκτρικές συσκευές και τα φώτα, συντελούν στην αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας, πράγμα το οποίο σημαίνει αυξημένες δαπάνες κλιματισμού. Είναι, λοιπόν, επιβεβλημένη η προστασία των κτιρίων αυτών από την εισερχόμενη ηλιακή ενέργεια [58].

Με την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας (άμεσης και διάχυτης) επάνω στον υαλοπίνακα λαμβάνουν χώρα τρεις διαφορετικοί μηχανισμοί μετάδοσής της (Σχήμα 7.2):

- ένα ποσοστό ανακλάται προς το εξωτερικό περιβάλλον,
- ένα ποσοστό, που είναι το τμήμα που αντιστοιχεί στο ορατό τμήμα του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας (φωτεινή ακτινοβολία) διαπερνά τον υαλοπίνακα, και
- ένα ποσοστό της ακτινοβολίας απορροφάται από τον υαλοπίνακα, από το οποίο ένα μέρος επανακτινοβολείται προς το εξωτερικό περιβάλλον, ένα μέρος προς τον εσωτερικό χώρο και ένα μέρος μετατρέπεται σε θερμική ακτινοβολία [15].



Σχήμα 7.2: Προσπίπτουσα ακτινοβολία σε υαλοπίνακα

Το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που διαπερνά, ανακλάται ή απορροφάται από τον υαλοπίνακα εξαρτάται από τα φωτομετρικά χαρακτηριστικά του. Ισχύει η εξίσωση:

$$g + \rho + \alpha = 1$$

Όπου, g είναι η διαπερατότητα, ρ είναι η ανακλαστικότητα, και α είναι η απορροφητικότητα.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά των υαλοπινάκων περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω.

7.2.2 Θερμικά και τεχνικά χαρακτηριστικά κουφωμάτων

Τα θερμικά και τεχνικά χαρακτηριστικά των κουφωμάτων και συνεπώς και των υαλοπινάκων συνθέτουν την θερμομονωτική και ενεργειακή ικανότητα τους, την ενεργειακή απόδοσή τους και προσδιορίζουν τη συμπεριφορά τους ως προς την εξοικονόμηση ενέργειας. Σε κάθε περίπτωση, βάσει των χαρακτηριστικών αυτών γίνεται η επιλογή του κατάλληλου τύπου υαλοπίνακα και του συνολικού κουφώματος αναλόγως των εκάστοτε απαιτήσεων με σκοπό την εξασφάλιση συνθηκών άνεσης στο εσωτερικό του κτιρίου και την εξοικονόμηση ενέργειας. Παρουσιάζονται, λοιπόν, στη συνέχεια τα θερμικά και τεχνικά χαρακτηριστικά των κουφωμάτων και των υαλοπινάκων.

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας U_g

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας του κουφώματος αντιπροσωπεύει το βαθμό της μεταφοράς θερμότητας διαμέσου αυτού και την ικανότητα του να μειώνει τις θερμικές απώλειες των εσωτερικών χώρων. Μικρότερες τιμές σημαίνουν αυξημένο δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας. Αντίθετα, υψηλές τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των κουφωμάτων δεν υπογραμμίζουν μόνο τη μειωμένη θερμομονωτική ικανότητα του κάθε στοιχείου, αλλά και τον κίνδυνο δημιουργίας ζωνών με χαμηλές θερμοκρασίες στις αντίστοιχες περιοχές του εσωτερικού των χώρων, για περιόδους με χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες (χειμερινή περίοδος, ψυχρά κλίματα), δημιουργώντας επιπτώσεις στην θερμική άνεση [59].

Με δεδομένο ότι στην κατασκευή του στοιχείου συμμετέχουν τόσο το πλαίσιο όσο και οι υαλοπίνακες, ο συντελεστής, U_w , του κουφώματος αποτελεί στην ουσία ένα μέσο συντελεστή, που συντίθεται από τους επιμέρους συντελεστές, U_f , του πλαισίου και U_g του υαλοπίνακα, σε αναλογία που προσδιορίζεται από τα ποσοστά συμμετοχής της κάθε μίας από τις επιφάνειες πλαισίου και υαλοπινάκων στη συνολική επιφάνεια του στοιχείου. Επιπλέον, στη συνολική απόδοση του στοιχείου συμπεριλαμβάνονται και οι θερμικές απώλειες εξαιτίας των θερμογεφυρών που υπολογίζονται από το γινόμενο του συντελεστή γραμμικής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα και του πλαισίου επί του μήκους συναρμογής του πλαισίου και του υαλοπίνακα [59].

Στο συνολικό συντελεστή θερμοπερατότητας του κουφώματος, σημαντικότερη είναι η επίδραση του υαλοπίνακα λόγω της μεγάλης επιφάνειας που καταλαμβάνει αυτός στο κούφωμα, καθώς επίσης και λόγω των υψηλών τιμών του

συντελεστή θερμοπερατότητας, U_g , που παρουσιάζει αλλά και της δυνατότητας της σημαντικής μείωσης αυτού αναλόγως του τύπου του υαλοπίνακα που θα επιλεγεί.

Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι και ο συντελεστής θερμοπερατότητας των πλαισίων παίζει καθοριστικό ρόλο στη θερμική συμπεριφορά του κουφώματος, καθώς πλαίσια με κακή θερμομονωτική συμπεριφορά δίνουν υψηλούς συντελεστές θερμοπερατότητας των κουφωμάτων. Ενδεικτικές τιμές των παραπάνω μεγεθών παρουσιάζονται στους Πίνακες 7.1 και 7.2 [19].

Πίνακας 7.1: Τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας στην ενεργειακή επιθεώρηση κτηρίων [19].

Τύπος υαλοπίνακα	U_g
	[W/(m ² K)]
Μονός υαλοπίνακας	5,70
Δίδυμος υαλοπίνακας με διάκενο αέρα 6mm	3,30
Δίδυμος υαλοπίνακας με διάκενο αέρα 12mm	2,80
Δίδυμος υαλοπίνακας με διάκενο 6mm αέρα και με επίστρωση μεμβράνης χαμηλής εκπεμπτικότητας ($\epsilon=0,10$)	2,60
Δίδυμος υαλοπίνακας με διάκενο 12mm αέρα και με επίστρωση μεμβράνης χαμηλής εκπεμπτικότητας ($\epsilon=0,10$)	1,80

Πίνακας 7.2: Τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας πλαισίου, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για προσδιορισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας κουφωμάτων [19].

Υλικό πλαισίου	Χαρακτηριστικό πλαισίου	Συντελεστής θερμοπερατότητας πλαισίου U_f [W/(m ² K)]
Μεταλλικό πλαισίο	χωρίς θερμοδιακοπή	7,0
	με θερμοδιακοπή	1,0-4,0
Συνθετικό πλαισίο	Πολυουρεθάνη	2,8
	PVC με δύο θαλάμους	2,2
	PVC με τρεις θαλάμους	2,0
	PVC πολυθαλαμικό	1,0-2,0
Ξύλινο πλαισίο	σκληρής ξυλείας μέσου πάχους πλαισίου-κάσας 5cm	2,4
	μαλακής ξυλείας μέσου πάχους πλαισίου-κάσας 5cm	2,0
	σκληρής ξυλείας μέσου πάχους πλαισίου-κάσας 10cm	1,7
	μαλακής ξυλείας μέσου πάχους πλαισίου-κάσας 10cm	1,5

Ο ηλιακός συντελεστής (Solar factor g) κουφωμάτων g_w και υαλοπινάκων g_{gl}

Η συνολική ποσότητα μεταδιδόμενης ηλιακής ενέργειας (g-value) ισούται με το άθροισμα ηλιακής θερμότητας που μεταδίδεται μέσω του υαλοπίνακα (TS) και της

ηλιακής ενέργειας που απορροφάται από τον υαλοπίνακα και στη συνέχεια επανεκπέμπεται προς το εσωτερικό του χώρου. Ο 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 [19]. Αντιπροσωπεύει, λοιπόν, την ικανότητα του δομικού στοιχείου να μεταφέρει την θερμότητα που προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία στους εσωτερικούς χώρους [59].

Η τιμή του εξαρτάται καθοριστικά από το είδος του υαλοπίνακα, ενώ εξαρτάται και από το ποσοστό του πλαισίου επί του κουφώματος [19]. 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 γι' αυτό αγνοείται. Συνεπώς, καθώς η τιμή του g_w εξαρτάται από το ποσοστό του πλαισίου θα πρέπει να υπολογίζεται για κάθε τύπο κουφώματος ξεχωριστά.

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 σ' αυτόν και λαμβάνεται ίση με το 90% του συντελεστή ηλιακού κέρδους g σε κάθετη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας. Η τιμή του συντελεστή ηλιακού κέρδους g συνήθως πιστοποιείται από τον κατασκευτή του υαλοπίνακα. Στους παρακάτω Πίνακες 7.3 και 7.4 παρουσιάζονται τυπικές τιμές του συντελεστή g και g_{gl} για τέσσερις τύπους υαλοπινάκων [19].

Οι τιμές του συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους τόσο του κουφώματος όσο και του υαλοπίνακα κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1. Μεγαλύτερες τιμές του σημαίνουν μεγαλύτερες ποσότητες αξιοποιήσιμων θερμικών ηλιακών κερδών που προσφέρει το κούφωμα, με συνέπεια στοιχεία με μεγαλύτερες τιμές να είναι επιθυμητά σε κλιματικές συνθήκες που απαιτούν θέρμανση, ενώ αντίθετα για κλιματικές συνθήκες στις οποίες κυριαρχούν απαιτήσεις ψύξης να προτιμώνται στοιχεία με μικρότερες τιμές, ώστε να μειώνονται οι απαιτήσεις των ψυκτικών φορτίων [59].

Πίνακας 7.3: Τυπικές τιμές της συνολικής διαπερατότητας ηλιακής ακτινοβολίας σε κάθετη πρόσπτωση, g , και της μέσης διαπερατότητας, g_{gl} , για διάφορους τύπους υαλοπίνακα [19].

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

Πίνακας 7.4: Τυπικές τιμές του συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους κουφωμάτων, g_w , για διάφορους τύπους υαλοπίνακα [19].

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
Έγχρωμος ή ανακλαστικός υαλοπίνακας χωρίς δυνατότητα διαπίστωσης των ιδιοτήτων του	0,41	0,36	0,32	0,27

Ο συντελεστής φωτοδιαπερατότητας του κουφώματος και του υαλοπίνακα

Ο συντελεστής διαπερατότητας του κουφώματος στο φυσικό φως αντιπροσωπεύει την ικανότητα του δομικού στοιχείου να μεταφέρει φυσικό ηλιακό φως στους εσωτερικούς χώρους. Καθορίζεται από τον ανάλογο συντελεστή φωτοδιαπερατότητας, LT (Light Transmission), του υαλοπίνακα και εξαρτάται από την σχέση των επιφανειών του υαλοπίνακα προς την συνολική επιφάνεια του στοιχείου. Υψηλότερη τιμή του συντελεστή φωτοδιαπερατότητας, LT , είναι επιθυμητή όταν υπάρχει απαίτηση για περισσότερο φυσικό φως. Γενικά, όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές του συντελεστή φωτοδιαπερατότητας του κουφώματος, τόσο μεγαλύτερες είναι και οι ποσότητες φυσικού φωτός που μεταφέρει το κούφωμα και συνεπώς τόσο μικρότερη η ανάγκη για συμπληρωματικό τεχνητό φωτισμό [59].

Η επιλεκτικότητα ενός υαλοπίνακα

Η σχέση ανάμεσα στον συντελεστή διερχόμενου φωτός (LT , Light Transmission) και στον ηλιακό συντελεστή (g , Solar Factor) ενός υαλοπίνακα αποκαλείται επιλεκτικότητα (selectivity) και ορίζεται ως εξής:

$$Selectivity = \frac{Light\ Transmission(LT)}{Solar\ Factor(g)}$$

Οι τιμές που μπορεί να πάρει η επιλεκτικότητα ενός υαλοπίνακα κυμαίνονται ανάμεσα στο 0 και το 2. Μηδενική τιμή έχει ένας αδιαφανής υαλοπίνακας ενώ η τιμή 2 είναι η καλύτερη δυνατή επιλεκτικότητα. Όσο πλησιέστερα προς το 2 είναι η τιμή, τόσο πιο επιλεκτικός είναι ο υαλοπίνακας [58].

Ο συντελεστής εκπομπής, ϵ , ενός υαλοπίνακα

Η ιδιότητα των υαλοπινάκων να επανεκπέμπουν τη θερμότητα που έχουν απορροφήσει στη μάζα τους με τη μορφή θερμικής ακτινοβολίας ονομάζεται ικανότητα εκπομπής (emissivity) και εκφράζεται με τον συντελεστή εκπομπής ϵ ο οποίος δηλώνει το ποσοστό της επανεκπεμπόμενης ενέργειας. Ο συντελεστής εκπομπής ενός κοινού υαλοπίνακα ισούται με 0,89. Αυτό σημαίνει ότι το 89% της ενέργειας που απορροφάται από τη μάζα του γυαλιού, επανεκπέμπεται προς το περιβάλλον προς την ψυχρότερη πλευρά του και μόνο το 11% ανακλάται πίσω στη θερμή περιοχή [58].

7.2.3 Κριτήρια επιλογής υαλοπινάκων

Η επιλογή του κατάλληλου υαλοπίνακα έχει σημαντικές επιπτώσεις στην εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια και στη δημιουργία άνετων συνθηκών εσωκλίματος. Ο μηχανικός θα πρέπει να λάβει υπόψη του παραμέτρους όπως τη θέα, το φυσικό φωτισμό, τα ηλιακά κέρδη, τις θερμικές απώλειες, την ηχομόνωση και την αισθητική ενώ η επιλογή του κατάλληλου τύπου υαλοπίνακα γίνεται βάσει των θερμικών και τεχνικών χαρακτηριστικών του τα οποία προσδιορίζουν τη θερμική συμπεριφορά του και συνθέτουν την ενεργειακή του απόδοση [59].

Οι γενικές απαιτήσεις των υαλοπινάκων είναι οι ακόλουθες [21]:

- Ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών το χειμώνα, δηλαδή μικρός συντελεστής θερμικής διαπερατότητας
- Είσοδος μέγιστης δυνατής ηλιακής ακτινοβολίας το χειμώνα, δηλαδή μεγάλος συντελεστής ηλιακών κερδών
- Μείωση στο ελάχιστο της ηλιακής ακτινοβολίας το καλοκαίρι, δηλαδή μεγάλος συντελεστής ανακλαστικότητας
- Περιορισμός του υπερβολικού φωτισμού των χώρων
- Εξασφάλιση ηχομόνωσης
- Αισθητική αρτιότητα

- Μηχανική αντοχή
- Χαμηλό κόστος
- Εξασφάλιση πιστής οπτικής επαφής μεταξύ εσωτερικού χώρου και εξωτερικού περιβάλλοντος
- Εύκολη συντήρηση και αντικατάσταση

Με κατεύθυνση την επίτευξη θερμικής άνεσης, οι υαλοπίνακες πρέπει να επιλέγονται ανάλογα του επιδιωκόμενου συντελεστή θερμοπερατότητας. Θα πρέπει, λοιπόν, να επιλέγονται διπλοί υαλοπίνακες των οποίων ο συντελεστής θερμοπερατότητας εξαρτάται από το πάχος του κάθε φύλλου του υαλοπίνακα, από το πάχος του ενδιάμεσου διακένου, από το είδος του αερίου πλήρωσης του διακένου (αέρας ή ευγενή αέρια) καθώς και από το αν εφαρμόζεται ή όχι επίστρωση χαμηλής εκπομπής στην επιφάνεια ενός φύλλου του υαλοπίνακα προς την πλευρά του διακένου. Σε περιπτώσεις αυξημένων απαιτήσεων μπορούν να επιλέγονται και τριπλοί υαλοπίνακες. Με κατεύθυνση την επίτευξη ακουστικής άνεσης θα πρέπει να επιλέγονται διπλοί υαλοπίνακες με μεγάλο ενδιάμεσο διάκενο, με ειδικό ενδιάμεσο παρέμβυσμα ενώ τα πάχη των δύο φύλλων του υαλοπίνακα θα πρέπει να διαφέρουν από 2 έως και 6mm [60].

Υαλοπίνακες με χαμηλούς συντελεστές ηλιακού θερμικού κέρδους προτιμώνται σε κατασκευές που έχουν μεγάλες απαιτήσεις για κλιματισμό, ενώ υαλοπίνακες με υψηλό συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους και χαμηλό συντελεστή θερμοπερατότητας προτιμώνται στην περίπτωση κατασκευών, στις οποίες εφαρμόζονται οι αρχές της παθητικής ηλιακής θέρμανσης (κυρίως νότιες όψεις). Επίσης, η χρήση υαλοπινάκων με χαμηλό συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους είναι ιδανική επιλογή για τις ανατολικές και δυτικές όψεις κατοικιών, καθώς έτσι επιτυγχάνεται ικανοποιητικός έλεγχος της ηλιακής θερμικής ενέργειας και ικανοποιητικές συνθήκες οπτικής άνεσης. Τέλος, σε μεγάλες εγκαταστάσεις μπορεί να θεωρηθεί καλή η επιλογή τέτοιων υαλοπινάκων και για τις νότιες όψεις, ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις δε χρειάζεται η εφαρμογή τους στις βόρειες όψεις των κατασκευών, οι οποίες δεν επιβαρύνονται ιδιαίτερα από την ηλιακή ακτινοβολία [54].

Για την επιλογή του κατάλληλου υαλοπίνακα θα πρέπει να εξετάζεται επίσης η χρήση του κτιρίου, η συνεισφορά του υαλοπίνακα στην εξοικονόμηση ενέργειας σε ετήσια βάση και η συνεπαγόμενη οικονομικότητα του συστήματος (κόστος - όφελος, χρόνος απόσβεσης). Ιδιαίτερη προσοχή κατά την επιλογή απαιτείται ώστε τα θερμικά και οπτικά χαρακτηριστικά του υαλοπίνακα, τα οποία θα επιλεγούν με κριτήριο τη

συμπεριφορά του στη θέρμανση και στο δροσισμό του κτιρίου, να εξασφαλίζουν, μαζί με το συνολικό σχεδιασμό των ανοιγμάτων και τις απαιτήσεις σε φυσικό φωτισμό των χώρων [21].

Σε κάθε περίπτωση, για την επιλογή του κατάλληλου προϊόντος θα πρέπει να γίνεται εκτίμηση των θερμικών και τεχνικών ιδιοτήτων του σε συνδυασμό με τη χρήση του κτιρίου, τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής, τη συνεισφορά του στην εξοικονόμηση ενέργειας σε ετήσια βάση και τη συνεπαγόμενη οικονομία του συστήματος (κόστος-όφελος, χρόνος απόσβεσης) [57].

7.2.4 Βασικές κατηγορίες υαλοπινάκων

Οι υαλοπίνακες ανάλογα με τον τύπο τους παρουσιάζουν ιδιαίτερες ιδιότητες και λειτουργικά χαρακτηριστικά και σε κάθε περίπτωση επιλέγονται βάσει των κριτηρίων που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Βάσει των κυριότερων ιδιοτήτων τους μπορούν να διακριθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

Απλός μονός υαλοπίνακας [21]

Είναι το είδος υαλοπίνακα που χρησιμοποιούταν παλιότερα στις κατασκευές όμως πια οι περισσότεροι έχουν αντικατασταθεί με διπλούς. Έχουν το μεγαλύτερο συντελεστή θερμοπερατότητας, ο οποίος μειώνεται όταν αυξάνεται το πάχος του γυαλιού.

Απλός διπλός ή τριπλός υαλοπίνακας [21]

Μεταξύ των υαλοπινάκων υπάρχει κενό ξηρού αέρα και ο συντελεστής θερμοπερατότητας μειώνεται όσο αυξάνεται το πλάτος του κενού (οριακή τιμή 15-16 mm). Μεγαλύτερα πλάτη χρησιμοποιούνται μόνο για υψηλές απαιτήσεις ηχομόνωσης. Καλύτερες θερμομονωτικές ιδιότητες εξασφαλίζονται:

- Με τη πλήρωση του κενού με αέριο χαμηλότερης θερμικής αγωγιμότητας από αυτήν του ξηρού αέρα (π.χ αργό).
- Με τη τοποθέτηση ειδικών μονωτικών διάφανων υλικών μέσα στο κενό, τα οποία εμποδίζουν τη κίνηση του αέρα ή του αερίου, δηλαδή δεν επιτρέπουν τη μετάδοση θερμότητας με μετάβαση εξασφαλίζοντας έτσι συντελεστή θερμοπερατότητας της τάξης 0,5 έως 0,9 W/m²·K.

Δίδυμος υαλοπίνακας [21]

Στο ίδιο πλαίσιο στερεώνονται δύο υαλοπίνακες και ο αέρας που υπάρχει μεταξύ τους δεν είναι ξηρός. Έχουν καλύτερες θερμομονωτικές ιδιότητες από τους μονούς υαλοπίνακες και χειρότερες από τους διπλούς, από τους οποίους πλεονεκτούν ως προς ο κόστος. Το σημαντικό τους μειονέκτημα είναι η εύκολη θάμβωση επειδή ο ευρισκόμενος μεταξύ τους αέρας υγραποιείται.

Υαλοστάσια ελέγχου ηλιακής ακτινοβολίας [58]

Η ανάγκη ελέγχου της ηλιακής ακτινοβολίας ανακύπτει κυρίως σε κτίρια με μεγάλα ανοίγματα, άμεσα εκτιθέμενα στον ήλιο. Με τη χρήση των κατάλληλων υαλοπινάκων (solar control), έχουμε την δυνατότητα να παρέμβουμε, μεταβάλλοντας ουσιαστικά δύο μεγέθη, την ποσότητα του εισερχόμενου φυσικού φωτός και την ποσότητα της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας (θερμότητας). Οι υαλοπίνακες που μπορούν να ελέγξουν την ηλιακή ακτινοβολία διατίθενται σε δύο τύπους:

- απορροφητικοί υαλοπίνακες

Τέτοιοι (Σχήμα 7.3) 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.

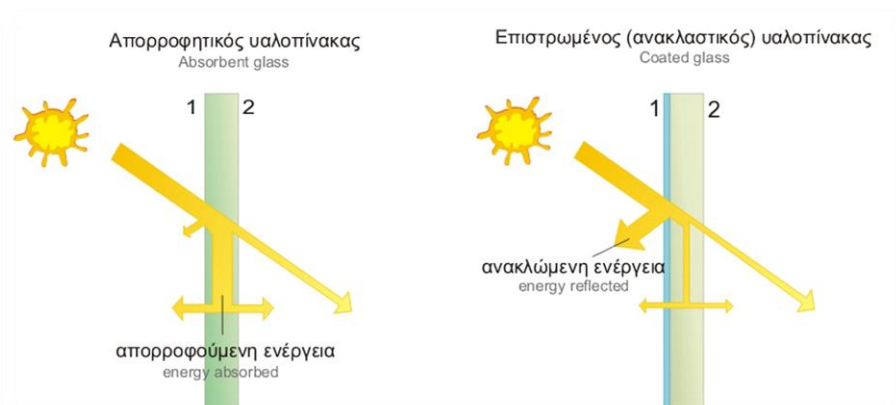
- επιστρωμένοι (coated) υαλοπίνακες

Πρόκειται για υαλοπίνακες (Σχήμα 7.3) των οποίων η επιφάνεια έχει επιστρωθεί με λεπτότατα, αόρατα στρώματα μεταλλικών οξειδίων, ικανά να

ανακλούν μεγάλο μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας μειώνοντας δραστικά το θερμικό κέρδος. Η βασική αρχή της παραγωγής ανακλαστικών γυαλιών είναι η επίστρωση της μιας επιφάνειάς τους με λεπτά στρώματα οξειδίων διαφόρων μετάλλων και μεταλλικών αλάτων, με την οποία το γυαλί αποκτά αυξημένες ανακλαστικές ιδιότητες αφενός και διάφορους χρωματισμούς αφετέρου. Ένα από τα κύρια χρησιμοποιούμενα μέταλλα είναι ο άργυρος, λόγω κυρίως του χαμηλού συντελεστή ακτινοβολίας της θερμότητας που έχει. Η ανακλαστική επίστρωση του αργύρου (ή άλλου μετάλλου) συνδυάζεται με άλλες προ και μετά επιστρώσεις οξειδίων μετάλλων, προκειμένου να επιτευχθεί ο επιθυμητός συντελεστής ανακλαστικότητας και η χρωματική χροιά του γυαλιού.

Ανάλογα με την μέθοδο επίστρωσης, οι επιστρωμένοι υαλοπίνακες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Σε υαλοπίνακες πυρολυτικής επίστρωσης (ή σκληρής επίστρωσης όπως λέγονται) των οποίων η επίστρωση γίνεται υπό θερμοκρασίες της τάξεως των 500⁰C, κατά την διάρκεια της παραγωγής τους, σε 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.
- Σε υαλοπίνακες εν κενώ επίστρωσης (ή μαλακής επίστρωσης όπως λέγονται) των οποίων 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.



Σχήμα 7.3: Απορροφητικός και επιστρωμένος υαλοπίνακας [58].

Υαλοπίνακες μεταβλητών ιδιοτήτων [61]

Τα σπουδαιότερα είδη αυτή της κατηγορίας υαλοπινάκων είναι τα εξής:

- **Θερμοχρωμικός υαλοπίνακας**
Είναι υαλοπίνακας του οποίου οι οπτικές ιδιότητες μεταβάλλονται ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία. Με την αύξηση της θερμοκρασίας μεταβάλλεται από διαφανής σε γαλακτόχρωμο.
- **Φωτοχρωμικός υαλοπίνακας**
Είναι υαλοπίνακας του οποίου οι οπτικές ιδιότητες μεταβάλλονται ανάλογα με το ποσό της προσπίπτουσας σε αυτόν ηλιακής ακτινοβολίας. Η φωτοδιαπερατότητά του μειώνεται με την αύξηση της έντασης της φωτεινής ακτινοβολίας και έχει άριστα αποτελέσματα στον έλεγχο της θάμβωσης.
- **Υαλοπίνακας ομοιογενούς διάχυσης**
Είναι διπλός υαλοπίνακας με ενδιάμεσο στρώμα κυψελοειδούς υλικού, το οποίο συλλέγει το ηλιακό φως και το αποδίδει στον εσωτερικό χώρο ομοιογενώς.
- **Ηλεκτροχρωμικός υαλοπίνακας**
Είναι υαλοπίνακας, του οποίου οι ιδιότητες (οπτικά χαρακτηριστικά, διαπερατότητα) μεταβάλλονται με τη διοχέτευση ηλεκτρικού ρεύματος

Αντιθαμβωτικοί υαλοπίνακες [57]

Οι υαλοπίνακες αυτοί εξασφαλίζουν καλύτερη κατανομή του φυσικού φωτισμού και ελαχιστοποιούν τα προβλήματα οπτικής θάμβωσης. Τα σπουδαιότερα είδη είναι τα εξής:

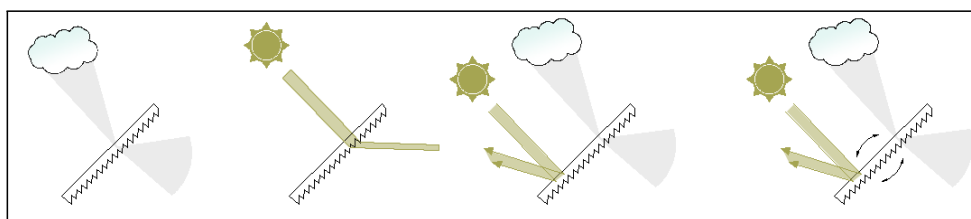
- **Διπλός υαλοπίνακας με εσωτερικά σκίαστρα**
Τα σκίαστρα έχουν υψηλή ανακλαστικότητα, τοποθετούνται ανάμεσα στους υαλοπίνακες (Σχήμα 7.4) και μπορεί να είναι σταθερά ή να κινούνται με τη χρήση μαγνητικών ή ηλεκτρικών μέσων, προσαρμόζοντας τη θέση τους ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες.



Σχήμα 7.4: Υαλοπίνακας με ενσωματωμένα σκίαστρα [57].

- Πρισματικός υαλοπίνακας [57]

Η πρισματική επιφάνεια (Σχήμα 7.5) ανακλά το άμεσο ηλιακό φως και επιτρέπει μόνο στο διάχυτο φως να εισέλθει στο χώρο.



Σχήμα 7.5: Αναπαράσταση πολλαπλών λειτουργιών πρισματικών υαλοπινάκων [57].

- Διπλός υαλοπίνακας με ολογραφικό υμένιο στο εσωτερικό του [57]

Ανακλά τη θερμική ακτινοβολία μειώνοντας τα θερμικά κέρδη αλλά επιτρέπει τη διέλευση του διάχυτου φωτός.

7.2.5 Ανάγκη χρήσης βελτιωμένων υαλοπινάκων

Σύμφωνα με έρευνα του Ολλανδικού Επιστημονικού Ινστιτούτου TNO, η Ελλάδα θα μπορούσε να εξοικονομεί το 2020 περισσότερες από 3,4 δισεκατομμύρια κιλοβατώρες ετησίως από την ενέργεια για ψύξη με την αντικατάσταση των απλών τζαμιών από υαλοπίνακες με ηλιακό έλεγχο σε κατοικίες και γραφεία. Ταυτόχρονα, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις λόγω της μικρότερης κατανάλωσης ενέργειας θα είναι πολύ σημαντικές.

Σε περίπτωση μάλιστα που η χρήση κλιματισμού στην Ελλάδα προσεγγίσει τα επίπεδα των ΗΠΑ, δηλαδή να φτάσει στα επίπεδα του 65% για τις κατοικίες και 100% για τα μη οικιστικά κτίρια έως το 2020, η μείωση των εκπομπών που θα προκύψει από την τοποθέτηση υαλοπινάκων ηλιακού ελέγχου, θα ανέρχεται σε 6,7 εκατομμύρια τόνους CO₂ ετησίως, σύμφωνα με την ίδια έρευνα .

Παράλληλα βέβαια, η ευρύτερη εφαρμογή κατάλληλων ενεργειακά παραθύρων αποτελεί απαίτηση για ένα καλύτερο κτιριακό περιβάλλον (σπίτια, επαγγελματικούς χώρους, εμπορικά κέντρα, σχολεία, πανεπιστήμια, νοσοκομεία, ξενοδοχεία κ.α.), εντός του οποίου βιώνουν όλοι οι άνθρωποι το 80% περίπου της ζωής τους. Είναι λοιπόν προφανής η επίδραση της ποιότητας του εσωτερικού κλίματος τόσο στην υγεία και την άνεση, όσο και στην παραγωγικότητα των ανθρώπων [62].

7.2.5.1 Σύγκριση μονών και διπλών υαλοπινάκων

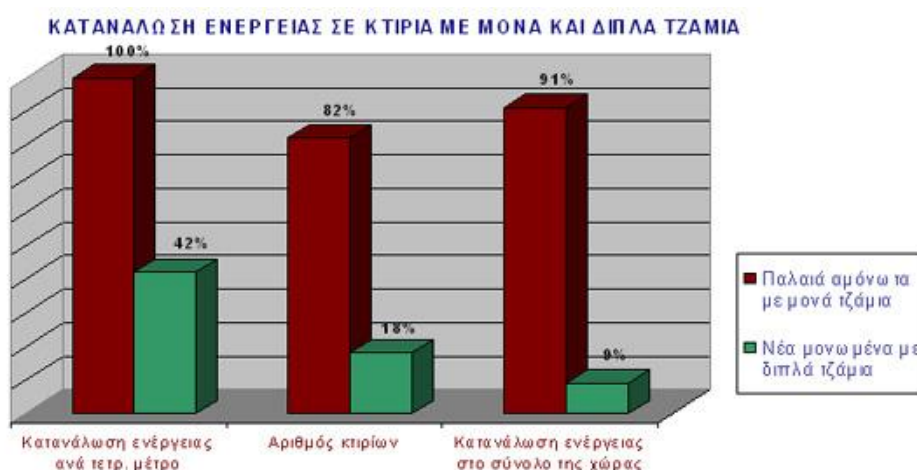
Όπως ήδη αναφέρθηκε, τα παράθυρα των κτιρίων συντελούν σε ένα μεγάλο ποσοστό στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και ψύξη των χώρων γιατί από αυτά μεταφέρεται μεγάλη ποσότητα ενέργειας, τόσο το χειμώνα όπου χάνεται θερμότητα από μέσα προς τα έξω, όσο και το καλοκαίρι που εισέρχεται θερμότητα από το ζεστό εξωτερικό περιβάλλον.

Η διαδικασία αυτή μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τη χρήση κατάλληλα κατασκευασμένων, ενεργειακά αποδοτικών παραθύρων. Τα παράθυρα αυτά θα πρέπει να έχουν υαλοπίνακες και πλαίσια κουφωμάτων που να παρουσιάζουν καλές θερμομονωτικές ιδιότητες [61].

Οι διπλοί και τριπλοί υαλοπίνακες με πλήρωση διακένου με αέρα παρουσιάζουν βελτιωμένες θερμομονωτικές και ηχομονωτικές ιδιότητες ενώ για ακόμη αποδοτικότερες ενεργειακά λύσεις η αγορά έχει εμπλουτιστεί με βελτιωμένους θερμομονωτικούς διπλούς και τριπλούς υαλοπίνακες, στους οποίους ο ξηρός αέρας πλήρωσης των διακένων αντικαθίσταται από τα ευγενή αέρια [59]. Επιπλέον, διπλοί και τριπλοί υαλοπίνακες με επίστρωση χαμηλής εκπομπής (Low-e) και με πλήρωση διακένου με αέρα ή ευγενή αέρια παρουσιάζουν ακόμη καλύτερες θερμομονωτικές ιδιότητες. Σε συνδυασμό με τις θερμομονωτικές τους ιδιότητες, τα παράθυρα θα πρέπει να είναι αεροστεγανά, ώστε να εμποδίζουν τη διαφυγή θερμότητας από

χαραμάδες, οι οποίες μπορεί να επιφέρουν σημαντικές απώλειες θερμότητας, όπως παρατηρείται σε κακής κατασκευής ή παλαιά κτίρια [61].

Στην Ελλάδα, από την ισχύ του Κανονισμού Θερμομόνωσης του 1979 είναι υποχρεωτική η χρήση διπλών υαλοπινάκων σε νέα κτίρια, έτσι ώστε να πληρούνται οι απαιτήσεις του Κανονισμού. Για τα παλαιά κτίρια, κτισμένα εν γένει πριν το 1979, η αντικατάσταση των μονών υαλοπινάκων με διπλούς, με πιθανή αντικατάσταση και των κουφωμάτων, αποτελεί μια σημαντική τεχνική εξοικονόμησης ενέργειας (Σχήμα 7.6). Η αντικατάσταση των παλιών παραθύρων με νέα, ενεργειακά αποδοτικά με διπλά τζάμια, αν και έχει κάποιο κόστος, μπορεί να ανατρέψει κατά ένα πολύ μεγάλο ποσοστό την κακή ενεργειακή απόδοση του κτιρίου, με πολλαπλά οφέλη, ενεργειακά-περιβαλλοντικά και οικονομικά. Η εξοικονομούμενη ενέργεια από κάθε επέμβαση εξοικονόμησης ενέργειας στο κέλυφος του κτιρίου, εξαρτάται από τη χρήση του κτιρίου, τα αρχιτεκτονικά του χαρακτηριστικά και το κλίμα της περιοχής [61].



Σχήμα 7.6: Κατανάλωση ενέργειας σε κτίρια με μονά και διπλά τζάμια [61].

Ενδεικτικά το ΚΑΠΕ προσομοίωσε ένα τυπικό διαμέρισμα 100 τ.μ. σε 4 πόλεις με χαρακτηριστικό κλίμα στην Ελλάδα και υπολόγισε την εξοικονόμηση ενέργειας που θα επιφέρει η αντικατάσταση παλαιών παραθύρων με μονά τζάμια με νέα, τα οποία θα έχουν διπλούς υαλοπίνακες τριών τύπων (συνήθη διπλό με διάκενο 4 και 6 χιλιοστά και διπλό χαμηλής εκπομπής με υλικό πλήρωσης αργό). Το ποσό της εξοικονομούμενης ενέργειας που προκύπτει για κάθε τύπο υαλοπίνακα και του αντίστοιχου πετρελαίου σε ετήσια βάση παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.5:

Πίνακας 7.5: Εξοικονόμηση ενέργειας λόγω χρήσης διπλών και βελτιωμένων υαλοπινάκων σε διάφορες περιοχές στην Ελλάδα [61].

ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ/ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΣΕ ΤΥΠΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΔΙΠΛΩΝ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΩΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ ΣΕ 4 ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ			
ΠΕΡΙΟΧΗ	ΤΥΠΟΣ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ	Εξοικονόμηση ενέργειας (kWh)	Εξοικονόμηση πετρελαίου (λίτρα)
ΦΛΩΡΙΝΑ	Διπλός 4-6-4	12.216	1.222
	Διπλός 4-12-4	14.381	1.438
	Διπλός-χαμηλής εκπομπής με αργό 4-12-4	16.421	1.642
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	Διπλός 4-6-4	8.551	855
	Διπλός 4-12-4	10.007	1.001
	Διπλός-χαμηλής εκπομπής με αργό 4-12-4	11.604	1.160
ΑΘΗΝΑ	Διπλός 4-6-4	5.192	519
	Διπλός 4-12-4	6.016	602
	Διπλός-χαμηλής εκπομπής με αργό	7.473	747
ΧΑΝΙΑ	Διπλός 4-6-4	4.191	419
	Διπλός 4-12-4	4.449	445
	Διπλός-χαμηλής εκπομπής με αργό 4-12-4	5.491	549

Εκτός από την εξοικονόμηση ενέργειας που επιφέρουν τα παράθυρα με διπλά τζάμια λόγω μειωμένων θερμικών ανταλλαγών με το περιβάλλον, παρουσιάζουν και μια σειρά από πλεονεκτήματα, όπως:

- μειώνουν την ακτινοβολία από ή προς τον εσωτερικό χώρο καθώς παρουσιάζουν επιφανειακή θερμοκρασία πλησιέστερη με αυτή των άλλων επιφανειών του χώρου,
- περιορίζουν τα ρεύματα του αέρα κοντά στο παράθυρο με αποτέλεσμα να προσφέρουν βελτιωμένες συνθήκες θερμικής άνεσης,
- αποτρέπουν τη συμπύκνωση υδρατμών το χειμώνα στην επιφάνειά τους, και
- μειώνουν το θόρυβο [61].

7.3 Πλαίσια

7.3.1 Ορισμός και τυπικά είδη πλαισίων

Πλαίσιο (κάσσα) ονομάζεται το σταθερό τμήμα του κουφώματος, που στερεώνεται στα περιμετρικά δομικά στοιχεία και υποδέχεται το φύλλο σε ειδικές υποδοχές (πατούρες). Στερεώνεται σταθερά στα περιμετρικά στοιχεία με ειδικά άγκιστρα, λάμες και λοιπά είδη στερεώσεως. Τα κενά μεταξύ δομικού στοιχείου και πλαισίου πληρούνται με κατάλληλο υλικό (π.χ. διογκωμένη πολουρεθάνη). Η

στερέωση των πλαισίων επί των τοίχων ή των ελαφρών χωρισμάτων επιτυγχάνεται με σιδηρές λάμες, συνδετήρες UPAT ή παρεμφερή υλικά. Στην περίπτωση που τα πλαίσια έχουν μεταβλητό πλάτος, μπορούν να τοποθετηθούν μετά την αποπεράτωση των χρωματισμών, οπότε τοποθετείται ψευτοκάσα για την αποπεράτωση των επιχρισμάτων. Τα πλαίσια φέρουν και τους μηχανισμούς, τα εξαρτήματα στερέωσης και λειτουργίας των φύλλων του κουφώματος [63].

Παρακάτω ακολουθούν τα τυπικά είδη πλαισίων [54]:

Ξύλινα πλαίσια:

Το ξύλο χρησιμοποιείται τόσο για την κατασκευή των διατομών πλαισίων για εξωτερικά κουφώματα, όσο και για την κατασκευή εσωτερικών θυρών και αποτελεί τη συχνότερη επιλογή για κουφώματα παραδοσιακών κατοικιών. Τα ξύλινα κουφώματα κατασκευάζονται από ποικιλία υλικών με βάση τη φυσική ξυλεία και παράγωγα αυτής. Τα παράγωγα ξύλου, σε σύγκριση με τη φυσική ξυλεία, παρουσιάζουν βελτιωμένη συμπεριφορά σε υγρασία, αντοχή σε παράσιτα και μύκητες και ικανοποιητική μηχανική αντοχή. Γενικά, τα είδη ξυλείας που χρησιμοποιούνται στα κουφώματα εμφανίζουν ευρεία διακύμανση ως προς τα χαρακτηριστικά τους, την αντοχή τους στο χρόνο, την εκτέλεση των απαιτούμενων εργασιών συντήρησης αλλά και το κόστος τους. Κατά κύριο λόγο, για την κατασκευή των ξύλινων πλαισίων προτιμάται η σκληρή ξυλεία που προέρχεται από όλα τα πλατύφυλλα δένδρα (δρυ, καρυδιά κτλ.) και διακρίνεται για τις μηχανικές της αντοχές, την αντοχή της στη φθορά και τη μικρή υγραπορροφητικότητα της (ανθεκτικότητα στη σήψη). Εντούτοις, τα ξύλα αυτά έχουν αυξημένο κόστος και δυσκολότερη επεξεργασία.

Τα πλαίσια από κράματα αλουμινίου:

Τα προϊόντα από αλουμίνιο κυριαρχούν σήμερα στην οικοδομική των όψεων των κτιρίων, καθώς το αλουμίνιο ή πιο συγκεκριμένα, ορισμένα κράματα του, αποτελούν άριστη επιλογή, τόσο για νέες κατασκευές, όσο και για ανακαινίσεις παλαιών κτισμάτων, ακόμη και κτιρίων με ιστορική αξία. Ιδανική σχέση μηχανικής αντοχής/βάρους καθιέρωσε τη χρήση του αλουμινίου στα κουφώματα. Η υψηλή μηχανική αντοχή του παρέχει διαστασιακή ακρίβεια και μικρή παραμορφωσιμότητα, η οποία είναι απαραίτητη για την επίτευξη πολύ καλής λειτουργικότητας, αλλά και

για τη διατήρηση των υψηλών ενεργειακών χαρακτηριστικών των κουφωμάτων καθόλη τη διάρκεια ζωής τους. Λόγω της αντοχής του, μάλιστα, το αλουμίνιο βρίσκει εφαρμογή και στην κατασκευή συρόμενων κουφωμάτων.

Τα πλαίσια από συνθετικά υλικά :

Από τα συνθετικά υλικά, για την κατασκευή κουφωμάτων χρησιμοποιείται κυρίως το σκληρό πολυβινυλοχλωρίδιο (σκληρό PVC, PVC-U ή uPVC) σε ράβδους διαφόρων διατομών. Κάθε διατομή συνθετικού κουφώματος μπορεί να είναι μονοθαλαμική ή πολυθαλαμική. Σημαντικό στοιχείο για την επιλογή ενός συνθετικού κουφώματος αποτελεί η μεγάλη ανθεκτικότητα του και η διάρκεια ζωής του, χωρίς ιδιαίτερες εργασίες συντήρησης, σε συνάρτηση με το χαμηλό κόστος αγοράς του. Το σκληρό PVC δεν προσβάλλεται από την υγρασία και εμφανίζει σημαντική ανθεκτικότητα στους συνήθεις ατμοσφαιρικούς παράγοντες (όξινη βροχή, βιομηχανική ρύπανση κτλ.). Σημαντικό πλεονέκτημα επίσης των συνθετικών κουφωμάτων είναι η καλή θερμομονωτική ικανότητα, η οποία οφείλεται στη διαμόρφωση πολυθαλαμικών διατομών, τόσο για την κάσα, όσο και για το φύλλο.

Κεφάλαιο 8^ο

Κ.Εν.Α.Κ

8.1 Σκοπός του Κ.Εν.Α.Κ

Η κλιματική αλλαγή, η ενεργειακή απεξάρτηση από τρίτες χώρες και η αναγκαιότητα αναβάθμισης του υπάρχοντος κτιριακού αποθέματος οδήγησαν την Ευρώπη στην έκδοση της Κοινοτικής Οδηγίας 2002/91/ΕΚ περί ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Η χώρα μας, ως όφειλε απέναντι στις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης και κυρίως απέναντι στους πολίτες της, εναρμόνισε την εθνική μας νομοθεσία με την Κοινοτική Οδηγία, σύμφωνα με τον Νόμο 3661/2008. Προϋπόθεση για την εφαρμογή του Νόμου υπήρξε η έκδοση του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων [19].

Η θέσπιση του Κ.Εν.Α.Κ έχει σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας για θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό (ΘΨΚ), φωτισμό και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ΖΝΧ) με την ταυτόχρονη διασφάλιση συνθηκών άνεσης στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων.

Ο σκοπός αυτός επιτυγχάνεται μέσω του ενεργειακά αποδοτικού σχεδιασμού του κελύφους, της χρήσης ενεργειακά αποδοτικών δομικών υλικών και ηλεκτρομηχανολογικών (Η/Μ) εγκαταστάσεων, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ).

Για τους παραπάνω σκοπούς λοιπόν :

- Ορίζεται μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων για την εκτίμηση των ενεργειακών καταναλώσεων των κτιρίων για ΘΨΚ, φωτισμό και ΖΝΧ.
- Καθορίζονται ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση και κατηγορίες για την ενεργειακή κατάταξη των κτιρίων.
- Καθορίζονται οι ελάχιστες προδιαγραφές για τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό των κτιρίων, τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους και οι προδιαγραφές των Η/Μ εγκαταστάσεων, των υπό μελέτη νέων καθώς και των ριζικά ανακαινιζόμενων κτιρίων.
- Ορίζεται το περιεχόμενο της μελέτης ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.
- Καθορίζεται η μορφή του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίου, καθώς και τα στοιχεία που αυτό θα περιλαμβάνει.

- Καθορίζεται η διαδικασία των ενεργειακών επιθεωρήσεων των κτιρίων, καθώς και η διαδικασία των επιθεωρήσεων λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού [64].

8.2 Πεδίο εφαρμογής νόμου [44]

Για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και την εφαρμογή των επί μέρους ρυθμίσεων του Κανονισμού, τα κτίρια κατατάσσονται, κατά κατηγορία, σε:

- κατοικίες διαφόρων τύπων, όπως μονοκατοικίες, διαμερίσματα και συγκροτήματα αυτών,
- πολυκατοικίες,
- γραφεία,
- εκπαιδευτικά κτίρια,
- νοσοκομεία,
- ξενοδοχεία και εστιατόρια,
- αθλητικές εγκαταστάσεις,
- κτίρια υπηρεσιών χονδρικού και λιανικού εμπορίου,
- κάθε άλλη κατηγορία κτιρίων που καταναλώνουν ενέργεια.

Για τα νέα κτίρια ο νόμος ορίζει τα εξής:

- ❖ Τα νέα κτίρια πρέπει να πληρούν τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης που ορίζονται στον Κανονισμό.
- ❖ Για τα νέα κτίρια συνολικής επιφάνειας άνω των χιλίων (1.000) τ.μ., πριν την έναρξη της ανέγερσης, πρέπει να εκπονείται και να υποβάλλεται στην αρμόδια Πολεοδομική Υπηρεσία μελέτη, η οποία περιλαμβάνει την τεχνική, περιβαλλοντική και οικονομική σκοπιμότητα εγκατάστασης τουλάχιστον ενός εκ των εναλλακτικών συστημάτων παροχής ενέργειας, όπως αποκεντρωμένων συστημάτων παροχής ενέργειας που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, συστημάτων θέρμανσης ή ψύξης σε κλίμακα περιοχής ή οικοδομικού τετραγώνου, καθώς και αντλιών θερμότητας.

Για τα υφιστάμενα κτίρια ο νόμος ορίζει:

- ❖ Στα κτίρια συνολικής επιφάνειας άνω των χιλίων (1.000) τ.μ. που υφίστανται ριζική ανακαίνιση, η ενεργειακή απόδοσή τους αναβαθμίζεται, στο βαθμό που αυτό είναι τεχνικά, λειτουργικά και οικονομικά εφικτό, ώστε να πληροί τις

ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης, όπως αυτές καθορίζονται στον Κανονισμό. Οι απαιτήσεις αυτές θεσπίζονται είτε για το ανακαινιζόμενο κτίριο ως σύνολο είτε μόνο για τις ανακαινιζόμενες εγκαταστάσεις ή τα δομικά στοιχεία αυτού, εφόσον αποτελούν μέρος ανακαίνισης που πρέπει να ολοκληρωθεί εντός περιορισμένου χρονικού διαστήματος, με στόχο τη βελτίωση της συνολικής ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου.

- ❖ Με απόφαση των Υπουργών Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, είναι δυνατόν οι απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης να εφαρμόζονται και στις ριζικές ανακαινίσεις κτιρίων, συνολικής επιφάνειας κάτω των χιλίων (1.000) τ.μ..

Για την περίπτωση κτιρίων για τα οποία έχει εκδοθεί οικοδομική άδεια πριν από την έναρξη ισχύος της παρούσας απόφασης, αλλά η κατασκευή τους ολοκληρώνεται μετά την έναρξη ισχύος της παρούσας δεν ισχύει η υποχρέωση διενέργειας ενεργειακής επιθεώρησης και έκδοσης ΠΕΑ, πέραν των περιπτώσεων αγοροπωλησίας ή μίσθωσης.

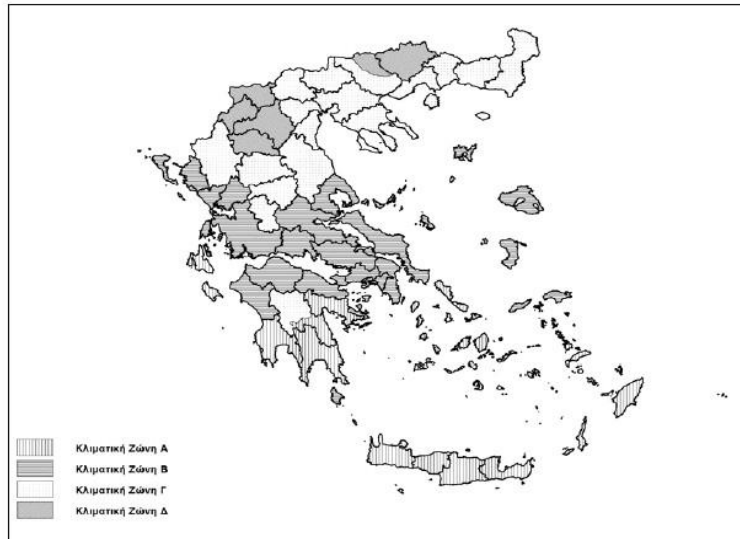
8.3 Κλιματικές ζώνες [44]

Για την εφαρμογή του Κ.ΕΝ.ΑΚ η ελληνική επικράτεια διαιρείται σε 4 κλιματικές ζώνες με βάση τις βαθμοήμερες θέρμανσης. Στον Πίνακα 8.1 προσδιορίζονται οι νομοί που υπάγονται στις τέσσερις κλιματικές ζώνες (από τη θερμότερη στην ψυχρότερη) και ακολουθεί σχηματική απεικόνιση των παραπάνω ζωνών στο Σχήμα 8.1.

Πίνακας 8.1: Νομοί ελληνικής επικράτειας ανά κλιματική ζώνη.

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
ZΩΝΗ Α	Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή)
ZΩΝΗ Β	Αττικής (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας

ΖΩΝΗ Γ	Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλης, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενά, Κοζάνη, Καστοριά, Φλώρινα, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας



Σχήμα 8.1: Σχηματική απεικόνιση κλιματικών ζωνών ελληνικής επικράτειας.

8.4 Ελάχιστες προδιαγραφές κτιρίων [44]

Ο Κ.Εν.Α.Κ. θέτει τους εξής περιορισμούς όσον αφορά το σχεδιασμό του κτιρίου και το κτιριακό κέλυφος:

I. Σχεδιασμός κτιρίου

Στο σχεδιασμό του κτιρίου θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω παράμετροι:

- Κατάλληλη χωροθέτηση και προσανατολισμός του κτιρίου για τη μέγιστη αξιοποίηση των τοπικών κλιματικών συνθηκών.
- Διαμόρφωση περιβάλλοντα χώρου για τη βελτίωση του μικροκλίματος.
- Κατάλληλος σχεδιασμός και χωροθέτηση των ανοιγμάτων ανά προσανατολισμό ανάλογα με τις απαιτήσεις ηλιασμού, φυσικού φωτισμού και αερισμού.

- Χωροθέτηση των λειτουργιών ανάλογα με τη χρήση και τις απαιτήσεις άνεσης (θερμικές, φυσικού αερισμού και φωτισμού).
- Ενσωμάτωση τουλάχιστον ενός εκ των Παθητικών Ηλιακών Συστημάτων (ΠΗΣ), όπως: άμεσου ηλιακού κέρδους (νότια ανοίγματα), τοίχος μάζας, τοίχος Trombe, ηλιακός χώρος (θερμοκήπιο) κ.α.
- Ηλιοπροστασία.
- Ένταξη τεχνικών φυσικού αερισμού.
- Εξασφάλιση οπτικής άνεσης μέσω τεχνικών και συστημάτων φυσικού φωτισμού.

Αδυναμία εφαρμογής των ανωτέρω απαιτεί επαρκή τεχνική τεκμηρίωση.

II. Κτιριακό κέλυφος

Σύμφωνα με την παράγραφο 2(α,β) του άρθρου 9 του Κ.Εν.Α.Κ., τόσο στην ενεργειακή μελέτη, όσο και στην ενεργειακή επιθεώρηση ο συντελεστής θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων του κτηρίου αναφοράς ορίζεται ίσος με το μέγιστο επιτρεπόμενο ανά δομικό στοιχείο και κλιματική ζώνη.

Στον Πίνακα 8.2 δίνονται οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας U (σε $W/(m^2K)$) για τα δομικά στοιχεία και για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες, όπως ορίζονται στο άρθρο 8 του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων.

Πίνακας 8.2: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα.

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ [W/m ² K]			
		ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ			
		A	B	Γ	Δ
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές)	U_D	0,5	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	U_w	0,6	0,5	0,45	0,4
Δάπεδα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (pilotis)	U_{DL}	0,5	0,45	0,40	0,35
Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος ή με κλειστούς μη θερμαινόμενους χώρους	U_G	1,20	0,9	0,75	0,70

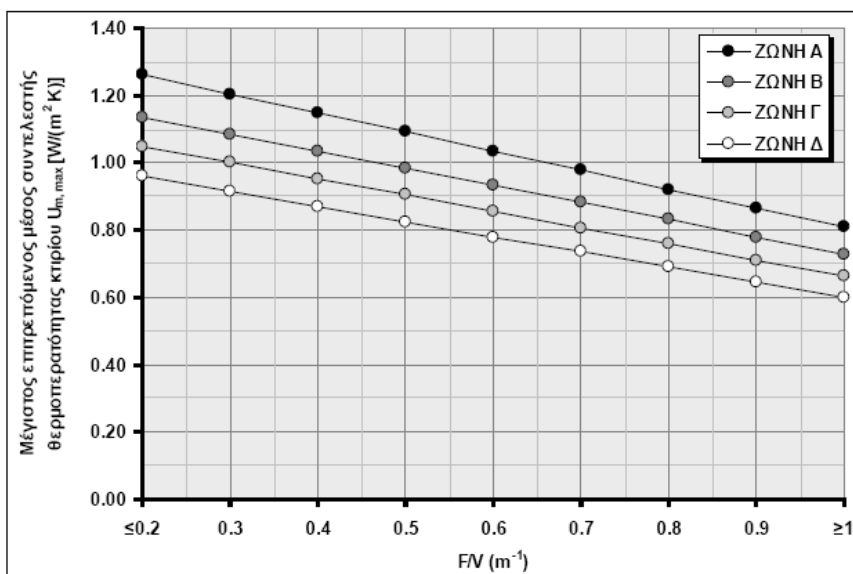
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με μη θερμαινόμενους χώρους ή με το έδαφος	U_{WE}	1,50	1,00	0,80	0,70
Ανοίγματα(παράθυρα, πόρτες μπαλκονιών κα)	U_F	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινες προσόψεις κτιρίων μη ανοιγόμενες και μερικώς ανοιγόμενες)	U_{GF}	2,20	2,00	1,80	1,80

Επιπλέον ο Κ.ΕΝ.ΑΚ καθορίζει πως:

- Για τα νέα ή ριζικά ανακαινιζόμενα κτίρια που ενσωματώνουν στο κέλυφος παθητικά συστήματα, τα συστήματα αυτά δε λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας (U_m) ως έχουν, αλλά αντικαθίστανται με αντίστοιχα συμβατικά δομικά μη διαφανή στοιχεία με θερμικά χαρακτηριστικά που δίνονται στον παραπάνω Πίνακα 8.2. Για τα δομικά στοιχεία που αποτελούν παθητικά ηλιακά συστήματα δεν ισχύει ο περιορισμός του μέγιστου επιτρεπόμενου συντελεστή θερμοπερατότητας, με την εξαίρεση του συστήματος άμεσου ηλιακού κέρδους (νότια ανοίγματα).
- Η τιμή του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας(U_m) του εξεταζόμενου νέου ή ριζικά ανακαινιζόμενου κτιρίου δεν υπερβαίνει τα όρια που δίδονται στον Πίνακα 8.3 και στο Σχήμα 8.2.
- Η διαδικασία υπολογισμού των συντελεστών θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων, των γραμμικών συντελεστών θερμοπερατότητας (θερμογέφυρες), καθώς και του μέγιστου επιτρεπόμενου μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας (U_m) του κτιρίου καθορίζεται με σχετική ΤΟΤΕΕ (Τεχνικές Οδηγίες Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας) κατόπιν έγκρισής της με απόφαση του Υπουργού ΠΕΚΑ (Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής).

Πίνακας 8.3: Μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας (U_m) κατά κλιματική ζώνη.

F/V (m^{-1})	Μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής (U_m) σε $W/(m^2 K)$			
	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



Σχήμα 8.2: Μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας κτιρίου $U_{m,max}$ [W/(m²·K)] κατά κλιματική ζώνη.

8.5 Κτίριο αναφοράς - Καθορισμός κατηγοριών ενεργειακής απόδοσης κτιρίων [44]

Ως Κτίριο Αναφοράς ορίζεται ένα κτίριο με την ίδια χρήση, προφίλ λειτουργίας, γεωμετρία (επιφάνεια χρήσιμων και κοινόχρηστων χώρων, επιφάνεια κλιματιζόμενων χώρων, επιφάνεια εξωτερικών τοίχων, επιφάνεια δαπέδων και επιφάνεια οροφής) και προσανατολισμό εξωτερικών δομικών στοιχείων, με το υπό σχεδίαση και μελέτη νέο κτίριο.

Το κτίριο αναφοράς έχει καθορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά τόσο στα εξωτερικά δομικά στοιχεία του όσο και στις εγκαταστάσεις Κλιματισμού/Αερισμού/Ψύξης/Θέρμανσης (ΚΑΨΘ) καθώς και στις εγκαταστάσεις παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX).

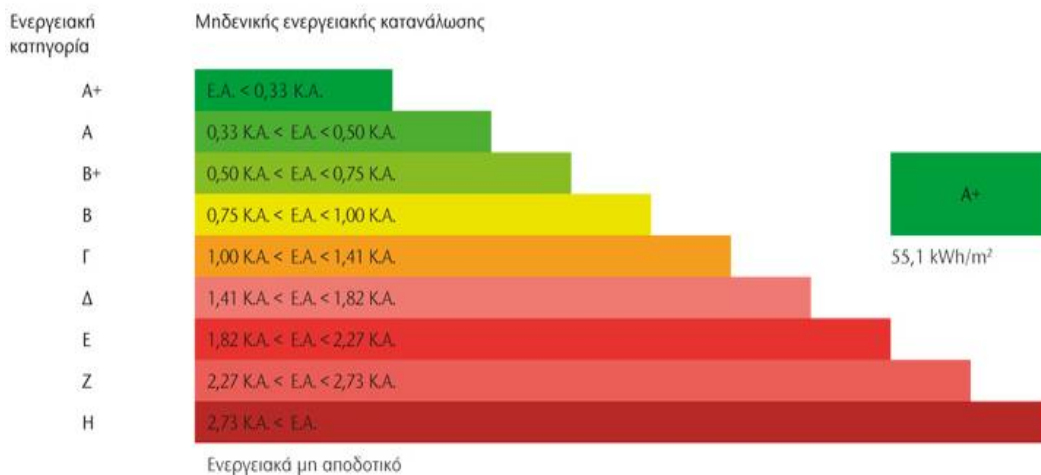
Οι ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης κτιρίου εκτιμώνται μέσω υπολογισμών με βάση το κτίριο αναφοράς [44].

Με βάση την εισήγηση του KENAK, τα όρια βαθμονόμησης της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου λαμβάνονται με βάση τα όρια του Πίνακα 8.4 που ακολουθεί:

Πίνακας 8.4: Κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτιρίων [44].

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

Ο δείκτης RR 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.



Σχήμα 8.3: Καθορισμός ενεργειακής κατηγορίας κτιρίου [64]

Οι κατηγορίες ενεργειακής κατάταξης (A+, A, B+, B, κτλ.) καθορίζονται από ένα εύρος τιμών κατανάλωσης ενέργειας για κάθε χρήση κτιρίου και κλιματική ζώνη.

Το κτίριο αναφοράς αντιστοιχεί στην ενεργειακή κλάση B των κτιρίων (Σχήμα 8.3). Κτίρια με χαμηλότερη ή υψηλότερη ενεργειακή απαίτηση θα κατατάσσονται στην αντίστοιχη ενεργειακή κλάση βαθμονόμησης (πιστοποίησης). Η ενεργειακή κλάση B του κτιρίου αναφοράς θα είναι η ελάχιστη για τα υπό σχεδίαση νέα κτίρια κατοικίας. Η διαδικασία εκτίμησης της ενεργειακής κλάσης ενός κτιρίου θα γίνεται με την μέθοδο που ήδη αναφέρθηκε παραπάνω [44].

Όλα τα νέα κτίρια, καθώς και τα υφιστάμενα άνω των 1.000 m² που υφίστανται ριζική ανακαίνιση, θα πρέπει να βρίσκονται κατ' ελάχιστον εντός του εύρους ενεργειακής κατανάλωσης της κατηγορίας B. Η πιστοποίηση αυτή ισχύει για 10 χρόνια εκτός από την περίπτωση ριζικής ανακαίνισης του κτιρίου πριν παρέλθει η δεκαετία [44].

Κεφάλαιο 9^ο

ΚΥΡΙΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΕΛΥΦΟΥΣ

9.1 Επίδραση σημαντικότερων παραμέτρων κτιριακού κελύφους

Όπως παρουσιάστηκε αναλυτικά στα προηγούμενα κεφάλαια, οι παράμετροι του κτιριακού κελύφους που επηρεάζουν την ενεργειακή κατανάλωση θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου είναι πολλές. Ωστόσο οι τιμές αρκετών παραμέτρων του κτιριακού κελύφους καθορίζονται μέσω θεσμικών πλαισίων και νόμων με σημαντικότερο τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ) καθώς και μέσω ελληνικών τεχνικών οδηγιών οι οποίες εκπονήθηκαν με στόχο την ανάλυση και την στήριξη του Κ.Εν.Α.Κ αλλά και την σωστή και αυστηρή εφαρμογή αυτού. Παράλληλα, αρκετές παράμετροι καθορίζονται σε σχεδόν σταθερές τιμές λόγω φυσικών, τεχνικών και κατασκευαστικών περιορισμών και απαιτήσεων, ενώ παράλληλα παρατηρούνται παράμετροι οι τιμές των οποίων έχουν πολύ μικρή επίδραση στην κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης και ψύξης.

Οι σημαντικότεροι ωστόσο κατασκευαστικοί παράγοντες που επιδρούν στο επίπεδο κατανάλωσης ενέργειας στα κτήρια είναι η μόνωση, με χαρακτηριστικά το πάχος και την ειδική θερμική αγωγιμότητα και οι υαλοπίνακες, με χαρακτηριστικά τον συντελεστή θερμικής διαπερατότητας, το ποσοστό επιφανείας επί του κελύφους και τον προσανατολισμό. Αυτό συμβαίνει διότι τα δύο αυτά δομικά στοιχεία παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη και τη μικρότερη θερμική αντίσταση, αντίστοιχα, από όλα τα άλλα στοιχεία του κελύφους.

Επιπλέον, οι υαλοπίνακες επιτρέπουν την είσοδο ηλιακών φορτίων υπό μορφή ακτινοβολίας καθώς επίσης σχετίζονται με τον φωτισμό του κτιρίου, ο οποίος συχνά δημιουργεί ένα από τα σημαντικότερα φορτία θέρους. Η λειτουργία της μόνωσης, και πολύ περισσότερο των υαλοπινάκων, διαφέρει κατά τη χειμερινή και την θερινή περίοδο λόγω της επιθυμητής, κατά το χειμώνα, ηλιακής ενέργειας, της οποίας την είσοδο δυσκολεύει η μόνωση, ενώ αντίθετως επιτρέπει ο υαλοπίνακας.

Η ιδιότητα αυτή των υαλοπινάκων γίνεται περισσότερο σημαντική αν στους απέναντι τοίχους υπάρχουν συστήματα αύξησης του θερμοαποθηκευτικού δυναμικού (π.χ. υλικά αλλαγής φάσης). Παράλληλα ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι υαλοπίνακες, και σε μικρότερο βαθμό η μόνωση, κατά τη χειμερινή περίοδο αφού

επιτρέπουν την είσοδο τόσο θετικών (ηλιακή ακτινοβολία), όσο και αρνητικών (αγωγή θερμότητας λόγω διαφοράς θερμοκρασίας) φορτίων. Με την επιλογή κατάλληλων τιμών των χαρακτηριστικών των υαλοπινάκων και της μόνωσης επιδιώκεται θετικό αλγεβρικό άθροισμα των παραπάνω φορτίων με αποτέλεσμα την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης και γενικά της εξοικονόμησης ενέργειας [65].

Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά της μόνωσης όπως έχουμε αναφέρει ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του μονωτικού υλικού εξαρτάται από το είδος του υλικού που χρησιμοποιείται και δύναται να μεταβληθεί η τιμή του με μεταβολή του υλικού ενώ αντίστοιχα το πάχος καθορίζεται από την επιδιωκόμενη θερμική προστασία του κάθε δομικού στοιχείου του κελύφους. Ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας των δομικών στοιχείων εξαρτάται από τη θερμική αντίσταση της θερμομονωτικής στρώσης, η τιμή της οποίας καθορίζεται από το πάχος της μόνωσης και το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Με βάση τα παραπάνω λοιπόν κατανοούμε ότι αυξάνοντας για παράδειγμα το πάχος μόνωσης και διατηρώντας ίδιο το υλικό της μόνωσης (και συνεπώς το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας) ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας της μόνωσης μειώνεται ενώ αντίστοιχα χρήση υλικού με υψηλότερο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας και σε σταθερό πάχος εφαρμογής αυξάνει το συντελεστή θερμικής διαπερατότητας.

Όπως αναφέραμε στο Κεφάλαιο 7 για τους υαλοπίνακες ο νότιος προσανατολισμός κρίνεται βέλτιστος όσον αφορά την ενεργειακή εξοικονόμηση ενώ αντίθετα ο βόρειος είναι ο πιο ζημιογόνος. Έτσι προτιμώνται μεγάλα ανοίγματα στο νότο, μικρά στο βορρά και μέτρια ανοίγματα προτιμώνται στη δύση και την ανατολή ενώ όσον αφορά το ποσοστό υαλοπινάκων να σημειωθεί ότι αύξηση της επιφάνειας των υαλοπινάκων στο βόρειο προσανατολισμό επιφέρει αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης για θέρμανση αντίθετα με την αύξηση των ανοιγμάτων στο νότιο προσανατολισμό που επιφέρει μεγαλύτερα ηλιακά θερμικά κέρδη και συνεπώς μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης.

Σε μελέτη που διεξήχθη για κτίριο στην περιοχή της Αθήνας για την 21^η Ιανουαρίου αποδείχθηκε ότι για σταθερό πάχος μόνωσης και αυξάνοντας το ποσοστό της επιφάνειας των υαλοπινάκων στο κέλυφος επιτυγχάνεται πτώση της ενεργειακής κατανάλωσης για θέρμανση λόγω αύξησης του θερμικού ηλιακού κέρδους η οποία υπερκαλύπτει την αύξηση των απωλειών δι' αγωγής που επέρχεται λόγω της αύξησης της επιφάνειας αυτών [65].

Αντίστοιχα προέκυψε ότι για σταθερή τιμή του ποσοστού των υαλοπινάκων, επί του κελύφους, μεγαλύτερη της οριακής τιμής $p=5\%$, αύξηση του πάχους της μόνωσης προκαλεί την αναμενόμενη μείωση της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης. Το αντίθετο ωστόσο παρατηρήθηκε στην περίπτωση που το ποσοστό των υαλοπινάκων είναι μικρότερο αυτής της τιμής. Για σταθερή τιμή δηλαδή του ποσοστού των υαλοπινάκων η οποία είναι μικρότερη του 5% , αύξηση του πάχους της μόνωσης προκαλεί αύξηση της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης. Η μη αναμενόμενη αυτή συμπεριφορά οφείλεται στη μείωση (λόγω αύξησης του πάχους της μόνωσης) της δι' αγωγής εισερχόμενης ηλιακής θερμότητας μέσω των εξωτερικών τοίχων, η οποία παίζει τώρα το ρυθμιστικό ρόλο αντί της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται από την περιορισμένη επιφάνεια των υαλοπινάκων. Η αντίθετη συμπεριφορά της μόνωσης για ποσοστά υαλοπινάκων επί του κελύφους μεγαλύτερα και μικρότερα της οριακής τιμής αυτού έχει σαν αποτέλεσμα η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας να εμφανίζεται σχεδόν ανεξάρτητη του πάχους της μόνωσης όταν το ποσοστό των υαλοπινάκων λάβει την οριακή αυτή τιμή [65].

Εισαγωγή

ΜΕΡΟΣ Β'

Στο δεύτερο μέρος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας γίνεται υπολογιστική μελέτη της επίδρασης των κυρίων χαρακτηριστικών του κτιριακού κελύφους στην ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων στην περιοχή της Αθήνας. Σε αυτά ανήκουν οι παράμετροι που προσδιορίζουν την μόνωση και τους υαλοπίνακες, καθώς τα δύο αυτά χαρακτηριστικά παρουσιάζουν την μεγαλύτερη και την μικρότερη θερμική αντίσταση αντίστοιχα.

Όλοι οι υπολογισμοί αφορούν τυπικό ελληνικό κτίριο αναφοράς ενώ τα κλιματολογικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται αφορούν την περιοχή της Αθήνας. Η μελέτη έγινε για την 21^η ημέρα κάθε μήνα θέρμανσης δηλαδή για τους μήνες Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο. Τα φορτία που λαμβάνονται υπόψη είναι το ηλιακό θερμικό κέρδος των υαλοπινάκων, το φορτίο δι' αγωγής των υαλοπινάκων, το φορτίο μέσω των τοίχων και της οροφής και τέλος το ψυκτικό φορτίο λόγω ανανέωσης και διεύδυσης αέρα.

Αρχικά υπολογίζεται το συνολικό φορτίο του κτιριακού κελύφους αναφοράς την 21^η ημέρα κάθε μήνα θέρμανσης για τις δεδομένες τιμές των παραμέτρων που εξετάζουμε. Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι καμπύλες σταθερής ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης συναρτήσεως των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τη μόνωση και τους υαλοπίνακες και μελετάται η επίδραση του συνδυασμού των παραμέτρων αυτών στην ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου. Οι υπολογισμοί αυτοί αρχικά αφορούν την περίπτωση του τυπικού κτιρίου αναφοράς με θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος ίση με 20°C ενώ στη συνέχεια η θερμοκρασία αυτή θεωρείται ίση με 22°C και εξάγονται συγκριτικά συμπεράσματα. Υπολογίζονται ακόμη οι καμπύλες σταθερής ημερήσιας κατανάλωσης για την περίπτωση που το κτίριο αναφοράς έχει βελτιωμένη κατανομή υαλοπινάκων και ακολουθεί η σύγκριση των αποτελεσμάτων με τη βασική περίπτωση μελέτης δηλαδή με το κτίριο αναφοράς στο οποίο υπάρχουν υαλοπίνακες στο βορρά.

Επιπλέον, γίνεται σύγκριση κάποιων αποτελεσμάτων της μεθόδου που ακολουθήθηκε σε αυτήν την εργασία με τα αποτελέσματα της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών που εφαρμόστηκε σε δημοσίευση, όπου εξετάζεται η

συνδυασμένη επίδραση της μόνωσης και των υαλοπινάκων στη μεταβατική κατανάλωση ενέργειας των κτιρίων.

Τέλος, αναζητούνται για τις ίδιες τυπικές ημέρες των μηνών θέρμανσης οι συνδυασμοί των παραμέτρων της μόνωσης και των υαλοπινάκων που καθιστούν το κέλυφος «ψευδοαδιαβατικό» αφού πρώτα έχει δοθεί ο προσδιορισμός της έννοιας αυτής ενώ και πάλι ακολουθεί σύγκριση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών.

Κεφάλαιο 10^ο

ΘΕΡΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ 21^η ΗΜΕΡΑ ΤΩΝ ΧΕΙΜΕΡΙΝΩΝ ΜΗΝΩΝ

10.1 Υπολογισμός προσπίπτουσας στιγμιαίας ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου, G_t

Η προσπίπτουσα στιγμιαία ολική ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου (G_t) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$G_t = G_b R_b + G_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + G_b + G_d \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \left[\frac{kW}{m^2} \right] \quad (10.1.1)$$

όπου:

- $G_b \left[\frac{kW}{m^2} \right]$: η άμεση στιγμιαία ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου,
- $G_d \left[\frac{kW}{m^2} \right]$: η διάχυτη στιγμιαία ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου,
- R_b : αδιάστατος αριθμός
- ρ : τυπική τιμή για ανακλαστικότητα εδάφους. Ο συντελεστής ρ ισούται με 0,2 για συνηθισμένο έδαφος και έως 0,7 για χιονισμένο έδαφος. Στην παρούσα μελέτη για την ανακλαστικότητα του εδάφους επιλέχθηκε η τιμή $\rho = 0,2$.
- β : η κλίση του επιπέδου και εφόσον οι υαλοπίνακες είναι κάθετοι στο οριζόντιο επίπεδο $\beta=90^\circ$,
- $\left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right), \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right)$: οι παράγοντες όρασης ουρανού και εδάφους αντίστοιχα για το κεκλιμένο επίπεδο.

Στις ενότητες που ακολουθούν υπολογίζονται ξεχωριστά οι παράμετροι G_b , G_d , R_b της εξίσωσης (10.1.1) προκειμένου να υπολογιστεί η προσπίπτουσα ακτινοβολία κατακόρυφου επιπέδου, G_t .

10.1.1 Υπολογισμός της στιγμιαίας άμεσου και διάχυτης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου G_b και G_d

Για τον υπολογισμό της στιγμιαίας άμεσου και διάχυτου ακτινοβολίας, G_b και G_d για κάθε ώρα της μέρας που υπάρχει ηλιοφάνεια, δηλαδή από τις 7:00 πμ ως τις 18:00 μμ ($t=7, \dots, 18$) χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες σχέσεις :

$$G_b = M_t + A_t \sin\left(\frac{360}{365}D - P_t\right) \left[\frac{kW}{m^2}\right] \quad (10.1.1.1)$$

$$G_d = m_t + a_t \sin\left(\frac{360}{365}D - p_t\right) \left[\frac{kW}{m^2}\right] \quad (10.1.1.2)$$

όπου, οι συντελεστές M_t , A_t , P_t , m_t , a_t , p_t δίνονται για κάθε ώρα t στον παρακάτω Πίνακα 10.1.1.1.

Πίνακας 10.1.1.1: Τιμές των συντελεστών των εξισώσεων (10.1.1.1) και (10.1.1.2).

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

ενώ η μεταβλητή $D=1 \div 365$ είναι ο αύξων αριθμός της ημέρας που μελετάμε.

Δηλαδή, για κάθε μήνα θέρμανσης ισχύει:

21^η Ιανουαρίου: $D = 21$

21^η Φεβρουαρίου: $D=31+21= 52$

21^η Μαρτίου: $D=59+21=80$

21^η Νοέμβρη: $D=304+21=325$

21^η Δεκέμβρη: $D=334 +21=355$

Με εφαρμογή των δύο παραπάνω εξισώσεων (Εξ. 10.1.1.1 και 10.1.1.2) και με τις τιμές του Πίνακα 10.1.1.1 προκύπτουν οι τιμές στιγμιαίας άμεσου και διάχυτης ακτινοβολίας για την 21^η Νοεμβρίου, Δεκεμβρίου, Ιανουαρίου, Φεβρουαρίου και Μαρτίου που αποτυπώνονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακες 10.1.1.2 - 10.1.1.6) αλλά και στη συνέχεια διαγραμματικά.

Να σημειωθεί ότι για καλύτερη εποπτεία οι τιμές έχουν μετατραπεί από kW/m^2 σε W/m^2 οπότε προκύπτουν οι εξής πίνακες:

Πίνακας 10.1.1.2: Τιμές G_b , G_d για κάθε ώρα της 21^{ης} Νοεμβρίου.

TIME [hour]	$G_b \left[\frac{W}{m^2} \right]$	$G_d \left[\frac{W}{m^2} \right]$
7:00	0	0
8:00	2,52	26,18
9:00	36,37	96,96
10:00	89,02	155,40
11:00	138,76	187,75
12:00	181,51	190,58
13:00	193,98	173,86
14:00	178,20	143,44
15:00	134,15	108,37
16:00	57,73	77,11
17:00	0	43,91
18:00	0	0

Πίνακας 10.1.1.3: Τιμές G_b , G_d για κάθε ώρα της 21^{ης} Δεκεμβρίου.

TIME [hour]	$G_b \left[\frac{W}{m^2} \right]$	$G_d \left[\frac{W}{m^2} \right]$
7:00	0	0
8:00	0	7,10
9:00	15,96	75,29
10:00	63,31	132,59
11:00	106,97	166,62
12:00	141,32	176,10
13:00	151,36	162,04
14:00	143,39	127,64
15:00	103,93	90,17
16:00	36,09	57,76
17:00	0	26,42
18:00	0	0

Πίνακας 10.1.1.4: Τιμές G_b , G_d για κάθε ώρα της 21^{ης} Ιανουαρίου.

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

Πίνακας 10.1.1.5: Τιμές G_b , G_d για κάθε ώρα της 21^{ης} Φεβρουαρίου.

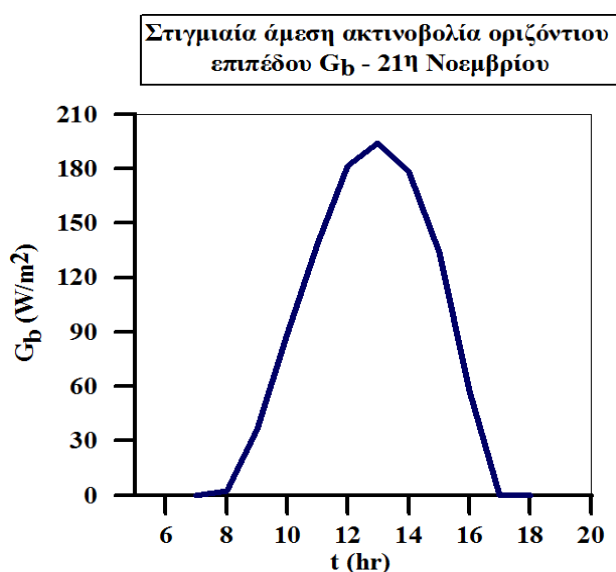
TIME [hour]	$G_b \left[\frac{W}{m^2} \right]$	$G_d \left[\frac{W}{m^2} \right]$
7:00	0	0
8:00	17,01	68,28
9:00	56,92	136,24
10:00	113,33	188,28
11:00	163,67	216,29
12:00	203,06	221,47
13:00	218,52	201,69
14:00	217,64	161,28
15:00	173,95	122,15
16:00	107,70	85,77
17:00	15,37	53,49
18:00	0	0

Πίνακας 10.1.1.6: Τιμές G_b , G_d για κάθε ώρα της 21^{ης} Μαρτίου.

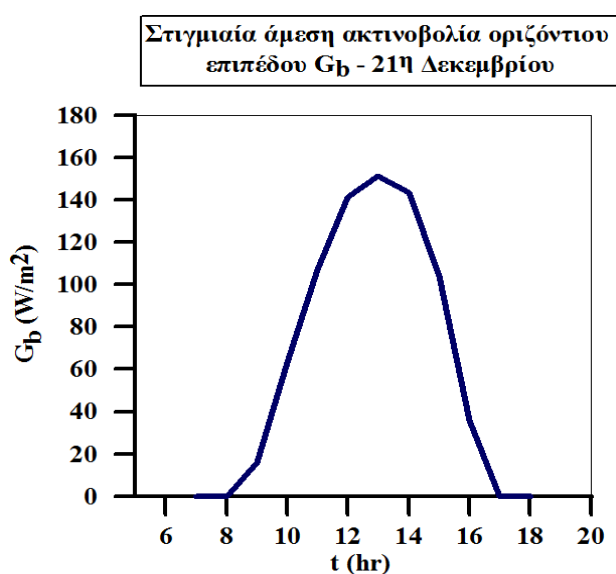
TIME [hour]	$G_b \left[\frac{W}{m^2} \right]$	$G_d \left[\frac{W}{m^2} \right]$
7:00	1,17	43,50
8:00	47,06	126,15
9:00	102,67	196,33
10:00	169,92	245,96
11:00	230,26	268,45
12:00	280,70	264,69
13:00	301,94	238,70
14:00	298,56	197,98
15:00	247,86	159,96
16:00	174,80	122,02
17:00	75,84	87,41
18:00	0	38,51

Τα παραπάνω αποτελέσματα (Πίνακες 10.1.1.2 - 10.1.1.6) απεικονίζονται και γραφικά (Διαγράμματα 10.1.1.1 – 10.1.1.5), όπου φαίνεται ότι οι μέγιστες τιμές της στιγμιαίας διάχυτου και αμέσου ακτινοβολίας εντοπίζονται για όλους τους μήνες στις 12:00 και 13:00 αντίστοιχα εκτός του Μαρτίου που η μέγιστη διάχυτος εμφανίζεται στις 11:00.

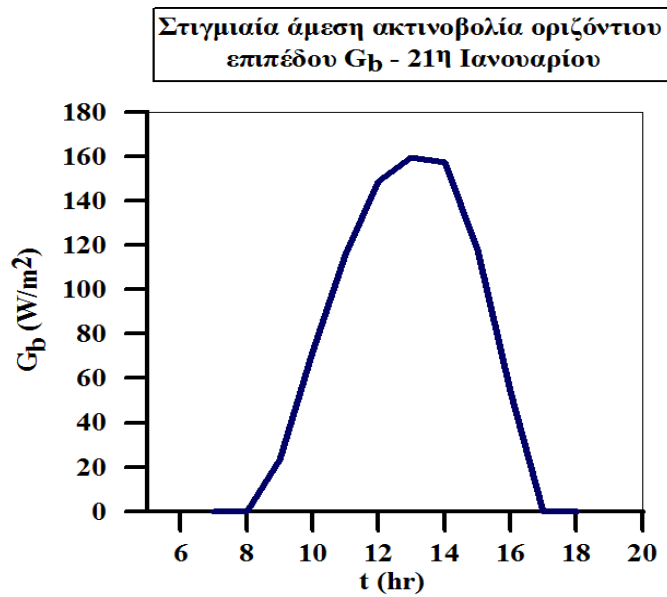
Έτσι, η γραφική απεικόνιση για όλους τους μήνες που εξετάζουμε για τις τιμές της στιγμιαίας άμεσης ακτινοβολίας οριζόντιου δαπέδου, G_b , έχει ως εξής:



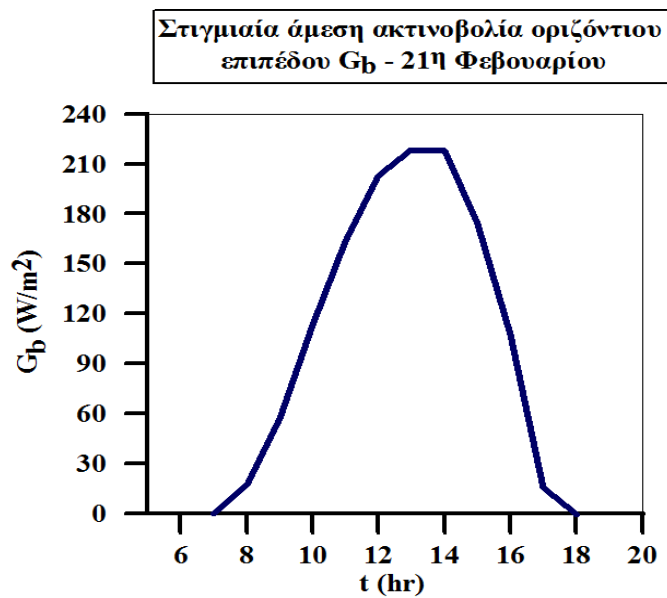
Διάγραμμα 10.1.1.1: Διακύμανση της στιγμιαίας αμέσου ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου G_b , ανά ώρα για την 21^η Νοεμβρίου.



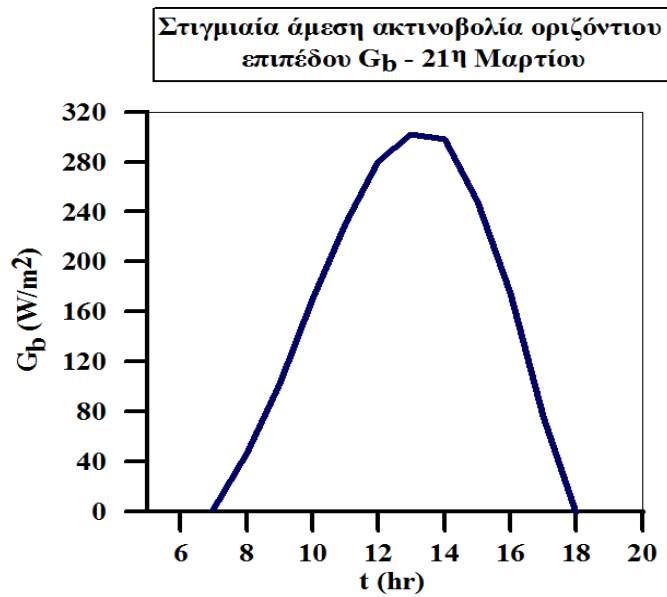
Διάγραμμα 10.1.1.2: Διακύμανση της στιγμιαίας αμέσου ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου G_b , ανά ώρα για την 21^η Δεκεμβρίου.



Διάγραμμα 10.1.1.3: Διακύμανση της στιγμιαίας αμέσου ακτινοβολίας οριζόντιου επιπέδου G_b , ανά ώρα για την 21^η Ιανουαρίου.

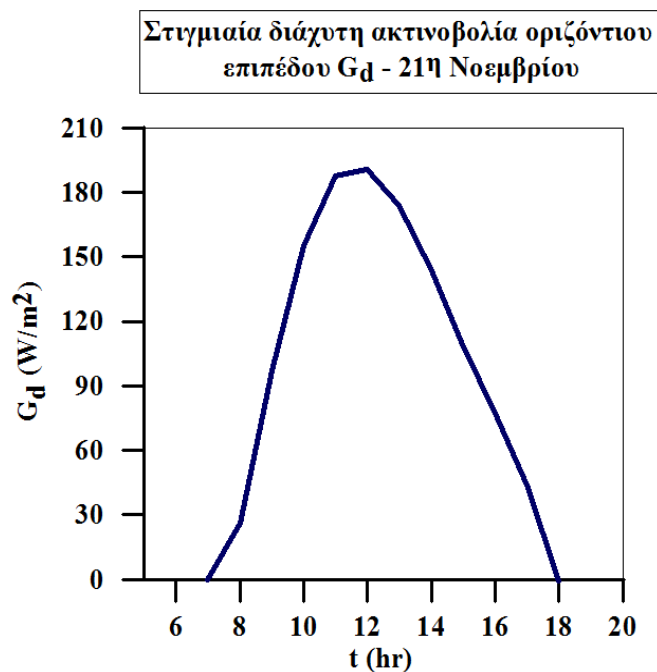


Διάγραμμα 10.1.1.4: Διακύμανση της στιγμιαίας αμέσου ακτινοβολίας οριζόντιου επιπέδου G_b , ανά ώρα για την 21^η Φεβρουαρίου.

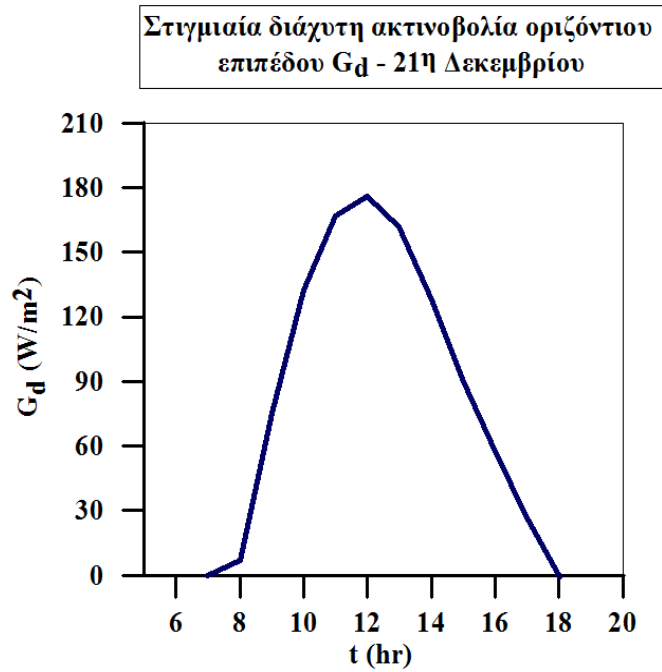


Διάγραμμα 10.1.1.5: Διακύμανση της στιγμιαίας άμεσου ακτινοβολίας οριζόντιου επιπέδου G_b , ανά ώρα για την 21^η Μαρτίου.

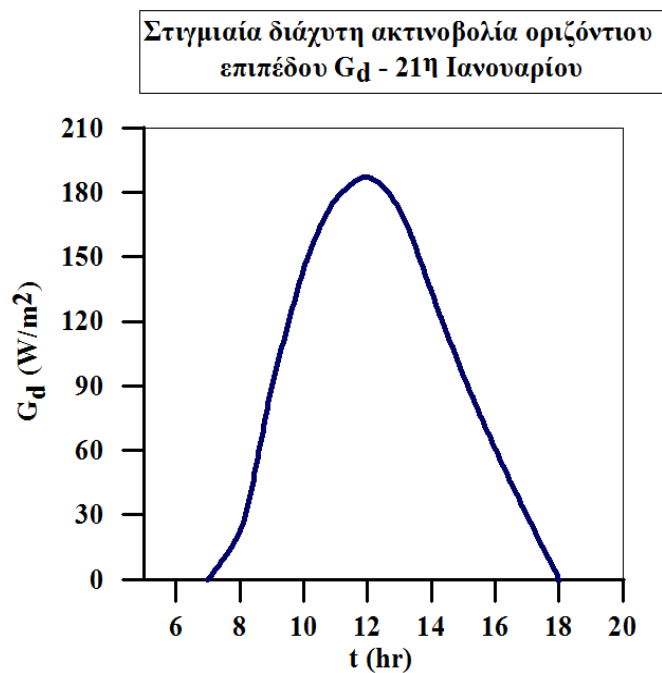
Ενώ, αντίστοιχα η διακύμανση των τιμών της στιγμιαίας διάχυτης ακτινοβολίας οριζόντιου επιπέδου, G_d , για τους μήνες που μελετάμε έχει ως εξής:



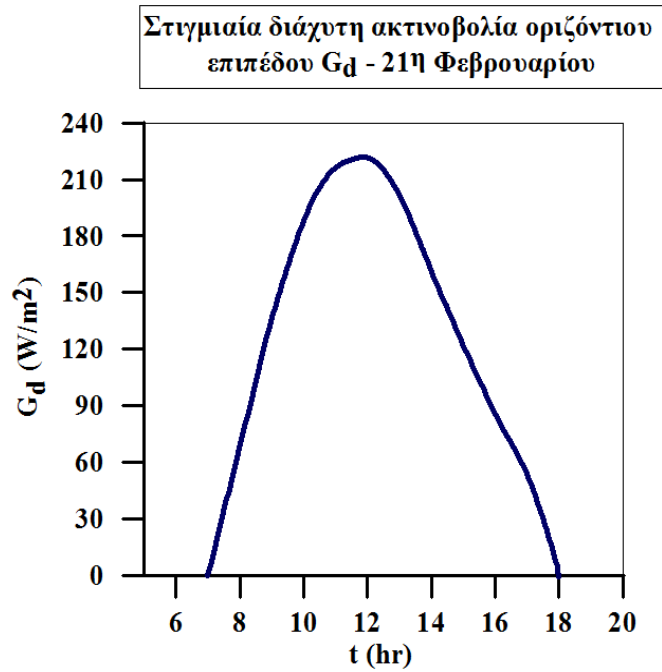
Διάγραμμα 10.1.1.6: Διακύμανση της στιγμιαίας διάχυτης ακτινοβολίας οριζόντιου επιπέδου G_d , ανά ώρα για την 21^η Νοεμβρίου.



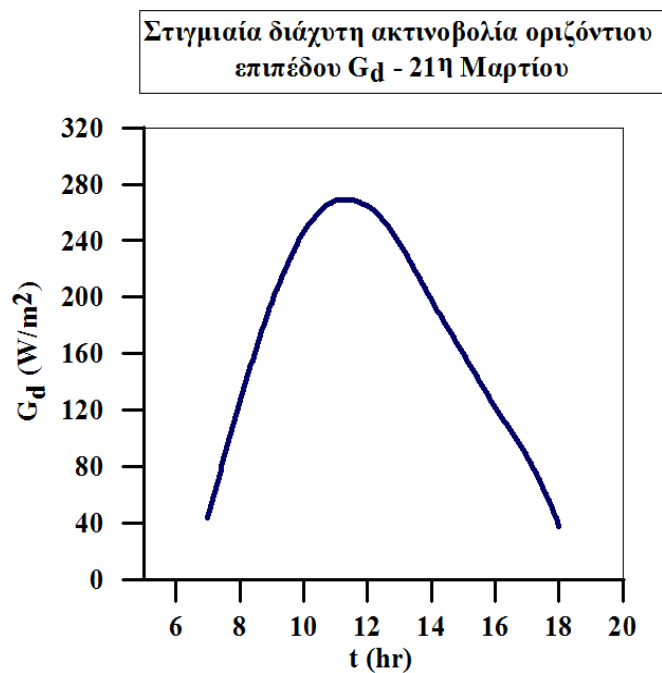
Διάγραμμα 10.1.1.7: Διακύμανση της στιγμιαίας διάχυτης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου G_d , ανά ώρα για την 21^η Δεκεμβρίου.



Διάγραμμα 10.1.1.8: Διακύμανση της στιγμιαίας διάχυτης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου G_d , ανά ώρα για την 21^η Ιανουαρίου.



Διάγραμμα 10.1.1.9: Διακύμανση της στιγμιαίας διάχυτης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου G_d , ανά ώρα για την 21^η Φεβρουαρίου.



Διάγραμμα 10.1.1.10: Διακύμανση της στιγμιαίας διάχυτης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου G_d , ανά ώρα για την 21^η Μαρτίου.

10.1.2 Υπολογισμός του λόγου της άμεσου ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου προς την άμεσο οριζοντίου επιπέδου (R_b)

Για τον υπολογισμό του συντελεστή R_b για ίδιες ώρες με πριν και για τους διάφορους προσανατολισμούς η σχέση που χρησιμοποιείται είναι η εξής :

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (10.1.2.1)$$

όπου, για κατακόρυφες επιφάνειες ισχύει $\beta=90^0$ και η γωνία πρόσπτωσης θ υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\cos \theta = -\sin \delta \cos \varphi \cos \gamma + \cos \delta \sin \varphi \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \gamma \sin \omega \quad (10.1.2.2)$$

Η γωνία ζενίθ θ_z υπολογίζεται ως εξής:

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega \quad (10.1.2.3)$$

Αναλυτικά οι γωνίες που συναντάμε στις 2 εξισώσεις περιγράφονται ως εξής:

- θ : η γωνία πρόσπτωσης της άμεσου ακτινοβολίας πάνω σε μια επιφάνεια,
- θ_z : η γωνία ζενίθ, η οποία σχηματίζεται από την κατακόρυφο και την ευθεία όρασης του ήλιου
- δ : η ηλιακή απόκλιση που υπολογίζεται από τη σχέση,

$$\delta = 23,45 \sin \left[\frac{360(284 + n)}{365} \right] \quad (10.1.2.4)$$

όπου, n ο αύξων αριθμός της μέρας που μελετάμε,

- $\varphi=38^0$: το γεωγραφικό πλάτος της Αθήνας
- γ : το αζιμούθιο επιφανείας, το οποίο εκφράζει τον προσανατολισμό και είναι $\gamma=0^0$ στο νότο, $\gamma=90^0$ στη δύση, $\gamma=180^0$ στο βορρά και $\gamma = -90^0$ στην ανατολή,
- ω : η ωριαία γωνία η οποία δίνεται από τη σχέση $\omega=0.25 \times (\text{min from solar noon})$ και ισχύει $\omega>0$ για μ.μ και $\omega<0$ για π.μ.

Με βάση τα παραπάνω λοιπόν προκύπτουν οι ακόλουθοι πίνακες με τις τιμές του συντελεστή R_b , για τους 4 προσανατολισμούς και για κάθε ένα από τους μήνες που μελετάμε. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται όπως και πριν, σε πίνακες (Πίνακες 10.1.2.1 - 10.1.2.5) αλλά και γραφικά (Διαγράμματα 10.1.2.1 - 10.1.2.20).

Πίνακας 10.1.2.1: Τιμές του λόγου R_b σε κάθε προσανατολισμό κατά την 21^η Νοεμβρίου.

TIME [hour]	R_b Βορράς	R_b Νότος	R_b Ανατολή	R_b Δύση
7	0	0,000	0	0
8	0	3,656	5,263	0
9	0	2,224	2,157	0
10	0	1,825	1,104	0
11	0	1,671	0,487	0
12	0	1,628	0	0
13	0	1,671	0	0,487
14	0	1,825	0	1,104
15	0	2,224	0	2,157
16	0	3,656	0	5,263
17	0	0,000	0	0
18	0	0,000	0	0

Πίνακας 10.1.2.2: Τιμές του λόγου R_b σε κάθε προσανατολισμό κατά την 21^η Δεκεμβρίου.

TIME [hour]	R_b Βορράς	R_b Νότος	R_b Ανατολή	R_b Δύση
7	0	0,000	0	0
8	0	5,117	6,8219	0
9	0	2,678	2,437	0
10	0	2,106	1,204	0
11	0	1,895	0,528	0
12	0	1,838	0	0
13	0	1,895	0	0,524
14	0	2,106	0	1,204
15	0	2,678	0	2,437
16	0	5,117	0	6,822
17	0	0,000	0	0
18	0	0,000	0	0

Πίνακας 10.1.2.3: Τιμές του λόγου R_b σε κάθε προσανατολισμό κατά την 21^η Ιανουαρίου.

TIME [hour]	R_b Βορράς	R_b Νότος	R_b Ανατολή	R_b Δύση
7	0	0,000	0	0
8	0	3,547	5,147	0
9	0	2,185	2,133	0
10	0	1,800	1,095	0
11	0	1,650	0,483	0
12	0	1,609	0	0
13	0	1,650	0	0,483
14	0	1,800	0	1,095
15	0	2,185	0	2,133
16	0	3,547	0	5,147
17	0	0,000	0	0
18	0	0,000	0	0

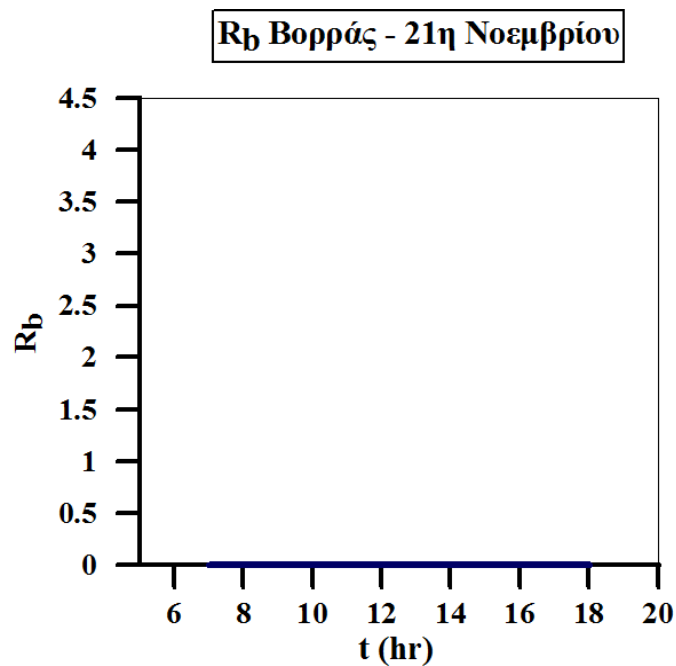
Πίνακας 10.1.2.4: Τιμές του λόγου R_b σε κάθε προσανατολισμό κατά την 21^η Φεβρουαρίου.

TIME [hour]	R_b Βορράς	R_b Νότος	R_b Ανατολή	R_b Δύση
7	0	3,862	11,815	0
8	0	1,708	3,186	0
9	0	1,360	1,625	0
10	0	1,231	0,892	0
11	0	1,175	0,405	0
12	0	1,160	0	0
13	0	1,175	0	0,405
14	0	1,231	0	0,892
15	0	1,360	0	1,625
16	0	1,708	0	3,186
17	0	3,862	0	11,815
18	0	0,000	0	0

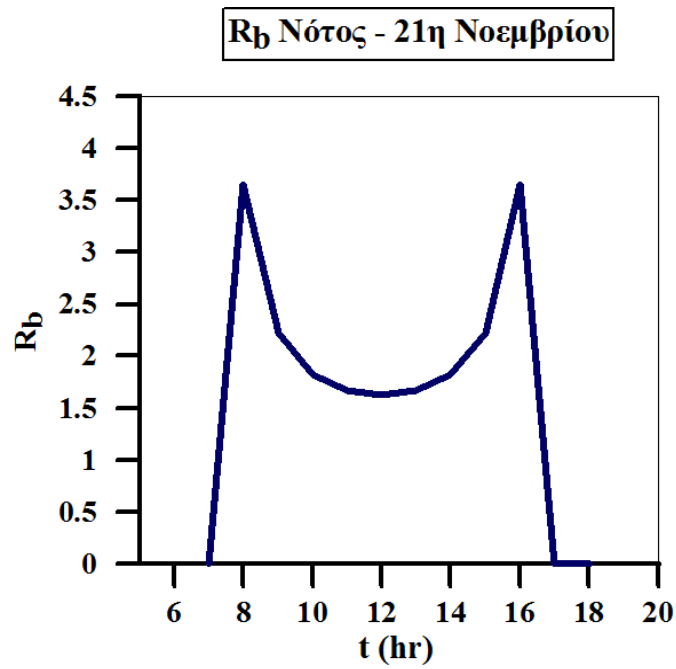
Πίνακας 10.1.2.5: Τιμές του λόγου R_b σε κάθε προσανατολισμό κατά την 21η Μαρτίου.

TIME [hour]	R_b Βορράς	R_b Νότος	R_b Ανατολή	R_b Δύση
7	0	0,826	4,839	0
8	0	0,804	2,222	0
9	0	0,797	1,279	0
10	0	0,794	0,737	0
11	0	0,793	0,342	0
12	0	0,793	0	0
13	0	0,793	0	0,342
14	0	0,794	0	0,737
15	0	0,797	0	1,279
16	0	0,804	0	2,222
17	0	0,826	0	4,839
18	0	0,000	0	0

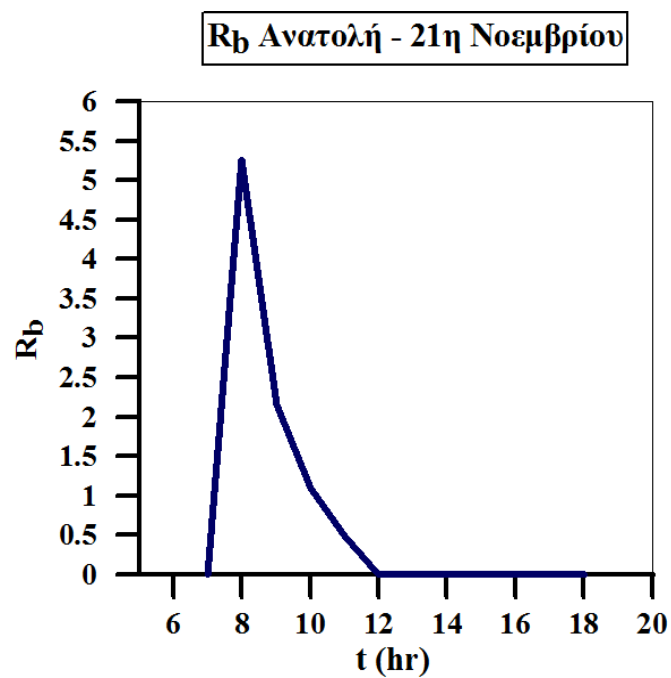
Ακολουθεί η γραφική απεικόνιση των παραπάνω αποτελεσμάτων (Πίνακες 10.1.2.1 - 10.1.2.5) για τους μήνες θέρμανσης και ανά προσανατολισμό:



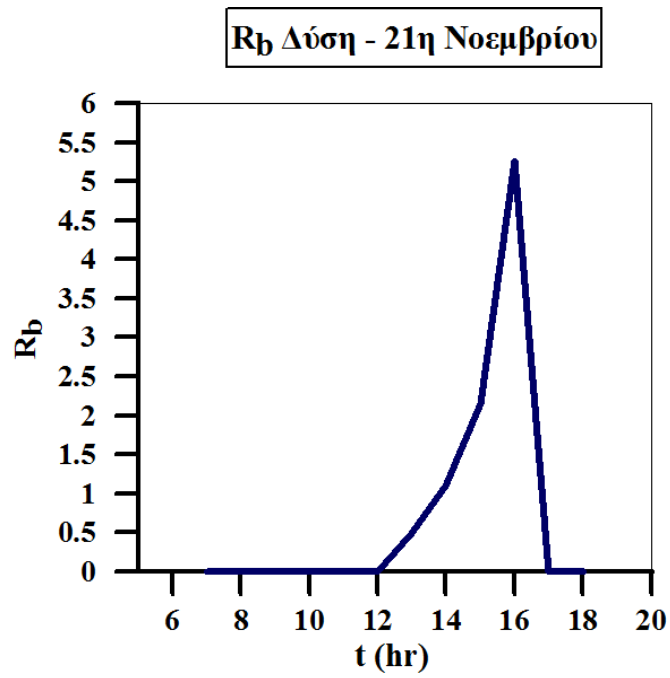
Διάγραμμα 10.1.2.1: Διακύμανση του λόγου R_b για την 21^η Νοεμβρίου και για βόρειο προσανατολισμό.



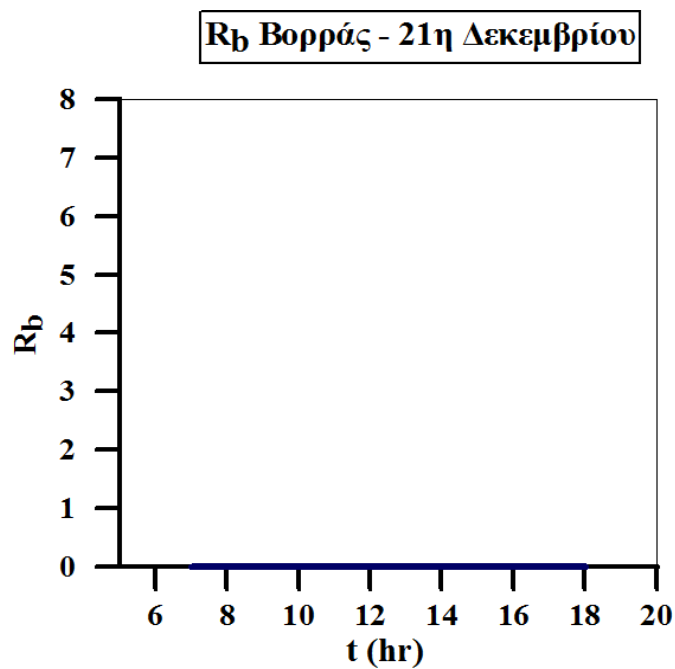
Διάγραμμα 10.1.2.2: Διακύμανση του λόγου R_b για την 21^η Νοεμβρίου και για νότιο προσανατολισμό.



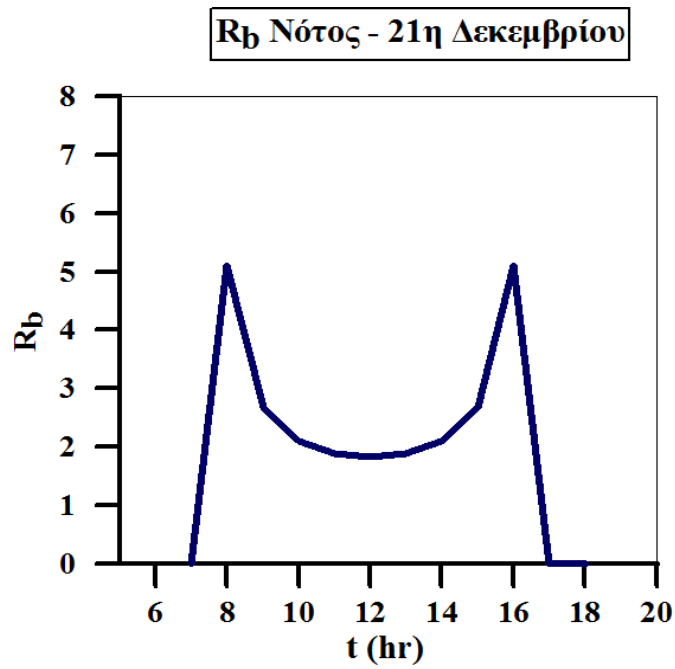
Διάγραμμα 10.1.2.3: Διακύμανση του λόγου R_b για την 21^η Νοεμβρίου και για ανατολικό προσανατολισμό.



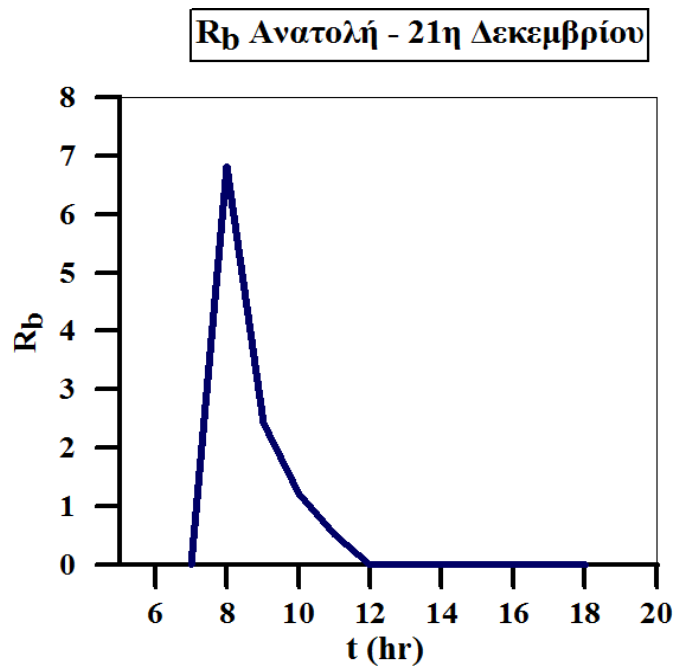
Διάγραμμα 10.1.2.4: Διακύμανση του λόγου R_b για την 21^η Νοεμβρίου και για δυτικό προσανατολισμό.



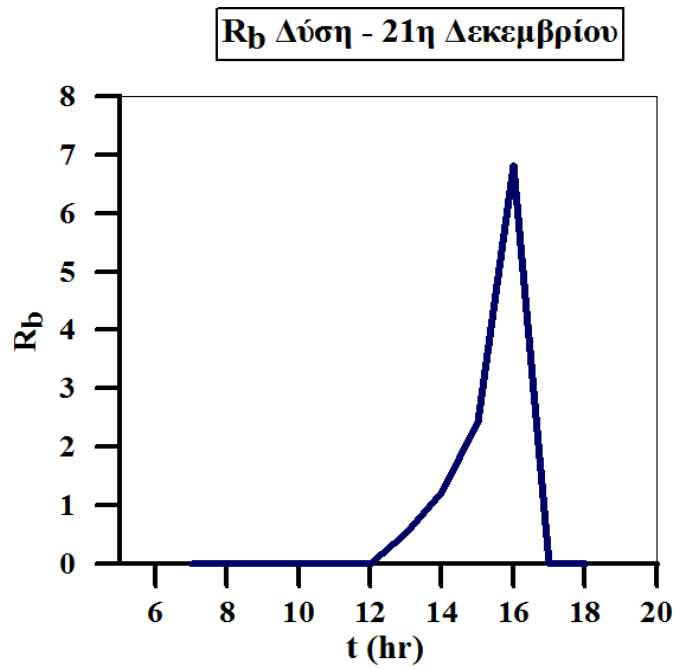
Διάγραμμα 10.1.2.5: Διακύμανση του λόγου R_b για την 21^η Δεκεμβρίου και για βόρειο προσανατολισμό.



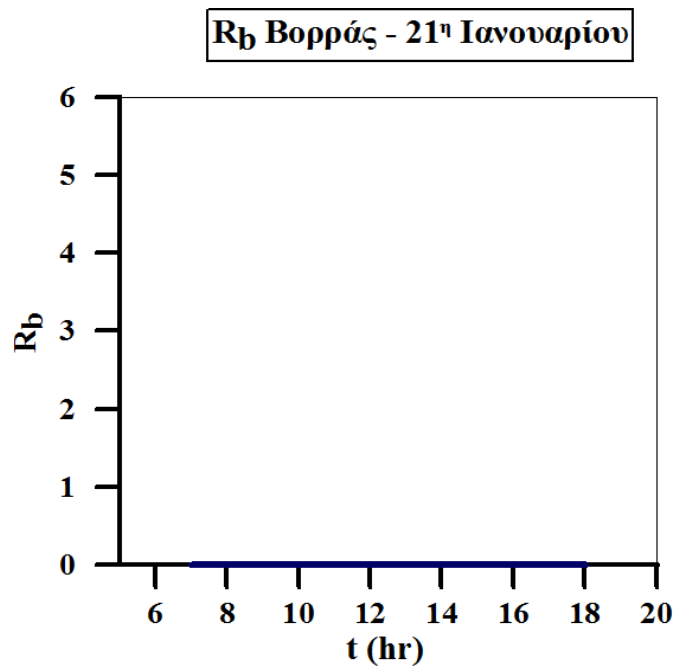
Διάγραμμα 10.1.2.6: Διακύμανση του λόγου R_b για την 21^η Δεκεμβρίου και για νότιο προσανατολισμό.



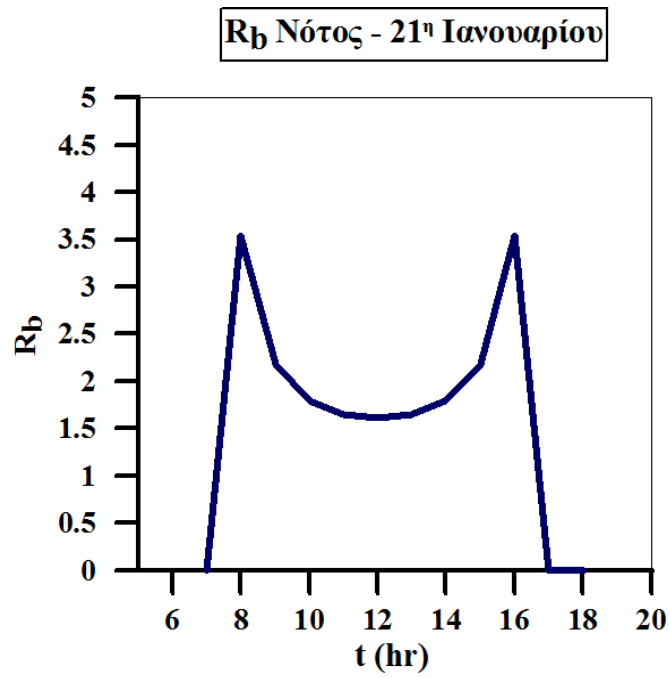
Διάγραμμα 10.1.2.7: Διακύμανση του λόγου R_b για την 21^η Δεκεμβρίου και για ανατολικό προσανατολισμό.



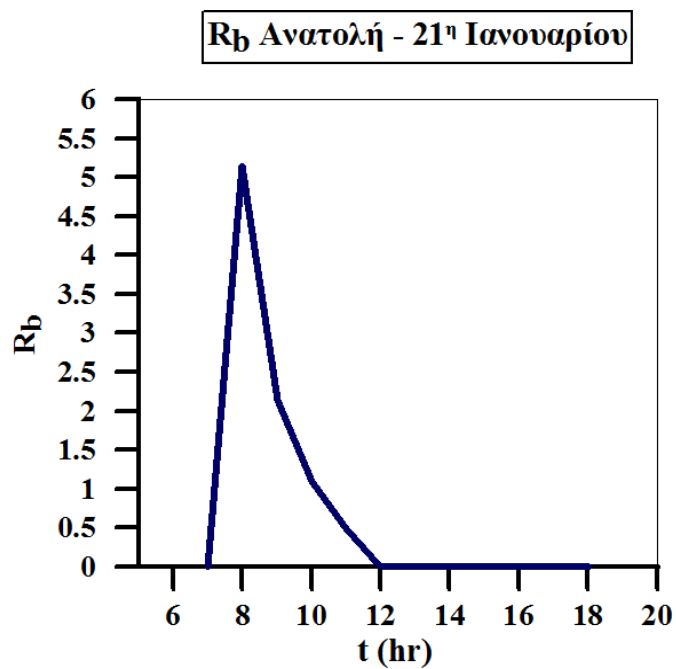
Διάγραμμα 10.1.2.8: Διακύμανση του λόγου R_b για την 21^η Δεκεμβρίου και για δυτικό προσανατολισμό.



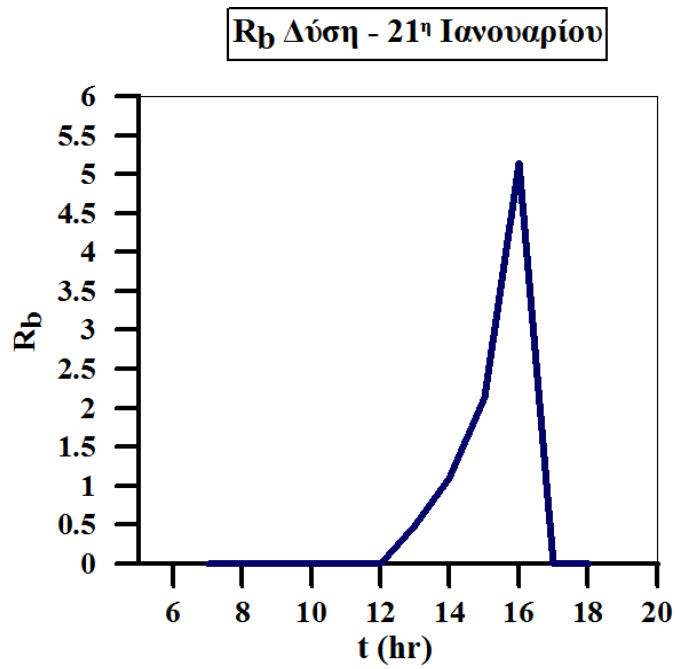
Διάγραμμα 10.1.2.9: Διακύμανση του λόγου R_b για την 21^η Ιανουαρίου και για βόρειο προσανατολισμό.



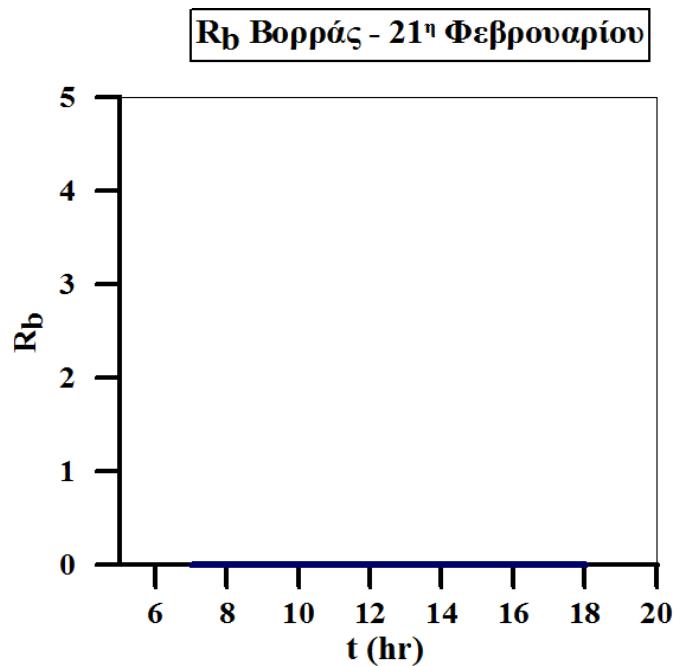
Διάγραμμα 10.1.2.10: Διακύμανση του λόγου R_b για την 21^η Ιανουαρίου και για νότιο προσανατολισμό.



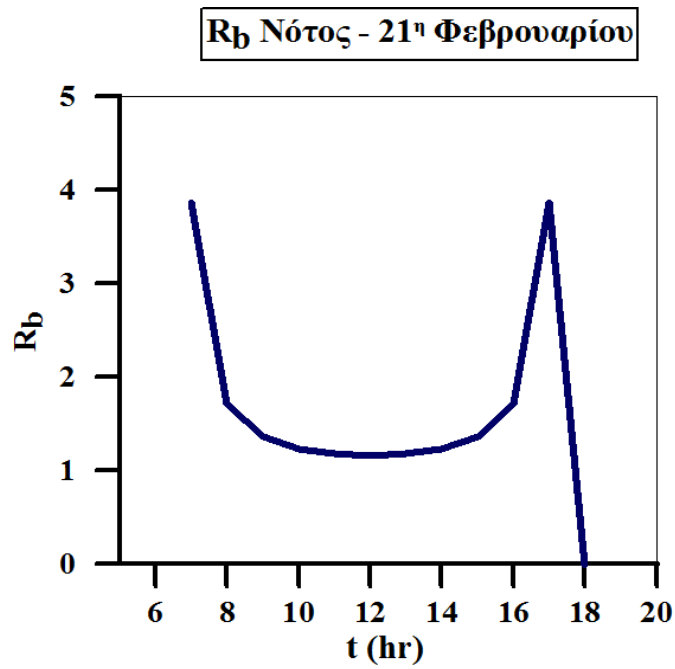
Διάγραμμα 10.1.2.11: Διακύμανση του λόγου R_b για την 21^η Ιανουαρίου και για ανατολικό προσανατολισμό.



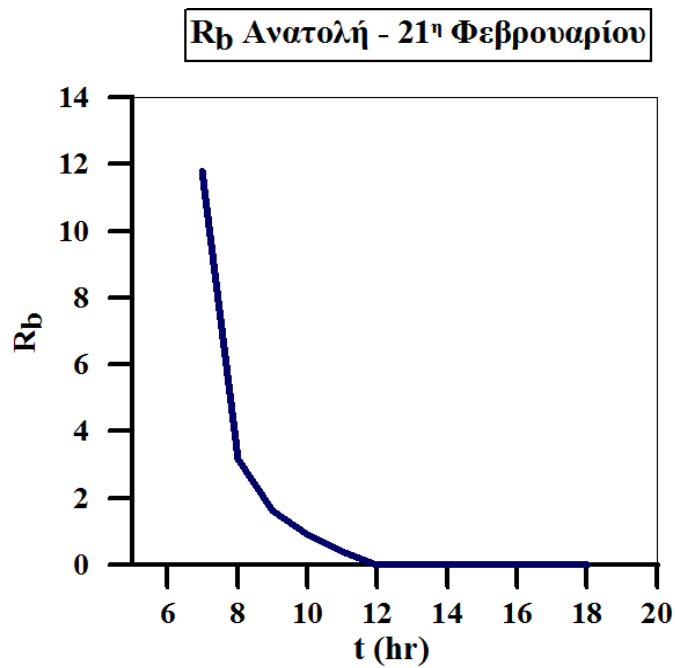
Διάγραμμα 10.1.2.12: Διακύμανση του λόγου R_b για την 21^η Ιανουαρίου και για δυτικό προσανατολισμό.



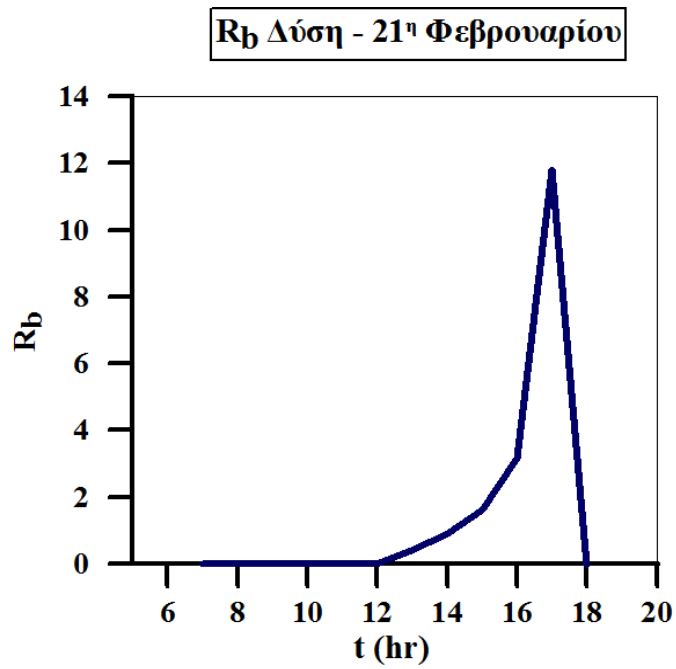
Διάγραμμα 10.1.2.13: Διακύμανση του λόγου R_b για την 21^η Φεβρουαρίου και για βόρειο προσανατολισμό.



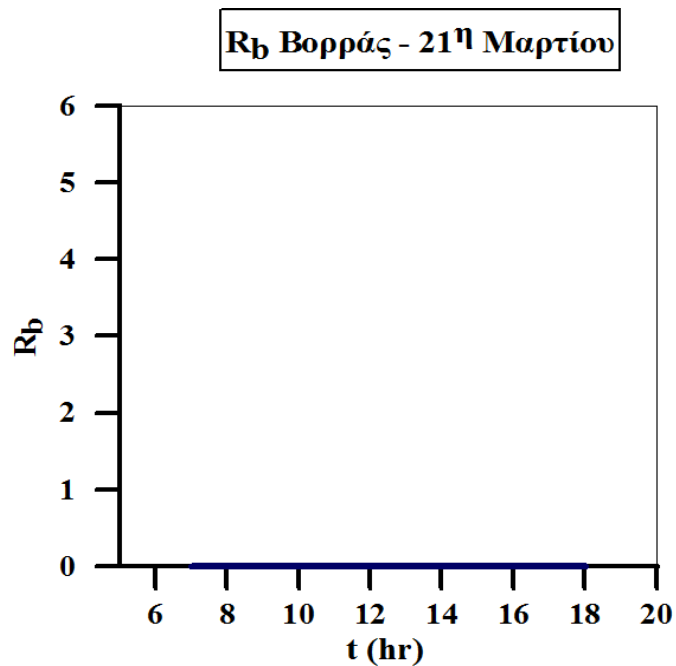
Διάγραμμα 10.1.2.14: Διακύμανση του λόγου R_b για την 21^η Φεβρουαρίου και για νότιο προσανατολισμό.



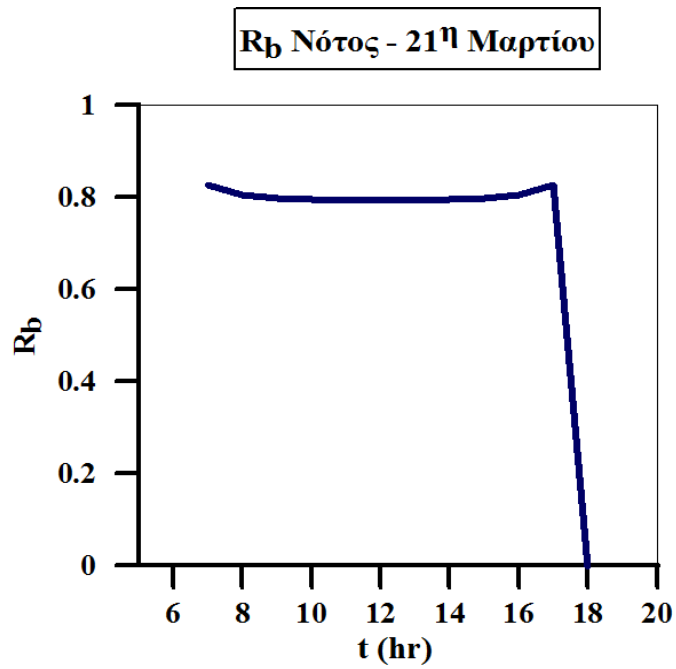
Διάγραμμα 10.1.2.15: Διακύμανση του λόγου R_b για την 21^η Φεβρουαρίου και για ανατολικό προσανατολισμό.



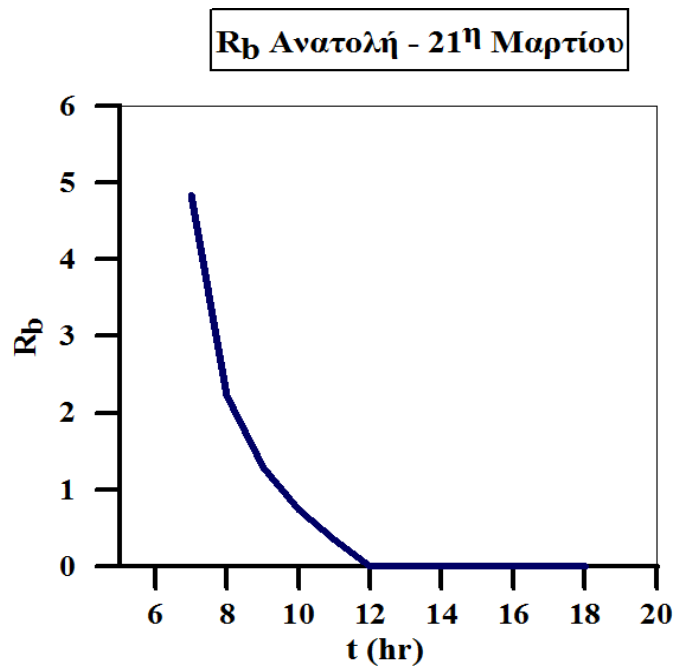
Διάγραμμα 10.1.2.16: Διακύμανση του λόγου R_b για την 21^η Φεβρουαρίου και για δυτικό προσανατολισμό.



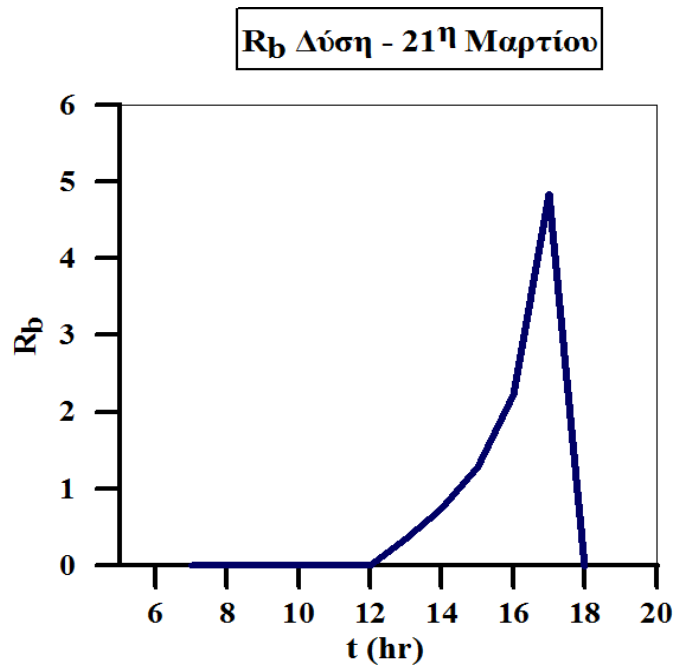
Διάγραμμα 10.1.2.17: Διακύμανση του λόγου R_b για την 21^η Μαρτίου και για βόρειο προσανατολισμό.



Διάγραμμα 10.1.2.18: Διακύμανση του λόγου R_b για την 21^η Μαρτίου και για νότιο προσανατολισμό.



Διάγραμμα 10.1.2.19: Διακύμανση του λόγου R_b για την 21^η Μαρτίου και για ανατολικό προσανατολισμό.



Διάγραμμα 10.1.2.20: Διακύμανση του λόγου R_b για την 21^η Μαρτίου και για δυτικό προσανατολισμό.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα αξίζει να παρατηρήσουμε τα εξής :

- Όπως αναμενόταν και από τον ορισμό του R_b αντιλαμβανόμαστε ότι εφόσον στη βόρεια πλευρά δεν προσπίπτει καθόλου άμεση ακτινοβολία στη διάρκεια της μέρας οι τιμές του για όλες τις ώρες ηλιοφάνειας είναι μηδενικές.
- Ακόμη στο δυτικό προσανατολισμό έχουμε απουσία άμεσου ακτινοβολίας τις πολύ πρωινές ώρες ενώ στον ανατολικό αυτό συμβαίνει τις απογευματινές ώρες. Γι' αυτό το λόγο παρατηρούμε ευκρινέστερα στα διαγράμματα ότι τις ώρες αυτές ο λόγος R_b μηδενίζεται. Να σημειωθεί επίσης ότι τις ώρες που το R_b έπαιρνε αρνητική τιμή αντικαταστάθηκε με την μηδενική.
- Μια ακόμη παρατήρηση έγκειται στο γεγονός ότι οι τιμές του R_b για την ανατολική κατακόρυφο επιφάνεια για τις ώρες πριν τις 12:00 προκύπτουν ίσες με τις τιμές του R_b για τη δυτική κατακόρυφο επιφάνεια για τις ώρες μετά τις 12:00 που απέχουν ίσα χρονικά διαστήματα από την ώρα 12:00. Η αντιστοιχία των τιμών αυτών του λόγου R_b οφείλεται στην κλίση των δύο επιφανειών καθώς και οι δύο είναι κατακόρυφες ($\beta=90^\circ$) στον προσανατολισμό των δύο επιφανειών. Δηλαδή στο αζιμούθιο επιφάνειας γ , όπου για την ανατολική επιφάνεια έχουμε $\gamma=90^\circ$ και για την δυτική $\gamma=90^\circ$ καθώς και στην ωριαία γωνία ω , οι τιμές της οποίας για τις ώρες πριν το ηλιακό μεσημέρι και για τις ώρες μετά το ηλιακό μεσημέρι που ισαπέχουν χρονικά από την ώρα 12:00 προκύπτουν ίσες και αντίθετες. Παράλληλα, το συνημίτονο της γωνίας ζενίθ παίρνει τις ίδιες τιμές για κάθε προσανατολισμό ενώ οι τιμές του για τις ώρες πριν τις 12:00 και για τις

ώρες μετά τις 12:00 που ισαπέχουν χρονικά από το ηλιακό μεσημέρι είναι ίσες καθώς για τον υπολογισμό του χρησιμοποιείται και το συνημίτονο της ωριαίας γωνίας ω όπως ορίζεται από την εξίσωση (10.1.2.4).

Έχοντας πλέον υπολογίσει όλες τις παραμέτρους της εξίσωσης 10.1.1 μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή της προσπίπτουσας στιγμιαίας ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου για την 21^η ημέρα του Νοεμβρίου, Δεκεμβρίου, Ιανουαρίου, Φεβρουαρίου και Μαρτίου, για τις ώρες 7:00 έως 18:00 και για όλους τους προσανατολισμούς. Τα αποτελέσματα προκύπτουν σε W/m^2 και δίνονται αρχικά σε μορφή πίνακα (Πίνακες 10.1.2.6 - 10.1.2.10) και στη συνέχεια διαγραμματικά (Διαγράμματα 10.1.2.21 - 10.1.2.40).

Πίνακας 10.1.2.6: Τιμές της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t για κάθε προσανατολισμό και για κάθε ώρα κατά την 21η Νοεμβρίου.

TIME [hour]	$G_t \left[\frac{w}{m^2} \right]$ Βορράς	$G_t \left[\frac{w}{m^2} \right]$ Νότος	$G_t \left[\frac{w}{m^2} \right]$ Ανατολή	$G_t \left[\frac{w}{m^2} \right]$ Δύση
7	0	0	0	0
8	15,962	25,187	29,243	15,962
9	61,810	142,719	140,284	61,810
10	102,140	264,640	200,399	102,140
11	126,527	358,386	194,075	126,527
12	132,498	428,024	132,498	132,498
13	123,716	447,835	123,716	218,144
14	103,882	429,188	103,882	300,588
15	78,437	376,843	78,437	367,864
16	52,036	263,101	52,036	355,903
17	26,347	26,3471	26,347	26,347
18	0	0	0	0

Πίνακας 10.1.2.7: Τιμές της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t για κάθε προσανατολισμό και για κάθε ώρα κατά την 21η Δεκεμβρίου.

TIME [hour]	$G_t \left[\frac{w}{m^2} \right]$ Βορράς	$G_t \left[\frac{w}{m^2} \right]$ Νότος	$G_t \left[\frac{w}{m^2} \right]$ Ανατολή	$G_t \left[\frac{w}{m^2} \right]$ Δύση
7	0	0	0	0
8	4,262	4,2621	4,262	4,262
9	46,772	89,528	85,674	46,772
10	85,883	219,246	162,090	85,882
11	110,671	313,425	166,705	110,671
12	119,789	379,519	119,789	119,789
13	112,361	399,248	112,361	191,647
14	90,920	392,978	90,923	263,525
15	64,493	342,880	64,493	317,787
16	38,263	222,935	38,263	284,443
17	15,854	15,854	15,854	15,854
18	0	0	0	0

Πίνακας 10.1.2.8: Τιμές της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t για κάθε προσανατολισμό και για κάθε ώρα κατά την 21η Ιανουαρίου.

TIME [hour]	$G_t \left[\frac{w}{m^2} \right]$ Βορράς	$G_t \left[\frac{w}{m^2} \right]$ Νότος	$G_t \left[\frac{w}{m^2} \right]$ Ανατολή	$G_t \left[\frac{w}{m^2} \right]$ Δύση
7	0	0	0	0
8	13,284	13,284	13,284	13,284
9	55,865	106,359	105,160	55,865
10	93,690	222,832	172,230	93,690
11	117,555	308,199	173,394	117,555
12	127,121	366,014	127,121	127,121
13	119,154	382,522	119,154	196,294
14	96,0424	379,009	96,042	268,134
15	68,721	326,444	68,7206	320,327
16	41,745	233,120	41,745	319,456
17	17,769	17,769	17,769	17,769
18	0	0	0	0

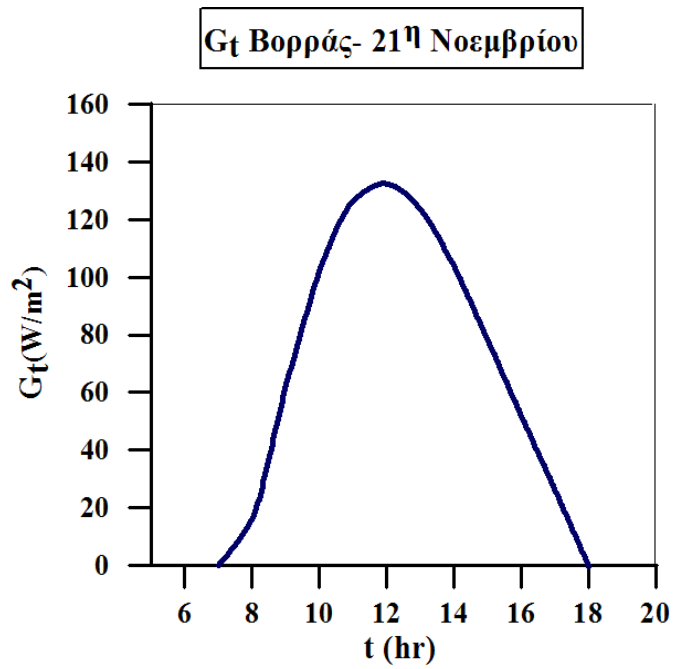
Πίνακας 10.1.2.9: Τιμές της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t για κάθε προσανατολισμό και για κάθε ώρα κατά την 21η Φεβρουαρίου.

TIME [hour]	$G_t \left[\frac{w}{m^2} \right]$ Βορράς	$G_t \left[\frac{w}{m^2} \right]$ Νότος	$G_t \left[\frac{w}{m^2} \right]$ Ανατολή	$G_t \left[\frac{w}{m^2} \right]$ Δύση
7	0	0	0	0
8	42,670	71,721	96,864	42,670
9	87,436	164,860	179,953	87,436
10	124,301	263,792	225,442	124,302
11	146,141	338,536	212,438	146,141
12	153,190	388,657	153,190	153,190
13	142,867	399,729	142,867	231,379
14	118,532	386,415	118,532	312,767
15	90,683	327,304	90,683	373,434
16	62,233	246,185	62,233	405,392
17	33,632	92,9823	33,632	215,193
18	0	0	0	0

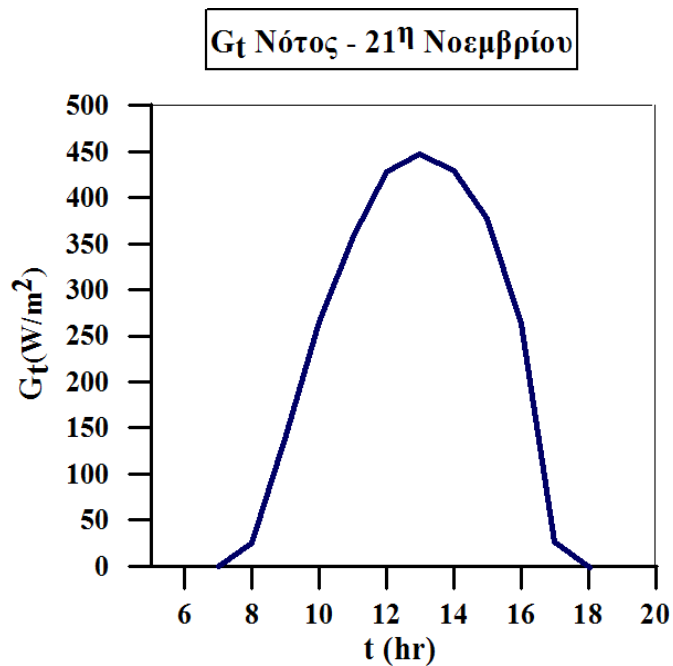
Πίνακας 10.1.2.10: Τιμές της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t για κάθε προσανατολισμό και για κάθε ώρα κατά την 21η Μαρτίου.

TIME hour	$G_t \left[\frac{w}{m^2} \right]$ Βορράς	$G_t \left[\frac{w}{m^2} \right]$ Νότος	$G_t \left[\frac{w}{m^2} \right]$ Ανατολή	$G_t \left[\frac{w}{m^2} \right]$ Δύση
7	26,214	27,185	31,897	26,214
8	80,393	118,240	184,982	80,393
9	128,062	209,935	259,37	128,061
10	164,567	299,563	289,857	164,567
11	184,093	366,714	262,838	184,093
12	186,887	409,399	186,887	186,887
13	173,412	412,886	173,412	276,671
14	148,645	385,848	148,645	368,794
15	120,761	318,422	120,761	437,771
16	90,690	231,276	90,690	479,191
17	60,027	122,677	60,027	427,006
18	23,109	23,109	23,109	23,109

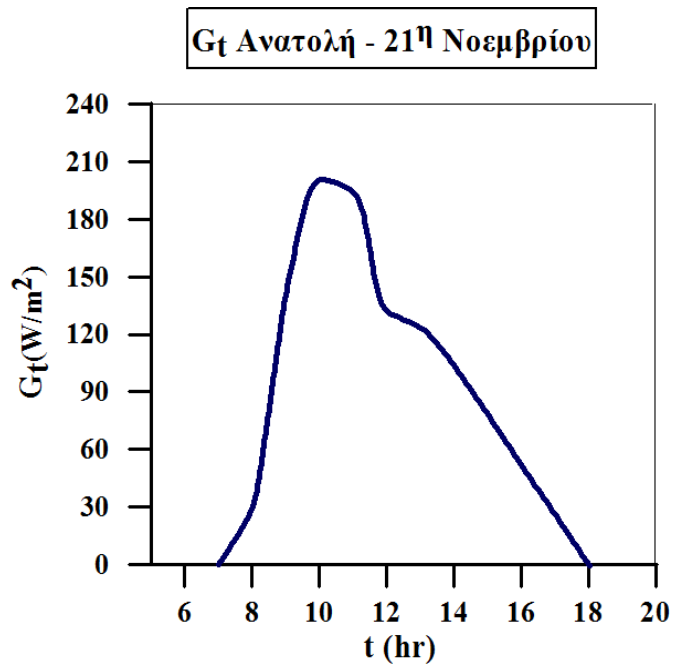
Ακολουθούν τα διαγράμματα για τις τιμές της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου για κάθε μήνα και ανά προσανατολισμό:



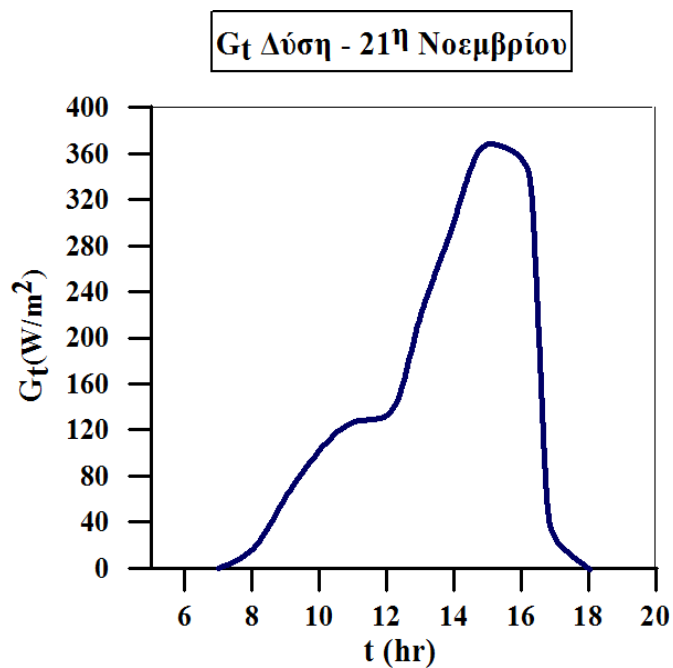
Διάγραμμα 10.1.2.21: Διακόμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t ανά ώρα για την 21^η Νοεμβρίου και για βόρειο προσανατολισμό.



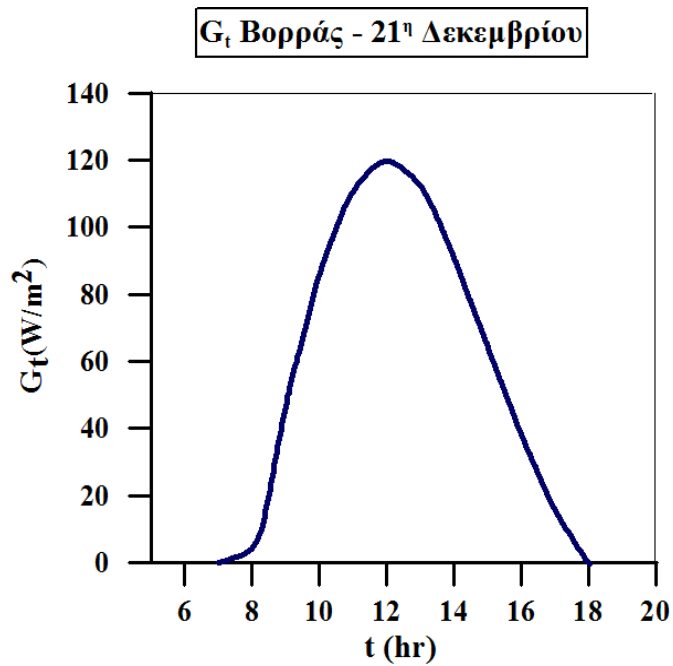
Διάγραμμα 10.1.2.22: Διακόμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t ανά ώρα για την 21^η Νοεμβρίου και για νότιο προσανατολισμό.



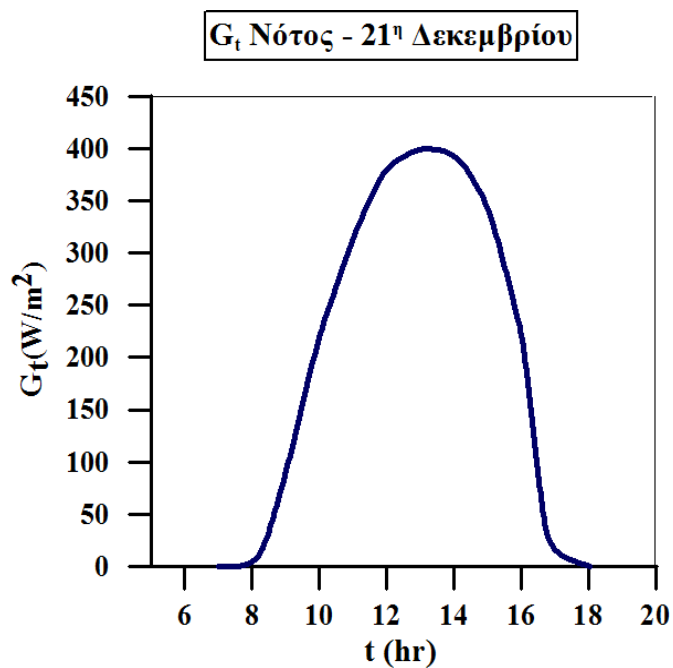
Διάγραμμα 10.1.2.23: Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t ανά ώρα για την 21^η Νοεμβρίου και για ανατολικό προσανατολισμό.



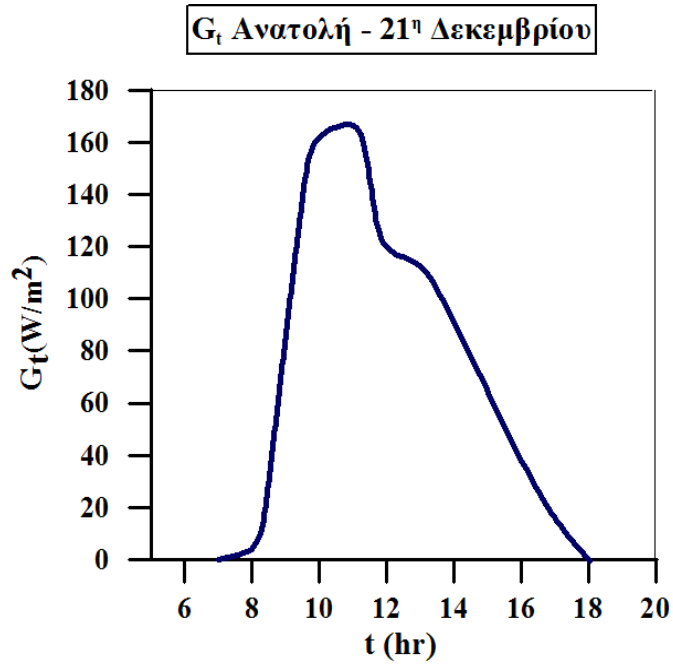
Διάγραμμα 10.1.2.24: Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t ανά ώρα για την 21^η Νοεμβρίου και για δυτικό προσανατολισμό.



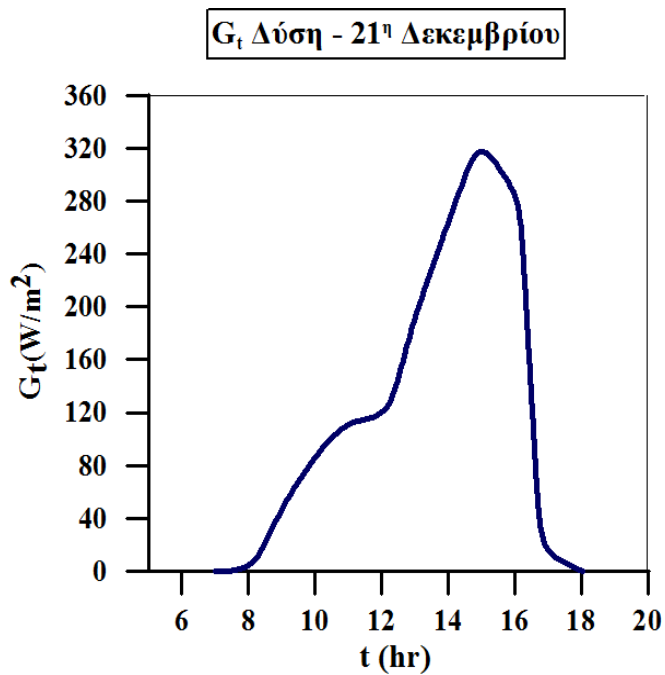
Διάγραμμα 10.1.2.25: Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t ανά ώρα για την 21^η Δεκεμβρίου και για βόρειο προσανατολισμό.



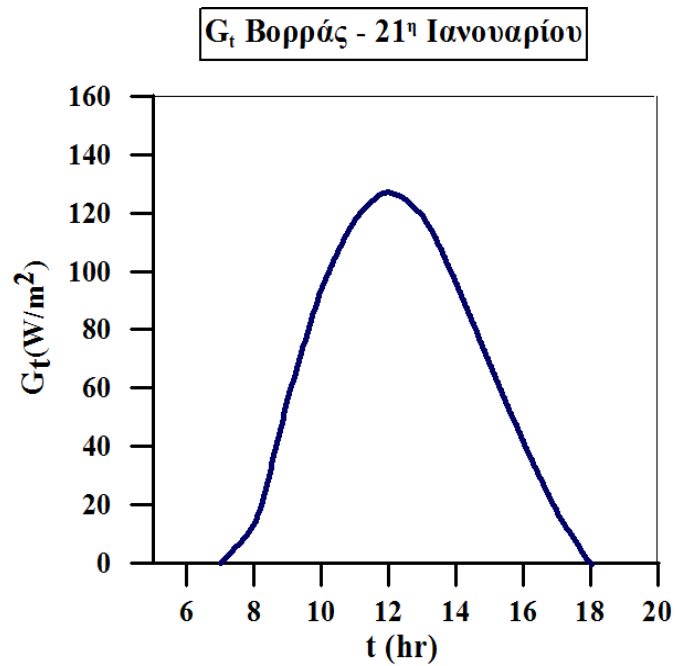
Διάγραμμα 10.1.2.26: Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t ανά ώρα για την 21^η Δεκεμβρίου και για νότιο προσανατολισμό.



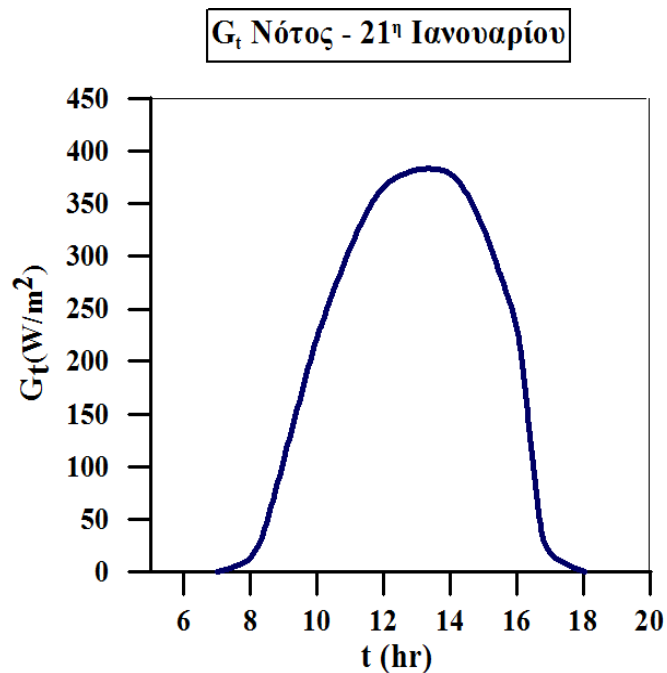
Διάγραμμα 10.1.2.27: Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t ανά ώρα για την 21^η Δεκεμβρίου και για ανατολικό προσανατολισμό.



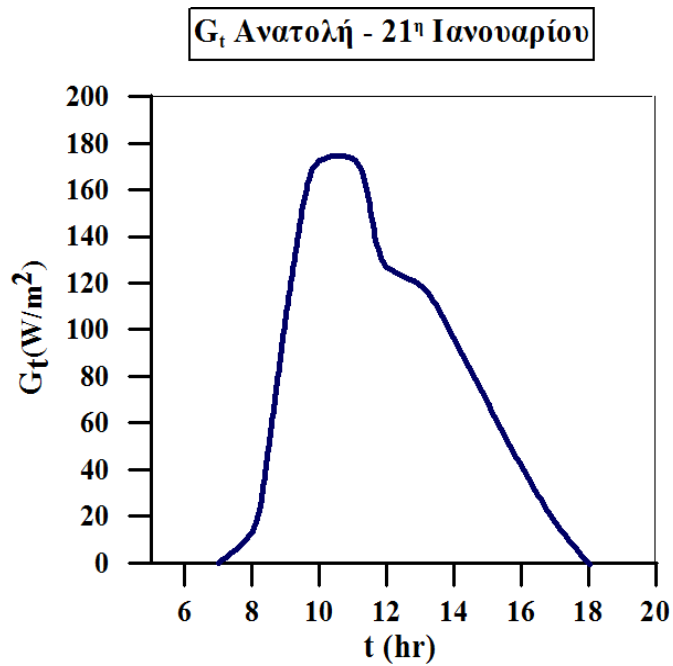
Διάγραμμα 10.1.2.28: Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t ανά ώρα για την 21^η Δεκεμβρίου και για δυτικό προσανατολισμό.



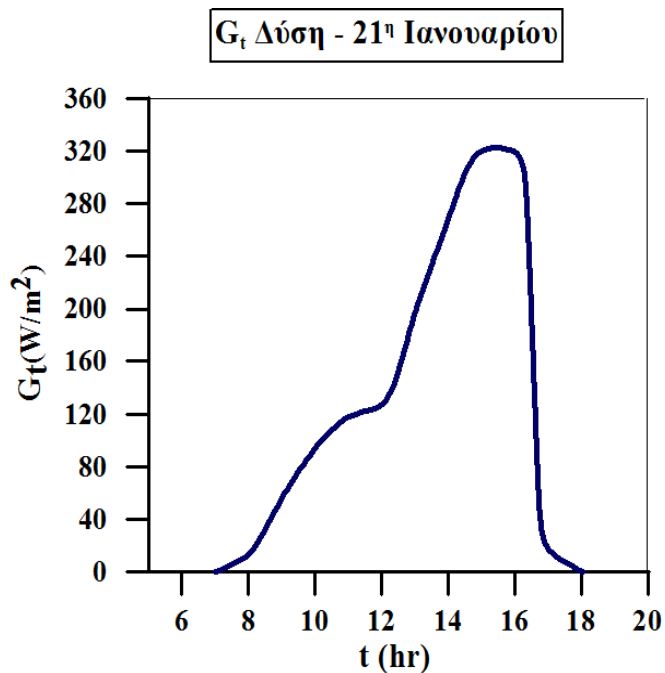
Διάγραμμα 10.1.2.29: Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t ανά ώρα για την 21^η Ιανουαρίου και για βόρειο προσανατολισμό.



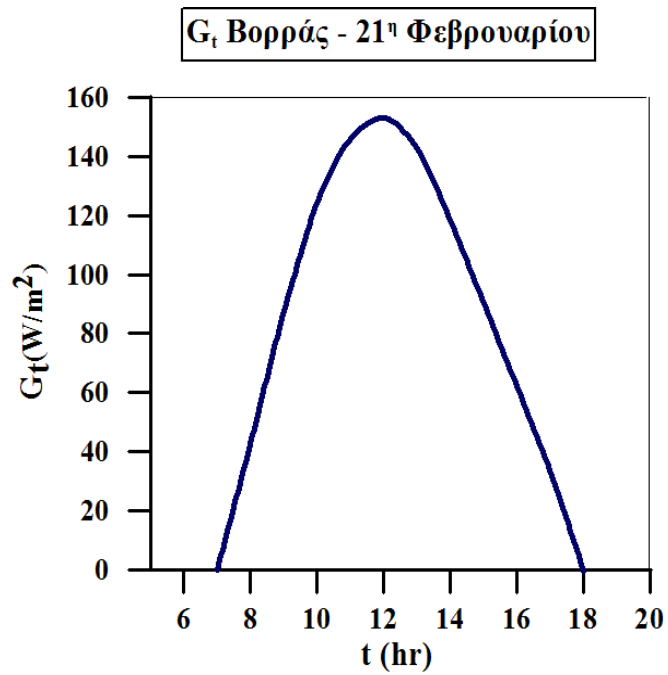
Διάγραμμα 10.1.2.30: Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t ανά ώρα για την 21^η Ιανουαρίου και για νότιο προσανατολισμό.



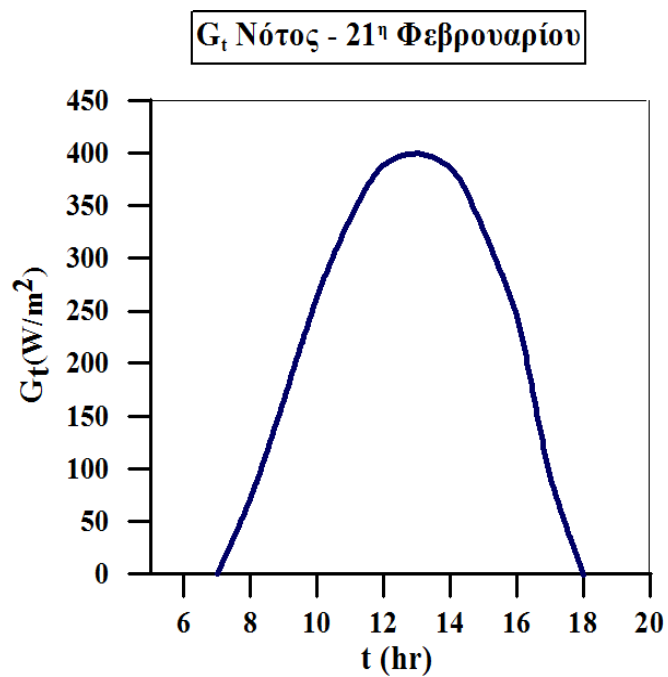
Διάγραμμα 10.1.2.31: Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t ανά ώρα για την 21^η Ιανουαρίου και για ανατολικό προσανατολισμό.



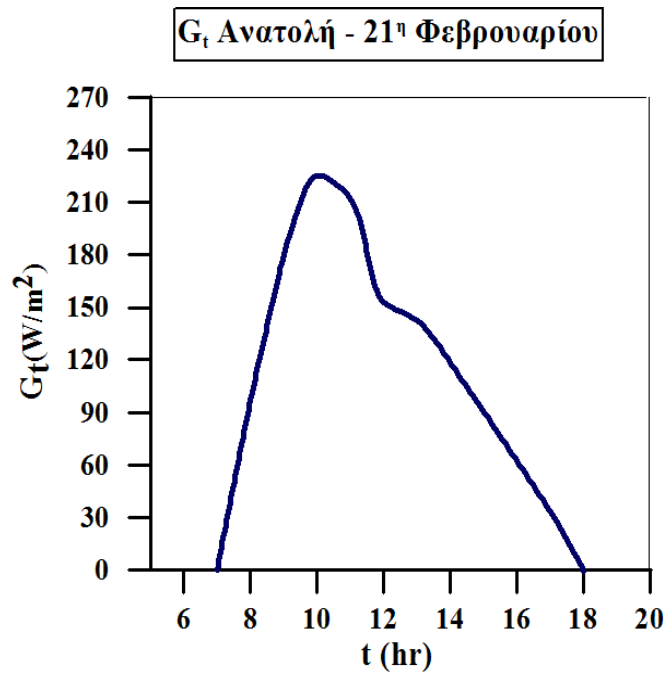
Διάγραμμα 10.1.2.32: Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t ανά ώρα για την 21^η Ιανουαρίου και για δυτικό προσανατολισμό.



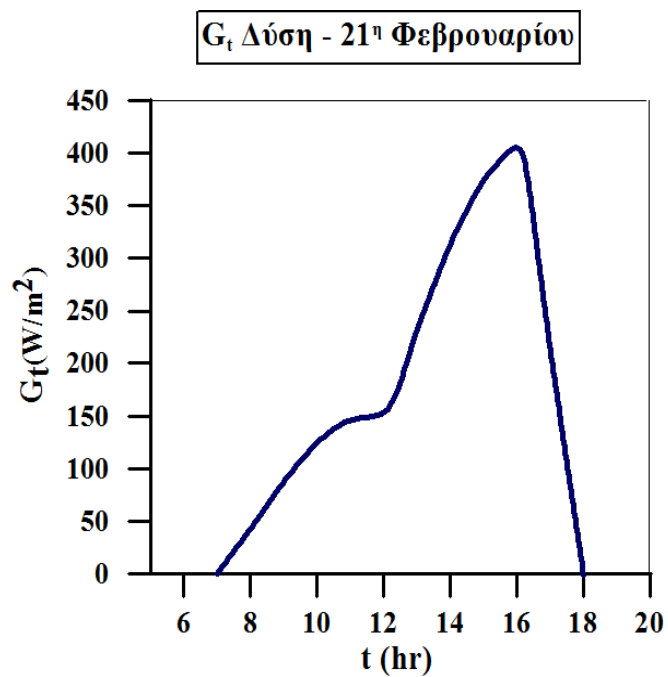
Διάγραμμα 10.1.2.33: Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t ανά ώρα για την 21^η Φεβρουαρίου και για βόρειο προσανατολισμό.



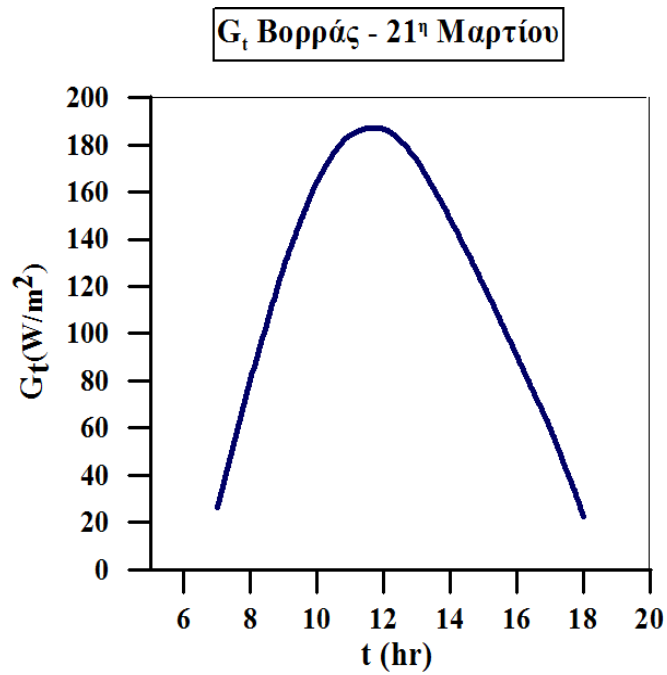
Διάγραμμα 10.1.2.34: Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t ανά ώρα για την 21^η Φεβρουαρίου και για νότιο προσανατολισμό.



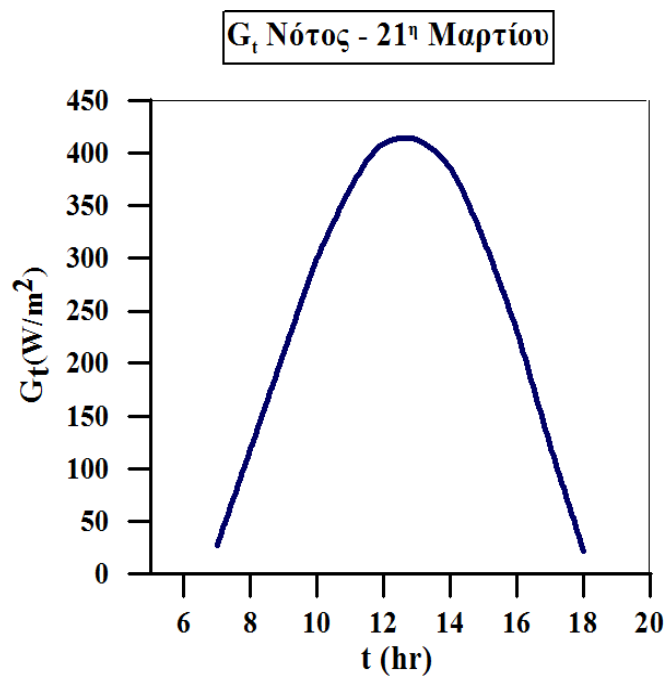
Διάγραμμα 10.1.2.35: Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t ανά ώρα για την 21^η Φεβρουαρίου και για ανατολικό προσανατολισμό.



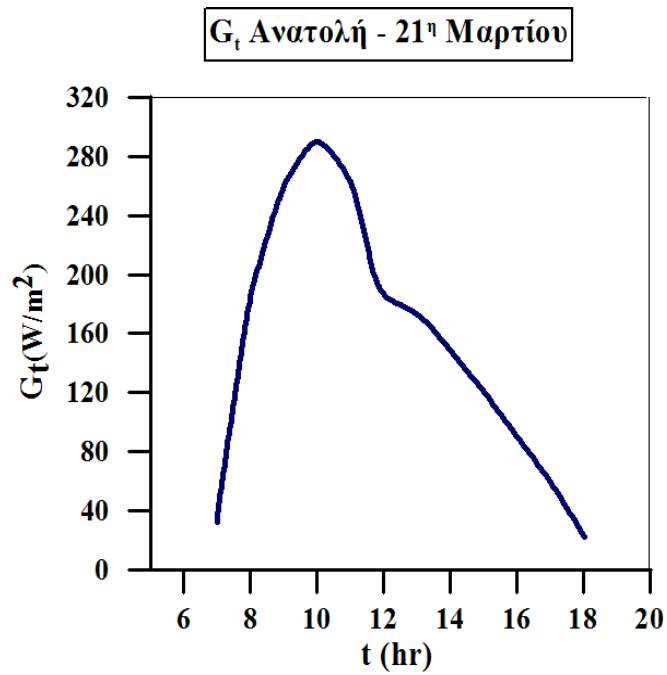
Διάγραμμα 10.1.2.36: Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t ανά ώρα για την 21^η Φεβρουαρίου και για δυτικό προσανατολισμό.



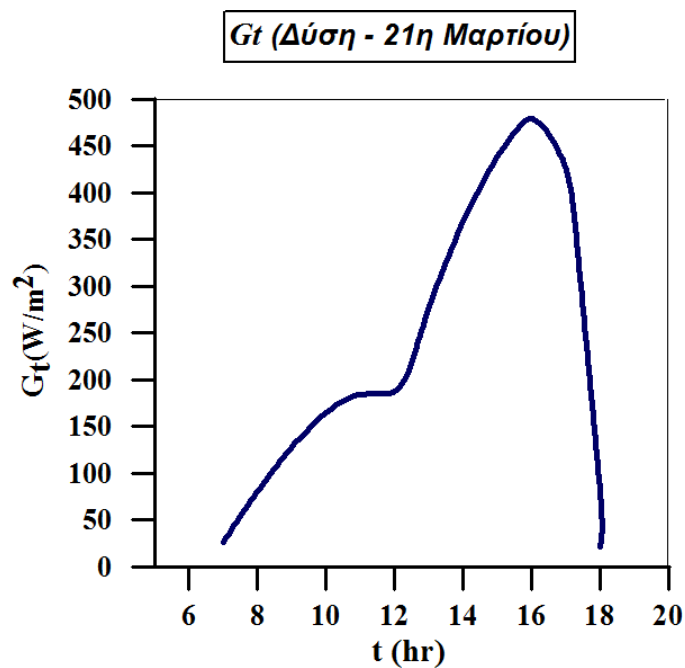
Διάγραμμα 10.1.2.37: Διακόμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t ανά ώρα για την 21^η Μαρτίου και για βόρειο προσανατολισμό.



Διάγραμμα 10.1.2.38: Διακόμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t ανά ώρα για την 21^η Μαρτίου και για νότιο προσανατολισμό.



Διάγραμμα 10.1.2.39: Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t ανά ώρα για την 21^η Μαρτίου και για ανατολικό προσανατολισμό.



Διάγραμμα 10.1.2.40: Διακύμανση της στιγμιαίας ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t ανά ώρα για την 21^η Μαρτίου και για δυτικό προσανατολισμό.

Από τα παραπάνω διαγράμματα και τους πίνακες διακύμανσης της ολικής ακτινοβολίας κατακόρυφου επιπέδου G_t αξίζει να σημειωθούν τα εξής :

- Οι επιφάνειες που δέχονται κατά τη διάρκεια της ημέρας τη μεγαλύτερη ακτινοβολία είναι οι νότιες, ενώ οι επιφάνειες που δέχονται τη μικρότερη συνολικά ακτινοβολία είναι οι βόρειες. Αυτό οφείλεται στο ότι οι νότιες κατακόρυφες επιφάνειες δέχονται άμεσο στιγμιαία ακτινοβολία, G_b , για όλες τις ώρες της ημέρας που έχουμε άμεσο στιγμιαία ακτινοβολία οριζόντιου επιπέδου αντίθετα με τις κατακόρυφες επιφάνειες βόρειου προσανατολισμού που δέχονται μόνο διάχυτη ακτινοβολία καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και η οποία είναι η ίδια για κάθε προσανατολισμό και για τις ίδιες ώρες. Ακόμη, παρατηρούμε ότι η δυτική πλευρά δέχεται περισσότερη ακτινοβολία τις απογευματινές ώρες ενώ ανατολική τις πρωινές.
- Σε όλους τους μήνες στο δυτικό και ανατολικό προσανατολισμό παρατηρείται μια ασυνέχεια στην ομαλή κλίση των καμπυλών στις 12:00. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι τιμές του R_b για τους προσανατολισμούς αυτούς και για τη συγκεκριμένη ώρα είναι μηδενικές. Αντίθετα στους άλλους 2 προσανατολισμούς τα διαγράμματα είναι ομαλά.
- Ακόμη σε όλους τους μήνες θέρμανσης παρατηρούμε ότι η ολική στιγμιαία ακτινοβολία στο νότιο προσανατολισμό μεγιστοποιείται στις 13:00 ενώ στο βορρά στις 12:00.
- Η ανατολική όψη για όλους τους μήνες που μελετάμε δέχεται μεγαλύτερη ακτινοβολία τις πρώτες πρωινές ώρες με μέγιστη τιμή στις 10:00 τους μήνες Νοέμβριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο και στις 11:00 το Δεκέμβριο και Ιανουάριο. Η δυτική πλευρά όπως αναμενόταν δέχεται μεγάλη ακτινοβολία τις απογευματινές ώρες, με μέγιστη τιμή στις 15:00 τον Νοέμβριο, Δεκέμβριο και Ιανουάριο και στις 16:00 το Φεβρουάριο και Μάρτιο.

10.2 Υπολογισμός συνολικού φορτίου κελύφους

Οι διάφορες συνιστώσες του συνολικού φορτίου του κελύφους για τις τυπικές ημέρες κάθε μήνα θέρμανσης που μελετάμε είναι :

- Θερμικό ηλιακό κέρδος υαλοπινάκων,
- Θερμικό φορτίο υαλοπινάκων δι' αγωγής,
- Θερμικό φορτίο δι' αγωγής μέσω εξωτερικών τοίχων,
- Θερμικό φορτίο δι' αγωγής μέσω οροφής,
- Φορτίο λόγω ανανέωσης και διείδυσης αέρα,

ενώ, δύο ακόμη φορτία που δεν αποτελούν όμως αντικείμενο μελέτης στη παρούσα εργασία είναι το θερμικό κέδρος μέσω εσωτερικών τοίχων, δαπέδων και οροφών και το φορτίο λόγω εσωτερικών πηγών θερμότητας.

10.2.1 Κτίριο αναφοράς

Το κτίριο αναφοράς που μελετάμε στη παρούσα εργασία είναι πανταχόθεν ελεύθερο τετραγωνικού δαπέδου επιφάνειας $10 \cdot 10 = 100 \text{m}^2$. 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 $F/V = 0,733 \text{m}^{-1}$.

Το συνολικό ποσοστό των υαλοπινάκων επί του κελύφους είναι $P_f = 20\%$ και μοιράζεται ισόποσα στους τέσσερις τοίχους. Επομένως σε κάθε τοίχο (νότος, ανατολή, βορράς, δύση) οι υαλοπίνακες καλύπτουν το 20% της επιφάνειας του τοίχου. Αυτό σημαίνει ότι η συνολική επιφάνεια υαλοπινάκων επί του κελύφους είναι $A_{\text{tot}} = 120 \cdot 20\% = 24 \text{m}^2$ και σε καθένα από τους τέσσερις τοίχους οι υαλοπίνακες έχουν επιφάνεια $A_f = 6 \text{m}^2$.

Κάθε τοίχος έχει εμβαδόν 30m^2 . Η επιφάνεια των υαλοπινάκων είναι 6m^2 σε κάθε τοίχο, οπότε τελικά η επιφάνεια κάθε τοίχου και σε κάθε προσανατολισμό είναι $A_w = 24 \text{m}^2$.

Η εξωτερική επιφάνεια του κελύφους είναι χρώματος ανοικτού ενώ η θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος ισούται με 20°C . Τέλος ελήφθη η διαπερατότητα των υαλοπινάκων για την ηλιακή ακτινοβολία ίση προς 85% και η ανανέωση αέρα ίση με 2 αλλαγές ανά ώρα.

Για τα κλιματολογικά δεδομένα ελήφθησαν οι εξωτερικές τυπικές συνθήκες για τη περιοχή της Αθήνας και για τις ημέρες που μελετάμε.

10.2.2 Υπολογισμός θερμικού ηλιακού κέρδους υαλοπινάκων

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 σε διαστήματα μίας ώρας :

$$SHG = 0.85 \cdot A_f G_t \cdot 3600 \left[\frac{J}{h} \right] \quad (10.2.2.1)$$

όπου,

- 0,85: ο συντελεστής αυτός δείχνει ότι το 15% της ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται από τους υαλοπίνακες κατευθείαν ή απορροφάται και στη συνέχεια εξέρχεται στο εξωτερικό περιβάλλον,
- $A_f [m^2]$: η επιφάνεια των υαλοπινάκων σε m^2 που όπως είπαμε είναι $A_f=6m^2$,
- $G_t [\frac{W}{m^2}]$: η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στους υαλοπίνακες όπως υπολογίστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο,
- 3600: υπολογίζεται το φορτίο για διάστημα μιας ώρας γι' αυτό και πολλαπλασιάζουμε με $60*60=3600s$.

Σύμφωνα με τους παραπάνω συντελεστές της Εξίσωσης 10.2.2.1 υπολογίζουμε παρακάτω το ηλιακό θερμικό κέρδος των υαλοπινάκων για κάθε προσανατολισμό στη διάρκεια όλου του 24ωρου για την 21^η ημέρα κάθε μήνα θέρμανσης που μελετάμε (Πίνακες 10.2.2.1 - 10.2.2.5). Για τα κλιματολογικά δεδομένα ελήφθησαν οι εξωτερικές τυπικές συνθήκες της Αθήνας και για λόγους καλύτερης εποπτείας μετατρέψαμε τα [J/h] σε [MJ/h].

Πίνακας 10.2.2.1: Τιμές του SHG για την 21^η Νοεμβρίου για κάθε προσανατολισμό.

Time [hour]	Βορράς	Νότος	Ανατολή	Δύση
	SHG [MJ/h]	SHG [MJ/h]	SHG [MJ/h]	SHG [MJ/h]
01:00	0,000	0,000	0,000	0,000
02:00	0,000	0,000	0,000	0,000
03:00	0,000	0,000	0,000	0,000
04:00	0,000	0,000	0,000	0,000
05:00	0,000	0,000	0,000	0,000
06:00	0,000	0,000	0,000	0,000
07:00	0,000	0,000	0,000	0,000
08:00	0,293	0,462	0,537	0,293
09:00	1,135	2,620	2,576	1,135
10:00	1,875	4,859	3,679	1,875
11:00	2,323	6,580	3,563	2,323
12:00	2,433	7,859	2,433	2,433
13:00	2,271	8,222	2,271	4,005
14:00	1,907	7,880	1,907	5,519
15:00	1,440	6,919	1,440	6,754
16:00	0,955	4,831	0,955	6,534
17:00	0,484	0,484	0,484	0,484

18:00	0,000	0,000	0,000	0,000
19:00	0,000	0,000	0,000	0,000
20:00	0,000	0,000	0,000	0,000
21:00	0,000	0,000	0,000	0,000
22:00	0,000	0,000	0,000	0,000
23:00	0,000	0,000	0,000	0,000
00:00	0,000	0,000	0,000	0,000
Ημερήσιο (MJ/day)	19,846	50,715	15,117	31,355

Πίνακας 10.2.2.2: Τιμές του SHG για την 21^η Δεκεμβρίου για κάθε προσανατολισμό.

Time [hour]	Βορράς	Νότος	Ανατολή	Δύση
	SHG [MJ/h]	SHG [MJ/h]	SHG [MJ/h]	SHG [MJ/h]
01:00	0,000	0,000	0,000	0,000
02:00	0,000	0,000	0,000	0,000
03:00	0,000	0,000	0,000	0,000
04:00	0,000	0,000	0,000	0,000
05:00	0,000	0,000	0,000	0,000
06:00	0,000	0,000	0,000	0,000
07:00	0,000	0,000	0,000	0,000
08:00	0,078	0,078	0,078	0,078
09:00	0,859	1,644	1,573	0,859
10:00	1,577	4,025	2,976	1,577
11:00	2,032	5,754	3,061	2,032
12:00	2,199	6,968	2,199	2,199
13:00	2,063	7,330	2,063	3,519
14:00	1,669	7,215	1,669	4,838
15:00	1,184	6,295	1,184	5,835
16:00	0,703	4,093	0,703	5,222
17:00	0,291	0,291	0,291	0,291
18:00	0,000	0,000	0,000	0,000
19:00	0,000	0,000	0,000	0,000
20:00	0,000	0,000	0,000	0,000
21:00	0,000	0,000	0,000	0,000
22:00	0,000	0,000	0,000	0,000
23:00	0,000	0,000	0,000	0,000
00:00	0,000	0,000	0,000	0,000
Ημερήσιο (MJ/day)	12,655	43,694	15,797	26,450

Πίνακας 10.2.2.3: Τιμές του SHG για την 21^η Ιανουαρίου για κάθε προσανατολισμό.

Time [hour]	Βορράς	Νότος	Ανατολή	Δύση
	SHG [MJ/h]	SHG [MJ/h]	SHG [MJ/h]	SHG [MJ/h]
01:00	0,000	0,000	0,000	0,000
02:00	0,000	0,000	0,000	0,000
03:00	0,000	0,000	0,000	0,000
04:00	0,000	0,000	0,000	0,000
05:00	0,000	0,000	0,000	0,000
06:00	0,000	0,000	0,000	0,000
07:00	0,000	0,000	0,000	0,000
08:00	0,244	0,244	0,244	0,244
09:00	1,026	1,953	1,931	1,026
10:00	1,720	4,091	3,162	1,720
11:00	2,158	5,659	3,184	2,158
12:00	2,334	6,720	2,334	2,334
13:00	2,188	7,023	2,188	3,604
14:00	1,763	6,959	1,763	4,923
15:00	1,262	5,994	1,262	5,881
16:00	0,766	4,280	0,766	5,865
17:00	0,326	0,326	0,326	0,326
18:00	0,000	0,000	0,000	0,000
19:00	0,000	0,000	0,000	0,000
20:00	0,000	0,000	0,000	0,000
21:00	0,000	0,000	0,000	0,000
22:00	0,000	0,000	0,000	0,000
23:00	0,000	0,000	0,000	0,000
00:00	0,000	0,000	0,000	0,000
Ημερήσιο (MJ/day)	13,787	43,248	17,159	13,787

Πίνακας 10.2.2.4: Τιμές του SHG για την 21^η Φεβρουαρίου για κάθε προσανατολισμό.

Time [hour]	Βορράς	Νότος	Ανατολή	Δύση
	SHG [MJ/h]	SHG [MJ/h]	SHG [MJ/h]	SHG [MJ/h]
01:00	0,000	0,000	0,000	0,000
02:00	0,000	0,000	0,000	0,000
03:00	0,000	0,000	0,000	0,000
04:00	0,000	0,000	0,000	0,000
05:00	0,000	0,000	0,000	0,000
06:00	0,000	0,000	0,000	0,000
07:00	0,000	0,000	0,000	0,000
08:00	0,783	1,317	1,778	0,783
09:00	1,605	3,027	3,304	1,605
10:00	2,282	4,843	4,139	2,282

11:00	2,683	6,216	3,900	2,683
12:00	2,813	7,136	2,813	2,813
13:00	2,623	7,339	2,623	4,248
14:00	2,176	7,095	2,176	5,742
15:00	1,665	6,009	1,665	6,856
16:00	1,143	4,520	1,143	7,443
17:00	0,617	1,707	0,617	3,951
18:00	0,000	0,000	0,000	0,000
19:00	0,000	0,000	0,000	0,000
20:00	0,000	0,000	0,000	0,000
21:00	0,000	0,000	0,000	0,000
22:00	0,000	0,000	0,000	0,000
23:00	0,000	0,000	0,000	0,000
00:00	0,000	0,000	0,000	0,000
Ημερήσιο (MJ/day)	18,390	49,208	24,159	38,407

Πίνακας 10.2.2.5: Τιμές του SHG για την 21^η Μαρτίου για κάθε προσανατολισμό.

Time [hour]	Βορράς	Νότος	Ανατολή	Δύση
	SHG [MJ/h]	SHG [MJ/h]	SHG [MJ/h]	SHG [MJ/h]
01:00	0,000	0,000	0,000	0,000
02:00	0,000	0,000	0,000	0,000
03:00	0,000	0,000	0,000	0,000
04:00	0,000	0,000	0,000	0,000
05:00	0,000	0,000	0,000	0,000
06:00	0,000	0,000	0,000	0,000
07:00	0,481	0,499	0,586	0,481
08:00	1,476	2,171	3,396	1,476
09:00	2,351	3,854	4,762	2,351
10:00	3,021	5,500	5,322	3,021
11:00	3,380	6,733	4,826	3,380
12:00	3,431	7,517	3,431	3,431
13:00	3,184	7,581	3,184	5,080
14:00	2,729	7,084	2,729	6,771
15:00	2,217	5,846	2,217	8,037
16:00	1,665	4,246	1,665	8,798
17:00	1,102	2,252	1,102	7,840
18:00	0,424	0,424	0,424	0,424
19:00	0,000	0,000	0,000	0,000
20:00	0,000	0,000	0,000	0,000
21:00	0,000	0,000	0,000	0,000
22:00	0,000	0,000	0,000	0,000
23:00	0,000	0,000	0,000	0,000
00:00	0,000	0,000	0,000	0,000
Ημερήσιο (MJ/day)	25,463	53,708	33,644	51,091

Στα παραπάνω αποτελέσματα αξίζει να παρατηρήσουμε τα εξής:

- Από τα αποτελέσματα που παρατίθενται στους παραπάνω πίνακες για τις τιμές του ηλιακού θερμικού κέρδους κατά τους χειμερινούς μήνες παρατηρούμε ότι προκύπτουν τα ίδια συμπεράσματα που προέκυψαν και από τα αντίστοιχα διαγράμματα που παρουσιάζουν την διακύμανση του G_t κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το ηλιακό θερμικό κέρδος εξαρτάται από την ολική προσπίπτουσα στιγμιαία ακτινοβολία, G_t . Προκύπτει λοιπόν ότι κατά τη διάρκεια όλων των μηνών θέρμανσης το μεγαλύτερο ημερήσιο ηλιακό κέρδος έχουν οι υαλοπίνακες με νότιο προσανατολισμό ενώ το μικρότερο το έχουν οι υαλοπίνακες με προσανατολισμό το βορρά καθώς η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο βόρειο κομμάτι του κτιρίου είναι πολύ μικρότερη από τους υπόλοιπους προσανατολισμούς και κυρίως από το νότιο.
- Το θερμικό ηλιακό κέρδος είναι αισθητά μικρότερο στο βόρειο προσανατολισμό από τους άλλους τρεις προσανατολισμούς γεγονός που ενισχύει τα όσα αναφέρθηκαν στο βιβλιογραφικό μέρος της εργασίας, ότι δηλαδή η ύπαρξη υαλοπινάκων στο βόρειο προσανατολισμό κρίνεται ζημιογόνος από ενεργειακής άποψης καθώς τα οφέλη από αυτόν είναι πολύ μικρότερα συγκρινόμενα με τα οφέλη από την ύπαρξη υαλοπινάκων στους λοιπούς προσανατολισμούς.
- Η μέγιστη τιμή του θερμικού ηλιακού κέρδους εμφανίζεται για κάθε μήνα θέρμανσης τις ίδιες ώρες που προσπίπτει η μέγιστη στιγμιαία ακτινοβολία σε κάθε αντίστοιχο προσανατολισμό. Προκύπτει και πάλι δηλαδή μέγιστο ηλιακό κέρδος για το νότιο προσανατολισμό στις 13:00 και για τους 5 μήνες θέρμανσης, για το δυτικό στις 15:00 τους Νοέμβριο, Δεκέμβριο και Ιανουάριο και στις 16:00 τους Φεβρουάριο και Μάρτιο, για τον ανατολικό στις 10:00 τον Νοέμβριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο στις 11:00 το Δεκέμβριο, Ιανουάριο και για το βόρειο στις 12:00 για όλους τους μήνες.

10.2.3 Υπολογισμός θερμικού φορτίου υαλοπινάκων δι' αγωγής

Το θερμικό φορτίο υαλοπινάκων δι' αγωγής προκύπτει εξαιτίας της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος. Για τους μήνες θέρμανσης που μελετάμε η θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος και συνεπώς το φορτίο αυτό αποτελεί απώλεια για το κέλυφος. Υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο για κάθε ώρα της ημέρας:

$$L_f = A_f U_f (T_{out} - T_{in}) 3600 \left[\frac{J}{h} \right] \quad (10.2.3.1)$$

όπου,

- A_f : η επιφάνεια των υαλοπινάκων, όπου έχουμε αναφέρει πως είναι $A_f=6 \text{ m}^2$,
- U_f : ο συντελεστής ολικής θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων, ο οποίος στους υαλοπίνακες του κτιρίου που μελετάμε είναι $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- T_{in} : η εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου την οποία θεωρούμε σταθερή και ίση με 20° C για όλους τους υπολογισμούς,
- T_{out} : η θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος (K),
- 3600: υπολογίζεται το φορτίο για διάστημα μίας ώρας για αυτό και πολλαπλασιάζουμε με $60*60=3600\text{s}$.

Το φορτίο δι' αγωγής υαλοπινάκων είναι κοινό για όλους τους προσανατολισμούς καθώς η τιμή του εξαρτάται από τη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος η οποία είναι ίδια για όλους τους προσανατολισμούς καθώς επίσης και από το ποσοστό των υαλοπινάκων στο κέλυφος το οποίο όπως αναφέραμε ισοκατανέμεται στους 4 προσανατολισμούς. Έτσι στη συνέχεια παρατίθενται ο υπολογισμός του φορτίου δι' αγωγής για έναν υαλοπίνακα καθώς τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα είναι ίδια και για τους υπόλοιπους υαλοπίνακες.

Ακόμη να σημειωθεί ότι για θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος λαμβάνουμε την θερμοκρασία ξηρής σφαίρας και όχι την ισοδύναμη T_e καθώς η ισοδύναμη περιλαμβάνει την ηλιακή ακτινοβολία την επίδραση της οποίας υπολογίσαμε ξεχωριστά παραπάνω. Για το κτίριο αναφοράς όπως αναφέραμε έχουμε θεωρήσει ότι η εσωτερική θερμοκρασία διατηρείται σταθερή στους 20° C καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης μας ενώ για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος (μέση θερμοκρασία ξηρής σφαίρας) χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω σχέση :

$$T_{out} = M + \sum_{i=1}^3 C_i \cos\left[i \frac{360}{24} H - 0.5\right] + \sum_{i=1}^3 S_i \sin\left[i \frac{360}{24} H - 0.5\right] \left[^\circ \text{C}\right] \quad (10.2.3.2)$$

Όπου, $H=1 \div 24$ είναι η ώρα της ημέρας και $M, C_1, C_2, C_3, S_1, S_2, S_3$ είναι συντελεστές που δίνονται για καθένα από τους μήνες που μας ενδιαφέρουν στον Πίνακα 10.2.3.1.

Πίνακας 10.2.3.1: Συντελεστές M, C1, C2, C3, S1, S2, S3 για κάθε μήνα.

Μήνας	M	C ₁	C ₂	C ₃	S ₁	S ₂	S ₃
21 ^η Νοεμβρίου	11,968	-1,3	0,616	-0,252	-0,317	0,629	-0,049
21 ^η Δεκεμβρίου	9,264	-1,11	0,521	-0,152	-0,881	0,333	0,008
21 ^η Ιανουαρίου	9,384	-1,673	0,711	0,0085	-1,723	0,524	-0,241
21 ^η Φεβρουαρίου	10,984	-2,15	0,785	-0,107	-1,75	0,576	-0,0724
21 ^η Μαρτίου	11,955	-1,858	0,651	-0,0097	-1,084	0,256	-0,0093

Οπότε τελικά με χρήση του παραπάνω πίνακα και της Εξίσωσης 10.2.3.2 προκύπτει ο Πίνακας 10.2.3.2 που ακολουθεί με τις τιμές της εξωτερικής θερμοκρασίας περιβάλλοντος για κάθε ώρα και κάθε μήνα θέρμανσης.

Πίνακας 10.2.3.2: Η εξωτερική θερμοκρασία (T_{out}) για κάθε ώρα και κάθε μήνα θέρμανσης.

Time [hour]	21 ^η Νοεμβρίου	21 ^η Δεκεμβρίου	21 ^η Ιανουαρίου	21 ^η Φεβρουαρίου	21 ^η Μαρτίου
	T _{out} [°C]				
01:00	11,14	8,50	8,24	9,41	10,61
02:00	11,38	8,45	7,83	9,18	10,41
03:00	11,56	8,37	7,47	8,95	10,20
04:00	11,59	8,22	7,22	8,71	10,02
05:00	11,44	8,03	7,10	8,52	9,96
06:00	11,19	7,88	7,13	8,47	10,08
07:00	11,01	7,88	7,30	8,65	10,44
08:00	11,08	8,13	7,66	9,16	11,03
09:00	11,49	8,65	8,26	10,02	11,82
10:00	12,22	9,37	9,12	11,16	12,71
11:00	13,09	10,15	10,18	12,42	13,57
12:00	13,86	10,81	11,27	13,57	14,26
13:00	14,31	11,21	12,17	14,38	14,69
14:00	14,31	11,28	12,68	14,71	14,78
15:00	13,91	11,07	12,68	14,54	14,54
16:00	13,24	10,68	12,19	13,97	14,04
17:00	12,52	10,23	11,40	13,15	13,39
18:00	11,88	9,81	10,54	12,28	12,70
19:00	11,41	9,47	9,83	11,50	12,08
20:00	11,10	9,19	9,36	10,89	11,59
21:00	10,91	8,97	9,13	10,43	11,26
22:00	10,82	8,78	9,00	10,10	11,04
23:00	10,83	8,64	8,86	9,84	10,90
00:00	10,94	8,55	8,60	9,62	10,77

Έχοντας υπολογίσει λοιπόν τη διαφορά θερμοκρασίας εξωτερικού – εσωτερικού περιβάλλοντος και αντικαθιστώντας όλα τα δεδομένα στην εξίσωση 10.2.3.1 υπολογίζουμε το θερμικό φορτίο υαλοπινάκων δι’ αγωγής σε $[J/h]$ για όλο το 24ωρο σε διάστημα μιας ώρας. Υπολογίζουμε ακόμα το ημερήσιο θερμικό φορτίο υαλοπινάκων δι’ αγωγής και για καλύτερη εποπτεία τα αποτελέσματα παρατίθενται σε $[MJ/h]$.

Πίνακας 10.2.3.3 Θερμικό φορτίο υαλοπινάκων δι’ αγωγής για όλους τους μήνες.

Time [hour]	21 ^η Νοεμβρίου	21 ^η Δεκεμβρίου	21 ^η Ιανουαρίου	21 ^η Φεβρουαρίου	21 ^η Μαρτίου
	L_f [MJ/h]				
01:00	-0,670	-0,869	-0,889	-0,801	-0,710
02:00	-0,651	-0,873	-0,920	-0,818	-0,725
03:00	-0,638	-0,879	-0,947	-0,835	-0,741
04:00	-0,636	-0,891	-0,966	-0,853	-0,754
05:00	-0,647	-0,905	-0,975	-0,868	-0,759
06:00	-0,666	-0,916	-0,973	-0,872	-0,750
07:00	-0,679	-0,916	-0,960	-0,858	-0,723
08:00	-0,674	-0,898	-0,933	-0,820	-0,678
09:00	-0,643	-0,858	-0,887	-0,755	-0,618
10:00	-0,588	-0,804	-0,822	-0,668	-0,551
11:00	-0,522	-0,745	-0,743	-0,573	-0,486
12:00	-0,464	-0,695	-0,660	-0,486	-0,434
13:00	-0,430	-0,665	-0,592	-0,425	-0,402
14:00	-0,430	-0,659	-0,553	-0,400	-0,395
15:00	-0,461	-0,675	-0,554	-0,413	-0,413
16:00	-0,511	-0,704	-0,590	-0,456	-0,450
17:00	-0,566	-0,738	-0,650	-0,518	-0,500
18:00	-0,614	-0,770	-0,715	-0,583	-0,552
19:00	-0,650	-0,796	-0,769	-0,642	-0,599
20:00	-0,673	-0,817	-0,804	-0,689	-0,635
21:00	-0,687	-0,834	-0,822	-0,724	-0,661
22:00	-0,694	-0,848	-0,831	-0,749	-0,677
23:00	-0,693	-0,859	-0,842	-0,768	-0,688
00:00	-0,685	-0,865	-0,685	-0,785	-0,698
Ημερήσιο (MJ/day)	-14,573	-19,479	-19,262	-16,359	-14,597

Εδώ αξίζει να σημειωθούν τα εξής:

- Παρατηρούμε, όπως αναμενόταν, ότι τα φορτία δι' αγωγής μέσω των υαλοπινάκων για κάθε ώρα της ημέρας και για κάθε μήνα θέρμανσης προκύπτουν αρνητικά και συνεπώς το φορτίο αυτό αποτελεί απώλεια για το κέλυφος. Αυτό οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εξωτερικού και εσωτερικού περιβάλλοντος ($T_{out} - T_{in}$), η οποία προκύπτει για όλες τις ώρες και για κάθε μήνα θέρμανσης αρνητική.
- Παρατηρούμε ακόμη ότι οι απώλειες υαλοπινάκων δι' αγωγής είναι μικρότερες κατά τις μεσημεριανές ώρες όπου η θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος αυξάνεται, και συνεπώς μειώνεται η διαφορά θερμοκρασίας $T_{out}-T_{in}$. Αντίστοιχα, οι απώλειες είναι μεγαλύτερες κατά τις νυχτερινές ώρες όπου η θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος είναι αρκετά μικρότερη.
- Τέλος, οι μεγαλύτερες απώλειες από τους υαλοπίνακες λόγω διαφοράς θερμοκρασίας εσωτερικού με εξωτερικό περιβάλλον εμφανίζονται το μήνα Δεκέμβριο. Ακολουθεί ο Ιανουάριος με απώλειες πολύ κοντά σε αυτές του Δεκεμβρίου, στη συνέχεια ο Φεβρουάριος με μειωμένες απώλειες ενώ ο Μάρτιος με αισθητά μειωμένες απώλειες έχει μικρή διαφορά με αυτές του Νοέμβρη.

10.2.4 Υπολογισμός φορτίου εξωτερικών τοίχων

Το συνολικό φορτίο που διέρχεται μέσω των εξωτερικών τοίχων υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$q_w = U_w A_w (T_e - T_{in}) 3600 \left[\frac{J}{h} \right] \quad (10.2.4.1)$$

όπου,

- A_w : το εμβαδόν του τοίχου σε m^2 , που εδώ είναι $A_w = 24 m^2$,
- U_w : η θερμική διαπερατότητα του τοίχου σε W/m^2K , που υπολογίζεται ως:

$$\frac{1}{U_w} = \frac{1}{h_i} + \sum_{j=1}^n \frac{w_j}{k_j} + \frac{1}{h_o} \quad (10.2.4.2)$$

Όπου,

- h_i [W/m^2K] ο εσωτερικός συντελεστής συναγωγής,
- h_o [W/m^2K] ο εξωτερικός συντελεστής συναγωγής,
- n το πλήθος των στρώσεων του τοίχου,
- w_j [m] το πάχος της κάθε στρώσης του τοίχου,
- k_j [W/mK] η ειδική θερμική αγωγιμότητα του υλικού κάθε στρώσης του τοίχου.

- T_{in} : η εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου την οποία θεωρούμε σταθερή και ίση με 20°C για όλους τους υπολογισμούς,
- T_e : η ισοδύναμη θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος για κάθε ώρα που προκύπτει από πίνακες για επιφάνεια ανοιχτού χρώματος στην περιοχή της Αθήνας. Οι τιμές της ισοδύναμης αυτής θερμοκρασίας T_e (K) παρουσιάζονται στους παρακάτω Πίνακες 10.2.4.1- 10.2.4.5,
- 3600: υπολογίζεται το φορτίο για διάστημα μίας ώρας για αυτό και πολλαπλασιάζουμε με $60*60=3600\text{s}$.

Οι εξωτερικοί τοίχοι ξεκινώντας από την εξωτερική τους πλευρά που βρίσκεται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα και προχωρώντας προς την εσωτερική αποτελούνται από τα παρακάτω διαδοχικά στρώματα:

- Εξωτερικό επίχρισμα πάχους $w_1=0,02\text{m}$ και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας $k_1=1,2\text{ W/mK}$.
- Δρομική οπτοπλινθοδομή πάχους $w_2=0,09\text{m}$ και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας $k_2=0,72\text{ W/mK}$.
- Μόνωση πάχους $w=0,05\text{m}$ και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας $k=0,038\text{ W/mK}$.
- Δρομική οπτοπλινθοδομή πάχους $w_3=0,09\text{m}$ και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας $k_3=0,72\text{ W/mK}$.
- Εσωτερικό επίχρισμα πάχους $w_4=0,02\text{m}$ και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας $k_4=1,2\text{ W/mK}$.
- Εξωτερικό συντελεστή συναγωγής $h_o=16\text{ W/m}^2\text{K}$ και εσωτερικό $h_i=8\text{ W/m}^2\text{K}$.

Συνεπώς, εφαρμόζοντας τη σχέση 10.2.4.2 με βάση τα παραπάνω δεδομένα της εργασίας, έχουμε:

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

Οπότε, αντικαθιστώντας τις κατάλληλες τιμές, προκύπτει τελικά η τιμή της θερμικής διαπερατότητας του τοίχου, $U_w=0,56\text{ W/m}^2\text{K}$.

Ακολουθούν οι Πίνακες 10.2.4.1 - 10.2.4.5 όπου παρουσιάζονται οι τιμές της ισοδύναμης θερμοκρασίας T_e (K).

Πίνακας 10.2.4.1: Ισοδύναμη θερμοκρασία για την 21^η Νοεμβρίου.

21^η Νοεμβρίου				
Time [hour]	Βορράς	Νότος	Ανατολή	Δύση
	Te [°C]	Te [°C]	Te [°C]	Te [°C]
01:00	11,4	11,4	11,4	11,4
02:00	11,5	11,5	11,5	11,5
03:00	11,5	11,5	11,5	11,5
04:00	11,4	11,4	11,4	11,4
05:00	11,2	11,2	11,2	11,2
06:00	11,1	11,1	11,1	11,1
07:00	11,1	11,1	11,1	11,1
08:00	12,4	19,6	22,9	12,4
09:00	13,7	26,4	26,3	13,7
10:00	14,7	30,9	24,7	14,7
11:00	15,7	33,9	21,1	15,7
12:00	16,4	35,2	16,4	16,4
13:00	16,7	34,9	16,7	22,1
14:00	16,6	32,8	16,6	26,5
15:00	15,9	28,6	15,9	28,5
16:00	14,6	21,7	14,9	25,1
17:00	12,8	12,8	12,8	12,8
18:00	12	12	12	12
19:00	11,4	11,4	11,4	11,4
20:00	10,9	10,9	10,9	10,9
21:00	10,7	10,7	10,7	10,7
22:00	10,7	10,7	10,7	10,7
23:00	10,9	10,9	10,9	10,9
00:00	11,1	11,1	11,1	11,1

Πίνακας 10.2.4.2: Ισοδύναμη θερμοκρασία για την 21^η Δεκεμβρίου.

21^η Δεκεμβρίου				
Time [hour]	Βορράς	Νότος	Ανατολή	Δύση
	Te [°C]	Te [°C]	Te [°C]	Te [°C]
01:00	8,6	8,6	8,6	8,6
02:00	8,5	8,5	8,5	8,5
03:00	8,3	8,3	8,3	8,3
04:00	8,1	8,1	8,1	8,1
05:00	7,9	7,9	7,9	7,9
06:00	7,8	7,8	7,8	7,8
07:00	7,9	7,9	7,9	7,9
08:00	9	15,2	17,3	9

09:00	10,3	23,5	22,3	10,3
10:00	11,4	28,3	21,1	11,4
11:00	12,3	31,4	17,6	12,3
12:00	13	32,7	13	13
13:00	13,3	32,4	13,3	18,6
14:00	13,2	30,1	13,2	22,9
15:00	12,7	25,8	12,7	24,6
16:00	11,5	17,8	11,5	19,8
17:00	10,4	10,4	10,4	10,4
18:00	9,9	9,9	9,9	9,9
19:00	9,4	9,4	9,4	9,4
20:00	9,1	9,1	9,1	9,1
21:00	8,8	8,8	8,8	8,8
22:00	8,7	8,7	8,7	8,7
23:00	8,7	8,7	8,7	8,7
00:00	8,7	8,7	8,7	8,7

Πίνακας 10.2.4.3: Ισοδύναμη θερμοκρασία για την 21^η Ιανουαρίου.

21^η Ιανουαρίου				
Time [hour]	Βορράς	Νότος	Ανατολή	Δύση
	Te [°C]	Te [°C]	Te [°C]	Te [°C]
01:00	8,3	8,3	8,3	8,3
02:00	8,1	8,1	8,1	8,1
03:00	7,7	7,7	7,7	7,7
04:00	7,3	7,3	7,3	7,3
05:00	7	7	7	7
06:00	6,9	6,9	6,9	6,9
07:00	7,1	7,1	7,1	7,1
08:00	8,5	16	19,5	8,5
09:00	10	23,3	23	10
10:00	11,5	28,2	21,7	11,5
11:00	12,8	31,5	18,3	12,8
12:00	13,9	33,2	13,9	13,9
13:00	14,5	33,2	14,5	20
14:00	14,6	31,3	14,6	24,8
15:00	14,2	27,4	14,2	27,1
16:00	13,1	20,6	13,1	24
17:00	11,5	11,5	11,5	11,5
18:00	10,8	10,8	10,8	10,8
19:00	10,1	10,1	10,1	10,1
20:00	9,5	9,5	9,5	9,5
21:00	9	9	9	9
22:00	8,8	8,8	8,8	8,8
23:00	8,6	8,6	8,6	8,6
00:00	8,5	8,5	8,5	8,5

Πίνακας 10.2.4.4: Ισοδύναμη θερμοκρασία για την 21^η Φεβρουαρίου.

21 ^η Φεβρουαρίου				
Time [hour]	Βορράς	Νότος	Ανατολή	Δύση
	Te [°C]	Te [°C]	Te [°C]	Te [°C]
01:00	9,5	9,5	9,5	9,5
02:00	9,3	9,3	9,3	9,3
03:00	9	9	9	9
04:00	8,6	8,6	8,6	8,6
05:00	8,4	8,4	8,4	8,4
06:00	8,4	8,4	8,4	8,4
07:00	9,1	10,8	14,5	9,1
08:00	10,9	18,6	25,5	10,9
09:00	12,5	24,4	26,9	12,5
10:00	14,1	29	25	14,1
11:00	15,5	32,2	21,4	15,5
12:00	16,7	34	16,7	16,7
13:00	17,3	34,1	17,3	23,2
14:00	17,4	32,3	17,4	28,3
15:00	16,9	28,8	16,9	31,3
16:00	15,7	23,5	15,7	30,3
17:00	13,7	15,5	13,7	19,2
18:00	12,4	12,4	12,4	12,4
19:00	11,5	11,5	11,5	11,5
20:00	10,8	10,8	10,8	10,8
21:00	10,3	10,3	10,3	10,3
22:00	10	10	10	10
23:00	9,8	9,8	9,8	9,8
00:00	9,7	9,7	9,7	9,7

Πίνακας 10.2.4.5: Ισοδύναμη θερμοκρασία για την 21^η Μαρτίου.

21 ^η Μαρτίου				
Time [hour]	Βορράς	Νότος	Ανατολή	Δύση
	Te [°C]	Te [°C]	Te [°C]	Te [°C]
01:00	10,7	10,7	10,7	10,7
02:00	10,5	10,5	10,5	10,5
03:00	10,2	10,2	10,2	10,2
04:00	10	10	10	10
05:00	10	10	10	10
06:00	10,1	10,1	10,1	10,1
07:00	11,8	13,9	24,2	11,8
08:00	13,4	19,1	29,5	13,4
09:00	14,8	23,9	29,6	14,8

10:00	16,1	27,8	27,2	16,1
11:00	17,3	30,6	23,1	17,3
12:00	18	32	18	18
13:00	18,4	31,7	18,4	24,2
14:00	18,2	29,9	18,2	29,2
15:00	17,5	26,6	17,5	32,3
16:00	16,4	22,1	16,4	32,5
17:00	14,8	16,8	14,8	27,2
18:00	12,7	12,7	12,7	12,7
19:00	12,1	12,1	12,1	12,1
20:00	11,6	11,6	11,6	11,6
21:00	11,3	11,3	11,3	11,3
22:00	11,1	11,1	11,1	11,1
23:00	10,9	10,9	10,9	10,9
00:00	10,8	10,8	10,8	10,8

Αντικαθιστώντας όλα τα δεδομένα στην εξίσωση 10.2.4.1 υπολογίζουμε το συνολικό φορτίο μέσω τοίχων σε $[J/h]$ για όλο το 24ωρο σε διάστημα μιας ώρας και για κάθε προσανατολισμό. Υπολογίζουμε ακόμα το ημερήσιο θερμικό φορτίο υαλοπινάκων δι' αγωγής ενώ για καλύτερη εποπτεία τα αποτελέσματα παρατίθενται σε $[MJ/h]$ στους Πίνακες 10.2.4.6 - 10.2.4.10 που ακολουθούν.

Πίνακας 10.2.4.6: Τιμές φορτίου τοίχων για την 21^η Νοεμβρίου για κάθε προσανατολισμό.

21 ^η Νοεμβρίου				
Time [hour]	Βορράς	Νότος	Ανατολή	Δύση
	q_w [MJ/h]	q_w [MJ/h]	q_w [MJ/h]	q_w [MJ/h]
01:00	-0,4159	-0,4159	-0,4159	-0,4159
02:00	-0,4111	-0,4111	-0,4111	-0,4111
03:00	-0,4111	-0,4111	-0,4111	-0,4111
04:00	-0,4159	-0,4159	-0,4159	-0,4159
05:00	-0,4256	-0,4256	-0,4256	-0,4256
06:00	-0,4304	-0,4304	-0,4304	-0,4304
07:00	-0,4304	-0,4304	-0,4304	-0,4304
08:00	-0,3675	-0,0193	0,1402	-0,3675
09:00	-0,3047	0,3095	0,3047	-0,3047
10:00	-0,2563	0,5271	0,2273	-0,2563
11:00	-0,2079	0,6722	0,0532	-0,2079
12:00	-0,1741	0,7351	-0,1741	-0,1741
13:00	-0,1596	0,7206	-0,1596	0,1016

14:00	-0,1644	0,6190	-0,1644	0,3143
15:00	-0,1983	0,4159	-0,1983	0,4111
16:00	-0,2611	0,0822	-0,2466	0,2466
17:00	-0,3482	-0,3482	-0,3482	-0,3482
18:00	-0,3869	-0,3869	-0,3869	-0,3869
19:00	-0,4159	-0,4159	-0,4159	-0,4159
20:00	-0,4401	-0,4401	-0,4401	-0,4401
21:00	-0,4497	-0,4497	-0,4497	-0,4497
22:00	-0,4497	-0,4497	-0,4497	-0,4497
23:00	-0,4401	-0,4401	-0,4401	-0,4401
00:00	-0,4304	-0,4304	-0,4304	-0,4304
Ημερήσιο [MJ/day]	-8,3952	-2,2390	-6,5188	-6,5382

Πίνακας 10.2.4.7: Τιμές φορτίου τοίχων για την 21^η Δεκεμβρίου για κάθε προσανατολισμό.

21^η Δεκεμβρίου				
Time [hour]	Βορράς	Νότος	Ανατολή	Δύση
	q_w [MJ/h]	q_w [MJ/h]	q_w [MJ/h]	q_w [MJ/h]
01:00	-0,5513	-0,5513	-0,5513	-0,5513
02:00	-0,5561	-0,5561	-0,5561	-0,5561
03:00	-0,5658	-0,5658	-0,5658	-0,5658
04:00	-0,5755	-0,5755	-0,5755	-0,5755
05:00	-0,5851	-0,5851	-0,5851	-0,5851
06:00	-0,5900	-0,5900	-0,5900	-0,5900
07:00	-0,5851	-0,5851	-0,5851	-0,5851
08:00	-0,5320	-0,2321	-0,1306	-0,5320
09:00	-0,4691	0,1693	0,1112	-0,4691
10:00	-0,4159	0,4014	0,0532	-0,4159
11:00	-0,3724	0,5513	-0,1161	-0,3724
12:00	-0,3385	0,6142	-0,3385	-0,3385
13:00	-0,3240	0,5997	-0,3240	-0,0677
14:00	-0,3288	0,4884	-0,3288	0,1402
15:00	-0,3530	0,2805	-0,3530	0,2225
16:00	-0,4111	-0,1064	-0,4111	-0,0097
17:00	-0,4643	-0,4643	-0,4643	-0,4643
18:00	-0,4884	-0,4884	-0,4884	-0,4884
19:00	-0,5126	-0,5126	-0,5126	-0,5126
20:00	-0,5271	-0,5271	-0,5271	-0,5271
21:00	-0,5416	-0,5416	-0,5416	-0,5416
22:00	-0,5465	-0,5465	-0,5465	-0,5465
23:00	-0,5465	-0,5465	-0,5465	-0,5465
00:00	-0,5465	-0,5465	-0,5465	-0,5465
Ημερήσιο [MJ/day]	-11,7272	-5,4163	-10,0201	-10,0249

Πίνακας 10.2.4.8: Τιμές φορτίου τοίχων για την 21^η Ιανουαρίου για κάθε προσανατολισμό.

21^η Ιανουαρίου				
Time [hour]	Βορράς	Νότος	Ανατολή	Δύση
	q_w [MJ/h]	q_w [MJ/h]	q_w [MJ/h]	q_w [MJ/h]
01:00	-0,5658	-0,5658	-0,5658	-0,5658
02:00	-0,5755	-0,5755	-0,5755	-0,5755
03:00	-0,5948	-0,5948	-0,5948	-0,5948
04:00	-0,6142	-0,6142	-0,6142	-0,6142
05:00	-0,6287	-0,6287	-0,6287	-0,6287
06:00	-0,6335	-0,6335	-0,6335	-0,6335
07:00	-0,6238	-0,6238	-0,6238	-0,6238
08:00	-0,5561	-0,1934	-0,0242	-0,5561
09:00	-0,4836	0,1596	0,1451	-0,4836
10:00	-0,4111	0,3965	0,0822	-0,4111
11:00	-0,3482	0,5561	-0,0822	-0,3482
12:00	-0,2950	0,6383	-0,2950	-0,2950
13:00	-0,2660	0,6383	-0,2660	0,0000
14:00	-0,2611	0,5465	-0,2611	0,2321
15:00	-0,2805	0,3579	-0,2805	0,3434
16:00	-0,3337	0,0290	-0,3337	0,1934
17:00	-0,4111	-0,4111	-0,4111	-0,4111
18:00	-0,4449	-0,4449	-0,4449	-0,4449
19:00	-0,4788	-0,4788	-0,4788	-0,4788
20:00	-0,5078	-0,5078	-0,5078	-0,5078
21:00	-0,5320	-0,5320	-0,5320	-0,5320
22:00	-0,5416	-0,5416	-0,5416	-0,5416
23:00	-0,5513	-0,5513	-0,5513	-0,5513
00:00	-0,5561	-0,5561	-0,5561	-0,5561
Ημερήσιο [MJ/day]	-11,4950	-5,1309	-9,5752	-9,5848

Πίνακας 10.2.4.9: Τιμές φορτίου τοίχων για την 21^η Φεβρουαρίου σε κάθε προσανατολισμό.

21^η Φεβρουαρίου				
Time hour	Βορράς	Νότος	Ανατολή	Δύση
	q_w [MJ/h]	q_w [MJ/h]	q_w [MJ/h]	q_w [MJ/h]
01:00	-0,5078	-0,5078	-0,5078	-0,5078
02:00	-0,5174	-0,5174	-0,5174	-0,5174
03:00	-0,5320	-0,5320	-0,5320	-0,5320
04:00	-0,5513	-0,5513	-0,5513	-0,5513
05:00	-0,5610	-0,5610	-0,5610	-0,5610
06:00	-0,5610	-0,5610	-0,5610	-0,5610
07:00	-0,5271	-0,4449	-0,2660	-0,5271

08:00	-0,4401	-0,0677	0,2660	-0,4401
09:00	-0,3627	0,2128	0,3337	-0,3627
10:00	-0,2853	0,4352	0,2418	-0,2853
11:00	-0,2176	0,5900	0,0677	-0,2176
12:00	-0,1596	0,6770	-0,1596	-0,1596
13:00	-0,1306	0,6819	-0,1306	0,1548
14:00	-0,1257	0,5948	-0,1257	0,4014
15:00	-0,1499	0,4256	-0,1499	0,5465
16:00	-0,2079	0,1693	-0,2079	0,4981
17:00	-0,3047	-0,2176	-0,3047	-0,0387
18:00	-0,3675	-0,3675	-0,3675	-0,3675
19:00	-0,4111	-0,4111	-0,4111	-0,4111
20:00	-0,4449	-0,4449	-0,4449	-0,4449
21:00	-0,4691	-0,4691	-0,4691	-0,4691
22:00	-0,4836	-0,4836	-0,4836	-0,4836
23:00	-0,4933	-0,4933	-0,4933	-0,4933
00:00	-0,4981	-0,4981	-0,4981	-0,4981
Ημερήσιο [MJ/day]	-9,3092	-3,3416	-6,8332	-6,8283

Πίνακας 10.2.4.10: Τιμές φορτίου τοίχων για την 21^η Μαρτίου για κάθε προσανατολισμό.

21^η Μαρτίου				
Time [hour]	Βορράς	Νότος	Ανατολή	Δύση
	q_w [MJ/h]	q_w [MJ/h]	q_w [MJ/h]	q_w [MJ/h]
01:00	-0,4497	-0,4497	-0,4497	-0,4497
02:00	-0,4594	-0,4594	-0,4594	-0,4594
03:00	-0,4739	-0,4739	-0,4739	-0,4739
04:00	-0,4836	-0,4836	-0,4836	-0,4836
05:00	-0,4836	-0,4836	-0,4836	-0,4836
06:00	-0,4788	-0,4788	-0,4788	-0,4788
07:00	-0,3965	-0,2950	0,2031	-0,3965
08:00	-0,3192	-0,0435	0,4594	-0,3192
09:00	-0,2515	0,1886	0,4643	-0,2515
10:00	-0,1886	0,3772	0,3482	-0,1886
11:00	-0,1306	0,5126	0,1499	-0,1306
12:00	-0,0967	0,5803	-0,0967	-0,0967
13:00	-0,0774	0,5658	-0,0774	0,2031
14:00	-0,0870	0,4788	-0,0870	0,4449
15:00	-0,1209	0,3192	-0,1209	0,5948
16:00	-0,1741	0,1016	-0,1741	0,6045
17:00	-0,2515	-0,1548	-0,2515	0,3482
18:00	-0,3530	-0,3530	-0,3530	-0,3530
19:00	-0,3820	-0,3820	-0,3820	-0,3820
20:00	-0,4062	-0,4062	-0,4062	-0,4062

21:00	-0,4207	-0,4207	-0,4207	-0,4207
22:00	-0,4304	-0,4304	-0,4304	-0,4304
23:00	-0,4401	-0,4401	-0,4401	-0,4401
00:00	-0,4449	-0,4449	-0,4449	-0,4449
Ημερήσιο [MJ/day]	-7,8004	-3,0757	-4,8891	-4,8940

Παρατηρώντας τα παραπάνω αποτελέσματα σημειώνουμε τα εξής :

- Το συνολικό φορτίο που διέρχεται διαμέσου των τοίχων προκύπτει για τις περισσότερες ώρες της ημέρας αρνητικό και συνεπώς αποτελεί απώλεια για το κέλυφος. Ωστόσο, για κάποιες ώρες της ημέρας και αναλόγως του προσανατολισμού της επιφάνειας, το φορτίο δι' αγωγής μέσω των τοίχων προκύπτει θετικό και συνεπώς για τις ώρες αυτές έχουμε κέρδος για το κέλυφος έχουμε δηλαδή ροή θερμότητας από το εξωτερικό προς το εσωτερικό περιβάλλον. Το είδος του φορτίου δηλαδή το αν αποτελεί κέρδος ή απώλεια εξαρτάται από το αν η διαφορά θερμοκρασίας ($T_e - T_{in}$) προκύπτει για τις αντίστοιχες ώρες θετική ή αρνητική αντίστοιχα. Παρατηρούμε ωστόσο για όλους τους μήνες θέρμανσης που μελετάμε ότι το συνολικό ημερήσιο φορτίο δι' αγωγής μέσω εξωτερικών τοίχων αποτελεί απώλεια για το κέλυφος
- Οι μεγαλύτερες απώλειες εμφανίζονται σε τοίχους βόρειου προσανατολισμού και οι μικρότερες σε τοίχο νότιου. Σε βόρεια προσανατολισμένους τοίχους βλέπουμε ότι όλα τα ωριαία φορτία είναι αρνητικά για τους μήνες που μελετάμε. Για νότιους τοίχους, η θερμότητα εισέρχεται στο εσωτερικό του κτιρίου από τις 09:00 έως τις 16:00 για τους μήνες Νοέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο και από τις 09:00 έως τις 15:00 τον Δεκέμβριο.
- Το ημερήσιο φορτίο δι' αγωγής για ανατολικούς και δυτικούς τοίχους είναι παραπλήσιο. Για τους ανατολικούς τοίχους το φορτίο δι' αγωγής αποτελεί κέρδος για τους μήνες Νοέμβριο και Φεβρουάριο από τις 8:00 έως τις 11:00, για τους Δεκέμβριο και Ιανουάριο στις 9:00 και 10:00 και για το Μάρτιο από τις 07:00 έως τις 11:00. Για τους δυτικούς τοίχους το φορτίο αποτελεί κέρδος για τους μήνες Νοέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο από τις 13:00 έως τις 16:00, το Δεκέμβριο στις 14:00 και στις 15:00 και το Μάρτιο από τις 13:00 έως τις 17:00.

10.2.5 Υπολογισμός φορτίου διαμέσου οροφής

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

$$q_{hor} = U_{hor} A_{hor} (T_{hor} - T_{in}) \cdot 3600 \left[\frac{J}{h} \right] \quad (10.2.5.1)$$

Όπου,

- A_{hor} : η επιφάνεια της οροφής η οποία είναι $A_{hor}=10*10=100m^2$,
- U_{hor} : ο συντελεστής ολικής θερμικής διαπερατότητας της οροφής σε W/m^2K που υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\frac{1}{U_{hor}} = \frac{1}{h_i} + \sum_{j=1}^n \frac{w_j}{k_j} + \frac{1}{h_o} \quad [m^2K/W] \quad (10.2.5.2)$$

όπου,

- h_i [W/m^2K] ο εσωτερικός συντελεστής συναγωγής,
 - h_o [W/m^2K] ο εξωτερικός συντελεστής συναγωγής,
 - n το πλήθος των στρώσεων του τοίχου,
 - w_j [m] το πάχος της κάθε στρώσης του τοίχου,
 - k_j [W/mK] ειδική θερμική αγωγιμότητα του υλικού κάθε στρώσης του τοίχου,
-
- T_{in} : η εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου την οποία θεωρούμε σταθερή και ίση με $20^\circ C$ 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. Οι τιμές της ισοδύναμης αυτής θερμοκρασίας T_e (K) παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 10.2.5.1.
 - 3600: υπολογίζεται το φορτίο για διάστημα μίας ώρας γι' αυτό και πολλαπλασιάζουμε με $60*60=3600s$.

Η οροφή ξεκινώντας από την εξωτερική της πλευρά που βρίσκεται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα και προχωρώντας προς την εσωτερική αποτελείται από τα παρακάτω διαδοχικά στρώματα :

- Εσωτερικό επίχρισμα πάχους $w_1=0,02m$ με ειδική θερμική αγωγιμότητα $k_1=1,2W/mK$,
- Οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους $w_2=0,15m$ και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας $k_2=2,2W/m K$,
- Μόνωση πάχους $w=0,05m$ και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας $k=0,038W/mK$ (ίδια με αυτή των τοίχων),
- Στρώματα κονιαμάτων και επιστρώσεων πάχους $w=0,1m$ και ειδικής θερμικής αγωγιμότητας $1,2 W/mK$,
- Εξωτερικό συντελεστή συναγωγής $h_o=16 W/m^2K$ και εσωτερικό $h_i=8 W/m^2K$.

Η σχέση 10.2.5.2 παίρνει λοιπόν τη μορφή:

$$\frac{1}{U_{hor}} = \frac{1}{h_i} + \frac{w_1}{k_1} + \frac{w_2}{k_2} + \frac{w_3}{k_3} + \frac{w_4}{k_4} + \frac{w_5}{k_5} + \frac{1}{h_o}$$

οπότε, με αντικατάσταση των παραπάνω δοθέντων παραμέτρων, προκύπτει τελικά ότι ο ολικός συντελεστής θερμικής διαπερατότητας της οροφής είναι $U_{hor} = 0,598 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Πίνακας 10.2.5.1: Τιμές T_{hor} για επιφάνεια ανοιχτού χρώματος για όλους τους μήνες.

	21 ^η Νοεμβρίου	21 ^η Δεκεμβρίου	21 ^η Ιανουαρίου	21 ^η Φεβρουαρίου	21 ^η Μαρτίου
Time [hour]	T_{hor} [°C]	T_{hor} [°C]	T_{hor} [°C]	T_{hor} [°C]	T_{hor} [°C]
01:00	11,4	8,6	8,3	9,5	10,7
02:00	11,5	8,5	8,1	9,3	10,5
03:00	11,5	8,3	7,7	9	10,2
04:00	11,4	8,1	7,3	8,6	10
05:00	11,2	7,9	7	8,4	10
06:00	11,1	7,8	6,9	8,4	10,1
07:00	11,1	7,9	7,1	5,9	11,1
08:00	11	6,6	7,1	12,1	17,2
09:00	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
00:00	11,1	8,7	8,5	9,7	10,8

Αντικαθιστώντας όλα τα δεδομένα στην Εξίσωση 10.2.5.1 υπολογίζουμε το συνολικό φορτίο μέσω οροφής σε $[J/h]$ για όλο το 24ωρο σε διάστημα μιας ώρας. Υπολογίζουμε όπως και πριν το ημερήσιο θερμικό φορτίο υαλοπινάκων δι' αγωγής και για καλύτερη εποπτεία τα αποτελέσματα στον Πίνακα 10.2.5.2 παρατίθενται σε μονάδες μέτρησης $[MJ/h]$.

Πίνακας 10.2.5.2: Τιμές του φορτίου οροφής για την 21η ημέρα κάθε μήνα.

	21 ^η Νοεμβρίου	21 ^η Δεκεμβρίου	21 ^η Ιανουαρίου	21 ^η Φεβρουαρίου	21 ^η Μαρτίου
Time [hour]	Q _{hor} [MJ/h]	Q _{hor} [MJ/h]	Q _{hor} [MJ/h]	Q _{hor} [MJ/h]	Q _{hor} [MJ/h]
01:00	-2,283	-2,886	-2,951	-2,692	-2,434
02:00	-2,261	-2,908	-2,994	-2,735	-2,477
03:00	-2,261	-2,951	-3,080	-2,800	-2,541
04:00	-2,283	-2,994	-3,166	-2,886	-2,585
05:00	-2,326	-3,037	-3,231	-2,929	-2,585
06:00	-2,348	-3,058	-3,252	-2,929	-2,563
07:00	-2,348	-3,037	-3,209	-3,468	-2,348
08:00	-2,369	-3,317	-3,209	-2,132	-1,034
09:00	-1,271	-2,240	-2,068	-0,926	0,151
10:00	-0,388	-1,378	-1,098	0,086	1,098
11:00	0,215	-0,775	-0,409	0,818	1,766
12:00	0,517	-0,495	-0,043	1,206	2,068
13:00	0,431	-0,582	-0,043	1,206	2,003
14:00	0,000	-0,991	-0,431	0,797	1,529
15:00	-0,797	-1,745	-1,185	0,022	0,732
16:00	-1,895	-2,778	-2,240	-1,098	-0,388
17:00	-1,981	-2,498	-2,261	-2,455	-1,723
18:00	-2,154	-2,606	-2,412	-2,068	-2,003
19:00	-2,283	-2,714	-2,563	-2,261	-2,132
20:00	-2,391	-2,778	-2,692	-2,412	-2,240
21:00	-2,434	-2,843	-2,800	-2,520	-2,305
22:00	-2,434	-2,865	-2,843	-2,585	-2,348
23:00	-2,391	-2,865	-2,886	-2,628	-2,391
00:00	-2,348	-2,865	-2,908	-2,649	-2,412
Ημερήσιο [MJ/day]	-40,082	-57,205	-53,974	-40,039	-27,159

Παρατηρήσεις σχετικά με το φορτίο οροφής:

- Το ωριαίο φορτίο που διέρχεται διαμέσου των οροφών προκύπτει για τις περισσότερες ώρες της ημέρας αρνητικό και συνεπώς αποτελεί απώλεια για το κέλυφος. Ωστόσο για κάποιες ώρες της ημέρας και για κάποιους μήνες θέρμανσης το φορτίο μέσω οροφής προκύπτει θετικό και συνεπώς για τις ώρες αυτές έχουμε κέρδος για το κέλυφος καθώς έχουμε ροή θερμότητας από το εξωτερικό προς το εσωτερικό περιβάλλον. Το είδος του φορτίου δηλαδή το αν έχουμε κέρδος ή απώλεια εξαρτάται από το αν η διαφορά θερμοκρασίας ($T_e - T_{in}$) προκύπτει για τις αντίστοιχες ώρες θετική ή αρνητική. Αυτό που έχει σημασία ωστόσο είναι ότι για όλους τους μήνες θέρμανσης που μελετάμε το συνολικό ημερήσιο φορτίο δι' αγωγής μέσω οροφών αποτελεί απώλεια για το κέλυφος.
- Οι μεγαλύτερες απώλειες από την οροφή παρατηρούνται το Δεκέμβριο και οι μικρότερες το Μάρτιο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ισοδύναμη

θερμοκρασία T_e εμφανίζει τις μικρότερες και μεγαλύτερες τιμές της και επομένως το φορτίο διαμέσου οροφών που είναι ανάλογο της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ εξωτερικού και εσωτερικού περιβάλλοντος ελαχιστοποιείται και μεγιστοποιείται τους αντίστοιχους μήνες.

- Παρατηρώντας τέλος τον παραπάνω Πίνακα 10.2.5.2 βλέπουμε ότι για τους μήνες Νοέμβριο (11:00 – 13:00), Φεβρουάριο (10:00 – 15:00) και Μάρτιο (09:00 – 15:00) προκύπτουν κάποια θετικά ωριαία φορτία οροφής. Αυτό οφείλεται στο ότι η ισοδύναμη θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος για αυτές τις ώρες έχει μεγαλύτερη τιμή από την εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου.

10.2.6 Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρα

Ανανέωση αέρα είναι η ηθελημένη προσαγωγή αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος στον κλιματιζόμενο χώρο, άμεσα ή μέσω της κλιματιστικής συσκευής, ενώ διείσδυση αέρα είναι η είσοδος του εξωτερικού αέρα από τα διάκενα θυρών και παραθύρων ή κατά το άνοιγμα των θυρών.

Για τον υπολογισμό του ψυκτικού φορτίου λόγω ανανέωσης και διείσδυσης υπό συνθήκες συνθήκες και κανονική ατμοσφαιρική πίεση (101,325 kPa, υψόμετρο μηδέν) γίνεται η χρήση της παρακάτω σχέσης :

$$Q_t = 1,2 \cdot Q \cdot \Delta h \cdot 3600 \quad [\text{J/h}] \quad (10.2.6.1)$$

όπου,

- Q_t [J/h]: το ολικό ψυκτικό φορτίο,
- Q [L/s]: η παροχή εξωτερικού αέρα,
- Δh [KJ/Kg]: η διαφορά ενθαλπίας μεταξύ εισερχόμενου και εξερχόμενου αέρα,
- 3600: υπολογίζεται το φορτίο λόγω ανανέωσης και διείσδυσης στο διάστημα μιας ώρας, επομένως $60 \cdot 60 = 3600\text{s}$.

Για το κτίριο αναφοράς που μελετάμε όπως προαναφέραμε γίνονται 2 αλλαγές αέρα ανά ώρα. Ο όγκος του κτιρίου αναφοράς είναι $V = 100 \text{ m}^2 \cdot 3 \text{ m} = 300 \text{ m}^3$.

Επομένως, η παροχή εξωτερικού αέρα είναι:

$$Q = 2 \times V = 2 \frac{\text{changes}}{h} \times 300 \text{ m}^3 = 600 \frac{\text{m}^3}{h} = \frac{600000 \text{ lt}}{3600 \text{ s}} = 166,67 \frac{L}{s} \quad (10.2.6.2)$$

Για να υπολογίσουμε τη διαφορά ενθαλπίας Δh [kJ/kg ξ.α] εισερχόμενου και εξερχόμενου αέρα πρέπει να υπολογίσουμε τις επιμέρους τιμές των ενθαλπιών με τη βοήθεια του ψυχομετρικού χάρτη, έχοντας σαν δεδομένα τη θερμοκρασία ξηρής σφαίρας T_{db} [°C] και τη σχετική υγρασία ϕ [%].

Έτσι, για την ενθαλπία του εσωτερικού περιβάλλοντος με δεδομένα την εσωτερική θερμοκρασία $T_{in}=20^{\circ}\text{C}$ και τη σχετική υγρασία $\phi=50\%$ προκύπτει $h_{in}=38,54$ [kJ/kg ξ.α].

Για την ενθαλπία του εξωτερικού περιβάλλοντος λαμβάνονται από τον ψυχομετρικό χάρτη οι τιμές της ενθαλπίας h_{out} [kJ/kg ξ.α] με δεδομένα τη θερμοκρασία ξηρής σφαίρας T_{db} [°C] = T_{out} [°C] όπως υπολογίστηκε στην ενότητα 10.2.3 και τη σχετική υγρασία ϕ_{out} % που υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$\phi_{out} = m \sum_{i=1}^2 c_i \cos\left[i \frac{360}{24} H - 0,5\right] + \sum_{i=1}^2 s_i \sin\left[i \frac{360}{24} H - 0,5\right] \quad (10.2.6.3)$$

Όπου, $H=1 \div 24$ η ώρα της ημέρας και m , c_1 , c_2 , s_1 , s_2 συντελεστές που δίνονται για καθένα από τους μήνες που μας ενδιαφέρουν στον Πίνακα 10.2.6.1.

Πίνακας 10.2.6.1: Τιμές συντελεστών εξίσωσης (10.2.6.3).

Μήνας	m	c ₁	c ₂	s ₁	s ₂
21 ^η Νοεμβρίου	65,196	5,21	-2,6530	7,3990	-1,1670
21 ^η Δεκεμβρίου	78,088	4,7440	-2,6830	2,8360	-2,3640
21 ^η Ιανουαρίου	70,132	8,1020	-2,7170	3,8240	-4,1640
21 ^η Φεβρουαρίου	63,116	8,0340	-3,0180	4,2470	-2,6720
21 ^η Μαρτίου	64,56	8,8290	-2,3750	1,8030	0,3890

Στους παρακάτω Πίνακες 10.2.6.2 - 10.2.6.6 λοιπόν δίνονται οι τιμές της θερμοκρασίας ξηρής σφαίρας T_{db} [°C] = T_{out} που υπολογίστηκαν στην ενότητα 10.2.3 με τη σχέση 10.2.3.2, σχετικής υγρασίας ϕ_{out} [%] που υπολογίστηκε με τη σχέση 10.2.6.3 και τις τιμές του πίνακα 10.2.6.1, της ενθαλπίας εξωτερικού περιβάλλοντος

h_{out} [$kJ/kg \xi.\alpha$] που προκύπτει από τον ψυχομετρικό χάρτη για το συνδυασμό θερμοκρασίας ξηρής σφαίρας και σχετικής υγρασίας και τέλος, δίνονται οι τιμές της διαφοράς ενθαλπών μεταξύ εισερχόμενου και εξερχόμενου αέρα Δh [$kJ/kg \xi.\alpha$] την 21^η ημέρα κάθε μήνα. Υπενθυμίζουμε ότι η τιμή της ενθαλπίας εισερχόμενου αέρα είναι $h_{in}=38,54$ [$kJ/kg \xi.\alpha$] για $T_{in}=20$ °C και $\phi=50\%$.

Πίνακας 10.2.6.2: Τιμές θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος, σχετικής υγρασίας κατά την 21^η Νοεμβρίου καθώς και οι αντίστοιχες τιμές της ενθαλπίας εξωτερικού περιβάλλοντος.

21 ^η Νοεμβρίου				
Time [hour]	T_{ab} [°C]	ϕ_{out} [%]	h_{out} [$kJ/kg \xi.\alpha$]	Δh [$kJ/kg \xi.\alpha$]
01:00	11,14	69,18	25,54	-12,9977
02:00	11,38	70,86	25,89	-12,6474
03:00	11,56	72,74	27,19	-11,3511
04:00	11,59	74,52	27,57	-10,9681
05:00	11,44	75,80	27,54	-11,0039
06:00	11,19	76,19	27,11	-11,43
07:00	11,01	75,44	26,58	-11,9577
08:00	11,08	73,46	26	-12,238
09:00	11,49	70,43	26,49	-12,0462
10:00	12,22	66,73	27,15	-11,39
11:00	13,09	62,88	28	-10,54
12:00	13,86	59,46	28,69	-9,85
13:00	14,31	56,92	29,63	-8,91
14:00	14,31	55,57	28,59	-9,95
15:00	13,91	55,46	27,79	-10,75
16:00	13,24	56,43	26,75	-11,79
17:00	12,52	58,14	25,79	-12,75
18:00	11,88	60,16	25,03	-13,51
19:00	11,41	62,12	24,57	-13,97
20:00	11,10	63,78	24,33	-14,21
21:00	10,91	65,03	24,23	-14,31
22:00	10,82	65,99	24,25	-14,29
23:00	10,83	66,85	24,45	-14,09
00:00	10,94	67,86	24,87	-13,67

Πίνακας 10.2.6.3: Τιμές θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος, σχετικής υγρασίας κατά την 21^η Δεκεμβρίου καθώς και οι αντίστοιχες τιμές ενθαλπίας εξωτερικού περιβάλλοντος.

21 ^η Δεκεμβρίου				
Time [hour]	T_{ab} [°C]	ϕ_{out} %	h_{out} [$kJ/kg \xi.\alpha$]	Δh [$kJ/kg \xi.\alpha$]
01:00	8,50	79,96	22,4	-16,14
02:00	8,45	79,99	22,3	-16,24
03:00	8,37	80,60	22,25	-16,29

04:00	8,22	81,64	22,14	-16,4
05:00	8,03	82,75	21,95	-16,59
06:00	7,88	83,50	21,78	-16,76
07:00	7,88	83,48	21,78	-16,76
08:00	8,13	82,46	22,1	-16,44
09:00	8,65	80,43	22,77	-15,77
10:00	9,37	77,64	23,69	-14,85
11:00	10,15	74,56	24,66	-13,88
12:00	10,81	71,78	25,42	-13,12
13:00	11,21	69,81	25,8	-12,74
14:00	11,28	69,05	25,78	-12,76
15:00	11,07	69,62	25,49	-13,05
16:00	10,68	71,36	25,08	-13,46
17:00	10,23	73,88	24,68	-13,86
18:00	9,81	76,64	24,38	-14,16
19:00	9,47	79,10	24,17	-14,37
20:00	9,19	80,85	23,93	-14,61
21:00	8,97	81,70	23,64	-14,9
22:00	8,78	81,71	23,26	-15,28
23:00	8,64	81,16	22,88	-15,66
00:00	8,55	80,44	22,58	-15,96

Πίνακας 10.2.6.4: Τιμές θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος, σχετικής υγρασίας κατά την 21^η Ιανουαρίου καθώς και οι αντίστοιχες τιμές της ενθαλπίας εξωτερικού περιβάλλοντος.

21^η Ιανουαρίου				
Time [hour]	T_{db} [° C]	Φ_{out} %	h_{out} [kJ/kg ξ.α]	Δh [kJ/kg ξ.α]
01:00	8,24	74,96	21,03	-17,51
02:00	7,83	74,22	20,14	-18,4
03:00	7,47	74,16	19,47	-19,07
04:00	7,22	74,78	19,11	-19,43
05:00	7,10	75,74	19,04	-19,5
06:00	7,13	76,53	19,22	-19,32
07:00	7,30	76,57	19,54	-19
08:00	7,66	75,43	20,03	-18,51
09:00	8,26	72,96	20,73	-17,81
10:00	9,12	69,35	21,69	-16,85
11:00	10,18	65,13	22,87	-15,67
12:00	11,27	61,05	24,08	-14,46
13:00	12,17	57,90	25,08	-13,46
14:00	12,68	56,32	25,67	-12,87
15:00	12,68	56,65	25,74	-12,8
16:00	12,19	58,85	25,33	-13,21
17:00	11,40	62,48	24,63	-13,91
18:00	10,54	66,83	23,89	-14,65
19:00	9,83	71,10	23,36	-15,18
20:00	9,36	74,57	23,11	-15,43
21:00	9,13	76,76	23,07	-15,47
22:00	9,00	77,55	22,95	-15,59

23:00	8,86	77,18	22,61	-15,93
00:00	8,60	76,12	21,92	-16,62

Πίνακας 10.2.6.5: Τιμές θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος, σχετικής υγρασίας κατά την 21^η Φεβρουαρίου καθώς και οι αντίστοιχες τιμές ενθαλπίας εξωτερικού περιβάλλοντος.

21^η Φεβρουαρίου				
Time [hour]	T_{db} [°C]	Φ_{out} %	h_{out} [kJ/kg ξ.α]	Δh [kJ/kg ξ.α]
01:00	9,41	68,03	21,98	-16,56
02:00	9,18	68,14	21,59	-16,95
03:00	8,95	68,71	21,26	-17,28
04:00	8,71	69,58	20,98	-17,56
05:00	8,52	70,36	20,77	-17,77
06:00	8,47	70,60	20,71	-17,83
07:00	8,65	69,88	20,91	-17,63
08:00	9,16	67,99	21,51	-17,03
09:00	10,02	64,96	22,54	-16
10:00	11,16	61,13	23,89	-14,65
11:00	12,42	57,07	25,36	-13,18
12:00	13,57	53,48	26,65	-11,89
13:00	14,38	50,99	27,54	-11
14:00	14,71	50,04	27,91	-10,63
15:00	14,54	50,79	27,79	-10,75
16:00	13,97	53,06	27,29	-11,25
17:00	13,15	56,36	26,56	-11,98
18:00	12,28	60,08	25,78	-12,76
19:00	11,50	63,56	25,06	-13,48
20:00	10,89	66,29	24,44	-14,1
21:00	10,43	68,00	23,91	-14,63
22:00	10,10	68,70	23,41	-15,13
23:00	9,84	68,67	22,92	-15,62
00:00	9,62	68,30	22,43	-16,11

Πίνακας 10.2.6.6: Τιμές θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος, σχετικής υγρασίας κατά την 21^η Μαρτίου καθώς και οι αντίστοιχες τιμές της ενθαλπίας εξωτερικού περιβάλλοντος.

21^η Μαρτίου				
Time [hour]	T_{db} [°C]	Φ_{out} %	h_{out} [kJ/kg ξ.α]	Δh [kJ/kg ξ.α]
01:00	10,614	71,36	24,94	-13,60
02:00	10,415	72,00	24,68	-13,86
03:00	10,199	72,42	24,34	-14,20
04:00	10,023	72,36	23,98	-14,56
05:00	9,960	71,56	23,7	-14,84
06:00	10,082	69,89	23,62	-14,92
07:00	10,438	67,39	23,81	-14,73
08:00	11,034	64,25	24,3	-14,24

09:00	11,823	60,85	25,08	-13,46
10:00	12,711	57,66	26,04	-12,50
11:00	13,569	55,14	27,06	-11,48
12:00	14,263	53,65	28	-10,54
13:00	14,686	53,38	28,74	-9,80
14:00	14,776	54,31	29,16	-9,38
15:00	14,540	56,22	29,2	-9,34
16:00	14,043	58,75	28,88	-9,66
17:00	13,390	61,47	28,26	-10,28
18:00	12,702	64,01	27,49	-11,05
19:00	12,082	66,12	26,74	-11,80
20:00	11,595	67,68	26,11	-12,43
21:00	11,257	68,74	25,67	-12,87
22:00	11,044	69,48	25,4	-13,14
23:00	10,901	70,07	25,25	-13,29
00:00	10,772	70,68	25,12	-13,42

Έχοντας λοιπόν υπολογίσει όλες τις συνιστώσες της Εξίσωσης 10.2.6.1 μπορούμε να υπολογίσουμε το ψυκτικό φορτίο λόγω ανανέωσης και διεξόδυσης αέρα για τις τυπικές μέρες των μηνών θέρμανσης που μελετάμε. Για λόγους καλύτερης εποπτείας οι τιμές στον Πίνακα 10.2.6.7 δίνονται σε [MJ/h].

Πίνακας 10.2.6.7: Ψυκτικό φορτίο λόγω ανανέωσης και διεξόδυσης αέρα για την 21^η ημέρα κάθε μήνα θέρμανσης.

Ψυκτικό φορτίο λόγω ανανέωσης και διεξόδυσης αέρα					
	21^η Νοεμβρίου	21^η Δεκεμβρίου	21^η Ιανουαρίου	21^η Φεβρουαρίου	21^η Μαρτίου
Time [hour]	Q_t [MJ/h]	Q_t [MJ/h]	Q_t [MJ/h]	Q_t [MJ/h]	Q_t [MJ/h]
01:00	-9,358	-11,621	-12,607	-11,923	-9,792
02:00	-9,106	-11,693	-13,248	-12,204	-9,979
03:00	-8,173	-11,729	-13,730	-12,442	-10,224
04:00	-7,897	-11,808	-13,990	-12,643	-10,483
05:00	-7,923	-11,945	-14,040	-12,794	-10,685
06:00	-8,230	-12,067	-13,910	-12,838	-10,742
07:00	-8,609	-12,067	-13,680	-12,694	-10,606
08:00	-8,811	-11,837	-13,327	-12,261	-10,253
09:00	-8,673	-11,354	-12,823	-11,520	-9,691
10:00	-8,201	-10,692	-12,132	-10,548	-9,000
11:00	-7,589	-9,994	-11,282	-9,490	-8,266

12:00	-7,092	-9,446	-10,411	-8,561	-7,589
13:00	-6,415	-9,173	-9,691	-7,920	-7,056
14:00	-7,164	-9,187	-9,266	-7,654	-6,754
15:00	-7,74	-9,396	-9,216	-7,740	-6,725
16:00	-8,489	-9,691	-9,511	-8,100	-6,955
17:00	-9,18	-9,979	-10,015	-8,626	-7,402
18:00	-9,727	-10,195	-10,548	-9,187	-7,956
19:00	-10,058	-10,346	-10,930	-9,706	-8,496
20:00	-10,231	-10,519	-11,120	-10,152	-8,950
21:00	-10,303	-10,728	-11,138	-10,534	-9,266
22:00	-10,289	-11,002	-11,225	-10,894	-9,461
23:00	-10,145	-11,275	-11,470	-11,246	-9,569
00:00	-9,842	-11,491	-11,966	-11,599	-9,662
Ημερήσιο [MJ/day]	-209,246	-259,236	-281,268	-241,675	-215,561

Παρατηρούμε από το ψυκτικό φορτίο λόγω ανανέωσης και διείδυσης αέρα, ότι:

- Οι μεγαλύτερες κατά απόλυτη τιμή απώλειες λόγω ανανέωσης και διείδυσης αέρα είναι το μήνα Δεκέμβριο ενώ οι μικρότερες είναι το μήνα Νοέμβριο. Αυτό συμβαίνει γιατί η διαφορά ενθαλπίας για τους μήνες αυτούς είναι η μέγιστη και ελάχιστη αντίστοιχα.

10.2.7 Συνολικό φορτίο κελύφους

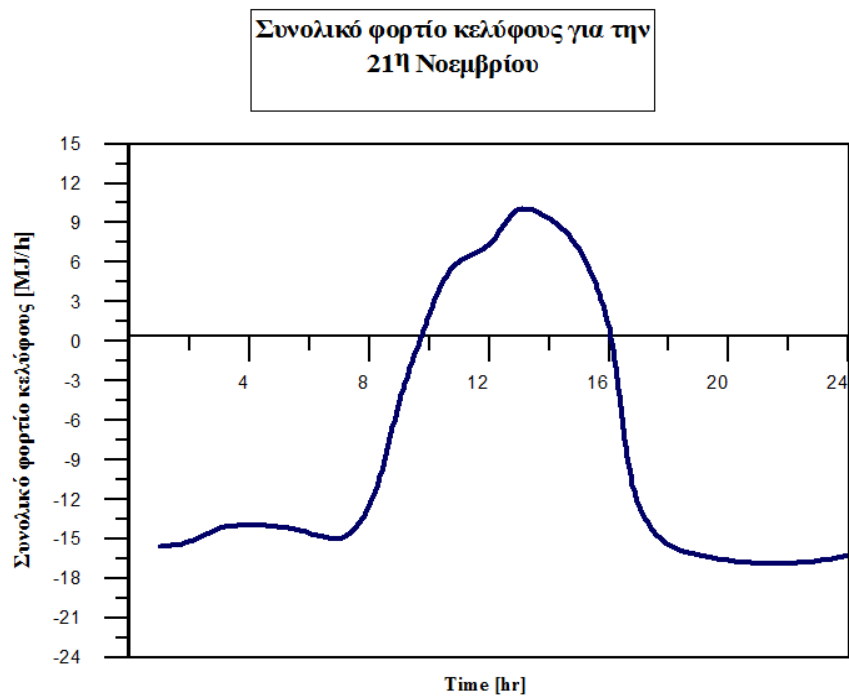
Για τον υπολογισμό του συνολικού φορτίου κελύφους προκειμένου να κρίνουμε τη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου αναφοράς τους μήνες θέρμανσης που μελετάμε δηλαδή για τον Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο προσθέτουμε αλγεβρικά τα ωριαία φορτία που υπολογίσαμε παραπάνω και βρίσκουμε το συνολικό φορτίο του κελύφους στη διάρκεια του 24ωρου της τυπικής μέρας που μελετάμε.

Έτσι, τελικά προκύπτει ο Πίνακας 10.2.7.1 με το συνολικό φορτίο του κελύφους για κάθε μήνα θέρμανσης και ανά μία ώρα, ενώ ακολουθεί η διαγραμματική απεικόνιση των αποτελεσμάτων (Διαγράμματα 10.2.7.1 - 10.2.7.5) και ο σχολιασμός των συμπερασμάτων.

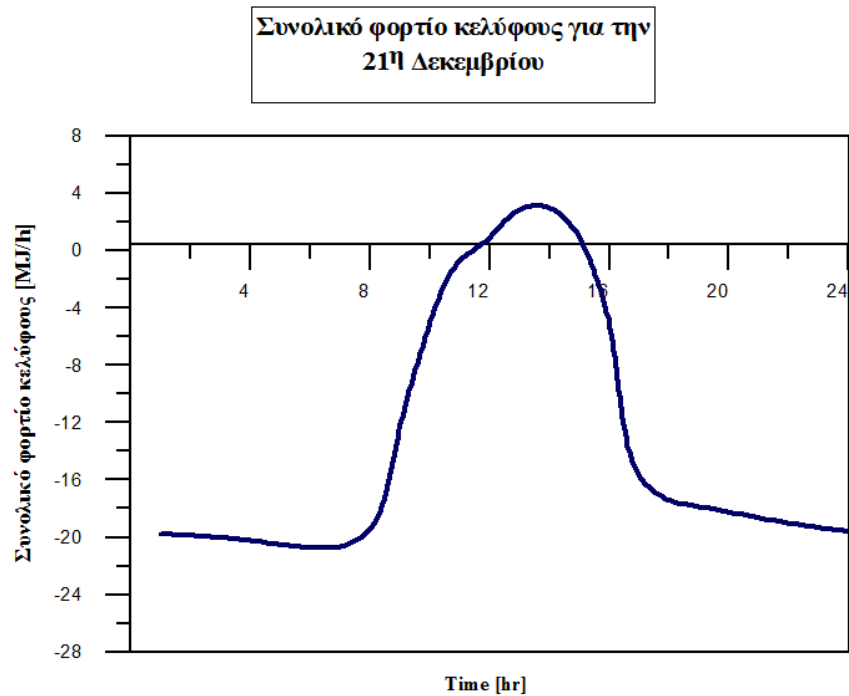
Πίνακας 10.2.7.1: Συνολικό φορτίο κελύφους, για κάθε ώρα κατά την 21^η ημέρα κάθε μήνα θέρμανσης στην περιοχή της Αθήνας.

Συνολικό φορτίο κελύφους					
Time [hour]	21^η Νοεμβρίου	21^η Δεκεμβρίου	21^η Ιανουαρίου	21^η Φεβρουαρίου	21^η Μαρτίου
	[MJ/h]	[MJ/h]	[MJ/h]	[MJ/h]	[MJ/h]
01:00	-15,552	-19,759	-20,947	-19,420	-16,432
02:00	-15,186	-19,886	-21,792	-19,849	-16,761
03:00	-14,199	-20,029	-22,547	-20,281	-17,194
04:00	-13,957	-20,235	-23,046	-20,717	-17,588
05:00	-14,109	-20,511	-23,254	-21,007	-17,809
06:00	-14,531	-20,72	-23,159	-21,067	-17,789
07:00	-14,965	-20,679	-22,795	-20,928	-14,251
08:00	-12,476	-19,427	-20,192	-13,262	-5,270
09:00	-4,616	-12,320	-12,738	-5,672	1,886
10:00	2,019	-5,076	-5,739	0,949	7,538
11:00	6,066	-0,747	-1,295	5,172	10,706
12:00	7,369	0,874	0,811	6,902	11,275
13:00	9,998	2,876	3,439	9,426	13,413
14:00	9,364	2,979	4,185	9,909	13,69
15:00	7,035	0,885	2,354	7,929	11,777
16:00	1,101	-5,074	-2,448	3,907	8,018
17:00	-12,452	-15,69	-14,786	-6,693	1,294
18:00	-15,454	-17,404	-17,170	-14,628	-11,450
19:00	-16,173	-17,864	-18,054	-15,749	-14,12
20:00	-16,644	-18,243	-18,619	-16,669	-14,925
21:00	-16,853	-18,643	-18,923	-17,393	-15,467
22:00	-16,866	-19,013	-19,129	-17,977	-15,808
23:00	-16,637	-19,329	-19,500	-18,489	-16,040
00:00	-16,221	-19,573	-20,115	-18,949	-16,214
Ημερήσιο [MJ/day]	-203,942	-322,612	-335,46	-244,557	-147,522

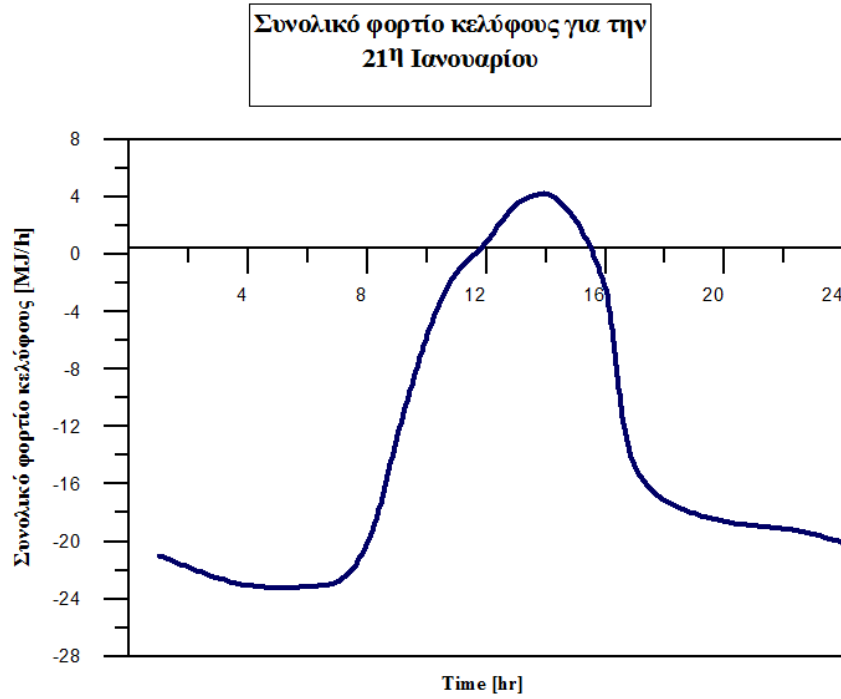
Η διαγραμματική απεικόνιση των αποτελεσμάτων έχει ως εξής:



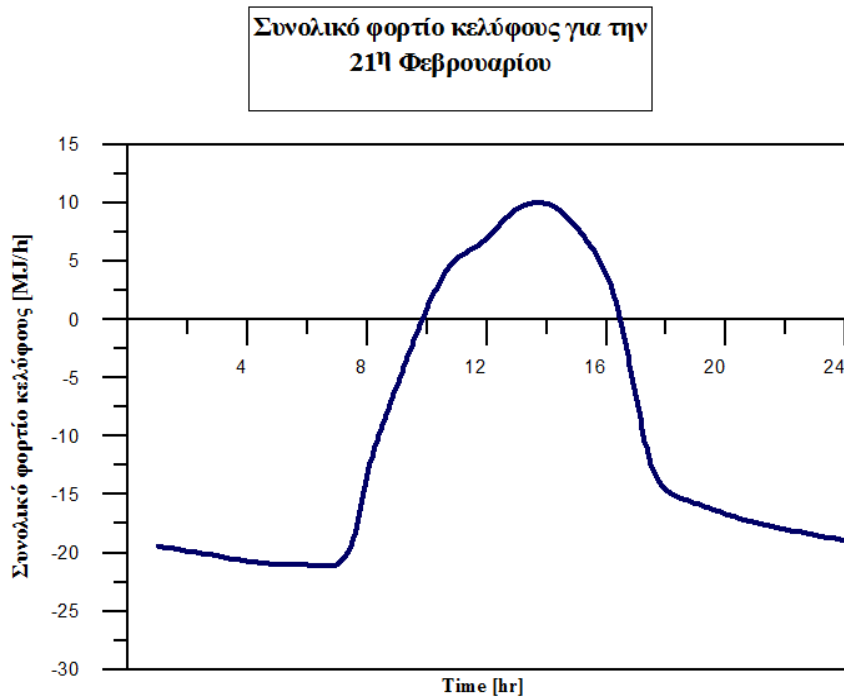
Διάγραμμα 10.2.7.1: Συνολικό φορτίο κελύφους την 21^η Νοεμβρίου.



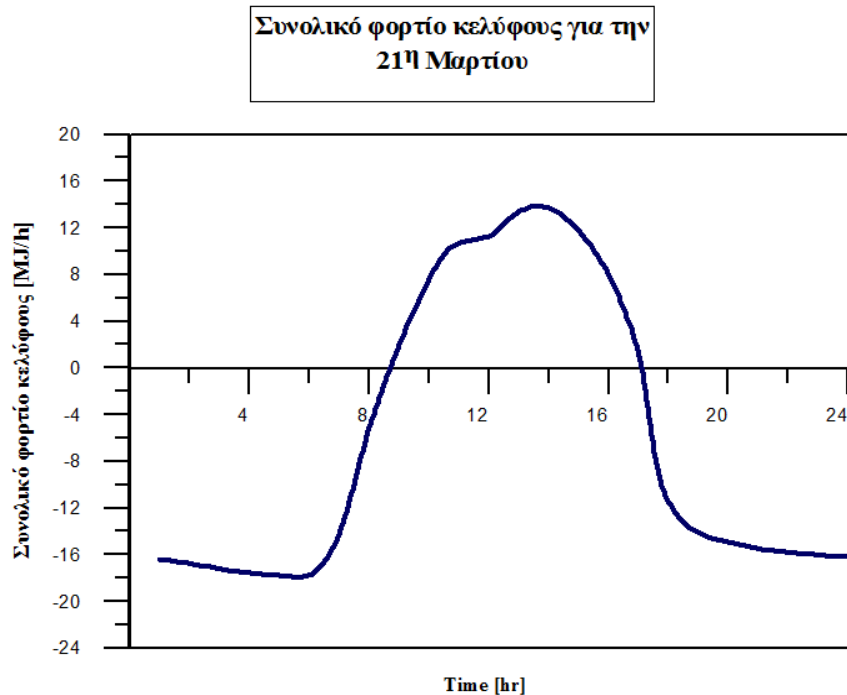
Διάγραμμα 10.2.7.2: Συνολικό φορτίο κελύφους την 21^η Δεκεμβρίου.



Διάγραμμα 10.2.7.3: Συνολικό φορτίο κελύφους την 21^η Ιανουαρίου.



Διάγραμμα 10.2.7.4: Συνολικό φορτίο κελύφους την 21^η Φεβρουαρίου.



Διάγραμμα 10.2.7.5: Συνολικό φορτίο κελύφους την 21^η Μαρτίου.

Από τον παραπάνω Πίνακα 10.2.7.1 και τη διαγραμματική απεικόνιση (Διαγράμματα 10.2.7.1 - 10.2.7.5) του συνολικού φορτίου της 21^{ης} ημέρας κάθε μήνα θέρμανσης παρατηρούνται τα εξής:

- Για τα χαρακτηριστικά της μόνωσης ($k_i = 0,038 \text{ W/mK}$ και $w_i = 0,05 \text{ m}$) και των υαλοπινάκων ($U_f = 3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $P_f = 20 \%$) που επιλέχθηκαν στο εν λόγω κτίριο αναφοράς προκύπτει ότι το συνολικό φορτίο κελύφους για τη 21^η ημέρα κάθε μήνα θέρμανσης είναι αρνητικό. Συνεπώς, αυτός ο συνδυασμός παραμέτρων κρίνεται ασύμφορος ενεργειακά καθώς σημειώνονται μεγάλες απώλειες.
- Μεγαλύτερες συνολικές ημερήσιες απώλειες παρουσιάζονται τον Ιανουάριο ενώ μικρότερες τον Μάρτιο. Αυτό οφείλεται στο ότι η διαφορά ανάμεσα στις συνολικές απώλειες δι' αγωγής μέσω τοίχων, οροφών και διείσδυσης αέρα και στο ηλιακό θερμικό κέρδος υαλοπινάκων είναι μέγιστη τον Ιανουάριο και ελάχιστη τον Μάρτιο.
- Για τις περισσότερες ώρες της μέρας οι απώλειες από τους υαλοπίνακες, τους τοίχους, την οροφή και τη διείσδυση αέρα υπερσχύουν του ηλιακού θερμικού κέρδους μέσω των υαλοπινάκων. Υπάρχει όμως ένα διάστημα από τις 9:00 έως τις 15:00 που προκύπτει θετικό φορτίο για κάποιες ώρες ανά μήνα. Συγκεκριμένα το Νοέμβριο το συνολικό φορτίο του κελύφους είναι θετικό από τις 10:00 έως τις

16:00, τον Δεκέμβριο από τις 12 :00 έως τις 14:00, τον Ιανουάριο από τις 12:00 έως τις 15:00, τον Φεβρουάριο από τις 10:00 έως τις 16:00 και τέλος το Μάρτιο από τις 9:00 έως τις 17:00.

Όπως έχουμε αναφέρει ήδη δεν είναι σωστό να βασιστούμε στις ωριαίες τιμές για εξαγωγή συμπερασμάτων, διότι έχουμε θεωρήσει το φαινόμενο ως μόνιμο και συνεπώς δεν έχουμε λάβει υπόψη στους υπολογισμούς τη χρονική υστέρηση των υλικών. Θεωρούμε δηλαδή ότι δεν παρέρχεται κανένα χρονικό διάστημα από τη στιγμή που η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στην εξωτερική επιφάνεια του κελύφους μέχρι την είσοδο της στο εσωτερικό του κελύφους και τη θέρμανση του αέρα του χώρου. Αυτό στην πραγματικότητα δε συμβαίνει, ωστόσο θεωρούμε ότι το σφάλμα μας μειώνεται εφόσον αυτές υπολογίζονται για ολόκληρο το 24ωρο καθώς κατά τη διάρκεια του 24ωρου ολόκληρη η θερμότητα που εισήλθε καταλήγει στον αέρα που υπάρχει στο εσωτερικό του κτιρίου.

Κεφάλαιο 11^ο

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΜΟΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

11.1 Εισαγωγή στην επίδραση του συνδυασμού των παραμέτρων μόνωσης και υαλοπινάκων στη κατανάλωση ενέργειας των κτιρίων

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

Όπως αναφέρθηκε στο βιβλιογραφικό μέρος της εργασίας, οι σημαντικότεροι κατασκευαστικοί παράγοντες που επιδρούν στο επίπεδο κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια είναι η μόνωση (με χαρακτηριστικά το πάχος και την ειδική θερμική αγωγιμότητα) και οι υαλοπίνακες (με χαρακτηριστικά το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, το ποσοστό επιφάνειας επί του κελύφους και τον προσανατολισμό). Αυτό συμβαίνει γιατί τα δύο αυτά δομικά στοιχεία παρουσιάζουν την μεγαλύτερη και την μικρότερη θερμική αντίσταση αντίστοιχα από τα υπόλοιπα στοιχεία του κελύφους.

Στις παραμέτρους όμως που καθορίζουν την ενεργειακή κατανάλωση ενός κτιρίου περιλαμβάνονται και οι συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος (θερμοκρασία και ηλιακή ακτινοβολία) και η επιθυμητή θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος.

Σκοπός λοιπόν του παρόντος κεφαλαίου είναι ο προσδιορισμός της επίδρασης του συνδυασμού των τεσσάρων αυτών παραμέτρων στην ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων για τους πέντε μήνες θέρμανσης και για θερμοκρασίες εσωτερικού περιβάλλοντος αρχικά 20 °C και στη συνέχεια 22 °C ενώ έπειτα εξετάζεται και η επίδραση του συνδυασμού των παραμέτρων αυτών σε κτίριο αναφοράς με ίδια χαρακτηριστικά αλλά με διαφορετική κατανομή υαλοπινάκων ανά προσανατολισμό.

Έτσι χρησιμοποιώντας τα ίδια στοιχεία για το κτίριο αναφοράς με το προηγούμενο κεφάλαιο έχουμε τις εξής τιμές για τα τέσσερα κύρια δομικά χαρακτηριστικά (Πίνακας 11.1.1):

Πίνακας 11.1.1: Βασικές παράμετροι για την μόνωση και τους υαλοπίνακες.

Παράμετροι μόνωσης	Παράμετροι υαλοπινάκων
$k = 0,038 \left[\frac{W}{mK} \right]$	$U_f = 3,5 \left[\frac{W}{m^2K} \right]$
$w = 0,05 \text{ m}$	$P_f = 20\%$

Ακόμη να σημειωθεί, ότι οι υαλοπίνακες αρχικά ισοκατανέμονται στους 4 προσανατολισμούς, αλλά στην Παράγραφο 11.4 για την μελέτη του ψευδοαδιαβατικού κελύφους διαμοιράζονται κατά 50% στον νότιο προσανατολισμό, 25% στο δυτικό, 25% στον ανατολικό και 0% στο βόρειο.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι καμπύλες της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης για τους μήνες Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο, οι οποίες αντιστοιχούν σε διαφορετικούς συνδυασμούς των τεσσάρων βασικών δομικών χαρακτηριστικών.

Οι συνδυασμοί αυτοί είναι:

- Καρτεσιανοί άξονες $w - P_f$, με $k=0,038 \text{ W/m K}$ και $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Καρτεσιανοί άξονες $w - U_f$, με $k=0,038 \text{ W/m K}$ και $P_f=20\%$
- Καρτεσιανοί άξονες $k - U_f$, με $w=0,05 \text{ m}$ και $P_f=20\%$
- Καρτεσιανοί άξονες $k - P_f$, με $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $w=0,05 \text{ m}$
- Καρτεσιανοί άξονες $k - w$, με $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $P_f=20\%$
- Καρτεσιανοί άξονες $U_f - P_f$, με $k=0,038 \text{ W/m K}$ και $w=0,05 \text{ m}$

Για κάθε έναν συνδυασμό από τους παραπάνω κρατάμε σταθερά δύο μεγέθη από τα τέσσερα συνολικά (πάχος μόνωσης, ποσοστό υαλοπινάκων, συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, συντελεστής θερμικής διαπερατότητας) ενώ τα άλλα δύο μεταβάλλονται στο εξής εύρος:

- πάχος μόνωσης: 1 έως 8 cm,
- ποσοστό υαλοπινάκων: 0 έως 40 %,
- συντελεστής ειδικής θερμικής αγωγιμότητας: 0,01 έως 0,05 W/mK,
- συντελεστής θερμικής διαπερατότητας: 1 έως 5 W/m²K.

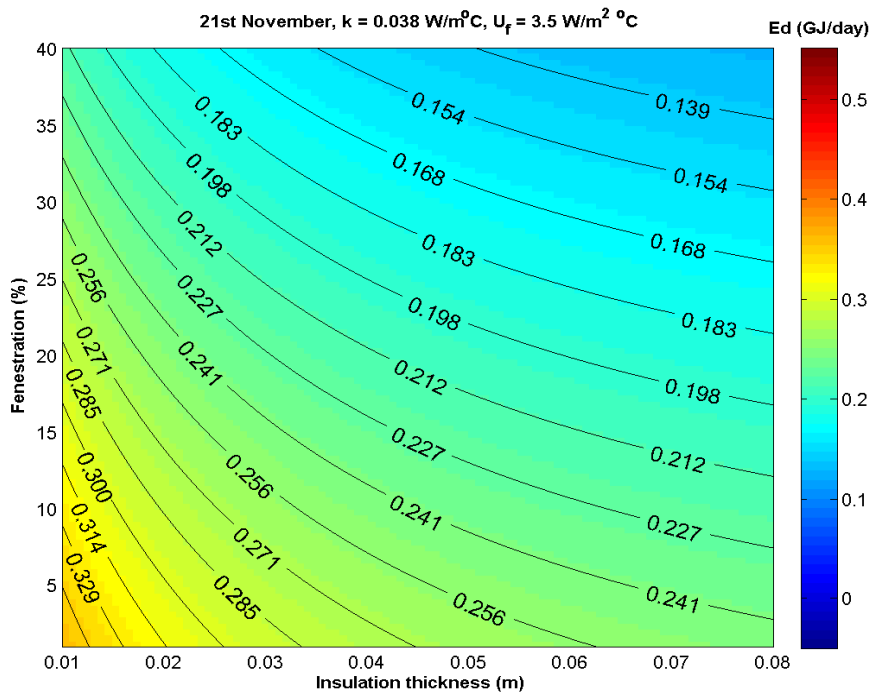
11.2 Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης για θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος $T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας για σταθερές τιμές των παραμέτρων k και U_f και θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος $T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$

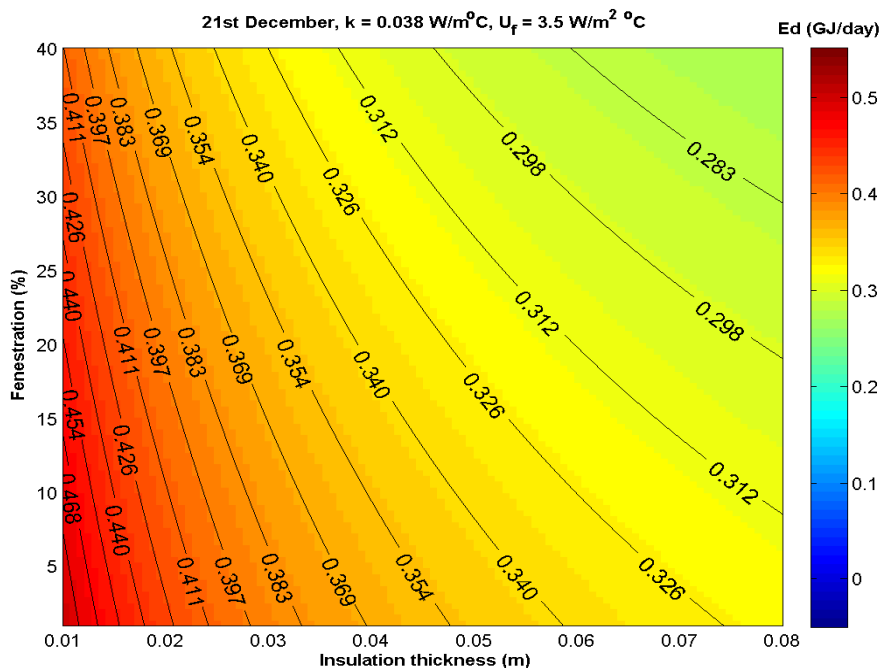
Στα διαγράμματα 11.2.1(A)-(E) που ακολουθούν παρουσιάζονται ορισμένες ενδεικτικές καμπύλες της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d , για αποκατάσταση σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας 20°C οι οποίες αντιστοιχούν σε πάχη μόνωσης και ποσοστά επιφάνειας υαλοπινάκων αναγραφόμενα στις κλίμακες αξόνων κάθε σχήματος ενώ διατηρούνται σταθερές οι τιμές των δύο άλλων παραμέτρων, δηλαδή της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης ($k=0,038\text{ W/mk}$) και του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων ($U_f=3,5\text{ W/m}^2\text{K}$). Οι υπολογισμοί αφορούν την 21^η ημέρα κάθε ενός από τους πέντε μήνες θέρμανσης Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο για τις τυπικές κλιματολογικές συνθήκες της Αθήνας.

Συγκεκριμένα, η μελέτη μας έγινε για πάχος μόνωσης μεταβαλλόμενο από 1 έως 8 cm και για ποσοστό επιφάνειας υαλοπινάκων επί του κελύφους (εξαιρουμένης της οροφής) μεταβαλλόμενο από 0 έως 40%. Ακόμη η συνολική επιφάνεια των υαλοπινάκων που προκύπτει κάθε φορά από το ποσοστό της επιφάνειας των υαλοπινάκων P_f επί του κελύφους (εξαιρουμένης της οροφής) θεωρήθηκε ότι ισοκατανέμεται σε κάθε μία από τις τέσσερις προσανατολισμένες επιφάνειες του κελύφους, δηλαδή η επιφάνεια των υαλοπινάκων σε μία όψη του κτιρίου ισούται με το 25% της συνολικής επιφάνειας των υαλοπινάκων.

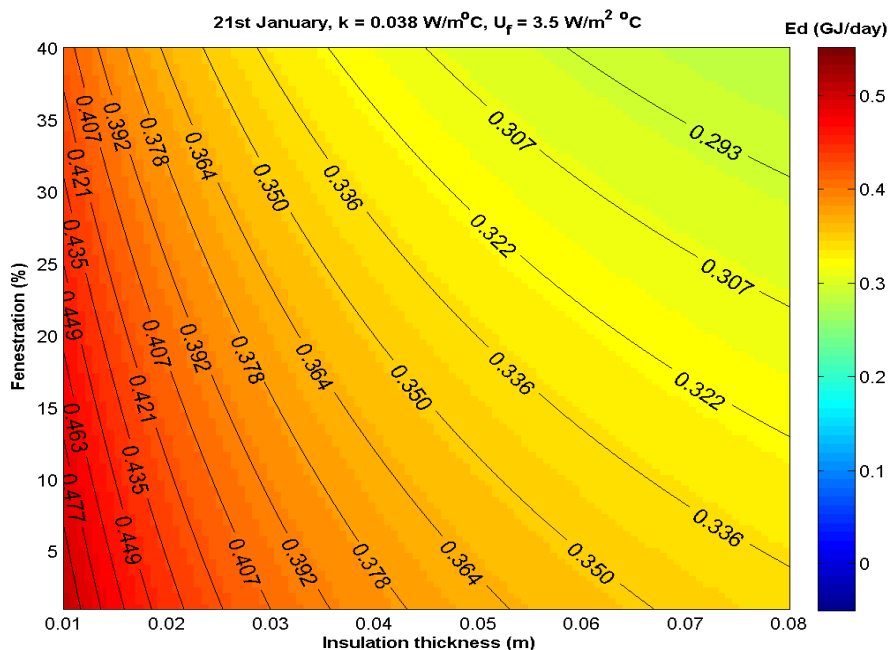
Η σημασία των διαγραμμάτων αυτών είναι μεγάλη σε πρακτικό επίπεδο καθώς δίνουν στο μελετητή τη δυνατότητα είτε υπολογισμού της ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης για συγκεκριμένα πάχη μόνωσης και ποσοστά υαλοπινάκων είτε τη μεταβολή της τιμής της για μεταβολές των τιμών των δύο αυτών παραμέτρων. Ακόμη μέσα από τα διαγράμματα αυτά με στόχο τη διατήρηση της τιμής της ενεργειακής κατανάλωσης μπορεί να εκτιμηθεί η απαιτούμενη μεταβολή του πάχους μόνωσης για συγκεκριμένη αλλαγή του ποσοστού υαλοπινάκων και το αντίστροφο.



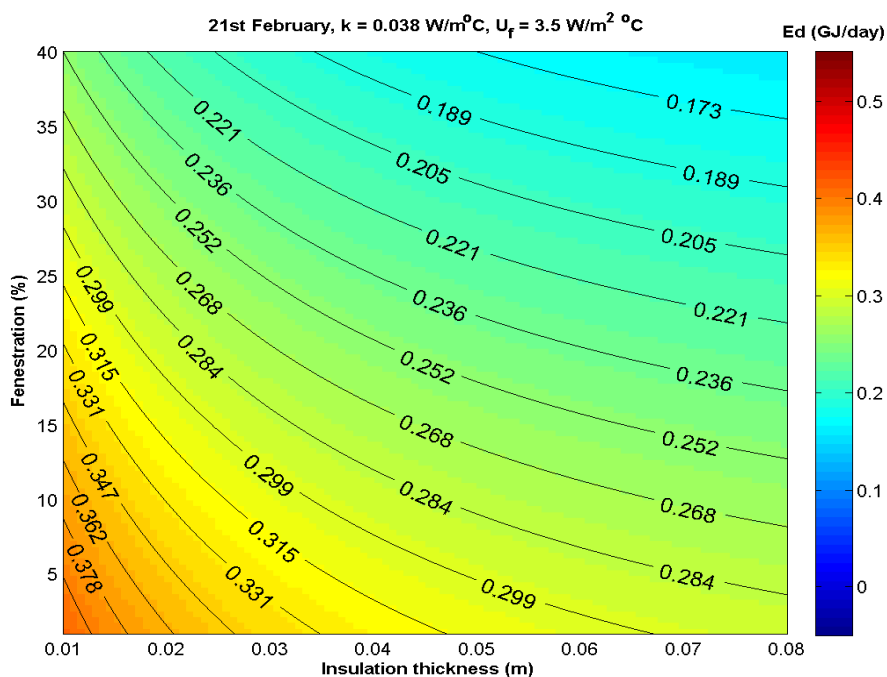
Διάγραμμα 11.2.1(A): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Νοεμβρίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $U_f=3,5\text{W/m}^2\text{K}$ και $k_i=0,038\text{W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



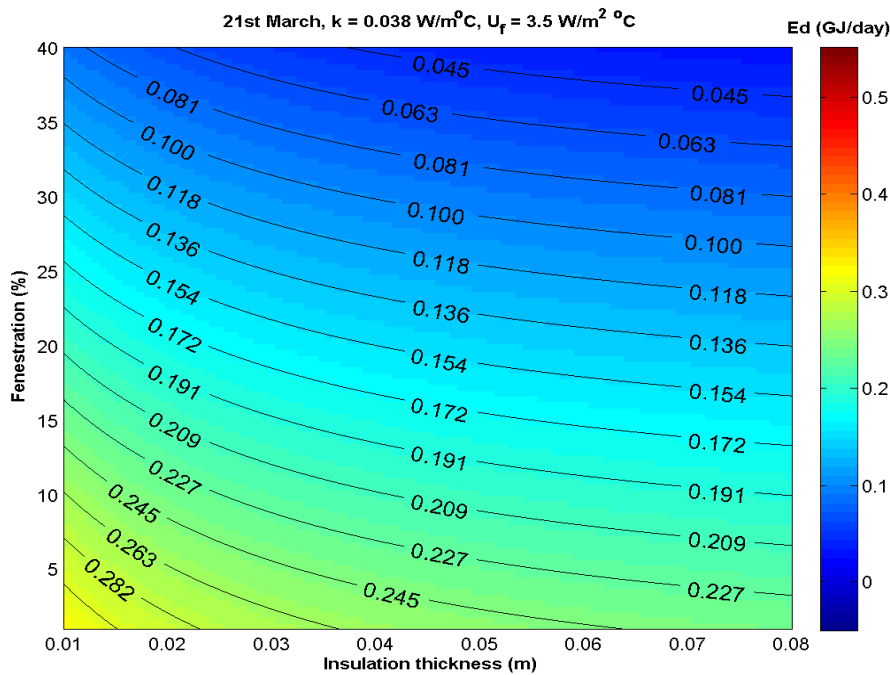
Διάγραμμα 11.2.1(B): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Δεκεμβρίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $U_f=3,5\text{W/m}^2\text{K}$ και $k_i=0,038 \text{ W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.2.1(Γ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Ιανουαρίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $U_f=3,5\text{W/m}^2\text{K}$ και $k_i=0,038\text{W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.2.1(Α): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Φεβρουαρίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $U_f=3,5\text{W/m}^2\text{K}$ και $k_i=0,038\text{W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.2.1(E): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Μαρτίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $U_f=3,5\text{W/m}^2\text{K}$ και $k_i=0,038\text{W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Συμπεράσματα:

Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να καταλήξουμε στα εξής συμπεράσματα αναφορικά με την επίδραση του πάχους μόνωσης και του ποσοστού υαλοπινάκων πάνω στην ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση για την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας στο εσωτερικό του κελύφους, διατηρώντας σταθερά τα U_f και k και μεταβάλλοντας τις τιμές του πάχους μόνωσης και του ποσοστού υαλοπινάκων:

- Έχοντας ως δεδομένα τις τιμές των παραμέτρων της μόνωσης και των υαλοπινάκων μπορεί να εκτιμηθεί η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης.
- Στα παραπάνω διαγράμματα διαφαίνεται ότι η ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση θέρμανσης ακολουθεί την εξής φθίνουσα σειρά όσον αφορά τους μήνες θέρμανσης: Ιανουάριος, Δεκέμβριος, Φεβρουάριος, Νοέμβριος και τέλος Μάρτιος.
- Στα διαγράμματα 11.2.1(A)-(E) παρατηρούμε ότι για σταθερό πάχος μόνωσης αυξάνοντας το ποσοστό της επιφάνειας των υαλοπινάκων στο κέλυφος η

ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση μειώνεται. Αυτό έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς αύξηση του ποσοστού υαλοπινάκων συνεπάγεται από τη μία αύξηση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και συνεπώς του ηλιακού θερμικού κέρδους από την άλλη όμως αυξάνονται και οι απώλειες δι' αγωγής μέσω των υαλοπινάκων. Απ' ότι φαίνεται όμως η αύξηση του ηλιακού θερμικού κέρδους υπερσχύει της αύξησης των απωλειών και γι' αυτό προκύπτει μείωση της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας.

- Ακόμη προκύπτει ότι για σταθερό ποσοστό υαλοπινάκων αυξανόμενου του πάχους μόνωσης προκύπτει μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας για θέρμανση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αύξηση του πάχους της μόνωσης προκαλεί μείωση των απωλειών δι' αγωγής λόγω διαφοράς θερμοκρασίας διαμέσου των τοίχων και της οροφής.
- Προκειμένου η τιμή της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας, E_d , να διατηρηθεί σταθερή, η αύξηση ή μείωση του ποσοστού υαλοπινάκων P_f απαιτεί μείωση ή αύξηση του πάχους μόνωσης w αντίστοιχα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μείωση του P_f συνεπάγεται μείωση του ηλιακού θερμικού κέρδους και επομένως αύξηση της τιμής της E_d . Η διαφορά αυτή εκμηδενίζεται με αύξηση του πάχους μόνωσης η οποία προκαλεί μείωση των απωλειών θερμότητας δι' αγωγής διαμέσου τοίχων και οροφής και κατ' επέκταση της κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης. Αντίστοιχα για αύξηση ή μείωση του πάχους μόνωσης με ταυτόχρονη διατήρηση της τιμής της E_d απαιτείται μείωση ή αύξηση του ποσοστού P_f για τους λόγους που εξηγήσαμε.
- Θεωρώντας μια συγκεκριμένη τιμή του πάχους μόνωσης w και αυξάνοντας κατά μια σταθερή τιμή κάθε φορά το ποσοστό υαλοπινάκων P_f παρατηρούμε σταθερή μείωση της κατανάλωσης ενέργειας E_d . Αντίστοιχα για να επιτευχθεί μια σταθερή μείωση της E_d έχοντας συγκεκριμένο πάχος μόνωσης απαιτείται κάθε φορά σταθερή και ίδια αύξηση του ποσοστού υαλοπινάκων P_f . Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τόσο το ηλιακό θερμικό κέρδος των υαλοπινάκων όσο και οι απώλειες δι' αγωγής διαμέσου αυτών αλλά και οι συνολικές απώλειες διαμέσου των τοίχων είναι ανάλογες με την επιφάνεια που καταλαμβάνουν τα αντίστοιχα δομικά στοιχεία, η οποία καθορίζεται από το ποσοστό των υαλοπινάκων στο κέλυφος.
- Ακόμη παρατηρούμε και πάλι διατηρώντας σταθερή την τιμή του πάχους της μόνωσης ότι σταθερή αύξηση του ποσοστού υαλοπινάκων προκαλεί μεγαλύτερη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας τον Μάρτιο στη συνέχεια τον Φεβρουάριο, τον Νοέμβριο, τον Ιανουάριο και τέλος τον Δεκέμβριο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αυξάνοντας το ποσοστό της επιφάνειας των υαλοπινάκων τους μήνες που η προσπίπτουσα ακτινοβολία είναι υψηλή έχει ως

αποτέλεσμα να αυξάνεται περισσότερο το ηλιακό θερμικό κέρδος και κατά συνέπεια να μειώνεται περισσότερο η ενέργεια θέρμανσης.

- Για μία συγκεκριμένη τιμή του ποσοστού υαλοπινάκων P_f παρατηρούμε ότι σταθερή αύξηση του πάχους της μόνωσης δεν προκαλεί σταθερή μείωση στις τιμές των καμπυλών ημερήσιας κατανάλωσης. Αντίθετα βλέπουμε ότι η διαφορά της ενεργειακής κατανάλωσης που επέρχεται με αύξηση του w μειώνεται όσο κινούμαστε σε μεγαλύτερες τιμές του πάχους, απαιτείται δηλαδή μεγαλύτερη αύξηση του όσο κινούμαστε δεξιότερα στον οριζόντιο άξονα για να διατηρηθεί σταθερή η μείωση του E_d . Αυτό οφείλεται κατά ένα μέρος στο γεγονός ότι αύξηση του πάχους της μόνωσης προκαλεί από τη μία μείωση των απωλειών δι' αγωγής λόγω διαφοράς θερμοκρασίας διαμέσου των τοίχων, παράλληλα όμως προκαλεί και μείωση της δι' αγωγής εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας μέσω αυτών. Ωστόσο, κατά κύριο λόγο, το φαινόμενο οφείλεται στο γεγονός ότι η ίδια αύξηση του πάχους της μόνωσης μεταξύ υψηλότερων τιμών αυτού σημαίνει μικρότερο ποσοστό αύξησης του και συνεπώς μικρότερη μείωση των απωλειών δι' αγωγής διαμέσου των τοίχων και της οροφής, σε σχέση με την ίδια αύξηση του w μεταξύ χαμηλότερων τιμών αυτού το οποίο σημαίνει μεγαλύτερο ποσοστό αύξησης του και επομένως μεγαλύτερη μείωση των απωλειών δι' αγωγής διαμέσου των τοίχων και της οροφής.
- Όμοια με παραπάνω για σταθερή τιμή του P_f και σταθερή μεταβολή του πάχους της μόνωσης παρατηρείται μεγαλύτερη πτώση της ενεργειακής κατανάλωσης το Δεκέμβριο και στη συνέχεια τον Ιανουάριο, το Φεβρουάριο, το Νοέμβριο και τέλος το Μάρτιο. Αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς αυξάνοντας το πάχος της μόνωσης μειώνονται οι απώλειες δι' αγωγής οι οποίες εξαρτώνται από τη διαφορά μεταξύ της ισοδύναμης θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος και της θερμοκρασίας εσωτερικού περιβάλλοντος. Η διαφορά αυτή είναι μεγαλύτερη το Δεκέμβριο και μικρότερη το Μάρτιο, γι' αυτό το λόγο η μείωση της συνολικής κατανάλωσης είναι η μεγαλύτερη και η μικρότερη αντίστοιχα τους μήνες αυτούς.

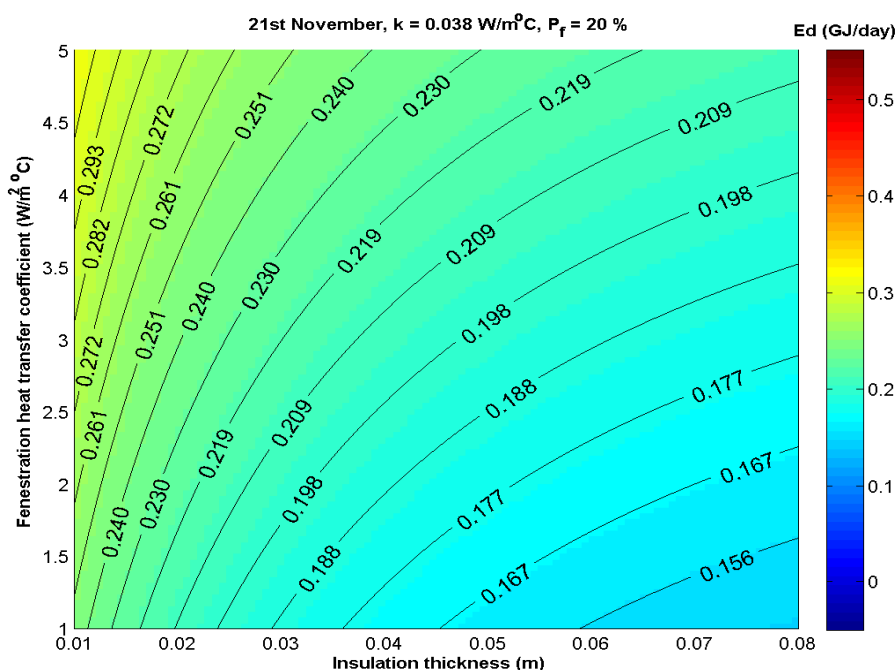
Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας για σταθερές τιμές των παραμέτρων k και P_f και θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος $T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Στα διαγράμματα 11.2.2(A)-(E) που ακολουθούν παρουσιάζονται ορισμένες ενδεικτικές καμπύλες της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης για αποκατάσταση σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ οι οποίες αντιστοιχούν σε πάχη μόνωσης και τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των υαλοπινάκων αναγραφόμενα στις κλίμακες αξόνων κάθε σχήματος ενώ διατηρούνται σταθερές οι

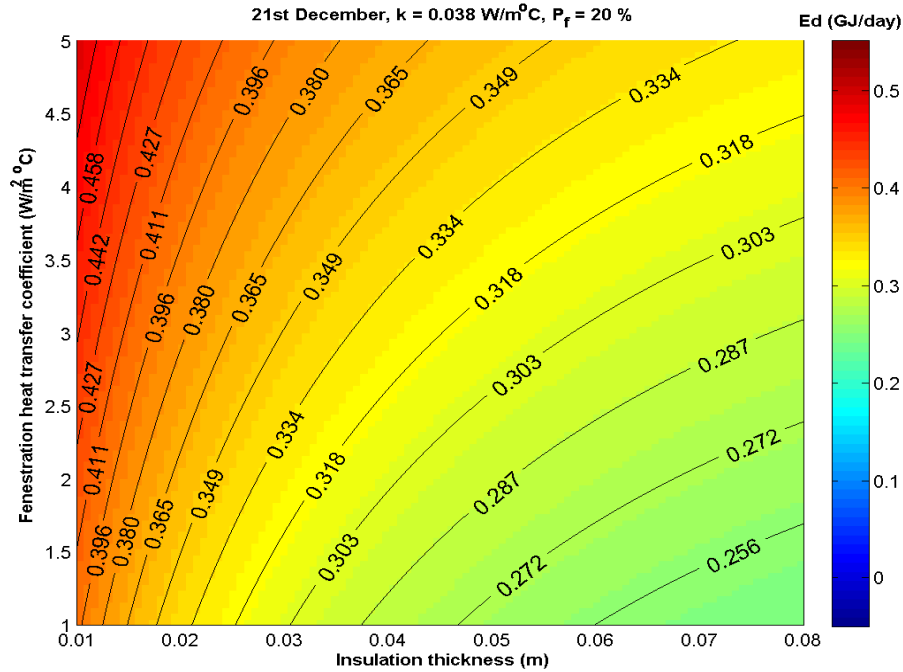
τιμές των δύο άλλων παραμέτρων, δηλαδή της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης ($k=0,038 \text{ W/Mk}$) και ποσοστού υαλοπινάκων ($P_f=20\%$).

Συγκεκριμένα, η μελέτη μας έγινε για πάχος μόνωσης μεταβαλλόμενο από 1 έως 8 cm και για συντελεστή θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων από 1 έως 5 $\text{W/m}^2\text{K}$ και οι υπολογισμοί αφορούν και πάλι την 21^η ημέρα κάθε ενός από τους πέντε μήνες θέρμανσης Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο για τις τυπικές κλιματολογικές συνθήκες της Αθήνας.

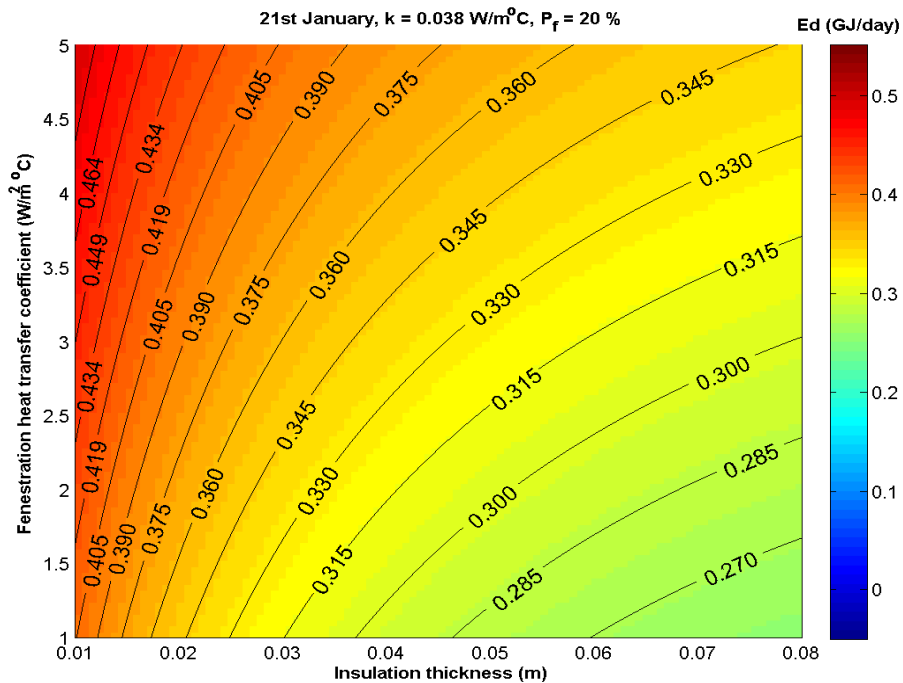
Η σημασία των διαγραμμάτων αυτών είναι επίσης μεγάλη σε πρακτικό επίπεδο καθώς δίνουν στο μελετητή τη δυνατότητα υπολογισμού είτε της ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης για συγκεκριμένο συντελεστή θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων και πάχος μόνωσης είτε τη μεταβολή της τιμής της για μεταβολές των τιμών των δύο αυτών παραμέτρων. Ακόμη μέσα από τα διαγράμματα αυτά με στόχο τη διατήρηση της τιμής της ενεργειακής κατανάλωσης μπορεί να εκτιμηθεί η απαιτούμενη μεταβολή του συντελεστή θερμοπερατότητας υαλοπινάκων για συγκεκριμένη αλλαγή του πάχους μόνωσης και το αντίστροφο.



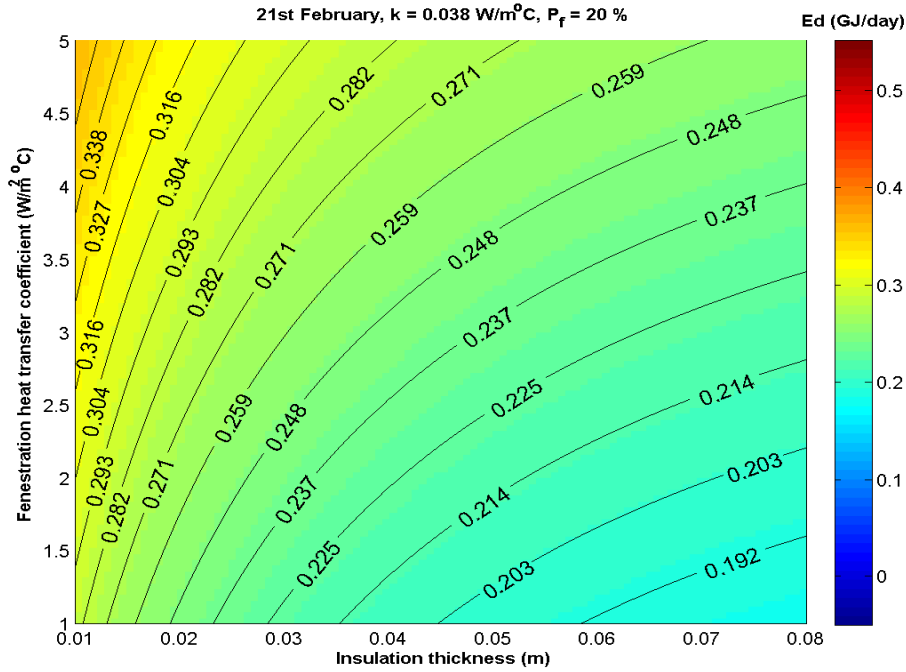
Διάγραμμα 11.2.2(A): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Νοεμβρίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W/m}^2\text{K}$) και σταθερά $P_f=20\%$ και $k=0,038\text{W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20\text{ }^\circ\text{C}$.



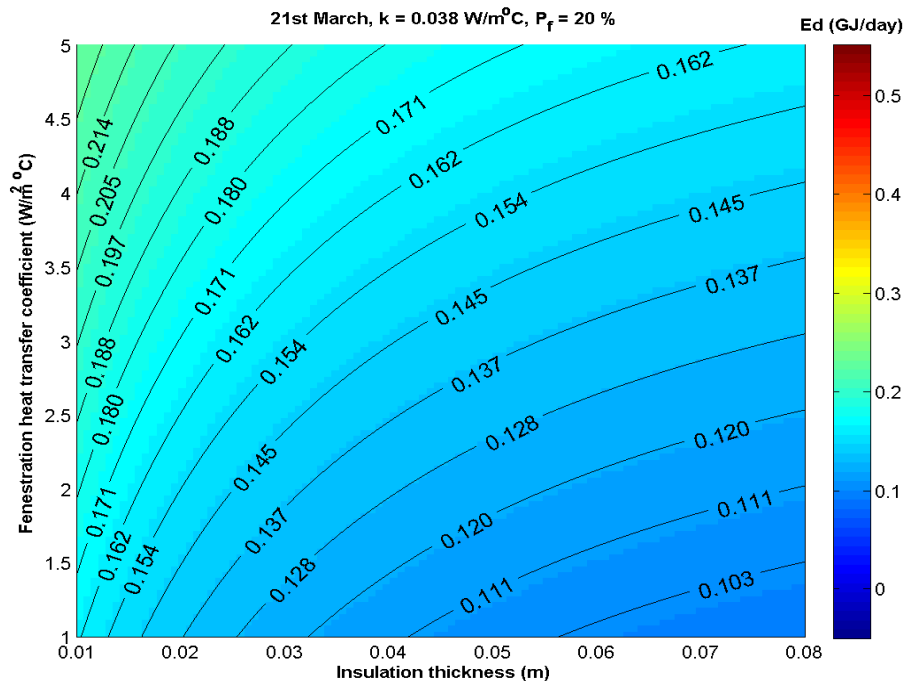
Διάγραμμα 11.2.2(B): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Δεκεμβρίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W/m}^2\text{K}$) και σταθερά $P_f=20\%$ και $k=0,038\text{W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.2.2(Γ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Ιανουαρίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W/m}^2\text{K}$) και σταθερά $P_f=20\%$ και $k=0,038\text{W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.2.2(Δ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Φεβρουαρίου για πάχη μόνωσης w_i (m), συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W/m}^2\text{K}$) και σταθερά $P_f=20\%$ και $k=0,038\text{W/m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.2.2(Ε): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Μαρτίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W/m}^2\text{K}$) και σταθερά $P_f=20\%$ και $k=0,038\text{W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Συμπεράσματα:

Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να καταλήξουμε στα εξής συμπεράσματα αναφορικά με την επίδραση του πάχους μόνωσης και συντελεστή θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων πάνω στην ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση για την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας στο εσωτερικό του κελύφους, διατηρώντας σταθερά τα P_f και k και μεταβάλλοντας τις τιμές του πάχους μόνωσης και του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων:

- Έχοντας ως δεδομένα τις τιμές των παραμέτρων της μόνωσης και των υαλοπινάκων μπορεί να εκτιμηθεί η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης.
- Σε όλα τα διαγράμματα διαφαίνεται και πάλι ότι η ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση ακολουθεί με φθίνοντα τρόπο την εξής σειρά όσον αφορά τους μήνες θέρμανσης: Ιανουάριος, Δεκέμβριος, Φεβρουάριος, Νοέμβριος και τέλος Μάρτιος.
- Από τα διαγράμματα 11.2.2(A)–(E) γίνεται φανερό ότι αυξάνοντας το συντελεστή θερμικής διαπερατότητας και διατηρώντας το πάχος της μόνωσης σταθερό αυξάνεται η ενεργειακή κατανάλωση καθώς αυξάνονται οι απώλειες δι' αγωγής των υαλοπινάκων. Ανάλογα μείωση του συντελεστή U_f υπό σταθερό πάχος μόνωσης προκαλεί μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας για θέρμανση.
- Παρατηρούμε επίσης ότι για σταθερό συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U_f και αυξάνοντας το πάχος της μόνωσης μειώνεται η ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση καθώς προκαλείται μείωση των απωλειών δι' αγωγής λόγω διαφοράς θερμοκρασίας διαμέσου των τοίχων και της οροφής. Μείωση του πάχους μόνωσης με σταθερό το συντελεστή θερμικής διαπερατότητας αυξάνει τις απώλειες δι' αγωγής και συνεπώς και την απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας.
- Προκειμένου η τιμή της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας, E_d να διατηρηθεί σταθερή για αύξηση ή μείωση του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας απαιτείται αύξηση ή μείωση του πάχους μόνωσης w αντίστοιχα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αύξηση του U_f συνεπάγεται αύξηση των απωλειών δι' αγωγής των υαλοπινάκων και επομένως αύξηση της τιμής της E_d . Η διαφορά αυτή εκμηδενίζεται με αύξηση του πάχους μόνωσης η οποία προκαλεί μείωση των απωλειών θερμότητας δι' αγωγής διαμέσου τοίχων και οροφής και κατ' επέκταση της κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης. Αντίστοιχα αύξηση ή μείωση του πάχους μόνωσης προϋποθέτει αύξηση ή μείωση της τιμής του U_f αντίστοιχα προκειμένου να διατηρηθεί η κατανάλωση ενέργειας στο ίδιο επίπεδο.

- Θεωρώντας μια συγκεκριμένη τιμή του πάχους μόνωσης w και αυξάνοντας κατά μια σταθερή τιμή κάθε φορά το συντελεστή θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων παρατηρούμε σταθερή αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας E_d . Αντίστοιχα για να επιτευχθεί μια σταθερή αύξηση της E_d έχοντας συγκεκριμένο πάχος μόνωσης απαιτείται κάθε φορά σταθερή και ίδια μείωση του συντελεστή U_f . Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι διατηρώντας σταθερά τα μεγέθη k , P_f και w και μεταβάλλοντας το U_f το μόνο φορτίο που αλλάζει είναι το φορτίο υαλοπινάκων δι' αγωγής η τιμή του οποίου είναι ανάλογη με την τιμή του U_f .
- Παρατηρούμε ακόμη ότι αυξάνοντας το συντελεστή θερμικής διαπερατότητας κατά ένα σταθερό ποσό και υπό σταθερό πάχος μόνωσης η ενεργειακή κατανάλωση αυξάνεται πιο πολύ τον μήνα Δεκέμβριο στη συνέχεια τον Ιανουάριο, το Φεβρουάριο, τον Μάρτιο και τέλος τον Νοέμβριο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι απώλειες δι' αγωγής υαλοπινάκων είναι ανάλογες της διαφοράς θερμοκρασίας εσωτερικού – εξωτερικού περιβάλλοντος, η οποία είναι μέγιστη το Δεκέμβριο και ελάχιστη το Νοέμβριο και επομένως ίδια αύξηση του συντελεστή U_f συνεπάγεται μεγαλύτερη αύξηση της καταναλισκόμενης ενέργειας τους μήνες που η διαφορά θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερη.
- Για μία συγκεκριμένη τιμή του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων παρατηρούμε όπως και στα διαγράμματα 11.2.1(A)-(E) ότι σταθερή αύξηση του πάχους της μόνωσης δεν προκαλεί σταθερή μείωση στις τιμές των καμπυλών ημερήσιας κατανάλωσης. Αντίθετα βλέπουμε ότι για να μετακινηθούμε από μία καμπύλη ενεργειακής κατανάλωσης στην αμέσως επόμενη, μικρότερης τιμής και με ίδια διαφορά ΔE_d κάθε φορά, απαιτείται μεγαλύτερη αύξηση του πάχους της μόνωσης όσο δεξιότερα στον οριζόντιο άξονα βρισκόμαστε, όσο δηλαδή κινούμαστε σε μεγαλύτερες τιμές πάχους μόνωσης. Αυτό οφείλεται κατά ένα μέρος στο γεγονός ότι αύξηση του πάχους της μόνωσης προκαλεί από τη μία μείωση των απωλειών δι' αγωγής λόγω διαφοράς θερμοκρασίας διαμέσου των τοίχων, παράλληλα όμως προκαλεί και μείωση της δι' αγωγής εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας μέσω αυτών. Ωστόσο, κατά κύριο λόγο, το φαινόμενο οφείλεται στο γεγονός ότι η ίδια ποσοτική αύξηση του πάχους της μόνωσης μεταξύ υψηλότερων τιμών αυτού σημαίνει μικρότερο ποσοστό αύξησης του και συνεπώς μικρότερη μείωση των απωλειών δι' αγωγής διαμέσου των τοίχων και της οροφής, σε σχέση με την ίδια αύξηση του w μεταξύ χαμηλότερων τιμών αυτού το οποίο σημαίνει μεγαλύτερο ποσοστό αύξησης του και επομένως μεγαλύτερη μείωση των απωλειών δι' αγωγής διαμέσου των τοίχων και της οροφής.
- Και πάλι παρατηρούμε ότι υπό σταθερό U_f και αυξάνοντας το πάχος μόνωσης w η μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας είναι μεγαλύτερη τον Δεκέμβριο

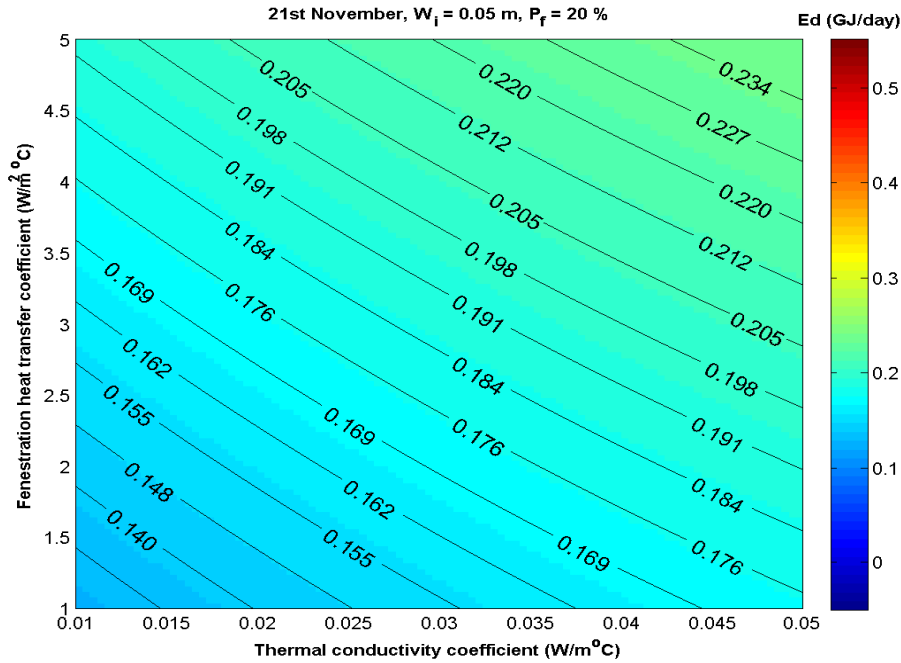
και στη συνέχεια τον Ιανουάριο, το Φεβρουάριο, τον Νοέμβριο και τέλος τον Μάρτιο. Αυτό όπως εξηγήσαμε και παραπάνω οφείλεται στο γεγονός ότι καθώς αυξάνεται το πάχος της μόνωσης κατά ένα σταθερό ποσό μειώνονται οι απώλειες δι' αγωγής που εξαρτώνται από τη διαφορά της ισοδύναμης θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος και της θερμοκρασίας εσωτερικού περιβάλλοντος. Η διαφορά αυτή είναι μεγαλύτερη τον Δεκέμβριο και μικρότερη τον Μάρτιο, γι' αυτό το λόγο και η μείωση της συνολικής κατανάλωσης είναι αντίστοιχα η μεγαλύτερη και η μικρότερη τους μήνες αυτούς.

Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας για σταθερές τιμές των παραμέτρων w και P_f και θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος $T_{in}=20$ °C

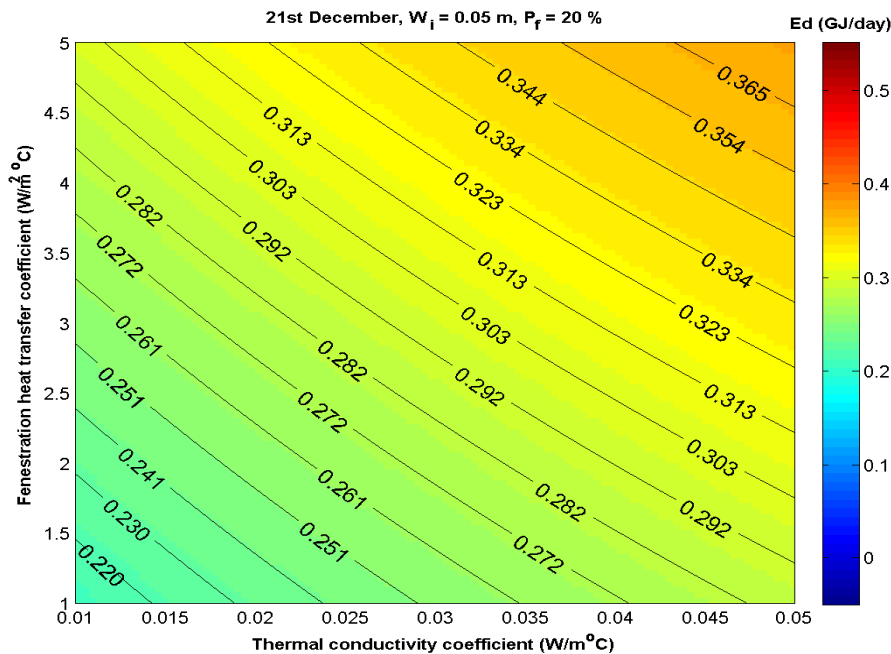
Στα διαγράμματα 11.2.3(A)-(E) που ακολουθούν παρουσιάζονται ορισμένες ενδεικτικές καμπύλες της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης για αποκατάσταση σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας 20 °C, οι οποίες αντιστοιχούν σε τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των υαλοπινάκων και της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης αναγραφόμενα στις κλίμακες αξόνων κάθε σχήματος ενώ διατηρούνται σταθερές οι τιμές των δύο άλλων παραμέτρων, δηλαδή του πάχους της μόνωσης ($w=0,05$ m) και του ποσοστού υαλοπινάκων ($P_f=20\%$).

Συγκεκριμένα, η μελέτη μας έγινε για συντελεστή θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων με τιμές από 1 έως 5 W/m²K και για ειδική θερμική αγωγιμότητα που κυμαίνεται από 0,01 έως 0,05 W/mK και οι υπολογισμοί αφορούν και πάλι την 21^η ημέρα κάθε ενός από τους πέντε μήνες θέρμανσης Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο για τις τυπικές κλιματολογικές συνθήκες της Αθήνας.

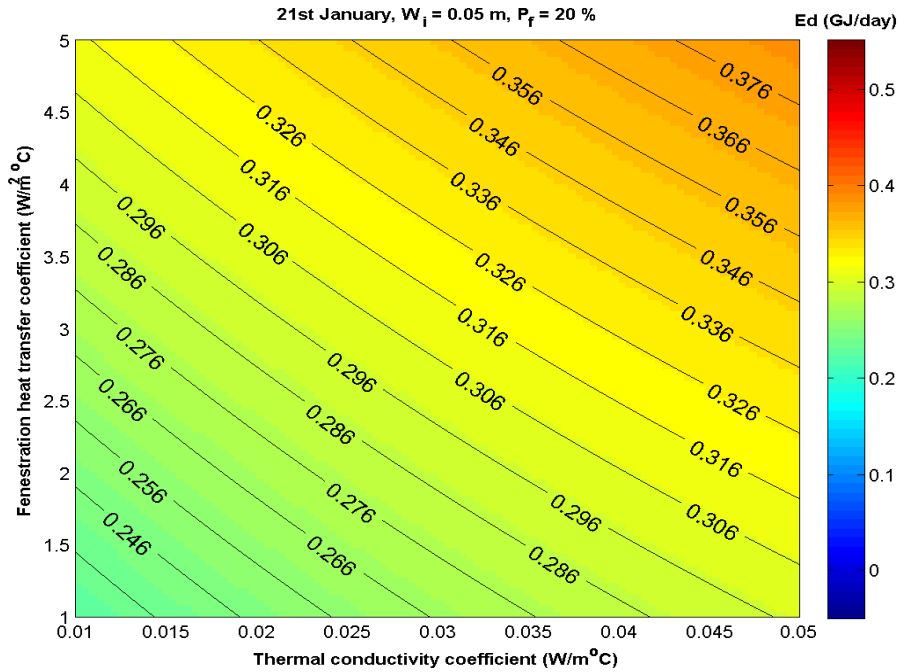
Η σημασία των διαγραμμάτων αυτών και πάλι είναι μεγάλη σε πρακτικό επίπεδο καθώς δίνουν στο μελετητή τη δυνατότητα είτε υπολογισμού της ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης για συγκεκριμένους συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης και θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων είτε τη μεταβολή της τιμής της για μεταβολές των τιμών των δύο αυτών παραμέτρων. Ακόμη μέσα από τα διαγράμματα αυτά με στόχο τη διατήρηση της τιμής της ενεργειακής κατανάλωσης μπορεί να εκτιμηθεί η απαιτούμενη μεταβολή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης για συγκεκριμένη αλλαγή του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων και το αντίστροφο.



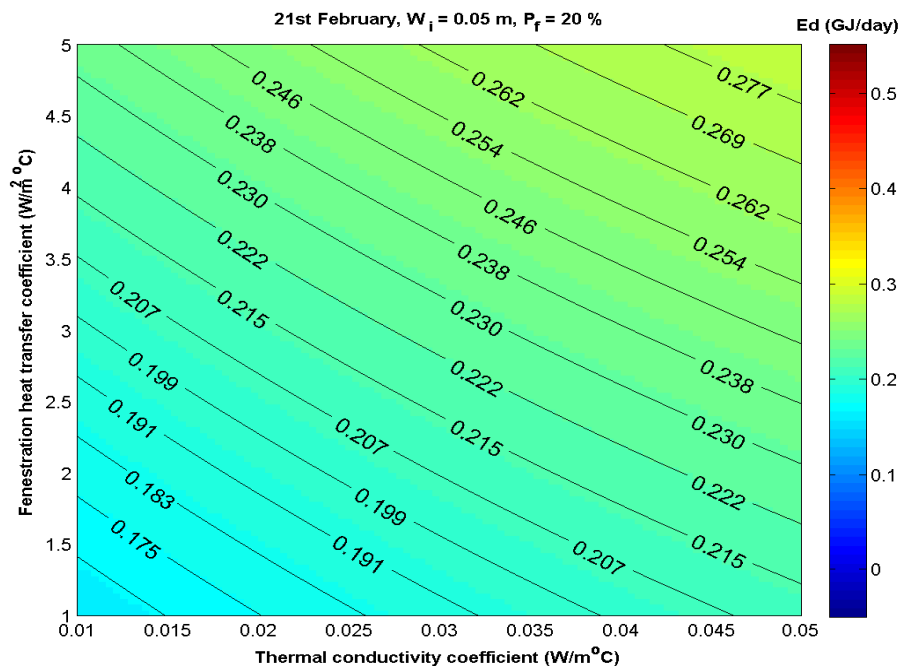
Διάγραμμα 11.2.3(A): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Νοεμβρίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f (W/m^2K), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $P_f=20\%$ και $w=0,05m$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ C$.



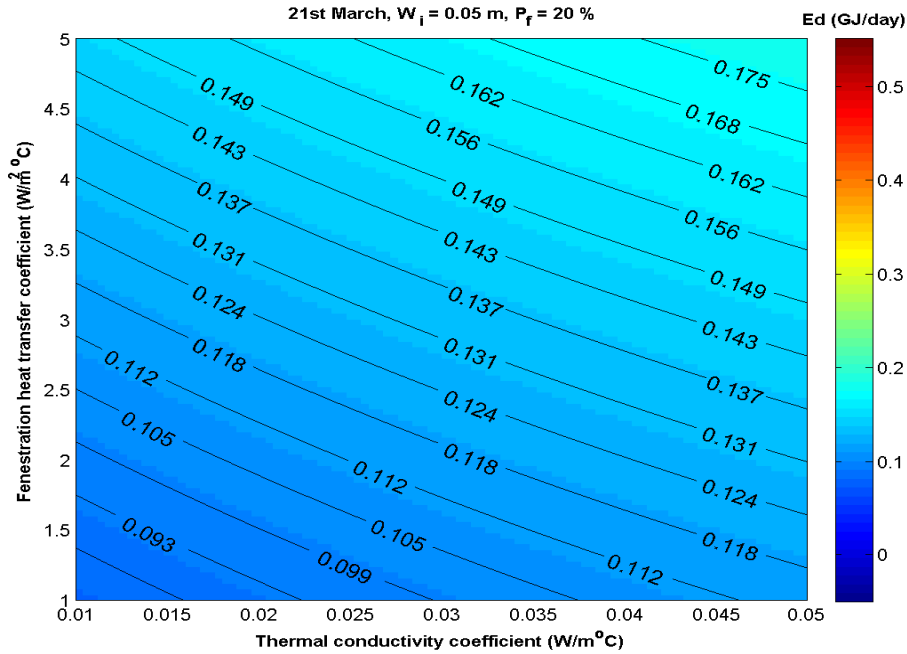
Διάγραμμα 11.2.3(B): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Δεκεμβρίου, για συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U_f (W/m^2K) και συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και για σταθερά $P_f=20\%$ και $w=0,05m$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ C$.



Διάγραμμα 11.2.3(Γ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Ιανουαρίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f (W/m^2K), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $P_f=20\%$ και $w=0,05m$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ } ^\circ C$.



Διάγραμμα 11.2.3(Δ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Φεβρουαρίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f (W/m^2K), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $P_f=20\%$ και $w=0,05m$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ } ^\circ C$.



Διάγραμμα 11.2.3(E): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Μαρτίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f (W/m^2K), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $P_f=20\%$ και $w=0,05m$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20\text{ }^\circ\text{C}$.

Συμπεράσματα:

Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να καταλήξουμε στα εξής συμπεράσματα αναφορικά με την επίδραση του συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης και του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων πάνω στην ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση για την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας στο εσωτερικό του κελύφους, διατηρώντας σταθερά τα P_f και w :

- Έχοντας ως δεδομένα τις τιμές των παραμέτρων της μόνωσης και των υαλοπινάκων μπορεί να εκτιμηθεί η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης.
- Σε όλα τα διαγράμματα διαφαίνεται και πάλι ότι η ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση ακολουθεί με φθίνοντα τρόπο της εξής σειρά όσον αφορά τους μήνες θέρμανσης: Ιανουάριος, Δεκέμβριος, Φεβρουάριος, Νοέμβριος και τέλος Μάρτιος.
- Στα 11.2.3(A) – (E) παρατηρούμε για σταθερό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας k ότι αυξάνοντας τη θερμική διαπερατότητα των υαλοπινάκων U_f

αυξάνεται η απαιτούμενη ημερήσια ενέργεια θέρμανσης. Αυτό οφείλεται όπως εξηγήσαμε και παραπάνω στην αύξηση του φορτίου δι' αγωγής των υαλοπινάκων που συνεπάγεται αύξηση της E_d .

- Στα ίδια διαγράμματα φαίνεται ότι αυξάνοντας την θερμική αγωγιμότητα της μόνωσης, k και με σταθερό συντελεστή θερμοπερατότητας, U_f αυξάνεται η ενεργειακή κατανάλωση καθώς αυξάνονται οι απώλειες δι' αγωγής μέσω των εξωτερικών τοίχων και της οροφής.
- Προκειμένου η τιμή της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας, E_d να διατηρηθεί σταθερή για αύξηση ή μείωση του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας απαιτείται μείωση ή αύξηση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας αντίστοιχα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αύξηση του U_f συνεπάγεται αύξηση των απωλειών δι' αγωγής των υαλοπινάκων και επομένως αύξηση της τιμής της E_d . Η διαφορά αυτή εκμηδενίζεται με μείωση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης η οποία προκαλεί μείωση των απωλειών θερμότητας δι' αγωγής διαμέσου τοίχων και οροφής και κατ' επέκταση της κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης. Αντίστοιχα αύξηση ή μείωση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης συνεπάγεται μείωση ή αύξηση του συντελεστή θερμοπερατότητας των υαλοπινάκων προκειμένου να διατηρηθεί η κατανάλωση ενέργειας στην ίδια τιμή.
- Θεωρώντας μια συγκεκριμένη τιμή του συντελεστή k και αυξάνοντας κατά μια σταθερή τιμή κάθε φορά το συντελεστή θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων παρατηρούμε σταθερή αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας E_d . Αντίστοιχα για να επιτευχθεί μια σταθερή αύξηση της E_d έχοντας συγκεκριμένο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας απαιτείται κάθε φορά σταθερή και ίδια μείωση του συντελεστή θερμοπερατότητας U_f . Αυτό οφείλεται όπως έχουμε αναφέρει στο γεγονός ότι διατηρώντας σταθερά τα μεγέθη w , P_f και k και μεταβάλλοντας το U_f το μόνο φορτίο που αλλάζει είναι το φορτίο υαλοπινάκων δι' αγωγής η τιμή του οποίου είναι ανάλογη με τη τιμή του U_f .
- Πάλι παρατηρούμε ότι αύξηση της τιμής του U_f κατά ένα σταθερό ποσό και υπό ένα σταθερό k αυξάνει περισσότερο την κατανάλωση ενέργειας τον Δεκέμβριο στη συνέχεια τον Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο και Νοέμβριο. Αυτό οφείλεται στη μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού εξωτερικού περιβάλλοντος αρχικά το Δεκέμβριο και ακολούθως τους υπόλοιπους μήνες με τη σειρά που αναφέραμε, από τη τιμή της οποίας εξαρτώνται οι απώλειες δι' αγωγής μέσω υαλοπινάκων.
- Όσον αφορά τη μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης ανά τους μήνες παρατηρούμε ότι ίδια αύξηση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας k υπό

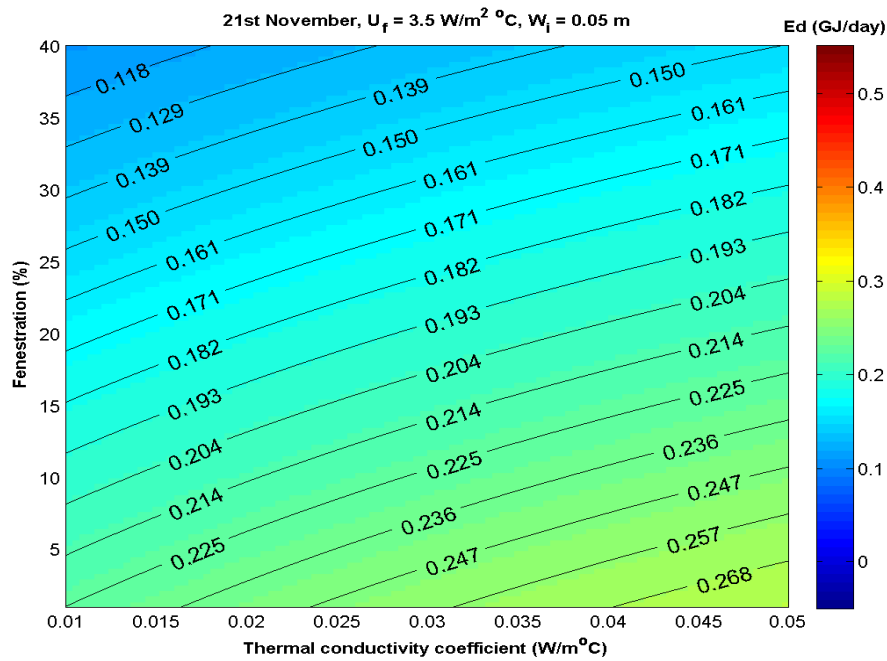
σταθερή τιμή του U_f προκαλεί μεγαλύτερη αύξηση της, το Δεκέμβριο και στη συνέχεια τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Νοέμβριο, Μάρτιο καθώς η διαφορά μεταξύ της ισοδύναμης θερμοκρασίας εξωτερικού και της θερμοκρασίας εσωτερικού περιβάλλοντος είναι μέγιστη και ελάχιστη το πρώτο και τελευταίο μήνα που αναφέραμε αντίστοιχα. Οι απώλειες δι' αγωγής μέσω τοίχων και οροφής είναι ανάλογες της διαφοράς αυτής, επομένως ίδια μεταβολή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας προκαλεί μεγαλύτερη μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης τους μήνες που η τιμή της διαφοράς αυτής είναι μεγαλύτερη.

Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας για σταθερές τιμές των παραμέτρων w και U_f και θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος $T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$

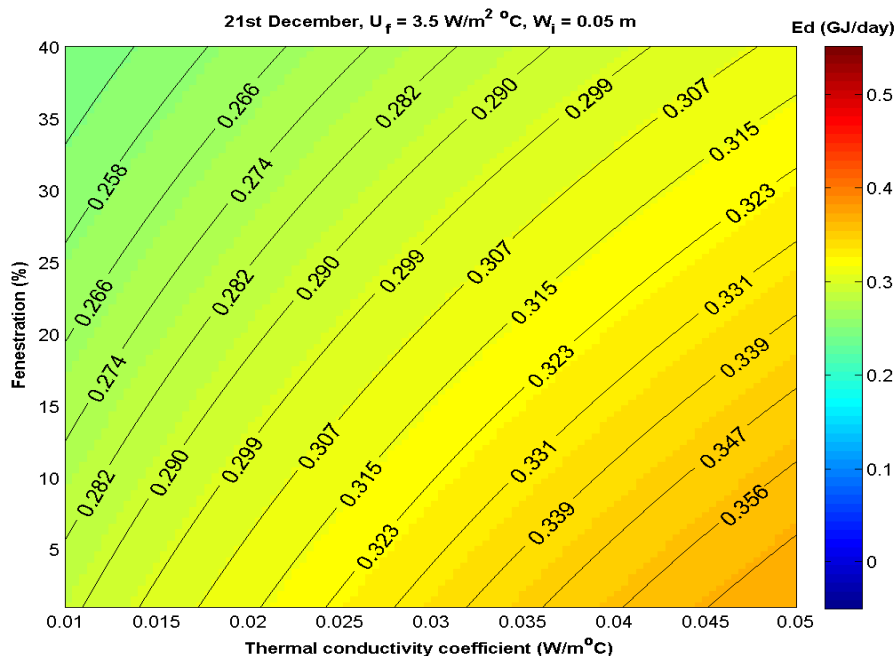
Στα διαγράμματα 11.2.4(A)-(E) που ακολουθούν παρουσιάζονται ορισμένες ενδεικτικές καμπύλες της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης για αποκατάσταση σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ οι οποίες αντιστοιχούν σε τιμές του συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης και του ποσοστού της επιφάνειας των υαλοπινάκων αναγραφόμενα στις κλίμακες αξόνων κάθε σχήματος ενώ διατηρούνται σταθερές οι τιμές των δύο άλλων παραμέτρων, δηλαδή του πάχους της μόνωσης ($w=0,05\text{ m}$) και του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων ($U_f=3,5\text{ W/m}^2\text{K}$).

Συγκεκριμένα, η μελέτη μας έγινε για συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας που κυμαίνεται από $0,01$ έως $0,05\text{ W/mK}$ και ποσοστό υαλοπινάκων P_f από 0 έως 40% ενώ οι υπολογισμοί αφορούν και πάλι την 21^η ημέρα κάθε ενός από τους πέντε μήνες θέρμανσης Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο για τις τυπικές κλιματολογικές συνθήκες της Αθήνας.

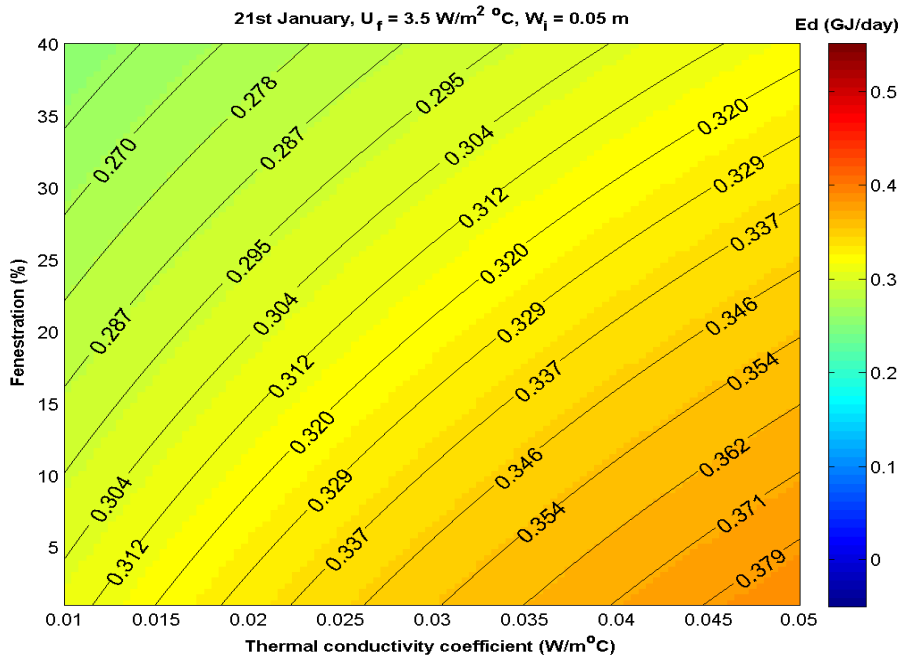
Η σημασία των διαγραμμάτων αυτών είναι επίσης μεγάλη σε πρακτικό επίπεδο καθώς δίνουν στον μελετητή τη δυνατότητα είτε υπολογισμού της ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης για συγκεκριμένους συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας και ποσοστά υαλοπινάκων είτε τη μεταβολή της τιμής της για μεταβολές των τιμών των δύο αυτών παραμέτρων. Ακόμη, μέσα από τα διαγράμματα αυτά με στόχο τη διατήρηση της τιμής της ενεργειακής κατανάλωσης μπορεί να εκτιμηθεί η απαιτούμενη μεταβολή του ποσοστού των υαλοπινάκων για συγκεκριμένη αλλαγή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης και το αντίστροφο.



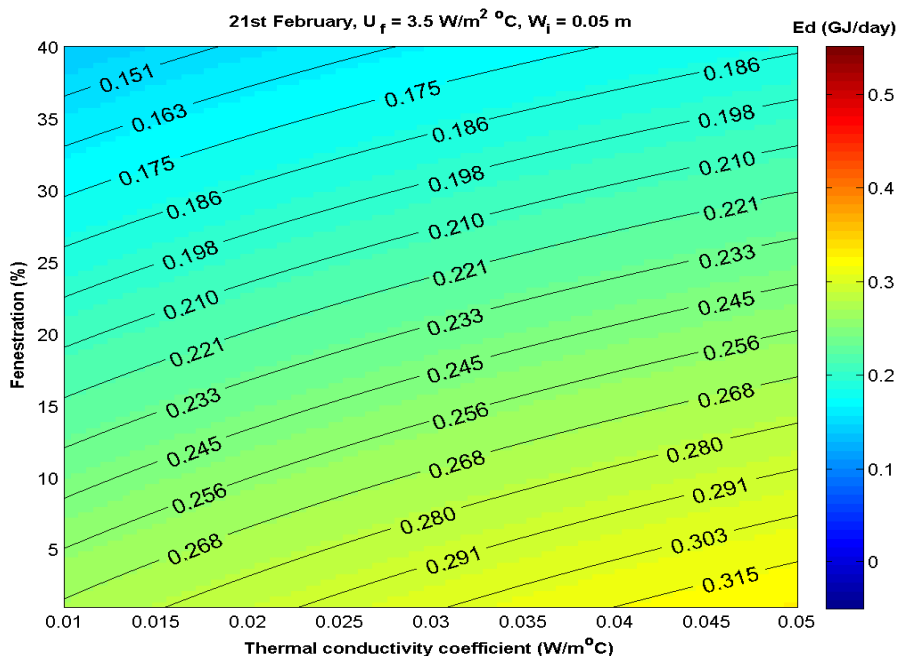
Διάγραμμα 11.2.4(A): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Νοεμβρίου, για ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



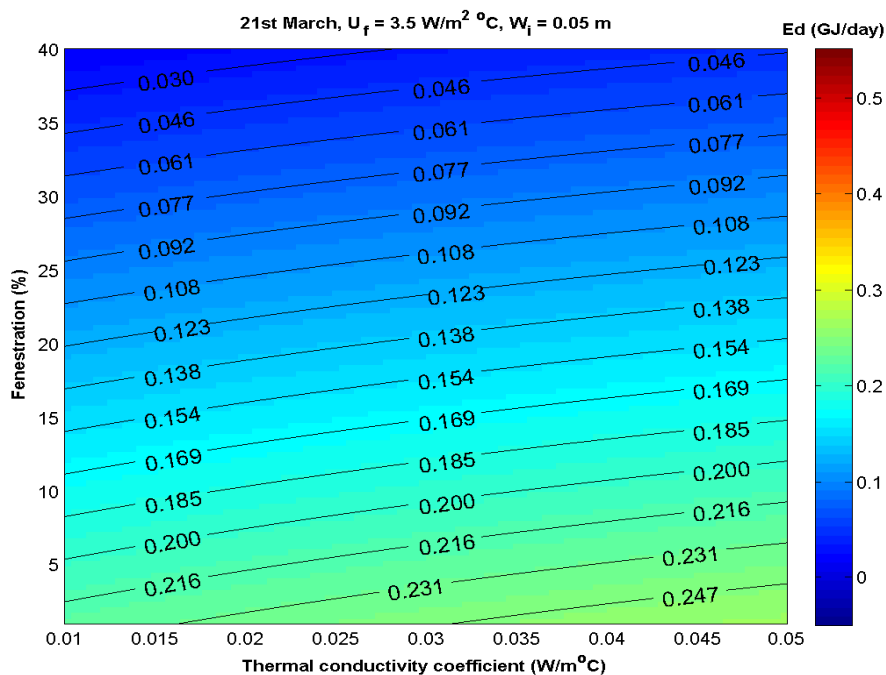
Διάγραμμα 11.2.4(B): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Δεκεμβρίου, για ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.2.4(Γ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Ιανουαρίου, για ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.2.4(Δ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Φεβρουαρίου, για ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.2.4(E). Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Μαρτίου, για ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Συμπεράσματα:

Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να καταλήξουμε στα εξής συμπεράσματα αναφορικά με την επίδραση του συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης και του ποσοστού επιφανείας υαλοπινάκων, διατηρώντας σταθερά τα U_f και w , πάνω στην ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση για την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας στο εσωτερικό του κελύφους:

- Έχοντας ως δεδομένα τις τιμές των παραμέτρων της μόνωσης και των υαλοπινάκων μπορεί να εκτιμηθεί η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης.
- Σε όλα τα διαγράμματα διαφαίνεται και πάλι ότι η ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση ακολουθεί με φθίνοντα τρόπο της εξής σειρά όσον αφορά τους μήνες θέρμανσης: Ιανουάριος, Δεκέμβριος, Φεβρουάριος, Νοέμβριος και τέλος Μάρτιος.
- Στα παραπάνω διαγράμματα 11.2.4(A) – (E) παρατηρούμε ότι κρατώντας σταθερό το ποσοστό υαλοπινάκων P_f και αυξάνοντας το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας k αυξάνεται η ημερήσια κατανάλωση E_d . Αυτό οφείλεται στην αύξηση των απωλειών δι' αγωγής μέσω των τοίχων και της οροφής που

επέρχεται με την αύξηση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης και κατ' επέκταση του συνολικού φορτίου του κελύφους.

- Αντίστοιχα κρατώντας σταθερό το συντελεστή αγωγιμότητας k και αυξάνοντας την επιφάνεια του ποσοστού υαλοπινάκων P_f η ενεργειακή κατανάλωση βλέπουμε ότι μειώνεται λόγω αύξησης του θερμικού ηλιακού κέρδους η οποία υπερσχύει της αύξησης των απωλειών δι' αγωγής μέσω των υαλοπινάκων λόγω αύξησης της επιφάνειας τους.
- Προκειμένου η τιμή της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας, E_d να διατηρηθεί σταθερή για αύξηση ή μείωση του συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης k απαιτείται αύξηση ή μείωση του ποσοστού της επιφάνειας των υαλοπινάκων P_f αντίστοιχα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αύξηση του k συνεπάγεται αύξηση των απωλειών δι' αγωγής μέσω εξωτερικών τοίχων και οροφής και επομένως αύξηση της τιμής της E_d . Η διαφορά αυτή εκμηδενίζεται με αύξηση του ποσοστού υαλοπινάκων η οποία προκαλεί αύξηση του θερμικού ηλιακού κέρδους και κατ' επέκταση μείωση της κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης. Αντίστοιχη απαίτηση υπάρχει για ενδεχόμενη αύξηση ή μείωση του ποσοστού υαλοπινάκων, πρέπει δηλαδή να αυξηθεί ή να μειωθεί αντίστοιχα ο συντελεστής k προκειμένου να διατηρηθεί σταθερή η καταναλισκόμενη ενέργεια θέρμανσης για τους λόγους που εξηγήσαμε.
- Θεωρώντας μια συγκεκριμένη τιμή του συντελεστή k και αυξάνοντας κατά μια σταθερή τιμή κάθε φορά το ποσοστό των υαλοπινάκων παρατηρούμε σταθερή αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας E_d . Αντίστοιχα για να επιτευχθεί μια σταθερή αύξηση της E_d έχοντας συγκεκριμένο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας απαιτείται κάθε φορά σταθερή και ίδια αύξηση του P_f . Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τόσο το ηλιακό θερμικό κέρδος των υαλοπινάκων όσο και οι απώλειες δι' αγωγής διαμέσου αυτών αλλά και οι συνολικές απώλειες διαμέσου των τοίχων είναι ανάλογες με την επιφάνεια που καταλαμβάνουν τα αντίστοιχα δομικά στοιχεία, η οποία καθορίζεται από το ποσοστό των υαλοπινάκων στο κέλυφος.
- Η αύξηση του ποσοστού υαλοπινάκων υπό σταθερή τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας επιφέρει μεγαλύτερη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης τους μήνες που η προσπίπτουσα ακτινοβολία είναι αυξημένη δηλαδή αρχικά τον Μάρτιο και στη συνέχεια τους μήνες Φεβρουάριο, Νοέμβριο, Ιανουάριο και τέλος τον Δεκέμβριο.
- Η αύξηση της κατανάλωσης E_d αυξανόμενου του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας k και υπό σταθερό ποσοστό υαλοπινάκων είναι και πάλι μεγαλύτερη αρχικά τον Δεκέμβριο και στη συνέχεια τους Ιανουάριο,

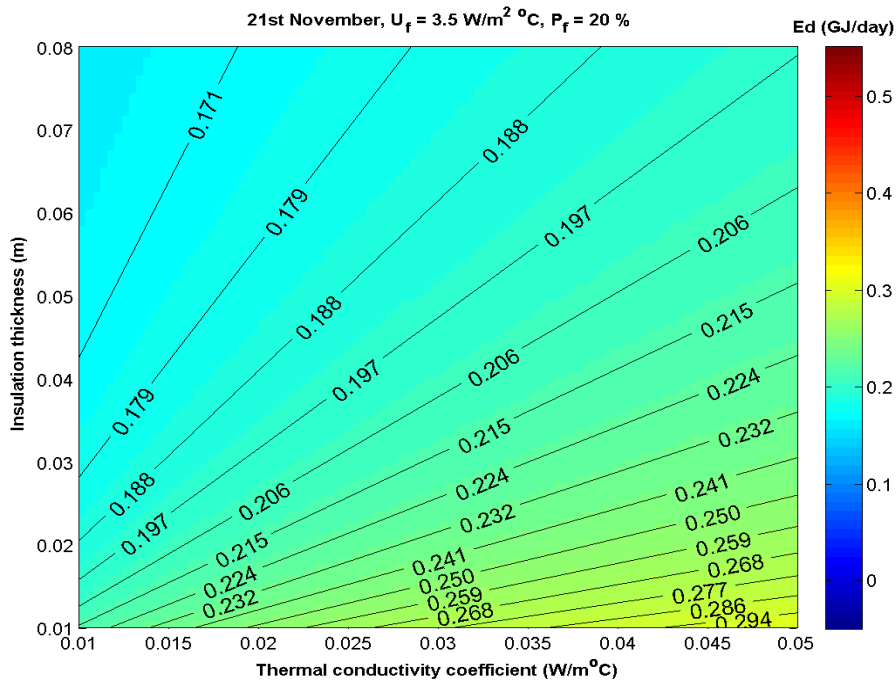
Φεβρουάριο, Νοέμβριο και Μάρτιο πάλι εξαιτίας της αυξημένης διαφοράς της ισοδύναμης θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος και συνεπώς μεταβολής των απωλειών δι' αγωγής μέσω τοίχων και οροφών με τη σειρά που αναφέραμε.

Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας για σταθερές τιμές των παραμέτρων P_f και U_f και θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος $T_{in}=20\text{ }^\circ\text{C}$

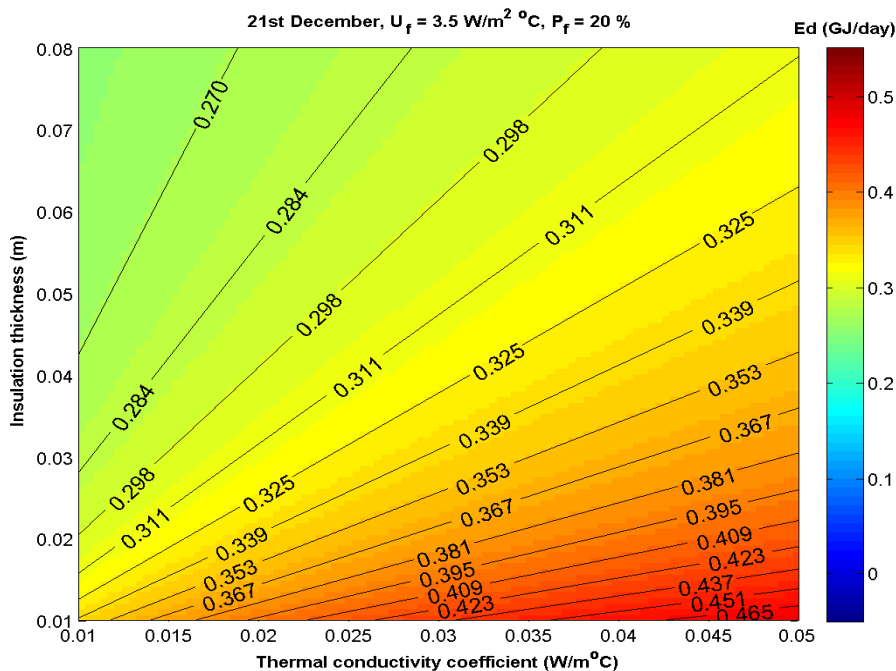
Στα διαγράμματα 11.2.5(A)-(E) που ακολουθούν παρουσιάζονται ορισμένες ενδεικτικές καμπύλες της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης για αποκατάσταση σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας $20\text{ }^\circ\text{C}$ οι οποίες αντιστοιχούν σε τιμές του συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης και του πάχους της μόνωσης αναγραφόμενα στις κλίμακες των αξόνων κάθε σχήματος ενώ διατηρούνται σταθερές οι τιμές των δύο άλλων παραμέτρων, δηλαδή του ποσοστού υαλοπινάκων ($P_f=20\%$) και του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων ($U_f=3,5\text{ W/m}^2\text{K}$).

Συγκεκριμένα, η μελέτη μας έγινε για συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας που κυμαίνεται από $0,01$ έως $0,05\text{ W/mK}$ και πάχος μόνωσης από $0,01$ έως $0,08\text{ m}$ ενώ οι υπολογισμοί αφορούν και πάλι την 21^η ημέρα κάθε ενός από τους πέντε μήνες θέρμανσης Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο για τις τυπικές κλιματολογικές συνθήκες της Αθήνας.

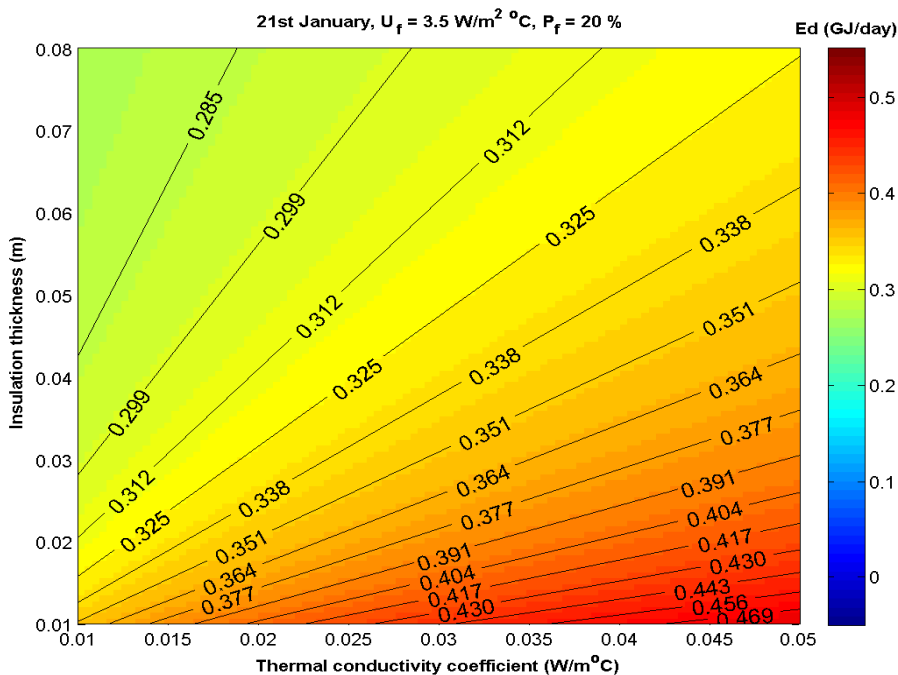
Μέσα από τα διαγράμματα αυτά ο μελετητής έχει τη δυνατότητα είτε υπολογισμού της ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης για συγκεκριμένα πάχη μόνωσης και συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης είτε τη μεταβολή της τιμής της για μεταβολές των τιμών των δύο αυτών παραμέτρων. Ακόμη μέσα από τα διαγράμματα αυτά με στόχο τη διατήρηση της τιμής της ενεργειακής κατανάλωσης μπορεί να εκτιμηθεί η απαιτούμενη μεταβολή του πάχους μόνωσης για συγκεκριμένη αλλαγή συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας της και το αντίστροφο.



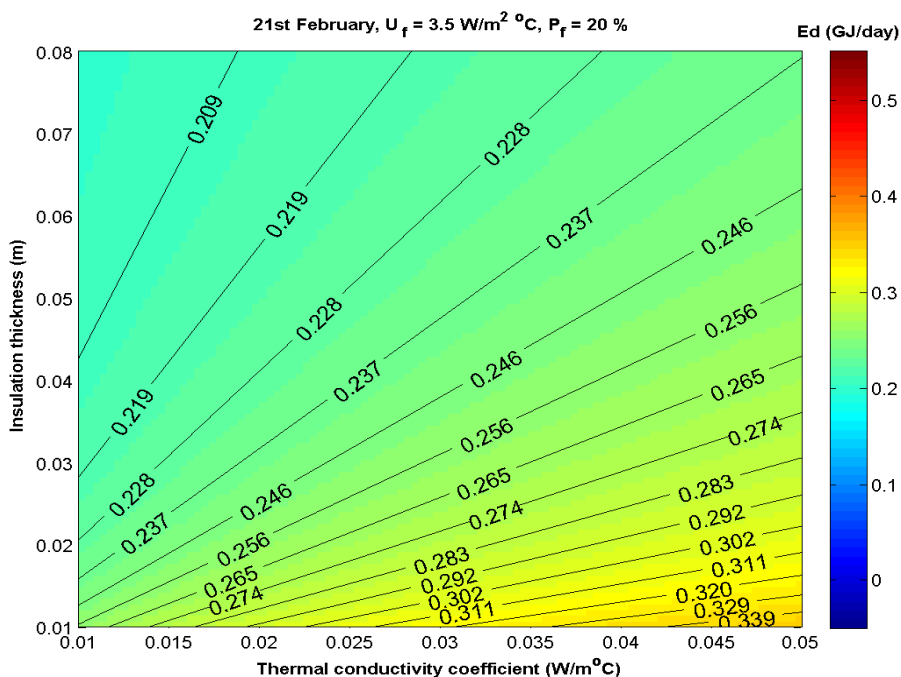
Διάγραμμα 11.2.5(A): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Νοεμβρίου, για συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK), πάχη μόνωσης w (m) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και ποσοστό υαλοπινάκων $P_f=20\%$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



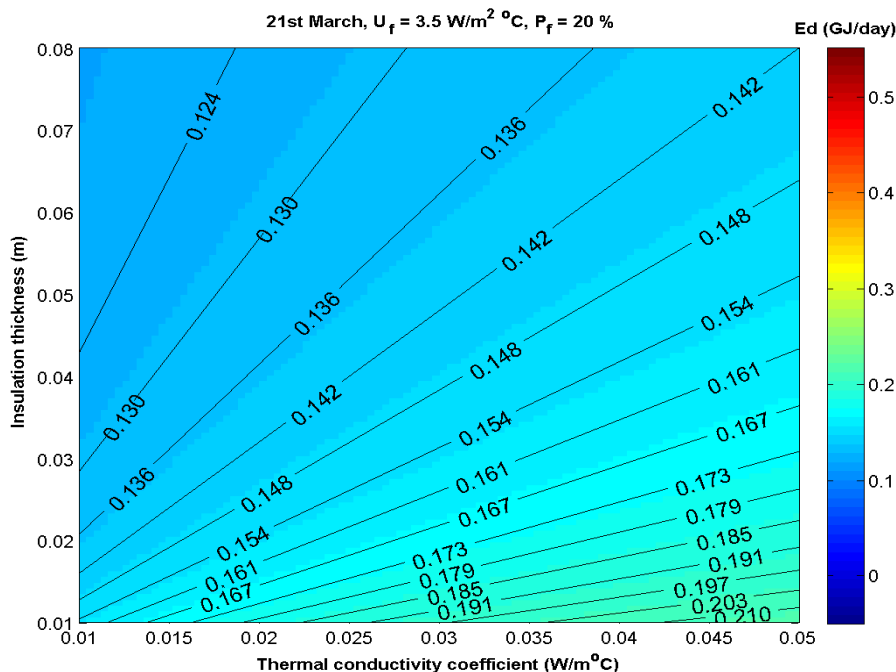
Διάγραμμα 11.2.5(B): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Δεκεμβρίου, για συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK), πάχη μόνωσης w (m) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και ποσοστό υαλοπινάκων $P_f=20\%$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.2.5(Γ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Ιανουαρίου, για συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK), πάχη μόνωσης w (m) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και ποσοστό υαλοπινάκων $P_f=20\%$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.2.5(Α): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Φεβρουαρίου, για συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK), πάχη μόνωσης w (m) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και ποσοστό υαλοπινάκων $P_f=20\%$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.2.5(E): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Μαρτίου, για συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK), πάχη μόνωσης w (m) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και ποσοστό υαλοπινάκων $P_f=20\%$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Συμπεράσματα:

Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να καταλήξουμε στα εξής συμπεράσματα αναφορικά με την επίδραση του συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας του πάχους της μόνωσης, διατηρώντας σταθερά τα U_f και P_f , πάνω στην ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση για την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας στο εσωτερικό του κελύφους:

- Έχοντας ως δεδομένα τις τιμές των παραμέτρων της μόνωσης και των υαλοπινάκων μπορεί να εκτιμηθεί η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης.
- Σε όλα τα διαγράμματα διαφαίνεται και πάλι ότι η ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση ακολουθεί με φθίνοντα τρόπο την εξής σειρά όσον αφορά τους μήνες θέρμανσης: Ιανουάριος, Δεκέμβριος, Φεβρουάριος, Νοέμβριος και τέλος Μάρτιος.
- Από τα διαγράμματα 11.2.5 (A) – (E) συμπεραίνουμε ότι για σταθερό πάχος μόνωσης και αυξάνοντας το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης, αυξάνεται η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας. Αυτό όπως έχουμε εξηγήσει

οφείλεται στο γεγονός ότι αυξάνοντας το συντελεστή k αυξάνονται και οι απώλειες δι' αγωγής διαμέσου των εξωτερικών τοίχων και της οροφής και συνεπώς η απαιτούμενη ενέργεια για επίτευξη θερμικής άνεσης στο εσωτερικό του κτιρίου.

- Αντίθετα με το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης παρατηρούμε ότι αυξάνοντας το πάχος της w με σταθερές τις τρεις άλλες κύριες παραμέτρους η απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης μειώνεται καθώς μειώνεται το φορτίο δι' αγωγής μέσω τοίχων και οροφής.
- Προκειμένου η τιμή της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας, E_d να διατηρηθεί σταθερή για αύξηση ή μείωση του συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης απαιτείται αύξηση ή μείωση του πάχους της μόνωσης αντίστοιχα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αύξηση του k συνεπάγεται αύξηση των απωλειών δι' αγωγής μέσω εξωτερικών τοίχων και οροφής και επομένως αύξηση της τιμής της E_d . Η διαφορά αυτή εκμηδενίζεται με αύξηση του πάχους w η οποία προκαλεί μείωση των απωλειών αυτών και κατ' επέκταση μείωση της κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης. Αντίστοιχη απαίτηση υπάρχει για ενδεχόμενη αύξηση ή μείωση του πάχους μόνωσης, πρέπει δηλαδή να αυξηθεί ή να μειωθεί αντίστοιχα ο συντελεστής k προκειμένου να διατηρηθεί σταθερή η καταναλισκόμενη ενέργεια θέρμανσης για τους λόγους που εξηγήσαμε.
- Θεωρώντας σταθερή τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας και αυξάνοντας κατά ένα σταθερό ποσό κάθε φορά το πάχος της μόνωσης δεν παρατηρείται σταθερή μείωση στη κατανάλωση ενέργειας. Αντίθετα για σταθερή αύξηση του w η ενεργειακή πτώση μειώνεται, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι η ίδια ποσοτική αύξηση του πάχους της μόνωσης μεταξύ υψηλότερων τιμών αυτού σημαίνει μικρότερο ποσοστό αύξησης του και συνεπώς μικρότερη μείωση των απωλειών δι' αγωγής διαμέσου των τοίχων και της οροφής, σε σχέση με την ίδια αύξηση του w μεταξύ χαμηλότερων τιμών αυτού το οποίο σημαίνει μεγαλύτερο ποσοστό αύξησης του και επομένως μεγαλύτερη μείωση των απωλειών δι' αγωγής διαμέσου των τοίχων και της οροφής.
- Αυξάνοντας το πάχος της μόνωσης w κατά συγκεκριμένο ποσό κάθε φορά και υπό σταθερό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας k προκαλείται μεγαλύτερη πτώση στην ενεργειακή κατανάλωση αρχικά κατά το μήνα Δεκέμβριο και στη συνέχεια τους Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Νοέμβριο και Μάρτιο καθώς οι απώλειες δι' αγωγής μέσω τοίχων και οροφής μειώνονται κατά μεγαλύτερη τιμή με τη σειρά που αναφέραμε. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το Δεκέμβριο και το Μάρτιο εμφανίζεται η μεγαλύτερη και η μικρότερη διαφορά ισοδύναμης θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος αντίστοιχα.

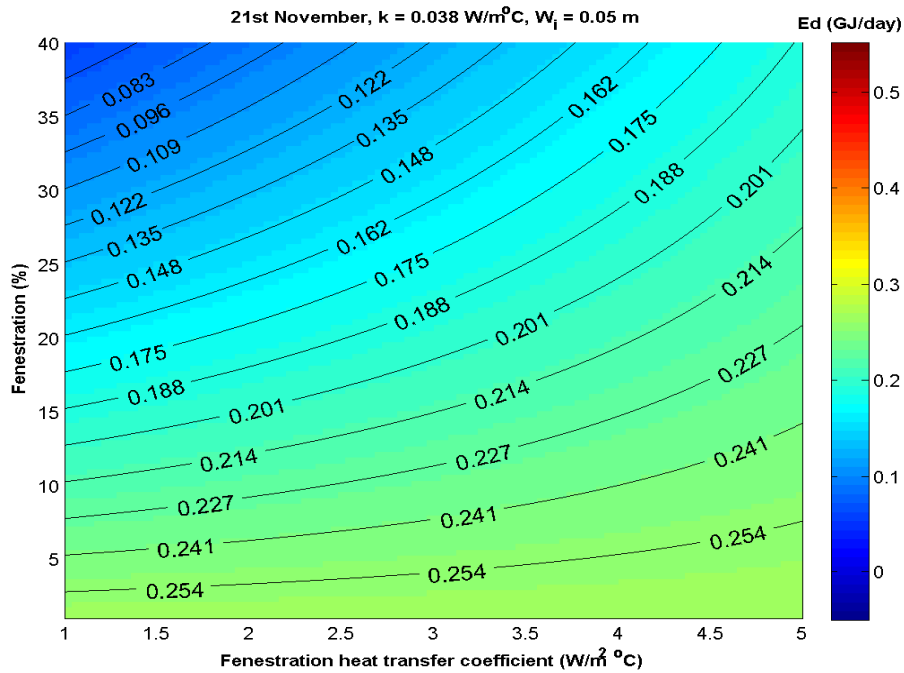
- Η αύξηση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας κατά ένα σταθερό ποσό και υπό σταθερό πάχος μόνωσης προκαλεί μεγαλύτερη αύξηση τους μήνες που η διαφορά ισοδύναμης θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη δηλαδή τον Δεκέμβριο, Ιανουάριο και στη συνέχεια τους Φεβρουάριο, Νοέμβριο και Μάρτιο.

Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας για σταθερές τιμές των παραμέτρων k και w και θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος $T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$

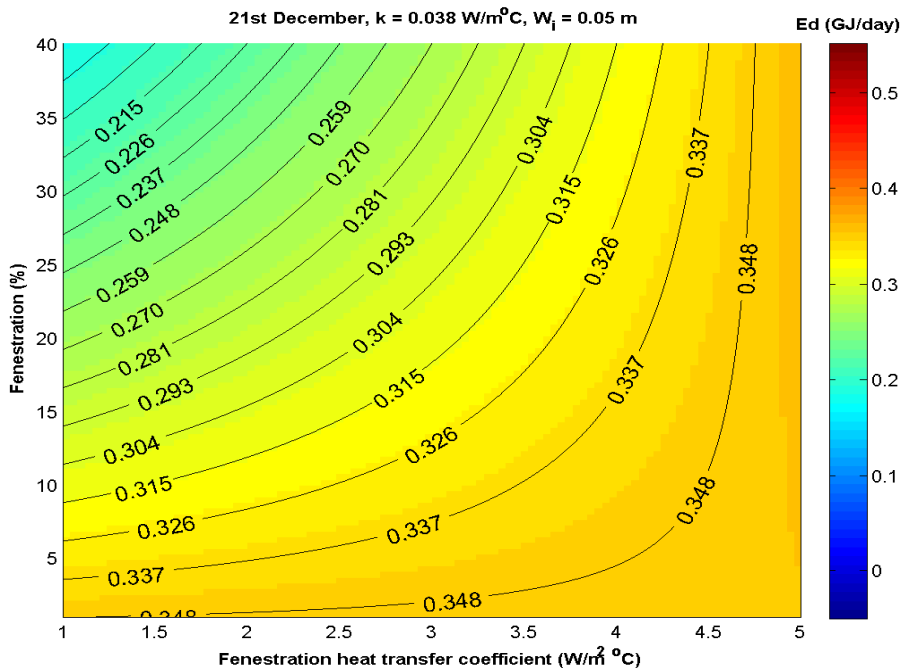
Στα διαγράμματα 11.2.6(A)-(E) που ακολουθούν παρουσιάζονται ορισμένες ενδεικτικές καμπύλες της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης για αποκατάσταση σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, οι οποίες αντιστοιχούν σε τιμές του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας και του ποσοστού της επιφάνειας υαλοπινάκων αναγραφόμενα στις κλίμακες αξόνων κάθε σχήματος ενώ διατηρούνται σταθερές οι τιμές των δύο άλλων παραμέτρων, δηλαδή του συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας ($k=0,038\text{ W/mK}$) και του πάχους της μόνωσης ($w=0,05\text{m}$).

Συγκεκριμένα, η μελέτη μας έγινε για συντελεστή θερμικής διαπερατότητας που κυμαίνεται από 1 έως $5\text{ W/m}^2\text{K}$ και ποσοστό υαλοπινάκων από 0 έως 40% ενώ οι υπολογισμοί αφορούν και πάλι την 21^η ημέρα κάθε ενός από τους πέντε μήνες θέρμανσης Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο για τις τυπικές κλιματολογικές συνθήκες της Αθήνας.

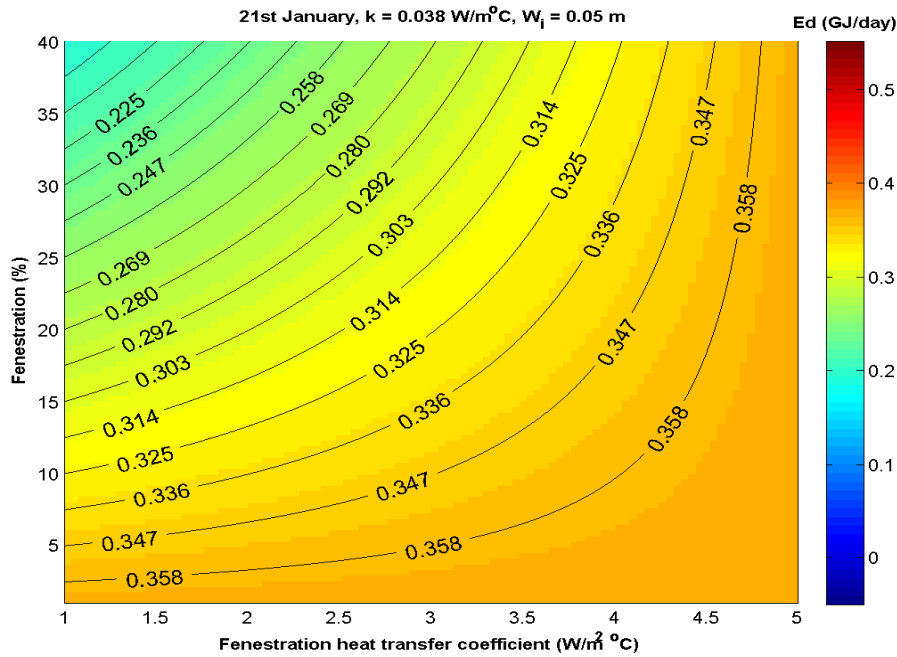
Η σημασία των διαγραμμάτων αυτών είναι μεγάλη σε πρακτικό επίπεδο καθώς δίνουν στον μελετητή τη δυνατότητα είτε υπολογισμού της ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης για συγκεκριμένους συντελεστές θερμικής διαπερατότητας και ποσοστά υαλοπινάκων είτε τη μεταβολή της τιμής της για μεταβολές των τιμών των δύο αυτών παραμέτρων. Ακόμη μέσα από τα διαγράμματα αυτά με στόχο τη διατήρηση της τιμής της ενεργειακής κατανάλωσης μπορεί να εκτιμηθεί η απαιτούμενη μεταβολή συντελεστή θερμικής διαπερατότητας για συγκεκριμένη αλλαγή του ποσοστού υαλοπινάκων και το αντίστροφο.



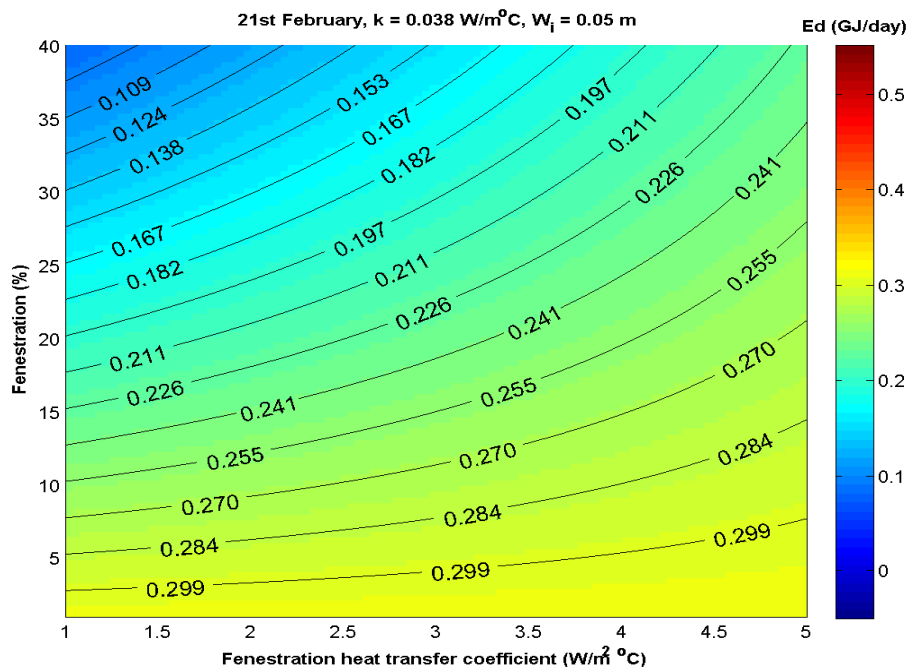
Διάγραμμα 11.2.6(A): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Νοεμβρίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W/m}^2\text{K}$), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $k=0,038 \text{ W/mK}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



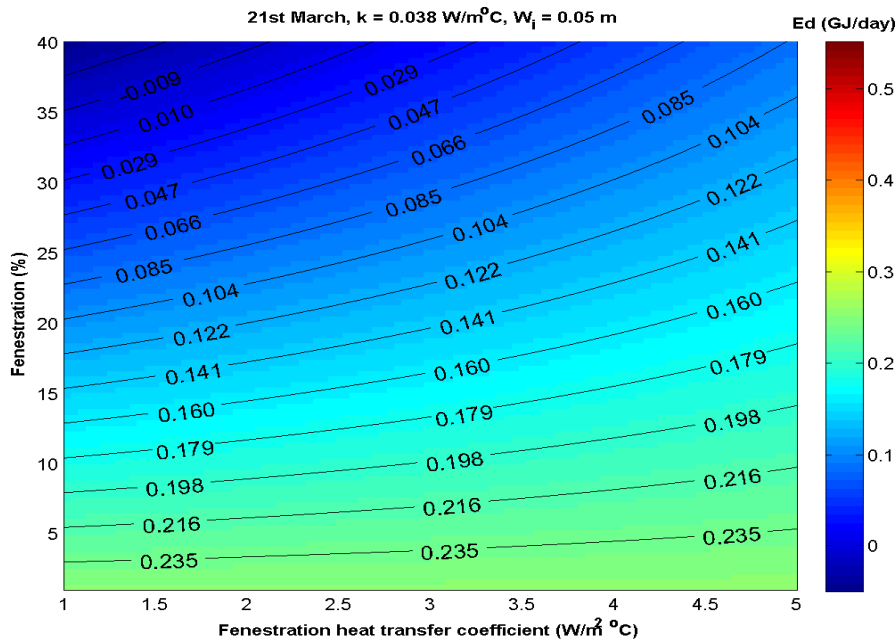
Διάγραμμα 11.2.6(B): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Δεκεμβρίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W/m}^2\text{K}$), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $k=0,038 \text{ W/mK}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.2.6(Γ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Ιανουαρίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W/m}^2\text{K}$), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $k=0,038 \text{ W/mK}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ } ^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.2.6(Δ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Φεβρουαρίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W/m}^2\text{K}$), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $k=0,038 \text{ W/mK}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ } ^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.2.6(E): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Μαρτίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W/m}^2\text{K}$), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $k=0,038 \text{ W/mK}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Συμπεράσματα:

Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να καταλήξουμε στα εξής συμπεράσματα αναφορικά με την επίδραση του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων και του ποσοστού επιφανείας τους, διατηρώντας σταθερά τα k και w , πάνω στην ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση για την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας στο εσωτερικό του κελύφους:

- Έχοντας ως δεδομένα τις τιμές των παραμέτρων της μόνωσης και των υαλοπινάκων μπορεί να εκτιμηθεί η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης.
- Σε όλα τα διαγράμματα διαφαίνεται και πάλι ότι η ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση ακολουθεί την εξής φθίνουσα σειρά για τους μήνες θέρμανσης: Ιανουάριος, Δεκέμβριος, Φεβρουάριος, Νοέμβριος και τέλος Μάρτιος.
- Στα διαγράμματα 11.2.6(A)–(E) φαίνεται ότι με σταθερό ποσοστό υαλοπινάκων P_f στο κέλυφος και αυξάνοντας τη θερμική διαπερατότητα τους U_f αυξάνεται η απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης καθώς αυξάνονται οι απώλειες δι' αγωγής των υαλοπινάκων.
- Διατηρώντας τώρα σταθερό το συντελεστή U_f και αυξανόμενου του ποσοστού υαλοπινάκων η ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση μειώνεται κάτι που

οφείλεται στην αύξηση του θερμικού ηλιακού κέρδους, το οποίο υπερσχύει της αύξησης των απωλειών δι' αγωγής μέσω αυτών.

- Προκειμένου η τιμή της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας, E_d να διατηρηθεί σταθερή για αύξηση ή μείωση του συντελεστή θερμοπερατότητας απαιτείται αύξηση ή μείωση του ποσοστού της επιφάνειας των υαλοπινάκων αντίστοιχα. Αυτό συμβαίνει γιατί αύξηση του U_f συνεπάγεται αύξηση των απωλειών δι' αγωγής μέσω υαλοπινάκων και επομένως αύξηση της τιμής της E_d . Η διαφορά αυτή εκμηδενίζεται με αύξηση του ποσοστού P_f η οποία προκαλεί αύξηση του θερμικού ηλιακού κέρδους και κατ' επέκταση μείωση της κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης. Αντίστοιχη απαίτηση υπάρχει για ενδεχόμενη αύξηση ή μείωση του ποσοστού υαλοπινάκων, πρέπει δηλαδή να αυξηθεί ή να μειωθεί αντίστοιχα ο συντελεστής U_f προκειμένου να διατηρηθεί σταθερή η καταναλισκόμενη ενέργεια θέρμανσης για τους λόγους που εξηγήσαμε.
- Θεωρώντας μια συγκεκριμένη τιμή του συντελεστή U_f και αυξάνοντας κατά μια σταθερή τιμή κάθε φορά το ποσοστό των υαλοπινάκων παρατηρούμε σταθερή αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας E_d . Αντίστοιχα για να επιτευχθεί μια σταθερή αύξηση της E_d έχοντας συγκεκριμένο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας απαιτείται κάθε φορά σταθερή και ίδια αύξηση του P_f . Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τόσο το ηλιακό θερμικό κέρδος των υαλοπινάκων όσο και οι απώλειες δι' αγωγής διαμέσου αυτών αλλά και οι συνολικές απώλειες διαμέσου των τοίχων είναι ανάλογες με την επιφάνεια που καταλαμβάνουν τα αντίστοιχα δομικά στοιχεία, η οποία καθορίζεται από το ποσοστό των υαλοπινάκων στο κέλυφος.
- Παρατηρούμε και πάλι ότι μείωση της κατανάλωσης ενέργειας που επέρχεται με την ίδια αύξηση του ποσοστού υαλοπινάκων είναι μεγαλύτερη τους μήνες που η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι μεγαλύτερη δηλαδή τους Μάρτιο, Φεβρουάριο, Νοέμβριο, Ιανουάριο και τέλος το Δεκέμβριο.
- Υπό σταθερό ποσοστό επιφάνειας υαλοπινάκων P_f και αυξάνοντας το συντελεστή θερμικής διαπερατότητας κατά ένα σταθερό ποσό η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται κατά μία επίσης σταθερή τιμή λόγω του ότι αυξάνονται οι απώλειες δι' αγωγής των υαλοπινάκων που είναι ανάλογες του συντελεστή U_f .
- Η αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης που προκαλείται με αύξηση του συντελεστή θερμοπερατότητας των υαλοπινάκων είναι μεγαλύτερη για τους μήνες που η διαφορά θερμοκρασίας (της ξηρής σφαίρας) μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος είναι αυξημένες δηλαδή τον Δεκέμβριο και στη συνέχεια τους Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο και τέλος τον Νοέμβριο.

11.3 Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης για θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος $T_{in}=22\text{ }^{\circ}\text{C}$

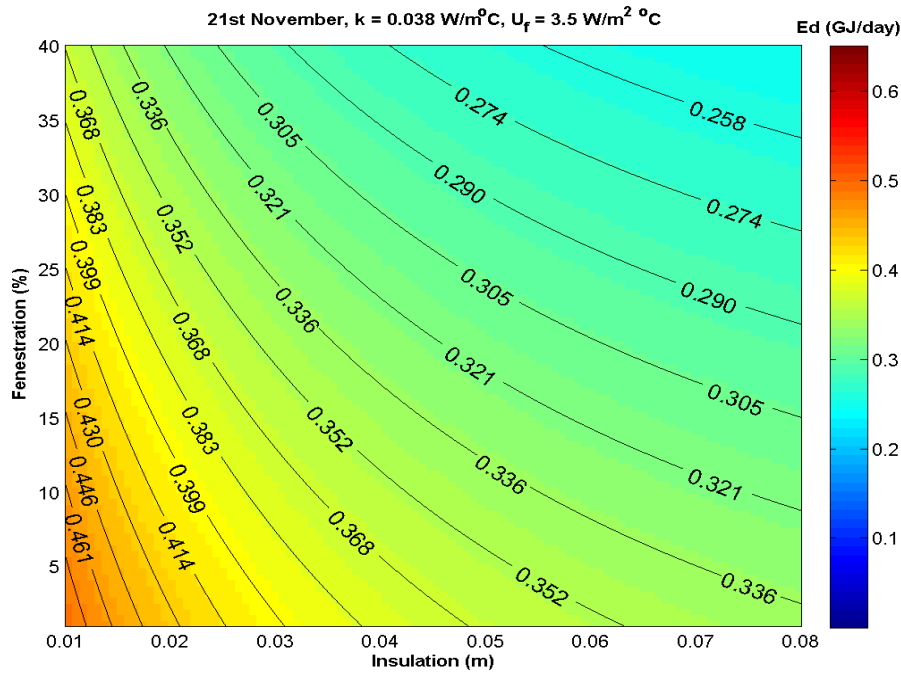
Εκτός από τα δομικά χαρακτηριστικά του κτιρίου με κυριότερα αυτά των υαλοπινάκων και της μόνωσης σημαντική παράμετρος όπως έχουμε αναφέρει για την διακύμανση της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης αποτελεί η επιθυμητή θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος.

Έτσι τα παρακάτω διαγράμματα (11.3.1 - 11.3.6) διαφέρουν από αυτά της προηγούμενης παραγράφου (11.2.1 - 11.2.6) μόνο κατά την εσωτερική θερμοκρασία η οποία αυξήθηκε κατά 2°C δηλαδή από $T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ σε $T_{in}=22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ελήφθη δηλαδή ίδιο κτίριο αναφοράς με τις ίδιες τιμές των βασικών παραμέτρων του κελύφους και υπολογίστηκαν οι ημερήσιες καταναλώσεις για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς παραμέτρων και για τους πέντε μήνες θέρμανσης Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο.

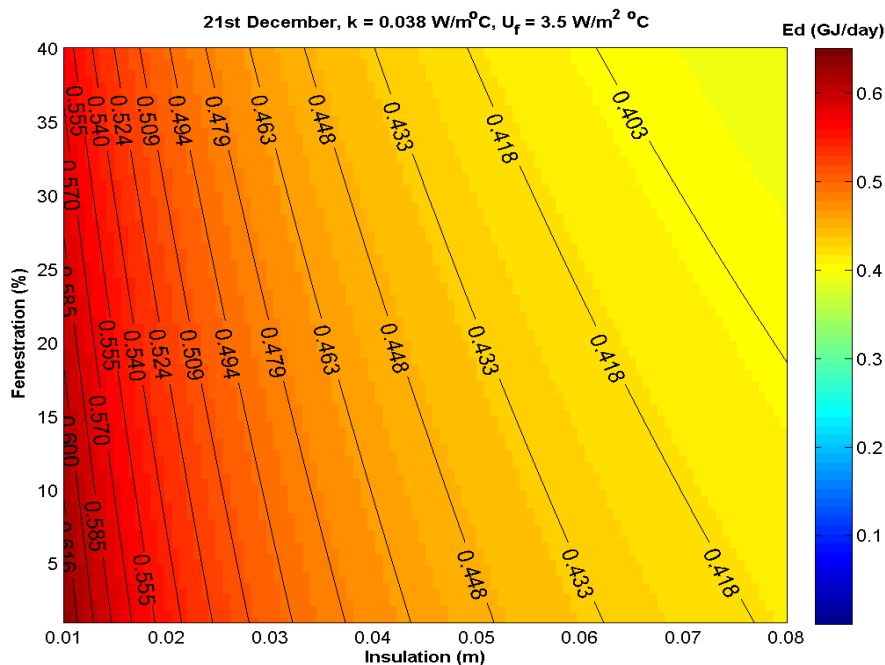
Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας για σταθερές τιμές των παραμέτρων k και U_f και θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος $T_{in}=22^{\circ}\text{C}$.

Στα διαγράμματα 11.3.1(A)-(E) που ακολουθούν παρουσιάζονται ορισμένες ενδεικτικές καμπύλες της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης για αποκατάσταση σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ οι οποίες αντιστοιχούν σε πάχη μόνωσης και ποσοστά επιφάνειας υαλοπινάκων αναγραφόμενα στις κλίμακες αξόνων κάθε σχήματος ενώ διατηρούνται σταθερές οι τιμές των δύο άλλων παραμέτρων, δηλαδή της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης ($k=0,038\text{ W/Mk}$) και του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων ($U_f=3,5\text{ W/m}^2\text{K}$). Οι υπολογισμοί αφορούν την 21^η ημέρα κάθε ενός από τους πέντε μήνες θέρμανσης Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο για τις τυπικές κλιματολογικές συνθήκες της Αθήνας.

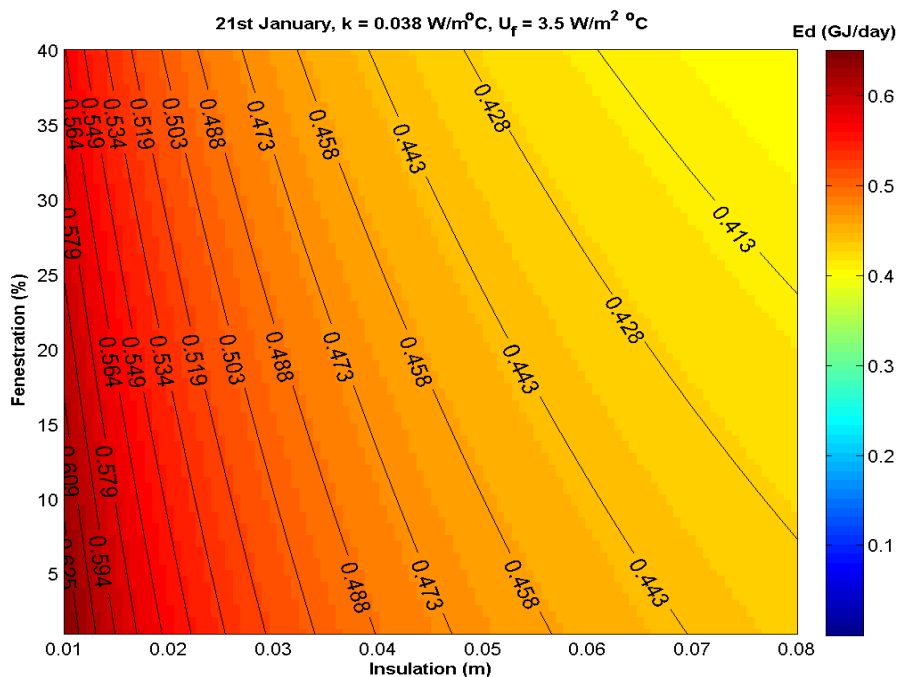
Συγκεκριμένα, η μελέτη μας έγινε για πάχος μόνωσης μεταβαλλόμενο από 1 έως 8 cm και για ποσοστό επιφάνειας υαλοπινάκων επί του κελύφους (εξαιρουμένης της οροφής) μεταβαλλόμενο από 0 έως 40%.



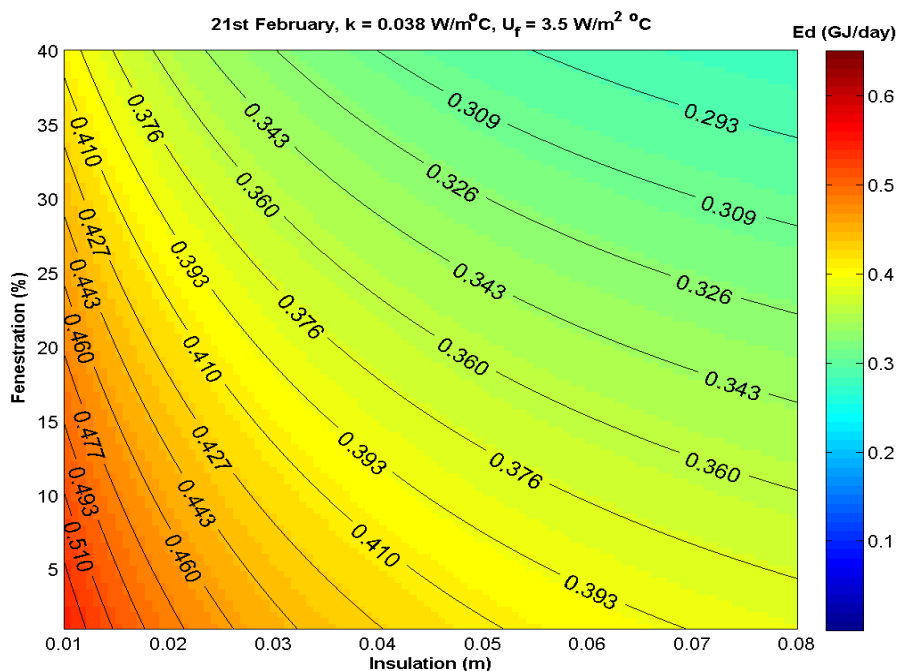
Διάγραμμα 11.3.1(A): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Νοεμβρίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $U_f=3,5\text{W/m}^2\text{K}$ και $k=0,038 \text{ W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $22 \text{ }^\circ\text{C}$.



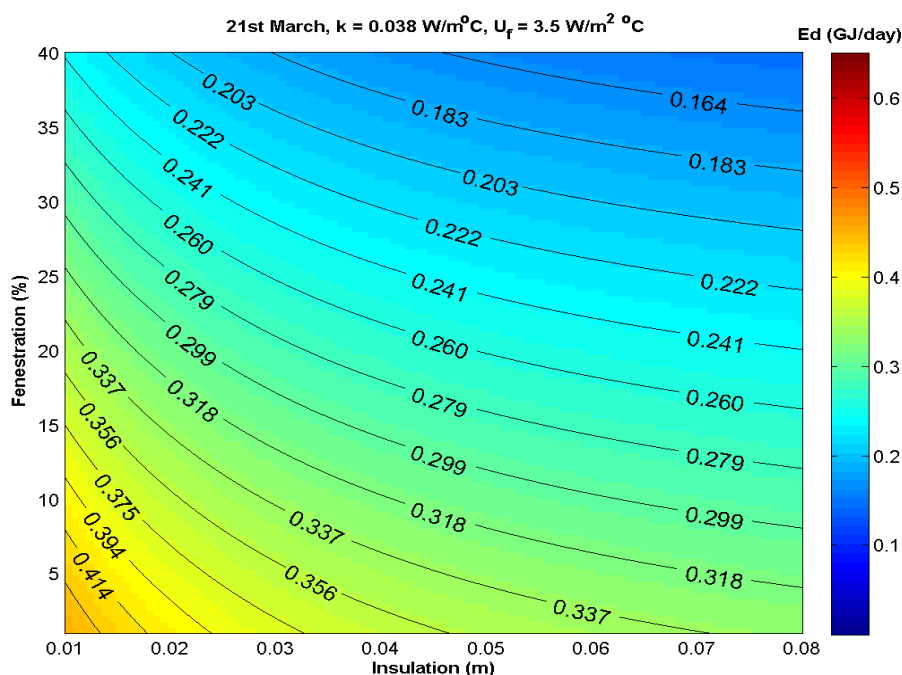
Διάγραμμα 11.3.1(B): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Δεκεμβρίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $U_f=3,5\text{W/m}^2\text{K}$ και $k=0,038 \text{ W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $22 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.3.1(Γ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Ιανουαρίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $U_f=3,5\text{W/m}^2\text{K}$ και $k=0,038 \text{ W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $22 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.3.1(Δ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Φεβρουαρίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $U_f=3,5\text{W/m}^2\text{K}$ και $k=0,038 \text{ W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $22 \text{ }^\circ\text{C}$.

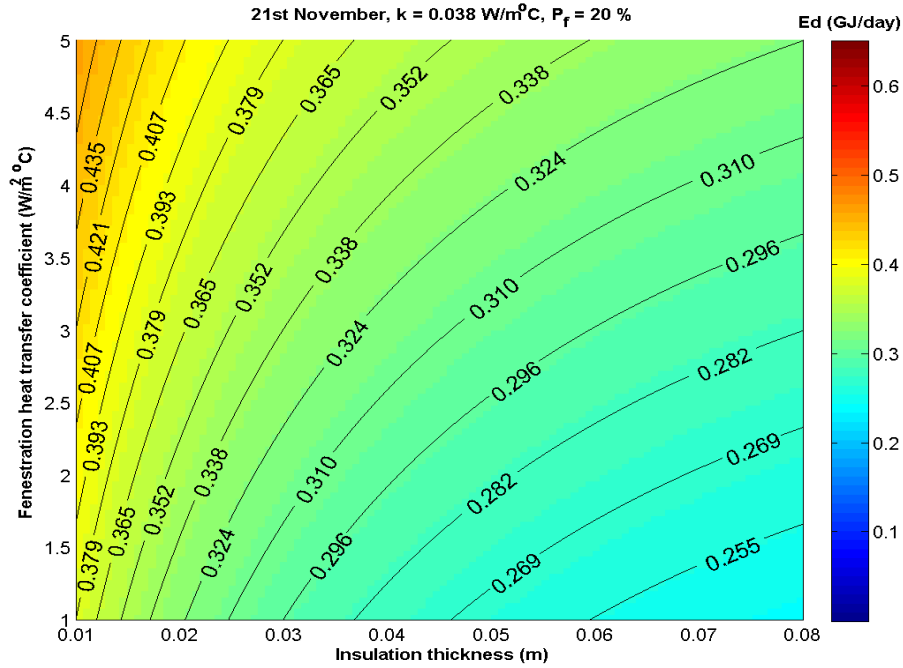


Διάγραμμα 11.3.1(E): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Μαρτίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $U_f=3,5\text{W/m}^2\text{K}$ και $k=0,038\text{W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $22 \text{ }^\circ\text{C}$.

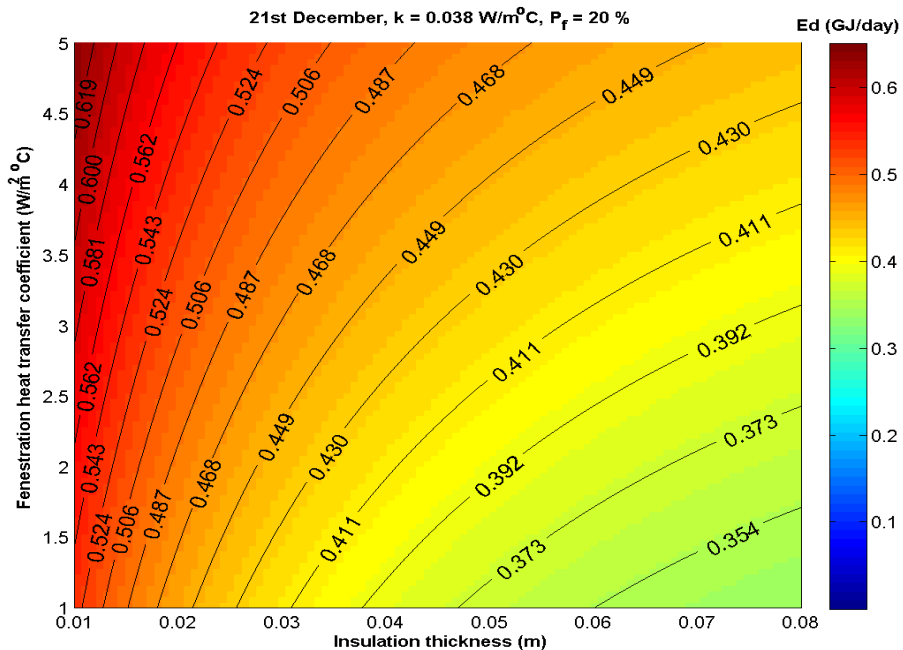
Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας για σταθερές τιμές των παραμέτρων k και P_f και θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος $T_{in}=22 \text{ }^\circ\text{C}$.

Στα διαγράμματα 11.3.2(A)-(E) που ακολουθούν παρουσιάζονται ορισμένες ενδεικτικές καμπύλες της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης για αποκατάσταση σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας $22 \text{ }^\circ\text{C}$ οι οποίες αντιστοιχούν σε πάχη μόνωσης και τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των υαλοπινάκων αναγραφόμενα στις κλίμακες αξόνων κάθε σχήματος ενώ διατηρούνται σταθερές οι τιμές των δύο άλλων παραμέτρων, δηλαδή της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης ($k=0,038 \text{ W/mK}$) και ποσοστού υαλοπινάκων ($P_f=20\%$).

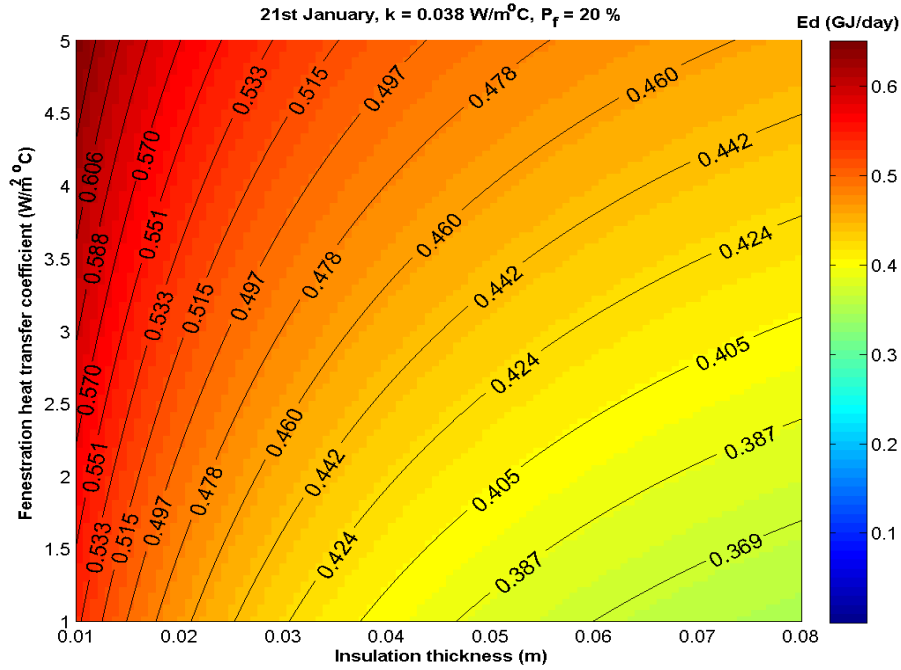
Συγκεκριμένα, η μελέτη μας έγινε για πάχος μόνωσης μεταβαλλόμενο από 1 έως 8 cm και για συντελεστή θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων από 1 έως 5 $\text{W/m}^2\text{K}$ και οι υπολογισμοί αφορούν και πάλι την 21^η ημέρα κάθε ενός από τους πέντε μήνες θέρμανσης Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο για τις τυπικές κλιματολογικές συνθήκες της Αθήνας.



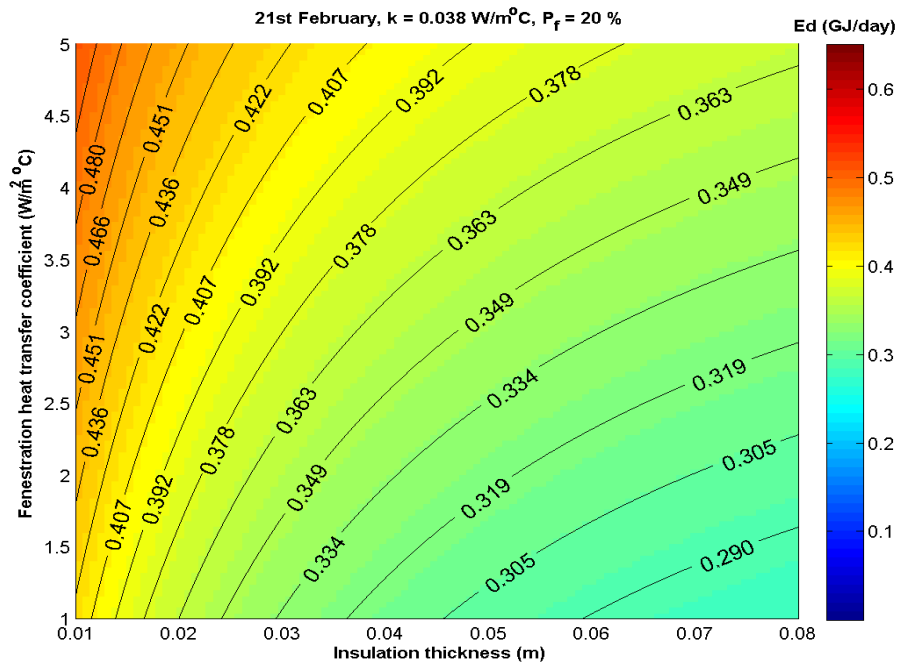
Διάγραμμα 11.3.2(A): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Νοεμβρίου, για πάχη μόνωσης w_i (m) και συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f (%) και σταθερά $P_f=20\%$ και $k=0,038\text{W/m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με 22°C .



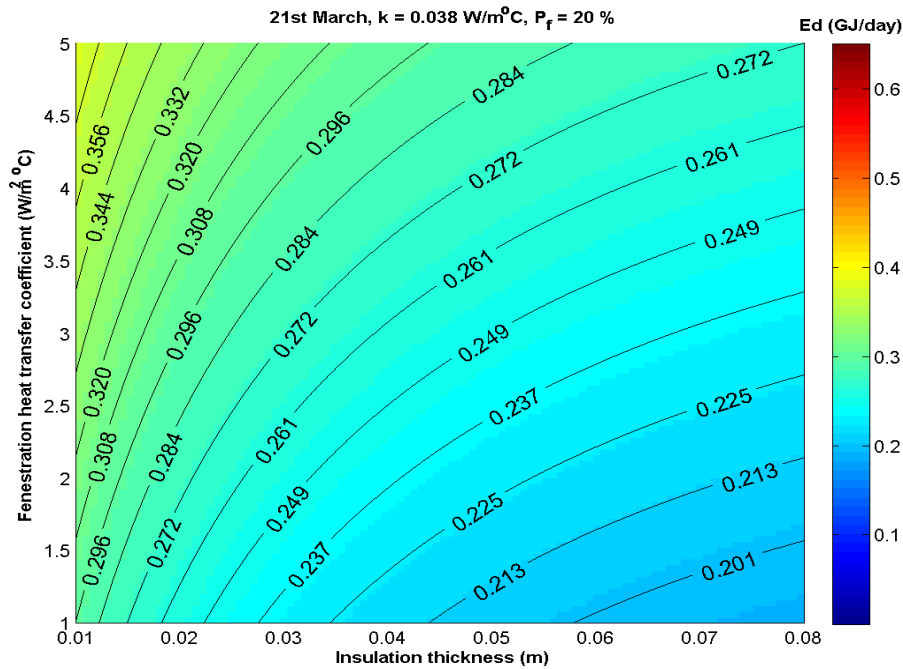
Διάγραμμα 11.3.2(B): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Δεκεμβρίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f (%) και σταθερά $P_f=20\%$ και $k=0,038\text{W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με 22°C .



Διάγραμμα 11.3.2(Γ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Ιανουαρίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f (%) και σταθερά $P_f=20\%$ και $k=0,038\text{W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με 22°C .



Διάγραμμα 11.3.2(Δ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Φεβρουαρίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f (%) και σταθερά $P_f=20\%$ και $k=0,038\text{W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με 22°C .

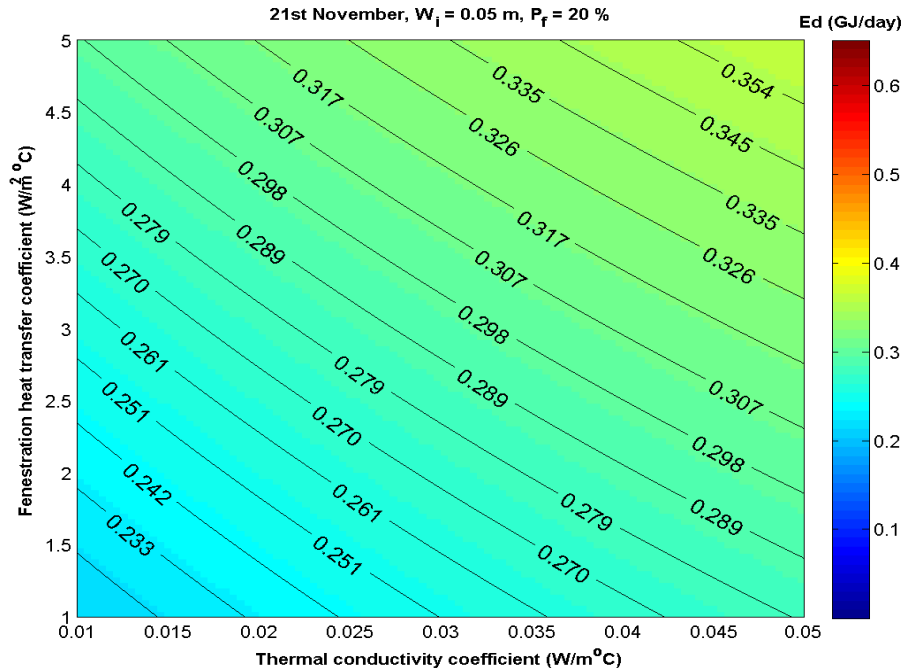


Διάγραμμα 11.3.2(E): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Μαρτίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f (%) και σταθερά $P_f=20\%$ και $k=0,038\text{W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με 22°C .

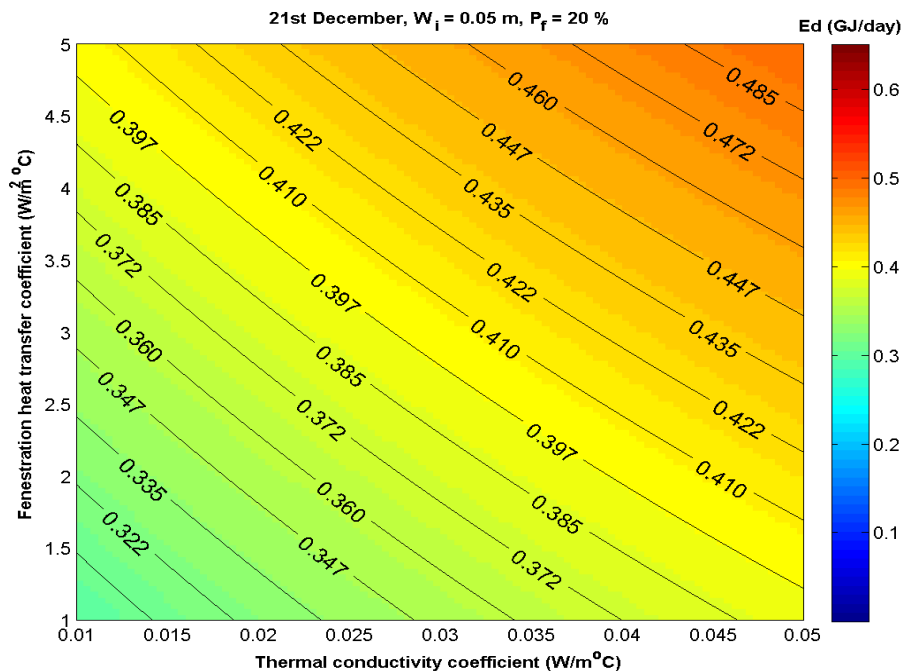
Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας για σταθερές τιμές των παραμέτρων w και P_f και θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος $T_{in}=22^\circ\text{C}$

Στα διαγράμματα 11.3.3 (A) - (E) που ακολουθούν παρουσιάζονται ορισμένες ενδεικτικές καμπύλες της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης για αποκατάσταση σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας 22°C οι οποίες αντιστοιχούν σε τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των υαλοπινάκων και της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης αναγραφόμενα στις κλίμακες αξόνων κάθε σχήματος ενώ διατηρούνται σταθερές οι τιμές των δύο άλλων παραμέτρων, δηλαδή του πάχους της μόνωσης ($w=0,05 \text{ m}$) και του ποσοστού υαλοπινάκων ($P_f=20\%$).

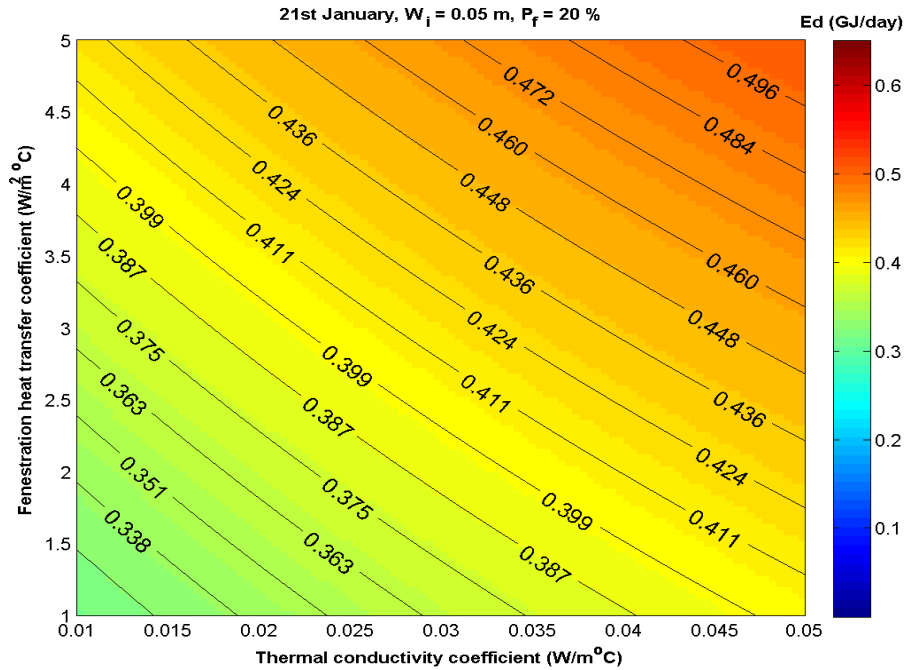
Συγκεκριμένα, η μελέτη μας έγινε για συντελεστή θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων από 1 έως $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και για ειδική θερμική αγωγιμότητα που κυμαίνεται από 0,01 έως $0,05 \text{ W/mK}$ και οι υπολογισμοί αφορούν και πάλι την 21^η ημέρα κάθε ενός από τους πέντε μήνες θέρμανσης Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο για τις τυπικές κλιματολογικές συνθήκες της Αθήνας.



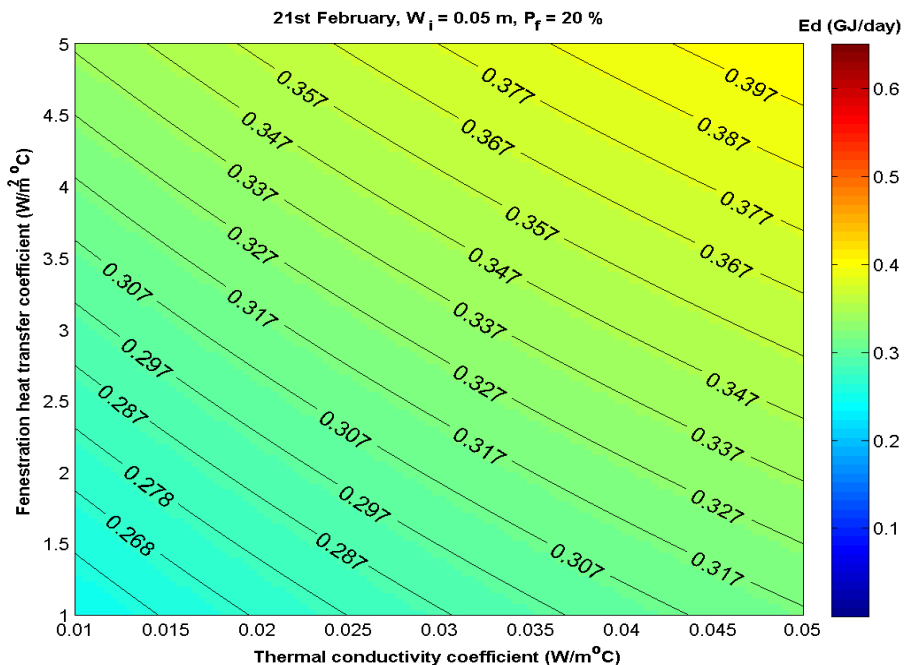
Διάγραμμα 11.3.3(A): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Νοεμβρίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f (W/m^2K), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $P_f=20\%$ και $w=0,05m$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με 22 °C.



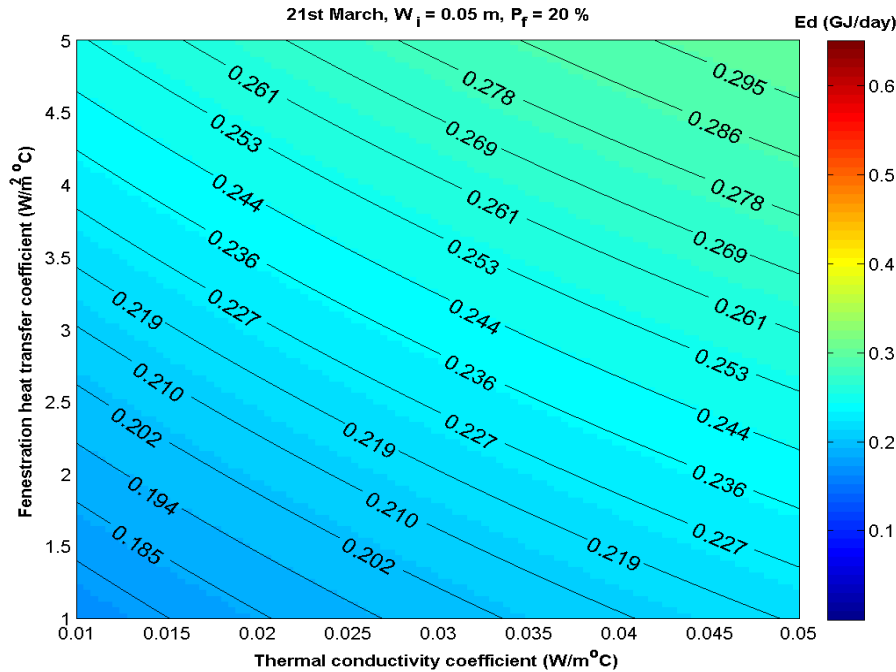
Διάγραμμα 11.3.3(B): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Δεκεμβρίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f (W/m^2K), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $P_f=20\%$ και $w=0,05m$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με 22 °C.



Διάγραμμα 11.3.3(Γ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Ιανουαρίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W/m}^2\text{K}$), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $P_f=20\%$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με 22°C .



Διάγραμμα 11.3.3(Δ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Φεβρουαρίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W/m}^2\text{K}$), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $P_f=20\%$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με 22°C .

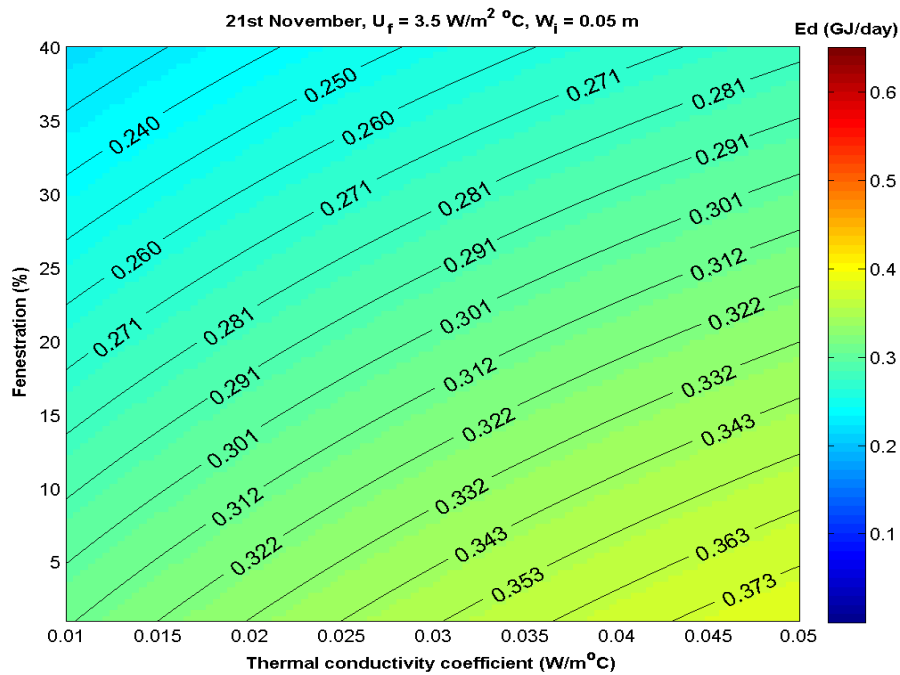


Διάγραμμα 11.3.3(E): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Μαρτίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f (W/m²K), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $P_f=20\%$ και $w=0,05$ m. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με 22 °C.

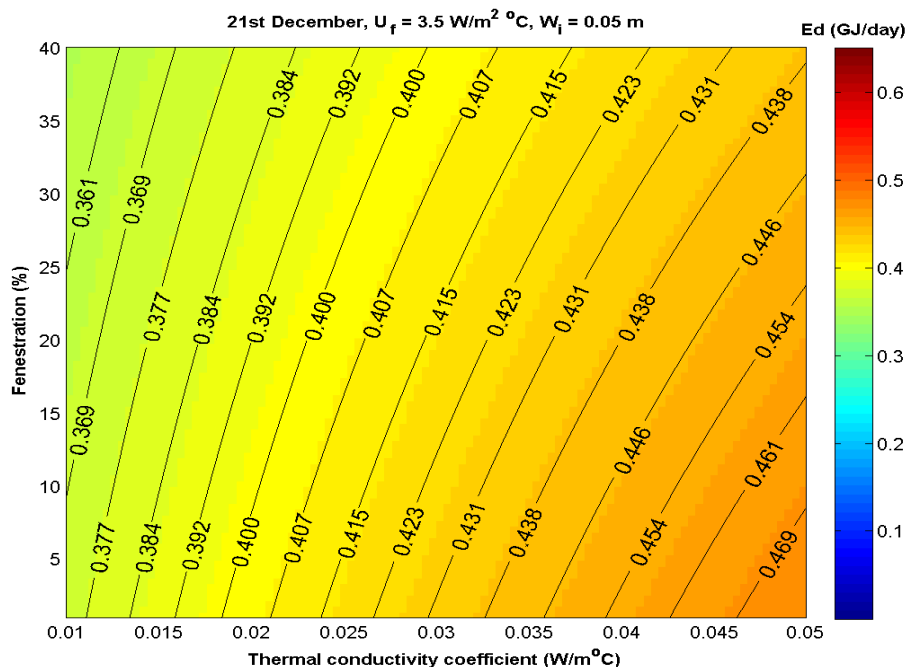
Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας για σταθερές τιμές των παραμέτρων w και U_f και θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος $T_{in}=22$ °C

Στα διαγράμματα 11.3.4(A)-(E) που ακολουθούν παρουσιάζονται ορισμένες ενδεικτικές καμπύλες της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης για αποκατάσταση σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας 22 °C οι οποίες αντιστοιχούν σε τιμές του συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης και του ποσοστού της επιφάνειας των υαλοπινάκων αναγραφόμενα στις κλίμακες αξόνων κάθε σχήματος ενώ διατηρούνται σταθερές οι τιμές των δύο άλλων παραμέτρων, δηλαδή του πάχους της μόνωσης ($w=0,05$ m) και του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων ($U_f=3,5$ W/m²K) .

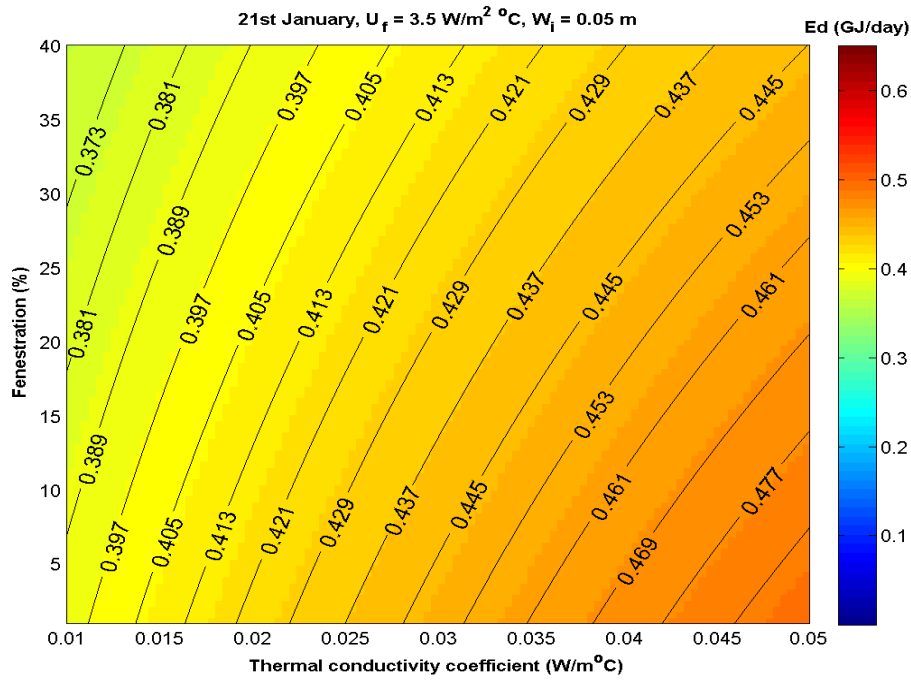
Συγκεκριμένα, η μελέτη μας έγινε για συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας που κυμαίνεται από 0,01 έως 0,05 W/mK και ποσοστό υαλοπινάκων P_f από 0 έως 40% ενώ οι υπολογισμοί αφορούν και πάλι την 21^η ημέρα κάθε ενός από τους πέντε μήνες θέρμανσης Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο για τις τυπικές κλιματολογικές συνθήκες της Αθήνας.



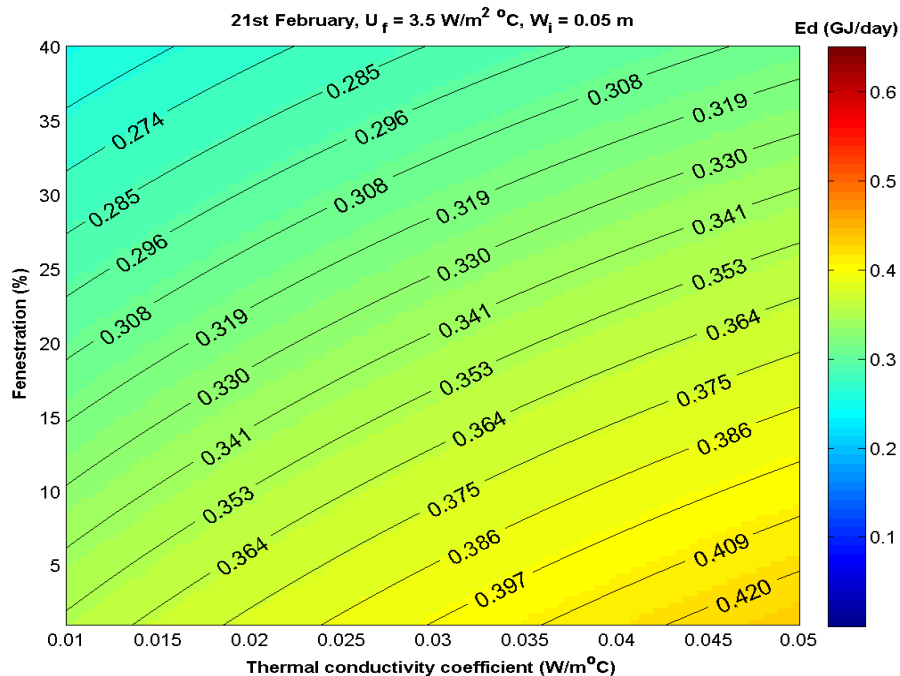
Διάγραμμα 11.3.4(A): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Νοεμβρίου, για ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $22 \text{ }^\circ\text{C}$.



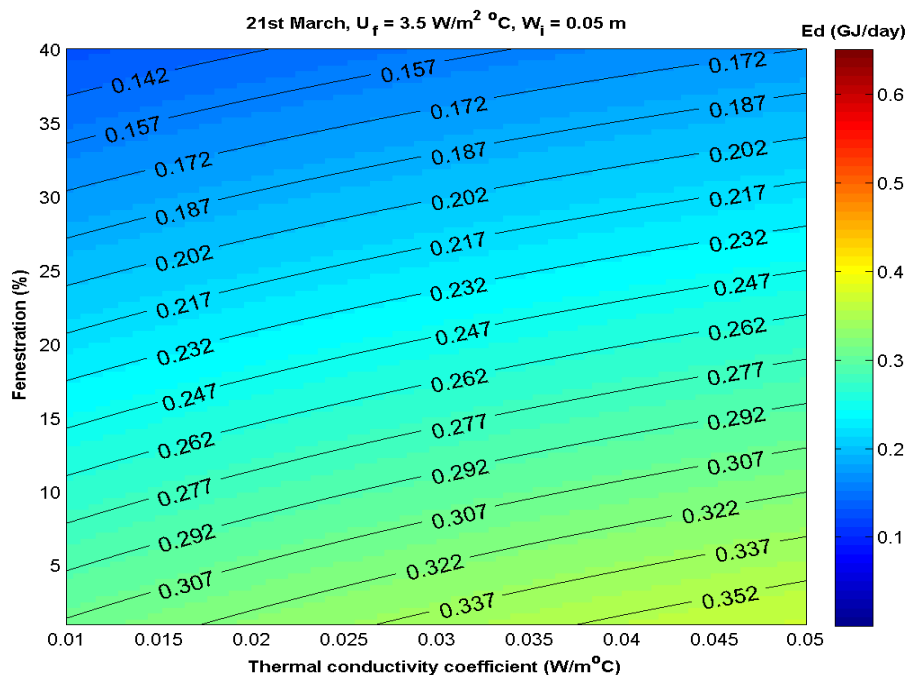
Διάγραμμα 11.3.4(B): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Δεκεμβρίου, για ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $22 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.3.4(Γ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Ιανουαρίου, για ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $22 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.3.4(Δ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Φεβρουαρίου, για ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $22 \text{ }^\circ\text{C}$.

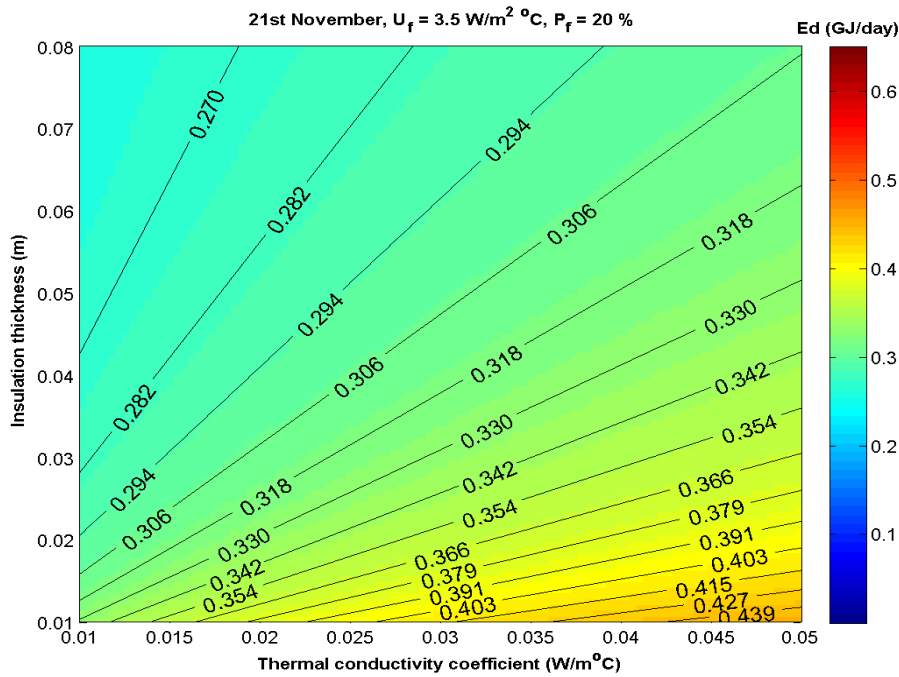


Διάγραμμα 11.3.4(E): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Μαρτίου, για ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $22 \text{ }^\circ\text{C}$.

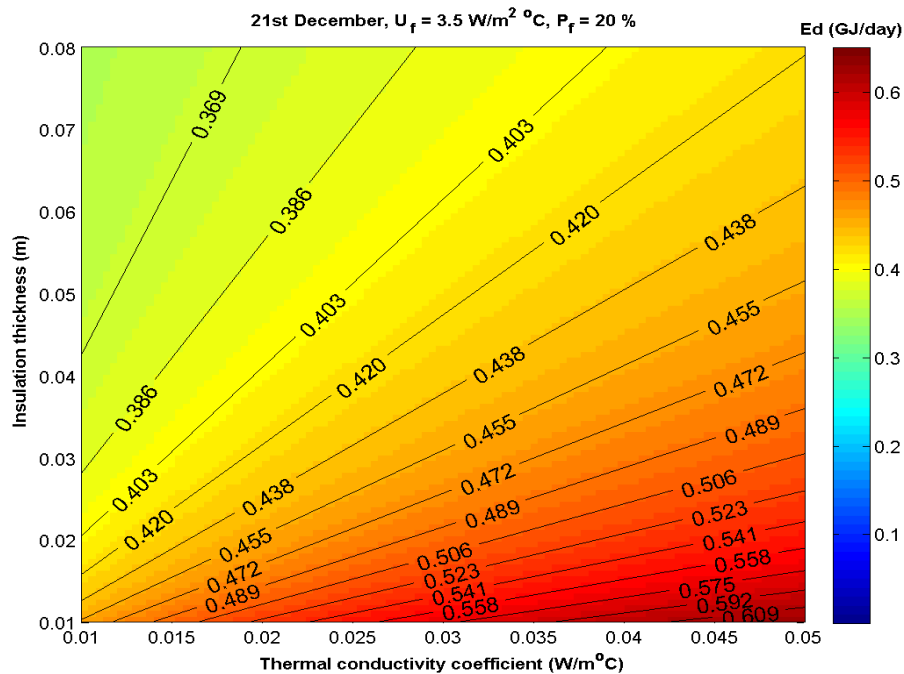
Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας για σταθερές τιμές των παραμέτρων P_f και U_f και θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος $T_{in}=22 \text{ }^\circ\text{C}$

Στα διαγράμματα 11.3.5(A)-(E) που ακολουθούν παρουσιάζονται ορισμένες ενδεικτικές καμπύλες της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης για αποκατάσταση σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας ίσης με $22 \text{ }^\circ\text{C}$, οι οποίες αντιστοιχούν σε τιμές του συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης και του πάχους της μόνωσης αναγραφόμενα στις κλίμακες αξόνων κάθε σχήματος ενώ διατηρούνται σταθερές οι τιμές των δύο άλλων παραμέτρων, δηλαδή του ποσοστού υαλοπινάκων ($P_f=20\%$) και του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων ($U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$).

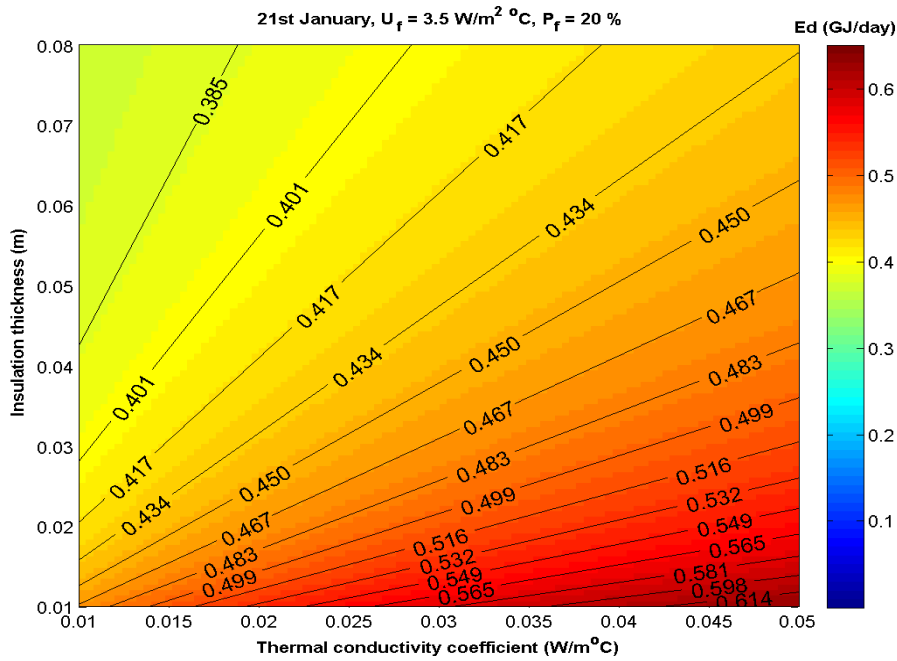
Συγκεκριμένα, η μελέτη μας έγινε για συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας που κυμαίνεται από $0,01$ έως $0,05 \text{ W/mK}$ και πάχος μόνωσης από $0,01$ έως $0,08 \text{ m}$ ενώ οι υπολογισμοί αφορούν και πάλι την 21^η ημέρα κάθε ενός από τους πέντε μήνες θέρμανσης Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο για τις τυπικές κλιματολογικές συνθήκες της Αθήνας.



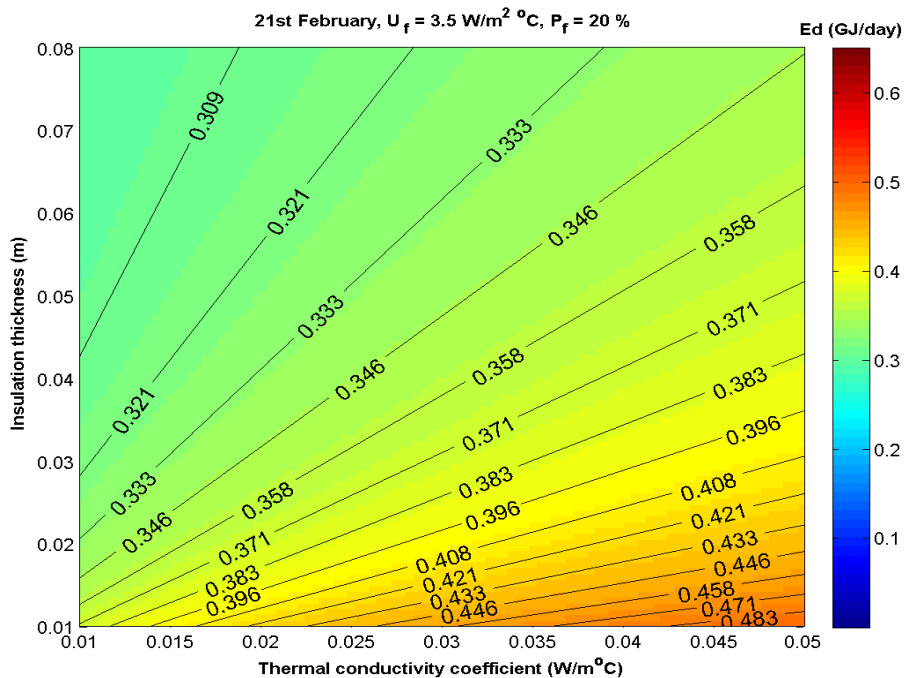
Διάγραμμα 11.3.5(A): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Νοεμβρίου, για συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK), πάχη μόνωσης w (m) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και ποσοστό υαλοπινάκων $P_f=20\%$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $22 \text{ }^\circ\text{C}$.



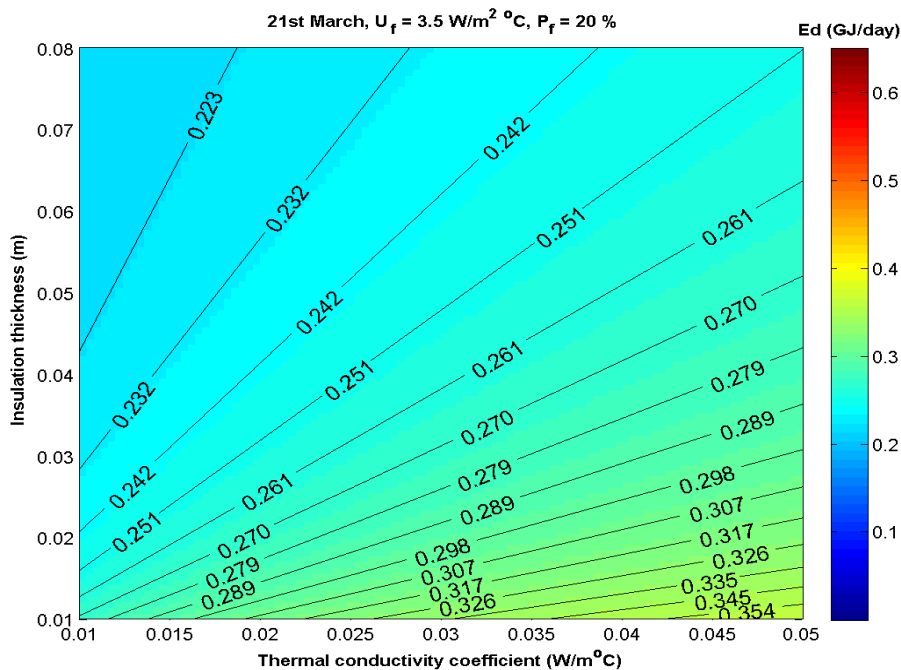
Διάγραμμα 11.3.5(B): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Δεκεμβρίου, για συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK), πάχη μόνωσης w (m) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και ποσοστό υαλοπινάκων $P_f=20\%$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $22 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.3.5(Γ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Ιανουαρίου, για συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK), πάχη μόνωσης w (m) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και ποσοστό υαλοπινάκων $P_f=20\%$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $22 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.3.5(Α): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Φεβρουαρίου, για συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK), πάχη μόνωσης w (m) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και ποσοστό υαλοπινάκων $P_f=20\%$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $22 \text{ }^\circ\text{C}$.

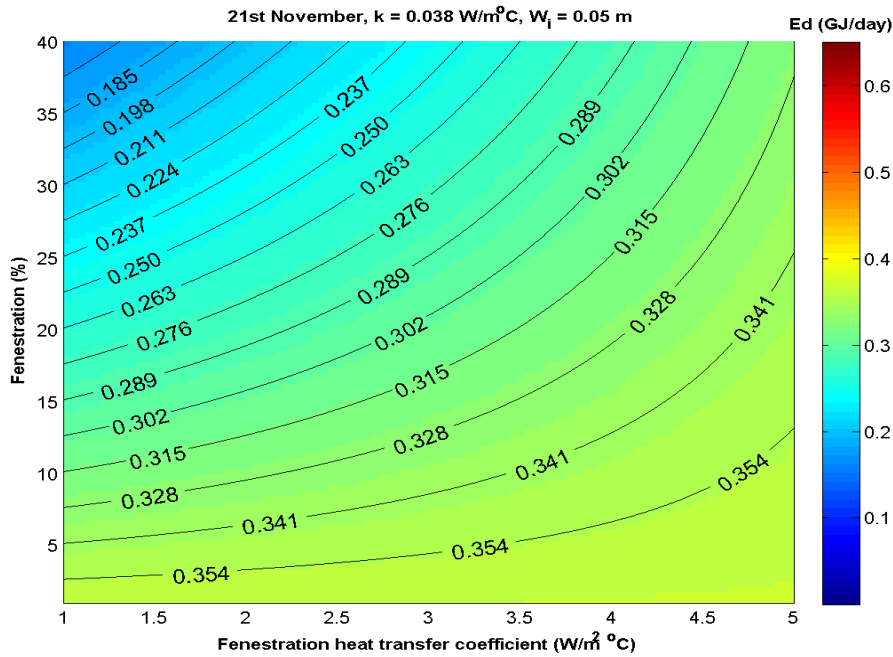


Διάγραμμα 11.3.5(E): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Μαρτίου, για συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK), πάχη μόνωσης w (m) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και ποσοστό υαλοπινάκων $P_f=20\%$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $22 \text{ }^\circ\text{C}$.

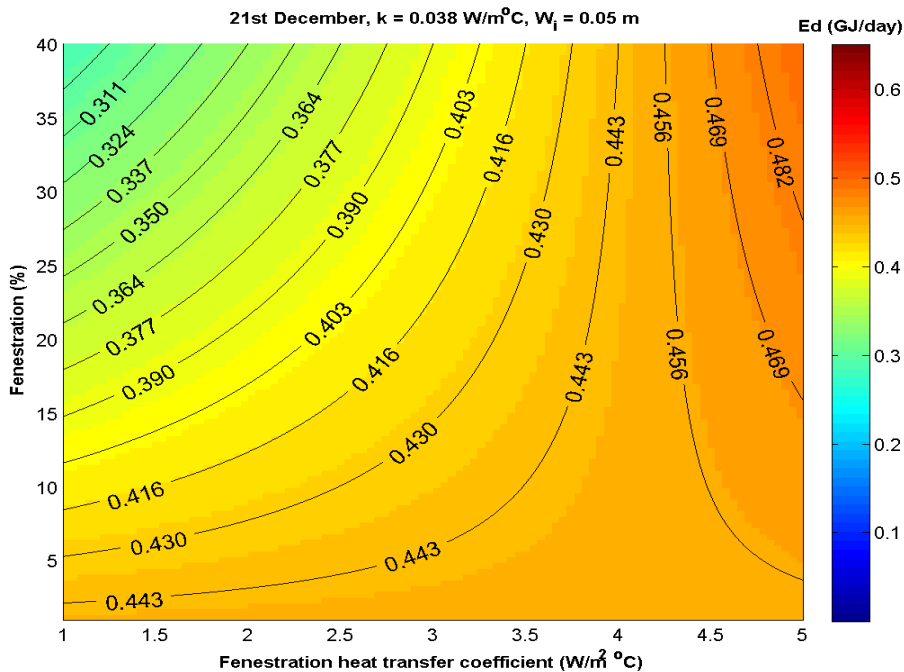
Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας για σταθερές τιμές των παραμέτρων k και w και θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος $T_{in}=22 \text{ }^\circ\text{C}$

Στα διαγράμματα 11.3.6(A)-(E) που ακολουθούν παρουσιάζονται ορισμένες ενδεικτικές καμπύλες της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης για αποκατάσταση σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας $22 \text{ }^\circ\text{C}$ οι οποίες αντιστοιχούν σε τιμές του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας και του ποσοστού της επιφάνειας υαλοπινάκων αναγραφόμενα στις κλίμακες αξόνων κάθε σχήματος ενώ διατηρούνται σταθερές οι τιμές των δύο άλλων παραμέτρων, δηλαδή συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας ($k=0,038 \text{ W/mK}$) και του πάχους της μόνωσης ($w=0,05\text{m}$).

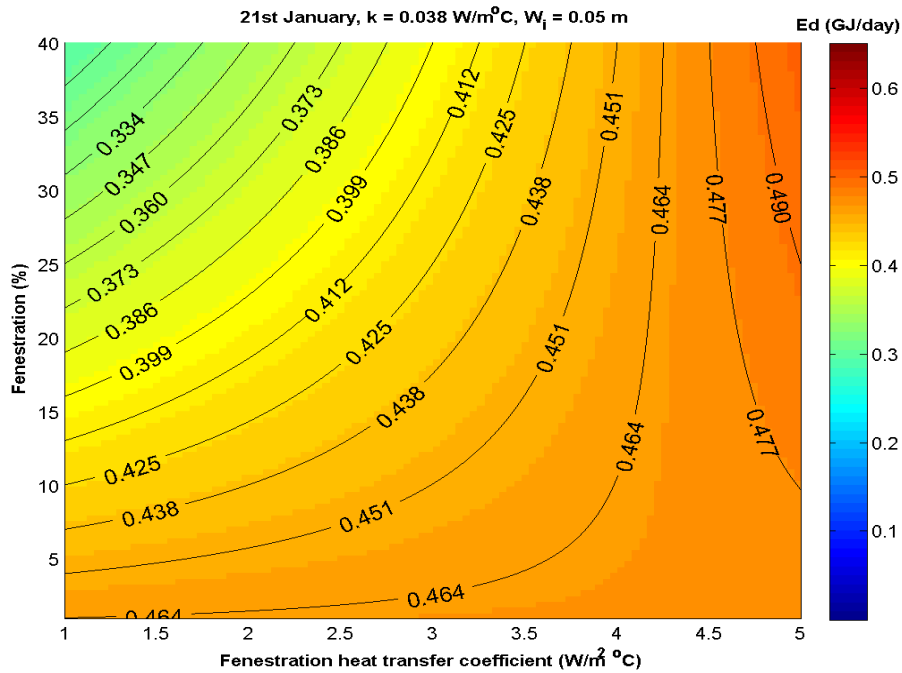
Συγκεκριμένα, η μελέτη μας έγινε για συντελεστή θερμικής διαπερατότητας που κυμαίνεται από 1 έως $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και ποσοστό υαλοπινάκων από 0 έως 40% ενώ οι υπολογισμοί αφορούν και πάλι την 21^η ημέρα κάθε ενός από τους πέντε μήνες θέρμανσης Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο για τις τυπικές κλιματολογικές συνθήκες της Αθήνας.



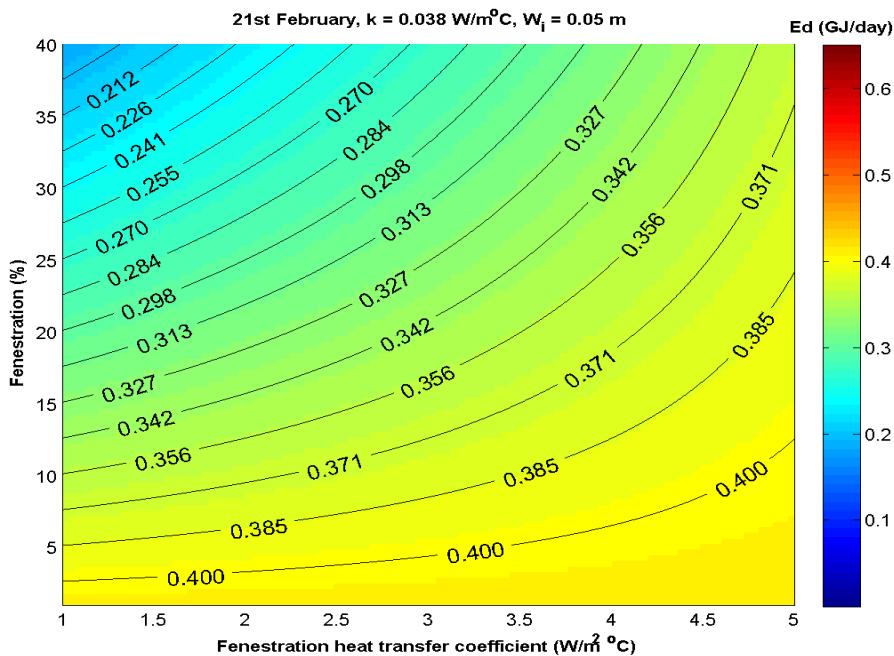
Διάγραμμα 11.3.6(A): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Νοεμβρίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W/m}^2\text{K}$), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $k=0,038 \text{ W/mK}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $22 \text{ } ^\circ\text{C}$.



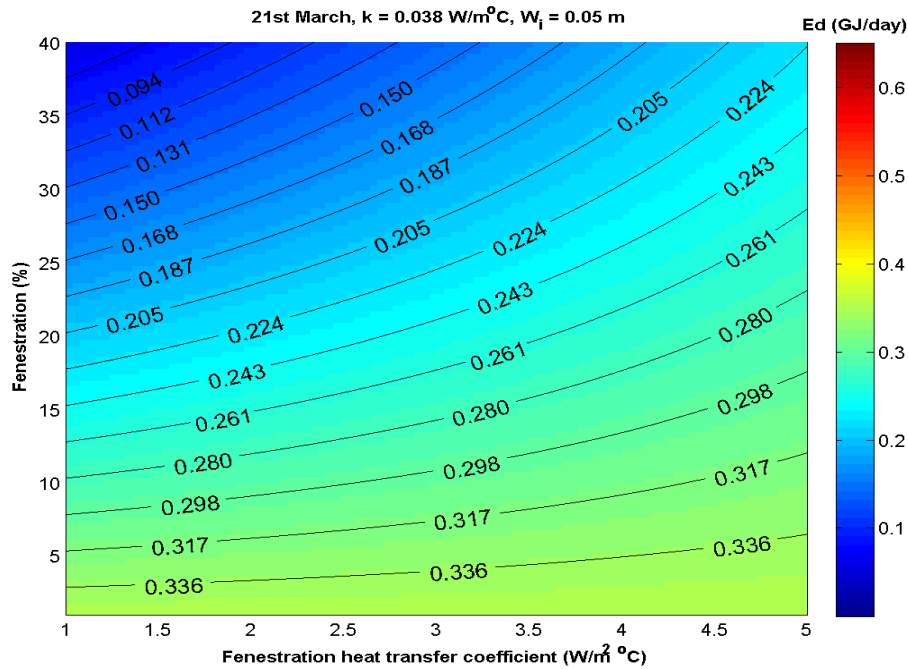
Διάγραμμα 11.3.6(B): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Δεκεμβρίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W/m}^2\text{K}$), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $k=0,038 \text{ W/mK}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $22 \text{ } ^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.3.6(Γ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Ιανουαρίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W/m}^2\text{K}$), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $k=0,038 \text{ W/mK}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με 22 °C .



Διάγραμμα 11.3.6(Δ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Φεβρουαρίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W/m}^2\text{K}$), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $k=0,038 \text{ W/mK}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με 22 °C .



Διάγραμμα 11.3.6(E): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Μαρτίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W/m}^2\text{K}$), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $k=0,038 \text{ W/mK}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $22 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Συμπεράσματα σύγκρισης της επίδρασης των κυρίων παραμέτρων του κελύφους για την περίπτωση διατήρησης θερμοκρασίας εσωτερικού περιβάλλοντος $T_{in}=20 \text{ } ^\circ\text{C}$ και για αύξηση της κατά $2 \text{ } ^\circ\text{C}$

Τα παραπάνω διαγράμματα της ενότητας 11.3 διακύμανσης ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των βασικών παραμέτρων του κελύφους και για διατήρηση θερμοκρασίας εσωτερικού περιβάλλοντος $T_{in}=22^\circ\text{C}$ ακολουθούν γενικά ίδια ροή αποτελεσμάτων με τα αντίστοιχα της ενότητας 11.2, όπου η θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος ήταν ίση με $T_{in}=20^\circ\text{C}$. Ωστόσο ενδιαφέρον παρουσιάζουν ορισμένα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από τη σύγκριση των διαγραμμάτων των δύο αυτών ενοτήτων:

- Με την αύξηση της θερμοκρασίας εσωτερικού περιβάλλοντος κατά 2°C παρατηρείται αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης E_d η οποία δεν είναι ομοιόμορφη αλλά ο μέσος όρος της τιμής της για όλους τους συνδυασμούς των παραμέτρων μόνωσης και υαλοπινάκων είναι $\Delta E_d=0,12 \text{ GJ}$.
- Για σταθερή τιμή του πάχους μόνωσης, του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης και του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων

μια ενδεχόμενη αύξηση κατά μία σταθερή τιμή του ποσοστού υαλοπινάκων προκαλεί μεγαλύτερη μείωση στη κατανάλωση ενέργειας όταν η θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος διατηρείται στους 20 °C απ' ότι στους 22 °C.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αυξάνοντας το ποσοστό υαλοπινάκων αυξάνεται το θερμικό ηλιακό κέρδος, παράλληλα όμως αυξάνονται και οι απώλειες δι' αγωγής μέσω υαλοπινάκων. Στην περίπτωση μας για ίδια χαρακτηριστικά κελύφους και μόνη διαφορά στην εσωτερική θερμοκρασία ίδια αύξηση του P_f προκαλεί ίδια αύξηση στο θερμικό ηλιακό κέρδος αλλά μεγαλύτερη αύξηση στις απώλειες υαλοπινάκων δι' αγωγής στην περίπτωση διατήρησης υψηλότερης εσωτερικής θερμοκρασίας. Αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς η τιμή των απωλειών δι' αγωγής μέσω υαλοπινάκων είναι ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος και στην περίπτωση των 22 °C η διαφορά αυτή είναι μεγαλύτερη.

Συνεπώς, αύξηση του ποσοστού υαλοπινάκων επιφέρει ίδια αύξηση του θερμικού ηλιακού κέρδους και στις δύο περιπτώσεις αλλά μεγαλύτερη αύξηση των απωλειών δι' αγωγής μέσω των υαλοπινάκων όταν η εσωτερική θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη. Είναι λοιπόν φανερό ότι ίδια αύξηση του ποσοστού υαλοπινάκων προκαλεί μεγαλύτερη πτώση της ενεργειακής κατανάλωσης στην περίπτωση διατήρησης εσωτερικής θερμοκρασίας ίσης με 20 °C.

- Διατηρώντας σταθερή την τιμή του ποσοστού υαλοπινάκων, του συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας και του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων και αυξάνοντας κατά μια σταθερή κάθε φορά τιμή το πάχος μόνωσης w παρατηρείται μεγαλύτερη πτώση της τιμής της ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης στην περίπτωση της διατήρησης εσωτερικής θερμοκρασίας στους 22 °C.

Αυτό οφείλεται στο ότι αυξάνοντας το πάχος μόνωσης μειώνονται οι απώλειες δι' αγωγής μέσω οροφών και τοίχων, η τιμή των οποίων εξαρτάται από τη διαφορά της ισοδύναμης θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος. Στην περίπτωση λοιπόν με εσωτερική θερμοκρασία υψηλότερη και συνεπώς διαφορά θερμοκρασίας μεγαλύτερη, ίδια αύξηση του πάχους μόνωσης προκαλεί μεγαλύτερη πτώση στις απώλειες δι' αγωγής και άρα στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση.

- Για σταθερή τιμή του πάχους μόνωσης, του συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας και του ποσοστού υαλοπινάκων αύξηση κατά μία σταθερή τιμή του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων προκαλεί μεγαλύτερη αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας στην περίπτωση μελέτης με θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος $T_{in}=22^{\circ}C$.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αύξηση του συντελεστή U_f προκαλεί αύξηση των απωλειών δι' αγωγής υαλοπινάκων η τιμή των οποίων εξαρτάται από τη

διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού εξωτερικού περιβάλλοντος. Στη περίπτωση της αυξημένης θερμοκρασίας εσωτερικού περιβάλλοντος ίδια αύξηση του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων προκαλεί μεγαλύτερες απώλειες δι' αγωγής μέσω αυτών και συνεπώς μεγαλύτερη άνοδο στην ενεργειακή κατανάλωση.

- Για σταθερό συντελεστή θερμικής διαπερατότητας, ποσοστού υαλοπινάκων και πάχους μόνωσης αύξηση κατά μία σταθερή τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης επιφέρει μεγαλύτερη αύξηση στην ενεργειακή κατανάλωση στην περίπτωση αυξημένης εσωτερικής θερμοκρασίας.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι απώλειες δι' αγωγής μέσω τοίχων και οροφών εξαρτώνται από τη διαφορά ισοδύναμης θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος η οποία είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση διατήρησης της θερμοκρασίας εσωτερικού περιβάλλοντος στους 22 °C.

Συνεπώς, ίδια μεταβολή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας επιδρά περισσότερο στη τιμή της ενεργειακής κατανάλωσης στην περίπτωση της αυξημένης εσωτερικής θερμοκρασίας στο κέλυφος.

- Συγκρίνοντας συνολικά τα διαγράμματα της παραγράφου 11.2 με τα αντίστοιχα της παραγράφου 11.1 παρατηρούμε ότι η επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας εσωτερικού περιβάλλοντος κατά 2°C στην ενεργειακή κατανάλωση για ένα συγκεκριμένο συνδυασμό παραμέτρων μόνωσης και υαλοπινάκων είναι η ίδια για όλους τους μήνες θέρμανσης. Δηλαδή, η αύξηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού περιβάλλοντος επιφέρει αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, σταθερή και ίση για όλους τους μήνες θέρμανσης για ένα συγκεκριμένο συνδυασμό παραμέτρων.

11.4 Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας για βελτιωμένη κατανομή υαλοπινάκων

Όπως και στις προηγούμενες ενότητες, έτσι και εδώ θα μελετηθεί η ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου αναφοράς κατά την 21^η ημέρα κάθε μήνα θέρμανσης συναρτήσει των παραμέτρων της μόνωσης και των υαλοπινάκων, δηλαδή των τεσσάρων κυριότερων παραμέτρων (w , k , U_f , P_f) μέσω διαγραμμάτων στα οποία δίνονται οι καμπύλες σταθερής ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης για το κτίριο αναφοράς το οποίο χρησιμοποιήθηκε και στους προηγούμενους υπολογισμούς μας.

Οι καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης που παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο υπολογίστηκαν κατά τον ίδιο τρόπο που περιγράψαμε στα παραπάνω με τη διαφορά ότι εδώ θεωρήθηκε διαφορετική κατανομή των υαλοπινάκων στο κέλυφος με σκοπό την προσέγγιση της πραγματικής κατάστασης στα κτίρια και την μελέτη της επίδρασης των τεσσάρων κύριων παραμέτρων στην ενεργειακή κατανάλωση για αυτή την περίπτωση κτιριακού κελύφους. Πιο συγκεκριμένα, θεωρήθηκε ότι η συνολική επιφάνεια των υαλοπινάκων που προκύπτει κάθε φορά από το ποσοστό της επιφάνειας των υαλοπινάκων, P_f , επί του κελύφους (εξαιρουμένης της οροφής) διανέμεται κατά 50% στην νότια όψη του κτιρίου, κατά 25% στην ανατολική όψη και κατά 25% στη δυτική όψη του κτιρίου, ενώ στη βόρεια όψη δεν υπάρχουν υαλοπίνακες.

Συνήθως, στις βόρειες όψεις των κτιρίων δεν τοποθετούνται υαλοπίνακες καθώς όπως ήδη παρουσιάστηκε οι βόρειες επιφάνειες του κτιρίου δέχονται μόνο διάχυτη και όχι άμεση ακτινοβολία, με αποτέλεσμα οι υαλοπίνακες με βόρειο προσανατολισμό να παρουσιάζουν μικρότερο ηλιακό θερμικό κέρδος σε σχέση με ίσης επιφάνειας υαλοπίνακες των άλλων προσανατολισμών. Αντίθετα, οι νότιοι υαλοπίνακες δέχονται την μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία. Συνεπώς, το ηλιακό θερμικό κέρδος από τους νότιους υαλοπίνακες είναι μεγαλύτερο σε σχέση με αυτό που προκύπτει από ίσης επιφάνειας υαλοπίνακες στον ανατολικό, δυτικό ή βόρειο προσανατολισμό και για αυτό επιλέχθηκε στην νότια όψη του κτιρίου να τοποθετούνται περισσότεροι υαλοπίνακες συγκριτικά με την ανατολική και δυτική όψη αυτού.

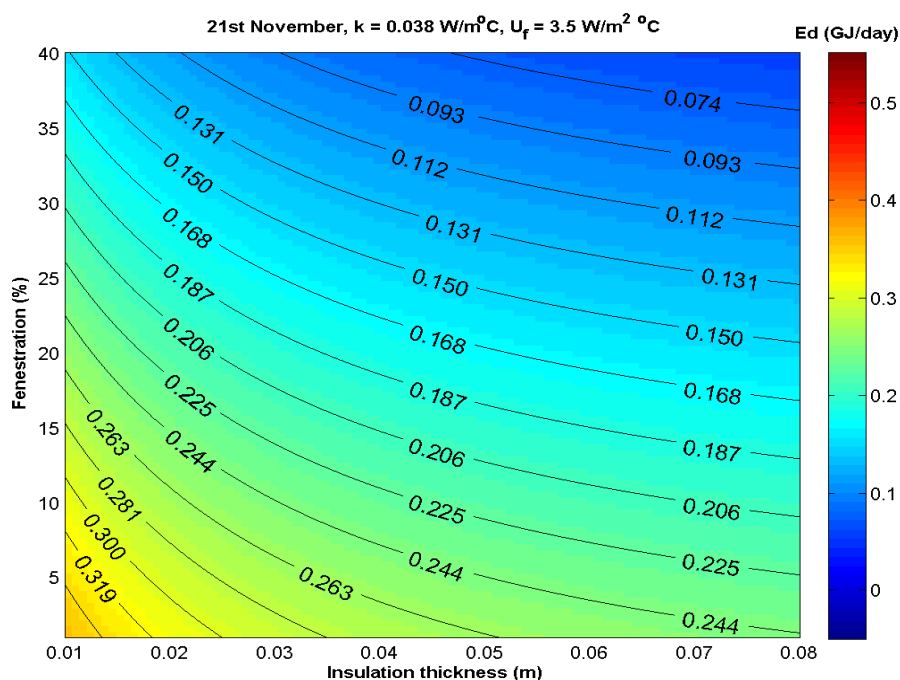
Στα διαγράμματα λοιπόν που ακολουθούν παρουσιάζονται οι καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης για αποκατάσταση σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας 20 °C οι οποίες αντιστοιχούν και πάλι σε όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των τεσσάρων κυρίων παραμέτρων.

Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας για σταθερές τιμές των παραμέτρων k και U_f

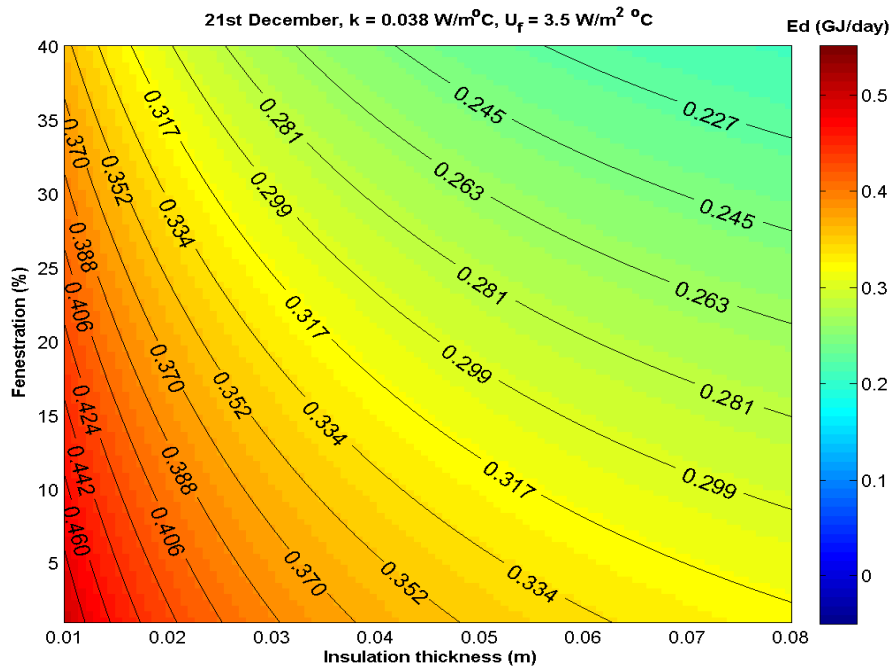
Στα διαγράμματα 11.4.1(A)-(E) που ακολουθούν παρουσιάζονται ορισμένες ενδεικτικές καμπύλες της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης στο βελτιωμένο κτίριο αναφοράς για αποκατάσταση σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας

20°C, οι οποίες αντιστοιχούν σε πάχη μόνωσης και ποσοστά επιφάνειας υαλοπινάκων αναγραφόμενα στις κλίμακες αξόνων κάθε σχήματος ενώ διατηρούνται σταθερές οι τιμές των δύο άλλων παραμέτρων, δηλαδή της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης ($k=0,038 \text{ W/Mk}$) και του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων ($U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$). Οι υπολογισμοί αφορούν την 21^η ημέρα κάθε ενός από τους πέντε μήνες θέρμανσης Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο για τις τυπικές κλιματολογικές συνθήκες της Αθήνας.

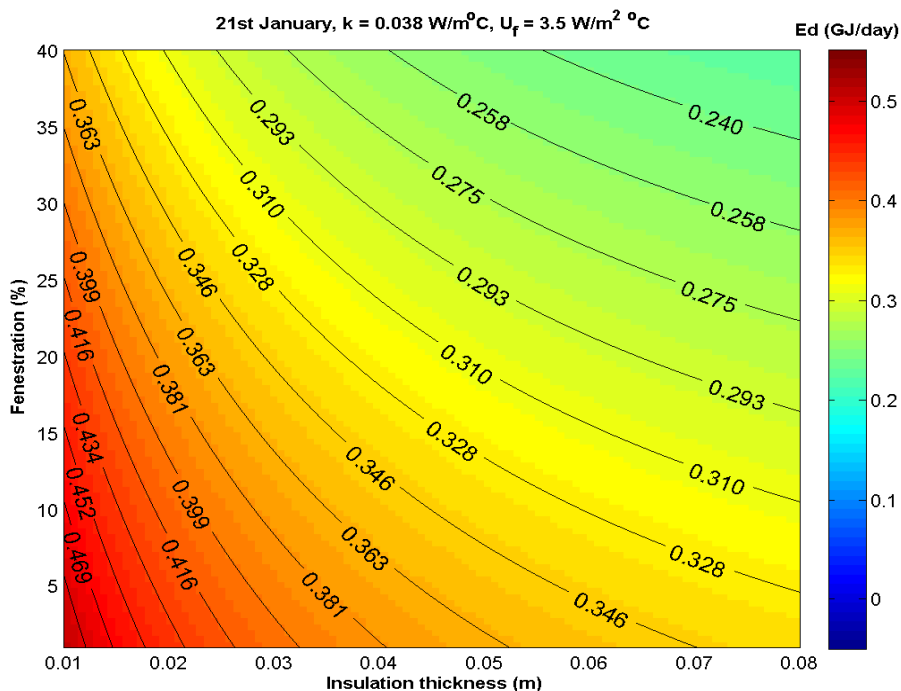
Συγκεκριμένα, η μελέτη μας έγινε για πάχος μόνωσης μεταβαλλόμενο από 1 έως 8 cm και για ποσοστό επιφάνειας υαλοπινάκων επί του κελύφους (εξαιρουμένης της οροφής) μεταβαλλόμενο από 0 έως 40%.



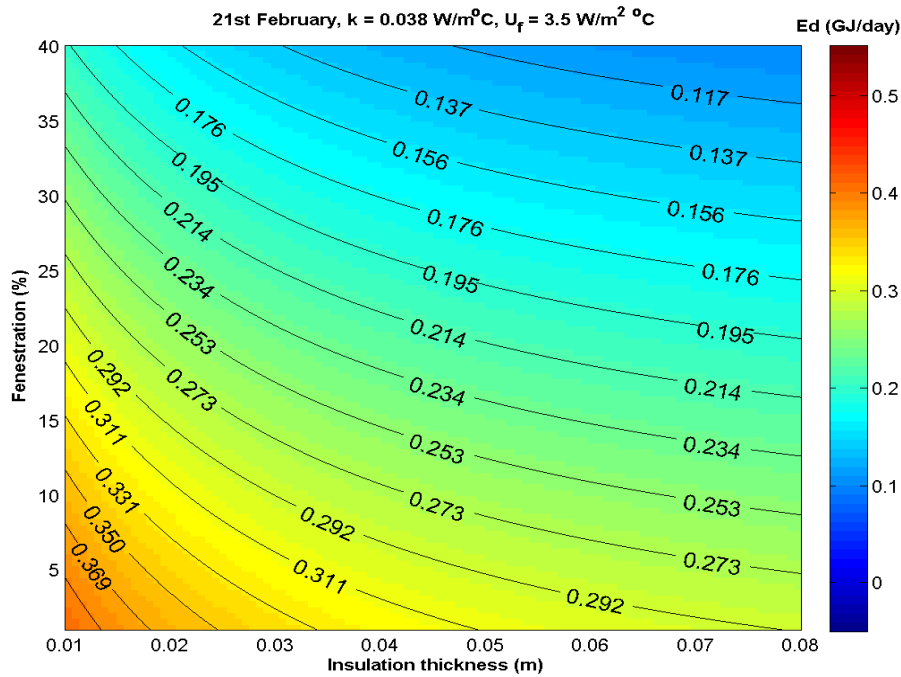
Διάγραμμα 11.4.1(A): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Νοεμβρίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $U_f=3,5\text{W/m}^2\text{K}$ και $k_i=0,038\text{W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με 20 °C.



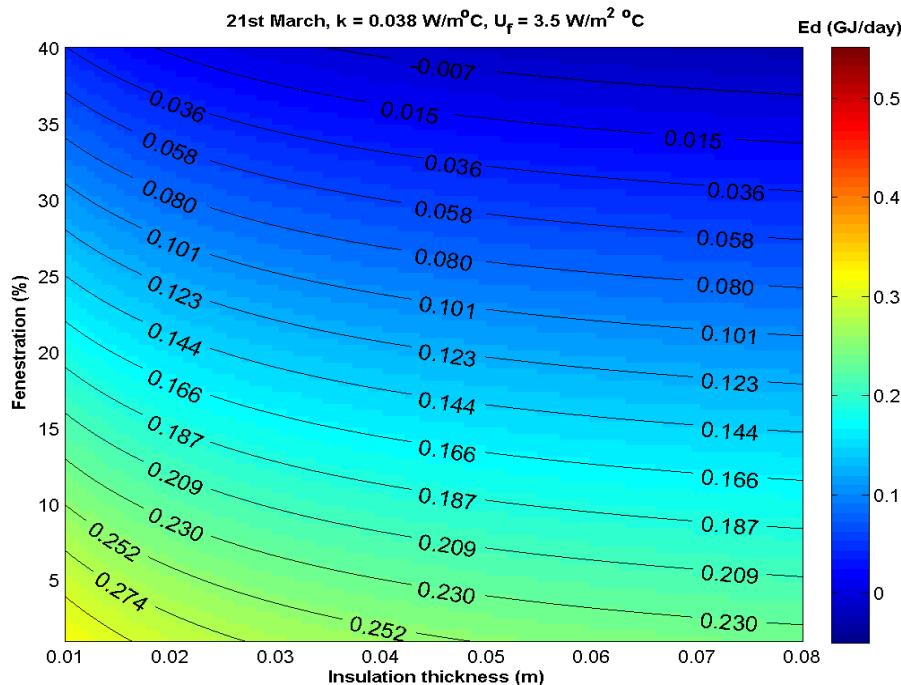
Διάγραμμα 11.4.1(B): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Δεκεμβρίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $U_f=3,5\text{W/m}^2\text{K}$ και $k_i=0,038\text{W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.4.1(Γ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Ιανουαρίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $U_f=3,5\text{W/m}^2\text{K}$ και $k_i=0,038 \text{ W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.4.1(Α): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Φεβρουαρίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $U_f=3,5\text{W/m}^2\text{K}$ και $k_i=0,038 \text{ W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με 20 °C .

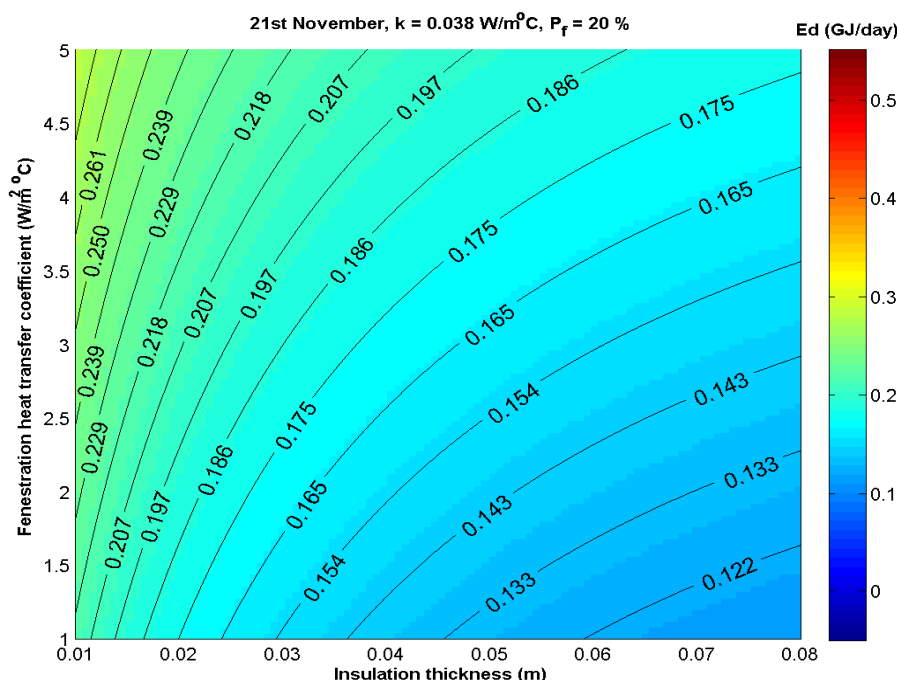


Διάγραμμα 11.4.1(Ε): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Μαρτίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $U_f=3,5\text{W/m}^2\text{K}$ και $k_i=0,038\text{W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με 20 °C .

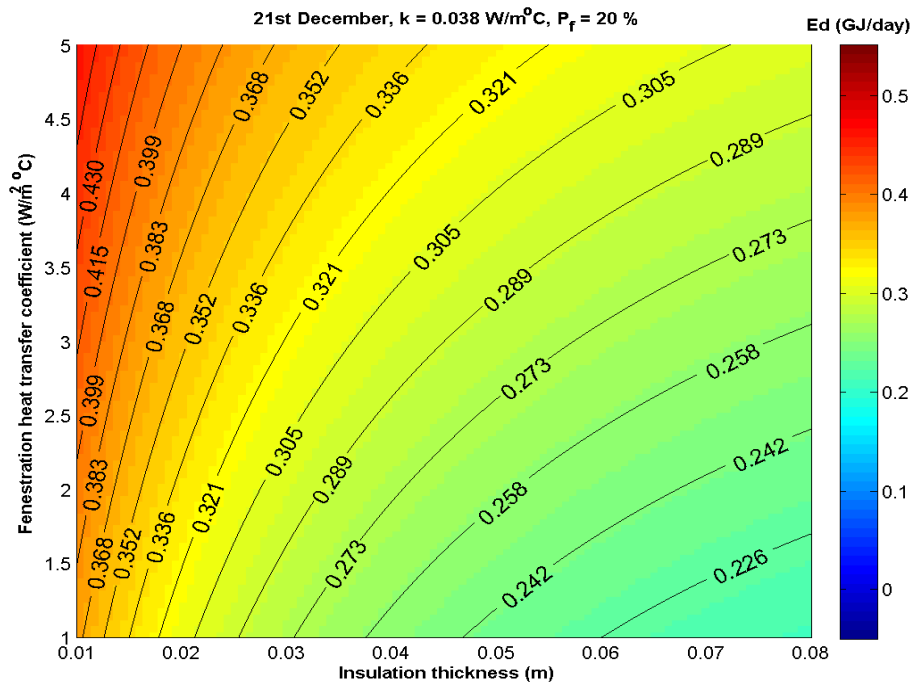
Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας για σταθερές τιμές των παραμέτρων k και P_f

Στα διαγράμματα 11.4.2(A)-(E) που ακολουθούν παρουσιάζονται ορισμένες ενδεικτικές καμπύλες της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης για βελτιωμένο κτίριο αναφοράς και για αποκατάσταση σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας 20 °C οι οποίες αντιστοιχούν σε πάχη μόνωσης και τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των υαλοπινάκων αναγραφόμενα στις κλίμακες αξόνων κάθε σχήματος ενώ διατηρούνται σταθερές οι τιμές των δύο άλλων παραμέτρων, δηλαδή της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης ($k=0,038$ W/Mk) και ποσοστού υαλοπινάκων ($P_f=20\%$).

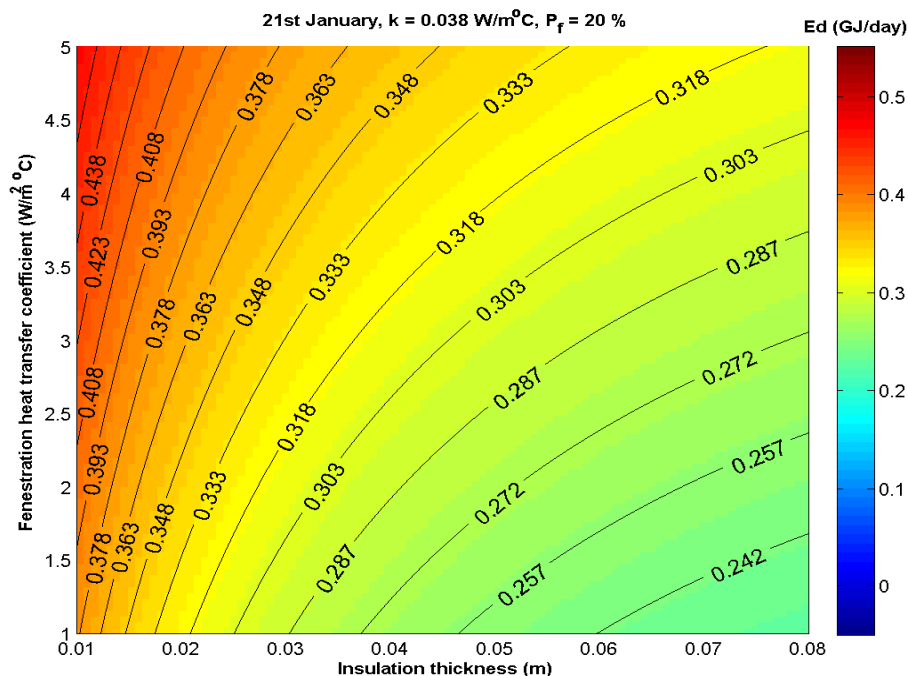
Συγκεκριμένα, η μελέτη μας έγινε για πάχος μόνωσης μεταβαλλόμενο από 1 έως 8 cm και για συντελεστή θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων από 1 έως 5 W/m²K και οι υπολογισμοί αφορούν και πάλι την 21^η ημέρα κάθε ενός από τους πέντε μήνες θέρμανσης Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο για τις τυπικές κλιματολογικές συνθήκες της Αθήνας.



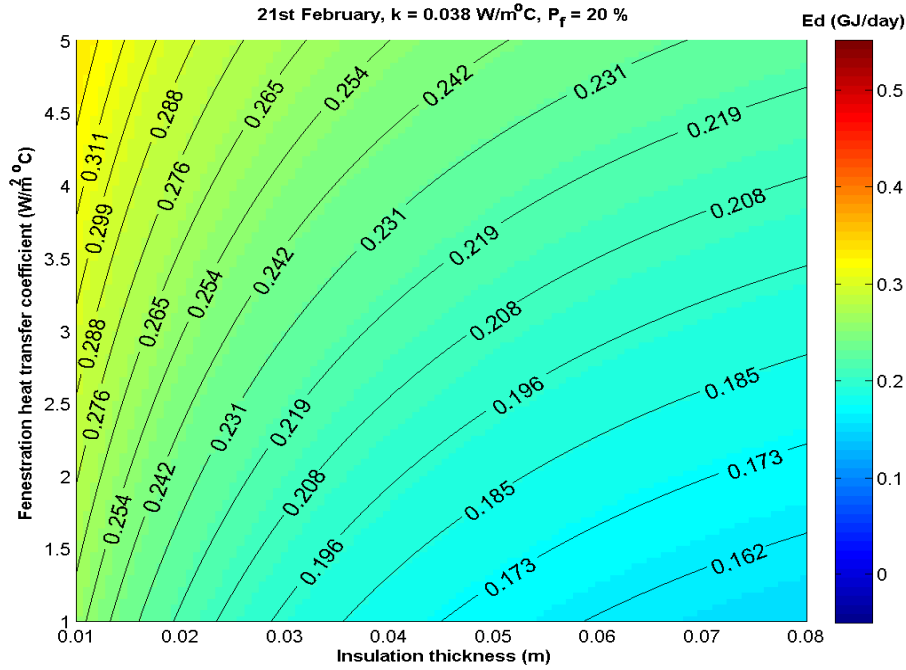
Διάγραμμα 11.4.2(A): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Νοεμβρίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f (%) και σταθερά $P_f=20\%$ και $k=0,038$ W/mK. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με 20 °C.



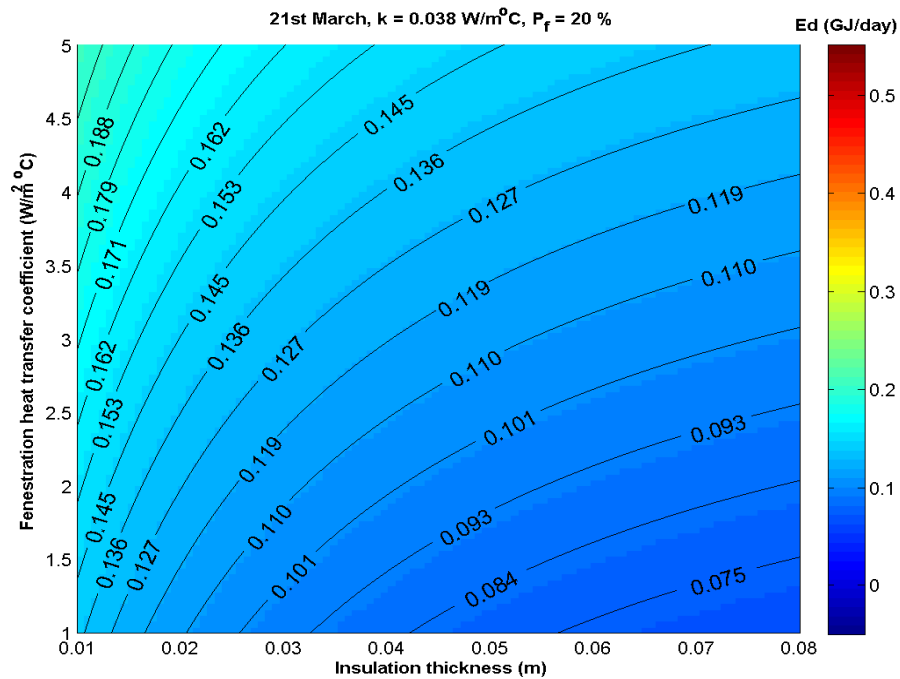
Διάγραμμα 11.4.2(B): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Δεκεμβρίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f (%) και σταθερά $P_f=20\%$ και $k=0,038\text{W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.4.2(Γ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Ιανουαρίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f (%) και σταθερά $P_f=20\%$ και $k=0,038\text{W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.4.2(Δ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Φεβρουαρίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f (%) και σταθερά $P_f=20\%$ και $k=0,038\text{W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

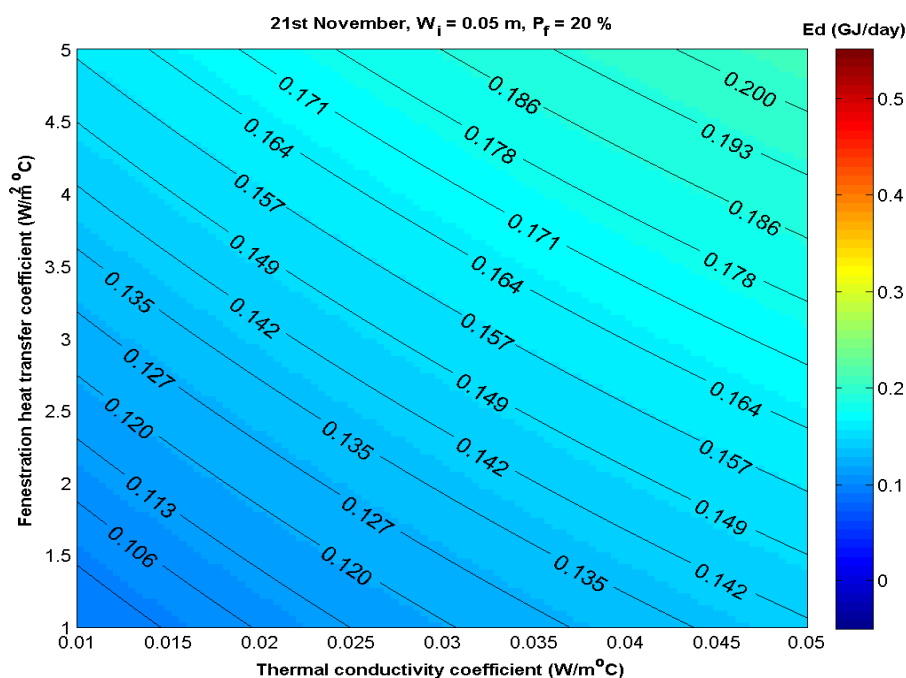


Διάγραμμα 11.4.2(Ε): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Μαρτίου, για πάχη μόνωσης w_i (m), συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f (%) και σταθερά $P_f=20\%$ και $k=0,038\text{W/mK}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

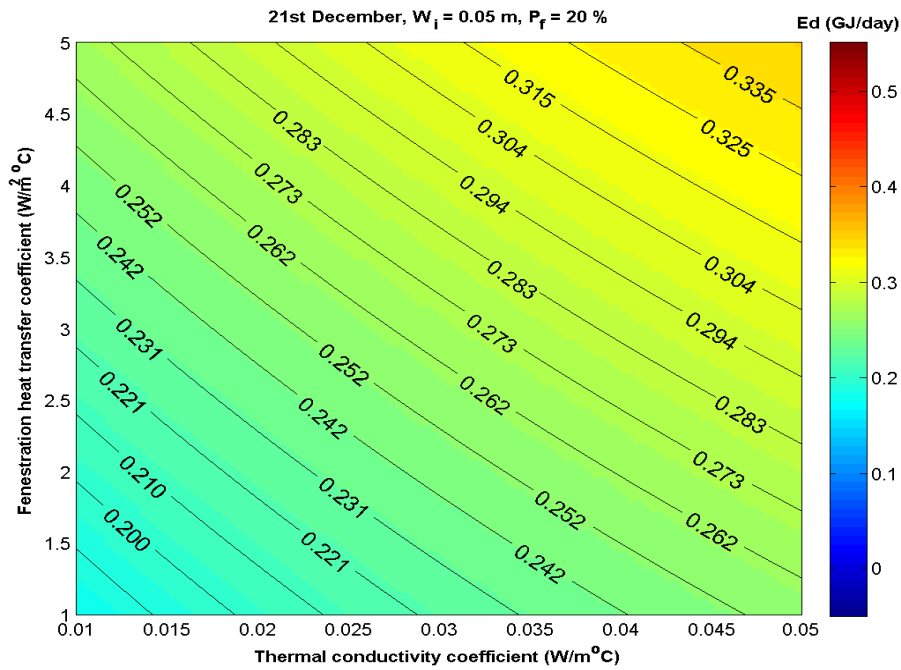
Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας για σταθερές τιμές των παραμέτρων w και P_f

Στα διαγράμματα 11.4.3 (A)-(E) που ακολουθούν παρουσιάζονται ορισμένες ενδεικτικές καμπύλες της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης στο βελτιωμένο κτίριο αναφοράς για αποκατάσταση σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας 20 °C οι οποίες αντιστοιχούν σε τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των υαλοπινάκων και της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης αναγραφόμενα στις κλίμακες αξόνων κάθε σχήματος ενώ διατηρούνται σταθερές οι τιμές των δύο άλλων παραμέτρων, δηλαδή του πάχους της μόνωσης ($w=0,05$ m) και του ποσοστού υαλοπινάκων ($P_f=20\%$).

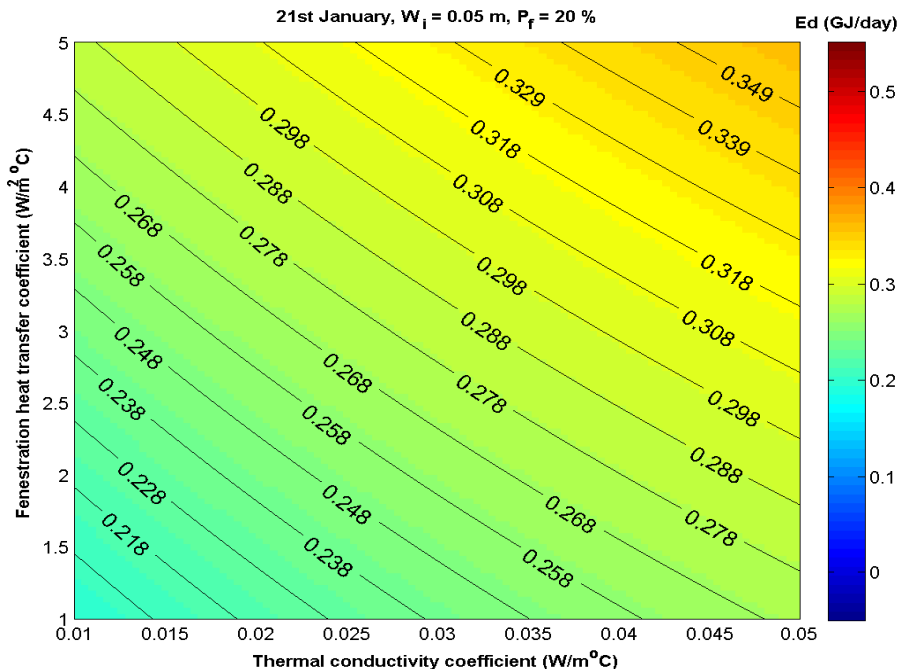
Συγκεκριμένα, η μελέτη μας έγινε για συντελεστή θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων από 1 έως 5 W/m²K και για ειδική θερμική αγωγιμότητα που κυμαίνεται από 0,01 έως 0,05 W/mK και οι υπολογισμοί αφορούν και πάλι την 21^η ημέρα κάθε ενός από τους πέντε μήνες θέρμανσης Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο για τις τυπικές κλιματολογικές συνθήκες της Αθήνας.



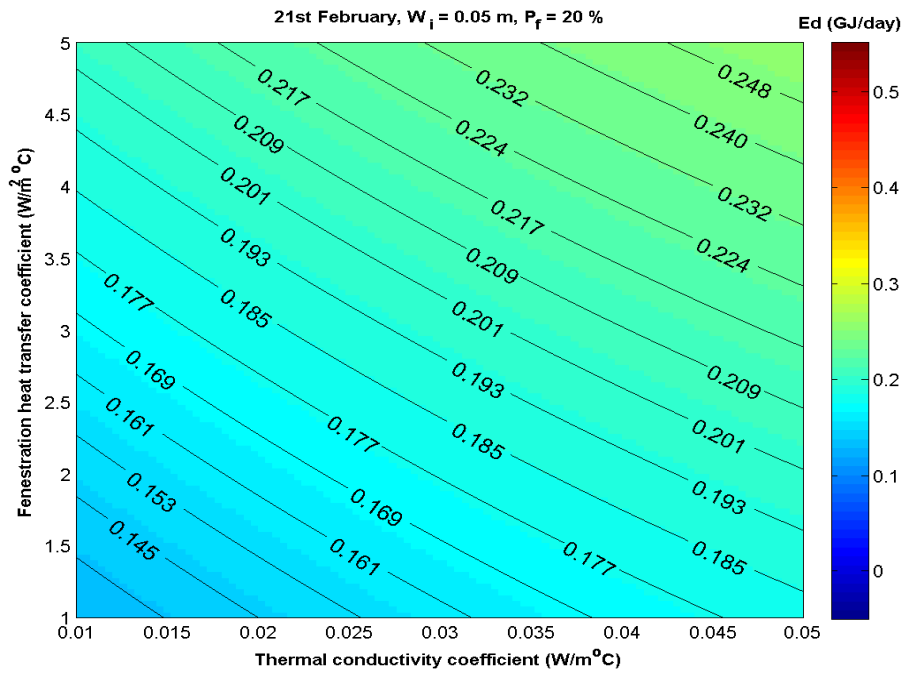
Διάγραμμα 11.4.3(A): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Νοεμβρίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f (W/m²K), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $P_f=20\%$ και $w=0,05$ m.Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με 20 °C.



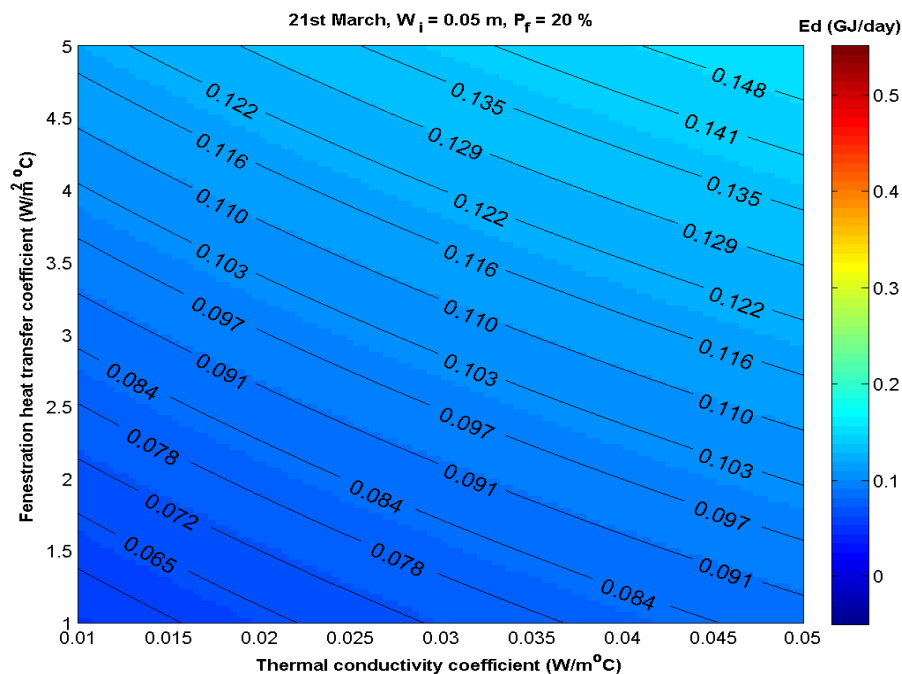
Διάγραμμα 11.4.3(B): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Δεκεμβρίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $P_f=20\%$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με 20°C .



Διάγραμμα 11.4.3(Γ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Ιανουαρίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $P_f=20\%$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με 20°C .



Διάγραμμα 11.4.3(Δ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Φεβρουαρίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $P_f=20\%$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με 20°C .

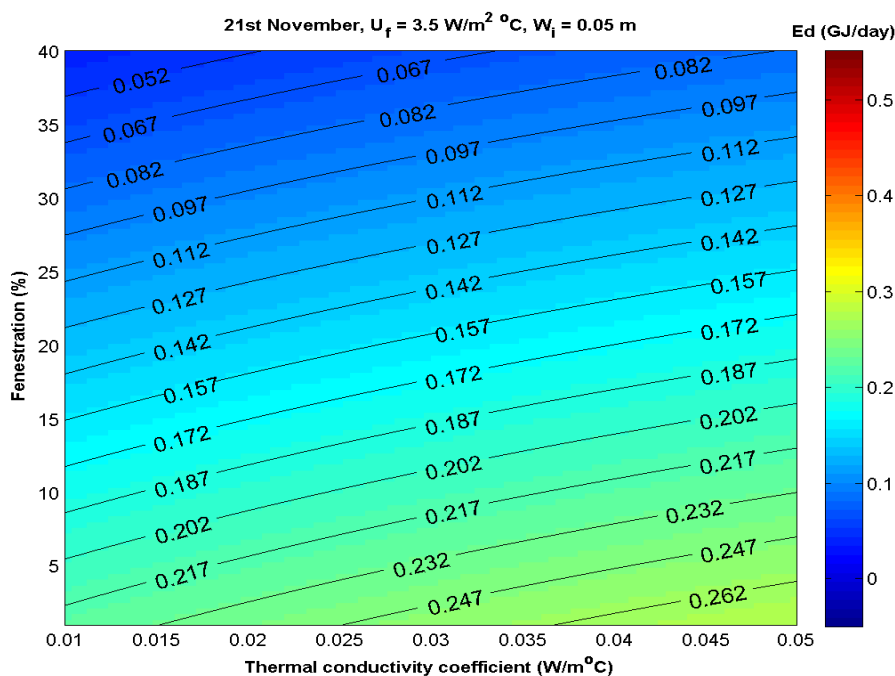


Διάγραμμα 11.4.3(Ε): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου για την 21^η Μαρτίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $P_f=20\%$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με 20°C .

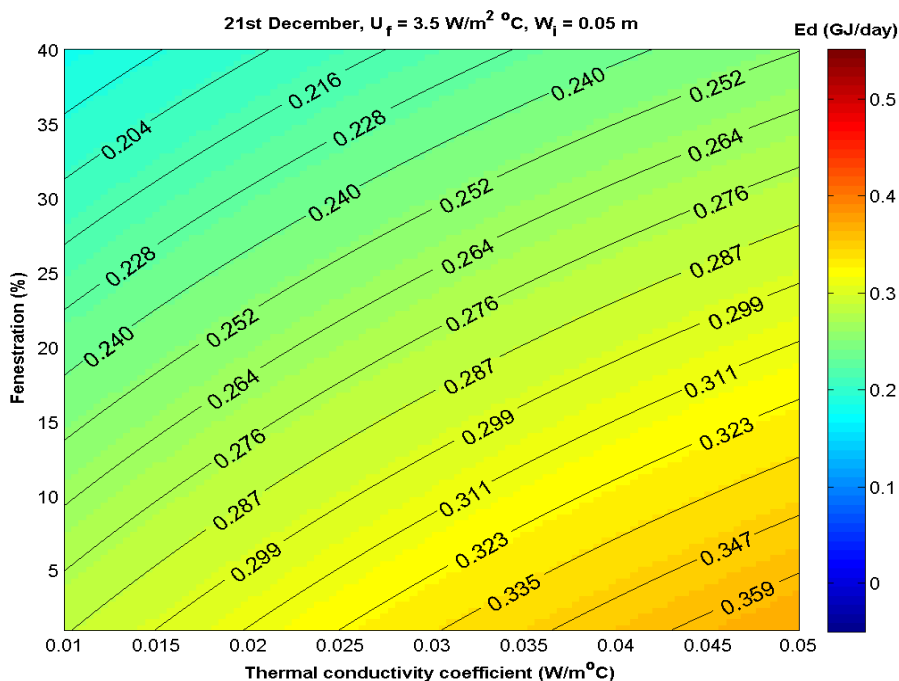
Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας για σταθερές τιμές των παραμέτρων w και U_f

Στα διαγράμματα 11.4.4(A)-(E) που ακολουθούν παρουσιάζονται ορισμένες ενδεικτικές καμπύλες της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης στο βελτιωμένο κτίριο αναφοράς για αποκατάσταση σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας 20 °C, οι οποίες αντιστοιχούν σε τιμές του συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης και του ποσοστού της επιφάνειας των υαλοπινάκων αναγραφόμενα στις κλίμακες αξόνων κάθε σχήματος ενώ διατηρούνται σταθερές οι τιμές των δύο άλλων παραμέτρων, δηλαδή του πάχους της μόνωσης ($w=0,05$ m) και του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων ($U_f=3,5$ W/m²K) .

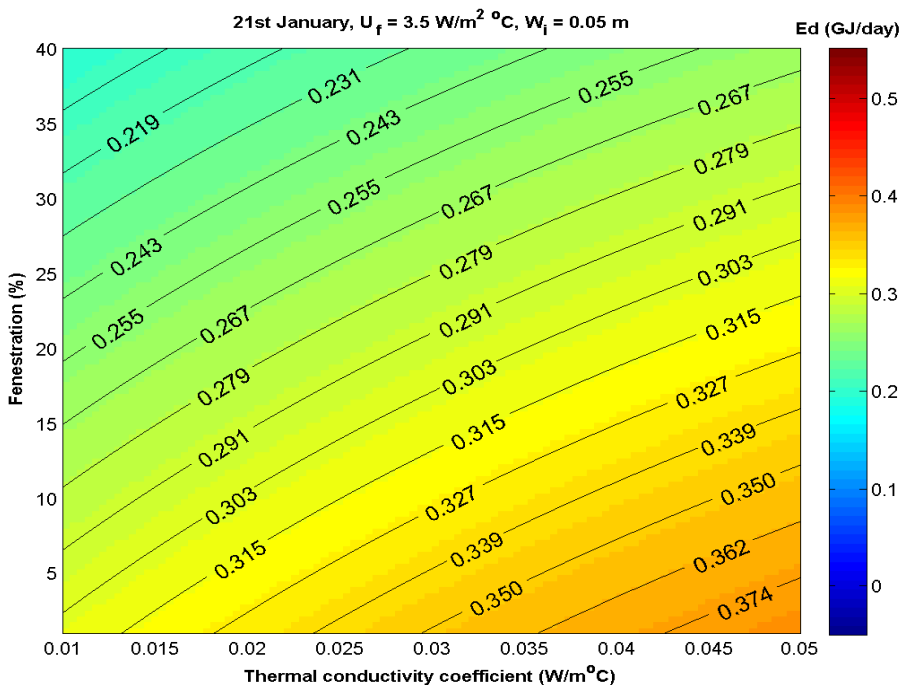
Συγκεκριμένα, η μελέτη μας έγινε για συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας που κυμαίνεται από 0,01 έως 0,05 W/mK και ποσοστό υαλοπινάκων P_f από 0 έως 40% ενώ οι υπολογισμοί αφορούν και πάλι την 21^η ημέρα κάθε ενός από τους πέντε μήνες θέρμανσης Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο για τις τυπικές κλιματολογικές συνθήκες της Αθήνας.



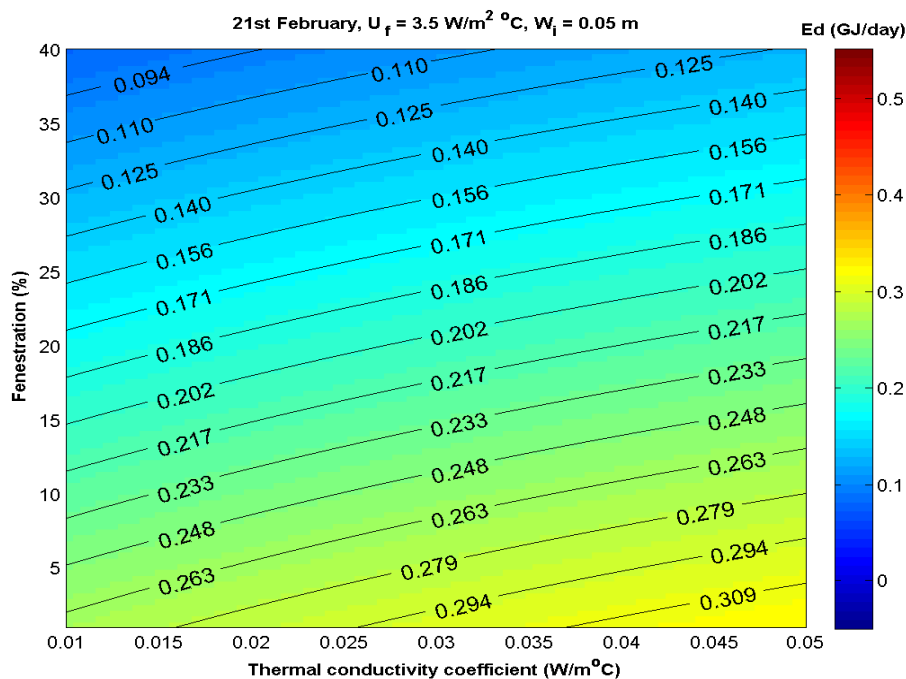
Διάγραμμα 11.4.4(A): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Νοεμβρίου, για ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $U_f=3,5$ W/m²K και $w=0,05$ m. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με 20 °C.



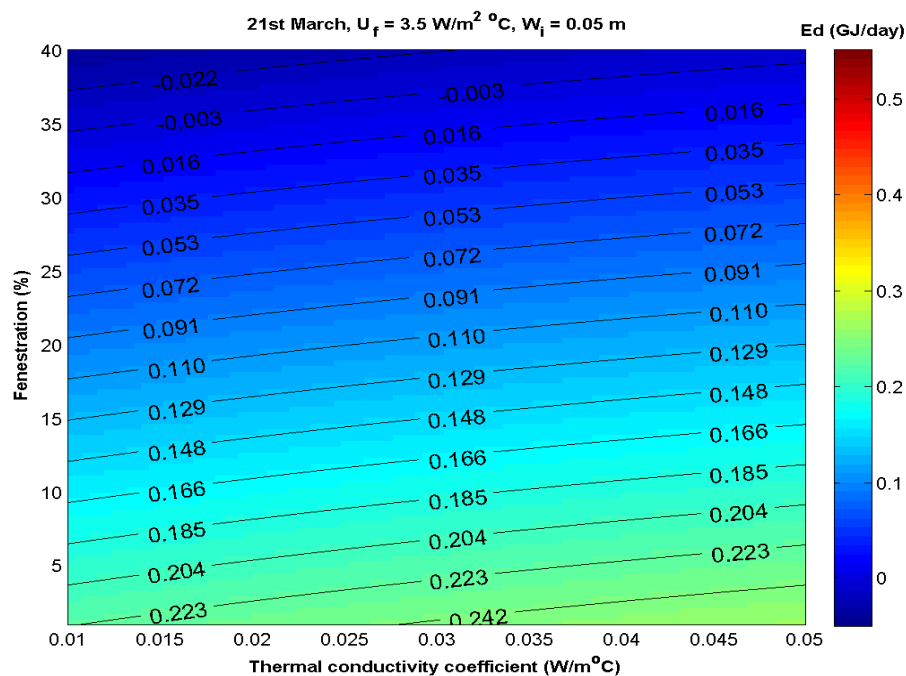
Διάγραμμα 11.4.4(Β): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Δεκεμβρίου, για ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.4.4(Γ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Ιανουαρίου, για ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $w=0,05\text{m}$ αντίστοιχα. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.4.4(Α): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Φεβρουαρίου, για ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

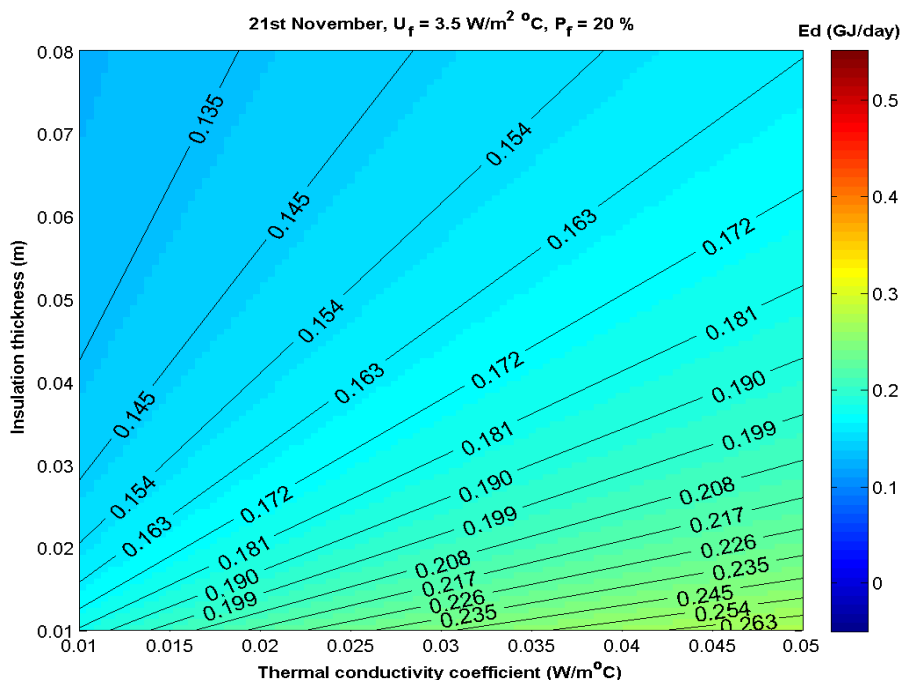


Διάγραμμα 11.4.4(Ε): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Μαρτίου, βελτιωμένου κτιρίου, για ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%), συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

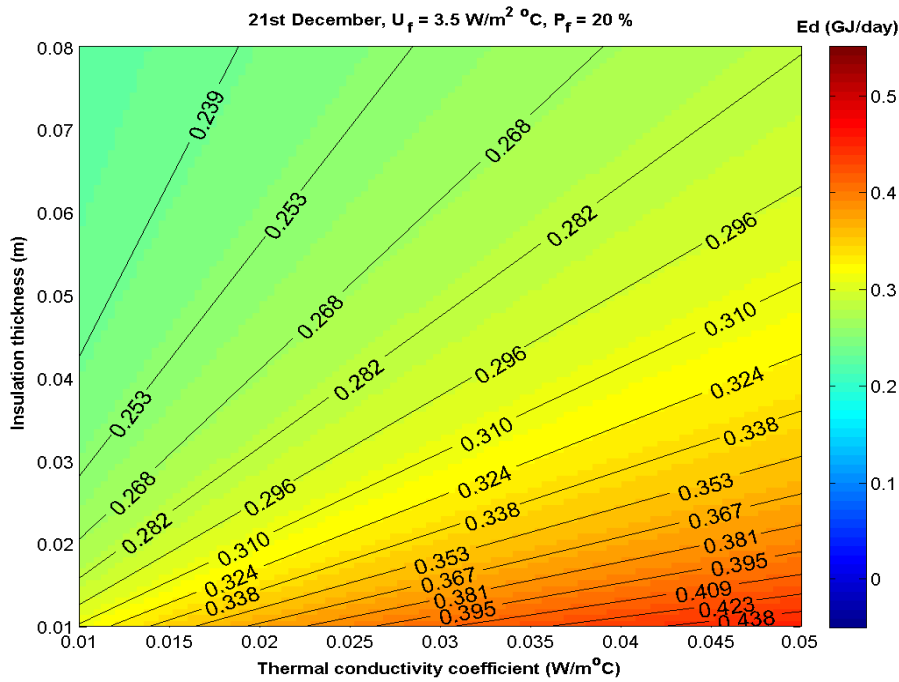
Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας για σταθερές τιμές των παραμέτρων P_f και U_f

Στα διαγράμματα 11.4.5(A)-(E) που ακολουθούν παρουσιάζονται ορισμένες ενδεικτικές καμπύλες της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης στο βελτιωμένο κτίριο αναφοράς για αποκατάσταση σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας 20 °C οι οποίες αντιστοιχούν σε τιμές του συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης και του πάχους της μόνωσης αναγραφόμενα στις κλίμακες αξόνων κάθε σχήματος ενώ διατηρούνται σταθερές οι τιμές των δύο άλλων παραμέτρων, δηλαδή του ποσοστού υαλοπινάκων ($P_f=20\%$) και του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων ($U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$).

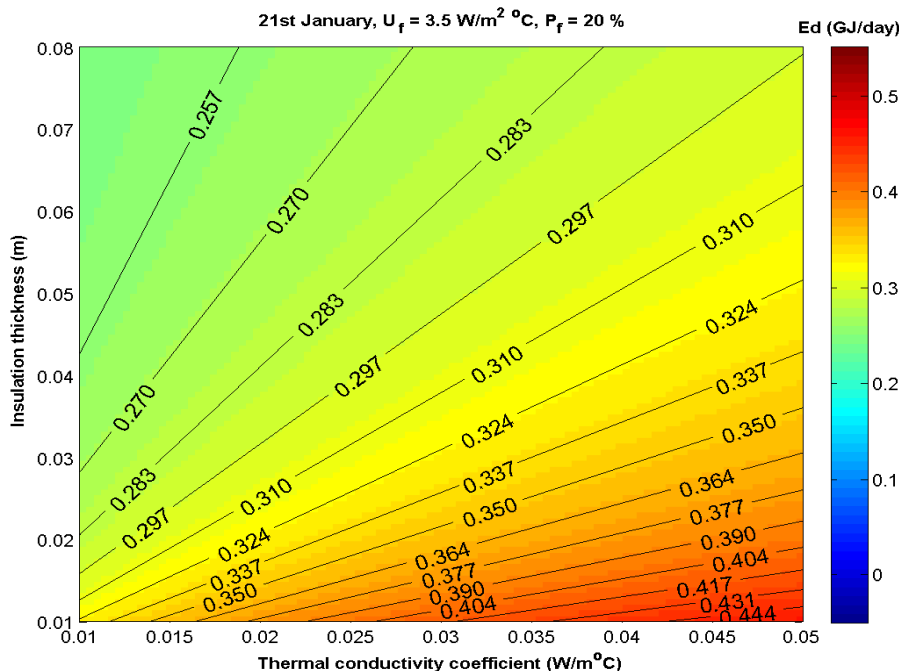
Συγκεκριμένα, η μελέτη μας έγινε για συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας που κυμαίνεται από 0,01 έως 0,05 W/mK και πάχος μόνωσης από 0,01 έως 0,08 m ενώ οι υπολογισμοί αφορούν και πάλι την 21^η ημέρα κάθε ενός από τους πέντε μήνες θέρμανσης Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο για τις τυπικές κλιματολογικές συνθήκες της Αθήνας.



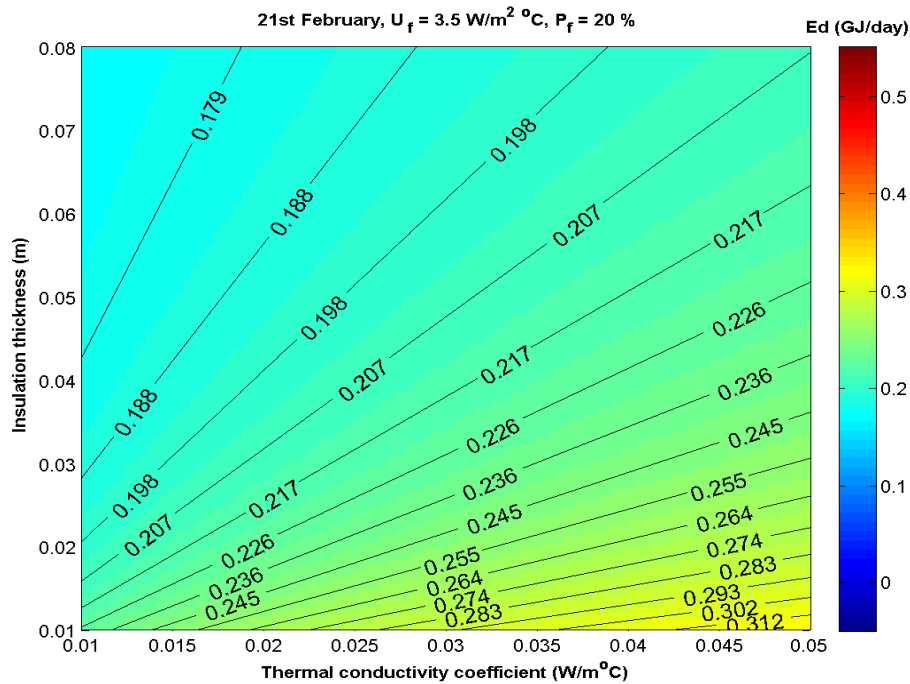
Διάγραμμα 11.4.5(A): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Νοεμβρίου, για συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK), πάχη μόνωσης w (m) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $P_f=20\%$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με 20 °C.



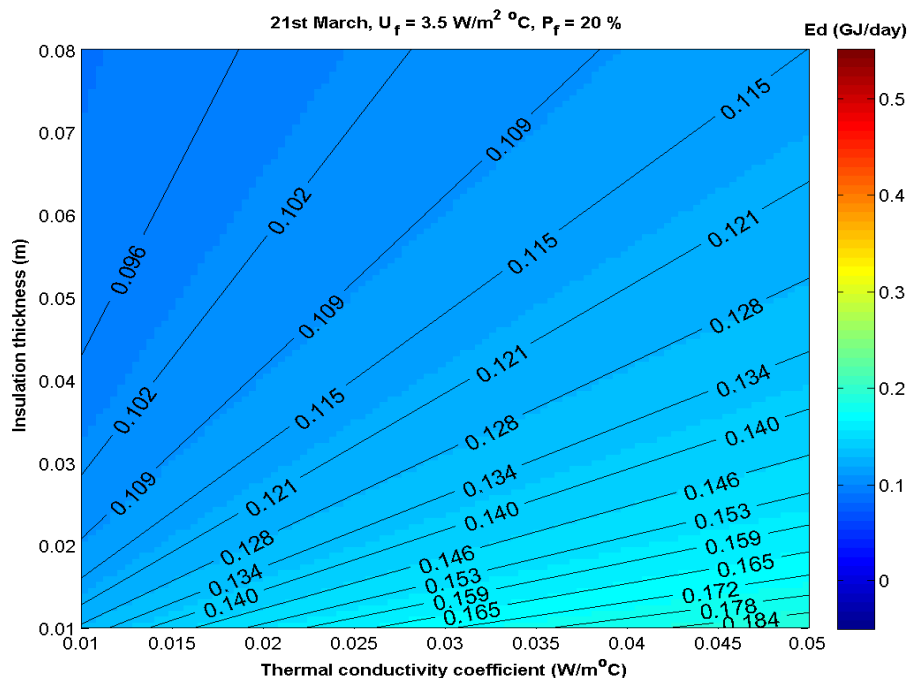
Διάγραμμα 11.4.5(B): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Δεκεμβρίου, για συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK), πάχη μόνωσης w (m) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $P_f=20\%$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.4.5(Γ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Ιανουαρίου, για συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK), πάχη μόνωσης w (m) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $P_f=20\%$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.4.5(Α): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Φεβρουαρίου, για συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK), πάχη μόνωσης w (m) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $P_f=20\%$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

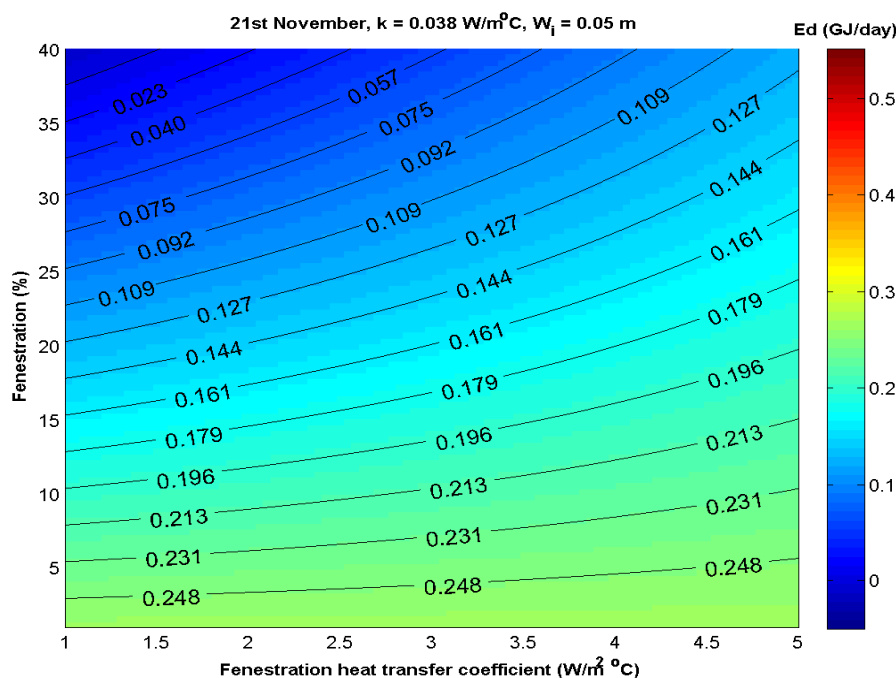


Διάγραμμα 11.4.5(Ε): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Μαρτίου, για συντελεστές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k (W/mK), πάχη μόνωσης w (m) και σταθερά $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $P_f=20\%$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

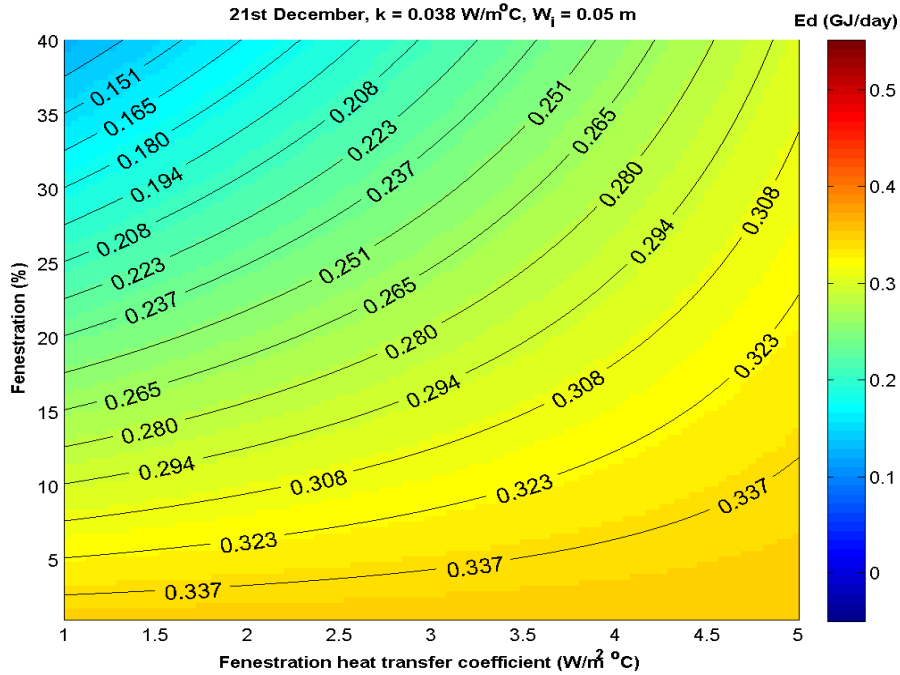
Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας για σταθερές τιμές των παραμέτρων k και w

Στα διαγράμματα 11.4.6(A)-(E) που ακολουθούν παρουσιάζονται ορισμένες ενδεικτικές καμπύλες της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης στο βελτιωμένο κτίριο για αποκατάσταση σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας 20 °C οι οποίες αντιστοιχούν σε τιμές του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας και του ποσοστού της επιφάνειας υαλοπινάκων αναγραφόμενα στις κλίμακες αξόνων κάθε σχήματος ενώ διατηρούνται σταθερές οι τιμές των δύο άλλων παραμέτρων, δηλαδή του συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας ($k=0,038 \text{ W/mK}$) και του πάχους της μόνωσης ($w=0,05\text{m}$).

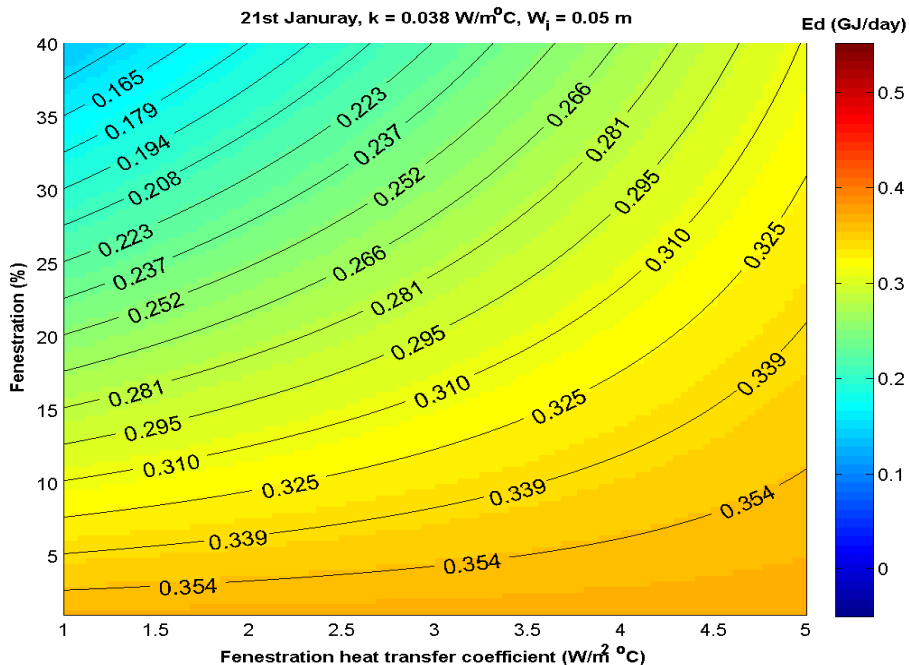
Συγκεκριμένα, η μελέτη μας έγινε για συντελεστή θερμικής διαπερατότητας που κυμαίνεται από 1 έως 5 $\text{W/m}^2\text{K}$ και ποσοστό υαλοπινάκων από 0 έως 40% ενώ οι υπολογισμοί αφορούν και πάλι την 21^η ημέρα κάθε ενός από τους πέντε μήνες θέρμανσης Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο για τις τυπικές κλιματολογικές συνθήκες της Αθήνας.



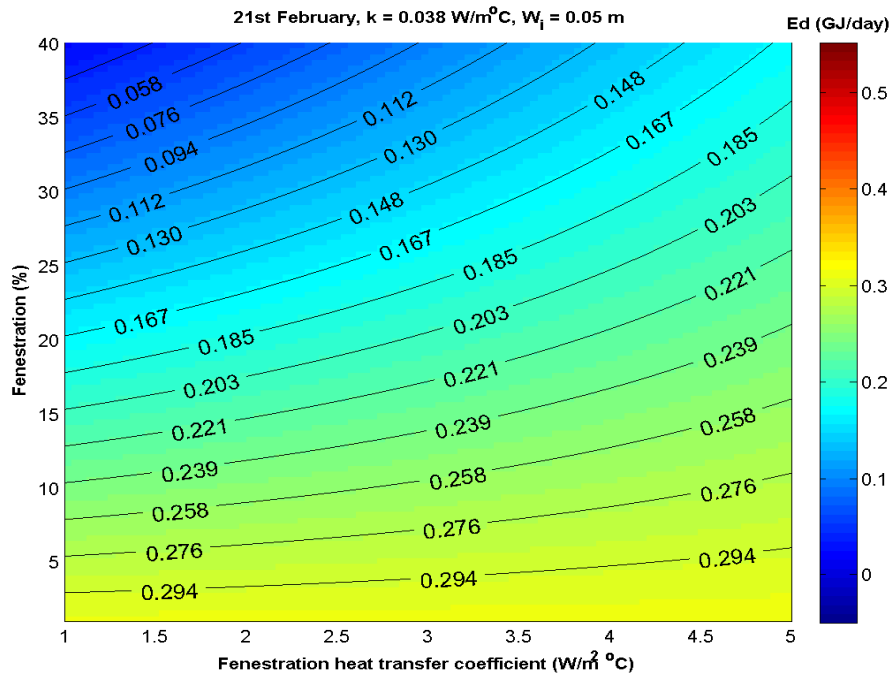
Διάγραμμα 11.4.6(A): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Νοεμβρίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W/m}^2\text{K}$), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $k=0,038 \text{ W/mK}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με 20 °C.



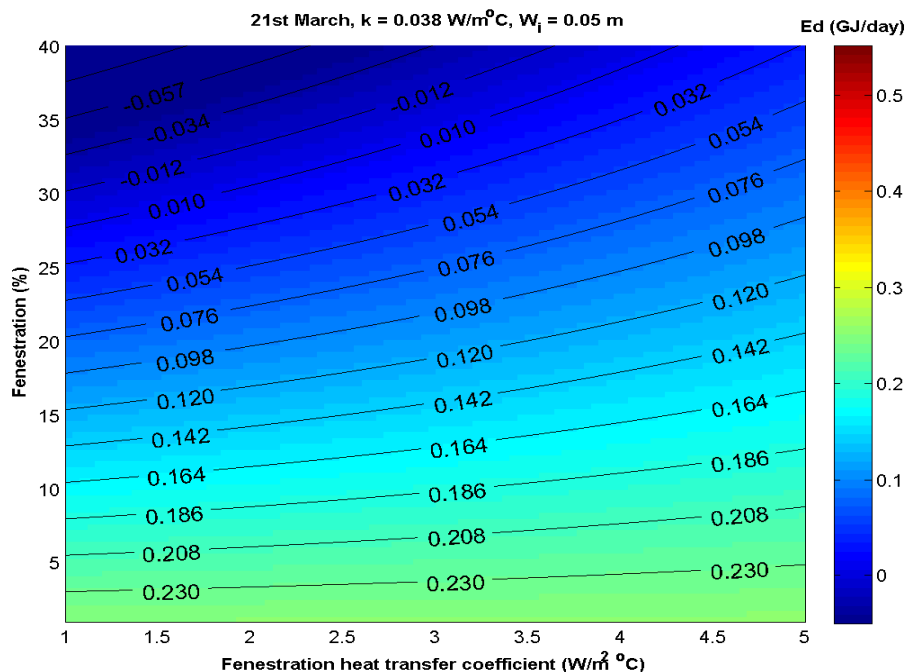
Διάγραμμα 11.4.6(B): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Δεκεμβρίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W/m}^2\text{K}$), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $k=0,038 \text{ W/mK}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ } ^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.4.6(Γ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Ιανουαρίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W/m}^2\text{K}$) και ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) με σταθερά $k=0,038 \text{ W/mK}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ } ^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.4.6(Α): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Φεβρουαρίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W/m}^2\text{K}$), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $k=0,038 \text{ W/mK}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



Διάγραμμα 11.3.6(Ε): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), βελτιωμένου κτιρίου, για την 21^η Μαρτίου, για συντελεστές θερμικής διαπερατότητας U_f ($\text{W/m}^2\text{K}$), ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και σταθερά $k=0,038 \text{ W/mK}$ και $w=0,05\text{m}$. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Συμπεράσματα σύγκρισης διαγραμμάτων ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης για την περίπτωση βασικού κτιρίου αναφοράς και για το κτίριο με βελτιωμένη κατανομή υαλοπινάκων

Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα του βελτιωμένου κτιρίου αναφοράς καταλήγουμε στα ίδια ποιοτικά συμπεράσματα αναφορικά με τη συνδυασμένη επίδραση των κυρίων παραμέτρων του κτιρίου αναφοράς πάνω στην ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση του κελύφους με την ενότητα 11.2.

Ενδιαφέρον ωστόσο παρουσιάζουν ορισμένα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από τη σύγκριση των διαγραμμάτων της ενότητας 11.2 τα οποία υπολογίστηκαν για ισομοιρασμένη κατανομή υαλοπινάκων στο κτίριο αναφοράς σε σχέση με τα διαγράμματα αυτής της ενότητας τα οποία υπολογίστηκαν για βελτιωμένη κατανομή των υαλοπινάκων στο κτίριο αναφοράς. Η θερμοκρασία όπως έχουμε αναφέρει διατηρείται σταθερή και ίση με 20 °C. Έτσι έχουμε:

- Παρατηρούμε όπως ήταν αναμενόμενο ότι για βελτιωμένη κατανομή των υαλοπινάκων η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης μειώνεται σε σχέση με την περίπτωση ισοκαταμερισμού των υαλοπινάκων καθώς όπως αναφέραμε αυξάνεται η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία που αποτελεί κέρδος για το κέλυφος. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς στην περίπτωση της βελτιωμένης κατανομής το 50% της συνολικής επιφάνειας των υαλοπινάκων στο κέλυφος τοποθετείται στην νότια όψη που όπως προαναφέραμε δέχεται τη μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία και συνεπώς παρουσιάζει το μεγαλύτερο ηλιακό θερμικό κέρδος σε σχέση με τους υπόλοιπους προσανατολισμούς.
- Ακόμη βλέπουμε ότι για σταθερές τιμές του πάχους μόνωσης, του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης και του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων, ίδια αύξηση του ποσοστού υαλοπινάκων στο κέλυφος προκαλεί μεγαλύτερη πτώση της ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης στην περίπτωση της βελτιωμένης κατανομής υαλοπινάκων συγκριτικά με την περίπτωση της βασικής μελέτης όπου τοποθετούνται υαλοπίνακες και στο βορρά.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί αύξηση του ποσοστού των υαλοπινάκων στο κέλυφος συνεπάγεται αύξηση του ηλιακού θερμικού κέρδους το οποίο υπερσχύει της παράλληλης αύξησης των απωλειών δι' αγωγής των υαλοπινάκων. Στις δύο περιπτώσεις κτιρίων οι απώλειες δι' αγωγής των υαλοπινάκων είναι οι ίδιες, καθώς είναι ανεξάρτητες του προσανατολισμού ενώ, όπως ήδη παρουσιάστηκε, στην περίπτωση της βελτιωμένης κατανομής

έχουμε μεγαλύτερο ηλιακό θερμικό κέρδος λόγω της μεγαλύτερης επιφάνειας που καταλαμβάνουν οι νότιοι υαλοπίνακες. Γίνεται, λοιπόν, κατανοητό ότι η ίδια αύξηση του ποσοστού των υαλοπινάκων στην περίπτωση της βελτιωμένης κατανομής αυτών στο κέλυφος προκαλεί μεγαλύτερη αύξηση του ηλιακού θερμικού κέρδους από τους υαλοπίνακες και συνεπώς επιτυγχάνεται μεγαλύτερη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης από ότι στην περίπτωση της ισομοιρασμένης κατανομής των υαλοπινάκων στο κέλυφος.

- Παρατηρούμε επίσης ότι διατηρώντας σταθερές τις υπόλοιπες τρεις κύριες παραμέτρους και αυξάνοντας κατά ίδια τιμή το πάχος της μόνωσης στην περίπτωση του βελτιωμένου κτιρίου και του κτιρίου με ισομοιρασμένη κατανομή προκύπτει μεγαλύτερη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας όταν το κτίριο δεν έχει υαλοπίνακες στο βόρειο τοίχο ενώ διπλασιάζονται στο νότιο. Η αφαίρεση των υαλοπινάκων από το βόρειο κομμάτι του κελύφους οδηγεί σε αύξηση της επιφάνειας του τοίχου στον προσανατολισμό αυτόν και συνεπώς αυξάνονται οι απώλειες δι' αγωγής μέσω αυτού. Παράλληλα όμως μειώνοντας την επιφάνεια του τοίχου στο νότιο προσανατολισμό μειώνονται και οι απώλειες δι' αγωγής μέσω αυτού. Η διαφορά θερμοκρασίας όμως στο βόρειο τοίχο μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη οπότε τελικά φαίνεται ότι οι απώλειες δι' αγωγής μέσω των τοίχων είναι μεγαλύτερες στο βελτιωμένο κτίριο απ' ότι στο κτίριο με ισομοιρασμένους υαλοπίνακες στους τέσσερις προσανατολισμούς. Έτσι τελικά προκύπτει ότι η επίδραση της μεταβολής του πάχους της μόνωσης είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση του βελτιωμένου κτιρίου.
- Συγκρίνοντας τα διαγράμματα τα οποία έχουν προκύψει για ίδιες τιμές ποσοστού επιφανείας υαλοπινάκων, συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης και για συγκεκριμένη τιμή του πάχους μόνωσης παρατηρείται ότι η επίδραση του U_f στην ενεργειακή κατανάλωση είναι η ίδια τόσο στην περίπτωση της βελτιωμένης όσο και στην περίπτωση της ισομοιρασμένης κατανομής. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι απώλειες δι' αγωγής των υαλοπινάκων είναι ανεξάρτητες του προσανατολισμού, ενώ εξαρτώνται από τη συνολική επιφάνεια των υαλοπινάκων, που είναι ίδια και στις δύο περιπτώσεις που εξετάζουμε, και από το συντελεστή θερμοπερατότητας των υαλοπινάκων U_f . Έτσι, η ίδια μείωση του U_f , για σταθερές τιμές των άλλων παραμέτρων, προκαλεί την ίδια μείωση των απωλειών δι' αγωγής και συνεπώς την ίδια μείωση στην ενεργειακή κατανάλωση και στις δύο περιπτώσεις.

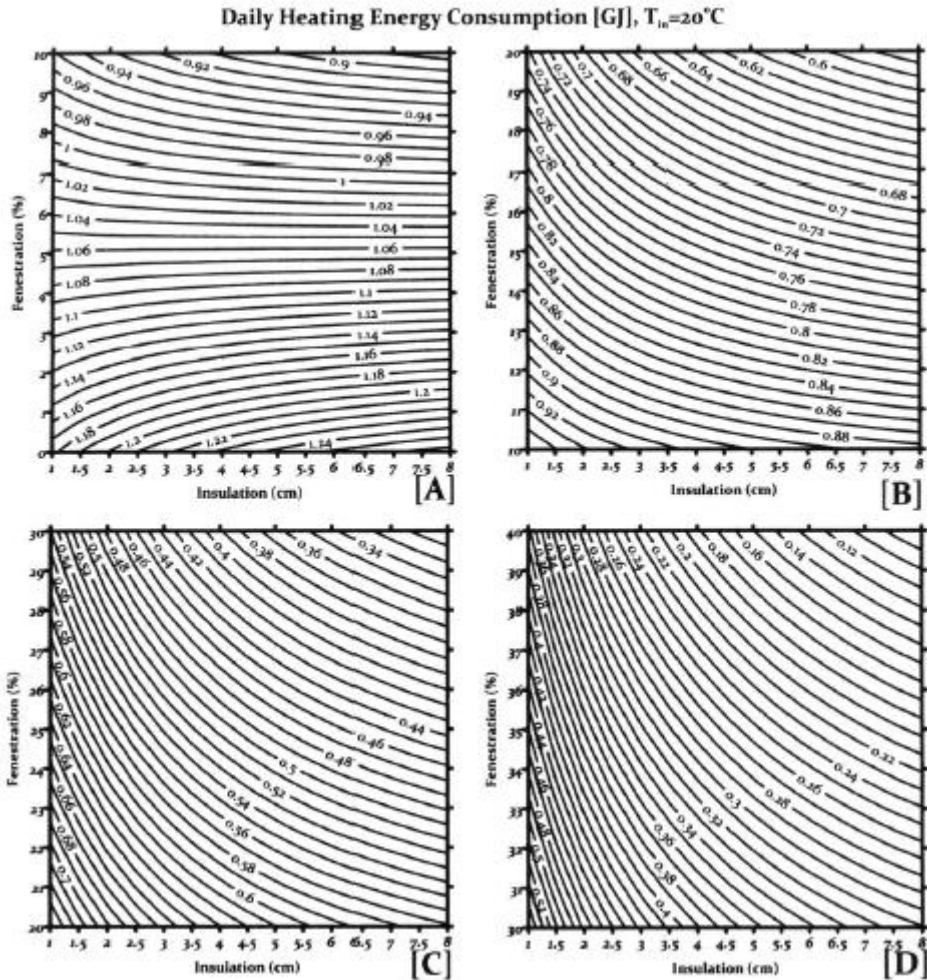
- Αυξάνοντας ή μειώνοντας το συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k υπό σταθερές τιμές των τριών άλλων κυρίων παραμέτρων παρατηρούμε ότι η αύξηση ή μείωση αντίστοιχα της ενεργειακής κατανάλωσης για τους μήνες θέρμανσης είναι μεγαλύτερη στη περίπτωση του βελτιωμένου κτιρίου.

Αυτό συμβαίνει γιατί όπως εξηγήσαμε και παραπάνω στη περίπτωση του βελτιωμένου κτιρίου οι απώλειες δι' αγωγής μέσω των τοίχων είναι μεγαλύτερες οπότε ενδεχόμενη μεταβολή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης μεταβάλλει περισσότερο τη τιμή της ενεργειακής κατανάλωσης στην περίπτωση αυτή.

11.5 Σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν στη παρούσα εργασία με τα αντίστοιχα της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών

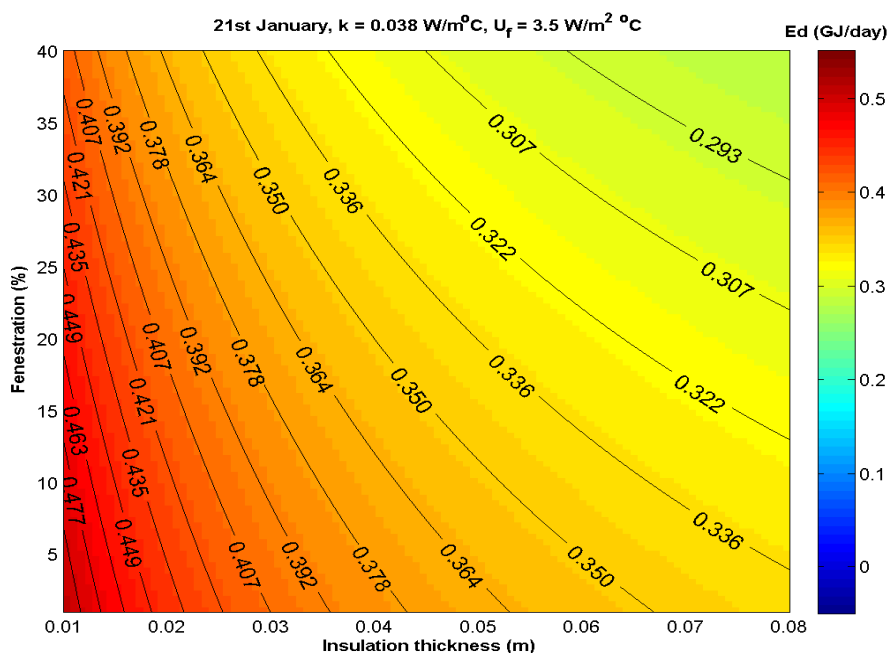
Στην παράγραφο αυτή παρατίθενται τα διαγράμματα τα οποία παρουσιάστηκαν σε δημοσίευση [65] όπου έγινε μελέτη της συνδυασμένης επίδρασης των παραμέτρων της μόνωσης και των υαλοπινάκων στη μεταβατική κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης ενός κτιρίου αναφοράς, στην περιοχή της Αθήνας, κατά την 21^η Ιανουαρίου με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών, η οποία παρέχει πολύ μεγάλη ακρίβεια στα αποτελέσματα της.

Το κτίριο αναφοράς που μελετάται στη δημοσίευση παρουσιάζει τα ίδια χαρακτηριστικά με το κτίριο αναφοράς που επιλέχθηκε στην παράγραφο 11.1 και η μελέτη έγινε για σταθερή θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος ίση με $T=20^{\circ}\text{C}$.



Διάγραμμα 11.5.1(α)-(δ). Καμπύλες ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης θέρμανσης E_d (GJ/day), που προκύπτουν με την μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών από τον συνδυασμό των τιμών πάχους μόνωσης και ποσοστού υαλοπινάκων για την 21^η Ιανουαρίου με σταθερά $k=0.038 \text{ W/m K}$ και $U_f=3.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με 20°C .

Τα διαγράμματα αυτά θα συγκριθούν με το Διάγραμμα 11.2.1(Γ) που προέκυψε στην παρούσα μελέτη για αντίστοιχο συνδυασμό τιμών των κυρίων παραμέτρων και για τα ίδια χαρακτηριστικά κτιρίου αναφοράς. Το διάγραμμα αυτό παρατίθενται ξανά για λόγους ευκρίνειας και διευκόλυνσης εξαγωγής συμπερασμάτων.



Διάγραμμα 11.2.1(Γ): Καμπύλες ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης, E_d (GJ/day), για την 21^η Ιανουαρίου, για πάχη μόνωσης w_i (m) και ποσοστά υαλοπινάκων P_f (%) και για σταθερά $U_f=3,5\text{W/m}^2\text{K}$ και $k_i=0,038 \text{ W/mK}$ αντίστοιχα. Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος σταθερή και ίση με $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Συγκρίνοντας λοιπόν τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούνται τα εξής:

- Οι τιμές της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης που προκύπτουν από τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών είναι κατά κύριο λόγο μεγαλύτερες από τις τιμές της ενεργειακής κατανάλωσης που προκύπτουν με τη μέθοδο που εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία για το ίδιο πάχος μόνωσης και για το ίδιο ποσοστό υαλοπινάκων. Η διαφορά που προκύπτει για τις ίδιες τιμές του ποσοστού των υαλοπινάκων και του πάχους της μόνωσης μεταξύ της τιμής της ενεργειακής κατανάλωσης που υπολογίστηκε με την μέθοδο που εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία και της τιμής της ενεργειακής κατανάλωσης που προέκυψε με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών δεν είναι σταθερή, αλλά παρουσιάζεται μεγαλύτερη αυτή η διαφορά όταν υπολογίζεται για μικρότερη τιμή του ποσοστού των υαλοπινάκων, ενώ είναι μικρότερη όταν υπολογίζεται για μεγαλύτερες τιμές του ποσοστού των υαλοπινάκων.
- Τόσο στα διαγράμματα 11.5.1(α)-(d) όσο και στο 11.2.1(Γ) φαίνεται ότι για σταθερό πάχος μόνωσης, αύξηση του ποσοστού υαλοπινάκων P_f συνεπάγεται μείωση της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης λόγω της αύξησης του ηλιακού θερμικού κέρδους των υαλοπινάκων.

- Σύμφωνα με την μέθοδο που εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία προέκυψε ότι για σταθερό ποσοστό υαλοπινάκων, αύξηση του πάχους της μόνωσης συνεπάγεται μείωση της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας θέρμανσης. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουμε παρατηρώντας τα διαγράμματα του σχήματος 11.5.1(α)-(d) τα οποία προέκυψαν με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών, με τη διαφορά όμως ότι για σταθερό P_f αύξηση του πάχους της μόνωσης προκαλεί την αναμενόμενη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης για τιμές του ποσοστού των υαλοπινάκων μεγαλύτερες του 5%. Αντίθετα, για ποσοστό υαλοπινάκων μικρότερο του 5% και για σταθερή τιμή αυτού, αύξηση του πάχους μόνωσης προκαλεί αύξηση της ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αυξάνοντας το πάχος της μόνωσης μειώνεται η δι' αγωγής εισερχόμενη ηλιακή θερμότητα μέσω των εξωτερικών τοίχων η οποία παίζει τώρα τον ρυθμιστικό ρόλο αντί της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται από την περιορισμένη επιφάνεια των υαλοπινάκων. Λόγω της αντίθετης αυτής συμπεριφοράς της μόνωσης για $P_f < 5\%$ και $P_f > 5\%$, η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης προκύπτει σχεδόν ανεξάρτητη του πάχους της μόνωσης για ποσοστό υαλοπινάκων 5%. Η αντιθετική αυτή συμπεριφορά της μόνωσης δε φαίνεται με την μέθοδο που εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία.
- Συμπεραίνουμε λοιπόν, βάσει των παραπάνω ότι η μέθοδος που εφαρμόστηκε στην εργασία αυτή για τον υπολογισμό της ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης με την μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών, παρουσιάζουν σημαντική ποσοτική και ποιοτική απόκλιση για ποσοστό υαλοπινάκων πολύ μικρό ($P_f < 10\%$), αλλά για μεγαλύτερο ποσοστό υαλοπινάκων ($P_f > 25\%$) τα αποτελέσματα (ποιοτικά και ποσοτικά) των δύο αυτών μεθόδων βρίσκονται σε καλή συμφωνία.

Κεφάλαιο 12^ο

ΨΕΥΔΟΑΔΙΑΒΑΤΙΚΟ ΚΕΛΥΦΟΣ

12.1 Εισαγωγή στην έννοια του ψευδοαδιαβατικού κελύφους

Με τον όρο «ψευδοαδιαβατικό» περιγράφουμε το κέλυφος που συμπεριφέρεται αδιαβατικά, δηλαδή το κέλυφος του οποίου το άθροισμα θετικών και αρνητικών φορτίων ισούται με μηδέν.

Κατά τις περιόδους όπου η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια γίνεται για θέρμανση τα χαρακτηριστικά του κελύφους που καθορίζουν κατά κύριο λόγο τη τιμή της κατανάλωσης αυτής είναι η μόνωση (k, w) και οι υαλοπίνακες (U_f, P_f). Αυτό συμβαίνει για τους εξής δύο λόγους:

- i. Η μόνωση και οι υαλοπίνακες παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη και τη μικρότερη θερμική αντίσταση αντίστοιχα.
- ii. Οι τιμές ενός μεγάλου αριθμού των υπολοίπων χαρακτηριστικών του κτιριακού κελύφους καθορίζονται από τη νομοθεσία (π.χ. Κ.Εν.Α.Κ.) και είναι δεδομένες και σταθερές για φυσικούς και κατασκευαστικούς λόγους.

Κατά τη χειμερινή περίοδο οι υαλοπίνακες και λιγότερο η μόνωση επιτρέπουν την είσοδο θετικών και αρνητικών φορτίων των οποίων το άθροισμα μπορεί να είναι θετικό, αρνητικό ή μηδέν. Η τιμή αυτή του αθροίσματος εξαρτάται από το συνδυασμό των παραμέτρων της μόνωσης (k, w) και των υαλοπινάκων (U_f, P_f) και κατάλληλοι συνδυασμοί τους μπορούν να ελαχιστοποιήσουν το συνολικό αυτό φορτίο ως και να το μηδενίσουν ώστε να προκύψει τελικά το ζητούμενο ψευδοαδιαβατικό κέλυφος.

Στο Κεφάλαιο 10 είδαμε πως ο συνδυασμός των παραμέτρων για το κτίριο αναφοράς ($k=0,038 \text{ W/mK}$, $w=0,05\text{m}$ και $U_f=3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, $P_f=20\%$ ισοκατανεμημένο στους τέσσερις τοίχους) έδινε κέλυφος με απώλειες για όλους τους μήνες θέρμανσης που μελετήσαμε.

Στο παρόν κεφάλαιο αναζητούνται οι τιμές των χαρακτηριστικών της μόνωσης και των υαλοπινάκων που καθιστούν το κέλυφος του κτιρίου αναφοράς ψευδοαδιαβατικό για τους μήνες θέρμανσης δηλαδή Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο.

Η ημερήσια ροή θερμότητας μέσω του κελύφους περιλαμβάνει :

- Το ηλιακό θερμικό κέρδος μέσω υαλοπινάκων, F_s [MJ/day].
- Την αγωγή θερμότητας μέσω του κελύφους, E_c [MJ/day], η οποία αποτελείται από το ηλιακό θερμικό κέρδος μέσω του κελύφους (εκτός των υαλοπινάκων), E_{cs} [MJ/day], και από την απώλεια θερμότητας λόγω αγωγής μέσω του κελύφους (συμπεριλαμβανομένων των υαλοπινάκων), E_{ct} [MJ/day], η οποία οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας.

Έτσι η ροή θερμότητας μέσω του κελύφους περιγράφεται με την εξίσωση:

$$F_s - E_c = F_s - (E_{ct} - E_{cs}) \quad (12.1.1)$$

η οποία για «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος είναι ίση με μηδέν.

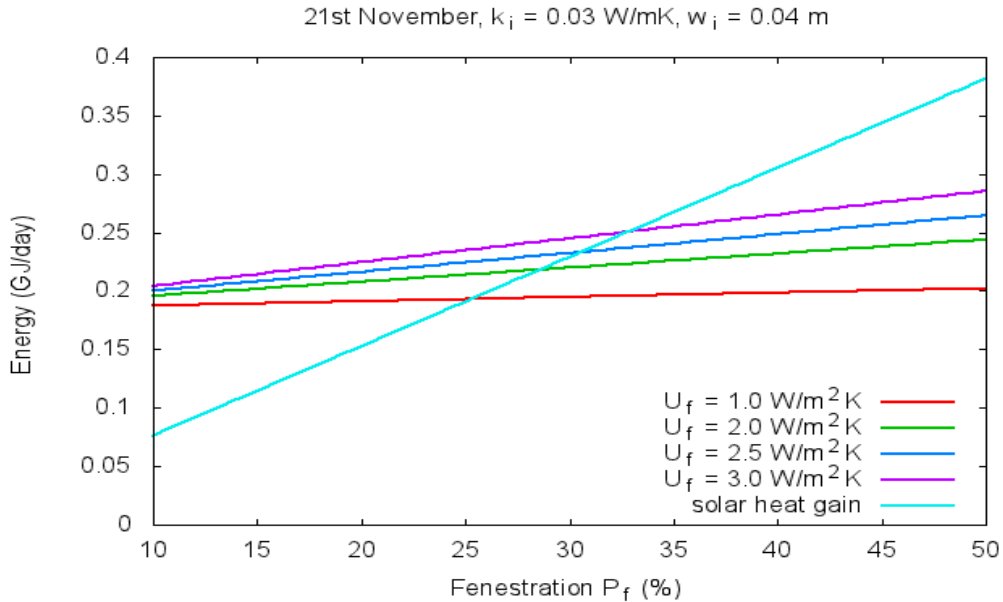
Για να γίνει κατανοητή η έννοια του όρου ψευδοαδιαβατικό κέλυφος ακολουθούν διαγράμματα στα οποία απεικονίζονται το ημερήσιο ηλιακό θερμικό κέρδος μέσω των υαλοπινάκων F_s και η ημερήσια απώλεια θερμότητας δι' αγωγής, E_c για τέσσερις διαφορετικές τιμές του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων ($U_f=1$ W/m²K, $U_f=2$ W/m²K, $U_f=2.5$ W/m²K και $U_f=3$ W/m²K) συναρτήσει του ποσοστού υαλοπινάκων επί της συνολικής επιφάνειας του κελύφους P_f και για τους μήνες θέρμανσης Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο. Τα σημεία στα οποία η καμπύλη κέρδους τέμνει τις καμπύλες των απωλειών αντιστοιχούν σε ψευδοαδιαβατικό κέλυφος καθώς ικανοποιείται η εξίσωση 12.1.1 και οι απώλειες εξισώνονται με τα κέρδη.

Για τη διαγραμματική απεικόνιση χρησιμοποιήθηκε και πάλι το κτίριο αναφοράς (Κεφάλαιο 10) μόνο που εδώ το πάχος μόνωσης θεωρήθηκε $w=0,04$ m και η ειδική θερμική αγωγιμότητα $k=0,03$ W/m K, ενώ το ποσοστό των υαλοπινάκων του κελύφους P_f τώρα δεν ισοκατανέμεται στους τέσσερις προσανατολισμούς αλλά χωρίζεται σε 50 % στο νότιο τοίχο, 25% στον ανατολικό και 25 % στο δυτικό, δεν μπαίνουν καθόλου παράθυρα δηλαδή στο βόρειο κομμάτι του κελύφους. Η εσωτερική θερμοκρασία διατηρείται σταθερή στους 20 °C.

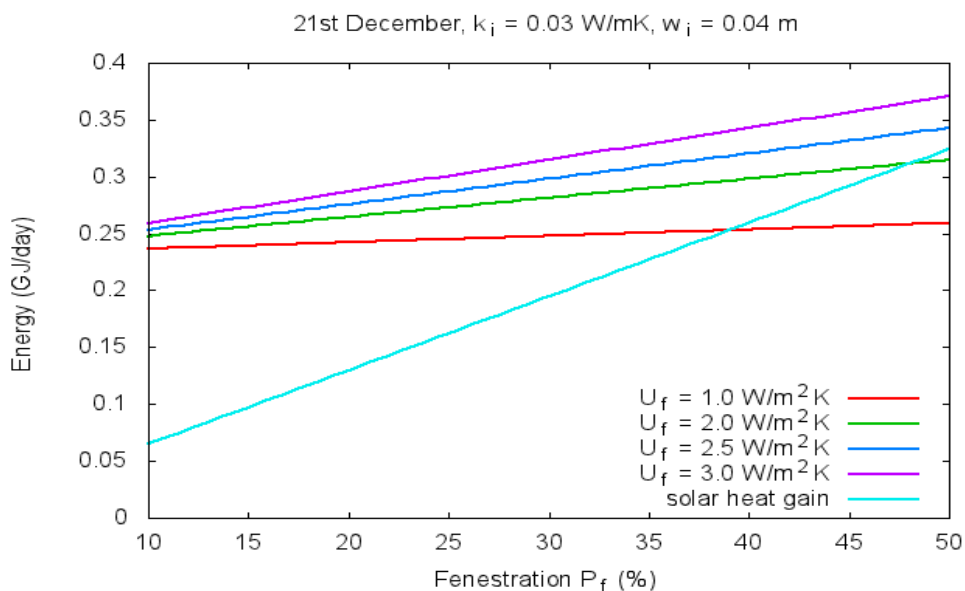
Για τον προσδιορισμό του ψευδοαδιαβατικού κελύφους λαμβάνουμε και πάλι υπόψη τα εξής φορτία: ηλιακό θερμικό κέρδος υαλοπινάκων, φορτίο λόγω αγωγής θερμότητας διαμέσου υαλοπινάκων, φορτίο τοίχων και οροφής και τέλος φορτίο λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρα το οποίο αν και δε συμπεριλαμβάνεται στην

εξίσωση 12.1.1 αποτελεί απώλεια για το κέλυφος και το λάβαμε υπόψη στους υπολογισμούς θεωρώντας όμως τώρα ότι αντιστοιχεί σε μία αλλαγή ανά ώρα.

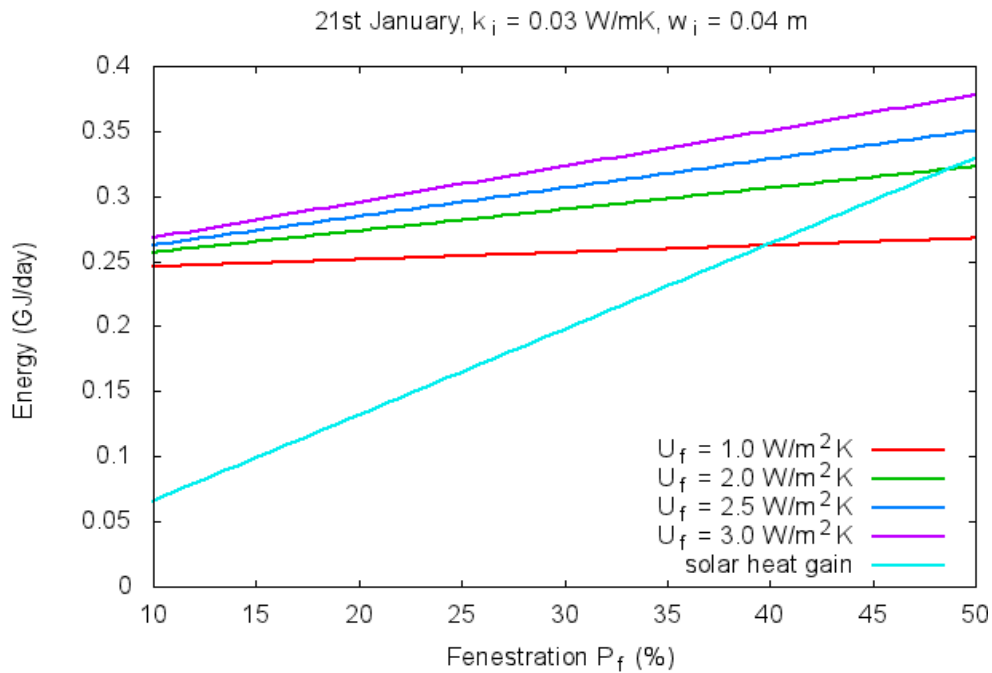
Έτσι έχουμε:



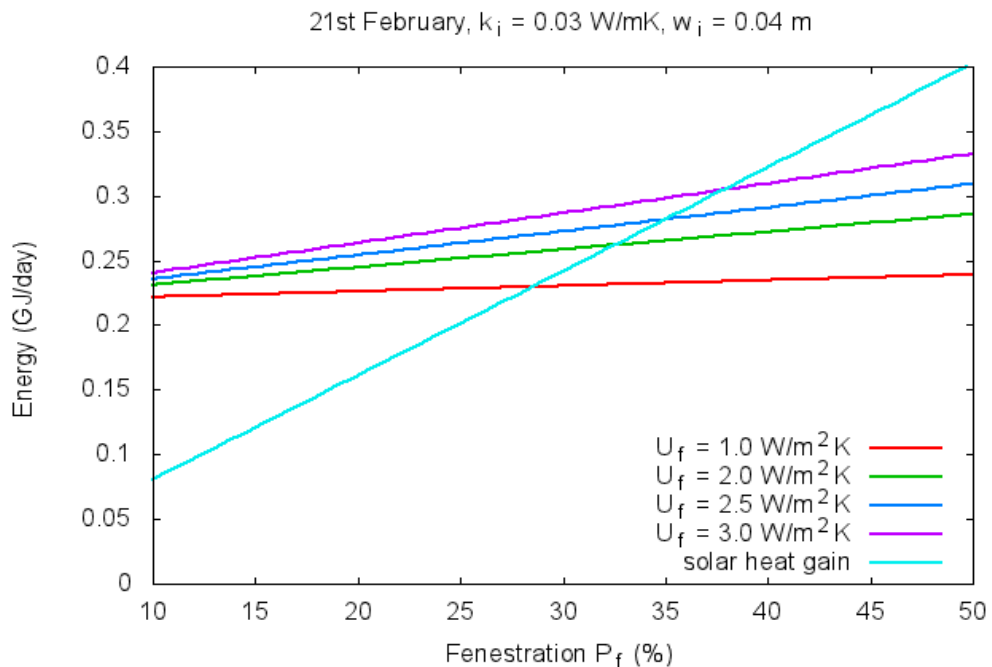
Διάγραμμα 12.1.1: Προβλεπόμενο ημερήσιο θερμικό ηλιακό κέρδος και ημερήσιες απώλειες δι' αγωγής μέσω του κελύφους για διαφορετικές τιμές του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U_f , για το κτίριο αναφοράς με $k=0.03 \text{ W/mK}$ και $w=0.04\text{m}$, για την 21^η Νοεμβρίου. Τα σημεία τομής των καμπυλών αντιστοιχούν σε «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος.



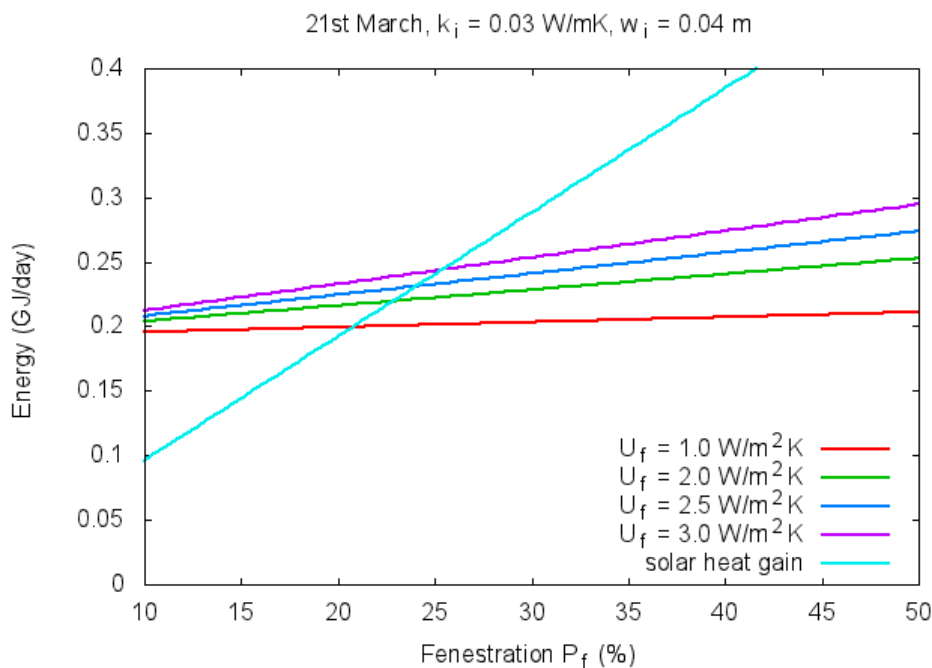
Διάγραμμα 12.1.2: Προβλεπόμενο ημερήσιο θερμικό ηλιακό κέρδος και ημερήσιες απώλειες δι' αγωγής μέσω του κελύφους για διαφορετικές τιμές του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U_f , για το κτίριο αναφοράς με $k=0.03 \text{ W/mK}$ και $w=0.04\text{m}$, για την 21^η Δεκεμβρίου. Τα σημεία τομής των καμπυλών αντιστοιχούν σε «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος.



Διάγραμμα 12.1.3: Προβλεπόμενο ημερήσιο θερμικό ηλιακό κέρδος και ημερήσιες απώλειες δι' αγωγής μέσω του κελύφους για διαφορετικές τιμές του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U_f , για το κτίριο αναφοράς με $k=0.03 \text{ W/mK}$ και $w=0.04\text{m}$, για την 21^η Ιανουαρίου. Τα σημεία τομής των καμπυλών αντιστοιχούν σε «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος.



Διάγραμμα 12.1.4: Προβλεπόμενο ημερήσιο θερμικό ηλιακό κέρδος και ημερήσιες απώλειες δι' αγωγής μέσω του κελύφους για διαφορετικές τιμές του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U_f , για το κτίριο αναφοράς με $k=0.03 \text{ W/mK}$ και $w=0.04\text{m}$, για την 21^η Φεβρουαρίου. Τα σημεία τομής των καμπυλών αντιστοιχούν σε «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος.



Διάγραμμα 12.1.5: Προβλεπόμενο ημερήσιο θερμικό ηλιακό κέρδος και ημερήσιες απώλειες δι' αγωγής μέσω του κελύφους για διαφορετικές τιμές του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U_f , για το κτίριο αναφοράς με $k=0.03 \text{ W/mK}$ και $w=0.04\text{m}$, για την 21^η Μαρτίου. Τα σημεία τομής των καμπυλών αντιστοιχούν σε «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος.

Από τα Διαγράμματα 12.1.1 - 12.1.5 υπογραμμίζουμε τα εξής :

- Αρχικά παρατηρούμε ότι η ημερήσια απώλεια θερμότητας δι' αγωγής ακολουθεί την εξής φθίνουσα σειρά: Ιανουάριος, Δεκέμβριος, Φεβρουάριος, Νοέμβριος και Μάρτιος. Ενώ, από τις καμπύλες του θερμικού ηλιακού κέρδους για κάθε μήνα, παρατηρούμε ότι αυτό αυξάνεται ακολουθώντας την παραπάνω σειρά.
- Για τον μήνα Νοέμβριο για $U_f=1 \text{ W/m}^2\text{K}$ παρατηρείται ψευδοαδιαβατικό κέλυφος για $P_f=25\%$, για $U_f=2 \text{ W/m}^2\text{K}$ για $P_f=28\%$, για $U_f=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ για $P_f=30\%$ και τέλος για $U_f=3 \text{ W/m}^2\text{K}$ για $P_f=34\%$.
- Για τον Δεκέμβριο παρατηρείται ψευδοαδιαβατικό κέλυφος μόνο για $U_f=1 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $U_f=2 \text{ W/m}^2\text{K}$ για $P_f=39\%$ και $P_f=48\%$ αντίστοιχα.
- Για τον Ιανουάριο επίσης παρατηρείται ψευδοαδιαβατικό κέλυφος μόνο για $U_f=1 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $U_f=2 \text{ W/m}^2\text{K}$ για $P_f=40\%$ και $P_f=49\%$ αντίστοιχα.
- Για τον μήνα Φεβρουάριο για $U_f=1 \text{ W/m}^2\text{K}$ παρατηρείται ψευδοαδιαβατικό κέλυφος για $P_f=28\%$, για $U_f=2 \text{ W/m}^2\text{K}$ για $P_f=32\%$, για $U_f=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ για $P_f=35\%$ και τέλος για $U_f=3 \text{ W/m}^2\text{K}$ για $P_f=38\%$.

- Τέλος, τον Μάρτιο απαιτείται μικρότερο ποσοστό υαλοπινάκων, δηλαδή με $U_f=1 \text{ W/m}^2\text{K}$ για την επίτευξη ψευδοαδιαβατικού κελύφους απαιτείται $P_f=21\%$, για $U_f=2 \text{ W/m}^2\text{K}$ απαιτείται $P_f=23\%$, για $U_f=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ απαιτείται $P_f=24\%$ και για $U_f=3 \text{ W/m}^2\text{K}$ απαιτείται $P_f=25,5\%$.
- Δηλαδή, με βάση τα παραπάνω αξίζει να παρατηρήσουμε ότι όσο αυξάνεται η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας υαλοπινάκων απαιτείται μεγαλύτερο ποσοστό υαλοπινάκων για να επιτευχθεί μηδενική ενεργειακή κατανάλωση. Αυτό είναι λογικό καθώς αυξάνοντας το συντελεστή U_f με σταθερά τα w , k αυξάνονται οι απώλειες υαλοπινάκων δι' αγωγής με αποτέλεσμα να απαιτείται μεγαλύτερη τιμή θερμικού ηλιακού κέρδους για να επαληθευτεί η εξίσωση 12.1.1 και συνεπώς μεγαλύτερο ποσοστό υαλοπινάκων στην επιφάνεια του κτιριακού κελύφους.
- Να σημειώσουμε ακόμη ότι τους μήνες Ιανουάριο πρώτα και στη συνέχεια Δεκέμβριο, όπου η ημερήσια απώλεια θερμότητας δι' αγωγής είναι αυξημένη και το θερμικό ηλιακό κέρδος χαμηλό απαιτείται μεγαλύτερο ποσοστό υαλοπινάκων για τις ίδιες τιμές συντελεστή θερμικής διαπερατότητας με τους μήνες Μάρτιο, Νοέμβριο και Φεβρουάριο που εμφανίζουν το μεγαλύτερο θερμικό κέρδος και τις μικρότερες απώλειες.

12.2 Συνδυασμένη επίδραση των παραμέτρων μόνωσης και υαλοπινάκων στην προσέγγιση ψευδοαδιαβατικού κελύφους για τους μήνες θέρμανσης στη περιοχή της Αθήνας

Όπως αναφέραμε και παραπάνω βασικός σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι η εκτίμηση των τιμών των παραμέτρων της μόνωσης και των υαλοπινάκων για τις οποίες μηδενίζεται η ενεργειακή κατανάλωση τους μήνες θέρμανσης. Αυτό συμβαίνει καθώς οι υαλοπίνακες κυρίως και σε μικρότερο βαθμό η μόνωση επιτρέπουν την είσοδο σε θετικά φορτία (θερμικό ηλιακό κέρδος) αλλά και σε αρνητικά (απώλειες θερμότητας δι' αγωγής λόγω διαφοράς θερμοκρασίας) των οποίων το άθροισμα μπορεί να είναι θετικό, αρνητικό ή μηδέν.

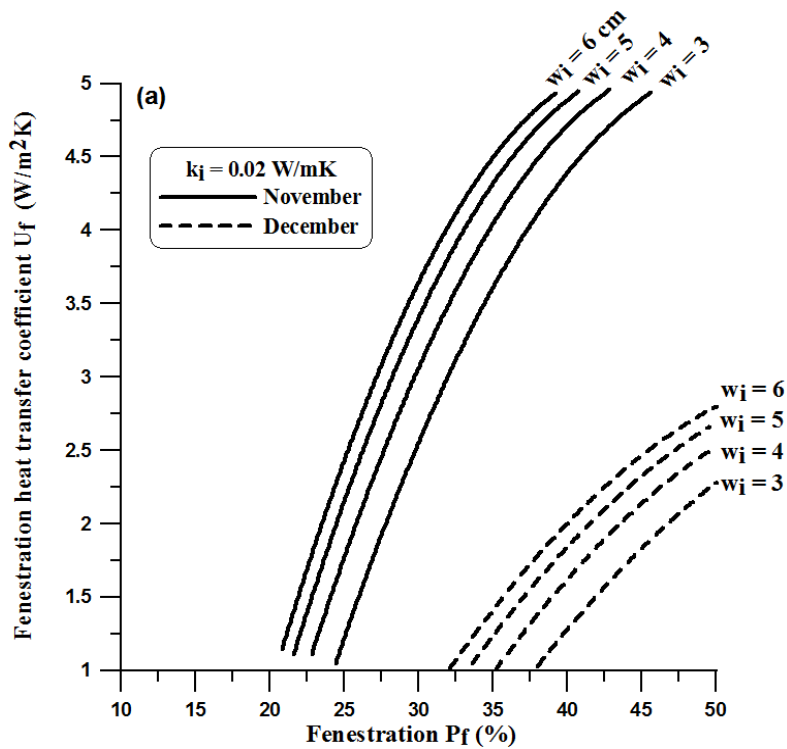
Στο παρόν κεφάλαιο για να αναζητήσουμε τους συνδυασμούς των παραμέτρων που δίνουν ψευδοαδιαβατικό κέλυφος χρησιμοποιήσαμε και πάλι το βελτιωμένο κτίριο αναφοράς δηλαδή με διαφορετική κατανομή των υαλοπινάκων (50% στο νότο, 25% στην ανατολή και τη δύση) από αυτή του κτιρίου που

χρησιμοποιήσαμε στο Κεφάλαιο 10. Αυτή η “βελτίωση” ήταν καθοριστικής σημασίας αφού όπως είδαμε στο 10^ο Κεφάλαιο το κτίριο αναφοράς με κατανομή υαλοπινάκων 25% σε όλους τους προσανατολισμούς ήταν ενεργειακά ζημιόγνο για όλους τους μήνες θέρμανσης. Στο ίδιο κεφάλαιο είδαμε ότι για το βόρειο προσανατολισμό το ηλιακό θερμικό κέρδος των υαλοπινάκων ήταν σαφώς μικρότερο σε σχέση με αυτό που προέκυπτε για τους άλλους προσανατολισμούς και ειδικά με του νότου όπου η εισερχόμενη ακτινοβολία ήταν αυξημένη περίπου κατά 30% κάθε μήνα σε σχέση με αυτή του βορρά.

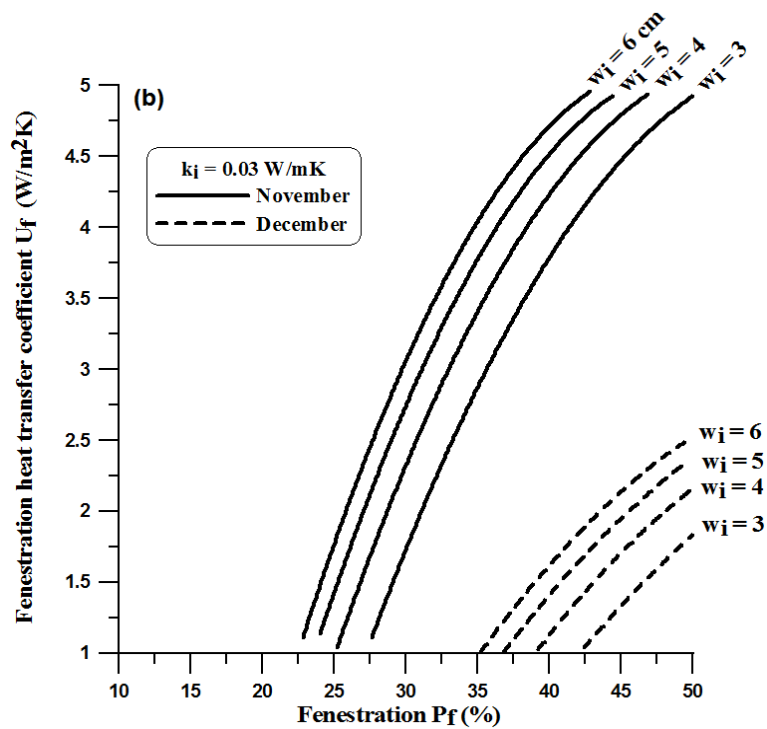
Συνεπώς, αποφεύγοντας την τοποθέτηση υαλοπινάκων στο βόρειο προσανατολισμό και ενισχύοντας ταυτόχρονα το ποσοστό αυτών στο νότο επιτεύχθηκε ευνοϊκότερη αρχικά από ενεργειακής και κατ’ επέκταση από οικονομικής άποψης, συμπεριφορά του κτιρίου.

Ακόμη μια παρατήρηση που πρέπει να σημειωθεί όσον αφορά τους υπολογισμούς του παρόντος κεφαλαίου έχει να κάνει με το φορτίο λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρα το οποίο αν και δεν συμπεριλαμβάνεται στην εξίσωση 12.1.1 αποτελεί απώλεια για το κέλυφος και λήφθηκε υπόψη. Αρχικά οι υπολογισμοί έγιναν με το φορτίο αυτό να αντιστοιχεί σε 2 αλλαγές αέρα ανά ώρα, όπως είχε θεωρηθεί και στο 10^ο Κεφάλαιο ότι συμβαίνει στο κτίριο αναφοράς μας. Ωστόσο με το δεδομένο αυτό δεν προέκυψε κανένας δυνατός συνδυασμός παραμέτρων που να εξασφαλίζει ψευδοαδιαβατικό κέλυφος καθώς έδιναν ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση μεγαλύτερη του μηδενός. Για τον λόγο αυτόν επιλέχθηκε 1 αλλαγή αέρα ανά ώρα.

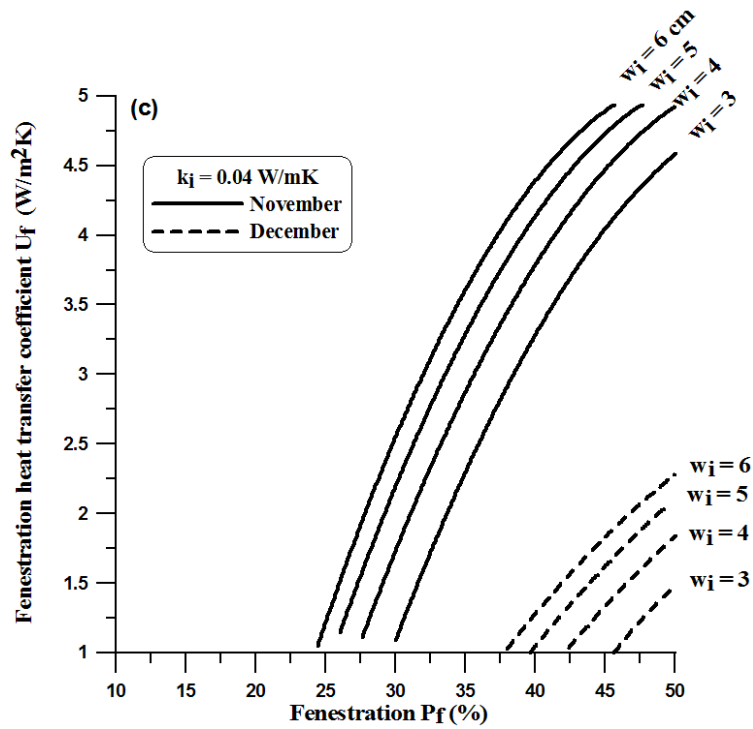
Στα διαγράμματα λοιπόν που ακολουθούν μελετώνται οι συνδυασμοί των παραμέτρων μόνωσης και υαλοπινάκων που καθιστούν το κτιριακό κέλυφος «ψευδοαδιαβατικό». Απεικονίζεται ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων U_f συναρτήσει του ποσοστού P_f το οποίο όπως αναφέραμε κατανέμεται σε ποσοστά 50% στο νότο, 25% στην ανατολή και 25% στη δύση. Το πάχος μόνωσης παίρνει τις τιμές $w=3, 4, 5$ και 6 cm και ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας παίρνει τις τιμές $k=0.02, 0.03, 0.04$ και 0.05 W/m K. Οι υπολογισμοί έγιναν για τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο (Διαγράμματα 12.2.1(a)-(d)) και για τους Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο (Διαγράμματα 12.2.2(a)-(d)) και τα κλιματολογικά δεδομένα ελήφθησαν για την περιοχή της Αθήνας. Η εσωτερική θερμοκρασία θεωρήθηκε σταθερή και ίση με 20 °C.



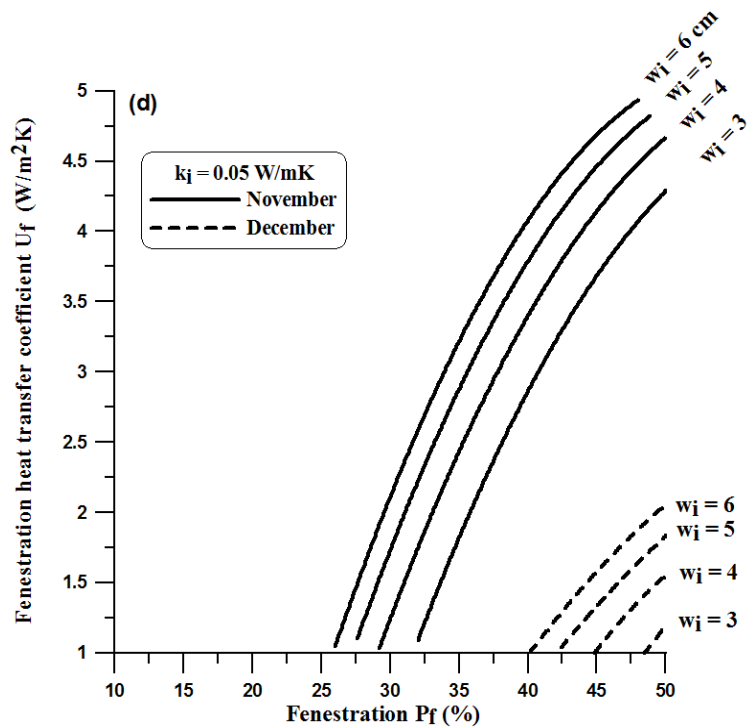
Διάγραμμα 12.2.1(α): Προβλεπόμενοι συνδυασμοί παραμέτρων κελύφους (k , w , U_f , P_f) για τους οποίους λαμβάνεται «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος για την 21^η Νοεμβρίου και Δεκεμβρίου και ειδική θερμική αγωγιμότητα μόνωσης $k=0.02$ W/mK.



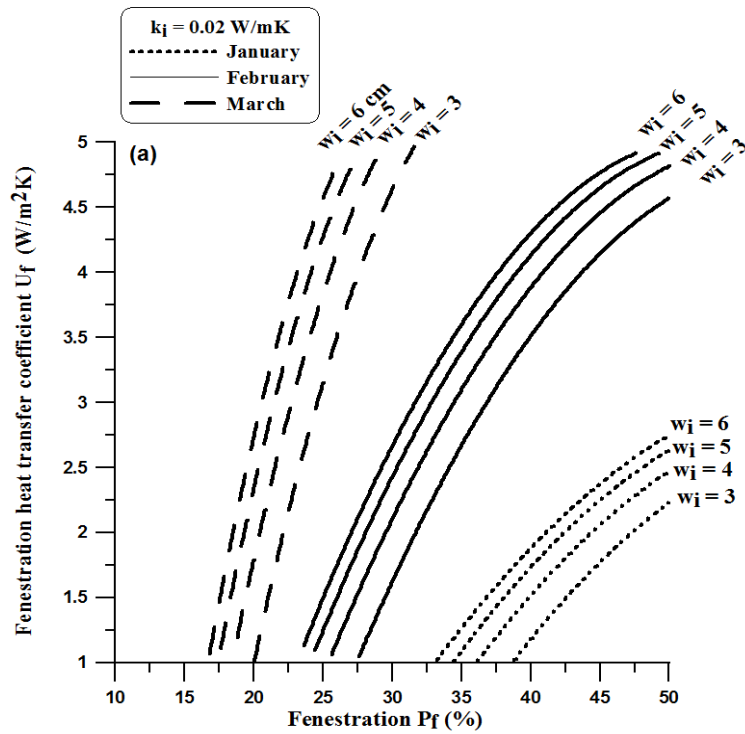
Διάγραμμα 12.2.1(β): Προβλεπόμενοι συνδυασμοί παραμέτρων κελύφους (k , w , U_f , P_f) για τους οποίους λαμβάνεται «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος για την 21^η Νοεμβρίου και Δεκεμβρίου και ειδική θερμική αγωγιμότητα μόνωσης $k=0.03$ W/mK.



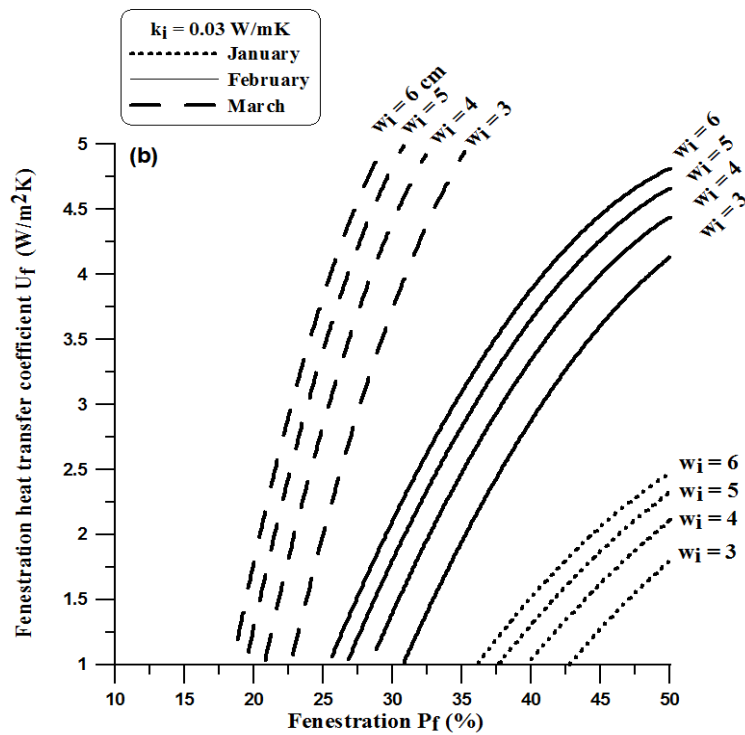
Διάγραμμα 12.2.1(c): Προβλεπόμενοι συνδυασμοί παραμέτρων κελύφους (k , w , U_f , P_f) για τους οποίους λαμβάνεται «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος για την 21^η Νοεμβρίου και Δεκεμβρίου και ειδική θερμική αγωγιμότητα μόνωσης $k=0.04$ W/mK.



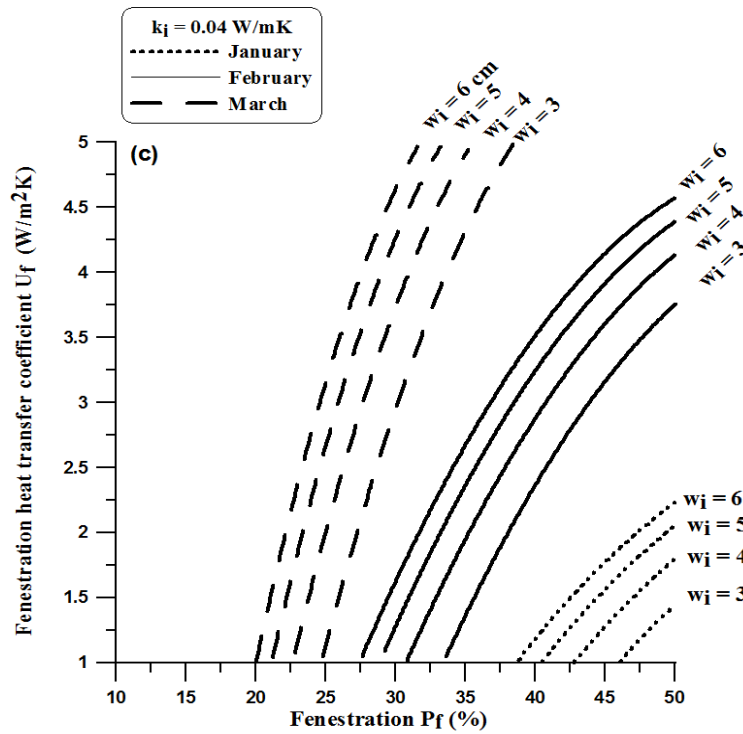
Διάγραμμα 12.2.1(d): Προβλεπόμενοι συνδυασμοί παραμέτρων κελύφους (k , w , U_f , P_f) για τους οποίους λαμβάνεται «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος για την 21^η Νοεμβρίου και Δεκεμβρίου και ειδική θερμική αγωγιμότητα μόνωσης $k=0.05$ W/mK.



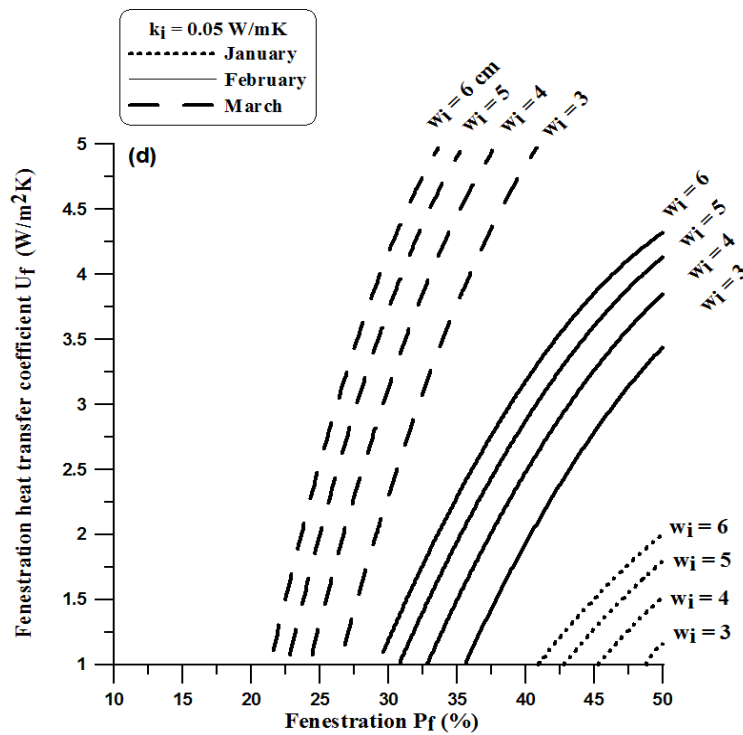
Διάγραμμα 12.2.2(a): Προβλεπόμενοι συνδυασμοί παραμέτρων κελύφους (k , w , U_f , P_f) για τους οποίους λαμβάνεται «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος για την 21^η Ιανουαρίου, Φεβρουαρίου και Μαρτίου και ειδική θερμική αγωγιμότητα μόνωσης $k=0.02$ W/mK.



Διάγραμμα 12.2.2(b): Προβλεπόμενοι συνδυασμοί παραμέτρων κελύφους (k , w , U_f , P_f) για τους οποίους λαμβάνεται «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος για την 21^η Ιανουαρίου, Φεβρουαρίου και Μαρτίου και ειδική θερμική αγωγιμότητα μόνωσης $k=0.03$ W/mK.



Διάγραμμα 12.2.2(c): Προβλεπόμενοι συνδυασμοί παραμέτρων κελύφους (k , w , U_f , P_f) για τους οποίους λαμβάνεται «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος για την 21^η Ιανουαρίου, Φεβρουαρίου και Μαρτίου και ειδική θερμική αγωγιμότητα μόνωσης $k=0.04$ W/mK.



Διάγραμμα 12.2.2(d): Προβλεπόμενοι συνδυασμοί παραμέτρων κελύφους (k , w , U_f , P_f) για τους οποίους λαμβάνεται «ψευδοαδιαβατικό» κέλυφος για την 21^η Ιανουαρίου, Φεβρουαρίου και Μαρτίου και ειδική θερμική αγωγιμότητα μόνωσης $k=0.05$ W/mK.

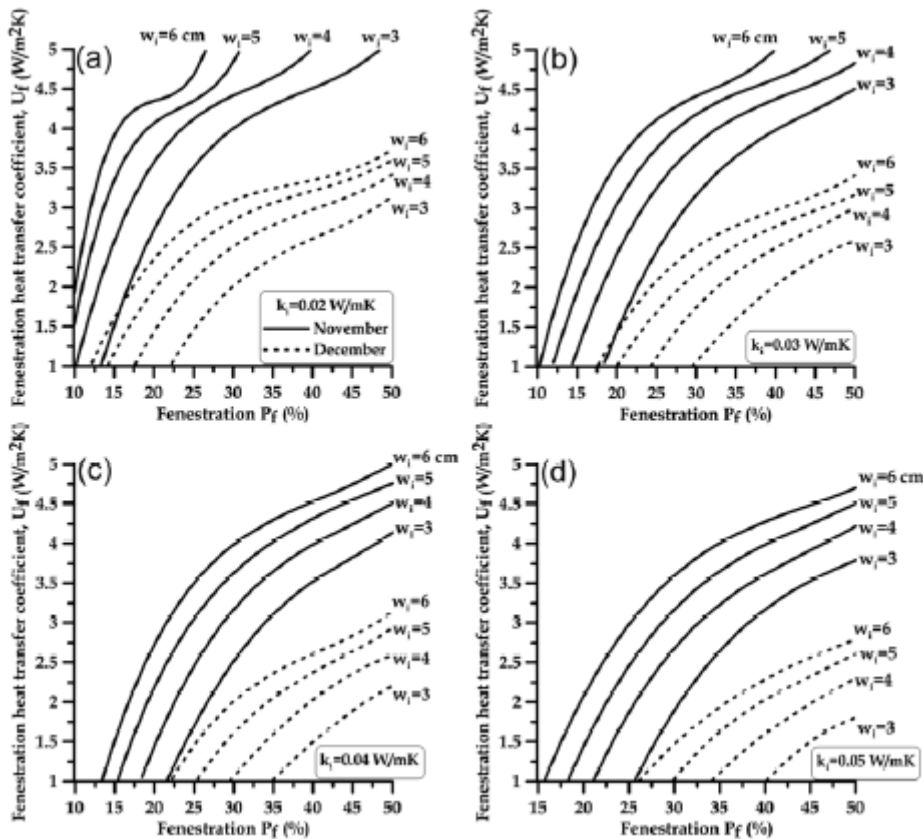
Από τα παραπάνω (Διαγράμματα 12.2.1-12.2.2) προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Όταν μειώνεται η αποδοτικότητα της μόνωσης (είτε λόγω αύξησης του k είτε λόγω μείωσης του w) απαιτείται αύξηση του ποσοστού υαλοπινάκων P_f για να εξασφαλιστεί ψευδοαδιαβατικό κελύφος. Αυτό συμβαίνει καθώς η αύξηση του P_f επιτρέπει μεγαλύτερα ηλιακά θερμικά κέρδη F_S τα οποία εξισορροπούν τις αυξημένες απώλειες δι'αγωγής E_{CT} που προκαλούνται λόγω της μειωμένης αποδοτικότητας της μόνωσης και τελικά επιτυγχάνεται αδιαβατική συμπεριφορά του κελύφους.
- Όταν αυξάνεται η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας U_f και για σταθερά τα χαρακτηριστικά της μόνωσης (w, k) αυξάνεται και το φορτίο υαλοπινάκων δι' αγωγής. Σε αυτή την περίπτωση για επίτευξη ψευδοαδιαβατικού κελύφους απαιτείται αύξηση του ποσοστού P_f προκειμένου να αυξηθεί η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και να μηδενιστεί η διαφορά του F_S και του E_{CT} .
- Όταν η αποδοτικότητα της μόνωσης μειώνεται, διατηρώντας σταθερή τη τιμή του ποσοστού P_f των υαλοπινάκων αυξάνονται οι απώλειες του κελύφους λόγω μεταφοράς θερμότητας δι' αγωγής μέσω της οροφής και των τοίχων. Αυτή η αύξηση μπορεί να εξισορροπηθεί με μείωση της τιμής του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων U_f προκειμένου να μειωθούν οι απώλειες δι' αγωγής των παραθύρων.
- Όταν μειώνεται το ποσοστό υαλοπινάκων P_f το θερμικό ηλιακό κέρδος επίσης μειώνεται. Έτσι προκειμένου να διατηρηθεί ψευδοαδιαβατικό το κελύφος απαιτείται μία ίση μείωση των απωλειών θερμότητας δι' αγωγής που επιτυγχάνεται είτε μέσω μείωσης του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας k ή αυξάνοντας το πάχος της μόνωσης είτε μειώνοντας το συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U_f .
- Στα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ξεκάθαρα η επίδραση του μήνα στους διάφορους συνδυασμούς των παραμέτρων μόνωσης και υαλοπινάκων που επιτυγχάνουν ψευδοαδιαβατικό κελύφος. Αρχικά βλέπουμε στα διαγράμματα 12.2.1(α)-(d) για σταθερά k , w και U_f ότι ο Δεκέμβρης απαιτεί μεγαλύτερο ποσοστό υαλοπινάκων από τον Νοέμβρη όπου οι απώλειες είναι μικρότερες και η εισερχόμενη ακτινοβολία μεγαλύτερη. Αντίστοιχα στα διαγράμματα 12.2.2(α)-(d) παρατηρούμε ότι οι καμπύλες του Ιανουαρίου κυμαίνονται σε μεγαλύτερες τιμές του P_f σε σχέση με το Φεβρουάριο και το Μάρτιο όπου βλέπουμε ότι απαιτούνται τα μικρότερα ποσοστά υαλοπινάκων για εξασφάλιση ψευδοαδιαβατικού κελύφους.

- Ακόμη όσον αφορά την επίτευξη «ψευδοαδιαβατικού» κελύφους ανά μήνα παρατηρούμε ότι τους μήνες Δεκέμβριο (Διάγραμμα 12.2.1(α)-(d)) και Ιανουάριο (Διάγραμμα 12.2.2(α)-(d)), όπου οι απώλειες θερμότητας είναι αυξημένες και το θερμικό ηλιακό κέρδος μειωμένο απαιτούνται αρκετά μικρότερες τιμές του συντελεστή U_f για ικανοποίηση της συνθήκης του ψευδοαδιαβατικού κελύφους με σταθερές τις υπόλοιπες τρεις κύριες παραμέτρους και σε σχέση με τους άλλους μήνες.

12.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων που προέκυψαν στη παρούσα εργασία με τα αντίστοιχα της μεθόδου πεπερασμένων διαφορών

Προκειμένου να ελέγξουμε την ακρίβεια της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα εργασία αλλά και την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων της συγκρίνουμε τα αποτελέσματα αυτά (Διαγράμματα 12.2.1-12.2.2) με αντίστοιχα που προέκυψαν με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων και παρουσιάζονται σε δημοσίευση [66].



Διάγραμμα 12.3.1(α)-(d): Συνδυασμοί των σημαντικότερων παραμέτρων του κτιριακού κελύφους (k_i , W_i , U_f , P_f), για τους οποίους επιτυγχάνεται ψευδοαδιαβατικό κέλυφος, κατά τη διάρκεια της 21^{ης} Νοεμβρίου και Δεκεμβρίου για τη περιοχή της Αθήνας και για τιμές ειδικής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης: (α) $k_i=0.02$ W/mK, (β) $k_i=0.03$ W/mK, (γ) $k_i=0.04$ W/mK, (δ) $k_i=0.05$ W/mK, με χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών.

- Στα διαγράμματα 12.3.2(α)-(d) σε σύγκριση με τα 12.2.2(α)-(d) παρατηρούμε για τον Ιανουάριο μια απόκλιση από 9 έως 21 %, για το Φεβρουάριο από 10 – 14 % και για τον Μάρτιο μεταξύ 7 και 10 %.
- Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να συνοψίσουμε λέγοντας ότι με τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία προέκυψαν μεγαλύτερες τιμές απαιτούμενου ποσοστού υαλοπινάκων P_f , κατά τα ποσοστά που αναφέραμε, προκειμένου να προσεγγιστεί ψευδοαδιαβατικό κέλυφος σε σχέση με αυτά που εμφανίζονται με τη χρήση των πεπερασμένων διαφορών. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε εδώ απαιτεί περισσότερες απλοποιήσεις-παραδοχές (π.χ. μη-ενσωμάτωσης της χρονικής υστέρησης των υλικών) από τη γενικά ακριβέστερη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών, για το λόγο αυτό παρατηρούνται αυτές οι ποσοτικές αποκλίσεις. Μπορεί όμως να ειπωθεί ότι ποιοτικά τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων βρίσκονται σε ικανοποιητική συμφωνία.

Κεφάλαιο 13^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

13.1 Συμπεράσματα

Αναπτύχθηκε μία μέθοδος, με την οποία κατέστη δυνατό να μελετηθεί η επίδραση των χαρακτηριστικών μεγεθών της μόνωσης και των υαλοπινάκων στην ενεργειακή κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης στα κτήρια. Τα δύο δομικά αυτά στοιχεία παρουσιάζουν την μεγαλύτερη και την μικρότερη, αντίστοιχα, θερμική αντίσταση, από όλα τα υπόλοιπα δομικά στοιχεία που απαρτίζουν το κτηριακό κέλυφος, για αυτό το λόγο η έρευνα εστιάστηκε σε αυτές τις παραμέτρους.

Η μελέτη αφορούσε τους μήνες θέρμανσης (από τον Νοέμβριο μέχρι και τον Μάρτιο) καθώς αυτοί οι μήνες έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω της αυξημένης είσοδος αρνητικών φορτίων έναντι θετικών. Στην εργασία αυτή έγινε παραμετρική μελέτη των χαρακτηριστικών μεγεθών της μόνωσης (πάχος, συντελεστής ειδικής θερμικής αγωγιμότητας) και των υαλοπινάκων (ποσοστό υαλοπινάκων, συντελεστής θερμικής διαπερατότητας) ώστε να βρεθεί η επίδραση του κάθε χαρακτηριστικού στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση. Πέραν των προαναφερθέντων παραμέτρων εξετάστηκε επίσης η επίδραση της επιθυμητής θερμοκρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος στην ενεργειακή κατανάλωση, καθώς και η επίδραση της ανομοιόμορφης κατανομής των υαλοπινάκων ανά προσανατολισμό.

Η μελέτη των παραπάνω παραμέτρων του κτηριακού κελύφους και των άλλων συνθηκών κατέστησε εφικτό να βρεθεί κατά πόσο είναι σημαντική ή όχι η επίδραση τους στην ενεργειακή κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης. Πέραν τούτου, όμως, ήταν προαπαιτούμενο για το επόμενο στάδιο της μελέτης που ήταν η εύρεση του συνδυασμού των παραμέτρων αυτών που αποδίδει μηδενική ενεργειακή κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης, δηλαδή για ποιό συνδυασμό έχουμε ψευδοαδιαβατικό κέλυφος.

Για όλα τα επιμέρους στάδια της υπολογιστικής αυτής μελέτης προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα, τα οποία αναλύονται λεπτομερώς στο εκάστοτε κεφάλαιο (Κεφάλαιο 10, 11 και 12). Στο σημείο αυτό ανακεφαλαιώνονται τα σημαντικότερα, τα οποία είναι τα εξής:

- Για τα χαρακτηριστικά της μόνωσης ($k_i = 0,038 \text{ W/mK}$ και $w_i = 0,05 \text{ m}$) και των υαλοπινάκων ($U_f = 3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $P_f = 20 \%$) που επιλέχθηκαν στο κτήριο αναφοράς αυτής της εργασίας προκύπτει ότι το συνολικό φορτίο κελύφους για τη 21^η ημέρα κάθε μήνα θέρμανσης είναι αρνητικό. Συνεπώς, αυτός ο συνδυασμός παραμέτρων κρίνεται ασύμφορος ενεργειακά καθώς σημειώνονται μεγάλες απώλειες.
- Μεγαλύτερες συνολικές ημερήσιες απώλειες παρουσιάζονται τον Ιανουάριο ενώ μικρότερες τον Μάρτιο. Αυτό οφείλεται στο ότι η διαφορά ανάμεσα στις συνολικές απώλειες δι' αγωγής μέσω τοίχων, οροφών και διείσδυσης αέρα και στο ηλιακό θερμικό κέρδος υαλοπινάκων είναι μέγιστη τον Ιανουάριο και ελάχιστη τον Μάρτιο.
- Για τις περισσότερες ώρες της ημέρας οι απώλειες από τους υαλοπίνακες, τους τοίχους, την οροφή και τη διείσδυση αέρα υπερσχύουν του ηλιακού θερμικού κέρδους μέσω των υαλοπινάκων. Υπάρχει όμως ένα διάστημα από τις 9:00 έως τις 15:00 που προκύπτει θετικό φορτίο για κάποιες ώρες ανά μήνα. Συγκεκριμένα το Νοέμβριο το συνολικό φορτίο του κελύφους είναι θετικό από τις 10:00 έως τις 16:00, τον Δεκέμβριο από τις 12:00 έως τις 14:00, τον Ιανουάριο από τις 12:00 έως τις 15:00, το Φεβρουάριο από τις 10:00 έως τις 16:00 και τέλος τον Μάρτιο από τις 9:00 έως τις 17:00.
- Αυξάνοντας το ποσοστό της επιφάνειας των υαλοπινάκων στο κέλυφος, η ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση μειώνεται. Αυτό έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς αύξηση του ποσοστού υαλοπινάκων συνεπάγεται από την μία αύξηση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και συνεπώς του ηλιακού θερμικού κέρδους, από την άλλη όμως αυξάνονται και οι απώλειες δι' αγωγής μέσω των υαλοπινάκων. Απ' ότι φαίνεται όμως η αύξηση του ηλιακού θερμικού κέρδους υπερσχύει της αύξησης των απωλειών και γι' αυτό προκύπτει μείωση της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας.
- Αυξάνοντας το πάχος της μόνωσης προκύπτει μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας για θέρμανση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αύξηση του πάχους της μόνωσης προκαλεί μείωση των απωλειών δι' αγωγής λόγω διαφοράς θερμοκρασίας διαμέσου των τοίχων και της οροφής.
- Αυξάνοντας το συντελεστή θερμικής διαπερατότητας, αυξάνεται η ενεργειακή κατανάλωση καθώς αυξάνονται οι απώλειες δι' αγωγής των υαλοπινάκων.

- Αυξάνοντας την ειδική θερμική αγωγιμότητα της μόνωσης, αυξάνεται η ενεργειακή κατανάλωση καθώς αυξάνονται οι απώλειες δι' αγωγής μέσω των εξωτερικών τοίχων και της οροφής.
- Παρατηρήθηκε ότι η επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας εσωτερικού περιβάλλοντος στην τιμή της ενεργειακής κατανάλωσης για ένα συγκεκριμένο συνδυασμό παραμέτρων μόνωσης και υαλοπινάκων είναι σταθερή και ίση για όλους τους μήνες θέρμανσης.
- Παρατηρήθηκε ότι για βελτιωμένη κατανομή των υαλοπινάκων η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης μειώνεται σε σχέση με την περίπτωση ομοιόμορφου καταμερισμού των υαλοπινάκων, καθώς αυξάνεται η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία που αποτελεί κέρδος για το κέλυφος. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς στην περίπτωση της βελτιωμένης κατανομής το 50% της συνολικής επιφάνειας των υαλοπινάκων στο κέλυφος τοποθετείται στην νότια όψη που δέχεται την μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία και συνεπώς παρουσιάζει το μεγαλύτερο ηλιακό θερμικό κέρδος σε σχέση με τους υπόλοιπους προσανατολισμούς.
- Όταν μειώνεται η αποδοτικότητα της μόνωσης (είτε λόγω αύξησης του k είτε λόγω μείωσης του w) απαιτείται αύξηση του ποσοστού υαλοπινάκων P_f για να εξασφαλιστεί ψευδοαδιαβατικό κέλυφος. Αυτό συμβαίνει καθώς η αύξηση του P_f επιτρέπει μεγαλύτερα ηλιακά θερμικά κέρδη F_S τα οποία εξισορροπούν τις αυξημένες απώλειες δι' αγωγής E_{CT} που προκαλούνται λόγω της μειωμένης αποδοτικότητας της μόνωσης και τελικά επιτυγχάνεται αδιαβατική συμπεριφορά του κελύφους.
- Όταν αυξάνεται η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας U_f και για σταθερά τα χαρακτηριστικά της μόνωσης (w, k) αυξάνεται και το φορτίο υαλοπινάκων δι' αγωγής. Σε αυτή την περίπτωση για επίτευξη ψευδοαδιαβατικού κελύφους απαιτείται αύξηση του ποσοστού υαλοπινάκων προκειμένου να αυξηθεί η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και να μηδενιστεί η διαφορά μεταξύ του ηλιακού θερμικού κέρδους και των απωλειών δι' αγωγής.
- Όταν η αποδοτικότητα της μόνωσης μειώνεται, διατηρώντας σταθερή τη τιμή του ποσοστού των υαλοπινάκων αυξάνονται οι απώλειες του κελύφους λόγω μεταφοράς θερμότητας δι' αγωγής μέσω της οροφής και των τοίχων. Αυτή η αύξηση μπορεί να εξισορροπηθεί με μείωση της τιμής του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας υαλοπινάκων U_f προκειμένου να μειωθούν οι απώλειες δι' αγωγής των παραθύρων.

- Όταν μειώνεται το ποσοστό υαλοπινάκων P_f το θερμικό ηλιακό κέρδος επίσης μειώνεται. Έτσι προκειμένου να διατηρηθεί ψευδοαδιαβατικό το κελύφους απαιτείται μία ίση μείωση των απωλειών θερμότητας δι' αγωγής που επιτυγχάνεται ή μέσω μείωσης του συντελεστή ειδικής θερμικής αγωγιμότητας k ή αυξάνοντας το πάχος της μόνωσης ή μειώνοντας το συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U_f .
- Η μέθοδος της εργασίας απαιτεί κάποιες απλοποιήσεις-παραδοχές (π.χ. μη-ενσωμάτωσης της χρονικής υστέρησης των υλικών), που δε συμβαίνουν στην περίπτωση χρησιμοποίησης της γενικά ακριβέστερης μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών. Για το λόγο αυτό παρατηρούνται ποσοτικές αποκλίσεις από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της μεθόδου της εργασίας αυτής με τα αντίστοιχα μία δημοσίευσης [66] που χρησιμοποιεί την μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών. Μπορεί όμως να ειπωθεί ότι τουλάχιστον ποιοτικά τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων βρίσκονται σε ικανοποιητική συμφωνία. Ποσοτικά, τα αποτελέσματα παρουσιάζουν γενικά μία απόκλιση της τάξης του 10%, αλλά για ποσοστό υαλοπινάκων $P_f > 25\%$ (συνήθης τιμή σε ένα κτήριο) η απόκλιση αυτή είναι μικρότερη.

Γενικά, δεν είναι σωστό να βασιστούμε στις ωριαίες τιμές για εξαγωγή συμπερασμάτων, διότι έχουμε θεωρήσει το φαινόμενο ως μόνιμο και συνεπώς δεν έχουμε λάβει υπόψη στους υπολογισμούς τη χρονική υστέρηση των υλικών. Θεωρούμε δηλαδή ότι δεν παρέρχεται κανένα χρονικό διάστημα από τη στιγμή που η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στην εξωτερική επιφάνεια του κελύφους μέχρι την είσοδο της στο εσωτερικό του κελύφους και τη θέρμανση του αέρα του χώρου. Θεωρούμε όμως ότι το σφάλμα μειώνεται εφόσον αυτές υπολογίζονται για ολόκληρο το 24ωρο καθώς κατά τη διάρκεια του 24ωρου ολόκληρη η θερμότητα που εισήλθε καταλήγει στον αέρα που υπάρχει στο εσωτερικό του κτιρίου.

13.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Όπως συζητήθηκε κατά την ανάπτυξη του μοντέλου που εφαρμόστηκε σε αυτήν την εργασία, διάφορες απλοποιήσεις και παραδοχές πραγματοποιήθηκαν ώστε να προκύψουν τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

Θεωρείται σκόπιμο, λοιπόν, να προταθούν μερικοί τρόποι μελλοντικής προσέγγισης του θέματος, ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα αλλά και για να διευρυνθεί το γνωστικό αντικείμενο γύρω από την ενεργειακή κατανάλωση των κτηρίων.

Κρίνεται λοιπόν σημαντικό οι μελλοντικές έρευνες να εστιάσουν και σε άλλες παραμέτρους που επηρεάζουν την ενεργειακή κατανάλωση κτηρίων, πέραν όσων μελετήθηκαν εδώ, έτσι ώστε να υπάρχει μία σφαιρική άποψη επί του θέματος. Μερικές από αυτές θα μπορούσαν να είναι:

- η μείωση του βαθμού έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας λόγω εξωτερικών συνθηκών (π.χ. νέφωση),
- ο συντελεστής σκίασης του κτηρίου από παρακείμενα κτήρια, ή ακόμα και από το ίδιο κτήριο (π.χ. από τα μπαλκόνια των υψηλότερων ορόφων σε μία πολυκατοικία),
- η ενσωμάτωση των εσωτερικών θερμικών φορτίων λόγω της δραστηριότητας των ανθρώπων στο κτήριο, ή λόγω φωτισμού και χρήσης ηλεκτρικών συσκευών,
- το σχήμα του κτιρίου, για παράδειγμα θα μπορούσε να γίνει μελέτη για ένα τυπικό κτίριο ορθογωνικού σχήματος το οποίο θα είναι προσανατολισμένο έτσι ώστε η μεγάλη επιφάνεια του να είναι στραμμένη προς το νότο,
- ο αερισμός του κτιριακού κελύφους, όπως για παράδειγμα η αύξηση των απαιτήσεων για νωπό εξωτερικό αέρα που θα οδηγήσει σε αύξηση της ανανέωσης του αέρα του εσωτερικού χώρου, με αποτέλεσμα την αύξηση των απωλειών θερμότητας ιδιαίτερα κατά την περίοδο θέρμανσης.

Όλες οι παραπάνω παράμετροι θεωρούνται εξίσου σημαντικές και σε ορισμένες περιπτώσεις θα μπορούσαν να έχουν αρκετή επίδραση πάνω στα ποσοτικά αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν σε αυτήν την εργασία. Οπότε μία μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να εμπεριέχει αυτές τις παραμέτρους, καθώς κατά το σχεδιασμό ενός κτιρίου πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλα τα φορτία και οι χώροι να σχεδιάζονται ανάλογα τόσο από πλευράς βέλτιστης χωροθέτησης, όσο και από πλευράς άλλων απαιτήσεων. Για παράδειγμα, ένας χώρος με μεγάλα εσωτερικά θερμικά κέρδη, που έχει μικρότερες απαιτήσεις σε θέρμανση και περισσότερες σε ψύξη ή και αερισμό, μπορεί να τοποθετείται σε σημείο του κτιρίου, που λόγω προσανατολισμού ή λόγω σκίασης από γειτονικά κτίρια να δέχεται λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία ή σε σημείο που να έχει μεγαλύτερη έκθεση στον άνεμο, απ' ότι άλλοι χώροι με μικρότερα εσωτερικά θερμικά κέρδη.

Βιβλιογραφία

- [1] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, (2008). Η εφαρμογή του Νόμου 3661/08 για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων.
- [2] Κλειώ Ν. Αζαρλή, (2009). Ενεργειακός σχεδιασμός και ενεργειακή απόδοση κτιρίων – Γενικές αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού.
- [3] Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, (2008). Σχέδιο μελέτης ανάπτυξης συστήματος μεταφοράς περιόδου 2008-2012.
- [4] Υπουργείο Ανάπτυξης, (2007). Πρώτη έκθεση για το μακροχρόνιο ενεργειακό σχεδιασμό της Ελλάδας 2008-2020.
- [5] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, 2000. Οδηγός ενεργειακής επιθεώρησης, μέρος 1^ο: Μεθοδολογία και τεχνικές.
- [6] LECO Οικολογικά συστήματα δόμησης, Βιοκλιματική - Ενεργειακή αρχιτεκτονική, <<http://eco.firecat.gr>>.
- [7] Καλογήρου Χρ., (2010). Διερεύνηση των βιοκλιματικών χαρακτηριστικών της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής του Μετσόβου - δυνατότητες προσαρμογής σύγχρονων τρόπων δόμησης. Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π.: Ελλάδα.
- [8] Παπαδόπουλος Α.Μ., (2008). Ενεργειακό ισοζύγιο κτιρίου - θέρμανση και κλιματισμός.
- [9] Γιαννακούρας Ι., Ζαραβέλα Δ., Μανδρίκας Α., Ανανεώσιμες – Ήπιες πηγές ενέργειας.
- [10] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Παθητικά Ηλιακά Συστήματα, <http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/thermansia/pathitika_iliaka_systimata.htm>.
- [11] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, (2002). Βιοκλιματικός σχεδιασμός στην Ελλάδα: Ενεργειακή απόδοση και κατευθύνσεις της εφαρμογής.
- [12] Αραβαντινός Δ., (2009). Οικοδομικές επεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος νέων και υφιστάμενων κτιρίων για τη βελτίωση της θερμικής τους συμπεριφοράς.
- [13] Canada Mortgage and Housing Corporation, Green Housing, <http://www.cmhc-schl.gc.ca/en/co/grho/grho_012.cfm>.
- [14] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (2000). Οδηγός ενεργειακής επιθεώρησης μέρος 2^ο: Δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας.
- [15] Τεχνική οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, (2010). Τ.Ο.ΤΕΕ 20702-5/2010, Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτηρίων.

- [16] Κορωναίος Α.Γ., Σαργέντης Φ.Γ., (2005). Δομικά υλικά και οικολογία.
- [17] Γεωργιάδου Ε., (2012). Βιοκλιματικός σχεδιασμός – Κ.Εν.Α.Κ.
- [18] Παπαδόπουλος Α.Μ., (2006). Θερμική άνεση στα κτίρια, νέα πρότυπα και βελτίωση θερμικής άνεσης στα κτίρια.
- [19] Τεχνική οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, (2010). Τ.Ο.ΤΕΕ 20701-1/2010, Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης.
- [20] Τζανακάκη Ε., (2011). Περιβαλλοντικές παρεμβάσεις σε υπαίθριους χώρους.
- [21] Πέρδιος Σ.Δ., (2007). Επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια - αθλητικά κέντρα - βιομηχανίες - μεταφορές.
- [22] Τεχνική οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, (2010). Τ.Ο.ΤΕΕ 20701-3/2010, Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών.
- [23] Αντωνόπουλος Κ.Α., (2011). Κλιματισμός, Μέρος Πρώτο.
- [24] Beall C., (1998). Thermal and moisture protection manual for architects, engineers and contractors. McGraw-Hill: New York.
- [25] Αντωνόπουλος Κ.Α., (2008). Θερμικά ηλιακά συστήματα, Μέρος Πρώτο.
- [26] Θεοδοσίου Θ., Επεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων στο κέλυφός τους.
- [27] Αραβαντινός Δ., (2008). Εξωτερικές τοιχοποιίες: υλικά και κατασκευή, θερμομόνωση και υγρομόνωση, επίχριση και βαφή, συντήρηση και επισκευή.
- [28] Παπαϊωάννου Κ., (1998). Η τεχνολογία της τοιχοποιίας.
- [29] Μπίκας Δ., (2007). Ξύλινη στέγη: κατασκευή, υλικά, θερμομόνωση, στεγανοποίηση, επικαλύψεις, φωτοβολταϊκά, εξαρτήματα, επισκευή.
- [30] Αραβαντινός Δ., (2005). Θερμομόνωση και στεγανοποίηση των κτιρίων: διάγνωση, ευαίσθητα σημεία, επιλογή λύσης, υλικά, εφαρμογή.
- [31] ενERGON Τεχνική, Φυτεμένο δώμα,
<<http://www.energontexniki.gr/data.php?timicat1=52593&timicat2=27966&timicat3=0&timicat4=0&timicat5=0&timicat6=0&timicat7=0>>.
- [32] Ανδρουτσόπουλος Α., (2008). Δυνατότητες εφαρμογής ΑΠΕ ως δομικά προϊόντα στο κέλυφος των κτιρίων.
- [33] Σκαρλάτος Π., (2007). Δάπεδα εσωτερικών και εξωτερικών χώρων: υλικά, επιλογή, τοποθέτηση, επεξεργασία, συντήρηση.
- [34] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, (2009). Κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία, κανονισμός - βλάβες - αποκατάσταση.

- [35] Σύλλογος πολιτικών μηχανικών Ελλάδας, (2012). Τεχνική οδηγία 3: Σκυροδέτηση σε συνήθεις καιρικές συνθήκες.
- [36] Ριζάκος ΑΒΕΤΕ, <<http://www.rizakos.gr/>>.
- [37] Υπουργείο Ενέργειας, Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού, (2010). Οδηγός θερμομόνωσης κτιρίων.
- [38] Παπαδόπουλος Α.Μ., (2004). Προδιαγραφές ιδιοτήτων θερμομονωτικών υλικών.
- [39] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, (1999). Οδηγός εξοικονόμησης ενέργειας μέσω θερμομόνωσης.
- [40] Κορωνάιος Α.Γ., Πουλάκος Γ.Ι., (2005). Τεχνικά υλικά, τόμος 2.
- [41] Κακάτσιος Ξ., (2006). Αρχές μεταφοράς θερμότητας και μάζης.
- [42] Αραβαντινός Δ., (2009). Επίδραση των θερμογεφύρων στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, προβλήματα και τρόποι αντιμετώπισης τους.
- [43] Τεχνική οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, (2010). Τ.Ο.ΤΕΕ 20701-2/2010, Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων.
- [44] Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.).
- [45] Zero Energy Buildings, Περλίτης,
<http://www.zeroenergybuildings.org/2012/03/blog-post_25.html>.
- [46] Isoren, Πλάκες υαλοβάμβακα για ψευδοροφές,
<http://www.isoren.gr/index.php?main_page=product_info&cPath=2_23_27_166&products_id=79>.
- [47] Isoren, Πλάκες υαλοβάμβακα για πλωτά δάπεδα,
<http://www.isoren.gr/index.php?main_page=product_info&cPath=2_23_26_154&products_id=67>.
- [48] Easy Green Low Energy Houses, Πετροβάμβακας,
<<http://www.easygreen.com.gr/categories.asp?catid=1123>>.
- [49] Isoren, Διογκωμένη Πολυστερίνη,
<http://www.isoren.gr/index.php?main_page=product_info&cPath=2_23_44&products_id=120>.
- [50] Sustainable development, Aerogel - the future of insulating materials,
<<http://www.elrst.com/tag/aerogel/>>.
- [51] Kistler S., (1932). Coherent Expanded-Aerogels. Journal of Physical Chemistry 36 (1): 52–64.

- [52] Fricke J., Heinemann U., Ebert H.P., (2008). Vacuum insulation panels - From research to market. *Vacuum* 82 (7): 680–690.
- [53] Fuchs B., Hofbeck K., Faulstich M., (2012). Vacuum insulation panels - A promising solution for high insulated tanks. *Energy Procedia* 30 (2012): 424-427.
- [54] Πρεφτίτση Φ., (2008). Κουφώματα: είδη, υλικά κατασκευής, πιστοποίηση, εξαρτήματα και αυτοματισμοί, υαλοπίνακες, συστήματα ηλιοπροστασίας, συντήρηση.
- [55] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Θερμομόνωση, <http://www.cres.gr/energy-saving/enimerosi_thermomonosi.htm>.
- [56] Κοντολέων Κ.Ι., Μπίκας Δ.Κ., (2005). Προσδιορισμός και εκτίμηση της «κρίσιμης αναλογίας» των υαλοστασίων στο εξωτερικό περίβλημα των κτιρίων.
- [57] Κορωναίος Α.Γ., Πουλάκος Γ.Ι., (2006). Τεχνικά υλικά, τόμος 4.
- [58] Πατρινός Χ., Περιβάλλον - Ενέργεια - Γυαλί, <<http://www.patrinos.gr/details2.php?lang=1&wh=1&thelid=19&theid=19&open1=19&open2=&thepid=182&page=1>>.
- [59] Μπίκας Δ.Κ., (2009). Κουφώματα και υαλοπετάσματα, τα τεχνικά χαρακτηριστικά και οι επιλογές που καθορίζουν την ενεργειακή τους απόδοση.
- [60] Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές, (2006). ΠΕΤΕΠ 03-08-7-02, Διπλοί υαλοπίνακες με ενδιάμεσο κενό.
- [61] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Χρήση βελτιωμένων υαλοπινάκων, <http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/thermiki_prostasia_kelyfous_xrиси_yalopinakon.htm>.
- [62] Βερνάρδου Δ., Καινοτόμες επιστρώσεις υαλοπινάκων.
- [63] Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Γενική συγγραφή υποχρεώσεων - Κουφώματα.
- [64] Γαγλία Α., (2010). Κ.Εν.Α.Κ και οι νέες εθνικές οδηγίες του ΤΕΕ.
- [65] Τζιβανίδης Χ., Γιώτη Φ., Αντωνόπουλος Κ.Α., (2010). Επίδραση του συνδυασμού μόνωσης και υαλοπινάκων στη μεταβατική κατανάλωση ενέργειας των κτιρίων.
- [66] Tzivanidis C., Antonopoulos K.A., Gioti F., (2012). Adjustment of envelopes characteristics to climatic conditions for saving heating and cooling energy in buildings.

